

Journées de l'interdisciplinarité



30 juin & 1^{er} juillet 2022



**LES JOURNÉES DE
L'INTERDISCIPLINARITÉ**

journes.interdisciplinarite@unilim.fr



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Le visuel comme vecteur de modifications comportementales : le cas de l'émulation écologique

Visual as a vehicle for behavioural change: the case of
green nudge

Julie LAIRESSE

CeReS

julie.lairesse@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/598>

DOI : 10.25965/lji.598

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : L'émulation écologique est le nom donné aux nudges ayant pour objectif de permettre aux individus d'avoir un meilleur comportement vis-à-vis de l'environnement. Les nudges sont des dispositifs offrant la possibilité d'influencer les pratiques des individus sans les priver de liberté. Pour ce faire, les nudges utilisent divers biais cognitifs afin d'orienter les attitudes individuelles vers des actions plus vertueuses pour eux-mêmes, mais également pour la société de manière générale. De nombreux nudges reposent sur une modification des formants plastiques de l'objet nudgé, notamment via la mise en place de dispositifs visuels. Cet article suggère alors de s'interroger sur l'efficacité des visuels afin d'influencer les comportements. Est-ce efficace ? Et si tel est le cas, comment cela fonctionne-t-il ? A l'aide d'un corpus nous allons tenter de proposer quelques pistes de réponses.

Mots clés : nudge, comportement, visuel, environnement, sémiotique

Abstract: Green nudge is the name given to nudges that aim to enable people to behave better towards the environment. Nudges are devices that offer the possibility of influencing people's behaviour without depriving them of freedom. To do this, nudges use various cognitive biases to direct individual behaviour towards actions that are more virtuous for themselves and for society in general. Many nudges are based on a modification of the plastic formants of the nudged object, notably via the use of visual devices. This article therefore proposes to question the effectiveness of images in influencing behaviour. Is it effective ? And if so, how does it work ? With the help of a corpus we will try to propose some answers.

Keywords: nudge, behaviour, visual, environment, semiotic

Introduction : l'émulation écologique

Afin d'introduire cette présentation, il paraît pertinent de définir l'émulation écologique. Il s'agit de la dénomination recommandée par la commission générale de terminologie et de néologie depuis 2013 pour désigner les nudges à consonance environnementale.

Les premiers chercheurs à avoir mis en lumière le concept de nudge, traduit communément par « coup de pouce », sont Thaler et Sunstein (Thaler et Sunstein 2008). Ils définissent les nudges de la manière suivante :

« Un nudge est un aspect de l'architecture des choix qui modifie de manière prévisible le comportement des individus sans interdire aucune des options et sans changer significativement leurs incitations économiques. Pour être un nudge pur, l'intervention doit être facile et peu coûteuse. ».

Les émulations écologiques ont donc pour but d'infléchir des pratiques, dans les domaines environnementaux, en recourant à des procédés incitatifs, abordables, mais surtout qui n'entraînent aucune privation de liberté pour les utilisateurs. La théorie des nudges part de l'économie comportementale, qui contrairement aux théories classiques, va à l'encontre de l'existence de « l'Homo-economicus », un homme économiquement parfait visant principalement la maximisation de ses profits. En effet, l'économie comportementale admet que les individus ne sont que très rarement judicieux et n'effectuent pas toujours les choix qui leur seraient les plus bénéfiques. Les nudges vont donc reposer sur ces « irrationalités » induites par des « biais cognitifs » pour modifier les « architectures du choix » de l'individu et ainsi le diriger vers de meilleures décisions, pour lui, mais aussi pour la communauté.

Le nudge dispose d'une diffusion internationale avec des « Nudge Unit » (Halpern, Service, et Thaler 2019) présentes au sein de nombreux gouvernements. Celle de Barack Obama en 2009 a eu à sa tête Sunstein. Celle du Royaume Uni, initiée par David Cameron en 2010, la « Behavioural Insight Team » est devenue indépendante en 2014. En France, les nudges dépendent de Bercy.

Afin de clarifier davantage les nudges, nous pouvons citer :

- Des passages piétons 3D (figure 1), qui donnent l'illusion à l'automobiliste que le passage piéton est un obstacle au-dessus du sol, l'incitant ainsi à freiner à l'approche de celui-ci ;
- Des escaliers musicaux (figure 2) dont les marches ressemblent à des touches de pianos et émettent une note lorsqu'on marche dessus afin d'encourager les piétons à les utiliser plutôt que l'ascenseur ;
- Des marques de pas colorés (figure 3) menant aux poubelles pour inviter les gens à jeter leurs déchets au bon endroit ;
- Des personnages amusants (figure 4) avec une ceinture bouclée dessinée sur les sièges des autobus pour rappeler aux enfants de bien attacher leurs ceintures.

Figure 1 : Passages piétons 3D



Crédit : Radio France - Raphaël Cann

< <https://www.francebleu.fr/infos/insolite/un-passage-pieton-en-3d-installe-a-reims-1510841256> >

Figure 2 : Escalier musical à la gare de Montparnasse



Crédit : < https://www.lepoint.fr/insolite/video-paris-ils-jouent-du-piano-debout-et-avec-leurs-pieds-21-02-2014-1794671_48.php >

Figure 3 : Pas au sol menant à une poubelle



Crédit : < <https://www.ladn.eu/nouveaux-usages/comprendre-le-nudge-politique-marques/> >

Figure 4 : Personnage dans bus



Crédit : < <https://www.fondation-maif.fr/article-2-1026.html> >

1. Impact du visuel

Plusieurs nudges se basent sur l'intégration d'images et de dispositifs visuels sur ou à côté du nudge. Mais pourquoi utiliser des visuels pour modifier un comportement ? Est-ce qu'agir sur l'interface visuelle d'un objet peut permettre d'influencer le geste ? Plusieurs nudges reposent sur la transformation des formants plastiques de l'objet-nudge. Pour pouvoir répondre à notre problématique, nous allons devoir nous interroger sur le rapport entre dispositif visuel et action des individus.

Afin de vérifier l'utilité du recours à des éléments visuels, nous allons nous intéresser aux nudges qui fonctionnent en apportant une scénographie plus graphique à un objet « classique » du quotidien, comme les Poubellator ou les escaliers décorés.

1.1. L'escalier décoré

Figure 5 : Escalier décoré à Lyon



Crédit : < <https://www.leparisien.fr/oise-60/transilien-veut-vous-manipuler-mais-c-est-pour-votre-bien-12-04-2016-5706291.php> >

En termes d'efficacité, l'escalier décoré placé à Lyon (Figure 5), a permis une augmentation de 350 % d'utilisateurs la première semaine (effet de nouveauté) puis cette augmentation s'est stabilisée à 200 % les mois suivants (« Le « nudge », un outil pour les familles ? » s. d.). Dans un second temps les auteurs de cette étude ont simulé une panne de l'escalator pour inciter davantage, mais cela a eu pour conséquence de créer une perception négative des usagers. Tout l'intérêt du nudge est donc bien la liberté du choix individuel.

1.2. Poubelles décorées

Figure 6 : Poubelles décorées à Bruxelles



Crédit : < <https://environnement.brussels/fiche/les-nudges-une-petite-influence-pouvant-entraîner-un-grand-changement-de-comportement> >

Figure 7 : Poubellator



Crédit : < <https://www.bva-group.com/news/etude-de-cas-bva-ouigo/> >

Dans le cas des poubelles décorées, les résultats varient. Dans certains cas, comme à Bruxelles (Figure 6) les premiers constats sont encourageants avec notamment une période de 15 jours après l'installation du nudge avant la première constatation de pose de déchets clandestine, la nature des dépôts sauvages a également changé, les dépôts étaient variés avant et après la mise en place ils ne résumaient plus qu'à du carton (Elena 2021). Au sein de la SNCF, la pose des Poubellator (Figure 7) s'est vue accompagnée d'autres dispositifs, mais l'ensemble a permis de passer de 14 % à 0 % de situation de propreté très dégradée (BreakingWeb s. d.).

1.3. Des fonctionnements similaires

Ces nudges reposent sur une volonté de modifier le parcours de l'utilisateur. En effet pour les poubelles décorées l'objectif est de dévier l'utilisateur de son circuit habituel en lui indiquant la présence des

conteneurs à déchets. Dans le cas de l'escalier, le but est de diriger l'individu vers celui-ci afin qu'il évite de prendre l'escalator ou l'ascenseur.

Dans les deux cas, une amélioration est constatée qu'elle soit faible ou plus importante. Il est donc évident que le comportement des utilisateurs a été modifié, mais comment ?

2. Fonctionnement des visuels comme vecteur d'influence

Un des premiers éléments sur l'efficacité des visuels se retrouve dans les théories de la psychologie cognitive notamment à travers les biais cognitifs, mais nous allons également du côté de la sémiotique pour trouver davantage de réponses.

2.1. Biais cognitif

L'appellation « biais cognitifs » regroupe un ensemble de distorsions possibles entre réalité et interprétation propre à l'individu. D'après Kahneman et Tversky (Kahneman et Tversky 1979) ils permettent d'expliquer nombre de comportements jugés comme irrationnels. Kahneman (Kahneman 2013) a développé la théorie des deux vitesses de fonctionnement qui a été par la suite simplifiée pour servir de base au modèle de Thaler et Sunstein (Thaler et Sunstein 2008). Le raccourci exploité pourrait se ramener au fait que les nudges existent grâce à leur faculté à utiliser le système rapide, celui qui agit sans réfléchir. Le deuxième système plus long lui permet de prendre des décisions plus raisonnées. Bien évidemment les recherches de Kahneman (Kahneman 2013) démontrent que le mécanisme des deux cerveaux est bien plus compliqué et complémentaire que ce résumé.

Figure 8 : Les deux systèmes du cerveau

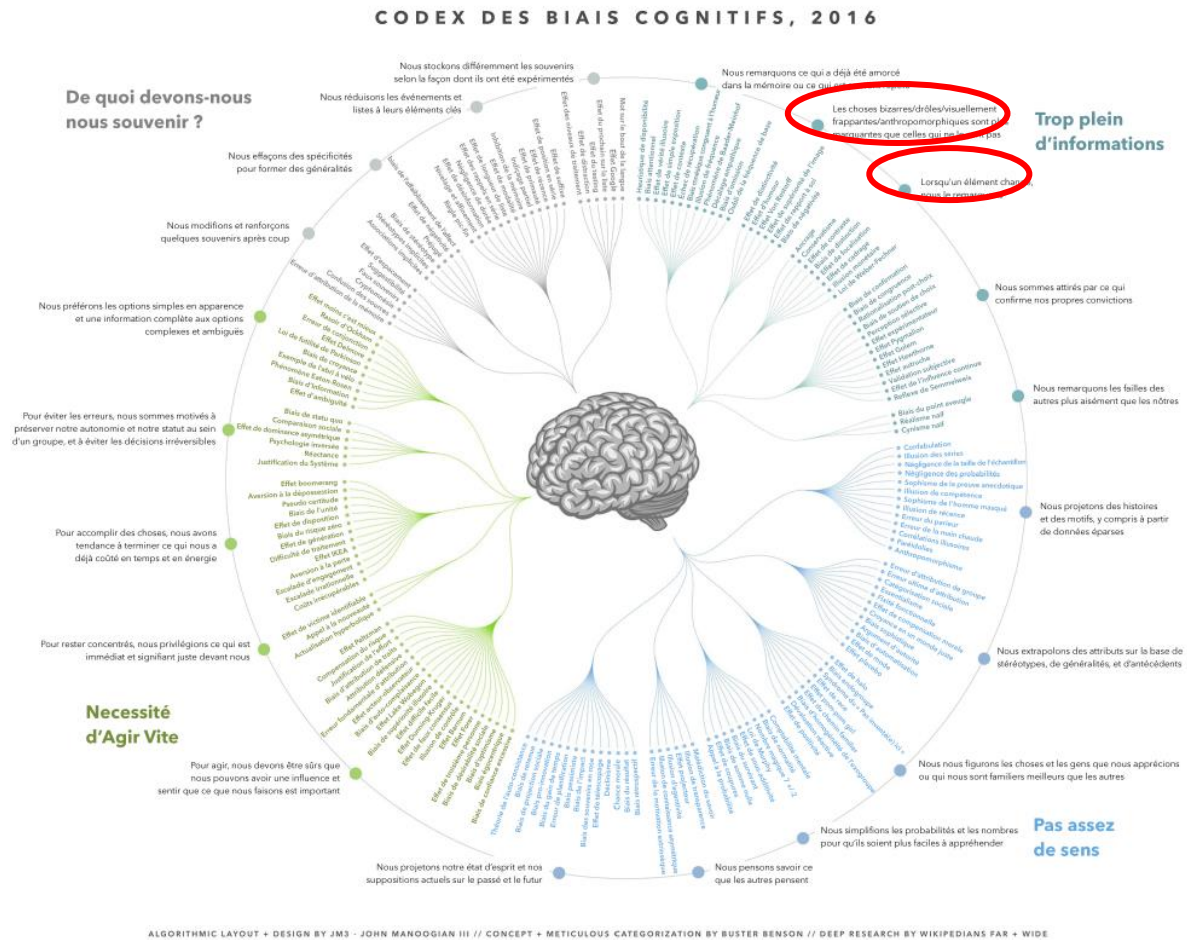
Système automatique	Système réflexif
Non contrôlé	Contrôlé
Sans effort	Exige des efforts
Associatif	Déductif
Rapide	Lent
Inconscient	Conscient
Exprime un talent	Applique des règles

Comme « biais cognitifs » nous pouvons citer : le biais de *statu quo* qui conduit l'individu à éprouver une réticence à la nouveauté à cause de son appréciation du rapport avantages/risques qui lui semble alors désavantageuse ; le biais d'ancrage qui entraîne chez l'individu des difficultés à revenir sur la première impression qu'il a pu avoir d'un sujet ou d'une personne ; le biais de représentativité qui pousse l'individu à considérer un seul élément comme représentatif d'un ensemble ou d'une population, etc. Buster Benson a réalisé un codex des biais cognitifs qui lui a permis de les catégoriser en 4 grands groupes et 20 sous-groupes pour environ 180 biais cognitifs. Il est intéressant de noter que cet inventaire n'est pas exhaustif et que nouveaux biais sont régulièrement identifiés.

Le codex de Buster Benson octroie de noter que la catégorie « *Trop plein d'informations* » offre deux réponses à l'efficacité des nudges reposant sur des dispositifs visuels :

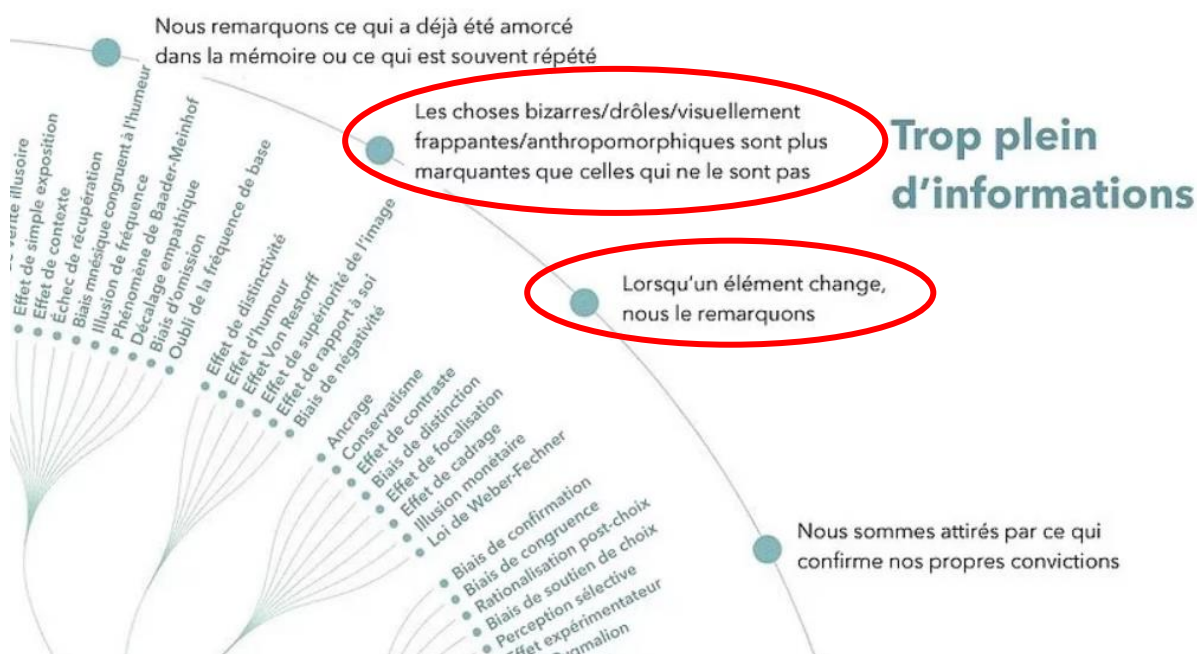
- Les choses bizarres / drôles / visuellement frappantes / anthropomorphiques sont plus marquantes que celles qui ne le sont pas
- Lorsqu'un élément change, nous le remarquons

Figure 9 : Codex des biais cognitifs de Buster Benson



Crédit : John Manoogian III

Figure 10 : Détail du codex des biais cognitifs de Buster Benson



Crédit : John Manoogian III

2.2. Création d'un processus interprétatif

Une autre réponse sur l'efficacité des visuels pourrait se trouver dans le fait que la mise en couleur d'un élément plutôt qu'un autre permet de le faire ressortir visuellement. L'objet devenu plus attrayant en étant mis en valeur par rapport à un cadre présentant des couleurs plus ternes deviendrait alors plus facilement identifiable, telle une œuvre d'art. Dans sa perpétuelle quête de sens, l'individu mobiliserait alors sa capacité d'interprétation. Car, pourquoi cet objet est différent des autres ? Dans son besoin de créer une signification, l'individu va y chercher une raison. Nicole Everaert-Desmedt (Everaert-Desmedt 2011) explique d'ailleurs à propos de l'art que :

« Pour stimuler l'investissement du récepteur, il faut d'abord que l'œuvre se fasse remarquer, qu'elle attire l'attention, qu'elle provoque une surprise. Cela dépend des caractéristiques de l'œuvre, mais également du contexte où elle se trouve : le cas du visiteur qui se rend dans un musée ou une galerie pour y voir une exposition est différent de celui du promeneur qui découvre par hasard dans l'espace public un objet ou un événement, dont il ignore le statut artistique. S'il est surpris par ce qu'il découvre, il se posera des questions, il entrera donc dans un processus interprétatif. »

Le processus interprétatif a la faculté de demander une implication corporelle. Dans le cas de l'œuvre d'art par exemple on se rapproche on tourne autour, bref on agit et c'est cela que le nudge vise.

2.3. Le visuel vecteur d'émotion : les passions

Une des autres justifications possibles à l'intérêt des dispositifs visuels en modification comportementale est son aptitude à agir sur l'affect. En effet, les travaux d'Helen Joffe (Joffe 2007) concluent :

« Il en ressort que la principale caractéristique du matériel visuel est sa faculté de susciter des émotions. ».

Provoquer des émotions ? Oui, mais dans quel intérêt ? L'approche sémiotique explique l'efficacité du visuel dans la modification comportementale par sa capacité à créer un nouveau couplage entre perception et action (Fontanille et Lairesse 2021), soumis aux lois sémiotiques des passions (Greimas et Fontanille 1991) permet d'utiliser le visuel pour produire un état émotionnel permettant de convoquer des compétences qui n'ont pas nécessité d'acquisitions préalables. En effet la théorie des passions, tout comme celle de la tensivité (Fontanille et Zilberberg 1998), permet de placer les affects au centre d'un processus signifiant qui permet à l'individu d'agir en fonction de ses états d'âme (Zilberberg 2006). En utilisant l'émotion, l'objet ainsi nudgé augmente alors sa capacité à être utilisé, en effet en ayant recours au domaine passionnel il offre un double moyen de convertir l'intention : par l'action comme le ferait un objet classique, mais aussi par l'émotion qui entrainera l'action (Fontanille et Lairesse 2021).

Conclusion : Le visuel moteur de changements des pratiques

L'efficacité du matériel visuel n'est plus à prouver, mais elle reste complexe à appréhender. Dans notre cas, les nudges jouent avec cet outil déjà bien connu des réseaux sociaux et publicistes, mais dans un but plus altruiste. À la question délicate de l'utilité de visuels dans la modification comportementale, notre étude démontre qu'un des principaux intérêts des dispositifs visuels est la création d'une émotion. Celle-ci permet alors à son tour de faciliter l'action de l'individu et donc l'inflexion de son comportement initialement prévu.

Références

BreakingWeb. s. d. « Étude de cas BVA / OUIGO ». BVA Group. Consulté le 25 juin 2022. <https://www.bva-group.com/news/etude-de-cas-bva-ouigo/>.

Elena. 2021. « Les nudges : une petite influence pouvant entrainer un grand changement de comportement ! » Text. Bruxelles Environnement. 26 février 2021. <https://environnement.brussels/fiche/les-nudges-une-petite-influence-pouvant-entrainer-un-grand-changement-de-comportement>.

Everaert-Desmedt, Nicole. 2011. « Réception d'une œuvre d'art : la pensée iconique ». In *Du récepteur ou l'art de débiller son pique-nique : Actes de colloques et journées d'étude*. Publications numériques du CÉREdI. <http://ceredi.labos.univ-rouen.fr/public/?reception-d-une-oeuvre-d-art-la.html>.

Fontanille Jacques, et Lairesse Julie. 2021. « Les nudges et le contrôle sémiotique du milieu et du collectif ». *Actes Sémiotiques* 124 : 246-59.

Fontanille Jacques, et Zilberberg Claude. 1998. *Tension et signification*. Philosophie et langage. Sprimont, Belgique : Mardaga.

Greimas Algirdas Julien, et Fontanille Jacques. 1991. *Sémiotique des passions : des états de choses aux états d'âme*. Paris : Éd. du Seuil.

Halpern David, Service Owain, et Thaler Richard H. 2019. *Inside the Nudge Unit: How Small Changes Can Make a Big Difference*. Revised edition. London : WH Allen.

Joffe Helene. 2007. « Le pouvoir de l'image : persuasion, émotion et identification ». *Diogène* 217 (1) : 102-15. <https://doi.org/10.3917/dio.217.0102>.

Kahneman Daniel. 2013. *Thinking, fast and slow*. 1st pbk. ed. New York: Farrar, Straus and Giroux.

Kahneman Daniel, et Tversky Amos. 1979. « Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk ». *Econometrica* 47 (2) : 263-91. <https://doi.org/10.2307/1914185>.

« Le " nudge ", un outil pour les familles ? » s.d. Consulté le 25 juin 2022. https://www.couplesfamilles.be/index.php?option=com_content&view=article&id=478:le-nudge-un-outil-pour-les-familles&catid=6&Itemid=108.

Thaler Richard H., et Sunstein Cass R. 2008. *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*. New Haven : Yale University Press.

Zilberberg Claude. 2006. *Éléments de grammaire tensive*. Collection Nouveaux actes sémiotiques. Limoges : PULIM.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

La recherche locale au service de la transition socio-écologique : une analyse à partir de travaux en sciences sociales

Local research for socio-ecological transition: an analysis based on social sciences works

Marius CHEVALLIER

Geolab, UMR6042

marius.chevallier@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/646>

DOI : 10.25965/lji.646

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : En 2021, l'Université de Limoges a fait partie des 53 premières universités et écoles signataires de l'Accord de Grenoble « Pour accélérer la transition socio-écologique de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche ». Cet accord comprend notamment l'article 2.5 « Augmenter la participation de la recherche dans l'effort de transition ». Le bilan gaz à effets de serre réalisé dans notre laboratoire à partir de la méthodologie du Labos 1point 5 nous ayant montré que les déplacements professionnels sont de loin la première source de gaz à effets de serre, nous montrons en quoi la recherche locale est une voie déterminante à soutenir pour aller dans le sens de l'Accord de Grenoble. L'argument est à la fois quantitatif (gaz émis) et qualitatif (degré d'appropriation par les acteurs et actrices des résultats de recherche).

Mots clés : transition socio-écologique, recherche action participative, labos 1point5

Abstract: In 2021, the University of Limoges was one of the first 53 universities and schools to endorse the Grenoble Accord "Pour accélérer la transition socio-écologique de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche". This agreement includes in particular article 2.5 "Augmenter la participation de la recherche dans l'effort de transition". The greenhouse gas assessment carried out in our laboratory using the Labos 1point 5 methodology having shown us that business travel is by far the first source of greenhouse gases, we show how local research is a decisive way to be supported in order to move in the direction of the Grenoble Accord. The argument is both quantitative (gas emitted) and qualitative (degree of appropriation by the actors of the research results).

Keywords: socio-ecological transition, participatory action research, labos 1point5

Défaut de légitimité de la recherche locale

J'ai toujours ressenti une pression à faire de la recherche à l'international. Pourtant ce n'était pas une motivation pour moi, plutôt désireux de comprendre toujours plus finement mon environnement proche. J'avais l'impression qu'un vrai chercheur ou une vraie chercheuse devaient se déplacer pour tisser des réseaux internationaux, a minima dans des colloques internationaux et idéalement au travers de projets de recherche internationaux : les efforts que je faisais localement pour construire une inter-compréhension approfondie avec des collègues ainsi qu'avec des partenaires non issus du monde de la recherche semblaient être institutionnellement perçus comme secondaires par rapport aux activités internationales. Bien entendu, les deux échelles de recherches sont complémentaires, mais la seconde semble moins encouragée que la première dans le monde universitaire. Elle semble occuper une place croissante dans les bilans HCERES, mais l'excellence reste plus associée à la dimension internationale¹.

Mais voilà qu'en 2021, l'Université de Limoges a compté parmi les 53 premiers établissements signataires de l'Accord de Grenoble « Pour accélérer la transition socio-écologique de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche »². Cet accord comprend notamment l'article 2.5 « Augmenter la participation de la recherche dans l'effort de transition ». On y trouve deux arguments pour renforcer la recherche locale.

Favoriser l'appropriation effective des travaux de recherche par les acteurs et actrices de la société civile (partie 1) :

- « Rendre la recherche plus visible et accessible »
- « Associer la société à la définition des programmes de recherche »

Limiter l'impact environnemental des travaux de recherche (partie 2) :

- « Développer des indicateurs »
- « Diminuer l'impact environnemental des laboratoires »

Avec plusieurs collègues en sciences sociales nous avons progressivement développé depuis 2012 une recherche ancrée dans notre territoire dans un but de transition socio-écologique. Nous en arrivons à l'hypothèse que cette recherche contribue à la fois à réduire le bilan de carbone et à améliorer l'appropriation effective par les acteurs et actrices du territoire.

1. Le temps long d'une véritable appropriation des travaux de recherche

La proximité géographique nous permet de fréquenter plus souvent des réunions et événements avec les structures dans le cadre d'observations participantes auxquelles nous pouvons nous rendre en tant que chercheurs et chercheuses comme en tant qu'habitantes et habitants du territoire (principalement sur les coopératives, les circuits alimentaires de proximité et la mobilité ferroviaire me concernant). Ceci a

¹ Ce paragraphe s'appuie sur des ressentis liés à nos expériences personnelles et non sur une analyse rigoureuse des formes de reconnaissance des recherches locales et internationales.

² <https://www.unilim.fr/signature-de-laccord-de-grenoble/>

trois conséquences : tout d'abord, nous avons une meilleure connaissance des questions importantes pour les structures et les territoires ce qui nous permet d'affiner la construction de problématiques adaptées à leurs préoccupations dans une dynamique d'allers-retours permanents : ainsi, au final, les analyses sont plus susceptibles de les intéresser ; ensuite, nous pouvons collecter plus finement et plus facilement les données nécessaires grâce à la relation de confiance créée par les rencontres régulières ; enfin, nous pouvons identifier quand et comment partager certains résultats. C'est d'ailleurs ce dernier point qui avait motivé plusieurs d'entre nous à mettre en place ces démarches. En effet, lors de précédentes recherches, malgré des partenariats mis en place bien en avant la collecte de données autour de la co-construction des enquêtes, nous avons constaté que les résultats étaient très peu appropriés par les membres des comités de pilotage et leurs partenaires pour leurs actions. Pourtant nous avons fait l'effort d'organiser des réunions de restitution avec les partenaires, des ateliers avec des acteurs et actrices du terrain (www.proximites-obs.fr), ou encore de publier des synthèses dans des revues ou émissions de radios professionnelles (Allirot et al. 2012, Chevallier 2013a et 2013b, Pujol, 2020 ; Radio Point de Vente Collectifs, 2020).

Se pose bien entendu la question de la possibilité de garder le recul critique scientifique malgré l'implication dans l'action et dans des relations d'interconnaissance, comme le note Olivier de Sardan (2000). Pour cela nous avons expérimenté plusieurs méthodes comme fonctionner en binôme (une personne impliquée, une personne en retrait, à l'instar de Carbonnel et al., 2023), distinguer formellement des temps de recherche et des temps de participation, amener des partenaires à co-écrire ou réaliser des entretiens successifs sur la base de différentes versions d'articles, etc. Nous nous sommes également nourris d'une vaste littérature sur la recherche action participative (notamment Ballon et al., 2019 ; Draperi, 2007 ; Greenwood et Levin, 1998 ; Houllier et Merilhou-Goudard, 2016 ; Hubert et al., 2013). Ballon (2020, p130) note pour sa part qu'en matière de projets socialement innovants, l'immersion peut être un garde-fou d'objectivité : « plusieurs chercheurs sont apparus saisis par le Projet utopique de Coopaname³ traduit par une analyse laudative restreignant sa portée réflexive, dans la mesure où des dysfonctionnements et des réalités sociales n'étaient pas considérés. Dans mon cas, mon expérience de salariée a contribué à limiter ce biais par le vécu quotidien de tensions ». Or, en matière de transition écologique, les « analyses » laudatives sont courantes et l'immersion peut donc en effet renforcer la garantie de scientificité.

Nous avons également pu constater pour nous-mêmes, en utilisant nos propres recherches ou la littérature, combien il est difficile de trouver les travaux qui puissent nous aider à prendre du recul sur nos expériences de terrain (Ballon et Chevallier, 2022 ; Chevallier et Noûs, 2021 ; Dellier et al. 2022). Cela montre que ce temps d'appropriation de la recherche est long et nécessite une interconnaissance plus facilement accessible dans le cadre d'un ancrage local. À l'échelle individuelle, le temps long nécessaire pour se comprendre localement avec des partenaires locaux peut induire que nous n'ayons plus de temps

³ Note de l'auteur : coopérative qui regroupe des entrepreneurs et entrepreneuses indépendantes mutualisant une partie de leurs ressources et activités.

disponible pour de la recherche internationale, qu'il s'agisse de publications ou de partenariats de recherche.

2. La place des trajets dans les émissions de gaz à effets de serre

L'objectif, dans la perspective de l'Accord de Grenoble, est de montrer comment la recherche locale permet non seulement, comme nous venons de le voir, de renforcer l'appropriation par les acteurs et actrices locales mais aussi de réduire considérablement les déplacements et donc les gaz à effets de serre, puisque les déplacements lors de ces recherches sont de proximité et parfois en transports en commun ou à vélo.

Nous avons réalisé le bilan gaz à effet de serre en utilisant les outils du Labos 1point5 que nous avons présenté lors du colloque sur la transition organisé par l'Université de Limoges en 2021 (Chevallier, 2021). Le Labos 1point5 est un groupement de recherche né en 2019 dont l'objectif est de « Réduire l'empreinte de nos activités de recherche sur l'environnement ». Il compte trois principaux groupes de travail qu'il est facile de rejoindre, que ce soit simplement pour recevoir les informations ou s'impliquer chacun et chacune à son niveau : « Faciliter l'enseignement des enjeux écologiques dans le supérieur et produire des contenus pédagogiques »⁴ ; « Accompagner et étudier la transition écologique des labos » ; « Estimer et analyser l'empreinte carbone de la recherche ». C'est donc sur ce dernier point que nous avons focalisé notre attention en collectant les données depuis 2017 en utilisant l'outil GES1.5⁵. Actuellement⁶, 519 laboratoires français ont réalisé et enregistré 902 bilans gaz à effets de serre via cet outil. Pour cet outil, la méthodologie est présentée de manière très exhaustive et transparente. Les travaux ont également permis d'améliorer la méthodologie retenue avec l'ADEME dans la réglementation française (Mariette, Blanchard, Berné, Ben-Ari, 2021).

L'outil comprend plusieurs modules que l'on peut renseigner séparément. Il s'est avéré que le chauffage et l'électricité ne représentaient qu'une toute petite partie du bilan de notre laboratoire Geolab (moins de 2 %). Ensuite, c'est l'achat de matériel numérique qui pèse dans notre bilan (4 %), mais 94 % des émissions de gaz à effet de serre sont liés aux déplacements dont environ 39 % pour les déplacements domicile-travail et 55 % pour les déplacements professionnels⁷. Nous sommes actuellement en train d'approfondir l'analyse de tous nos déplacements professionnels, après avoir obtenu très facilement auprès de la Direction des Affaires Financières la totalité de nos ordres de mission anonymisés depuis 2010 : en effet, même si l'outil GES1.5 s'est développé en priorité avec le CNRS et l'INRAE (ainsi que l'ADEME), il s'avère que les données saisies dans SIFAC pour chacun de nos ordres de mission comportent tous les éléments nécessaires que l'on peut intégrer en peu de temps dans l'outil. Nous avons initialement réfléchi sur la période 2017-2020 mais l'effet confinement lié à la crise Covid ne permettait pas d'avoir une lecture compréhensible de l'évolution de nos émissions. L'anonymisation est d'autant

4 <https://labos1point5.org/l-enseignement>










5 <https://labos1point5.org/ges-1point5>

6 <https://labos1point5.org/> consultée le 18/10/2022

7 Dans d'autres laboratoires, ce ne seront pas nécessairement les déplacements qui pèseront le plus. Chaque laboratoire peut réaliser facilement son propre bilan gaz à effets de serre. L'avantage de le faire dans l'outil du labos 1point5 est que la méthode reconnue et adaptée à notre métier permet de constituer une vaste base de données.

plus forte que une fois les calculs faits par le logiciel, il supprime les villes d'arrivée et de départ (Figure 1).

Figure 1 : Extrait des missions telles que anonymisées par le Labos 1point5

Validité ^	Départ	Destination	Mode	Liaison	Distance	Quantité	A/R
Valide	-	-		1	39 km	1	⇄
Valide	-	-		1	24 km	1	⇄
Valide	-	-		1	24 km	1	⇄
Valide	-	-		1	114 km	1	⇄
Valide	-	-		1	114 km	1	⇄
Valide	-	-		1	114 km	1	⇄
Valide	-	-		1	234 km	1	⇄
Valide	-	-		1	234 km	1	⇄
Valide	-	-		1	405 km	1	⇄

Cette démarche a donné lieu à un atelier que nous avons organisé sur l'éco-responsabilité lors de la dernière assemblée générale de notre laboratoire en mai 2022. L'atelier a permis de réfléchir à l'intégration de l'objectif de réduction de déplacements dans la stratégie globale du laboratoire : il s'agit notamment de prendre en compte les potentielles contradictions avec l'internationalisation de la recherche, qui fait partie des exigences du métier pour prendre du recul sur nos pratiques. La réflexion approfondie sur les apports scientifiques de la recherche locale pourrait nourrir une démarche collective de réduction des gaz à effet de serre pouvant se traduire par des textes cadres pour le laboratoire (charte, contribution à la rédaction du bilan HCERES), sans le fragiliser.

Valoriser la recherche locale au titre de la transition socio-écologique

Les enjeux de transition socio-écologique devraient donc permettre à de nombreuses chercheuses et nombreux chercheurs de « bifurquer », soit en changeant de sujet, soit en passant plus de temps à travailler avec la société civile, comme le documentait le journal *Le Monde* dans sa Matinale du 28 juin 2022 « Ces chercheurs tentés par la bifurcation écologique ». Le risque serait que ces bifurcations aboutissent à une marginalisation des chercheurs et chercheuses concernées. Il est donc important de renforcer la reconnaissance de la recherche locale pour qu'elle ne soit pas perçue comme une sous-recherche en comparaison des recherches internationales. Bien entendu, les deux sont complémentaires, mais dans les faits, le temps étant limité, il n'est pas toujours possible de mener les deux avec suffisamment d'intensité.

Références

ALLIROT Marion, CHEVALLIER Marius, LEYSSENNE Christophe, ZAMPINI Carole, 2012, *Les circuits courts en Limousin en 2010 : état des lieux, facteurs de réussite et perspectives de développement*, juin 2012, n° 74

BALLON Justine, BODET Catherine, 2017, « De l'action à la recherche et vice-versa : L'émancipation par le savoir à Coopaname », in *Construire collectivement du sens - Les apports de François Rousseau*. Paris, Dalloz (Jurisassociations), pp. 62-79.

BALLON Justine, CHEVALLIER Marius, 2022, « Quelle recherche-action participative au service de la démocratie à Railcoop ? Une expérimentation de sociétaires ». *Économie sociale et solidaire et transitions*. 21èmes Rencontres du Réseau Inter-Universitaire d'Économie Sociale et Solidaire, Bordeaux, 1-3 juin 2022.

BALLON Justine, LE DISLOQUER Pierre-Yves, THORIGNY Maxime, 2019, *La Recherche En Action : Quelles Postures de Recherche ? : Expériences Croisées de Jeunes Chercheurs*. Épure

BALLON Justine, 2020, *De la multifonctionnalité des Coopératives d'Activités et d'Emploi : des modèles socioproductifs expérimentaux dans les zones grises de l'emploi et du travail. Une recherche-action à propos d'Oxalis, Coopaname et Artenréel*. Thèse de doctorat en sciences économiques. Sciences de l'Homme et Société. Université de Paris /Université Paris Diderot (Paris 7).

CARBONNEL Anne et al., 2023, « Le design organisationnel sociocratique, une innovation managériale en contexte culturel français », chapitre d'un ouvrage à paraître en 2023 aux Presses Universitaires de Lorraine

CHEVALLIER Marius, NOÛS Camille, 2021, How useful is research on cooperatives? Reflection based on 3 double-cap situations. *Cooperatives in transition facing crisis ICA CCR Europe 2021*, Jul 2021, Paris, France

CHEVALLIER Marius, 2013a. « L'hétérogénéité des circuits courts : un défi pour le soutien institutionnel ». *Agreste Limousin*, 2013, Direction régionale de l'agriculture et de la forêt, Service régional de statistique agricole, pp. 1-4.

CHEVALLIER Marius, 2013b. « Les circuits courts, une voie rémunératrice mais risquée : Le cas des bovins viande ». *Agreste Limousin* n° 99, 2013, Direction régionale de l'agriculture et de la forêt, Service régional de statistique agricole, pp. 1-4.

DELLIER Julien, CHEVALLIER Marius, GARNIER Edwige, TOMMASI Greta, 2022, « Analyser et accompagner la gouvernance alimentaire territoriale : les apports du jeu sérieux « l'Alimentation locale en projet » », *Norois*, vol. 262, no. 1, pp. 115-134.

DRAPERI Jean-François, 2007, « Fondements éthiques et posture épistémologique de la recherche en économie sociale », *Revue internationale de l'économie sociale*, n° 303, pp. 67-82.

GREENWOOD Davydd J., LEVIN Morten, 1998, « Action research, science, and the co-optation of social research », *Studies in cultures, organizations and societies*, vol. 4, n° 2, pp. 237-261.

HOULLIER François, MERILHOU-GOUDARD Jean-Baptiste, 2016, *Les Sciences participatives en France État des lieux, bonnes pratiques & recommandations*, Rapport élaboré à la demande des ministres en charge de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 124 pages.

HUBERT Bernard, AUBERTIN Catherine., BILLAUD Jean-Paul, 2013, « Recherches participatives, recherches citoyennes ... une clarification nécessaire », *Natures Sciences Sociétés* 2013/1 (Vol. 21), p. 1-2.

MARIETTE Jérôme, BLANCHARD Odile, BERNÉ Olivier, BEN-ARI Tamara, 2021, An open-source tool to assess the carbon footprint of research. *Environmental Research : Infrastructure and Sustainability* doi : 10.1088/2634-4505/ac84a4

OLIVIER DE SARDAN Jean-Pierre, 2000, « Le "je" méthodologique : Implication et explicitation dans l'enquête de terrain », *Revue Française de Sociologie*, 41(3) : 417-445.

PUJOL Zoé, 2020, La démocratie dans les collectifs travaillant les circuits courts et locaux : comment composer avec les inégalités ?, <https://pqn-a.fr/pouvoirs-informels-circuits-courts-locaux>, 28 mai 2020

RADIO POINT DE VENTE COLLECTIF, 2020, Les prises de décisions au sein du magasin de producteur, Radio des magasins de producteurs #9, 7 décembre 2020, <https://webtrame.net/trame/les-projets/circuits-courts-et-activites-de-service/cr-radio-de-vente-collectif-9>



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Nouvelles tétrazines aux propriétés spectroscopiques uniques ; Leur application à la révélation des empreintes digitales

New tetrazines with unique spectroscopic properties; their application to latent fingerprint revelation

Pierre AUDEBERT

PPSM - ENS Paris-Saclay, 4 Avenue des Sciences, 91110 Gif s. Yvette/
Equipe ELITE, Institut XLIM, 123 Av. Albert Thomas 87000 Limoges
FRANCE

audebert@ppsm.ens-cachan.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/654>

DOI : 10.25965/lji.654

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Les tétrazines sont des hétérocycles connus depuis très longtemps (premier compte rendu datant de la fin du XIX^e siècle), mais ont été relativement négligées par la chimie traditionnelle, à l'exception de leurs capacités à être impliquées dans des cycloadditions spéciales de Diels et Alder à demande inverse, avec des applications exclusivement en synthèse organique, pour la production de dérivés de type pyridaziniques. Depuis le début de ce siècle, cependant, ont émergé de nouvelles tétrazines, possédant des propriétés physiques remarquables, au premier rang d'entre elles la fluorescence, mais aussi l'électroactivité. Certaines de ces familles de molécules ont permis des applications parfois inattendues, comme la révélation des empreintes digitales.

Mots clés : Tétrazines, fluorescence, hétérocycles azotés.

Abstract: Tetrazines are heterocycles that have been known for a very long time (first account from the late 19th century), but have been relatively neglected by mainstream chemistry, except for their abilities to be involved in special inverted demand Diels and Alder cycloadditions, with applications exclusively in organic synthesis, for the production of pyridazine-type derivatives. Since the beginning of this century, however, new tetrazines have emerged, possessing remarkable physical properties, first and foremost fluorescence, but also electroactivity. Some of these families of molecules have allowed sometimes unexpected applications, such as the revelation of latent fingerprints.

Keywords: Tetrazines, fluorescence, high-nitrogen content heterocycles

1-Introduction

Les tétrazines (Fig. 1 ci-dessous) sont des hétérocycles connus depuis très longtemps¹, mais comme signalé dans le résumé, plutôt longtemps négligées par la chimie traditionnelle, à l'exception de leurs capacités à être impliquées dans des cycloadditions spéciales de Diels et Alder inverses. Cela tient probablement au fait que guère seuls les chimistes organiciens au XX^e siècle avaient travaillé sur ces composés, mais évidemment avec des applications exclusivement en synthèse organique, la préparation de dérivés de type pyridaziniques. En effet, les tétrazines préparées jusque dans les années 70 étaient pour leur quasi-totalité des tétrazines aromatiques issues de la seule synthèse (et ses quelques variantes) connue à l'époque, celle de Pinner¹. La première évocation d'une propriété physicochimique des tétrazines date en fait de 1962² (soit 65 ans après Pinner !) et traite de la fluorescence de la H,H-tétrazine, une molécule faiblement stable (elle se photodégrade excessivement facilement) et donc n'a pas soulevé un intérêt durable. Avant que notre groupe de recherche ne vienne à s'intéresser à la physicochimie de tétrazines particulières, seuls quelques rares travaux, notamment par J. Waluk³ et F. Neugebauer⁴, avaient signalé ces propriétés, mais là encore sans en mettre clairement l'intérêt en valeur, du fait sans doute de l'éloignement disciplinaire de ces équipes.

Depuis le début des années 2000, nous nous sommes intéressés à la préparation et à l'étude de nouvelles tétrazines, mais dans l'objectif spécifique de l'optimisation de leurs propriétés physiques, et tout particulièrement la fluorescence. La Figure 1 ci-dessous donne un éventail de formules, non exhaustif, de ces nouvelles tétrazines substituées essentiellement par des hétéroatomes électroattracteurs, comme typiquement le chlore ou l'oxygène.

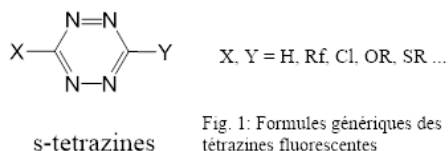


Fig. 1: Formules génériques des tétrazines fluorescentes

2-Nouvelles tétrazines à substituants hétéroatomiques et leurs propriétés étonnantes.

Toutes les tétrazines possèdent une orbitale d'assez haute énergie constituée du mélange des paires de type n portées par les atomes d'azote adjacents ; cette situation est spécifique aux aromatiques possédant dans leur squelette deux (ou trois) atomes d'azote adjacents. Dans le cas particulier des tétrazines, cette orbitale est assez proche en énergie de l'orbitale de type π , constituée des électrons du système aromatique. Cette situation est très exceptionnelle, et le niveau élevé de cette orbitale n « atypique » est responsable du fait que les tétrazines présentent donc un gap faible et de ce fait soient colorées (une molécule aussi peu conjuguée ne devrait pas absorber dans le visible, eg le benzène absorbe dans l'UV assez lointain). Chez les tétrazines, cette caractéristique déjà exceptionnelle se double d'une situation encore plus étonnante. Les tétrazines possédant des propriétés spectroscopiques remarquables sont essentiellement celles portant des substituants assez électrodéficients⁵, car ces derniers ont la propriété de provoquer une inversion des orbitales π et n en tant que HOMO de la tétrazine⁶, une caractéristique réellement très originale (si les substituants sont assez électroattracteurs, l'orbitale n remonte assez haut

pour devenir la HOMO, et ce sont les seuls aromatiques où une telle situation est observée). Nous avons de surcroît observé que cette inversion détermine l'apparition, ou non, de la propriété de l'existence d'une fluorescence avec un rendement exploitable.

La Figure 2 ci-dessous, extraite de la référence 6, montre les orbitales calculées de plusieurs tétrazines. Lorsque l'orbitale n (en rouge) est la HOMO, on observe systématiquement l'apparition de fluorescence (rendements pouvant atteindre 35 %) alors que lorsque la HOMO a un caractère π s, celle-ci n'est pas observée, ou bien avec des rendements très faibles ($< 1\%$).

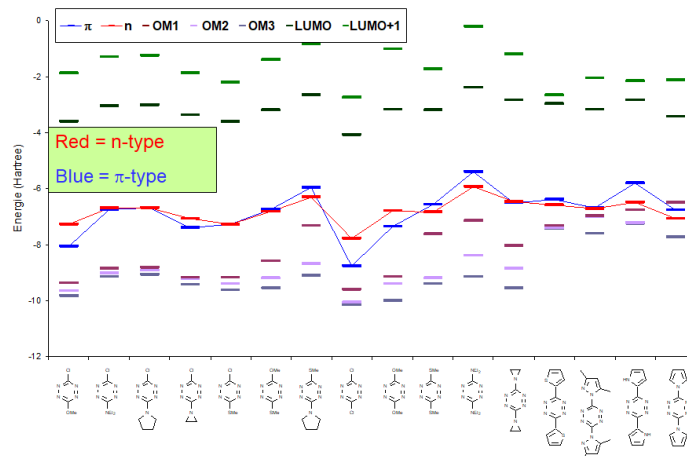


Fig. 2 : Niveau des orbitales calculées (programme Gaussian) avec les types de l'orbitale HOMO et HOMO-1 (rouge = type n, bleu = type π) pour différentes tétrazines intéressantes (formules en dessous). Les autres orbitales (LUMO, autres...) ont été laissées apparaître par souci de clarté.

Même si la raison précise du comportement des tétrazines au niveau de l'existence ou non de la fluorescence n'a jamais pu être définitivement explicitée, la règle découverte ne souffre pas d'exceptions, et les rendements quantiques de fluorescence semblent même augmenter lorsque l'écart entre la HOMO et la HOMO-1 augmente (séparation accrue des niveaux). Cette situation très particulière fait des tétrazines fluorescentes les plus petits fluorophores organiques raisonnablement efficaces connus à ce jour !

3-Activation de la fluorescence

La fluorescence des tétrazines est donc intéressante, mais leur coefficient d'absorption assez faible (cela est lié à la petite taille de la molécule) en fait des molécules faiblement brillantes globalement parlant, puisque la brillance d'une molécule est le produit de son coefficient d'absorption (le nombre de photons absorbés/unité de temps/molécule, ramené à la concentration, qui est le paramètre macroscopique mesurable) multiplié par le rendement quantique (nombre de photons absorbés/nombre de photons émis), soit l'équation :

$$B = \epsilon \times \phi,$$

ϵ représentant le coefficient d'absorption et ϕ le rendement quantique.

Mais on peut considérablement améliorer cette brillance, en attachant à la tétrazine un autre fluorophore, possédant un fort coefficient d'absorption, et capable de transférer efficacement son énergie à la tétrazine. La brillance devient alors :

$$B = \epsilon_{AX} q \times \phi,$$

ϵ_A représentant le coefficient d'absorption de l'antenne, q l'efficacité du transfert (nombre sans dimension entre 0 et 1) et ϕ toujours le rendement d'émission de la tétrazine.

Le rendement du transfert d'énergie pouvant facilement approcher l'unité, on peut multiplier par environ un à deux ordres de grandeur la brillance des tétrazines comme nous avons montré dans les cas de la dyade à droite de la figure 3B, préparée au PPSM, et constituée d'une naphthalimide possédant un coefficient d'absorption d'environ 30000 Lmol⁻¹cm⁻¹ (contre 500 environ pour la tétrazine générique)^{7, 8}.

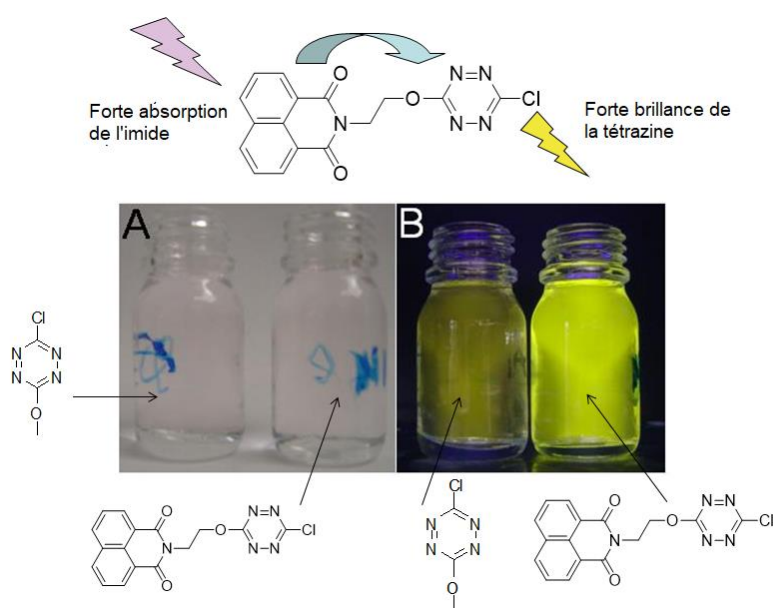


Fig. 3. En haut, mécanisme illustrant le transfert d'énergie dans la tétrazine à antenne. En bas, photos de solutions (5 10⁻⁶ M dans CH₂Cl₂), sous lumière blanche (gauche, on distingue à peine la couleur de la tétrazine à cette dilution) et sous UV stimulant la fluorescence (droite, on voit l'énorme différence entre la tétrazine « générique » et celle à antenne imide).

4-Une application commerciale inattendue, la révélation des empreintes digitales.

La révélation des empreintes digitales directement fluorescentes sans post-traitement n'existait pas il y a 10 ans. Le mode « moderne » le plus employé de révélation (une invention japonaise datant du milieu des années 70) consistait à évaporer du cyanoacrylate de méthyle (connue sous le nom plus communément de « Superglue »), dans des conditions bien contrôlées de température et d'hygrométrie. La colle polymérise au contact de la sueur nucléophile des empreintes, et fournit une image blanche de cette dernière. Cela marche bien souvent, sauf dans le cas de substrats clairs, blancs ou pire, transparents, sur lesquels la colle blanche restait invisible. Il fallait alors recourir aux procédés

« anciens » (poudres colorées, sprays...) mais ils avaient les multiples inconvénients de diminuer la qualité de la révélation, de prendre du temps supplémentaire, et pire encore, de dégrader l'ADN pouvant encore être présent dans les empreintes.

Nous avons mis au point un procédé, utilisant une tétrazine fluorescente particulière⁹, qui peut être mélangée à la colle cyanoacrylate pour obtenir une révélation directement fluorescente des empreintes en une seule étape et exactement dans les mêmes conditions que précédemment¹⁰ (dans ce type d'application, changer ne serait-ce que de manière minimale les conditions de révélation, signifie en général modifier aussi les équipements, et *in fine* le plus souvent renoncer à son exploitation du fait des coûts impliqués). La figure 4 montre la différence entre une révélation classique et celle faite avec notre produit, breveté sous le nom de Lumicyano®. Cette gamme de produits, développée en partenariat avec le laboratoire PPSM et la société Crime Scene Technology (CST), est à l'heure actuelle utilisée par de nombreux laboratoires de police scientifique, en particulier dans toute la France.

La figure 4 montre des exemples de la supériorité du Lumicyano® sur le cyanoacrylate simple utilisé jusqu'alors.

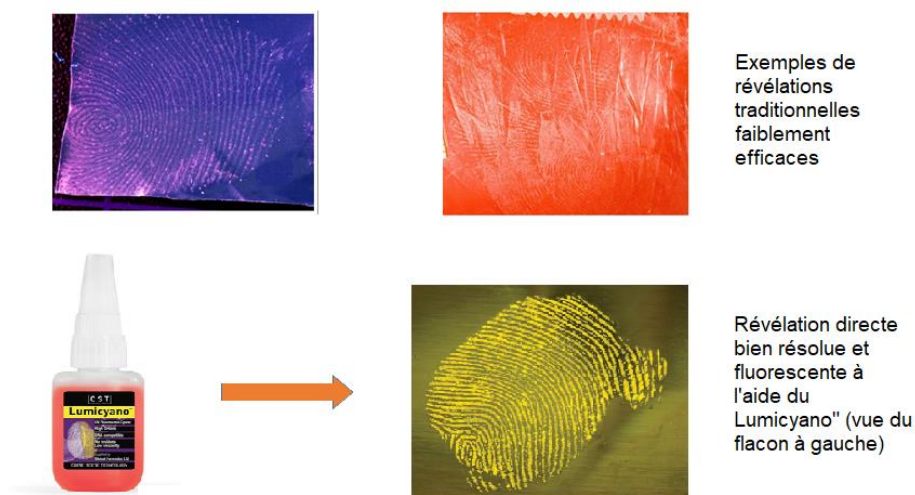


Fig. 4 : Exemples de révélations d'empreintes digitales traditionnelles (au dessus) et avec le Lumicyano® en dessous (avec la représentation du flacon initialement produit, mais qui n'est plus commercialisé sous cette présentation)

5-Conclusion

Dans ce court article, j'ai tenté de montrer, au travers de quelques exemples judicieusement choisis, l'intérêt des tétrazines, à la fois au niveau de leurs caractéristiques physicochimiques uniques, mais aussi d'une application exceptionnelle. Le Lumicyano n'a pu être créé également, que du fait du caractère électrophile des tétrazines (la plupart des colorants classiques sont nucléophiles et réagiraient violemment avec le cyanoacrylate). Pour ne pas faire trop long, je n'ai évidemment pas tout présenté, mais il faut signaler aussi que certaines tétrazines liquides ont été préparées, qui sont actuellement les liquides fluorescents purs les moins visqueux de tous les fluorophores liquides connus en chimie¹¹, avec des applications dans la spectroscopie des interfaces solide-solide et leur lubrification^{12, 13}. D'autres tétrazines ont permis de développer l'étude de l'électrofluorochromisme, c'est-à-dire le contrôle de la

fluorescence par l'état rédox du fluorophore¹⁴. Je pense que de nouvelles applications peuvent encore se manifester, compte tenu des caractéristiques uniques de ces nouveaux fluorophores.

Références

1. A. Pinner, *Justus Liebigs Annalen der Chemie*, 1897, **297**, 221-271.
2. M. Chowdhury and L. Goodman, *The Journal of Chemical Physics*, 1962, **36**, 548-549.
3. J. Spanget-Larsen, E. W. Thulstrup and J. Waluk, *Chemical Physics*, 2000, **254**, 135-149.
4. R. Gleiter, V. Schehlmann, J. Spanget-Larsen, H. Fischer and F. A. Neugebauer, *The Journal of Organic Chemistry*, 1988, **53**, 5756-5762.
5. P. Audebert, F. Miomandre, G. Clavier, M. C. Vernieres, S. Badre and R. Meallet-Renault, *Chemistry-a European Journal*, 2005, **11**, 5667-5673.
6. Y.-H. Gong, F. Miomandre, R. Méallet-Renault, S. Badré, L. Galmiche, J. Tang, P. Audebert and G. Clavier, *European Journal of Organic Chemistry*, 2009, **2009**, 6121-6128.
7. Q. Zhou, P. Audebert, G. Clavier, R. Méallet-Renault, F. Miomandre, Z. Shaukat, T.-T. Vu and J. Tang, *The Journal of Physical Chemistry C*, 2011, **115**, 21899-21906.
8. J. Malinge, C. Allain, A. Brosseau and P. Audebert, *Angewandte Chemie International Edition*, 2012, **51**, 8534-8537.
9. A. Bisotti, C. Allain, J.-L. Georges, F. Guichard, P. Audebert, I. Barbosa and L. Galmiche, *Journal of Forensic Identification*, 2016, **66**, 560.
10. A. Bécue, H. Eldridge and C. Champod, *Forensic science international. Synergy*, 2020, **2**, 442-480.
11. C. Allain, J. Piard, A. Brosseau, M. Han, J. Paquier, T. Marchandier, M. Lequeux, C. Boissière and P. Audebert, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2016, **8**, 19843-19846.
12. M. Paradiz Dominguez, B. Demirkurt, M. Grzelka, D. Bonn, L. Galmiche, P. Audebert and A. M. Brouwer, *Molecules*, 2021, **26**, 6047.
13. F.-C. Hsia, S. Franklin, P. Audebert, A. M. Brouwer, D. Bonn and B. Weber, *Physical Review Research*, 2021, **3**, 043204.
14. P. Audebert and F. Miomandre, *Chemical Science*, 2013, **4**, 575-584.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Recherche sur les violences conjugales : l'urgence d'un modèle d'intervention auprès des AUTEURS

Sandra LEROUX

MCF, droit public (OMIJ)

Commençons par l'intuition. De bon augure pour tout geste de recherche scientifique, quand émerge la proposition, apparemment intelligible dans sa lettre et l'intitulé de cet article, mais foncièrement encore indécise dans son esprit. Une recherche mais laquelle exactement ? Et pourquoi ?

D'emblée :

- Un terrain sensible, marqué du sceau éminemment politique et de son agenda à courte vue, miné souvent par l'hygiaphone de la cause publique, partie du juste combat criant, fortement féministe et encore mal entendu en Justice des victimes, pour aboutir à l'idéal d'une intervention interministérielle (Justice, Santé, Egalité Hommes/femmes, Logement, Action Sociale) à l'attention des auteurs. Pour qu'il n'y ait plus de victimes, ne faudrait-il pas plus d'auteurs ?
- Un terrain proclamé comme vierge – mais le travail social est souvent celui des profondeurs invisibles et le travail de Justice écoute déjà ces inaudibles- qui ouvre des possibles dans la définition même des figures de la vulnérabilité, coutumières de l'intégration rhétorique de la délinquance, dont la France tenterait de proposer un traitement social et qui tenterait de concevoir d'appréhender de concert, et dans le même temps d'accompagnement, les deux faces du même phénomène de dégradation de la conjugalité.
- Un terrain prometteur et ambitieux, à la fois dans la nécessité de la pluralité des approches disciplinaires qui pourraient s'exprimer dans la constitution pérenne d'un Conseil scientifique à obédience nationale, et dans sa possibilité d'être un facteur de légitimation objective du travail à mener auprès des auteurs. Inévitablement, comprendre les mécanismes à l'œuvre dans la commission des violences entre partenaires intimes déconstruit la rupture du processus empathique envers les auteurs et tend à asseoir peu à peu un nouvel espace symbolique partagé, dans une évidence absolue, entre tous les genres et leur fluidité.
- Une recherche à forte utilité sociale avec, en première intention, un enjeu d'indicateurs de résultats -le libellé est clair : lutter contre la récurrence des violences et prévenir leur occurrence, mais qui participe à moyen et long terme d'une politique affichée de lutte, sur tous les fronts, contre toutes les formes de violences, en particulier intrafamiliales, répondant à l'impératif de protection de toutes les populations identifiées comme fragiles.

Un terrain ou une Recherche ? Les deux, en principe. La démarche duale de la recherche-action au sens où son concepteur initial Kurt LEWIN (1890-1947) l'entendait : Dans l'adoption d'une position qui se déplace de la communauté scientifique vers la cité, il s'agit d'accroître les connaissances scientifiques sur tel aspect de nos communautés humaines et s'engager à transformer leur réalité quotidienne ; pratiquer l'investigation doublée d'un vœu civique et politique délibéré.

Le lancement prudent de cette recherche-action, soutenu et financé, dès 2022, par le nouveau Ministère Egalité femmes-hommes dirigé par Isabelle Rome (magistrate puis haut-fonctionnaire du Ministère de la Justice) obéit à une logique d'intervention qu'il convient de contextualiser.

Dans le sillage des orientations prises lors du GRENELLE des violences conjugales qui s'est tenu en France à l'automne 2019, la mise en place, par le Ministère Egalité entre les femmes et les hommes, des

Centres de Prise en Charge des Auteurs de Violences Conjugales (CPCA) constitue sans doute une étape décisive dans le calendrier des mesures gouvernementales.

En effet, la combinaison des législations sur la famille, les violences à l'égard des femmes et enfants, la sécurité intérieure et les réformes du droit pénal ont provoqué une hausse des injonctions et de mesures aussi diverses que la mise en place d'une plate-forme d'écoute permanente et d'un numéro d'appel national (le 3919), le prononcé d'ordonnances de protection, l'éviction du domicile conjugal, l'organisation de stages de citoyenneté pour des violences légères commises une première fois, le recours plus technique au téléphone grave danger ou des bracelets anti-rapprochement, des campagnes d'information en milieu scolaire et de formations auprès des professionnels des traitements des violences (policiers, gendarmes, psychologues), le déploiement dans les territoires, par les directions régionales du Ministère, d'observatoires régionaux des violences sexuelles et sexistes envers les femmes.

Pour autant, rien ne garantit l'opposabilité ni de cette prise de conscience ni la mesure de l'impact réel des actions de lutte, cas après cas, comme en témoignent les chiffres alarmants des décès (féminicides) et des violences accrues lors du confinement de la crise sanitaire (engorgement du numéro d'appel national). Prioritairement centrée sur les victimes, cette mobilisation lente mais irréversible des autorités publiques parlementaires ou gouvernementales, s'est tournée vers les auteurs et ce focus, jusque-là inédit, témoigne du caractère multi-dimensionnel de la lutte contre les violences conjugales. S'il s'agit toujours de protéger les victimes que sont les partenaires intimes et les éventuels enfants témoins, il convient désormais de garantir la cohérence et la continuité des interventions auprès d'auteurs potentiels, présumés ou poursuivis et condamnés par la Justice.

C'est une initiative ministérielle¹ (Elisabeth MORENO, Ministère Egalité femmes hommes), sous forme d'appel à projet lancé à toute forme statutaire et juridique de structure individuelle ou mutualisée intéressée et compétente, qui est à l'origine de la création, en deux vagues successives- novembre 2020 et juin 2021, de 30 Centres de Prise en Charge des Auteurs. Ainsi, l'ensemble du territoire national et d'Outre-Mer (Guyane, Mayotte et la Polynésie française) s'est trouvé maillé de « dispositifs » désignés et devenus visibles en priorité pour la Justice et son Parquet mais également pour toutes les parties prenantes du traitement des violences conjugales et intra-familiales, que sont, principalement, l'hôpital, l'hôpital psychiatrique, la Gendarmerie, la Police, le service d'insertion et de probation et les services sociaux, en l'occurrence ceux relevant de la lutte contre l'exclusion sociale.

Les quatre objectifs, visés par cette offre globale sur le territoire, étaient explicites :

- prévenir la récurrence des violences conjugales ;
- structurer l'émergence d'une offre de prise en charge des auteurs de violences complète et homogène sur l'ensemble du territoire national autour de principes d'actions communs ;
- favoriser la mise en œuvre des mesures d'éviction et des obligations de soins assignées aux auteurs de violences ;

¹ Mesure annoncée par le 1^{er} Ministre le 25 novembre 2019 lors de la clôture du Grenelle

- apporter une écoute et une orientation aux auteurs de violences, aux potentiels auteurs de violences, à leur entourage, voire aux professionnels.

C'est ainsi que, dans le choix très diversifié, opéré par les pouvoirs publics de partenaires de terrain (hôpitaux psychiatriques, associations), l'ARSL (Association de Réinsertion sociale), dont l'objet statutaire est la « lutte contre toute forme d'exclusion », est un acteur local, identifié prioritairement en Nouvelle-Aquitaine, dès le lancement des 16 premiers CPCA et retenue dans le 1^{er} appel à projet ; ceci pour plusieurs raisons :

- Une expertise reconnue en matière d'accompagnement des personnes aux prises avec la Justice à travers un service qui a fait ses preuves depuis plusieurs années « Mots pour Maux » et qui propose des groupes de paroles pour les détenus en milieu carcéral
- La volonté affichée de ne pas créer une énième structure ex nihilo mais plutôt de prendre appui, par la conclusion de conventions partenariales, sur des acteurs locaux et leurs savoirs-faires, dans un périmètre d'action de 6 départements (16,19, 23, 79,86,87) de façon à constituer un Centre de ressources servant de référence et s'appuyant sur une cartographie fiable et pérenne de l'existant
- Une contribution incontournable à la création d'outils d'intervention et d'évaluation mutualisés
- Enfin, l'engagement, dans un premier temps verbal, auprès des interlocuteurs nationaux et régionaux du Ministère de l'Égalité entre les femmes et les hommes, de donner au projet de CPCA une dimension « Recherche » favorisée par l'élection au Conseil d'Administration, en novembre 2020 d'une enseignante-chercheuse, Maître de conférences en droit public, spécialiste des politiques et institutions sociales, autrice de cette contribution !

Par une lettre de Mission de Madame la Ministre Elisabeth MORENO du 5 mai 2021, l'ARSL se voyait en outre, confier la coordination nationale des 30 CPCA institués et acceptait le 26 mai par vote de son Conseil d'Administration, la « feuille de route » tracée.

Pour clore, l'énoncé de la genèse de cette commande publique de plus en plus ambitieuse pour tout un secteur hospitalier et associatif, dont l'ARSL, fortement impliquée, il convient de préciser qu'elle met à disposition de tous ces acteurs, la force pensante et agissante qu'est l'expérimentation. Aussi, comment ne pas saisir l'opportunité de valorisation de ce champ d'intervention, attaché à la défense des droits-créances fondamentaux des personnes, générée par la création de structures, telles que les CPCA, quand la temporalité - 3 ans- de ce déploiement correspondrait à celui de la recherche ?

Si la démarche politique n'est pas radicalement nouvelle et s'apparente à l'élaboration d'une sorte de stratégie nationale, coutumière dans le champ médico-social, prenant appui sur une lisibilité institutionnelle des opérateurs responsables, conduits à rendre des comptes à un concepteur-contrôleur étatique, la recherche-action voulue comme l'observation au participe présent d'un accompagnement « en train de » se faire et de se définir, obéit bel et bien à la logique de l'exploration qui choisit comme tremplin, une forme de réalité, à sa force de proposition. Rien de nouveau non plus sous le soleil de l'expertise scientifique quand elle se crée une dynamique de chercheurs « d'hors », après avoir exploité le filon !

1. La logique d'un premier dispositif de recherche centré sur des nouvelles structures dédiées

C'est une logique-miroir où l'on peut établir facilement un parallèle entre l'objet de recherche, ceux qui le font vivre ou qui l'étudient, dans une première intention de justification d'exister.

L'état de l'art, en matière de recherche sur les violences conjugales, se concentre largement sur les victimes que sont les femmes, dans la très grande majorité des cas et commence à étudier les effets dévastateurs sur les enfants témoins. Encore embryonnaire mais en germe, aspirant à plus de visibilité au-delà de la diffusion de travaux et autres colloques, la Recherche, centrée sur les auteurs émerge progressivement, tant dans l'étude du profil des auteurs²), que dans celle des différents modes d'intervention.

Parallèlement à l'approche psychiatrique (médecins) et à celle de la Justice restaurative (juristes et criminologues), la recherche en direction d'un accompagnement de type médico-social, doit être encouragée et s'inspirer de modèles de prise en charge plus communautaires dans des pays étrangers (type Québec³et Canada.)

Elle pourrait avoir pour objet la problématique suivante : élaborer et promouvoir un modèle d'intervention sociale globale (de l'accompagnement à un éventuel hébergement) auprès des auteurs de violences conjugales pour contribuer à la réduction du RISQUE de passage à l'acte (primo-délinquance et prévention ou récidive et traitement) de violence sur son partenaire.

Pour ce faire, le groupe de chercheurs, constitué ad hoc⁴ , voué à se muer, à moyen terme, en Conseil scientifique national, a proposé un premier projet de recherche, à dominante psycho-sociologique, sur 18 mois, en 2 phases : dresser tout d'abord le portrait des pratiques des CPCA, qui n'ont de nouveau que l'appellation mais qui fédèrent, en réalité, des interventions de longue date, de natures différentes. Une enquête quantitative et qualitative, menée par un trio de professionnels par CPCA, dégagerait, dans un second temps, l'impact auprès des auteurs de violences conjugales, par une hétéro et auto-évaluation (interrogés par un professionnel psychologue à l'aide d'un outil validé au niveau européen (SARA 3⁵) et répondant ensuite eux-mêmes à un questionnaire).

Cette méthodologie inductive a choisi de sélectionner 7 ou 8 CPCA, dits « pilotes » sur la base de critères géographiques, statutaires, psychiatrique et/ou médico-social, avec ancienneté dans la prise en charge

2 (Etude GENVIPART en cours, mandatée, en 2019, à la fois par la Mission Droit et Justice et la région Nouvelle-Aquitaine, menée par le sociologue Éric MACE à Bordeaux

3 Parmi lesquelles : Valérie ROY, Norman Broder : How do practitioners and program managers working with males perpetrators, View IPV : A Quebec study, 29 novembre 2019, Journal of family violence ou encore « Systématisation des savoirs expérientiels des intervenants.e.s du réseau à coeur d'hommes sur les pratiques de responsabilisation des conjoints ayant des comportements violents Valérie Roy et Normand Brodeur, École de travail social et de criminologie de l'Université Laval, 2022

4 Robert COURTOIS, Professeur, département de psychologie, Université de TOURS, Valérie ROY, Professeur travail social et criminologie Université de LAVAL au Québec, Sandra LEROUX, Maitresse de Conférences, Droit public (Université de Limoges, Margaux BOUE, Doctorante en sociologie (Université de Bretagne), Emilie FERNANDEZ, docteure en sociologie Université de Toulouse <https://www.youtube.com/watch?v=KMAFsjcRys>

5 SARA 3 pour Spousal Assault Risk Assessment, KROP and HART, 2015) déployé en France par les chercheurs Robert COURTOIS et Thierry PHAM (Belgique)

de ce type de publics ou totalement nouveaux ; bref, le plus représentatif de la diversité des formules présentes sur le territoire et en Outre-Mer.

A- Le CPCA, un objet pilote dans le paysage social, en voie d'identification

La diversité des porteurs sélectionnés semblait exclure, à l'origine et à première vue, que les CPCA constituent des Centres « Ressources », sorte de plates-formes, interlocuteurs uniques, centralisant les dossiers et les informations (type Maison Départementale pour les personnes en situation de handicap dans la loi du 11 février 2005 ou les Centres de Ressources Autisme, 1^{er} Plan Autisme 2005-2007) mais sans intervention directe car, ceux-ci n'ont pas changé leur savoirs-faires et leurs façons d'agir en devenant CPCA. Ils ne constituent pas non plus des nouveaux centres de prise en charge avec hébergement automatique.

En effet, de nature expérimentale et financés sur 3 ans, ces Centres expriment des réalités différentes ; qu'il s'agisse des cohortes suivies, des profils des auteurs, de la nature des poursuites, sanctions et interventions corrélatives, du degré de partenariat entre les acteurs locaux ou encore de la coordination de parcours en lien avec celui des victimes. Si l'on retrouve automatiquement l'organisation de stages de responsabilisation pour des auteurs poursuivis pour des premiers actes de violences, les formules de prise en charge sont très diversifiées.

Ayant pour objectif premier d'accompagner les juridictions dans la mise en œuvre d'un dispositif dit « innovant », une directive gouvernementale du 26 mai 2021, vient préciser le cadre d'intervention et les modalités de pilotage, dans le respect du champ de compétences de chaque acteur : « Conçu comme un lieu ressource à compétence régionale ou interdépartemental, pouvant prendre en charge de manière globale et pluridisciplinaire, sur la base de volontariat comme dans le cadre de mesures judiciaires ».

Le public-cible visé est donc large : des personnes volontaires orientées par exemple par la plate-forme téléphonique « NE frappez pas »⁶ ou par les intervenants sociaux en Commissariat et en gendarmerie, comme des personnes orientées par les autorités judiciaires et/ou les services pénitentiaires d'insertion et de probation (SPIP), dans le cadre d'alternatives aux poursuites, contrôle judiciaire, composition pénale ou de peines.

B- Une coordination nationale en quête de moyens et de fins fédérateurs

Le nouveau dispositif n'est pas en peine d'instances de veille institutionnelle à tous les niveaux qui semblent être le gage administratif, très français, de lisibilité de l'engagement gouvernemental ainsi que la garantie d'une forme de centralisation de la remontée d'informations. Ainsi, la même directive interne « installe » plusieurs Comités⁷ politiques dont elle précise la composition⁸ et les missions.

A l'échelle plus technique des opérateurs, le souci de fédérer l'ensemble des CPCA s'est traduit par le choix d'une coordination nationale confiée, par convention, à l'ARSL jusqu'à la fin de l'année 2023 avec

6 Numéro d'écoute "Ne frappez pas" (08 019 019 11) à destination des auteurs ou potentiels auteurs, et de leur entourage, porté par la FNACAV

7 Comité régional de priorisation, comité régional et Comité national

8 Autorités judiciaires, sanitaires (ex :Agences Régionales de Santé), sociales (ex :Centres Conduites addictives⁹ gendarmerie , police, sociales

budget correspondant. Il s'agit bien de donner de la visibilité aux actions menées et de faire remonter un consensus des bonnes pratiques et des indicateurs communs de suivi et d'évaluation des résultats des prises en charge en harmonisant les étapes du parcours (nombre et périodicité des rendez-vous sociaux et médicaux, groupes de paroles dédiés, pair-aidance). Cette stratégie d'intervention qui consiste à créer une instance-enveloppe et à en confier le contenu et l'évaluation aux professionnels eux-mêmes, est assez caractéristique du secteur et rend compte de difficultés liées au lancement d'une politique nationale qui prétend, dans un délai-réponse plutôt court à la demande de l'opinion publique, évaluer ses déclinaisons locales. La figure reste libre en quelque sorte, sous réserve que l'opérateur assume les résultats d'une expertise capitalisée mais qui doit faire ses preuves de performance.

C'est tout un défi managérial pour une Association locale qui élargit son périmètre d'action par obédience nationale sur un champ d'expertise où conceptions et pratiques doivent se rejoindre et démontrer une cohérence de « terrain » propre à animer, plus tard, une politique publique interministérielle. Dans le projet de recherche, l'observation des articulations entre le social et le judiciaire doit être de mise et les points de divergence récurrents.

A cet égard, il est sans doute plus question de pluriprofessionnalité que d'interdisciplinarité stricto sensu (au sens où les disciplines potentiellement convoquées sur cette thématique n'ont pas toujours de correspondance en tant qu'acteurs de terrain ; chacun agissant selon sa formation, son cœur de métier, son expertise, voire sa déontologie et se justifiant, tel un maillon d'une chaîne d'interventions, dans sa place dans une réunion de synthèse.

2. La dynamique de l'émergence d'une nouvelle politique publique sociale

Ainsi, cette Recherche se donne pour missions de **renforcer la visibilité du déploiement du dispositif qui promeut une approche globale, d'asseoir la légitimité de l'approche auteurs** de cette politique publique qui passe nécessairement par la production d'indicateurs d'évaluation des actions menées pour justifier l'impact positif sur de nombreux cas et nécessiter, de façon impérieuse, un modèle plus transversal et fortement intégré pour les cas les plus complexes et encore insaisissables dans les cadres existants.

Il aura sans doute pour conséquences la mise en place d'actions de formation, information et sensibilisation en direction des professionnels et de la population. Il participera également du mouvement plus général de défense des droits fondamentaux de tous, d'un accompagnement social global des auteurs en infraction.

De façon inédite, enfin, ce projet de recherche mise sur la synergie des interventions sur les figures de vulnérabilité en prise dans un même face-à-face de violences. La lecture écosystémique du phénomène inacceptable des violences conjugales oblige à étudier l'interdépendance des généalogies des comportements, actions, démarches, états de nécessité de leurs protagonistes. C'est la seule façon aujourd'hui de lutter contre le phénomène récurrent, en agissant, avec équidistance ; en comparant au besoin les points communs de leurs expériences singulières, en réfléchissant en amont sur leur occurrence malheureuse. En protégeant les auteurs contre eux-mêmes par la prévention dans une approche de santé mentale publique, on protège toutes les victimes.

D'autres approches se font ainsi déjà jour pour venir enrichir la première proposition pourvoyeuse de résultats attendus mais aussi de suggestions pour le futur.

A- L'élargissement de la focale

1. Une étude davantage pluridisciplinaire

Lorsque l'on associe, de façon non exhaustive les violences conjugales à des thèmes-clefs tels que : estime de soi, genre, génome familial, maltraitance, conditions de logement, rapport au travail et à la règle, conduites addictives, il ne fait aucun doute que sont convoquées une multitude de disciplines ; au-delà de la lecture de la psychologie et de la sociologie. Riches doivent être les éclairages de toutes les sciences, parmi lesquelles, de l'individu à l'espèce : l'éthologie, la biologie, la sémiologie, les sciences de l'Education, la communication, l'Economie, le Droit, les sciences politiques, l'ethnologie, l'anthropologie, la philosophie.

2. Des auteurs pluriels : la présente recherche se cantonnera, comme les statistiques y invitent, à l'accompagnement et à l'impact sur les auteurs « hommes » envers les femmes victimes. A l'heure des identités plurielles, traduisant le besoin de dépasser la détermination d'un sexe assigné à la naissance par des attributs génitaux, une description plus fine de ce qui se joue dans la violence entre partenaires intimes devrait vite intégrer toutes les variantes de couples constitués.

B- L'apport et la combinaison d'autres méthodologies de recherche complémentaires

Sans extrapoler, il est aisé de se tourner vers d'autres méthodologies complémentaires, très utilisées dans ma sphère anglo-saxonne, déjà à l'œuvre, partiellement ou localement

1. La version de la santé publique

On peut aisément imaginer un suivi de cohortes (qui pourrait être constituées des files actives d'un CPCA, des 3 CPCA de la Nouvelle-aquitaine dans un souci de complémentarité et de comparaison des modes d'intervention) dans une approche EPIDEMIOLOGIQUE, type Santé publique, faisant bien le lien entre la santé mentale et les conditions d'existence du public ciblé. L'étude de cas témoins et la confection d'une enquête d'incidence fondée sur le modèle de prise en charge des CPCA n'ont jamais été, à ce jour, réalisées.

2. L'approche de la gestion des risques

Celle-ci s'appuie sur une cartographie exhaustive et fine des facteurs du risque qui constituent autant de leviers d'action et d'intervention pour les professionnels à l'œuvre, dans le parcours de prise en charge ainsi élaboré ; quelle que soit la porte d'entrée dans celui-ci, volontaire ou contrainte par la Justice. L'approche du traitement du risque présente l'avantage de travailler en prévention, protection, précaution, voire en gestion de Crise, le cas échéant. Il est d'ores et déjà pertinent de croiser plusieurs cartographies sur le passage à l'acte, le féminicide, la rupture de prise en charge des problématiques de l'auteur pour constater la mise en exergue de causes communes déterminantes, parmi des variables personnelles et environnementales, dans la commission des violences.

C- De l'expérimentation à la pérennisation de l'accompagnement

Telle serait la dynamique de toute réponse gouvernementale à une demande sociale parfois retentissante, pétrie d'incertitudes et d'imprévisibilité dans l'acceptabilité du risque produit par ce choix de prise en charge. On peut, tour à tour, craindre une suppression, une absorption par un service socio-judiciaire unifié, voire redouter une pénalisation forcenée des actes de violences conjugales, que n'encouragent guère les chiffres récents et honteux de la surpopulation carcérale. On peut aussi espérer, en prenant garde à la complexification « millefeuilles » à la française, un bon retour sur investissement politique et économique dans la fixation de solutions bien identifiées parce qu'elles expriment toute l'interdépendance des acteurs et l'exigence du tissage permanent de leur partenariat.

La finalisation d'une démarche de consensus⁹ pour un outil d'aide à la décision

Sans préjuger des résultats générés par le portrait des pratiques des CPCA, celles-ci s'inscrivent nécessairement dans un processus itératif que la nature expérimentale de leurs porteurs induit. La recherche-action sous-tend également cette volonté puisqu'elle produit des propositions que le « terrain » active à sa guise et à son rythme.

1. Le nécessaire et difficile travail de coopération avec la Justice qui a ses propres acteurs et logiques d'interventions, ses penseurs reconnus de la science de la probation et de la justice restaurative¹⁰, vise une commune grille de lecture des situations et des comportements à risque, guidant les magistrats, en amont du traitement prescrit et donc au meilleur moment de ce qu'on pourrait appeler, non la capture, mais la « captation » vers l'interlocuteur unifié, labellisé, polycéphale.
2. L'étape décisive de l'opposabilité d'un fondement légal à venir
Ce ne serait pas la première fois, dans le secteur sanitaire et social, que dans le dialogue des faits et droit, des juges et du législateur, les pouvoirs publics aient choisi de temporiser la légalisation des CPCA, attendant qu'ils fassent, en quelque sorte, leurs preuves. Pour autant, ce type d'initiative, même consolidé, porte l'empreinte de la précarité des mandats gouvernementaux, contaminant les prestataires de la mise en œuvre, qui s'en trouvent insécurisés dans leurs propres budgets, paris de recrutement, projets territoriaux, abondements de taille critique de services existants... Seule l'inscription dans la loi, orchestrée par des chercheurs juristes, parachèverait la confection progressive d'une définition et d'un cahier des charges opposable ; entrant, comme tel, dans le champ d'application du droit applicable aux institutions médico-sociales.

Pour conclure, force est d'admettre qu'au-delà de l'approche phénoménologique des sciences humaines, une telle recherche interroge et acte de l'inscription du violent dans le vivant, dans une mise à distance qui suppose tout de même de regarder en face les manifestations du tragique.

9 Référence faite au rapport MARTIN-BLACHAIS de 2017 sur les besoins fondamentaux de l'enfant expérimentant une démarche de consensus entre tous les acteurs (judiciaire, social, médical) de la protection de l'Enfance

10 Martine ERZOG-EVANS, Conférence de consensus sur la prévention de la récidive Programmes et méthodes de prise en charge des personnes condamnées à une peine en milieu ouvert Contribution de Martine Herzog-Evans (université de Reims), 2013

Terminons par une résolution, fidèle à une interprétation téléologique de quelque modèle que ce soit. Elle est salutaire pour les praticiens de la théorie et des concepts, qui s'aventurent sur des terrains convoités ; ballottés qu'ils seraient, d'enjeux en querelles, de statuts en idéologies.

Promettons de ne jamais perdre de vue que chercheurs et professionnels du secteur sanitaire et social marchent côte-à-côte et regardent donc dans la même direction : Œuvrer pour que cesse et se discrédite, dans la lumière de la connaissance, ce geste définitivement inacceptable d'une domination ; celui de la violence envers l'Autre d'une vie, certes privée mais privée surtout de respect et de considération et qui sur le plan conscient et inconscient, rate, à l'évidence, sa désignation.

Références

BONNET François, VIOLENCES CONJUGALES, GENRE ET CRIMINALISATION : SYNTHÈSE DES DÉBATS AMÉRICAINS Presses de Sciences Po | « Revue française de sociologie » 2015/2 vol. 56 | pages 357 à 383

DELAUNAY Marine, Les violences entre partenaires intimes : de l'indignation politique et morale aux pratiques routinières des institutions pénales : une comparaison entre la France et la Suède, Thèse soutenue 12 décembre 2019, Université de Bordeaux

FREMIOT Luc, Non-assistance des femmes en danger, Editions de l'observatoire 2021

LAVERGNE et AL, La COVID-19 et ses impacts sur la violence conjugale et la violence envers les enfants : ce que nous disent la recherche et la pratique, 2020

Documentaires (PODCASTS France Culture)

Les pieds sur terre

Matthieu PALAIN, Des hommes violents (réalisation Cécile LAFFON) 6 épisodes sur 12 hommes, condamnés par la Justice, dans un groupe de paroles à Lyon, 21 novembre 2019

Le temps du débat

25 novembre 2020 : Violences conjugales : les engagements du Grenelle ont-ils été tenus ?

9 juin 2021 : féminicides : à quoi a servi le Grenelle des violences conjugales



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Autopsie d'un récit transmédiatique : *Le Sommet des Dieux* de Patrick Imbert (2021)

Thomas Bauer

Université de Limoges

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/677>

DOI : 10.25965/lji.677

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Introduction

L'analyse des films sportifs constitue un terrain fertile pour comprendre comment se tissent les liens réciproques entre la vie réelle et l'imaginaire¹. Parmi les universitaires ayant travaillé sur ce thème se trouve Seán Crosson qui, avec son livre *Sport and Film* (2013)², a exploré diverses clés de lecture (classe sociale, genre, etc.) et proposé des outils méthodologiques. D'autres ont récemment ouvert des pistes de réflexion complémentaires sur l'identité nationale³, la crédibilité narrative des gestes sportifs⁴, la figuration des athlètes féminines⁵, la représentation des athlètes amérindiens⁶ ou encore la confrontation sociale dans la jeunesse américaine⁷. Ajoutons que les films de sport sont de plus en plus considérés comme des matériaux potentiels et originaux pour mener de nouvelles réflexions sociologiques, historiographiques ou anthropologiques, au même titre que d'autres sources fictionnelles comme la littérature sportive⁸. Le film d'animation *Le Sommet des Dieux* (2021), issu d'un manga, est de ce point de vue un exemple intéressant à étudier ; sa création pouvant être envisagée dans un double va-et-vient entre film et manga avec en creux une recherche historique. Plusieurs sources d'information ont ainsi été explorées pour mener ce travail de (dé)construction transmédiatique⁹ : les éléments historiques sur l'ascension de George Mallory et Andrew Irvine, les jeux de comparaison avec d'autres

1 Julien Camy & Gérard Camy, *Sport et cinéma*, Paris, Amphora, 2021.

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

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

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

5 Jayne Caudwell, "*Girlfight* and *Bend it Like Beckham*: Screening Women, Sport, and Sexuality", *Journal of Lesbian Studies* 13, no. 3, 2009, p. 255-271.

6 Thomas Bauer, Fabrice Delsahut, Maxence P. Leconte, "Sporting Indianness: challenging the cinematic representation of Native American athletes", *Sport in Society* 24, no. 5, 2020, p. 731-747.

7 Thomas Bauer, Maxence P. Leconte, "In the Shoes of Dave Blase: Cycling, Cinema, and Social Class in Peter Yates' *Breaking Away*", *The International Journal of the History of Sport* 37, no. 10, 2020, p. 838-852.

8 Andy Harvey, "Team Work? Using Sporting Fiction as an Historical Archive and Source of Developing Theoretical Approaches to Sport History", *The International Journal of the History of Sport* 30, no. 2, 2013, p. 131-144.

9 Fabienne Denoual, « La narration transmédiatique : vers un continuum entre fiction et réalité », *Fabula / Les colloques*, Création, intermédialité, dispositif, 2017 <http://www.fabula.org/colloques/document4421.php> (page consultée le 29 janvier 2022).

œuvres, les critiques ayant suivi la sortie du film dans la presse généraliste et spécialisée, les témoignages du réalisateur livrés ici ou là lors de la promotion du film¹⁰.

Un récit d'aventure transmédiatique

Le manga en bande dessinée *Le Sommet des Dieux* s'est fait une place au panthéon de la littérature de montagne, se rangeant dans les bibliothèques aux côtés d'ouvrages comme *Premier de Cordée* de Roger Frison-Roche (1942), *À la conquête de l'Everest* de Sir John Hunt (1954) ou encore *La Montagne nue* de Reinhold Meissner (2002). Il raconte l'histoire du photo-reporter japonais Fukamachi qui croit reconnaître à Katmandou Habu Jôji, un grand alpiniste que l'on pensait disparu depuis des années, et qui part à sa recherche. Habu Jôji semble tenir entre ses mains un appareil photo qui pourrait changer l'histoire de l'alpinisme. Ce petit Kodak Vest Pocket serait en effet celui de George Mallory et Andrew Irvine, les premiers hommes à avoir peut-être atteint le sommet de l'Everest le 8 juin 1924.

C'est donc une triple histoire enchâssée qui se joue dans ce récit d'aventure : celle de l'aventurier britannique George Mallory qui a disparu en 1924, celle de l'alpiniste Habu Jôji qui se lance sans cesse des défis dans un jeu perpétuel avec la mort, et celle du photo-reporter Fukamachi qui mène l'enquête tout en cherchant lui-même à donner un sens à sa vie. Ce dernier est d'ailleurs un autoportrait de l'auteur qui a dû lui aussi mener l'enquête, se documenter, lire des biographies et des revues spécialisées. C'est bien au cœur de ces trois destins croisés que se construit le nœud narratif, une quête existentielle dans la confrontation aux montagnes majestueuses du Tibet, et qui est parfaitement réussie dans le film d'animation de Patrick Imbert.

La sortie de ce film d'animation n'est en fin de compte que le résultat d'une construction en plusieurs étapes qu'il convient ici de retracer. En effet, *Le Sommet des dieux*, trouve ses origines dans un roman-fleuve écrit par Baku Yumemakura et paru au Japon entre 1993 et 1997. Cet auteur japonais, spécialiste de science-fiction et d'aventure, a mis une quinzaine d'années pour l'écrire, tout simplement parce qu'il a attendu longtemps l'élément déclencheur ; élément qu'il a trouvé en découvrant le mystère de la disparition de George Mallory et Andrew Irvine lors de son séjour sur les sentiers de l'Everest en 1993. Se projetant dans le personnage de Fukamachi, il a rapidement été obsédé par la recherche de l'appareil photo en se disant qu'il devait contenir la clé de l'énigme.

Son adaptation en manga, signée Jirô Taniguchi et couronnée en France par le Prix du dessin du Festival d'Angoulême 2005 – et qui a conquis rapidement un large public – commence au printemps 1999. Baku Yumemakura qui avait déjà collaboré avec le mangaka pour *Garôden* – un roman dans lequel il est question d'arts martiaux – proposa à Jirô Taniguchi d'adapter son récit. Il savait qu'il était capable de représenter la masse imposante de la montagne, les détails qui rendent véridique l'alpinisme ou encore les postures des personnages. D'ailleurs, une vraie collaboration s'est engagée entre le romancier et le mangaka, les deux hommes ayant même décidé de voyager ensemble à Katmandou pour s'imprégner de l'atmosphère de la capitale népalaise.

¹⁰ Voir l'ouvrage précieux de Thomas Vennin, *Autour du Sommet des Dieux*, Guérin Chamonix, Éditions Paulsen, 2021.

Le manga est ensuite adapté en un long métrage d'animation. Un projet qui a pris naissance dès 2012 avec l'envoi d'une lettre touchante du producteur de cinéma français Jean-Charles Ostero à Jirô Taniguchi : « Cher Monsieur Taniguchi, c'est avec une certaine émotion que je vous adresse ce courrier compte tenu de l'enjeu personnel et très intime que représente pour moi l'envie d'adapter pour le cinéma animé *Le Sommet des Dieux*, cette œuvre magnifique que votre talent et celui de Baku Yumemakura ont porté vers les sommets du genre »¹¹. Passionné de montagne, captivé par l'esprit du manga, le producteur français savait qu'il tenait un beau projet. Le mangaka, sensible aux mots employés par Jean-Charles Ostero, donna son accord officiel en 2013. Les choses sérieuses commencèrent alors pour ce dernier : chercher un financement, constituer une équipe, écrire un scénario, trouver un réalisateur, etc. Et au printemps 2019, l'histoire fut enfin prête, avec le regret toutefois que son auteur, Jirô Taniguchi, soit parti trop tôt¹².

L'histoire de George Mallory et Andrew Irvine

Si l'intrigue du film se passe essentiellement dans les années 1990, quand Fukamachi part à la recherche de Habu Jôji, le prologue renvoie le spectateur en 1924, à l'origine de l'énigme qui va conduire le photo-reporter dans une enquête sensationnelle et existentielle.

L'affaire George Mallory, il convient de le rappeler, est l'un des immenses points d'interrogation de l'histoire de l'alpinisme, une histoire marquée par l'esprit de conquête d'un petit cercle d'initiés, mais également par une concurrence entre les pays. Si le sport est depuis fort longtemps un instrument de politique internationale, le monde de la montagne a très tôt été un terrain de jeu pour les Britanniques, notamment pour les membres du célèbre *Alpine Club*. George Mallory, né le 18 juin 1886, jeune alpiniste chevronné et revenu vivant du front de 1914, devient *de facto*, lors des premières conquêtes himalayennes, l'un des porte-drapeaux de la délégation britannique. Ajoutons que la célébrité de Mallory a été accentuée par un événement survenu en 1913 où, lors d'une tournée aux États-Unis, il avait précisé être attiré par l'Everest tout simplement parce qu'il était « là ». Reprise dans l'édition du *New York Times* du 18 mars 1923, dans un article intitulé "Climbing Mount Everest is work for supermen", la formule est depuis entrée dans l'imaginaire collectif. C'est le 8 juin 1924, après trois expéditions inachevées, que Mallory prend la direction du sommet de l'Everest¹³, en compagnie du génie mécanicien et bel athlète Andrew Irvine. Ce jour-là, où ils sont près du but, tout est permis de croire qu'ils réussiront. Alors que les deux hommes progressent vers les cimes, un autre membre de l'expédition resté en contrebas, le géologue Noel Odell, les aperçoit lors d'une éclaircie approcher de la base de la pyramide finale, puis les observe disparaître à nouveau dans les nuages. C'est le dernier regard qu'il posa sur eux¹⁴.

11 Extrait de la lettre du 11 décembre 2012, cité par Thomas Vennin dans son ouvrage (p. 21).

12 Jirô Taniguchi s'est éteint le 11 février 2017 à l'âge de 69 ans, à Tokyo, des suites d'une longue maladie.

13 Le nom de cette montagne a été proposé par le savant britannique Andrew Waugh qui prit la succession de George Everest, l'homme qui a découvert cette montagne la plus haute du monde dans les années 1850 grâce des appareils de mesure appelés les théodolites. L'Everest se situe dans l'Himalaya, à cheval entre le Tibet et le Népal.

14 Avec le recul, Odell ne pourra pas confirmer avec certitude avoir vu les deux hommes après l'ascension du Deuxième Ressaut, situé à 8 600 mètres d'altitude et constituant un véritable mur de 30 mètres de haut.

Ces derniers ne reviendront jamais, laissant une question en suspens : ont-ils atteint le sommet avant de mourir ? Personne ne peut ni l'affirmer ni le contester avec certitude. Il faudra attendre 1979 pour qu'une partie du mystère commence à s'éclaircir. Au cours d'une ascension, un alpiniste chinois confia à un collègue japonais, malgré la barrière de la langue, qu'il aperçut le corps d'un « vieil Anglais mort »¹⁵ qui pourrait bien être celui d'Andrew Irvine ou de George Mallory. Hélas, dès le lendemain, avant d'avoir pu donner de plus amples précisions, cet alpiniste chinois fut emporté par une avalanche. L'information suffit cependant à délimiter une zone de recherche. Plusieurs expéditions furent alors organisées mais ce n'est qu'en 1999 que l'enquête avance : l'alpiniste américain Conrad Anker découvre, dans une pente, un pied nu, talon dressé vers le haut. C'est celui de George Mallory, dont le cadavre a été conservé dans les neiges éternelles. En observant la dépouille, l'équipe d'alpinistes présente ce jour-là réalise que le tibia et le péroné de la jambe droite sont cassés et que la corde brisée autour de la taille du corps gelé corrobore l'hypothèse d'une chute. Ils réalisent cependant qu'il manque deux objets particulièrement importants : la photographie de Ruth, sa femme, qu'il avait promis de laisser au sommet de l'Everest, et surtout son appareil photo.

Lors de cette ascension, George Mallory s'était vu confier par un de ses collègues, Howard Somervell, un Kodak Vest Pocket, un appareil photographique commercialisé entre 1912 et 1926 par la firme américaine, devenu immédiatement populaire pour sa robustesse, son prix abordable et sa maniabilité. Selon ses techniciens, le Vest Pocket posséderait un atout primordial, celui d'avoir pu conserver intactes les prises de vue de l'ascension de Mallory : « [...] malgré le froid et l'usure du temps, il est fort possible que la pellicule soit exploitable »¹⁶. Il « suffirait » ainsi que Mallory et Irvine aient pris une photo du point final de leur ascension pour faire d'eux les premiers êtres humains à avoir atteint le plus haut sommet au monde. Si les deux hommes sont déjà inscrits au panthéon de l'histoire de l'alpinisme, cet exploit viendrait parachever leur légende. De l'avis d'alpinistes chevronnés ayant réalisé l'ascension, malgré tout le talent de Mallory, il est toutefois peu probable que les deux hommes soient parvenus à leur but. Les quelques indices retrouvés, à l'exemple de la blessure et de la corde rompue, tendent à prouver que Mallory a été contraint d'opérer un demi-tour avant d'avoir atteint les 8 849 mètres.

L'hypothèse la plus probable serait que les deux alpinistes aient fait demi-tour au pied du deuxième ressaut. Face à l'obscurité grandissante et au mauvais temps, ils auraient pris la décision de retourner sur leurs pas. Mallory aurait chuté, sa corde se serait brisée et il serait mort sur le coup. Quant à Irvine, désormais seul, il aurait continué un peu avant de glisser à son tour et, blessé, de s'immobiliser dans un recoin de la paroi montagneuse. La noirceur de son visage, identifié par un alpiniste ayant aperçu son corps, suppose qu'il aurait été victime de gelures et serait donc, de façon probable, mort de froid. Mais en l'absence du Kodak Vest Pocket, le doute reste permis.

¹⁵ Thomas Vennin, *op. cit.*, p. 137.

¹⁶ *Ibid.*, p. 138.

La fabrique de l'extrême

Si le caractère transmédiateur¹⁷ du récit basé sur l'histoire de Georges Mallory et Andrew Irvine est à retenir, les qualités esthétiques et narratives du film sont également mises en avant par plusieurs observateurs. Tracy Brown, dans son article pour le *Los Angeles Times* du 23 novembre 2021, souligne par exemple la puissance artistique de ce film d'animation, « proche de la peinture », et qui n'a « rien à envier aux prises de vues réelles (live-action) d'autres films » concernant la représentation des paysages de haute montagne. La critique met en avant l'aptitude du film à engager le spectateur au travers de véritables impressions sensorielles.

Patrick Imbert et ses collaborateurs sont parvenus à dessiner l'essence de l'alpinisme, à décrire le lien exceptionnel qui unit l'homme à la montagne, à rendre intelligible cette quête de quelques hommes hors-normes. S'il y a beaucoup de séquences montrant des montagnes, c'est afin de créer une atmosphère de grandeur, d'immensité, de pureté et de violence. Une identité visuelle du film imposant une certaine démesure aux silhouettes humaines qui, à plus de 8 000 mètres d'altitude et dans l'immensité glacée, ne représentent pas grand-chose. En déconstruisant dans les différentes étapes de fabrication, on comprend que l'équipe du film a su trouver un juste équilibre entre les scènes urbaines, totalement désacralisées, et les scènes sportives en environnement naturel, foncièrement métaphysiques. Au-delà de la beauté des images, la qualité du film d'animation tient aussi au réalisme des scènes dessinées. Pour ce faire, l'équipe du film s'est entourée de spécialistes français de l'alpinisme pour tenter de maîtriser les principales techniques. Ils ont ainsi fait appel au Club Alpin, dont les locaux sont proches du studio de fabrication, notamment à Charlie Van der Elst. Ce dernier a non seulement expliqué l'évolution historique du matériel, mais a également mimé certaines situations avec son propre équipement. Ce n'est pas donc pas un hasard si la scène-clé de l'ascension des Grandes Jorasses par Habu Jôji est d'un réalisme incroyable.

Afin de renforcer le caractère dramatique de certains passages, l'équipe a également travaillé sur un choix pertinent d'éléments sonores et musicaux. Rappelons qu'il y a d'excellents bruitages tout au long du film : le vent, les coups de piolet dans la neige, la corde, le bruit des pas dans la neige... Ces apports permettent de plonger le spectateur dans l'ampleur des efforts et des risques encourus par les alpinistes.

À l'origine était *Le Mont analogue*

La question qui traverse ce récit d'aventure est explicite : pour quelle raison un alpiniste cherche toujours à aller plus haut, à être le premier, au point de risquer sa vie ? Les premiers mots du film sont d'ailleurs bien choisis et plongent d'emblée les spectateurs, sur fond de bruitage venteux et angoissant, dans cette interrogation profondément existentielle : « Marcher, grimper, grimper encore, toujours plus haut, et après ? ».

À vrai dire, *Le Sommet des Dieux* trouve ses racines, et c'est l'origine même du projet de l'écrivain Baku Yumemakura, dans une référence littéraire française : *Le Mont Analogue* de René Daumal (1952). En

¹⁷ Henry Jenkins, Henry, *La Culture de la convergence. Des médias au transmédia*, Paris, Armand Colin/Institut national de l'audiovisuel, 2013.

effet, si la découverte de l'histoire de Mallory et Irvine a été l'élément déclencheur de l'écriture, la première source d'inspiration fut ce « roman d'aventures alpines, non euclidiennes et symboliquement authentiques » tel que René Daumal l'a présenté lui-même. Avec ce récit initiatique, le romancier emmène le lecteur dans une expédition improbable à la recherche d'un mont inconnu ayant échappé à l'exploration des hommes, car caché par la courbure de la Terre. Cette expédition est emmenée par un professeur d'alpinisme, un certain Pierre Sogol – anagramme de Logos –, qui parvient à fédérer plusieurs compagnons de voyage afin de découvrir cette montagne au sommet inaccessible. On comprend qu'il ne s'agit pas d'un voyage réel, physique, mais bien imaginaire, symbolique, et qui doit permettre à l'homme de s'élever spirituellement.

René Daumal croyait à une multitude d'univers parallèles et non à la géométrie euclidienne. Il faut dire qu'il collabora, en 1927, à la revue *Le Grand Jeu* avec Roger Gilbert-Lecomte et Roger Vailland, puis avec une quinzaine d'autres jeunes écrivains proches des surréalistes – le petit groupe parviendra à publier trois numéros entre 1928 et 1929. L'objectif de leurs travaux était d'éprouver les idées avant de les approuver. Ces jeunes gens mirent en œuvre une métaphysique expérimentale où l'on séparait le monde du visible de l'invisible. Pour y parvenir, ils avaient pour principe fondateur de préserver la source vitale de la pensée infantile, et pratiquaient certains rites mortuaires tels l'usage de drogues violentes, en référence sans doute aux *Paradis artificiels* de Baudelaire. Cela étant dit, l'élément biographique le plus significatif pour expliquer l'écriture du *Mont analogue* se situe en 1930, année de sa rencontre avec un professeur de Jiu Jitsu : Alexandre de Salzman. Ce dernier va, en effet, l'initier aux théories du célèbre Gurdjieff avant de le lui présenter officiellement en 1938. Sorte de sage ou de gourou, ce dernier a laissé plusieurs écrits spirituels à succès et une figure géométrique originale composée, entre autres, d'un cercle et d'un triangle en son centre : l'Ennéagramme¹⁸. Très influencé par Gurdjieff, René Daumal explore ces voies de l'éveil comme on peut le lire aux pages 38 et 39 de son roman : « Je ne puis dire, donc, que j'ai peur de la mort. Non pas de ce qu'on *imagine* de la mort, car cette peur est elle-même imaginaire. Non pas de ma mort dont la date sera consignée dans les registres de l'état civil. Mais de cette mort que je subis à chaque instant, de la mort de cette voix qui, du fond de mon enfance, à moi aussi, interroge : "que suis-je ?" et que tout, en nous et autour de nous, semble agencé pour étouffer encore et toujours. Quand cette voix ne parle pas souvent ! – je suis une carcasse vide, un cadavre agité. J'ai peur qu'un jour elle ne se taise à jamais ; ou qu'elle ne se réveille trop tard [...] : quand on se réveille, on est mort ». La montagne est le réceptacle des personnes éveillées et le mont analogue est une illustration de cette recherche d'une humanité supérieure.

À sa mort en 1944, René Daumal laisse son roman inachevé – il n'aura écrit que cinq chapitres sur les sept initialement prévus – et ses lecteurs resteront face au mystère : Pierre Sogol et ses compagnons ont-ils atteint le sommet du Mont Analogue ? Finalement, lorsque Baku Yumemakura a découvert l'histoire inachevée de l'aventure de Mallory et Irvine, celle-ci a inévitablement fait écho au récit inachevé de René Daumal, laissant alors la place au champ des possibles.

18 Il s'agit d'une modélisation de la personnalité humaine en neuf configurations.

Conclusion

Cet article poursuivait deux objectifs : engager un travail de (dé)construction du récit d'aventure transmédiatique et proposer une réflexion sur le dépassement de soi, les pratiques de l'extrême et la passion du risque. Force est de constater que l'alpinisme apparaît comme un sport particulièrement initiatique et explique sans doute pourquoi le réalisateur Patrick Imbert a choisi d'emmener les spectateurs entre ces deux voies : « intimiste et spectaculaire »¹⁹. On retrouve un caractère profondément humain et universel dans les rapports de l'homme à la nature – un topos régulier dans la culture manga au Japon. Si l'œuvre de Jiro Tanigushi est profondément marquée par les grands espaces, notamment des montagnes impressionnantes (*K*, 1988) et merveilleuses (*La Montagne magique*, 2007), il en est de même pour celle de Miyasaki qui, en référence à des considérations écologiques²⁰, puise sa richesse créative dans la forêt (*Princesse Mononoke*, 1997), la montagne (*Le Château Ambulant*, 2004) ou la mer (*Ponyo sur la falaise*, 2008). Cela dit, dans *Le Sommet des dieux*, la thématique de la confrontation à la nature est davantage mise en exergue avec une problématique sous-jacente : l'homme peut-il contrôler le monde qui l'entoure, grâce aux progrès scientifiques et technologiques, ou doit-il accepter la supériorité du monde qui l'entoure ? Une question qui trouve toute sa pertinence au regard des catastrophes naturelles voire nucléaires rencontrées par un pays comme le Japon. C'est peut-être ce sentiment contemplatif et méditatif qui affleure dans l'œuvre de Tanigushi à travers la description de *L'Homme qui marche*, de *L'Homme qui dessine* et ici, dans *Le Sommet des Dieux*, de l'homme qui grimpe.



19 Thomas Vennin, *op. cit.*, p. 30.

20 Raphaël Colson & Gaël Régner, *Hayao Miyazaki : cartographie d'un univers*, Montélimar, Les moutons électriques, 2010.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Professorat des écoles : quelle pluridisciplinarité dans le métier, quelle pluridisciplinarité dans la formation ?

Professorship in primary schools: multidisciplinary in the profession, multidisciplinary in the training programs?

Jean-Pierre BOREL

Université de Limoges - FST

borel@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/678>

DOI : 10.25965/lji.678

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : L'université de Limoges a ouvert en septembre 2021, dans le cadre d'un programme national, une formation, portée par la Faculté des Sciences et Techniques et en collaboration avec le lycée Turgot de Limoges, pour une meilleure formation des futurs professeurs des écoles. Il s'agit d'un métier qui, en France, touche à toutes les disciplines. Cette nouvelle formation réunit toutes les disciplines liées au métier. Il s'agit là d'un réel progrès par rapport à des licences par essence mono disciplinaires. Cependant, il y a encore du chemin à parcourir pour arriver à un caractère réellement pluridisciplinaire de la formation, et du métier !

Mots clés : Professorat des écoles, formation

Abstract: As part of a national program, University of Limoges opened in September 2021 a bachelor training program, carried out by the Faculty of Science and Technology and in collaboration with the High School Turgot in Limoges, for a better training for future primary school teachers. This is a real step forward compared to usual Bachelor which are essentially based on a single academic discipline. However, there is still a long way to go to achieve a truly multidisciplinary nature of training, and also for the profession !

Keywords: Primary school, professorship, formation

Introduction

Le constat d'une dégradation des résultats obtenus à l'école primaire en France est fait, et la place du pays dans les enquêtes internationales continue à se dégrader. Une action récente conjointe des deux ministères (enseignement scolaire et enseignement supérieur) a été de proposer une nouvelle manière de former (une partie des) les futurs professeurs des écoles. Cela a concerné le bloc master, puis les licences. L'avancée en licence consiste à proposer une formation nettement plus large pour ce qui est des disciplines enseignées, par opposition aux classiques licences essentiellement mono-disciplinaires. Cela rejoint le futur métier de l'enseignant en primaire, qui doit prendre en charge l'ensemble des disciplines, du moins en France car d'autres pays ont fait d'autres choix.

1. La situation actuelle en France

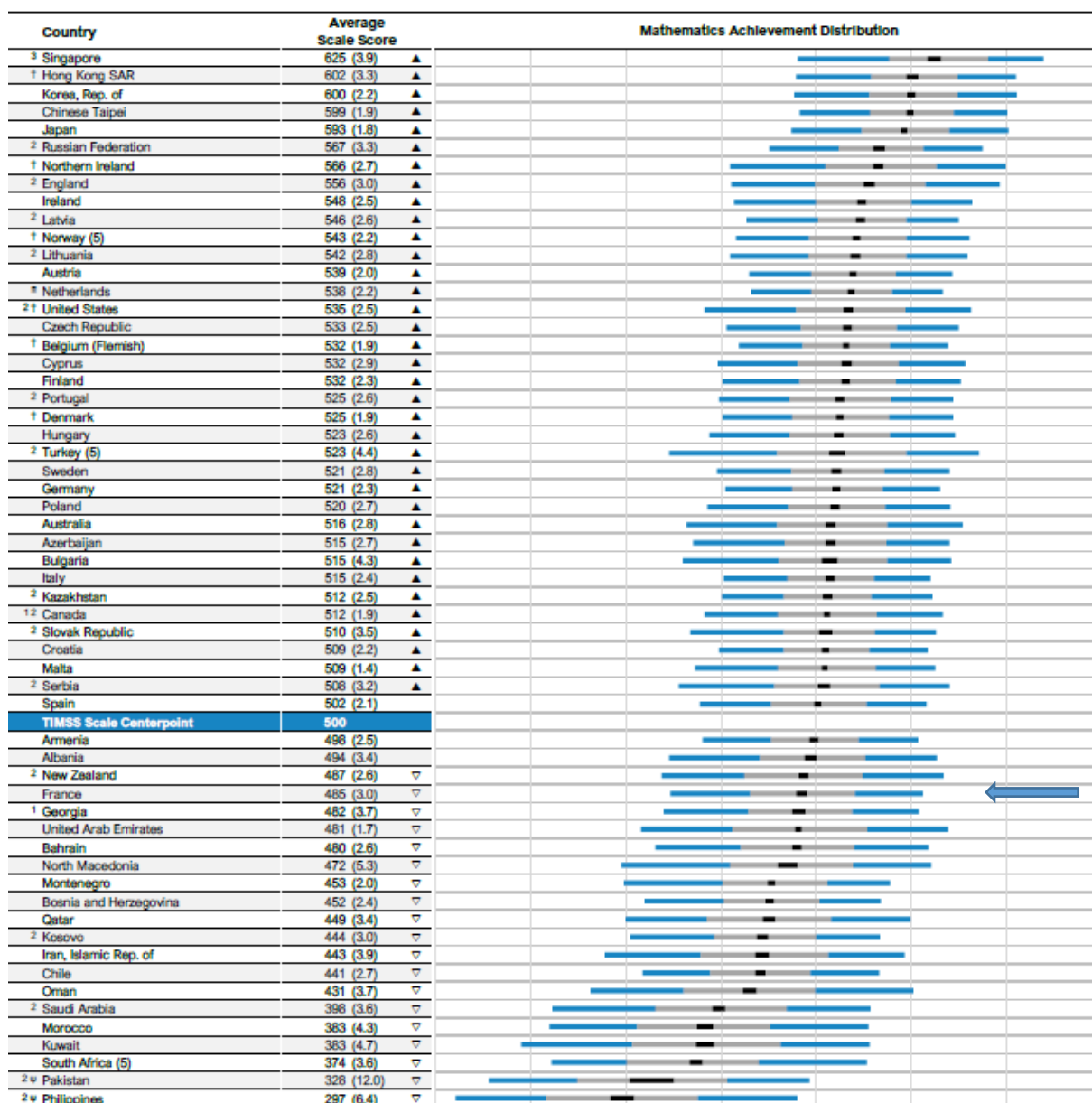
L'école primaire représente huit années de formation, maintenant obligatoires. L'enfant y entre à trois ans, en sort à onze ans. C'est presque quatre fois plus ! Aucun autre tronçon du système scolaire et universitaire ne connaît un tel écart. Ces huit années sont découpées en deux : école maternelle puis école élémentaire. S'y superposent, au niveau des apprentissages, des cycles : cycle 1 des apprentissages premiers (petite / moyenne / grande sections) puis cycle 2 des apprentissages fondamentaux (CP – CE1 – CE2) enfin cycle 3 de consolidation (CM1 – CM2 – 6^{ème}).

Il y a donc une très grande variété des apprentissages, en termes de contenu et de niveau, mais aussi en terme de discipline même si ce mot est peu adapté pour l'école, ou en tout cas ne doit pas être vu dans son sens universitaire. Néanmoins, le résumé « lire – écrire – compter » est souvent fait, qui pourrait laisser croire que deux tiers du temps sont consacrés à la langue, un tiers au calcul, et le reste (!) aux autres.

Il s'agit donc d'une formation dans un très large spectre « disciplinaire », et cependant elle est confiée chaque année à un unique enseignant, à quelques exceptions très mineures près.

Ces enseignants – appelés alors instituteurs – étaient il y a trente ans prérecrutés dans les écoles normales après la classe de troisième. La situation a radicalement changé depuis, puisque le professeur des écoles (PE, nouveau nom officiel de ceux qui sont restés en fait les « instits ») est maintenant recruté sur un concours (le CRPE, concours de recrutement des professeurs des écoles) dont la place varie régulièrement, et doit parallèlement être titulaire d'un master. En pratique, on constate une forte proportion de PE issus de la licence mention Sciences de l'éducation, et une place importante du Meef (Master « Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation ») 1^{er} degré, organisé au sein des Inspé (institut nationale supérieur pour le professorat et l'éducation). La proportion des PE ayant un socle de formation scientifique est inférieure à 10 %.

Figure 1 : score en mathématiques / CM1 / Timss 2019



rapport Timss 2019

Les enquêtes internationales, et principalement Timss¹ (trends in international mathematics and science study) montrent qu'en mathématiques et en sciences² la situation de la France est mauvaise, surtout en comparaison avec les grands pays comparables, et qu'elle continue à se dégrader. À l'exception des pays des Balkans, la France est dernière en Europe... Le tableau ci-dessus montre la situation en mathématiques, elle est analogue en sciences expérimentales. Et dans les deux cas, la place

¹ Tous les quatre ans, les dernières remontent à 2015 et 2019. Ces enquêtes sont réalisées à deux niveaux, CM1 et 4^{ème}, au collège donc.

² Noter que dans la terminologie internationale, Sciences signifie « sciences expérimentales » et que les Mathématiques sont un champ distinct.

de la France baisse entre 2015 et 2019. Pourtant les volumes horaires réels, déclarés comme réalisés dans les écoles, sont nettement supérieurs en France, comme le montre le constat fait en 2015 :

Figure 2 : volumes horaires annuels en mathématiques (moyenne en élémentaire)

(année 2015)	France	Europe	Monde
Mathématiques	193 h	158 h	157 h
Sciences	56 h	67 h	76 h

Tableau issu des données Timms 2015

Le constat est exactement le même en 4^{ème}. Noter qu'en France, pays de Descartes, le rapport de volume entre mathématiques et sciences expérimentales est très différent des moyennes internationales, au profit des mathématiques.

2. Le projet national PPPE : programme préparatoire au professorat des écoles

Il s'agit d'un programme national, lancé fin 2020 à l'initiative des deux ministères en charge de l'enseignement scolaire (MENJS) et de l'enseignement supérieur (MESRI). Deux vagues de projets ont été retenus, d'une vingtaine chacun, pour le premier avec ouverture à la rentrée 2020 (Limoges en fait partie), pour le second avec ouverture à la rentrée 2021. L'objectif est d'assurer une forte formation pluridisciplinaire importante, dans l'objectif du métier de PE, pour environ 15 % du flux de recrutement annuel.

Ces licences sont proposées comme parcours au sein de licences existantes, en prenant la moitié de leur volume, et en y ajoutant pour l'autre moitié un programme adapté au futur métier de PE, et reprenant l'ensemble des disciplines de base enseignées au lycée.

Cette seconde moitié est confiée à un lycée, qui est donc partenaire de l'université, qui bien entendu délivre le diplôme de licence, et en assure la première moitié. Une évolution en biseau est prévue (plus de lycée au début, moins à la fin). L'Éducation nationale a construit des éléments de cadrage, assez précis mais annoncés comme indicatifs, pour chaque discipline, et pour la seule partie lycée.

Au-delà de la partie pluridisciplinaire, la préparation au futur métier doit être confortée par un accompagnement individualisé, des cycles de conférences, et des stages en milieu scolaire, un par année d'une durée globale de 3 à 4 semaines, dont le dernier en troisième année à l'étranger.

Initialement présentés comme des classes préparatoires, les PPPE sont finalement identifiés dans Parcoursup séparément de leur licence support, mais n'y figurent pas comme formation sélective. L'objectif est, pour chaque PPPE, d'avoir une « classe » de 25 à 40 étudiants.

3. La déclinaison choisie à Limoges

3.1. Présentation du PPPE FST – lycée Turgot

Bien que retenu dès la première vague, le projet de Limoges a des caractéristiques très particulières, en limite de l'appel à projet. Ces caractéristiques proviennent de l'existence préalable, à la faculté des Sciences et techniques, d'une formation avec le même objectif professionnel et le même caractère

pluridisciplinaire concentrée sur la troisième année de licence, en licence Sciences et technologies après avoir été une sorte de parcours commun à toutes les licences de la faculté.

Cette licence, identifiée sur Parcoursup depuis quatre ans, diplômait régulièrement entre 20 et 25 étudiants. La quasi-totalité poursuit en Meef 1^{er} degré, donc dans le même projet professionnel.

L'originalité de notre projet est de totalement imbriquer les deux moitiés prévues dans le modèle, pour construire dans toutes les disciplines, et donc dans toutes les Unités d'Enseignement, des équipes enseignantes mixtes entre collègues de l'université et collègues du lycée. Le lycée partenaire est le lycée Turgot, à Limoges, choisi à la fois pour ses proximités thématiques (le lycée a une forte composante Sciences et techniques au travers de ses BTS) et géographique.

On constate cette année :

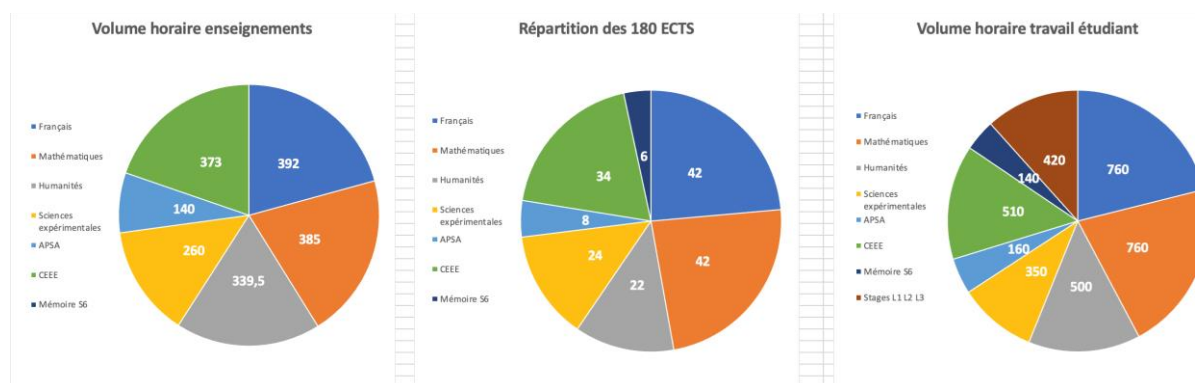
- une bonne réussite de la première promotion, sur les 46 étudiants initiaux (dont plusieurs redoublants) 34 ont réussi leur L1 totalement et continuent en L2, 4 l'ont réussi presque totalement et continuent avec un contrat pédagogique permettant d'étaler leur formation sur quatre années ;
- une bonne attractivité sur Parcoursup, dont la phase complémentaire n'a été ouverte cette année que pour un étudiant début septembre. La seconde promotion comporte 45 étudiants et aucun redoublant.
- Le contenu a été organisé de manière régulière, autour de six grandes UE qui se répètent pendant les six semestres, avec bien sûr des contenus et des enseignements variables :
- Français (dont didactique) ;
- Mathématiques (dont didactique, histoire) ;
- Humanités (anglais – histoire-géographie – arts – musique) ;
- Sciences expérimentales (physique – chimie – sciences de la vie – sciences de la terre – technologie – histoire des sciences) ;
- APSA (activités physiques sportives et artistiques) ;
- C3E (connaissance de l'enfant, de l'enseignement, de l'école) qui regroupe tous les enseignements et outils en lien avec le métier de PE (philosophie et valeurs de l'école – physiologie et psychologie de l'enfant – TICE (technologies de l'information et de la communication) – statistiques outil – voix et corps) ainsi que les stages.

Lors du dernier semestre sur les six que compte cette formation, chaque étudiant doit réaliser un mémoire pluridisciplinaire sur un sujet associant des enseignements suivis et des constats dans la classe.

Les équilibres relatifs entre ces divers blocs sont représentés figure 3, en horaire d'enseignements, puis crédits ECTS* (les fondamentaux français et mathématiques sont accentués) et enfin en volume horaire estimé du travail étudiant, où le travail de stage apparaît nettement.

*ECTS pour European Credit Transfer and Accumulation System ; il s'agit d'un système européen qui traduit le volume d'apprentissage et la charge de travail associée. Par exemple, une licence compte 180 ECTS.

Figure 3 : équilibre entre disciplines



équipe PPPE

Le calendrier est copié sur celui du lycée, donc très différent de celui de la faculté : travail nonstop, hors vacances, du 1^{er} septembre au 15 juin. Mais le contrôle des connaissances est de type universitaire – c'est une licence – et se fait sous la forme d'un contrôle continu intégral sans sessions d'examen, forme peu classique dans le monde universitaire, et très éloignée de la logique du lycée.

3.2. Une première analyse sur le fonctionnement

Le travail ensemble université-lycée est un facteur net de réussite des étudiants. Au lieu d'avoir deux objectifs (un au lycée centré PE, un à l'université centré sur une discipline), ils n'en ont qu'un, qui plus est adapté à leur projet. Le caractère pluridisciplinaire complet de la formation ne les dérouté pas, puisqu'ils sortent juste du lycée. Et même si certains ont clairement des préférences pour une ou deux disciplines, leur projet professionnel fait qu'ils comprennent le caractère pluridisciplinaire de leur formation.

Par contre le travail à conduire ensemble par les équipes mixtes est lourd. En plus des problèmes techniques et administratifs liés aux grandes différences réglementaires et de fonctionnement entre lycée et université, il faut s'accorder sur des contenus – ici les éléments de cadrage sont un premier élément intéressant – et sur la manière de travailler ensemble. Il faut également s'acclimater à des éléments inhabituels, comme le contrôle des connaissances, la durée des créneaux (souvent deux heures, durée inhabituelle à la faculté), etc.

3.3. Et la pluridisciplinarité

Clairement, la formation traite de beaucoup de disciplines, mais les laisse dans des cases séparées. Cela correspond aux habitudes à l'université, aux habitudes au lycée. Cela correspond aux éléments de cadrage, présentés par discipline. Cela correspond également aux envies et/ou habitudes des étudiants, qui sont souvent gênés dès qu'un travail mélange divers aspects issus de chapitres différents au sein d'une même discipline. Alors venant de plusieurs disciplines...

Les UE fonctionnent donc de manière étanche les unes par rapport aux autres. Plus surprenant, il en est de même au sein des disciplines enseignées au sein d'une même UE : rien entre sciences expérimentales, entre discipline et sa propre didactique.

Ce constat pour la première année sera peut-être à nuancer assez vite : un lien entre la discipline mathématique et l'histoire des mathématiques va être essayé, des projets existent entre anglais et musique et arts, une activité va être réalisée entre français et musique autour de l'opéra. Donc de petites tentatives avec l'espoir de les voir se multiplier, et l'idée que le futur PE saura dans son métier associer, lorsque c'est possible, des approches diverses sur un même objet.

Il nous reste aussi le mémoire pluridisciplinaire, encore à l'état de projet puisqu'il concerne la troisième année et donc ne commencera qu'en 2023. C'est probablement le vrai enjeu de la pluridisciplinarité dans cette licence. Mais il va falloir convaincre :

- les enseignants que même si travailler ensemble en étant de disciplines différentes est lourd, le jeu en vaut la chandelle ;
- l'institution, ici notre université, que si on ne rémunère pas l'effort demandé à sa juste hauteur, on n'obtiendra pas l'investissement des collègues.

Ni l'un ni l'autre ne sont encore assurés. Si les enseignants y croient, si l'université y croit, cela devrait marcher.

Conclusion

Si l'enseignement dans les écoles primaires se veut en France totalement pluridisciplinaire et effectué – essentiellement – par un enseignant unique, il est en fait pratiqué essentiellement en laissant chaque discipline dans « sa » case : programme, horaire, etc. Il en est de même pour la formation des futurs professeurs des écoles. Y introduire des connexions entre disciplines demande du temps, de l'énergie, la volonté des enseignants concernés, et un soutien des institutions. Il s'agit d'un défi complexe, dans un système sous tension. Il faut se donner le temps, et commencer modestement : vouloir aller trop vite pourrait conduire à beaucoup parler de pluridisciplinarité, mais en fait à ne rien faire réellement.

Références

Cahier des charges et éléments de programme PPPE. https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/sites/default/files/content_migration/document/Cahier_des_charges-PPPE2022-1Juillet2021_1415198.pdf

Rapport de fonctionnement des PPPE, première année. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/la-mise-en-place-des-parcours-preparatoires-au-professorat-des-ecoles-pppe-la-rentree-2021-84326>

Éléments de cadrages disciplinaires PPPE <https://eduscol.education.fr/document/5528/download?attachment>



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Je comprends, donc j'agis ?

I understand, therefore I act?

Carine DUTEIL

CeReS, Université de Limoges
carine.duteil-mougel@unilim.fr

Nicolas PICARD

nicolas.picard@sanodev.com

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/571>

DOI : 10.25965/lji.571

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : L'exposition des citoyens aux Réseaux Sociaux Numériques et à des « éléments informationnels » provenant de sources de statuts divers entraîne un manque de hiérarchisation de l'information, une mise en doute de la preuve scientifique, et une confusion entre « croyances », « opinions », « faits ». Notre propos interroge pleinement la place des sciences dans la société et la posture du scientifique dans la sphère médiatico-politique.

Mots clés : sémiotique, transition, écologie, médias, politique

Abstract: The exposure of citizens to Digital Social Networks and to "informational elements" coming from sources of various statuses leads to a lack of hierarchy of information, to a questioning of scientific evidence, and to a confusion between "beliefs", "opinions", "facts". Our proposal questions the place of science in society and the position of the scientist in the media-political sphere.

Keywords: semiotics, transition, ecology, media, politics

Introduction

La démocratisation de l'accès aux savoirs en matière d'enjeux climatiques et de biodiversité existe-t-elle réellement ? Partant du dernier sondage de l'ADEME sur les représentations sociales du changement climatique, nous nous centrons sur l'état de l'opinion publique, en pointant l'écart entre sensibilisation des citoyens et compréhension des mécanismes en jeu dans le changement climatique.

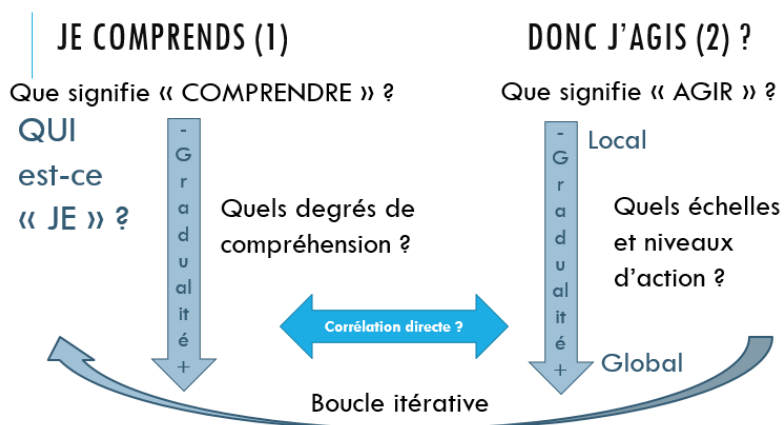
Nous nous intéressons ensuite aux récits médiatiques qui façonnent une autre vision du monde. Quels sont les influenceurs, les scientifiques qui s'expriment et comment narrent-ils le changement ? Quels sont les univers en tension dans cette transition ? Comment est construit l'imaginaire associé à la décroissance ?

Notre analyse s'appuie sur des outils de la sémiotique narrative, de la pragmatique et de la sémantique textuelle.

1. La dimension narrative des processus de compréhension et d'action

Notre titre se présente sous la forme d'une interrogation. Voici une représentation schématique possible du processus qui mène de la compréhension des causes et des enjeux environnementaux à l'action ou devrait-on dire aux actions ayant une incidence, soit sur la compréhension et la sensibilisation d'autres personnes, soit sur le terrain, soit auprès des pouvoirs publics et des autorités ; on pense par exemple aux actions conduisant à questionner la gouvernance, le système dans lequel nous vivons, pour accéder à un nouveau contrat social.

Figure 1 : le processus de compréhension-action



Le titre interroge justement le lien entre comprendre et agir.

- Qui est le JE du process 1 « JE COMPRENDS » et du process 2 « J'AGIS » ?
- A quels niveaux ce JE agit-il ? Sur quels destinataires-récepteurs ?
- Quelles ACTIONS met-il en place ?
- Quelle est l'axiologie associée aux deux process ?

- Existe-t-il une corrélation directe entre une grande compréhension et une action à échelle de plus en plus globale ? Plus on comprend, plus on agit et plus on obtient de résultats ?
- La boucle est-elle itérative ?

Le titre inclut des sous-entendus langagiers dans sa formulation même. Si on le commente d'un point de vue sémiopragmatique, on repère un énoncé logique :

SI JE COMPRENDS ALORS J'AGIS

Il est présupposé qu'une compréhension entraîne une action, d'où l'usage du « DONC » pour exprimer la conséquence.

On peut également y lire la présupposition de la condition nécessaire et suffisante que représente la compréhension :

SI ET SEULEMENT SI je comprends ALORS j'agis

Par ailleurs il est sous-entendu dans COMPRENDRE que le procès est réussi, on parle de félicité du procès. C'est-à-dire que l'on sous-entend que l'on comprend avec succès les choses.

Par là même on sous-entend qu'une bonne compréhension engendre une action bénéfique.

JE COMPRENDS = JE COMPRENDS BIEN (+)

J'AGIS = J'AGIS BIEN (+)

Et que le TOPOS + JE COMPRENDS + J'AGIS est engagé

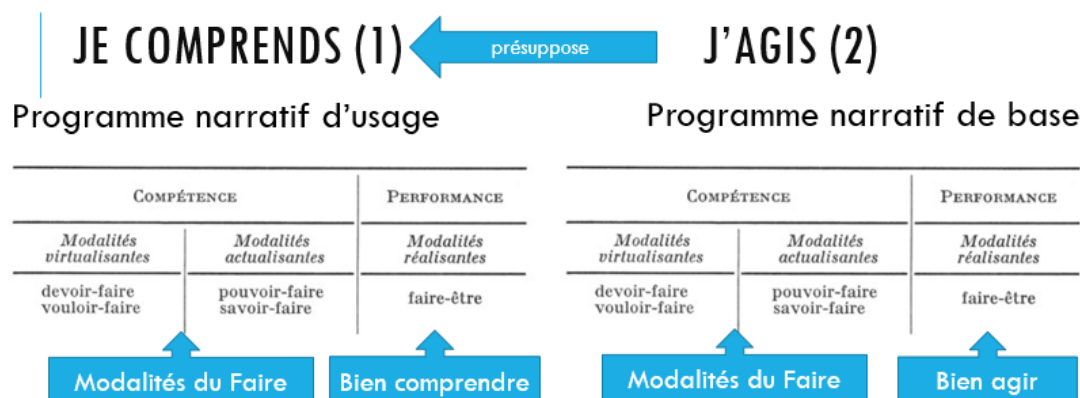
Or, justement, nous questionnons cette logique sur plusieurs aspects.

- Tout d'abord on peut se MEPRENDRE, être désinformé, parasité ou limité dans les éléments disponibles à la compréhension.
- Ensuite on peut entreprendre des actions néfastes, de bonne foi ou non.
- Enfin on peut COMPRENDRE une situation, les causes en jeu mais NE PAS AGIR. C'est le cas du déni, de la protection intérieure, consciente ou non, de la mauvaise volonté, d'un manque de conviction, d'une impuissance, d'un manque de coordination ou de possibilité d'action.
- On peut aussi AGIR sans être clairement informé.

COMPRENDRE ne signifie pas d'ailleurs ÊTRE CONVAINCU. On peut avoir d'autres priorités, ne pas vouloir en savoir davantage ou ne pas vouloir changer, encore moins AGIR. Ces implications sont donc questionnées par notre point d'interrogation. D'ailleurs, il n'est pas si aisé de COMPRENDRE. On peut comprendre à différents niveaux et vouloir se former en conséquence.

Dans la réflexion que nous menons sur la transition écologique, nous utilisons des outils de la sémiotique narrative, qui permet d'étudier les éléments agentifs et leurs modalités d'action. Sans trop entrer dans les détails ici, on peut dire que pour COMPRENDRE (ici le FAIRE), il faut posséder les modalités de faire : le DEVOIR, le VOULOIR (ce que Greimas et Courtés nomment : modalités virtualisantes) le POUVOIR et le SAVOIR (modalités actualisantes).

Figure 2 : Implication narrative



Or :

- On peut ne pas ressentir le devoir comprendre.
- On peut ne pas vouloir comprendre.
- On peut aussi manquer de moyens pour pouvoir comprendre (notamment l'accès aux bonnes sources, à la vulgarisation, aux bons médias, aux bons interlocuteurs).
- On peut ne pas savoir comprendre car on peut ne pas être formés à la pensée critique (moyens intellectuels d'analyse, bagage scientifique...)

Le rôle des scientifiques, des personnalités qui vulgarisent pour alerter au dérèglement climatique (et à la transition écologique¹), le rôle des enseignants, des formateurs au sens large revêt une importance capitale dans cette boucle de la compréhension qui précède l'action.

En termes narratifs, un Programme narratif de base (c'est-à-dire principal) relatif à l'action requiert un Programme narratif de base (c'est-à-dire de compétence) relatif à la compréhension. Là aussi pour le PN de base, on peut dire que pour AGIR (ici le FAIRE), il faut posséder les modalités de faire : le DEVOIR, le VOULOIR (modalités virtualisantes) le POUVOIR et le SAVOIR (modalités actualisantes).

Or :

- On peut ne pas ressentir le devoir agir.
- On peut ne pas vouloir agir.

¹ La transition écologique est vue comme une volonté (certains disent une nécessité) de réaliser une modification de notre organisation sociale et sociétale pour respecter un ensemble de limites physiques déséquilibrant le système Terre quant à ses conditions d'habitabilité. Le changement climatique est une de ses limites.

- On peut aussi manquer de moyens pour pouvoir agir (notamment l'accès aux outils, aux situations).
- On peut ne pas savoir agir car on peut ne pas être formés à l'action

Les actions sont avant tout des actions de :

- SENSIBILISATION/FORMATION
- ALERTE auprès des pouvoirs publics
- PROTECTION de l'environnement (à différentes échelles)
- CHANGEMENT des modes de gouvernance

Et à un niveau plus englobant et déterminant, on peut parler de :

- CHANGEMENT de paradigme : l'on passe d'un contrat social fondé sur l'économie à un autre contrat social, qui nécessite l'invention de nouveaux récits, capables de façonner une autre vision du monde, un nouvel imaginaire partagé.

Notons que le JE dans cet énoncé est un JE pluriel, collectif même. Et qu'il peut revêtir différentes facettes. Nous allons en aborder quelques-unes : la figure du scientifique, la figure de l'industriel, la figure des politiques, la figure des médias, la figure du citoyen, et la figure de l'enseignant.

2. Le discours des scientifiques

Le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) est une organisation qui a été mise en place en 1988, à la demande du G7 (groupe des sept pays les plus riches : USA, Japon, Allemagne, France, Grande Bretagne, Canada, Italie), par l'Organisation Météorologique Mondiale et le Programme pour l'Environnement des Nations Unies.

Son appellation anglaise est IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change. Le rôle du GIEC est *d'expertiser l'information scientifique, technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme.*

Comme toutes les institutions onusiennes (l'OMS par exemple), le GIEC n'est pas une association de personnes physiques, mais une association de pays : ses membres sont des nations, non des personnes physiques. Aucun individu – et en particulier aucun chercheur – ne peut être membre du GIEC « en direct » : les personnes qui siègent aux assemblées du GIEC ne font que représenter des pays membres. Le circuit de validation des publications est rigoureux, comme tout chercheur le sait. On peut citer à ce propos RONICK D. A. (1990):

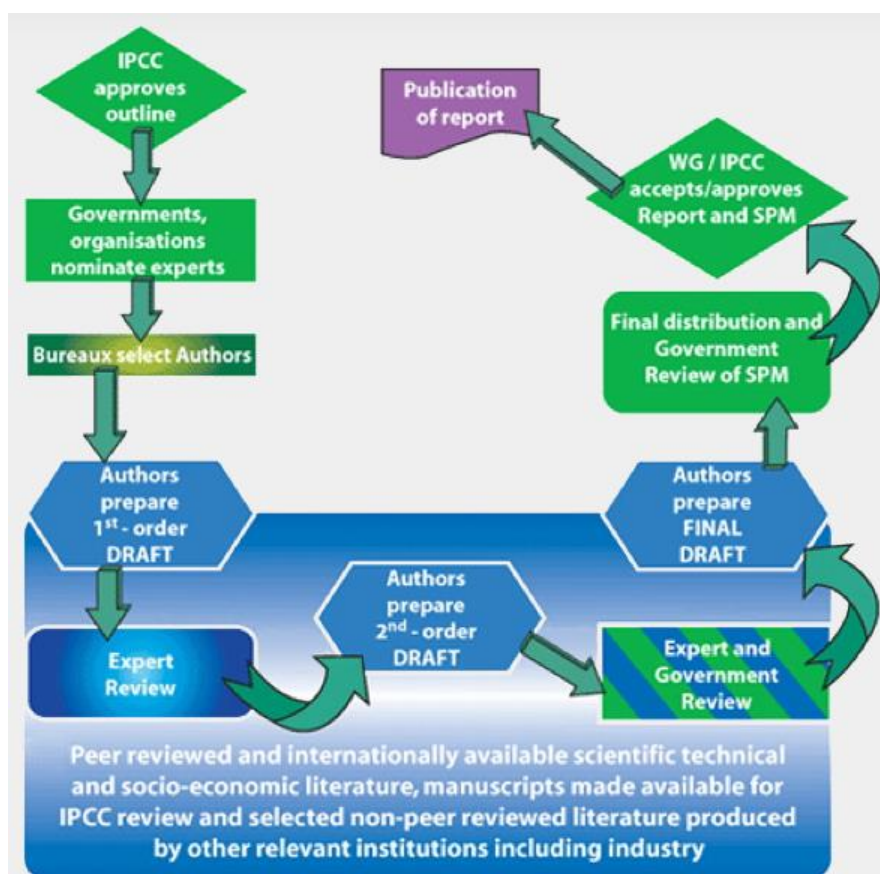
“Peer review can be said to have existed ever since people began to identify and communicate what they thought was new knowledge. That is because peer review (whether it occurs before or after publication) is an essential and integral part of consensus building and is inherent and necessary to the growth of scientific knowledge.”

S'appuyant sur les travaux de MERTON R. et ZUCKERMAN H. (1971), Olivier MARTIN (2000, pp. 30-31) indique les trois fonctions principales des comités de rédaction :

"Premièrement, les *referees* sont là pour accorder ou refuser *l'imprimatur* et garantir la valeur scientifique de l'article [...]. Deuxièmement, les *referees* permettent aux auteurs de ne pas perdre trop de temps à valider leurs résultats : les comités de rédaction les aident à vérifier la justesse de leurs recherches [...]. Corrélativement, les *referees* incitent les scientifiques à faire preuve d'originalité en refusant de publier les articles dont les conclusions sont déjà bien

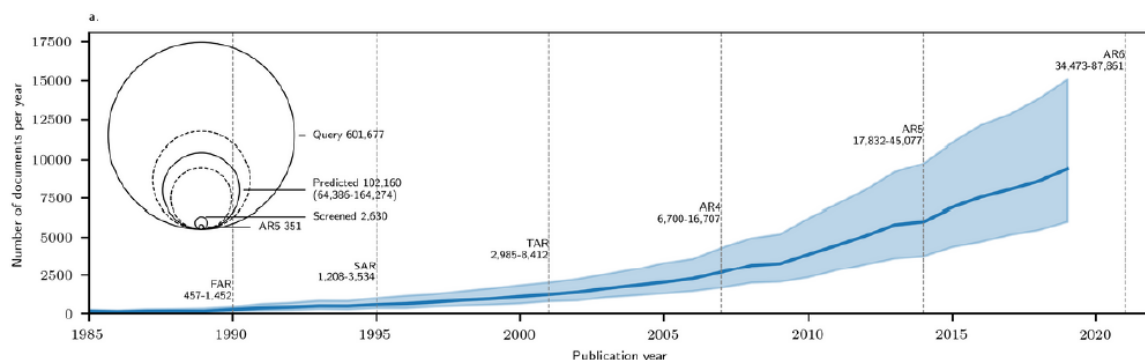
connues. En même temps, troisième fonction, l'existence des *referees* oblige les auteurs à travailler sérieusement, à ne pas proposer des articles dont les conclusions ne seraient pas suffisamment étayées."

Figure 3 : circuit de validation



Ce qu'il est intéressant de signaler c'est la progressive augmentation des publications portant sur l'environnement et le changement climatique au fil des années.

Figure 4 : nombre de publications scientifiques sur la thématique



Envisageons à présent le discours des influenceurs.

3. Le discours des influenceurs

Les influenceurs sont des figures emblématiques comme Dominique BOURG, Bruno LATOUR, Etienne KLEIN ou encore Jean-Marc JANCOVICI. Ces auteurs publient des textes de vulgarisation scientifique. Prenons l'exemple de la Bande Dessinée pour enfants récemment publiée par Jean-Marc JANCOVICI : *Le monde sans fin*.

On retrouve les influenceurs sur les Réseaux Sociaux Numériques, sur You Tube, à la télévision, citons par exemple Cédric RINGENBACH ou encore Arthur KELLER, Aurélien BARRAU.

Figure 5 : les influenceurs – exemple 1

www.youtube.com > watch

Comment sensibiliser sur le climat ? - Cédric Ringenbach



Rendez-vous sur <https://time-planet.com/fr> pour agir à l'échelle mondiale pour le climat Une discussion entre ...

YouTube - Time For The Planet - 28 juin 2021

www.youtube.com > watch

Cédric Ringenbach sur LCI à propos des fuites du rapport du ...



Cédric Ringenbach sur LCI à propos des fuites du rapport du GIEC. 35,831 views35K views. Jun 23, 2021. 736 ...

YouTube - Cédric Ringenbach - 23 juin 2021

www.youtube.com > watch

Cédric RINGENBACH (Président, La Fresque du Climat) au ...



Retrouvez l'interview de **Cédric RINGENBACH** (Président, La Fresque du Climat) sur la scène de l'Ampli, lors ...

YouTube - Bpifrance - 8 oct. 2020

Figure 6 : les influenceurs – exemple 2

www.youtube.com > watch

Dominique Bourg et la crise climatique : "C'est comme si nous ...



Dominique Bourg, philosophe et professeur honoraire à l'université de Lausanne, auteur de Primauté du vivant ...

YouTube · France Inter · Il y a 4 semaines

twitter.com > bourg_d

Dominique Bourg (@bourg_d) / Twitter



Professeur honoraire à l'Université de Lausanne @PenseeEcolo #écologieintégrale #UrgenceEcologie @FZoein.

Twitter · Il y a 3 jours

www.youtube.com > watch

La technologie peut-elle empêcher que la planète pète




... mondiale pour le climat Une discussion entre Coline, co-fondatrice de Time for the Planet, et **Dominique** ...

YouTube · Time For The Planet · 14 juin 2021

Figure 7 : les influenceurs – exemple 3

www.youtube.com / watch

Peut-on vraiment changer le système ? avec Arthur Keller



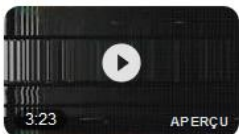
Rendez-vous sur <https://time-planet.com/fr> pour agir à l'échelle mondiale pour le climat Une discussion entre ...

YouTube · Time For The Planet · Il y a 1 mois

14 temps forts dans cette vidéo

twitter.com > arthurkeller

Arthur Keller (@arthurkeller) / Twitter




Arthur Keller. @arthurkeller. Penseur d'alertes. Expert des risques systémiques, des vulnérabilités des ...

Twitter · 26 oct. 2020

www.youtube.com > watch

Arthur Keller - Résilience : les points sur les i - YouTube



Lien vers la version podcast : [https://anchor.fm/plansb/episodes/Arthur-Keller--Rsilience---Mettre-les-points ...](https://anchor.fm/plansb/episodes/Arthur-Keller--Rsilience---Mettre-les-points-...)

YouTube · Plans B · Il y a 1 mois

Récemment un vulgarisateur célèbre, Jamy (épicurieux), avait mis en ligne un jeu concours pour remporter un voyage à l'île Maurice, le tollé provoqué a fait réagir Jamy et le voyage à gagner a été annulé car incompatible avec la posture éco-responsable.

Figure 8 : Jamy – épicurieux



Analysons à présent la posture des industriels.

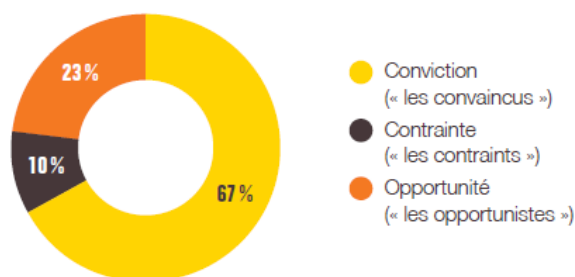
4. Le discours des industriels

Selon l'étude de BPIFRANCE (juin 2020) 80 % des industriels estiment que le changement climatique appelle une réaction d'urgence et 86 % se sentent concernés par les objectifs mondiaux de réduction des émissions de carbone.

67 % se disent désireux d'adapter l'entreprise aux enjeux du changement climatique et de l'environnement mais parmi les leviers pour réduire l'empreinte carbone dans les 5 ans, 71 % misent sur les nouvelles technologies.

Figure 9 : enquête BPI France – exemple 1

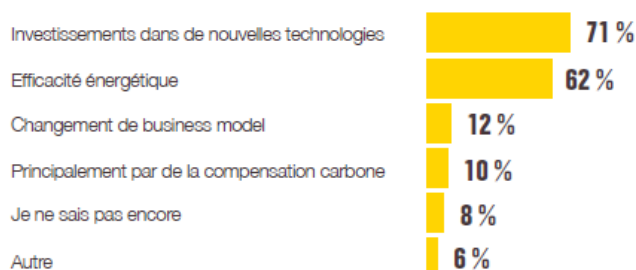
• **MOTIVATION PRINCIPALE POUR ADAPTER L'ENTREPRISE AUX ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE L'ENVIRONNEMENT**
 (en % de répondants)



Source : Bpifrance Le Lab, enquête « Le climat des affaires, une affaire de climat ? », 1 006 réponses exploitées.

Figure 10 : enquête BPI France – exemple 2

• **LEVIERS POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE CARBONE DANS LES 5 ANS**
 (en % de répondants, plusieurs réponses possibles)



Le technosolutionnisme (appelé ainsi par ses détracteurs, qui y voient le Mythe Cornucopien) renvoie aux projets de transition écologique dans lesquels des solutions techniques vont répondre aux enjeux environnementaux en conservant l'usage. 67 % des industriels souhaitent investir dans de nouvelles technologies pour réduire l'empreinte environnementale dans les 5 ans.

Figure 11 : enquête BPI France – exemple 3

• **LEVIERS POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DANS LES 5 ANS**
 (en % de répondants, plusieurs réponses possibles)

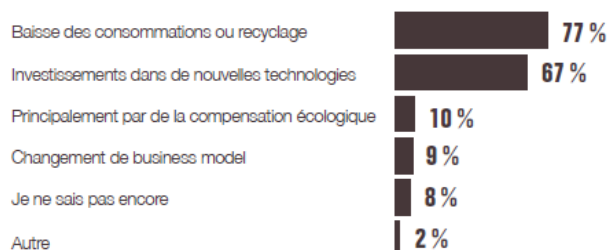


Figure 12 : enquête BPI France – exemple 3



13 % seulement des industriels prennent en compte l'impact du changement climatique pour adapter la stratégie d'entreprise.

Citons d'autres opérations pour le technosolutionnisme, que d'aucuns appellent Green-tech : elles émanent d'acteurs comme Laurent ALEXANDRE, Idriss ABERKANE, le célèbre Elon MUSK. Soulignons également la Plateforme Time for the Planet® <https://www.join-time.com/fr/vision> qui postule que c'est par l'économie et l'innovation que la planète sera sauvée. Sur cette plateforme, on « achète des actions », et l'argent versé « sera entièrement dédié à financer des innovations luttant contre les gaz à effet de serre et aux frais de fonctionnement de la société (10 %) » <https://www.join-time.com/fr/become-shareholder>

« Tout l'argent généré par les innovations de Time for the Planet® est ré-investi dans les innovations. Par contre, vous toucherez des Dividendes Climat, qui matérialisent les émissions de gaz à effet de serre évitées grâce à votre investissement. » <https://www.join-time.com/fr/become-shareholder>

Figure 13 : le modèle économique de Time for the Planet® <https://www.join-time.com/fr/become-shareholder>

Les Dividendes Climats, ou comment mettre notre modèle économique au service de la planète

1  **= 1** **tonne d'équivalent CO2 non-émise ou séquestrée**

Vous l'aurez compris, en devenant actionnaire de la société, vous ne gagnerez pas d'argent. En revanche, vous recevrez chaque année des Dividendes Climat, qui comptabilisent le nombre de tonnes de gaz à effet de serre évitées ou stockées grâce à votre investissement.

Ces Dividendes Climat nous permettent de mesurer précisément le résultat de nos actions sur les gaz à effet de serre, et tout notre mouvement est dédié à les maximiser.

J'ACHÈTE MES ACTIONS

Ces solutions sont aux antipodes d'une démarche dite technocritique, par exemple la low-tech, qui vise surtout à maximiser l'utilité sociale, mais qui n'exclut pas elle-même par ailleurs les démarches R&D sur les énergies renouvelables : sur l'énergie thermique des mers ou houlomotrice. Ou encore sur l'hydroélectricité, la géothermie ou les carburants alternatifs tels l'hydrogène vert. Les énergies marines renouvelables, les bioénergies, etc.

Soulignons que des engagements sont tout de même pris ; citons la RSE et la convention des entreprises pour le climat. Mais d'autres actions témoignent d'une compréhension du problème certes mais d'une volonté d'agir en cachant... Citons sans polémiquer outre mesure Total et Shell.

Figure 14 : illustration RSE et mensonge

JE COMPRENDS DONC J'AGIS
Les industriels

ENGAGÉ RSE
MODELE AFAG 2008
Initial
AFNOR CERTIFICATION

ENGAGÉ RSE
MODELE AFAG 2008
Progression ★
AFNOR CERTIFICATION

ENGAGÉ RSE
MODELE AFAG 2008
Confirmé ★★
AFNOR CERTIFICATION

ENGAGÉ RSE
MODELE AFAG 2008
Exemplaire ★★★
AFNOR CERTIFICATION

Climat : un rapport confidentiel de 1988 embarrassant pour Shell

Un journaliste hollandais a révélé un rapport interne confidentiel datant de 1988 qui montre à quel point la compagnie pétrolière était consciente des risques de son industrie en matière environnementale.

Plus
Avril 2018
Partager
Commenter

Par Gabriel Riedel
Publié le 7 avr. 2018 à 13:02

ELSEVIER
Global Environmental Change
Available online 19 October 2021, 102386
In Press, Corrected Proof

Early warnings and emerging accountability:
Total's responses to global warming, 1971–2021

Christophe Bonneuil ^{1,2,3,4}, Pierre-Louis Choquet ^{5,1}, Benjamin Franta ^{6,1}

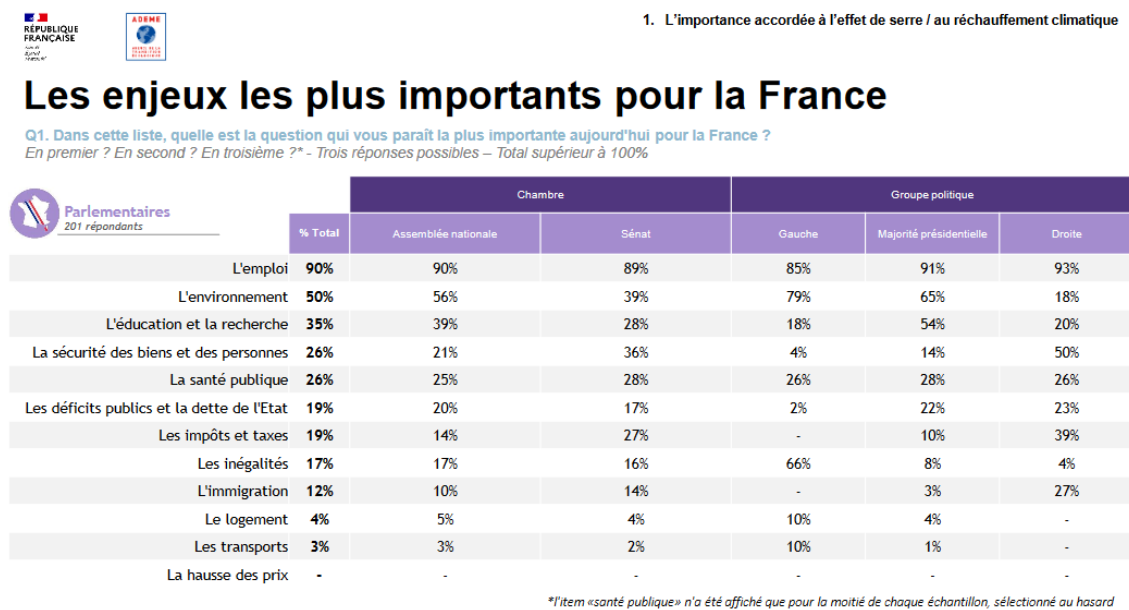
CONVENTION DES ENTREPRISES POUR LE CLIMAT

Prenons à présent le cas des politiques, qui peuvent avoir une vision approximative des enjeux et des causes. Leurs destinataires-récepteurs sont pluriels : collectivités, citoyens-électeurs, collaborateurs politiques nationaux et internationaux, commissions...

5. Le discours des politiques

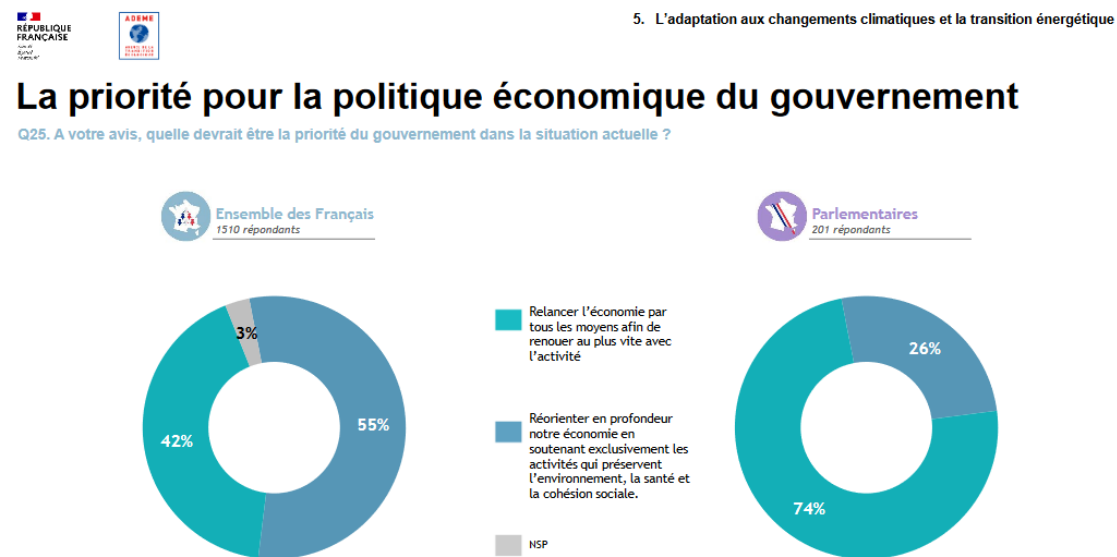
Dans le sondage de l'ADEME 2020 sur les représentations sociales, on peut voir que parmi les enjeux pour la France, l'environnement arrive en deuxième avec 50 % auprès d'un échantillon de 201 parlementaires.

Figure 15 : sondage ADEME – exemple 1



Mais que pour autant 74 % des politiques veulent relancer l'économie par tous les moyens.

Figure 16 : sondage ADEME – exemple 2



20 % pensent que l'impact de l'effet de serre est une hypothèse sur laquelle les scientifiques ne sont pas tous d'accord.

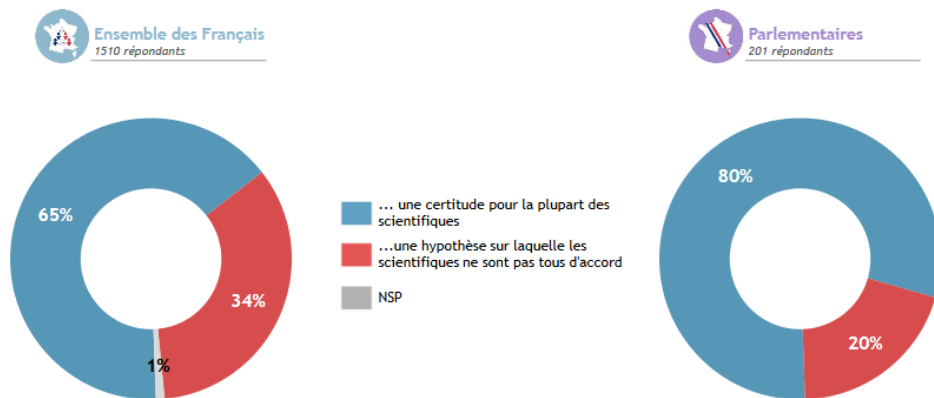
Figure 17 : sondage ADEME – exemple 3



1. L'importance accordée à l'effet de serre / au réchauffement climatique

L'opinion sur l'impact de l'effet de serre

Q5. On parle de l'augmentation de l'effet de serre qui entraînerait un réchauffement de l'atmosphère de la Terre. A votre avis, est-ce plutôt...



20 % (peut-être les mêmes) pensent que le réchauffement climatique est un phénomène naturel qui a toujours existé.

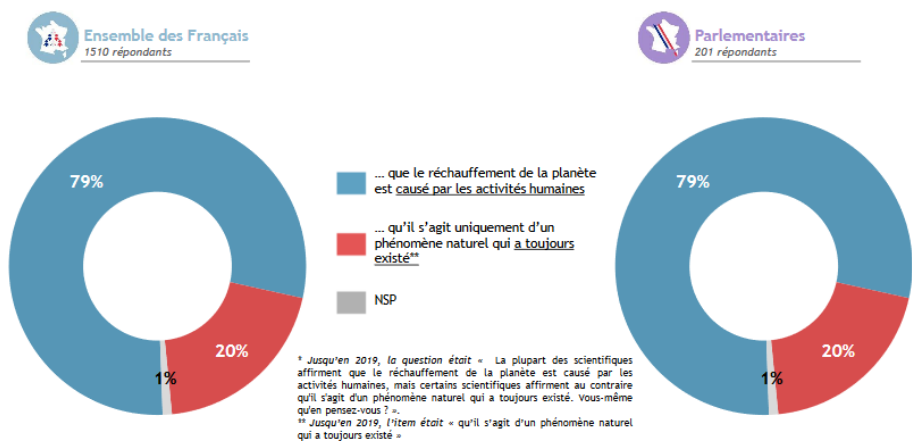
Figure 18 : sondage ADEME – exemple 4



2. Les causes de l'effet de serre / du réchauffement climatique

Les scientifiques et le réchauffement climatique

Q10. La plupart des scientifiques affirment que le réchauffement de la planète est causé par les activités humaines, mais certains scientifiques affirment au contraire qu'il s'agit uniquement d'un phénomène naturel qui a toujours existé. Vous-même qu'en pensez-vous ? * Pensez-vous...



Des initiatives bien entendu sont prises par le biais de réglementations, de lois pour restreindre, contraindre et diminuer les effets négatifs du système : taxe carbone, RE 2020, Ressources en eau, Climat & Résilience, la Loi transition énergétique pour la croissance verte, la Stratégie nationale bas carbone...

On peut cependant douter de l'efficacité de ces mesures conformément à l'alerte du Haut Conseil pour le Climat. Nous citons son rapport de 2021 :

« France Relance intègre en partie mais insuffisamment les enjeux de transition bas-carbone de l'industrie. Les besoins de financement de la filière sont conséquents étant donné les différences importantes au sein des filières. » (HCC, 2021, p. 94)

Le HCC précise également que :

« Les effets des politiques publiques climatiques se manifestent en 2019 par une accentuation de la baisse des émissions au niveau national et dans la plupart des régions. La baisse observée en 2020 est quant à elle principalement attribuable aux mesures liées à la Covid-19. Néanmoins les efforts actuels sont insuffisants pour garantir l'atteinte des objectifs de 2030, et ce d'autant plus dans le contexte de la nouvelle loi européenne sur le climat. Alors que les conditions climatiques sortent des plages de variabilité climatique naturelle, avec des impacts croissants, les efforts d'adaptation doivent être rapidement déployés et intégrés aux politiques climatiques dans leur ensemble. » (HCC, 2021, p. 4)

Les analyses de Carbone 14 sont de ce point de vue édifiantes : l'on voit le décalage entre objectifs et réalité.

Figure 19 : analyses de Carbone 4

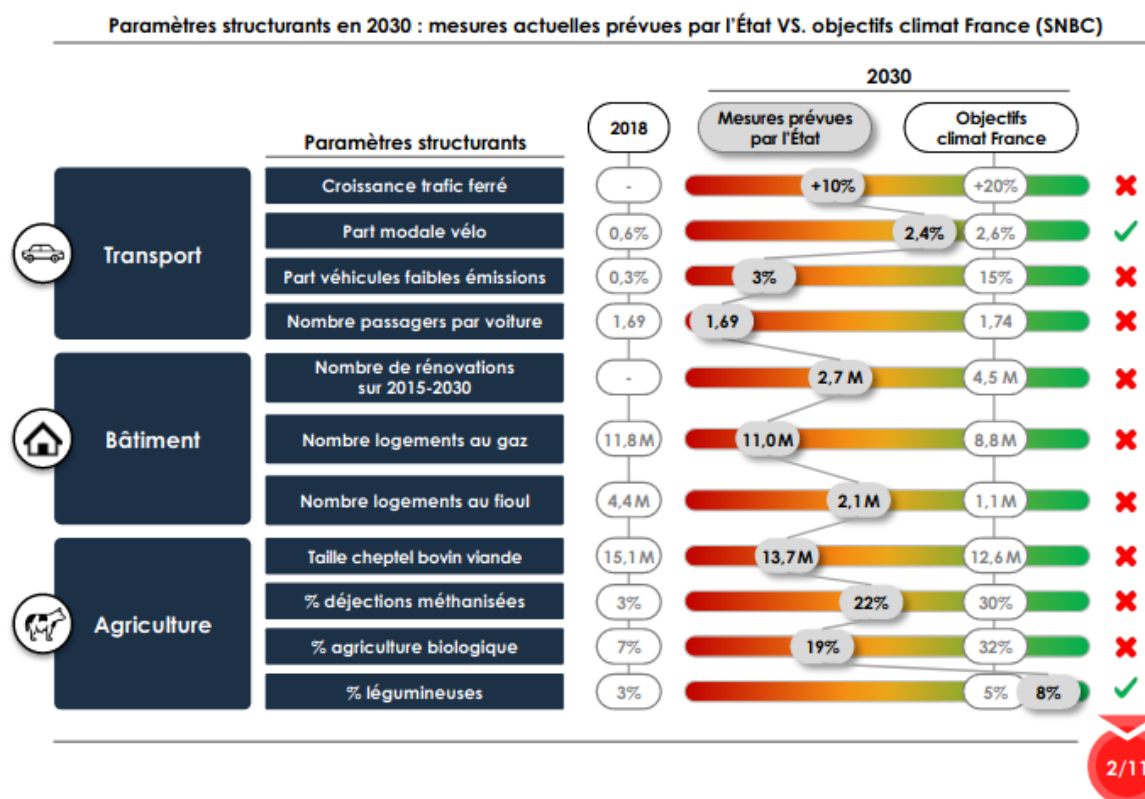


Figure 1 - Synthèse du niveau de chaque paramètre structurant en 2030 sous l'effet des mesures prises par l'État, et comparaison avec le niveau qu'il faudrait atteindre pour respecter les objectifs de la SNBC.
 Source : Analyses Carbone 4

Qu'en est-il des médias ? Ils sont beaucoup plus puissants que les figures scientifiques et emblématiques citées tout à l'heure en termes de force de frappe.

6. Le discours des médias

Les médias de masse sont l'énonciateur principal pour les citoyens et ils façonnent pour beaucoup l'opinion publique.

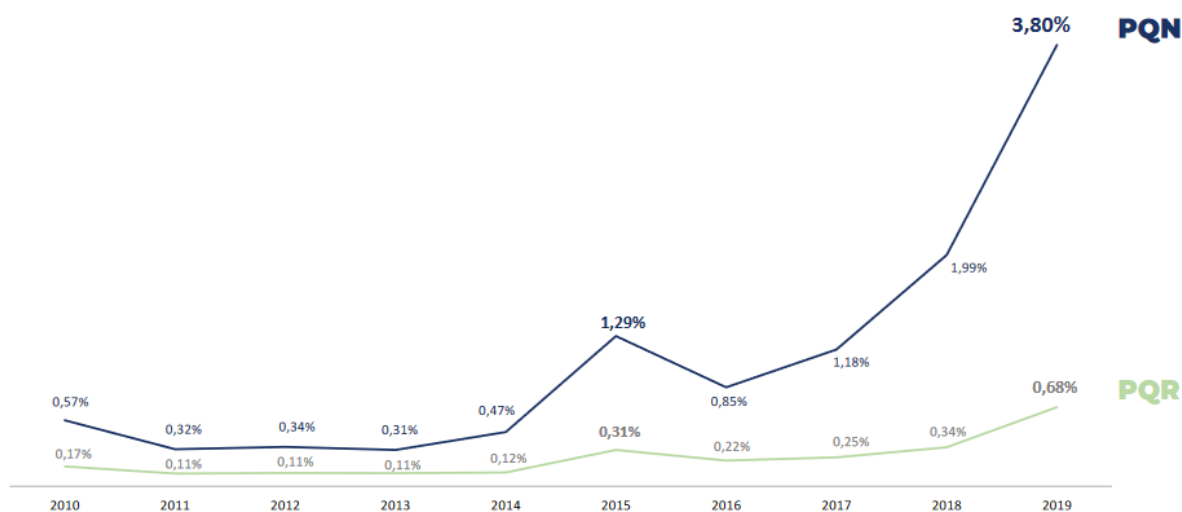
Figure 20 : évolution dans la presse écrite

Le climat dans la presse écrite : poids et évolution sur 10 ans

Part des articles évoquant le terme « climatique » (changement, réchauffement) dans le total des articles publiés, par année, de 2010 à 2019.

Sur les 10 titres de PQN et les 50 titres de PQR les plus diffusés en France.

Source : corpus Factiva



On voit sur le graphique l'évolution de la part des articles évoquant le terme climatique sur 10 ans dans la PQN et dans la PQR. Bien qu'il y ait une augmentation, si on compare celle-ci à la production scientifique sur la même période, force est de constater qu'un écart se creuse. Le manque de visibilité des sujets sur le climat et l'environnement est également bien repérable à la radio (chiffres de 2019) mais aussi à la télévision, que ce soit au JT de TF1 ou à celui de France 2. Et ce depuis 2010. Remarquons la part consacrée au changement climatique parmi les sujets environnement : 0,9 %.

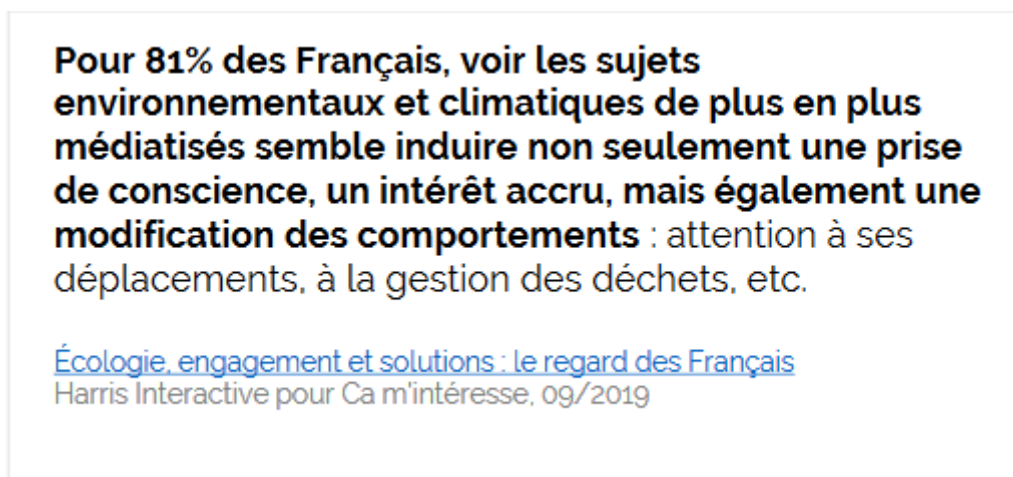
Figure 21 : la place du climat



Or comme le souligne le climatologue Jean JOUZEL, les médias sont vecteurs d'information et se doivent eux-mêmes de s'informer à la source. Leur impact est en effet considérable sur la population.

Ce sondage de 2019 pointe que pour 81 % des français l'information reçue influence directement la perception et incite à l'action.

Figure 22 : sondage Harris Interactive 2019



Soulignons que des initiatives se mettent en place avec par exemple des opérations journalistiques visant à alerter sur la crise climatique et ses conséquences ; à l'image de The Guardian (UN Climate Action Summit). Porteur de l'initiative mondiale Covering Climate Now, le quotidien britannique a récemment adopté plusieurs mesures radicales - intégration du taux de CO2 dans la météo, utilisation d'un vocabulaire plus adéquat, évolution du traitement photo - afin de mieux rendre compte de l'urgence climatique. La plateforme rassemble 400 médias partenaires visant à mieux rendre compte des enjeux climatiques.

Figure 23 : *The Guardian*

Face à l'urgence climatique, The Guardian se mobilise



Publié le 26 février 2020

Par Laure Delmoly, France Télévisions, MediaLab

7. L'opinion publique

Une enquête annuelle par sondage menée par l'ADEME en ligne sur « les représentations sociales du changement climatique » permet de s'interroger sur les évolutions de l'opinion publique à l'égard de l'effet de serre et du réchauffement climatique.

Figure 24 : l'opinion publique – exemple 1

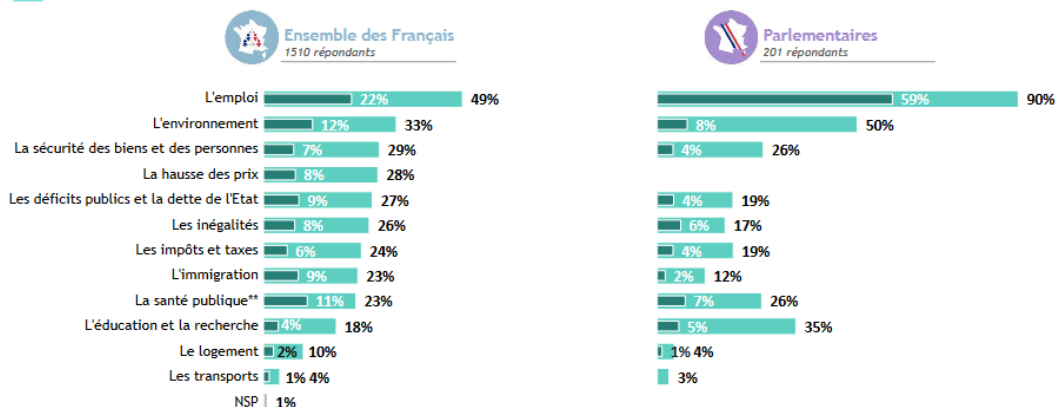


1. L'importance accordée à l'effet de serre / au réchauffement climatique

Les enjeux les plus importants pour la France

Q1. Dans cette liste, quelle est la question qui vous paraît la plus importante aujourd'hui pour la France ?
 En premier ? En second ? En troisième ?* - Trois réponses possibles – Total supérieur à 100%

■ En premier ■ Total



*Jusqu'en 2018, la question était posée En premier ? En second ? Et ensuite ?

**l'item «santé publique» n'a été affiché que pour la moitié de chaque échantillon, sélectionné au hasard

Les questions portent sur :

- les causes du changement climatique
- les conséquences du changement climatique
- les solutions pour réduire l'effet du changement climatique
- les solutions globales pour réduire l'effet du changement climatique
- l'engagement personnel pour réduire l'effet du changement climatique
- l'adaptation aux changements climatiques et la transition énergétique

Ce baromètre rend compte d'une préoccupation toujours plus grande de la part des Français pour les sujets environnementaux. Mais d'une sous-estimation évidente de la responsabilité humaine dans le dérèglement climatique.

Figure 25 : l'opinion publique – exemple 2

Tableau 7 : La plupart des scientifiques affirment que le réchauffement de la planète est causé par les activités humaines, mais certains scientifiques affirment au contraire qu'il s'agit d'un phénomène naturel qui a toujours existé. Vous-même qu'en pensez-vous ?

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Le réchauffement de la planète est causé par les activités humaines	81	65	68	72	70	72	74	72	76	74	76
Il s'agit [uniquement] d'un phénomène naturel qui a toujours existé	17	30	27	25	26	28	25	27	23	26	24

Depuis 2015, trois quart environ des personnes interrogées choisissent l'option d'une origine anthropique. Cette année ce pourcentage est du même ordre (76 %). Ce résultat indique que s'il est clair que l'enjeu du changement climatique est aujourd'hui plus souvent reconnu, cela ne signifie pas pour autant que les mécanismes de ce changement sont perçus plus exactement.

Des critères sociodémographiques et idéologiques sont avancés. L'on remarque que les pourcentages de "sceptiques" sont nettement plus élevés au-delà de 65 ans. Le statut social et le capital scolaire revêtent une importance. Le niveau universitaire scientifique se montre un peu plus sceptique que le reste de la population. C'est peut-être dû à l'effet Dunning-Kruger, aussi appelé effet de surconfiance.

Figure 26 : l'opinion publique – exemple 3

Tableau 24 : Convaincus Sceptiques et Hésitants

Année	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Convaincus	44	48	42	51	41	46
Sceptiques	12	12	13	8	11	11
Hésitants	44	40	45	41	48	43
Total	100	100	100	100	100	100

Centrons-nous pour terminer ce tour d'horizon sur l'enseignement.

8. L'enseignement

Prenons le cas de l'étude de controverses socio-techniques en école d'ingénieurs, en l'occurrence à l'ENSIL-ENSCI de l'Université de Limoges, dans l'un de nos enseignements. L'objectif est ici d'aiguiser l'esprit critique et d'analyser des positionnements. La méthode a été initiée par Bruno LATOUR², autre grand influenceur scientifique, depuis les années 80 à l'École des Mines de Paris puis poursuivie à Sciences Politiques. Bruno LATOUR et Michel CALLON ont inventé le concept de « controverse socio-technique ». Ce programme est diffusé dans de nombreuses écoles d'ingénieurs dans le monde et repris dans des cadres institutionnels divers.

Les questions à se poser pour traiter une controverse sont les suivantes :

- Quelle est la dimension polémique ? Sur quels aspects des avis divergent et des voix s'élèvent ? Quelle est l'origine du débat ? Quand est-il apparu ?
- Quels sont les acteurs/groupes concernés/parties prenantes en présence ?
- Quels sont leur position, leurs arguments ; leurs relations ; les intérêts des acteurs ?
- Quel sont les régimes de véridiction ? S'agit-il de croyances, faits, preuves expérimentales ?
- Quels régimes de justification, d'objectivation ?
- Comment se construisent les grilles d'interprétation collectives d'un problème public ?
- Comment les connaissances expertes ont été construites, légitimées, et sont-elles mobilisées ? Par qui ? Quels relais médiatiques ?
- Quelles sont les marques du traitement médiatique de la controverse ? Positionnement éditorial, choix des porte-parole, ressources considérées comme faisant autorité, etc.
- Quel est l'impact du dispositif médiatique sur la parole ?
- Le débat a-t-il évolué dans le temps ?
- Le nombre de sources a-t-il changé au cours du temps ? Pics ou creux dans la publication ? *Factiva, Europresse*
- Les acteurs mobilisés évoluent-ils au cours du temps (en nombre, en légitimité, en visibilité, en postures, etc.) ?

Les sujets que nous proposons ont trait à des questionnements sociétaux. D'autres renvoient principalement à des interrogations scientifiques. D'autres encore interrogent plus précisément des aspects techniques et environnementaux. Ces différents paramètres et les enjeux s'y rapportant sont bien entendu étroitement corrélés. Nous notons ci-après les sujets proposés en 2021-2022 :

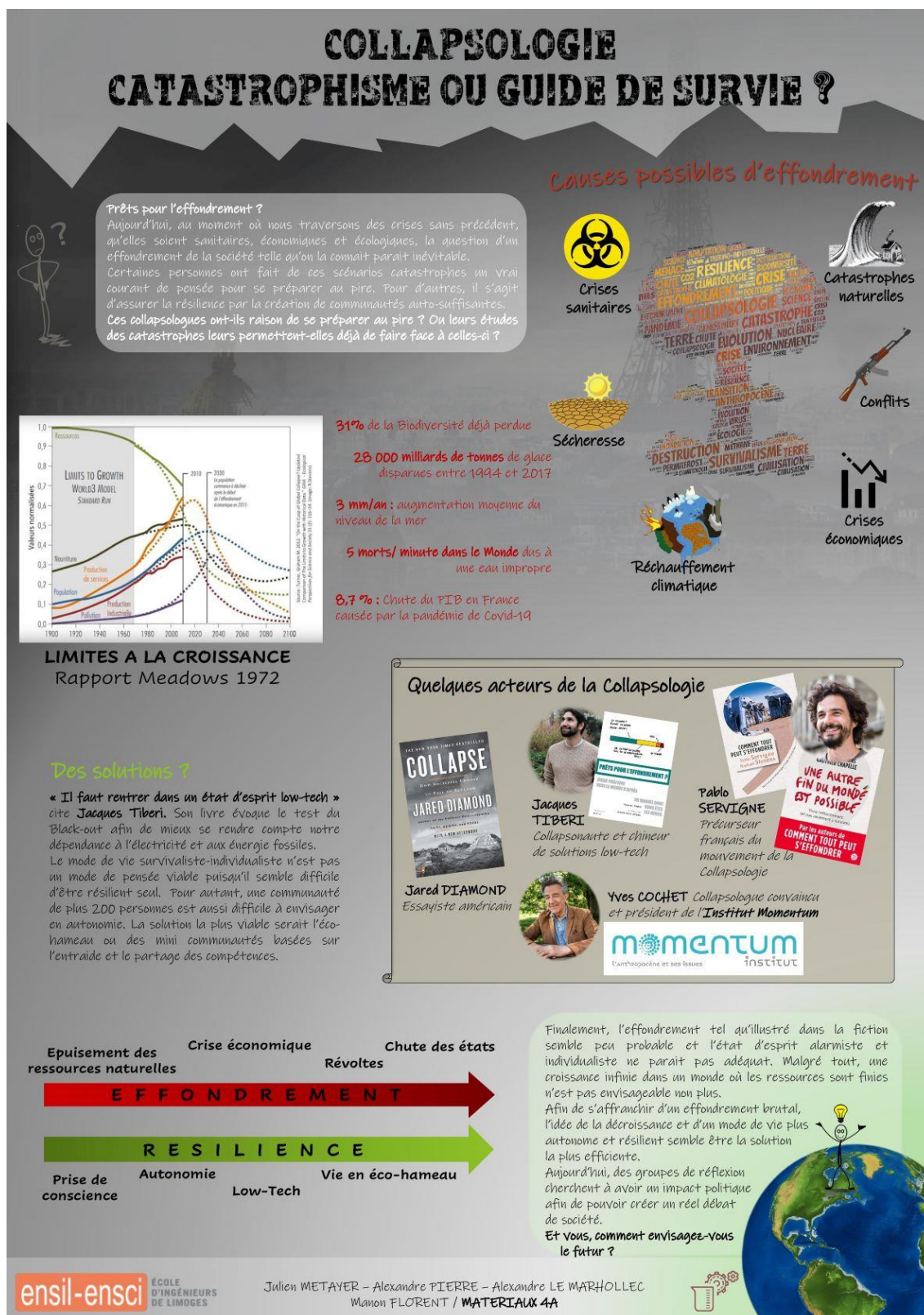
1. La GPA : marchandisation du corps ou droit à la parentalité ?
2. La contraception : quelle égalité homme-femme ?

² Ce grand penseur, référence de l'écologie politique est décédé dans la nuit du 8 au 9 octobre 2022.

- 3. Les applications de rencontre : libération des mœurs ou consumérisme sexuel ?
- 4. Instagram : la validation sociale, à quel prix ?
- 5. *Fast fashion* : peut-on encore changer de garde-robe chaque saison ?
- 6. Strava ou autre appli sportive : aide à la progression ou autopromotion ?
- 7. *Uberisation* : rêve ou cauchemar ?
- 8. Écarts de richesse mondiale : peut-on encore changer le modèle économique ?
- 9. Développement personnel et thérapies du bien-être : clé d'épanouissement ou dérives sectaires possibles ?
- 10. Vaccins et internet : comment démêler le vrai du faux ? Etude de cas possible : le vaccin contre le COVID-19
- 11. Les théories du complot et le conspirationnisme : exercice du doute ou exploitation de failles mentales ?
- 12. Doit-on douter de la science et des scientifiques ? Evolutions polémiques à travers la crise COVID 19
- 13. Le photovoltaïque : quel bilan sur l'environnement ?
- 14. Les éoliennes : quel bilan sur l'environnement ?
- 15. Engrais chimiques : est-ce vraiment une chance pour nourrir la planète ?
- 16. Collapsologie : catastrophisme ou guide de survie ?
- 17. L'obsolescence programmée : mythe ou réalité ?
- 18. Serions-nous tous sensibles aux ondes électro-magnétiques ?
- 19. La voiture électrique est-elle vraiment écologique ?
- 20. De quoi meurent les abeilles ?
- 21. Les OGM dans l'agriculture : une chance pour l'humanité ou un potentiel désastre ?
- 22. Transhumanisme : menace ou opportunité sur la société ?
- 23. Préservation de la biodiversité : nécessité ou frein au développement ?
- 24. Questions et débats éthiques : quelles limites pour intervenir sur le corps humain, la génétique ?
- 25. Exploitation des gaz de schiste : est-ce compatible avec le développement durable ?
- 26. Le nucléaire : quel bilan sur l'environnement ?
- 27. La smart city est-elle vraiment intelligente ?
- 28. Peut-on encore manger des produits préparés à base d'huile de palme ?

- 29. Utilisation des nanotechnologies : jusqu'où peut-on aller sans risque ?
- 30. Peut-on encore manger de la viande ?
- 31. Objets connectés : le confort à quel prix ?
- 32. GAFAM : des services performants mais à quel prix ?
- 33. Les énergies grises : le coût caché du DD ?
- 34. L'écriture inclusive : défense des femmes ou détournement d'attention ?
- 35. La 5G : dangers ou progrès ?
- 36. L'Intelligence Artificielle peut-elle nous menacer ?
- 37. Rôles modèles, LGBTQIA+ : doit-on/peut-on parler de son orientation et de son identité sexuelle au sein de l'entreprise ?

Figure 27 : exemple de poster réalisé par les étudiants de l'ENSIL-ENSCI de Limoges



Ce genre d'initiative dans l'enseignement n'est pas essulée. Des associations et collectifs d'enseignants se constituent pour favoriser les échanges de bonnes pratiques, et porter leurs messages :

- « Profs en transition » : <https://profsentransition.com/>

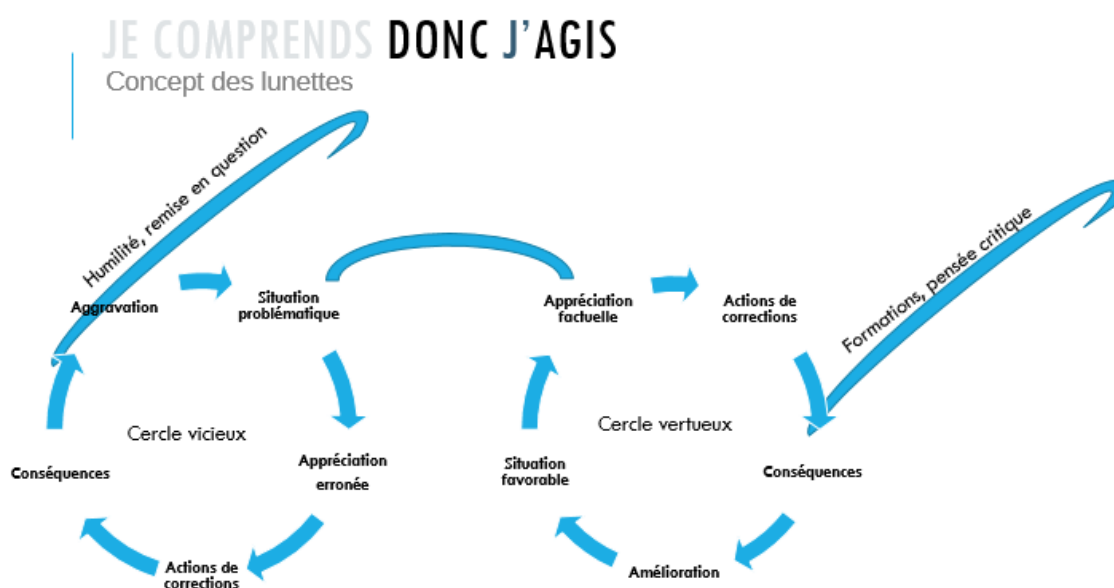
- « Enseignants pour la planète » : <https://enseignantspourlaplanete.com/>
- « Enseignants de la transition » : <https://www.enseignantsdelatransition.org/>
- Ou encore CLIMATSUP : <https://www.groupe-insa.fr/nos-actualites/shift-project-groupe-insa-lancent-climatsup-insa>

Un guide de compétences DD&RS a d'ailleurs été réalisé en 2016 ; il s'agit d'une initiative de la Conférence des Grandes Ecoles et de la Conférence des Présidents d'universités auxquelles se sont associés des acteurs du monde socio-économique (Medef, Pôle emploi, Apec, Ingénieurs sans frontières...), des acteurs de l'enseignement supérieur (Ministères, CTI, RéUniFEDD...) et des réseaux étudiants (Refedd, Animafac...).

Conclusion : après l'état des lieux, le questionnement et les pistes

Nous achevons cet article par un concept, celui des lunettes.

Figure 28 : le concept des lunettes



Ce concept des lunettes se base sur le fait qu'actuellement notre monde est dans une situation dite problématique. Or les citoyens ont une appréciation de plus en plus erronée de cette situation. Cette appréciation erronée engendre des actions de correction inappropriées qui occasionnent donc des conséquences dommageables. Il en résulte une aggravation de la situation. C'est ainsi que se construit un cercle vicieux systémique. Citons le rapport de l'ONU réalisé par l'organisme des risques UNDDR ou encore le 2^{ème} rapport du GIEC - section B2 et son schéma qui évoque les mécanismes de l'action. Citons également le rapport du Stockholm Resilience Center (2020) présentant les limites planétaires : <https://www.stockholmresilience.org/news--events/general-news/2021-04-27-annual-report-2020.html>

Ce que l'on souhaiterait tous, c'est disposer d'une appréciation factuelle, éclairée ; c'est mettre en œuvre des actions de correction appropriées qui débouchent sur des corrections efficaces pour que la situation s'améliore. Ce serait alors un cercle vertueux.

Mais comment passer de ce cercle vicieux à ce cercle vertueux ? Le pont entre les deux se fait entre la situation problématique et l'appréciation factuelle. Pour réaliser ce passage, cette transition, il est essentiel d'y greffer deux branches (ici celles des lunettes) permettant à la fois l'humilité et la remise en question et d'autre part la formation et la pensée critique. Cela constitue une manière de regarder le monde différemment. C'est une forme de transition d'un état à un autre état qui peut constituer un levier d'action. Soulignons dans ce cadre les actions de sensibilisation comme la *Fresque du climat* mais aussi les initiatives de « Parlons climat ».

Références

CHARAUDEAU Patrick, 2001, « De la compétence sociale de communication aux compétences de discours », in Costantino Maeder, Geneviève Fabry, Luc Collès & Jean-Louis Dufays (dir.), *Didactique des langues romanes : le développement des compétences chez l'apprenant*, Louvain-la-Neuve, De Boeck-Duculot, p. 41-54.

GREIMAS Algirdas J. & COURTES Joseph, 1993, *Sémiotique. Dictionnaire raisonné de la théorie du langage*, Paris, Hachette.

MARTIN Olivier, 2000, *Sociologie des sciences*, Paris, Nathan.

MERTON Robert K., ZUCKERMANN Harriet, 1971, « Patterns of Evaluation in Science: Institutionalisation, Structure and Functions of the Referee System », *Minerva*, vol. 9, n° 1, janvier 1971, pp. 66-100.

RASTIER François, 1996, « Problématiques du signe et du texte », *Intellectica*, t. 2, n° 23, p. 11-52.

RONICK D. A., 1990, « Peer review in 18 th century scientific journalism », *The Journal of the American Medical Association*, vol. 263, n° 10, 9 mars 1990.

SARFATI Georges-Elia, 2007, « Note sur « sens commun » : essai de caractérisation linguistique et sociodiscursive », *Langage et société*, n° 119, p. 63 à 80.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Développer et pratiquer une « éducation de l'attention » à l'eau

Jamie Linton

Geolab, FLSH

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/674>

DOI : 10.25965/lji.674

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Avec ce petit article¹, j'aimerais présenter quelques travaux récents pour développer et mettre en pratique ce que nous appelons « une éducation à l'attention à l'eau ». Je suis géographe et pour ce projet, je m'inspire de la géographie, de l'anthropologie, de la biologie ainsi que d'autres disciplines.

Le terme « éducation de l'attention » vient de l'anthropologue Tim Ingold, qui l'a lui-même emprunté à un psychologue environnemental, James Gibson. Et pour illustrer ce concept, je commencerai par les mots de Robin Wall Kimmerer, botaniste étasunienne appartenant à la nation amérindienne des Citizen Potawatomi. Dans son livre, dont la version française est intitulée *Tresser les Herbes Sacrées*, elle décrit la conduite d'un groupe d'étudiants lors d'une excursion d'un weekend dans les Great Smokey Mountains, à la frontière de la Caroline du Nord et du Tennessee. La sortie de terrain semble avoir été un succès scientifique, les élèves ayant rempli leurs cahiers avec les noms de plus de cent cinquante espèces de plantes et des descriptions des mécanismes écologiques responsables pour leurs diverses distributions. Mais il manquait quelque chose ; et je la cite :

« J'avais noyé mes étudiants sous les informations, des modèles et processus, au détriment du plus important. J'avais manqué mon but en les conduisant sur tous les chemins, sauf sur celui qui était essentiel. Comment intéresser des jeunes gens au sort de *Microhexura montivaga* si on ne leur apprend pas que le monde est don, réciprocité ? J'avais expliqué le fonctionnement de la nature, et non sa signification. Nous aurions aussi bien pu rester à l'université et lire des articles sur les Smokies Mountain. C'est comme si j'avais porté une blouse blanche de laboratoire dans la nature...

Et moi, jeune thésarde enthousiaste, colonisée par l'arrogance de la science, je m'étais trompée en pensant que j'étais le seul professeur. C'est la terre et la nature qui l'étaient. Tout ce dont nous avons besoin, nous, les élèves, c'est de nous montrer attentifs. L'attention – être attentif – est une forme de réciprocité avec le monde vivant : en recevoir les dons avec les yeux et le cœur grand ouverts. Mon travail consistait simplement à conduire des étudiants en

¹ Merci à Christiane Peyron pour son aide à la traduction de cet article.

sa présence, et de leur apprendre à écouter et entendre. » (Kimmerer 2013, p. 221).

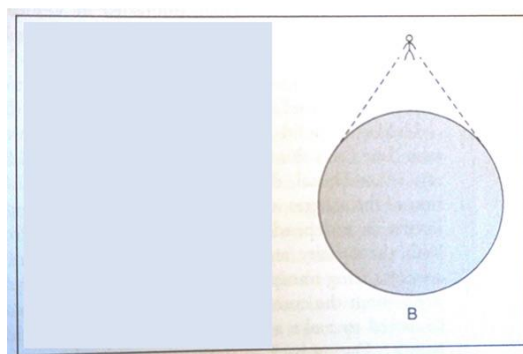
Ces mots résonnent vraiment en moi, géographe spécialisé dans l'enseignement et la recherche sur l'eau, car plus je lis et plus je vois, et plus je parle avec les gens, plus il me vient à l'esprit que les définitions et explications scientifiques de l'eau ne manquent pas parmi les étudiants ni même parmi le grand public. Ce qui manque, si l'on considère l'eau, c'est le genre d'attention que Kimmerer décrit lorsqu'elle parle d'une « réciprocité avec le monde vivant ».

Pour Kimmerer et en fait pour de nombreux peuples autochtones, ce principe de réciprocité est à la base de toutes entre les hommes et les autres vivants non humains. (Linton et Pahl Wostl sous presse). Cela signifie d'abord reconnaître les dons de la nature sous forme d'air pur, d'eau courante, de plantes nutritives et de tous les processus terrestres qui soutiennent la vie ; deuxièmement, cela signifie comprendre profondément – au niveau du sentiment – notre totale dépendance à l'égard de tels dons ; et troisièmement, cela signifie rendre la pareille à ces dons par des actes de célébration, de gratitude et de respect.

Dans la recherche et l'éducation environnementales en général, nous avons tendance à adopter et à enseigner des méthodes qui rendent impossible la reconnaissance, et encore moins la pratique, d'une telle réciprocité.

C'est parce que nous avons tendance à considérer l'environnement comme un objet.

La figure 1, qui provient du livre d'Ingold de 2000, *Perception of the Environment*, représente notre manière moderne et scientifique de percevoir « l'environnement » et de nous y rapporter comme à un objet externe que nous, enquêteurs indépendants, objectifs et impartiaux, pouvons étudier, analyser et mesurer.



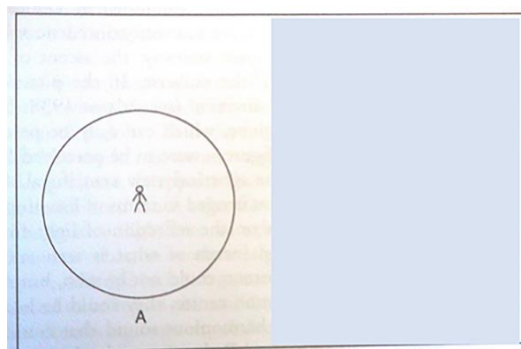
Cette manière d'être en relation avec l'environnement en tant qu'objet a produit des résultats importants. Dans le domaine du développement des ressources en eau et de la protection des écosystèmes aquatiques, elle a produit des savoirs, des technologies et des lois qui permettent à des milliards de personnes - mais pas tout le monde - de vivre avec un degré d'accès à l'eau potable et une protection contre les inondations sans précédent dans l'histoire de l'humanité, tout en nous sensibilisant au moins à l'importance de protéger ou de restaurer les fonctions des écosystèmes aquatiques qui nous permettent de survivre et de bien vivre. Mais malgré cette reconnaissance cognitive, toutes les excellentes informations scientifiques objectives qui ont été produites à ce jour n'ont pas permis de

résoudre un problème fondamental qui devient de plus en plus évident chaque jour : nous modifions le climat de la Terre et avec lui, l'eau est au cœur d'une crise où tous les aspects du cycle hydrologique sont bouleversés.

Face à l'urgence réelle de ce problème et en complément de nos méthodes objectives traditionnelles, nous devons trouver des alternatives. Et l'alternative que je veux proposer est de développer des méthodes d'attention à l'eau, dans la lignée de ce que propose Kimmerer. Il ne s'agit pas d'un appel à l'abandon de la recherche et de l'enseignement scientifiques objectifs. Mais l'approche scientifique objective doit être complétée par « une éducation de l'attention ».

Pour décrire cela je commencerai par attirer votre attention sur la Figure 2, où Ingold s'oppose à la vision de l'environnement en tant qu'objet. Ici, nous avons l'environnement comme « milieu », comme ce qui nous entoure. Plusieurs implications découlent de cette manière de définir l'environnement et de s'y rapporter :

- D'abord ce n'est pas « l'environnement », mais « son environnement », car au lieu d'un objet extérieur, l'environnement est ce qui entoure, ou environne, le sujet. (Cela signifie que l'environnement est différent pour chaque sujet et qu'il n'y a pas de référence commune unique.)
- Deuxièmement, étudier ou comprendre « son environnement » implique des méthodes radicalement différentes, ou du moins complémentaires, de l'étude de « l'environnement ». Comme le montre le diagramme, il y a plus qu'une relation purement cognitive impliquée ici ; notre implication peut être qualifiée de concrète, incarnée, et corporelle aussi bien qu'abstraite, cognitive et intellectuelle.
- Et par la même logique, les méthodes d'enseignement impliquent plus qu'une simple transmission cognitive de représentations et d'idées abstraites. Le type de connaissances produites et acquises ici pourrait plutôt être décrit comme un apprentissage par la pratique et par l'attention. Pour citer Ingold : « L'apprentissage est inséparable de l'action, et tous deux s'inscrivent dans le contexte d'un engagement pratique dans le monde » (Ingold 2000, p. 416).
- Un autre point important à retenir de cette perspective est que sujet et objet sont interdépendants : Je fais essentiellement partie de mon environnement et mon environnement fait essentiellement partie de moi. L'idée moderne et occidentale de la « nature » comme lieu ou condition d'absence des humains n'a pas de sens dans cette perspective. Et du même coup, une étude de l'environnement implique nécessairement un examen de soi.
- Et pour revenir à l'idée introduite plus tôt, il semble évident que cette façon de se rapporter à son environnement est plus propice à percevoir et à pratiquer la réciprocité que de considérer l'environnement en tant qu'objet.



En ce qui concerne l'eau, considérons le Figure 3. Le robinet représente l'environnement aquatique pour la plupart d'entre nous. Notre expérience de l'eau, en particulier pour ceux d'entre nous qui vivent en ville, est extrêmement limitée : au robinet, à la douche et à l'expérience occasionnelle de la pluie entre la voiture et le travail ou le magasin... La plupart de nos cours d'eau urbains sont enterrés et convertis en égouts, et notre connexion avec les rivières urbaines est généralement réduite à un spectacle.



Le robinet représente une sorte de paradoxe. L'approvisionnement de nos foyers en eau de bonne qualité est un accomplissement remarquable de la science et de l'ingénierie, qui ne doit pas être pris pour acquis. Mais il représente aussi, ou constitue, un milieu aquatique artificiel et appauvri, avec quelques implications :

D'abord, le robinet cache l'origine de l'eau et il cache tous les processus, hydrologiques et sociaux, qui rendent l'eau disponible. Cela contribue à une ignorance fondamentale et généralisée de l'eau dans notre environnement plus large. L'eau est souvent décrite comme la ressource naturelle la plus importante, ou la ressource naturelle la plus précieuse, et pourtant la plupart des gens ne savent pas d'où vient leur eau, ni où elle va après avoir quitté l'évier ou les toilettes. La plupart d'entre nous ne savent presque rien du bassin versant que nous habitons et du comportement de l'eau lorsqu'elle s'y écoule.

Si nous espérons pouvoir nous adapter aux effets hydrologiques du changement climatique, si nous espérons faire preuve de résilience face à ces défis, n'est-il pas indispensable que nous - et je veux dire « tous les citoyens »- ayons cette connaissance de base qui est, en un sens, cachée, occultée par le robinet ?

Ce qui est aussi caché par le robinet, c'est le fait qu'en définitive, nous devons notre vie et notre santé à des processus que l'on peut qualifier d'hydrologiques, biologiques, écologiques... Ces processus sont cachés par le robinet, et d'ailleurs par toutes les couches/étapes d'extraction, déplacements, et transformations qui constituent les chaînes de production modernes, mais qui nous donnent l'impression d'être séparés de la nature. Pour Robin Wall Kimmerer et le peuple Citizen Potawatomi, et pour les peuples autochtones en général, cette séparation n'existe pas. Et cela rend beaucoup plus facile pour eux -- et beaucoup plus difficile pour nous -- de comprendre, de « prêter/faire attention » dans le sens de la pratique de relations réciproques. Nous devons notre vie à ces choses dont nous sommes à peine conscients et auxquelles nous pouvons encore moins faire don de réciprocité.

Comment mettre ces idées en actes ? Ingold ne donne pas d'exemples pratiques ni de conseils sur la manière de pratiquer et d'éduquer l'attention ; c'est donc à nous de le faire.

Bien qu'il soit essentiel de sensibiliser à la question de l'eau dans notre environnement urbain – et nous proposons par exemple des visites guidées des "Eaux cachées de Limoges" au sein du programme « Nuit européenne des Chercheurs » – l'aspect le plus important de cette éducation de l'attention est de sortir de la salle de classe, de nous éloigner de nos ordinateurs et de nos livres. Pour répéter ce qu'a dit Ingold, « L'apprentissage est inséparable de l'action, et tous deux s'inscrivent dans le contexte d'un engagement pratique dans le monde. »

L'une des formes les plus élémentaires d'engagement pratique est la marche, donc pour nous, une éducation de l'attention signifie : sortir et marcher. Et si la Terre peut effectivement être le meilleur professeur, comme le suggère Robin Kimmerer, il est néanmoins utile d'avoir des guides qui peuvent instruire notre attention et nous montrer ce qui est important. Et quand il s'agit de l'eau, les meilleurs tuteurs sont nos aînés, ceux qui ont connu et pratiqué des relations quotidiennes plus directes avec l'eau comme ressource et comme système de survie.

La photographie reproduite à la Figure 4, a été prise l'an dernier à la tourbière des Dauges, au nord de Limoges dans les Monts d'Ambazac. Nous avons de gauche à droite, Antoine, un stagiaire investi dans notre projet de recherche au Geolab, Claude, une aînée qui vit au bord de la tourbière, et Philippe, qui est conservateur de la Réserve Naturelle de la Tourbière des Dauges. Ici, Claude nous montre l'endroit où, dans sa jeunesse, il creusait de petits canaux d'irrigation pour arroser la prairie qui descend jusqu'à la tourbière, permettant ainsi une meilleure croissance du fourrage et un meilleur rendement en matière d'élevage. Ce faisant, nous acquérons une partie de la connaissance intime que Claudie a de l'eau dans cet environnement et de son comportement.



Il s'agit d'un exemple d'attention à l'eau qui était très courant dans le Limousin mais qui est en grande partie abandonné aujourd'hui. À cela s'ajoutent les pratiques et les savoirs associés aux lavoirs, aux bonnes fontaines, à la localisation et à l'utilisation des puits peu profonds et des sources, à l'utilisation des pêcheries et à de nombreux autres petits aménagements hydrauliques.

Je terminerai avec deux photos prises en mars de 2022 dans une ferme juste à l'extérieur de Magnac Bourg, au sud de Limoges (voire Figures 5 et 6). Cela faisait partie d'un programme de deux jours intitulé "Des eaux, des humains et des bêtes en Limousin : des relations à retisser"² que nous avons organisé dans le cadre du programme de recherche « Pasteaural »³ : Voici le fermier, M. Péjou, montrant à nos élèves et au public comment faire un petit fossé de drainage avec un outil appelé « taille pré ». Cet exemple résume bien les éléments d'une éducation à l'attention à l'eau que nous développons, en particulier en soulignant comment des engagements pratiques, directs et incarnés avec l'eau peuvent aider à produire une sorte de connaissance non abstraite qui pourrait nous être utile face aux problèmes actuels.

² <https://www.unilim.fr/geolab/wp-content/uploads/sites/18/2022/03/Programme-Journées-Eaux.pdf>

³ Dans le contexte des menaces qui pèsent sur la filière ovine du fait des changements socio-environnementaux et climatiques : disponibilité de la ressource en eau, érosion de la ressource génétique, disparition des savoirs ancestraux, une équipe de chercheurs de l'Université de Limoges (écologues, généticiens, géographes, historiens, économistes et anthropologues), mène en interaction avec des professionnels de la filière et des spécialistes de la gestion de l'eau, une double enquête de « rétreauvision » et de projection sur la manière de tirer parti des usages et pratiques du passé agro-pastoral : **rechercher** les traces encore lisibles que ces usages et pratiques ont laissées dans le paysage, les mémoires, les gènes et les archives, **comprendre** de quelles relations singulières – entre humains, non humains et milieux – ils sont le produit, et **puiser** dans leur analyse croisée les éléments d'inspiration nécessaires à l'anticipation de scénarios plus durables pour le futur.
<https://geolab.uca.fr/geolab/actualites/pasteaural#/admin>



Et à en juger par l'enthousiasme apparent de nos étudiants et par leur implication lors de cette expérience, on peut espérer que c'est le genre de connaissances qui ne sera pas oublié de sitôt.

* * *

Nous devons littéralement notre vie à l'environnement qui nous entoure : notre dépendance à l'air, aux eaux, aux forces productives de la terre est totale. Nos méthodes, sciences et technologies objectives modernes nous ont permis - ou du moins à certains d'entre nous - de capitaliser sur ces ressources et processus, mais au prix de nous séparer, de nous couper, de nous éloigner de ces éléments mêmes qui nous permettent de survivre. La crise environnementale peut être mesurée en indices de perte de

biodiversité, de concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre, de taux de déforestation et de stress hydrique. Mais elle peut également se mesurer en termes de perte d'attachements affectifs et émotionnels à la Terre (et les uns aux autres), et de flétrissement des savoirs locaux et traditionnels qui ont accompagné la modernisation. De telles pertes contribuent à l'appauvrissement de notre capacité à apprécier et à ressentir de la gratitude pour notre totale dépendance à l'égard de la Terre. Il s'agit pourtant d'un préalable indispensable à l'adoption d'une éthique de la réciprocité, qui consiste simplement à reconnaître le don qui nous a été fait en offrant à notre tour quelque chose en réponse. Restaurer nos attachements fondamentaux et nos relations avec la Terre – y compris avec les eaux – devient donc une priorité urgente si nous voulons mettre en œuvre le principe d'une « durabilité efficace ». C'est dans cet esprit que nous nous intéressons à une éducation à l'attention à l'eau, et plus généralement à notre environnement. Je conclurai avec les mots de Kimmerer :

« Restaurer la terre sans restaurer la relation est un exercice vide. C'est la relation qui perdurera et la relation qui soutiendra la terre restaurée. Par conséquent, reconnecter les gens et le paysage est aussi essentiel que de rétablir une bonne hydrologie ou de nettoyer les contaminants. C'est un médicament pour la Terre. (Kimmerer 2013, p. 338)

Références

Ingold, T. (2000). *The Perception of the Environment*. London and New York : Routledge.

Linton, J. and Pahl-Wostl C. (in press). Drawing from Indigenous Ideas and Practices to Rethink European Water Policy. *River Research and Applications*.

Kimmerer, R. W. (2013). *Braiding Sweetgrass : Indigenous Wisdom, Scientific Knowledge, and the Teachings of Plants*. Minneapolis Minnesota : Milkweed Editions.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Un pipeline instrumental et computationnel pour visualiser des particules virales de SARS-CoV-2 en suspension

An instrumental and computational pipeline for visualizing free viral particles in suspension

Erwan FERRANDON

XLIM Research Institute, UMR CNRS 7252, Université de Limoges
Erwan.ferrandon@unilim.fr

Mathis COURANT

RESINFIT, UMR INSERM 1092 Université de Limoges, Département
Bactériologie-Virologie-Hygiène, CHU de Limoges
mathis.courant@unilim.fr

Camélia POPESCU

IRCER, UMR CNRS 7315, Université de Limoges

Yann LAUNAY

IRCER, UMR CNRS 7315, Université de Limoges
yann.launay@unilim.fr

Sophie ALAIN

RESINFIT, UMR INSERM 1092 Université de Limoges, Département
Bactériologie-Virologie-Hygiène, CHU de Limoges
sophie.alain@unilim.fr

Claire LEFORT

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

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/684>

DOI : 10.25965/lji.684

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : La compréhension des modes d'actions biologiques des virus dans une cellule hôte est un sujet complexe pour lequel nous pensons que les solutions optiques pourraient apporter des éléments de réponse nouveaux. Cependant, les dimensions des particules virales sont environ 3 fois plus petites que la résolution d'un microscope optique. Nous proposons de tester une nouvelle stratégie instrumentale et computationnelle, reposant sur la microscopie multiphotonique, pour visualiser des objets dont les dimensions sont de l'ordre de quelques centaines de nanomètres. Cette stratégie repose sur la prise en compte de la réponse impulsionnelle de l'instrument (PSF pour Point Spread Function) in situ, modélisée mathématiquement. A partir de ce modèle qui prend en compte les distorsions optiques locales, un post-traitement numérique des images est appliqué en vue d'optimiser la qualité visuelle des images. Nous faisons des tests sur deux populations de virus : les Cytomégalo virus (CMV) et le SARS-CoV-2.

Mots clés : microscopie multiphotonique, PSF, CMV, SARS-CoV-2, Microscopie électronique

Abstract: The understanding of the biological actions of viruses in a host cell is a complex subject, intensely studied in the last years, and the optical solutions could provide new answers. However, the dimensions of viral particles are about 3 times smaller than the resolution of a standard optical microscope. This characterization can be performed using higher resolution approaches. Consequently, we propose to test a new instrumental and computational strategy, based on multiphoton microscopy, to visualize objects with dimensions of the order of a few hundred nanometers, and to compare these images with the ones obtained by electron microscopy. The multiphoton microscopy strategy is based on the consideration of the instrumental point spread function (PSF) in

situ, mathematically modeled. From this model, which takes into consideration the local optical distortions, a numerical post-processing of the images is applied in order to optimize the visual quality of the images. We have conducted tests on two populations of viruses : Cytomegalovirus (CMV) and SARS-CoV-2.

Keywords: multiphoton microscopy, PSF, CMV, SARS-CoV-2, Electron microscopy

Introduction

Les infections virales sont des pathologies pour lesquelles la recherche a eu un regain d'intérêt ces dernières années, notamment avec la crise Covid. Les recherches portent par exemple sur le rôle et les mécanismes suivis par les particules virales qui mènent à l'infection d'une nouvelle cellule hôte. Les particules virales sont composées de protéines de surface, comme par exemple la protéine Spike pour le SARS-CoV-2. Ces particules sont incluses dans une enveloppe faite de lipides protégeant une capsidie protéique contenant le matériel génétique (ADN ou ARN) ainsi que les protéines nécessaires à la synthèse de nouvelles particules virales au sein de la cellule infectée [1]. La fluorescence endogène est un phénomène qui peut se produire dans de nombreux organismes vivants. Souvent considérés comme parasite, ce signal émis de façon endogène peut cependant révéler des informations intéressantes sur la composition des organismes [2]. Pour apporter de nouvelles informations sur les modes d'actions biologiques des virus dans une cellule hôte, l'idée est de révéler à l'image la présence des particules virales comme celle du SARS-CoV-2 sous leur forme la plus simple. Pour cela, nous cherchons à imager la fluorescence endogène des virions de SARS-CoV-2 [3, 4].

Dans la littérature, on trouve différentes techniques d'imageries ont été utilisées pour visualiser le SARS-CoV-2 [#1, #2, #3]. L'une des solutions les plus utilisées pour visualiser les virus dans leur intégrité est la microscopie électronique à balayage [#4]. Comme l'a reconnu Roingeard P. et al. [#2], la microscopie électronique joue un rôle essentiel dans la visualisation de virus mais son principal inconvénient est son coût d'acquisition et de maintenance ainsi que la complexité de préparation des échantillons dans le but d'obtenir une image exploitable d'une cible non détruite. Par conséquent, le besoin en une nouvelle solution instrumentale optique apparaît afin de permettre une visualisation en quasi direct et sans contact ni traitement de la cible par l'utilisation du microscope multiphotonique. La combinaison et complémentarité de ces solutions pourrait alors nous offrir une meilleure interprétation de nos résultats. Ici, nous proposons une observation de ces particules virales par un microscope multiphotonique sans modification ou altération chimique de la particule virale libre. La source laser nous permettant d'exciter l'échantillon dans le proche infrarouge, il est possible d'observer l'échantillon en profondeur tout en gardant une bonne résolution axiale et en limitant la phototoxicité [5, 6]. Cependant, la moins bonne résolution par rapport à d'autres techniques d'imagerie est majeure. Les objets de dimensions inférieures à la limite de diffraction, comme c'est le cas pour les souches virales de SARS-CoV-2, sont affichés à l'image avec une forme étalée par rapport à leur réalité. Les images acquises en microscopie optique font ensuite l'objet d'un traitement numérique reposant sur une déconvolution associée à un traitement du flou et du bruit. Pour cela, le traitement des images en trois dimensions a été effectué à l'aide de la chaîne instrumentale et computationnelle FAMOUS, mise au point en collaboration avec CentraleSupélec [7].

Des souches virales (VHLE) de cytomégalovirus (CMV) ainsi que des souches de SARS-CoV-2 ont été utilisées pour réaliser des acquisitions en microscopie optique. Les souches de CMV ont été utilisées

dans cette étude en raison de leur taille, 300 nm de diamètre, légèrement plus grand que la résolution optique théorique du microscope multiphotonique. Ensuite, des essais sur le SARS-CoV-2 de 80 à 120 nm de diamètre ont été réalisés.

1. Matériels et méthodes

1.1. Les particules virales libres

Les particules virales de SARS-CoV-2 et de VHLE, ont été cultivées dans le laboratoire P3 du CHU de Limoges à partir de cellules infectées dans du milieu de culture cellulaire. Après 3 jours d'infections [8], les solutions ont été clarifiées puis conservées à -80°C. Les débris cellulaires ont été centrifugés pour les séparer du surnageant, ce dernier a ensuite été prélevé puis passé aux UV pendant 30 secondes pour inactiver les particules virales. Le milieu a été filtré par centrifugation dans des tubes Amicon de 4mL pendant 10 min à 5000 g. Le filtrat recueilli (200 µL) a été transféré dans des tubes Eppendorf de 2 ml et dilués de moitié dans du PBS. Les particules virales ont ensuite pu être filtrées via des billes sur un rack magnétique : 40 µL de billes magnétiques ont été ajoutés à la solution de virion pour une incubation de 10 minutes à température ambiante et 30 minutes sur portoir magnétique. Les billes magnétiques ont été rincées deux fois avec du PBS ou H₂O sur un portoir, puis mises en suspension dans 100 µL de PBS ou H₂O. 10 µL de la solution résultante contenant les virions libres ont été déposés entre lame et lamelle pour observation au microscope. Les préparations en suspension dans de l'H₂O ont été utilisées pour les observations au microscope électronique à balayage environnementale. L'utilisation de billes magnétiques se fixant aux virions ont également permis une meilleure filtration du milieu de culture des souches virales ainsi qu'une agglomération des particules virales facilitant leur repérage au microscope électronique et au microscope multiphotonique.

1.2. Microscopie multiphotonique et traitements computationnels

Les échantillons ont été imagés par microscopie biphotonique avec une source laser standard Titane-Saphir femtoseconde (800 nm, 4 W, 150 fs, 10 nm, Chameleon Ultra II, Coherent) et observés au microscope Olympus, modèle BX61WI. L'objectif de microscope Olympus XLPlan N 25x puis l'objectif Olympus LUMFL N 60x ont été successivement utilisés. Les filtres optiques utilisés pour collecter le signal émis par les échantillons sont compris dans des gammes de longueurs d'onde de 260 à 630 nm. Les acquisitions d'images en trois dimensions ont été réalisées avec un pas de 10 nm entre chaque image sur l'axe Z. La puissance moyenne utilisée pour les observations était de 10 mW.

Les images ont été exploitées avec le logiciel ImageJ et le traitement numérique a été réalisé avec l'algorithme FIGARO, intégré à la chaîne instrumentale et computationnelle FAMOUS [7]. La 1^{ère} étape de ce traitement consiste à modéliser la réponse impulsionnelle de l'instrument, appelée « fonction d'étalement du point » ou « Point spread function » (PSF) en anglais. Cette PSF résulte d'une mesure simultanée réalisée dans la chaîne instrumentale et computationnelle FAMOUS, sur les échantillons eux-mêmes, donnant alors une PSF prenant en compte les spécificités de la cible imagée et non pas une PSF théorique comme cela est parfois l'usage.

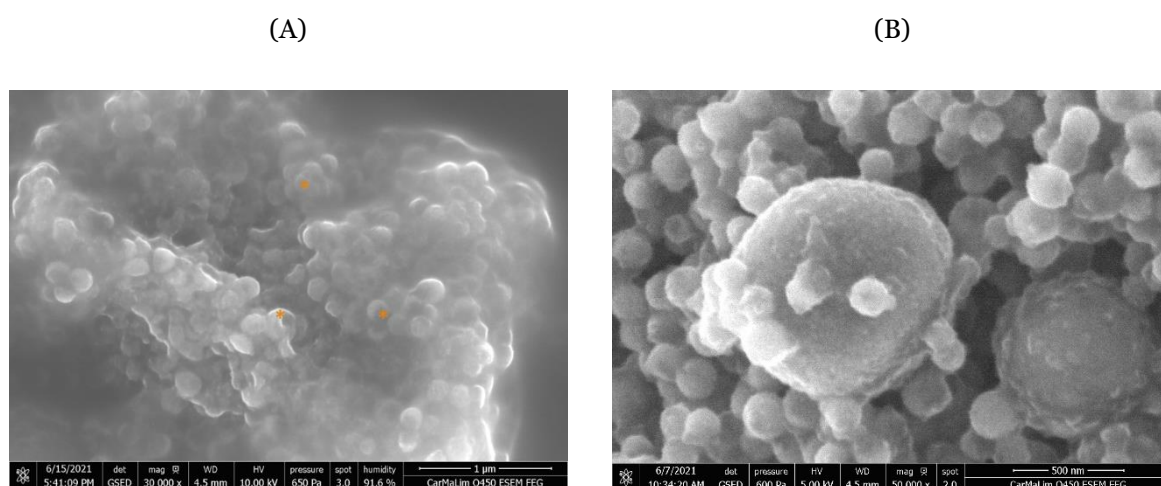
1.3. Microscope électronique à balayage (MEB)

Le microscope électronique à balayage en mode environnemental (MEBe), modèle FEI ESEM Quanta 450 FEG, a été utilisé. L'intérêt de cette méthode est de donner une image de référence à partir d'un instrument à haute performance de résolution afin d'avoir un repère visuel de la cible en présence. La pression dans la chambre était comprise entre 500 et 650 Pa, le voltage compris entre 5 et 10 kV, le mag à 30000-50000 et l'humidité de la chambre entre 70 % et 95 %. La température a été maintenue constante à 2°C avec un taux d'humidité de 92 %. Pour obtenir une image satisfaisante du virus, l'échantillon a d'abord été déshydraté avant d'être introduit dans la chambre du microscope électronique. L'échantillon est préalablement humidifié afin que le séchage lié aux conditions de vide ne soit pas trop rapide et permette l'enregistrement d'une image. Une optimisation du contraste pourrait être obtenue à l'aide d'une surface conductrice.

2. Résultats

La Figure 1 représente l'image obtenue en MEBe. Les particules virales (Figure 1A) entourent les billes magnétiques (Figure 1B). Les billes magnétiques présentent une surface plus lisse et une zone plus foncée au niveau de leur enveloppe que les particules virales. Les particules virales sont identifiées à la Figure 1A par des astérisques rouges. La forme des particules virales ainsi que leur taille semblent correspondre aux gammes de dimensions attendues. On note que les zooms prolongés à haute pression par le microscope induisent la destruction de ces dernières en quelques secondes. Néanmoins, ces images ont permis une meilleure compréhension des observations au microscope multiphotonique dans la répartition des particules virales dans l'échantillon.

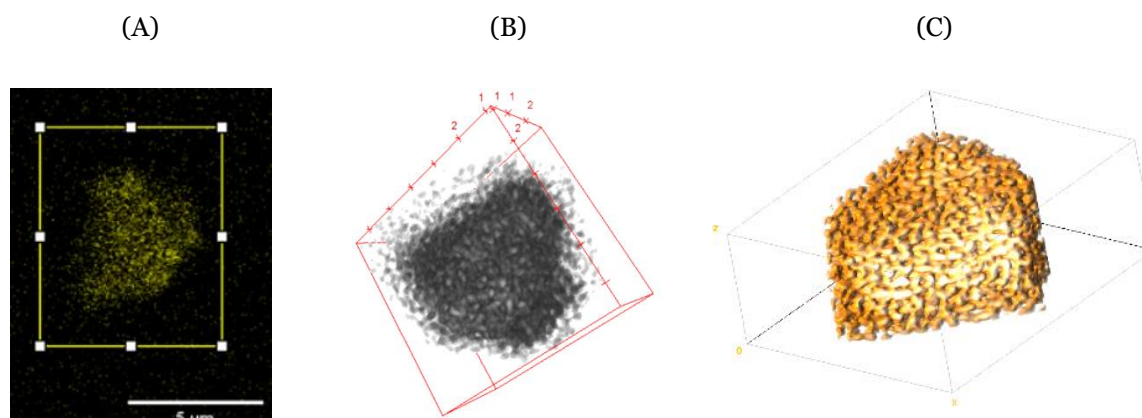
Figure 1 : Images observées au MEB de particules virales de SARS-CoV-2 couplées à des billes magnétiques (A) et de billes magnétiques seules (B)



La Figure 2 présente les images de virions CMV après l'étape de concentration à l'aide des billes magnétiques. On observe ainsi un agglomérat d'objet dont il n'est pas possible de distinguer de détails à partir de l'image brute (Figures 2A et 2B). La Figure 2C illustre en 3D les agglomérats après passage des images dans la chaîne computationnelle de restauration. On observe un assemblage de sphéroïdes dont il est possible, pour chacune d'entre-elles individuellement, d'associer une particule virale de CMV.

En dehors de cet agglomérat, il est difficile d'associer à des sphéroïdes, observées à l'image, une particule virale libre du fait d'un niveau élevé de bruit inhérent à la méthode de mesure par MEBE. Dans cette dernière situation, il n'est pas possible de discriminer clairement un sphéroïde résultant de la présence effective d'une particule virale libre par rapport à un signal résultant d'un artéfact lié à la reconstruction des images.

Figure 2 : Images observées microscopie multiphoton de particules virales de CMV. (A) Image brute 2D. (B) Image brute 3D. (C) Image 3D reconstruite à l'aide de la chaîne instrumentale et computationnelle FAMOUS.



3. Discussion

Les observations obtenues au microscope électronique à balayage environnemental (MEBe) nous ont permis de confirmer la présence des virions de SARS-CoV-2 et de cytomégalovirus (CMV) et d'avoir une idée précise de leur répartition sur la lame de microscope. Ainsi, l'intérêt de ces images MEBe de référence est de nous guider lors de l'enregistrement des images observées au microscope multiphoton présentées précédemment. Des amas ont été observés au MEBe à l'intérieur desquels la présence de zones plus sombres à la surface des particules virales ont été identifiées. Ce phénomène peut être lié à la différence de pression à l'intérieure de la chambre du microscope, finissant par rompre l'enveloppe des virions au bout de quelques dizaines de secondes. Par ces enregistrements de référence, nous avons ainsi pu mieux appréhender la constitution des échantillons. Les données acquises au MEBe nous ont également guidés sur la répartition des virions autour des billes magnétiques ainsi que sur la quantité d'amas potentiellement présents à la fin de la préparation.

Ainsi, nous pouvons dire que l'observation d'agrégats de particules virales, bien que très petites, est possible au microscope multiphoton. Ainsi, à partir des observations présentées dans cet article, nous pouvons extraire trois types d'informations. La 1^{ère} est que la microscopie multiphotonique permet d'observer des particules virales libres grâce aux agglomérats, ici provoqués par l'utilisation de particules magnétiques. Cependant, il n'est pas aisé de détecter les particules de façon individuelles lorsqu'elles sont en dehors de l'agglomérat. La 2^{nde} information est que, bien que la résolution soit meilleure au MEBe, cette solution ne permet que d'observer surface des amas en 2D alors que la microscopie multiphoton nous permet d'observer l'échantillon dans le volume. La 3^{ème} information donnée par ces résultats est que le marquage des particules virales libres n'est pas indispensable pour l'imagerie de

virions. La composition chimique complexe de tels objets biologiques (nombreuses protéines diverses) laisse penser que la structure présente suffisamment d'électrons délocalisables pour permettre de provoquer un mécanisme de fluorescence qui est alors endogène.

Pour aller plus loin, l'introduction de solutions numériques semble indispensable pour pouvoir exploiter ces résultats en contexte biologique. En effet, la question des moyens d'action du virus en situation d'infection reste posée.

Références

[1] Zhang, Y., & Kutateladze, T. G. (2020). Molecular structure analyses suggest strategies to therapeutically target SARS-CoV-2. *Nature communications*

[#1] Golding, C., Lamboo, L., Beniac, D. et al. The scanning electron microscope in microbiology and diagnosis of infectious disease. *Sci Rep* 6, 26516 (2016).

[#2] Roingeard P, Raynal PI, Eymieux S, Blanchard E. Virus detection by transmission electron microscopy : Still useful for diagnosis and a plus for biosafety. *Rev Med Virol.*, 29(1), 2019.

[#3] Goldsmith CS, Miller SE. Modern uses of electron microscopy for detection of viruses. *Clin Microbiol Rev.*, 22(4), 552-63 (2009)

[#4] Brahim Belhaouari D, Fontanini A, Baudoin J-P, Haddad G, Le Bideau M, Bou Khalil JY, Raoult D and La Scola B (2020) The Strengths of Scanning Electron Microscopy in Deciphering SARS-CoV-2 Infectious Cycle. *Front. Microbiol.* 11, (2014)

[2] Witte, R., Andriasyan, V., Georgi, F., Yakimovich, A., & Greber, U. F. (2018). Concepts in Light Microscopy of Viruses. *Viruses*, 10(4), 202.

[3] Hickman, H. D., Bennink, J. R., & Yewdell, J. W. (2009). Caught in the act : intravital multiphoton microscopy of host-pathogen interactions. *Cell host & microbe*

[4] Trezza, A., Iovinelli, D., Santucci, A., Prischi, F., & Spiga, O. (2020). An integrated drug repurposing strategy for the rapid identification of potential SARS-CoV-2 viral inhibitors. *Scientific reports*

[5] Nirmal Mazumder, Naveen Balla, Guan-Yu Zhuo, Yury Kistenev, Rajesh Kumar, et al. Label-Free Non-linear Multimodal Optical Microscopy-Basics, Development, and Applications. *Frontiers in Physics*, Frontiers, 2019

[6] So PT, Dong CY, Masters BR, Berland KM. Two-photon excitation fluorescence microscopy. *Annu Rev Biomed Eng.* 2000

[7] Claire Lefort et al. FAMOUS : a fast instrumental and computational pipeline for multiphoton microscopy applied to 3D imaging of muscle ultrastructure. 2021 *J. Phys*

[8] P. Pelletier, E. Ferrandon, C. Lefort, M. Boespflug, C. Popescu, Y. Launay, C. McLaughlin, S. Alain, "COVID-19 : From Biological Image to the Social Construction of a Virus", *The Era of COVID-19 Uncertainty : Spillover Effects of the Global Pandemic*, Iksad Publications, ISBN : 978-625-8423-99-0, 3-24 (2022)



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Jeu de rôle et simulation d'une entreprise ou comment former les futurs professionnels de l'industrie pharmaceutique

Role-play and business simulation or how to train future professionals in the pharmaceutical industry

Marylène VIANA

LABCIS UR 22722

marylene.viana@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/608>

DOI : 10.25965/lji.608

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : La mise sur le marché d'un nouveau médicament fait intervenir des spécialistes de diverses disciplines. Les futurs professionnels de l'industrie pharmaceutique doivent non seulement acquérir des connaissances scientifiques variées afin d'être capables d'intégrer l'ensemble des problématiques, mais ils doivent également développer leurs compétences personnelles afin de savoir gérer efficacement les projets qui leur seront confiés. La démarche pédagogique mise en œuvre à la faculté de pharmacie de Limoges consiste à mettre les étudiants en situation d'apprentissage actif sous forme de jeu de rôle. Disposant de 500 g de principe actif, chaque groupe d'étudiants doit mettre au point et produire un lot de comprimés, et développer les contrôles pharmacotechniques et analytiques appropriés. Ce projet conduit les étudiants à s'organiser sous la forme d'une entreprise pharmaceutique virtuelle qui vise à déposer une demande d'Autorisation de Mise sur le Marché pour les différents comprimés élaborés. Finalement, un audit réalisé par des étudiants de Master 2 Management de la Qualité, permet d'avoir un regard extérieur sur le travail effectué et de compléter la démarche par une approche technico-réglementaire et qualité.

Mots clés : médicament, jeu de rôle, projet pédagogique, mise en situation, simulation d'entreprise pharmaceutique

Abstract: Bringing a new drug to market involves specialists from various disciplines. Future professionals in the pharmaceutical industry must not only acquire a variety of scientific knowledge in order to be able to integrate all the issues, but they must also develop their personal skills in order to know how to effectively manage the projects entrusted to them. The educational approach implemented at the Faculty of Pharmacy of Limoges consists of putting students in an active learning situation in the form of role play. With 500 g of active ingredient, each group of students must develop and produce a batch of tablets, and develop the appropriate analytical controls. This project leads the students to organize themselves in the form of a virtual pharmaceutical company which aims to file a request for Marketing Authorization for the various tablets developed. Finally, an audit carried out by Master 2 Quality Management students provides an outside perspective on the work carried out and completes the process with a technical-regulatory and quality approach.

Keywords: drug, role play, educational project, scenario, pharmaceutical company simulation

Introduction

Les étapes qui mènent à la mise sur le marché d'un nouveau médicament sont nombreuses, longues, coûteuses et font intervenir des spécialistes de diverses disciplines (chimie organique, pharmacologie, pharmacie galénique, chimie analytique, pharmacognosie ...). Les futurs professionnels destinés à travailler dans l'industrie pharmaceutique doivent non seulement acquérir des connaissances dans chacun de ces domaines afin d'être capables d'intégrer l'ensemble des problématiques, mais ils doivent également développer leurs compétences personnelles (communication, travail en mode projet, prise de décision, autonomie, sens de l'organisation...) afin de savoir gérer efficacement les projets qui leur seront confiés. La démarche pédagogique mise en œuvre à la faculté de pharmacie consiste à mettre les étudiants en situation d'apprentissage actif, avec des enseignements pratiques sous forme de projets.

Au fur et à mesure du cursus de formation dans la filière industrie, les travaux confiés aux étudiants vont leur demander une autonomie et une organisation croissantes, afin de les amener progressivement à un fonctionnement le plus professionnel possible.

L'exemple présenté ici concerne les étudiants de 5^{ème} année de pharmacie. Il vise à développer leurs compétences dans le domaine du développement galénique et analytique du médicament mais également à renforcer leurs connaissances en qualité et affaires réglementaires. Ce projet se déroule en 3 temps : mise au point et production du médicament, contrôle des matières premières et produits finis, et mise en forme de l'ensemble des données dans un document électronique reprenant la structure du module 3 du e-CTD (dossier technique à fournir pour toute demande de mise sur le marché d'une spécialité pharmaceutique). L'aboutissement de ce projet est la création d'une entreprise pharmaceutique virtuelle qui sera soumise à un audit réalisé par des étudiants inscrits en M2 Management de la Qualité.

1. Mise au point et production du médicament

Les formes solides et en particulier les comprimés, sont les médicaments les plus largement présents sur le marché. Néanmoins leur mise au point et la production à grande échelle restent complexes c'est pourquoi l'objectif fixé aux étudiants est de développer une formule de comprimés contenant un principe actif imposé.

La promotion est répartie en groupes de 4 à 5 étudiants. Chaque groupe se voit affecté un principe actif et dispose de 500 g de produit pour réaliser tous les essais nécessaires.

La démarche s'effectue en 3 étapes (voir Figure 1) : préformulation, formulation et production.

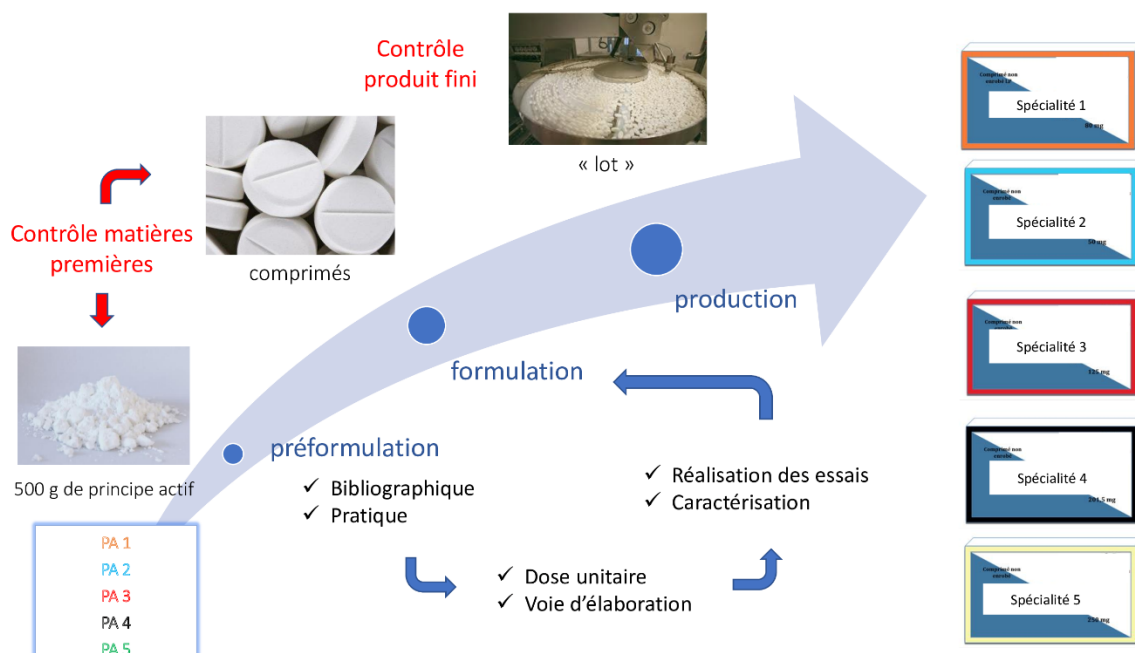


Figure 1 : les différentes étapes de mise au point, fabrication et contrôle du médicament)

1.1. Préformulation

Le travail de préformulation consiste à acquérir le maximum d'informations sur le principe actif afin de préciser les caractéristiques des comprimés à développer : dose unitaire, posologie, modalités de prise, patients visés... Les étudiants commencent donc le projet par une recherche bibliographique et une caractérisation des propriétés du principe actif.

1.1.1. Recherche bibliographique

La recherche bibliographique doit permettre aux étudiants de recueillir toutes les données disponibles sur le principe actif [1, 2, 3, 4]. Ces informations concernent à la fois les propriétés physico-chimiques du produit (solubilités dans les principaux solvants, aspect, stabilité à la température et à l'humidité, incompatibilités...) et les données biopharmaceutiques (demi-vie, site d'action, concentration thérapeutique, biodisponibilité...). Cette première étape sensibilise les étudiants à l'importance de la communication entre les différents interlocuteurs impliqués dans le développement du médicament : dans un cadre industriel, les chercheurs ayant obtenu la nouvelle molécule et les pharmacologues ayant réalisé les premières évaluations transmettent les informations à l'équipe en charge du développement galénique afin d'orienter au mieux la mise au point du médicament.

1.1.2. Caractérisation du principe actif

En complément des données bibliographiques, chaque principe actif doit faire l'objet de caractérisations pharmaceutiques afin de connaître précisément les propriétés du produit mis à disposition des étudiants. Concrètement, dans le cadre du développement d'une formule de comprimés, une évaluation des propriétés d'écoulement, de densification et de cohésion sera réalisée afin d'identifier les qualités mais également les « défauts » du principe actif.

Les différents groupes ont à disposition le matériel leur permettant de réaliser ces caractérisations et s'organisent pour planifier l'enchaînement des essais et la mutualisation de protocoles opératoires, afin d'harmoniser la progression de chaque équipe.

A l'issue de ce travail de préformulation, une séance d'échange avec les encadrants permet de définir les caractéristiques des comprimés à fabriquer (dose unitaire en principe actif, voie de fabrication et excipients).

1.2. Formulation

Cette 2^{ème} étape consiste à réaliser les essais qui vont permettre de transformer le principe actif en comprimé parfaitement dosé en substance thérapeutique. Les étudiants font évoluer leur formule (choix des excipients et quantités) en fonction des problématiques rencontrées : écoulement insuffisant, problème de collage ou de désagrégation... La démarche doit être structurée pour ne pas gaspiller du principe actif inutilement, tout en obtenant des données suffisamment fiables pour orienter efficacement la formulation et pouvoir justifier la formule finale.

Lorsqu'une formule répondant aux spécifications est obtenue, le projet évolue vers la phase de production.

1.3. Production

Cette phase de production consiste à fabriquer les comprimés à une échelle plus importante. En fonction de la quantité de principe actif disponible à l'issue des essais de formulation, les étudiants reproduisent la formule retenue en augmentant les volumes de matières manipulées. Cette démarche leur permet d'être sensibilisés à la transposition industrielle (*scale up*) même si le changement d'échelle reste limité.

Le lot de comprimés obtenu est soumis à un contrôle qualité permettant la libération du lot si l'ensemble des résultats est conforme aux spécifications.

2. Contrôle analytique des matières premières et du lot de comprimés

Dans l'industrie pharmaceutique, aucune matière première ne peut être utilisée sans avoir été contrôlée au préalable [5]. Chaque principe actif est donc contrôlé ainsi que les principaux excipients utilisés. Si la matière première est inscrite à la Pharmacopée Européenne [4], le contrôle est réalisé en suivant la monographie correspondante ; s'il n'y a pas de monographie, les étudiants doivent mettre au point la technique et s'il n'est pas possible de réaliser l'analyse (faute de temps ou de matériel adapté) alors c'est le bulletin de contrôle du fournisseur de la matière première qui justifie de la qualité du produit.

Il est également indispensable de s'assurer de la qualité de chaque lot de comprimés. Des prélèvements sont donc réalisés et soumis à des contrôles dont les résultats seront comparés à des spécifications et reportés dans les dossiers de lot.

Si l'ensemble des résultats des contrôles réalisés sur les matières premières et sur le lot de produit fini est conforme aux spécifications, alors le lot de comprimés est déclaré conforme et peut être libéré. En France, cette décision d'autoriser la sortie du lot de médicaments de l'usine de fabrication pour intégrer le circuit de distribution, est prise par le pharmacien responsable qui engage sa responsabilité.

3. Mise en forme des données (rédaction du e-CTD) et audit qualité

Afin de familiariser les étudiants avec la structure du document e-CTD qui permet la demande d'Autorisation de Mise sur le Marché d'un nouveau médicament, il est demandé à l'ensemble de la promotion de s'organiser pour présenter l'ensemble de leurs données dans un fichier excel commun. Ils doivent identifier les éléments devant figurer dans le dossier pour soutenir la demande d'AMM (justification de la formule et des contrôles, spécifications, responsabilités...). Ils doivent également gérer les liens qui permettent de naviguer facilement dans le document pour trouver les informations (procédures, qualification des appareils...).

Chaque étudiant se positionne à un poste dans l'organigramme de l'entreprise et doit s'assurer de la qualité des données dont il a la responsabilité.

L'aboutissement du projet est la séance d'audit réalisée avec les étudiants de M2 management de la qualité. Le document électronique est transmis aux futurs professionnels en management de la qualité quelques jours avant l'audit ce qui leur permet de prendre connaissance du contenu et de préparer des questions. L'audit se déroule en visioconférence. Elle débute par une réunion d'ouverture permettant d'expliquer le déroulement de l'audit puis les échanges entre les deux promotions se déroulent sur 3h environ. Les étudiants de P5 industrie doivent réagir et s'organiser pour répondre rapidement aux questions des auditeurs, comme dans une situation d'audit réel. Cet exercice permet aux étudiants de se rendre compte de la précision des données qui sont requises et de la profondeur des investigations menées lors d'un audit. Ils apprennent à construire leur argumentation et à apporter les données pour étayer leurs choix.

Conclusion

Ce projet, à la fois concret et virtuel, est ambitieux : il place les étudiants au cœur de la démarche pédagogique en leur fixant un objectif mais en leur laissant beaucoup d'autonomie pour l'atteindre. Cette liberté encadrée plait aux étudiants ; ils apprécient la confiance et la disponibilité de l'équipe enseignante, et la possibilité de prendre des décisions. Ils sont formés à la prise de responsabilités et à l'engagement, ce qui est attendu de la part de tous les cadres de l'industrie pharmaceutique, et en particulier les pharmaciens responsables.

La rédaction d'un rapport écrit (en complément du e-CTD) ainsi que la présentation orale à la fin du projet, leur permettent de développer leurs qualités en communication écrite et orale.

Enfin, l'exercice de l'audit et le regard extérieur d'étudiants qui n'ont pas suivi concrètement le projet, est très efficace pour leur faire prendre conscience du niveau de qualité de leur travail : un document e-CTD bien construit et complet amènera les auditeurs à des questions très pointues et à rechercher des détails.

En conclusion, cette démarche pédagogique demande aux étudiants beaucoup de travail personnel et d'engagement, mais elle leur permet de développer de nombreuses compétences professionnelles et personnelles.

Références

Base de données publique des médicaments, disponible sur le site <https://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/>

Dictionnaire Vidal, disponible sur le site <https://www.unilim.fr/scd/acces/acces-e-vidal/>

The Merck Index, Merck & Co Inc, Rahway, New Jersey, USA

Pharmacopée Européenne, 10^{ème} édition, Editions de l'Europe, Strasbourg, 2022.

ANSM, « Guide des bonnes pratiques de fabrication, 2019.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Revêtements à base cuivre par projection plasma – Application à la décontamination des surfaces

Copper-based coatings by plasma spraying –
Application to the decontamination of surfaces

Laurène YOUSSEF

IRCER

laurene.youssef@unilim.fr

Audrey PROROT

E2Lim

audrey.prorot@unilim.fr

Alain DENOIRJEAN

IRCER

alain.denoirjean@unilim.fr

Camélia PROPESCU

IRCER

camelia.popescu@unilim.fr

Laure SANDOVAL

SANODEV

laure.sandoval@sanodev.com

Fanny MEYTRAUD

SANODEV

fanny.meytraud@sanodev.com

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/630>

DOI : 10.25965/lji.630

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Suite à la pandémie de la Covid-19, un effort considérable est actuellement déployé, tant dans la recherche académique que dans le secteur industriel, pour élaborer des revêtements capables de protéger les surfaces contre les microorganismes et ainsi limiter leur temps de résidence, leur développement et par suite leur transmission. Dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire IRCER, E2Lim et Sanodev, ce travail s'intéresse à la fonctionnalisation d'une surface par le biais d'un revêtement biocide non toxique et photocatalytique capable d'inhiber la croissance des microorganismes. Dans ce but, les potentielles propriétés bactéricides vis-à-vis de *Escherichia coli* de différents revêtements élaborés par projection plasma (photocatalytiques et non photocatalytiques) ont été évaluées.

Mots clés : dépôts de cuivre, projection plasma, surfaces antimicrobiennes, photocatalyse, lumière pulsée

Abstract: Due to the Covid 19 pandemic, an extensive effort is currently staged in both academic and industrial sectors in order to develop cost-effective coatings against microorganisms, thus limiting their growth and transmission. As part of an interdisciplinary collaboration IRCER, E2Lim and Sanodev, this work focuses on the possibility of functionalizing a surface with non-toxic biocidal and photocatalytic materials capable of inhibiting the growth of microorganisms. For this purpose, the potential bactericidal properties against *Escherichia coli* of different coatings produced by plasma spraying (photocatalytic and non-photocatalytic) were evaluated.

Keywords: copper coatings, plasma spraying, antimicrobial surfaces, photocatalysis, pulsed light

Introduction

De nombreux travaux de recherche se focalisent sur la conception de matériaux ou de traitements de surface innovants, afin de prévenir ou, tout du moins, de limiter l'adhésion de virus ou de bactéries [1-2]. Les métaux et les alliages métalliques ont été démontrés comme candidats prometteurs pour le développement de surfaces antibactériennes [3]. Le cuivre, dont les propriétés antimicrobiennes sont aujourd'hui reconnues, apparaît comme un métal tout à fait intéressant en termes de performances et d'intégration dans des systèmes divers, en tenant toujours compte de sa toxicité et de son impact environnemental [4]. La « photocatalyse » est un mécanisme de dégradation d'un composé à la surface d'un semiconducteur photosensible activé, par le biais de réactions d'oxydo-réduction surfaciques. La vitesse de ces réactions chimiques, thermodynamiquement possibles, augmente sans intervention du photocatalyseur dans l'équation bilan de la réaction sous l'action de la lumière. Les premières mentions de la photocatalyse datent de 1911 avec le chercheur allemand Alexander Eibner qui a observé la décoloration d'une solution foncée d'un colorant à la surface de l'oxyde de zinc (ZnO) [5]. De plus, dans le milieu des années 90, au Japon, le secteur de la construction s'est intéressé à l'utilisation potentielle des matériaux photocatalytiques pour l'aspect esthétique (brillance et blanchiment), les propriétés de dépollution (traitements de l'eau), les propriétés antibuée et autonettoyante comme le verre Pilkington™. Ce n'est que quatre ans plus tard que l'Europe a initié ce type de recherche. Plusieurs semiconducteurs comme le Fe₂O₃, le WO₃, le SnO₂, le ZnO et le TiO₂ sont des candidats photocatalytiques potentiels pour des utilisations dans le domaine des senseurs, de l'énergie ou de la purification de l'air ou de l'eau [6-9]. Dans le cadre de cette étude, le photocatalyseur employé est le dioxyde de titane (TiO₂) en raison de sa disponibilité, de son faible coût, de son inertie chimique et biologique et de sa photo-stabilité dans l'air et dans l'eau [10]. De très nombreux travaux de recherche sont consacrés à l'amélioration des performances du dioxyde de titane, en visant soit une amélioration de ses propriétés de porosité et d'adsorption, soit l'augmentation de son efficacité sous lumière visible [11]. L'intérêt de la photocatalyse réside dans son caractère hétérogène, basé sur un matériau réutilisable et non pas une molécule ou un complexe métallique de transition comme en catalyse homogène [12]. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'intérêt d'associer les propriétés antimicrobiennes d'un revêtement de cuivre à l'activité photocatalytique du TiO₂. Dans ce but, des dépôts de cuivre sur acier inoxydables ont été élaborés par une technique en voie sèche : la projection plasma, avec et sans TiO₂. Une telle approche permet de s'affranchir du Cu massif toxique et des problèmes de filtration des catalyseurs en poudre. Les propriétés antibactériennes des revêtements ont ensuite été évaluées avec et sans exposition à la lumière pulsée, en présence d'une souche de référence, *Escherichia coli*.

1. Matériels et méthodes

Dans un premier temps, la surface d'un disque en acier inoxydable de type 316L d'un diamètre d'environ 2 cm est revêtue d'un dépôt de cuivre par projection plasma de poudre à pression atmosphérique. Dans une deuxième approche, et afin d'étudier l'effet de l'addition d'un matériau photocatalytique sur les performances antibactériennes du matériau, du TiO₂ préparé en suspension est co-projeté avec la poudre de cuivre, au cours du procédé.

1.1. Élaboration des dépôts : la projection plasma en quelques mots

Les dépôts sont élaborés par une sous-classe de projection thermique : le plasma. En effet, la projection thermique fait partie des procédés industriels de traitements de surface par voie sèche. Plusieurs types de projection thermique sont distingués comme l'arc-fil, la flamme, la suspension et le plasma. Ce dernier est utilisé pour l'élaboration des dépôts antibactériens étudiés dans ce travail. Un jet plasma haute vitesse et haute température (10000 °C-12000 °C) est généré entre deux électrodes par arc électrique. Un gaz ou un mélange de gaz porteurs (dans ce cas un mélange binaire argon/hydrogène) injecté véhicule ensuite les particules précurseurs du revêtement qui fondent à haute température et se déposent en 'lamelles' à la surface d'un substrat plus froid. L'originalité de la procédure de dépôt dans ce travail est la combinaison de la projection plasma de poudre (Cu) et de suspension (TiO₂). Le montage expérimental est présenté dans la **Figure 1**.

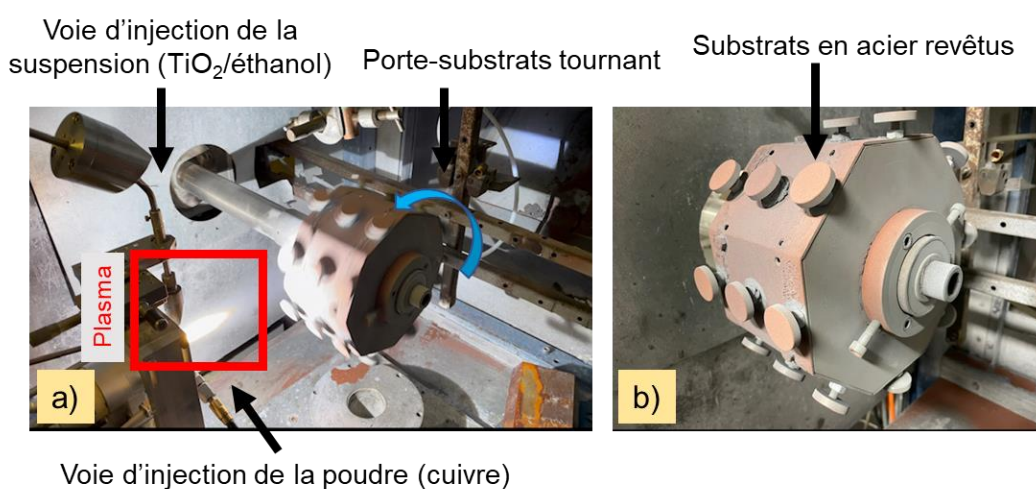


Figure 1 : Photos du montage expérimental de la projection plasma de poudre/suspension au Hall Techno de l'IRCER a) buse avec plasma et b) porte-substrats tournant.

Afin d'étudier l'éventuel bénéfice de la photocatalyse dans l'amélioration des performances bactéricides des revêtements en cuivre, trois supports ont été testés : les disques en acier inoxydable (témoin négatif), les disques de cuivre massif (Cu) et les disques de TiO₂ co-projeté avec le cuivre (Cu/TiO₂). Dans ce dernier cas, le TiO₂ est préparé dans une suspension d'éthanol. En effet, la taille nanométrique des particules de TiO₂ implique des débits énormes de gaz porteur pour projeter la poudre. De ce fait, il a été préparé en suspension dans un solvant facile à évaporer (l'éthanol) et pouvant facilement brûler. Le choix des substrats en acier inoxydable est crucial afin d'éviter des déformations ou fusions éventuelles à haute température et toute corrosion de contact avec les solutions des tests antibactériens.

1.2. Exposition à la lumière pulsée

Les différents dépôts ont été placés sous lumière pulsée afin de photo-sensibiliser le TiO₂. Le système d'exposition est la LP Box (Sanodev). Il est préprogrammé sur une tension de 4000V à la fréquence de 3 flashes par seconde. Trois modes sont directement accessibles au niveau du tableau de bord de la machine : le mode normal, silencieux et performant. Lorsque l'échantillon à décontaminer est placé au centre, sous la lampe de la LP box, la fluence reçue par flash est de 37 mJ.cm⁻². Avec le mode utilisé dans

cette étude, la dose de traitement appliquée à chaque échantillon est de $1,85 \text{ J.cm}^{-2}$. Les différentes conditions de traitement testées dans ce travail sont synthétisées dans le **Tableau 1**.




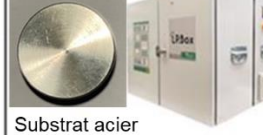
	LP Box (Sanodev)		LP Box (Sanodev)
 Cu/TiO ₂	 Cu/TiO ₂	 Cu/TiO ₂	 Substrat acier inoxydable
Disque Cu/TiO ₂ non soumis à la lumière pulsée (Ø LP)	Disque Cu/TiO ₂ soumis à la lumière pulsée (+ LP)	Disque Cu massif non soumis à la lumière pulsée (Ø LP)	Disque acier inoxydable soumis à la lumière pulsée (+ LP)

Tableau 1 : Récapitulatif des différentes conditions testées avec photos des échantillons.

1.3. Protocole d'analyses microbiologiques

Les propriétés antibactériennes des différents dépôts, avec et sans exposition à la lumière pulsée, ont été évaluées sur une suspension d'*Escherichia coli* (souche CIP 52.172), suivant la norme ISO 22196 :2011.

La souche est cultivée à partir d'une colonie mise en culture dans un milieu « Tryptic Soya Broth » (TSB, 3 % m/v ; Merck KGaA Laboratoire). La pré-culture est ensuite incubée pendant 17 à 18 heures à 37°C sous une agitation à 120 rpm. Les bactéries sont prélevées en phase stationnaire de croissance. A partir de cette pré-culture, les propriétés antimicrobiennes des différentes conditions sont évaluées par techniques culturales selon le protocole décrit sur la **Figure 2**. Les dénombrements sur gélose sont réalisés en duplicata et chaque essai est répété trois fois afin de valider la reproductibilité des essais.

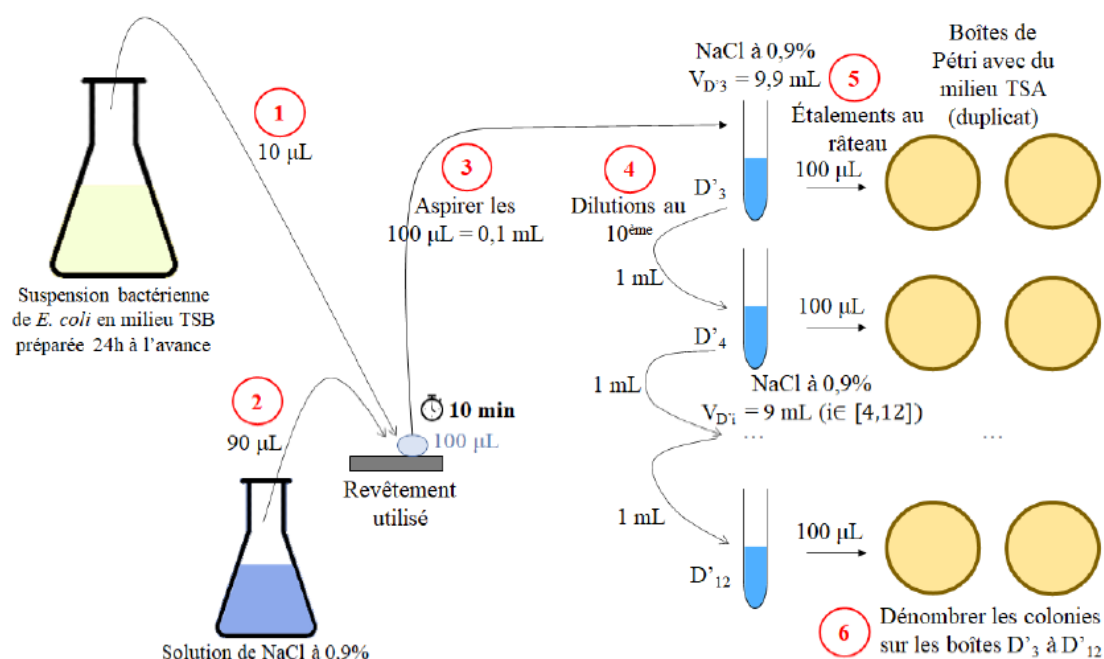


Figure 2 : Protocole du test d'évaluation des propriétés antibactériennes des différents substrats, réalisé à E2Lim.

2. Résultats et discussion

2.1. Caractérisations physico-chimiques des dépôts

Le TiO_2 est un matériau photocatalytique qui possède trois phases cristallines : l'anatase, le brookite et la rutile. Jusqu'à présent, l'activité photocatalytique de la brookite n'est pas systématiquement définie dans la littérature. Cependant, la rutile et l'anatase sont deux phases du TiO_2 qui ont présenté des propriétés photocatalytiques intéressantes. L'anatase est une phase métastable qui se transforme en rutile stable à haute température, souvent supérieure à 600 °C [13]. Suite à une meilleure mobilité des paires électrons-trous ainsi qu'une densité surfacique de groupements hydroxyles (OH^-) élevée, l'anatase TiO_2 est considérée comme le polymorphe le plus actif en photocatalyse [14-15]. En revanche, le TiO_2 Evonik Degussa P25 industriel, qui est un mélange d'une majorité d'anatase et d'un plus faible pourcentage de rutile, est le composé qui a présenté les meilleures performances photocatalytiques comparées à celles des phases pures [16]. Pour cette raison, cette poudre constitue la référence à laquelle sont comparées les activités des matériaux photocatalytiquement actifs.

Dans un procédé de dépôt comme la projection plasma où les températures sont excessivement élevées, la conservation de la phase anatase s'avère très difficile. Cette phase métastable tend à se transformer en rutile. La **Figure 3** est un diffractogramme des Rayons X des revêtements Cu/TiO_2 .

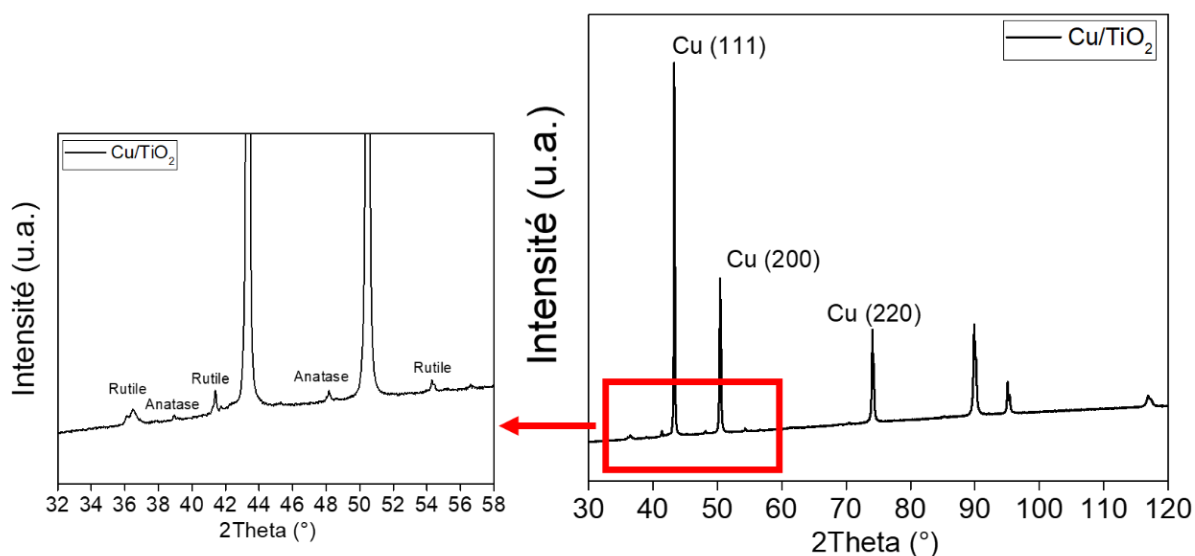


Figure 3 : Diffractogramme Rayons X des revêtements Cu/TiO_2 préparés à l'IRCER.

La diffraction des rayons X est une technique qui permet de mettre en évidence les phases présentes. Chaque pic est caractéristique d'une orientation dans une phase. Les pics du cuivre sont les plus intenses puisqu'il s'agit de la matrice métallique majoritaire. Les intensités des pics de TiO_2 sont nettement plus faibles puisqu'il s'agit d'un additif à la matrice. Il est remarquable que, malgré les températures élevées,

un certain pourcentage d'anatase est conservé. Cependant, la quantité de rutile reste légèrement plus importante. L'effet de la coexistence de ces deux phases est à prendre en considération. Afin de mieux visualiser les revêtements, la **Figure 4** est un cliché de microscopie électronique à balayage d'un dépôt élaboré par projection plasma.

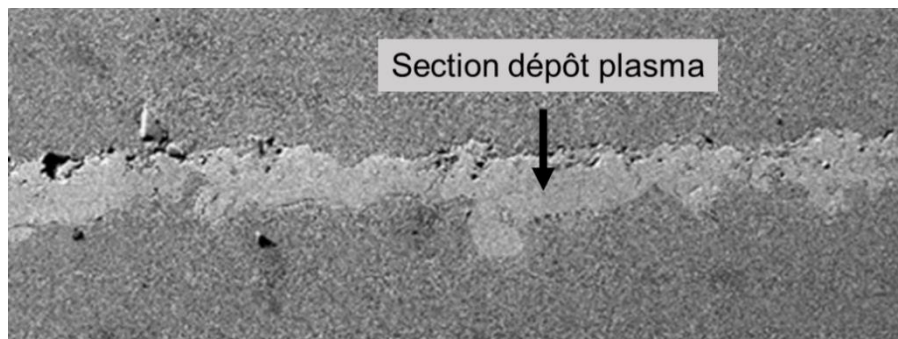


Figure 4 : Section de microscopie électronique à balayage des revêtements faits à l'IRCER.

Les dépôts de projection plasma font environ 150-200 μm d'épaisseur sachant qu'un minimum de 80 μm est requis pour combler l'état de surface du substrat et avoir une surface continue. Il faudrait déposer un peu plus que le minimum afin de tenir compte des pertes éventuelles par érosion du revêtement au cours des analyses.

2.2. Comparaison des propriétés antibactériennes des dépôts Cu /TiO₂ et du cuivre massif

Les propriétés antibactériennes des dépôts Cu/TiO₂ ont été évaluées et comparées à celles du cuivre massif. Les résultats obtenus sont présentés sur la **Figure 5**.

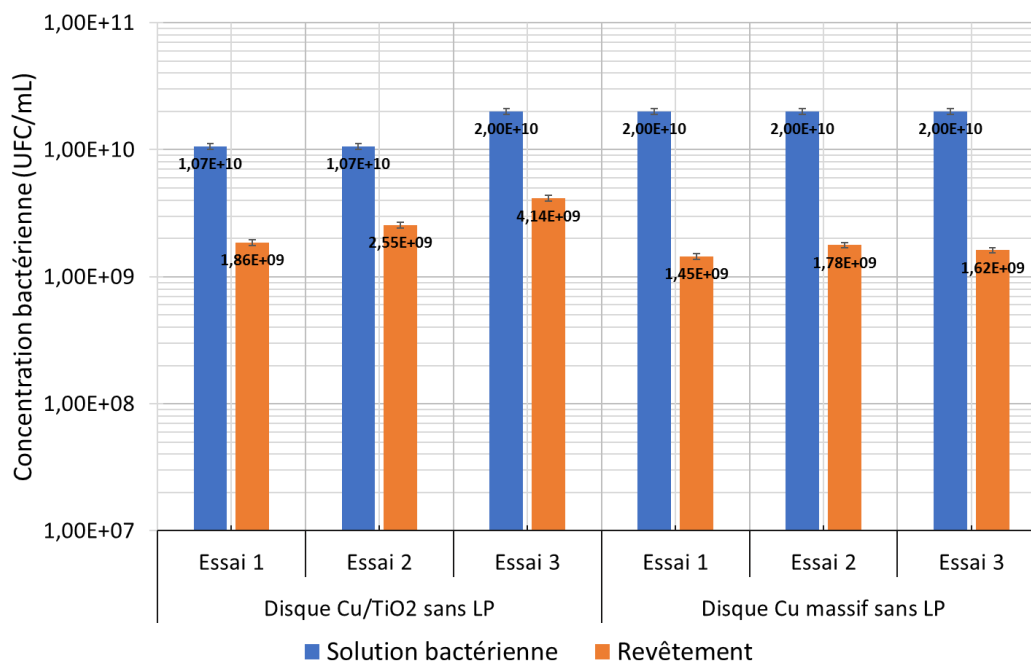


Figure 5 : Comparaison des propriétés antibactériennes des disques Cu/TiO₂ et cuivre massif.

Les résultats obtenus montrent que le cuivre massif et les dépôts de Cu/TiO₂ présentent tous les deux des propriétés antibactériennes. Toutefois, il est intéressant de noter que dans le cas des dépôts Cu/TiO₂, ces effets sont moins importants. Il est probable que les propriétés de surface des dépôts de Cu/TiO₂, telles que la rugosité, l'épaisseur ou le niveau d'oxydation du cuivre induisent de telles observations. Toutefois, d'autres investigations sont nécessaires pour étayer ces hypothèses. Un autre point à mentionner tourne autour des écart-types faibles observés dans ces tests. Ceci implique une reproductibilité élevée des tests effectués.

2.3. Caractérisation des effets antibactériens après activation des dépôts par lumière pulsée

Les mêmes substrats (Cu/TiO₂ et cuivre massif) ont été exposés à la lumière pulsée après le dépôt de la suspension bactérienne afin de mettre en évidence d'éventuelles propriétés photocatalytiques couplées aux performances bactéricides initiales du cuivre. Les résultats sont présentés sur la **Figure 6**.

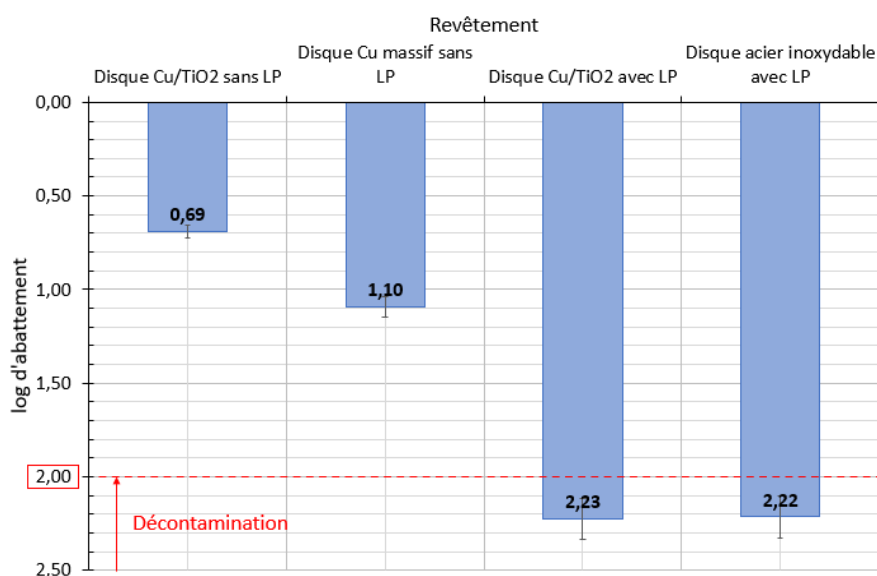


Figure 6 : Comparaison des propriétés antibactériennes des différents substrats (cuivre massif, Cu/TiO₂ et acier inoxydable) avec et sans exposition à la lumière pulsée.

Les résultats obtenus montrent des effets bactéricides largement supérieurs lorsque les dépôts sont exposés à la lumière pulsée puisque le log d'abattement augmente de 0,69 à 2,23 après exposition. Toutefois, les résultats obtenus avec le témoin (acier inoxydable) montrent des taux d'abattement équivalents. L'augmentation du taux d'abattement ne peut donc être attribuée qu'aux propriétés bactéricides de la lumière pulsée seule et ne permet pas de mettre en évidence des effets photocatalytiques ajoutés aux effets bactéricides initialement présents. La reproductibilité des tests est cependant, encore une fois, remarquable.

Conclusion et perspectives

L'objectif de ce travail était de caractériser les propriétés antibactériennes d'un dépôt de cuivre, après l'ajout du TiO₂ photocatalytique, avant et après activation à la lumière pulsée, dans le cadre du développement de revêtements de surface bactéricides. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence des effets bactéricides des dépôts élaborés en raison de la présence de cuivre dont les propriétés antimicrobiennes sont connues. Cependant, à ce stade, aucun effet photocatalytique bactéricide n'a pu être mis en évidence. Une perspective intéressante à ce travail serait d'optimiser le protocole d'exposition à la lumière pulsée, car un effet d' « écrantage » du substrat par la suspension bactérienne est probable. Une optimisation des techniques de dépôt du substrat Cu/TiO₂ pourrait également être envisagée afin de doper le cuivre en conditions contrôlées. En complément, le pourcentage anatase/rutile dans le revêtement reste à approfondir. Un dernier point concerne la granulométrie de la poudre de TiO₂ ajoutée. En effet, les poudres utilisées dans cette étude font quelques centaines de nanomètres mais il existe des poudres plus fines qui pourraient induire des surfaces spécifiques plus importantes et augmenter ainsi l'effet photocatalytique dans le revêtement.

Remerciements

Ce travail a été financé par la Région Nouvelle-Aquitaine dans le cadre du projet Revêtement mEtalLIque contre la contAmiNaTion des surfaces plastiques (RELIANT). Nous tenons également à remercier M. Simon Goutier, enseignant-chercheur à la Faculté des Sciences et Technologies de Limoges et l'IRCER, pour les échanges précieux, ses connaissances en projection plasma et son accompagnement au cours de l'élaboration des dépôts. Nous remercions aussi M. Geoffroy Rivaud, ingénieur d'études à l'IRCER, pour son appui technique tout au long des procédés de dépôt. Et enfin, nous adressons nos remerciements aux élèves ingénieurs de l'ENSIL-ENSCI, Thomas Laurens et Arnauld Delbos, pour la réalisation des tests antibactériens et le résumé des résultats de ce stage.

Références

- [1] M.A.Arenas, A.Conde, I.García, J.J.de Damborenea, *Ceramics International* **48**, pp. 21835-21843 (2022).
- [2] S. Durdu, A. Arslanturk, S.L. Aktug, K. Korkmaz, S. Aktas, F. Unal, E. Yalcin, K. Cavusoglu, *Journal of Materials Science* **46**, pp. 1-16 (2022).
- [3] E. Zhang, X. Zhao, J. Hu, R. Wang, S. Fu, G. Qin, *Bioactive Materials* **6**, pp. 2569-2612 (2021).
- [4] P.D. Rakowska, M. Tiddia, N. Faruqui, C. Bankier, Y. Pei, A.J. Pollard, J. Zhang, I.S. Gilmore, *Communications Materials* **2**, pp. 53-72 (2021).
- [5] A. Eibner, *Chemiker Zeitung* **35**, pp. 753-755 (1911).
- [6] X. Sun, C. Wang, D. Su, G. Wang, Y. Zhong, *Advanced Materials Technologies* **5**, pp. 1900993 (2020).
- [7] S. Bai, C. Gao, J. Low, Y. Xiong, *NanoResearch* **12**, pp. 2031-2054 (2019).

- [8] H. Ren, P. Koshy, W-F. Chen, S. Qi, C.C. Sorrell, *Journal of Hazardous Materials* **325**, pp. 340-366 (2017).
- [9] M. Zhou, 'Novel photocatalytic TiO₂-based porous membranes prepared by PECVD for organic pollutant degradation in water', *Thèse de l'Université de Montpellier* (2015).
- [10] S. Banerjee, J. Gopal, P. Muraleedharan, A.K. Tyagi, B. Raj, *Current Science* **90**, pp. 1378-1383 (2006).
- [11] V. Etacheri, C. Di Valentin, J. Schneider, D. Bahnemann, S.C. Pillai, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* **25**, pp. 1-29 (2015).
- [12] M. Kacem, 'Inactivation bactérienne par photocatalyse hétérogène : Application à Escherichia Coli', *Thèse de l'Université de Perpignan Via Domitia* (2015).
- [13] V. Etacheri, M.K. Seery, S.J. Hinder, S.C. Pillai, *Advanced Functional Materials* **21**, pp. 3744-3752 (2011).
- [14] A.L. Linsebigler, L. Guangquan, J.T. Yates, *Chemical Reviews* **95**, pp. 735-758 (1995).
- [15] M. Muruganandham, M. Swaminathan, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **81**, pp. 439-457 (2004).
- [16] G. Balasubramanian, D.D. Dionysiou, M.T. Suidan, I. Baudin, J.M. Laine, *Applied Catalysis B : Environmental* **47**, pp. 73-84 (2004).



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Cellules Solaires pour les Télécommunications et la Récupération d'Énergie

Solar Cells for Telecommunication and Energy
Harvesting

Daniel RIBEIRO DOS SANTOS

Université de Limoges, CNRS, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges,
France

daniel.ribeiro-dos-santos@unilim.fr

Anne JULIEN-VERGONJANNE

Université de Limoges, CNRS, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges,
France

Johann BOUCLÉ

Université de Limoges, CNRS, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges,
France

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/661>

DOI : [10.25965/lji.661](https://doi.org/10.25965/lji.661)

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Dans un monde technologique en pleine mutation, le nombre d'appareils connectés explose et le domaine des télécommunications doit suivre le rythme en offrant une connectivité toujours plus robuste et fiable, tout en assurant une empreinte énergétique la plus faible possible. Les nouvelles générations de technologies sans fils mobiles (la 5G aujourd'hui et la 6G demain) cherchent ainsi à exploiter de nouvelles bandes de fréquences pour éviter la saturation du spectre radiofréquence (RF) actuel. Dans ce contexte, la communication sans fil par voie optique (Optical Wireless Communication - OWC) est une solution notamment pour les environnements intérieurs. D'autre part, l'utilisation de cellules et modules photovoltaïques pour la récupération d'énergie ambiante est étudiée actuellement pour la réception de données par voie optique. Ce concept récent associant des expertises interdisciplinaires dans les domaines de l'énergie et des télécommunications permet d'envisager l'alimentation en énergie des dispositifs communicants de l'internet des objets (IoT), tout en leur apportant une fonctionnalité de réception OWC. Ce travail décrit ainsi les principes de base de la technologie OWC et propose un état de l'art synthétique sur l'utilisation de photorécepteurs photovoltaïques pour cet usage innovant.

Mots clés : cellule solaire, communication optique sans fil, récupération d'énergie, réception de données

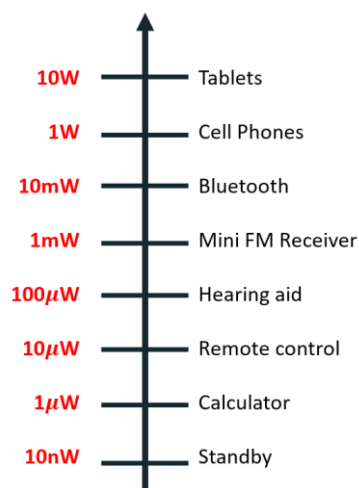
Abstract: As technological world rapidly evolves, the number of connected devices is exploding and the field of telecommunications must offer even more robust and reliable connectivity, while ensuring the lowest energy consumption. The new generations of mobile wireless technologies (5G today and 6G tomorrow) are thus seeking to exploit new frequency bands to avoid saturation of the current radio frequency (RF) spectrum. In this context, Optical Wireless Communication (OWC) is a solution, particularly for indoor environments. On the other hand, the use of photovoltaic cells and modules for ambient energy harvesting is currently being studied for the reception of optical data. This recent concept combining interdisciplinary expertise in the fields of energy and telecommunications provides the power supply of communicating device of the Internet of Things (IoT) along with OWC reception functionality. This work describes the basic principles of OWC technology and provides a synthetic state-of-the-art about using photovoltaic receivers for this innovative purpose.

Keywords: Solar Cell, Optical Wireless Communication, Energy Harvesting, Data Reception

Introduction

La croissance exponentielle de la population induit de nombreux défis sociétaux, liés notamment aux changements climatiques et aux enjeux énergétiques. Pour répondre à ces défis, les recherches autour de sources énergétiques renouvelables s'intensifient (Victoria, et al., 2021). Ainsi, la technologie photovoltaïque (PV) attire l'attention à mesure que les nouvelles générations de dispositifs PV émergent, comme par exemple les cellules solaires à pigments photosensibles (Dye-Sensitized Solar Cell - DSSC), les cellules solaires organiques (Organic Photovoltaics - OPV), et plus récemment les cellules solaires pérovskites (Perovskite Solar Cells – PSC). Ces technologies, qui font partie de la 3^{ème} génération de cellules solaires, sont susceptibles de présenter un coût et une durée de retour énergétique (Energy Payback Time – EPBT) inférieurs à ceux des approches inorganiques conventionnelles (cellules silicium, cellules en couches minces). Elles constituent de sérieuses options pour la conversion photovoltaïque de l'énergie, avec notamment des rendements de conversion de puissance (Power Conversion Efficiency – PCE) jusqu'à 25.7 % sous les conditions de test standard¹ (Dong, et al., 2021). De plus, bien que les cellules solaires inorganiques présentent de meilleures performances dans ces conditions (PCE de 29.1 % pour une cellule inorganique à l'Arsenure de Gallium GaAs (Li, et al., 2020)), des recherches récentes ont montré le potentiel de la 3^{ème} génération des dispositifs PV dans un futur proche (Kopidakis, s.d.), notamment en raison d'autres caractéristiques très intéressantes, comme la flexibilité et la légèreté des substrats, conduisant à une puissance spécifique très élevée, atteignant 10 W/g sous illumination solaire (Kaltenbrunner, et al., 2012)².

Figure 1 : Consommation d'énergie des dispositifs traditionnels



Crédits : Créé à partir de données provenant de (Tartagni, et al., 2009)

Le vrai potentiel de cette génération de composants à bas coûts et flexibles se révèle dans les conditions d'éclairage intérieur (*indoor*), lorsque des sources lumineuses artificielles sont utilisées (lampes halogènes, diodes électroluminescentes ou LED à basse consommation). En effet, des recherches récentes ont rapporté un rendement de 40.24 % (record mondial) d'une cellule pérovskite sous 1000 lux

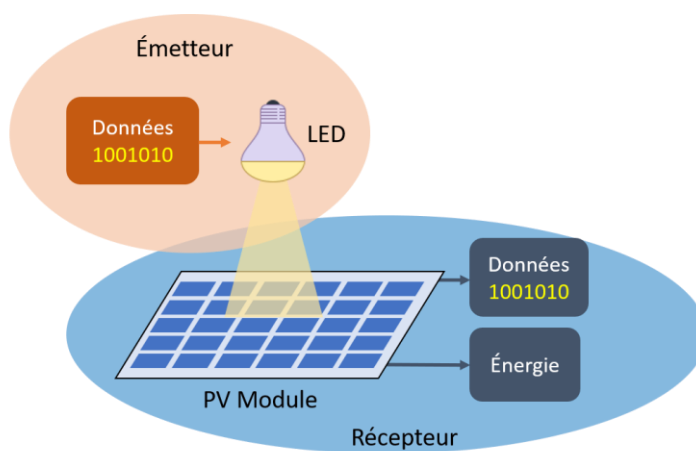
¹ Les conditions de test standard : 1000 W/m², 25°C et le spectre solaire AM1.5G

² Supérieur à 3 Wg⁻¹ obtenue avec une cellule « Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) » (Chirilă, et al., 2011)

(Dong, et al., 2021), et un rendement de 31.0 % d'une cellule solaire organique sous 1650 lux (Ma, et al., 2020). Ces rendements sont supérieurs à ceux obtenus avec des cellules au Silicium Amorphe (*a-Si*) et à l'Arséniure de Gallium (GaAs), qui montrent des PCE de 21 % et 19 % respectivement (Li, et al., 2020). En conséquence, une cellule solaire organique de surface active 10 cm x 10 cm présentant un rendement de 10 % peut générer jusqu'à 10 mW de puissance électrique sous un éclairage standard indoor de 500 à 1000 lux (Cutting, et al., 2016), (Pecunia, et al., 2021), ce qui est suffisant pour alimenter des dispositifs de très faible puissance (Ultra Low Power - ULP) de l'Internet des Objets (Internet of Things - IoT), comme des capteurs, des actionneurs et petits robots (Li, et al., 2020), et d'autres appareils couramment utilisés, comme indiqué dans la Figure 1.

Le développement technologique des dispositifs PV est allé encore plus loin avec des recherches montrant l'utilisation potentielle des cellules solaires comme récepteurs de données pour les communications par optique sans fil (Optical Wireless Communication - OWC). On peut ainsi concevoir un seul système pour simultanément récupérer de l'énergie et des données (Wang, et al., 2014), apportant des solutions innovantes dans le contexte de la digitalisation et de l'automatisation de nos sociétés. Nous pouvons citer en exemple des dispositifs totalement autonomes en énergie, capables d'exploiter l'énergie lumineuse environnante tout en convertissant efficacement des données numériques transmises par voie optique. Ce concept est illustré à la Figure 2.

Figure 2 : Représentation schématique de la récupération d'énergie et réception des données simultanément en utilisant un module PV

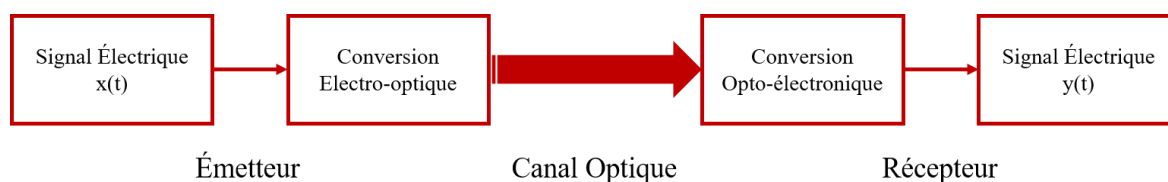


Cet article vise à dresser un panorama synthétique de l'utilisation des cellules solaires en tant que photodétecteurs dans le but de récupérer de l'énergie et de recevoir de façon simultanée des données par voie optique sans fil. Dans la Section 1, un rappel des principales caractéristiques de la technologie OWC est présenté, en soulignant notamment les avantages et les inconvénients de la technologie par rapport aux solutions radiofréquences. La Section 2 se focalise sur l'utilisation des dispositifs PV pour les communications OWC, en exposant les défis scientifiques associés et l'état de l'art récent. Finalement, la Section 3 conclura le document en synthétisant les informations fournies.

1. Communication par Optique sans Fil

Avec le déploiement des cinquième et sixième générations de réseaux mobiles (5G et 6G) il est attendu une hausse importante du débit utilisateur, une diminution de la latence et une augmentation de la densité d'objets pouvant être connectés dans un périmètre donné. Ces évolutions conduisent à une saturation probable du spectre Radiofréquence (RF), limitant les capacités de communication (Mumtaz, et al., 2017). L'une des solutions envisagées consiste à utiliser de nouvelles bandes de fréquences, en se rapprochant des ondes millimétriques (mm), des ondes térahertz et de la bande optique. Cette dernière a récemment attiré l'attention des chercheurs du domaine des télécommunications modernes. Les technologies RF classiques travaillent sur une bande de 3kHz à 300GHz, représentant 300GHz de bande passante disponible, alors que le spectre optique couvre 190THz à 1500THz, ce qui représente 1,3 millions de GHz de spectre disponible, soit environ 4000 fois plus que la bande RF actuelle. Sans surprise, la technologie OWC fait l'objet de nombreuses recherches. Cette dernière regroupe plusieurs catégories en fonction des longueurs d'onde considérées : l'optique en espace libre (Free Space Optics - FSO), qui utilise l'infrarouge (entre 750 nm et 1600 nm), la communication par lumière visible (Visible Light Communication – VLC), qui exploite la bande visible, entre 380 nm et 780 nm, et les communications dans l'ultraviolet (UV-C), entre 200 nm et 280 nm. La Figure 3 illustre le schéma de principe d'une communication OWC. Contrairement à la communication radio, la transmission optique s'effectue en bande de base : aucune conversion de fréquence n'est effectuée. Les données du côté émetteur sont modulées en puissance optique par le dispositif de conversion électro-optique. L'information traverse le canal optique (propagation de la lumière modulée dans l'espace, incluant d'éventuelles réflexions sur des obstacles, etc.). Après transmission, l'amplitude de la puissance optique est convertie en signal électrique par le composant de réception optoélectronique.

Figure 3 : Diagramme de communication optique



Dans le domaine du visible, le dispositif électro-optique émetteur est classiquement une diode électroluminescente (LED), aujourd'hui utilisée pour l'éclairage intérieur, et dont la capacité de commutation rapide permet d'atteindre des fréquences supérieures à celles que l'œil humain peut détecter (60Hz). En conséquence, une LED commandée par un signal électrique comportant une partie continue (pour l'éclairage) et une partie alternative modulée à des fréquences élevées génère un signal optique dont l'amplitude varie au rythme des données binaires. Ces variations d'intensité lumineuse ne peuvent pas être détectées par un observateur, lui donnant une impression d'éclairage constant (Liao, et al., 2015). Côté réception, une détection directe du signal modulé à l'aide des dispositifs photodétecteurs à semiconducteurs, tels que les photodiodes, les photomultiplicateurs, les phototransistors ou par des cellules PV, est possible. De façon générale, chaque photon absorbé par la couche active du photodétecteur génère une paire électron-trou collectée de façon sélective aux électrodes du dispositif, permettant la génération de l'énergie électrique. Un circuit électronique de

réception permet alors de récupérer l'information initiale (Ghassemlooy, et al., 2013). Les photodiodes conventionnelles sont les composants les plus largement utilisés en raison de leurs performances (sensibilité, temps de réponse) et de leurs faibles coûts, tandis que les phototransistors permettent un gain en courant plus élevé mais diminuent le débit du système. Dans les deux cas, le circuit de réception ne récupère pas de l'énergie. Pourtant, l'utilisation de cellules solaires en tant que photodétecteurs OWC peut permettre de collecter à la fois un signal optique et de convertir l'énergie lumineuse environnante en énergie. Ce concept très moderne est détaillé dans la Section 2.

Contrairement à la technologie RF, la communication OWC ne nécessite aucune licence, ce qui permet un déploiement rapide. En effet, dans les situations du domaine VLC, les LEDs utilisées comme point d'accès sont déjà déployées dans tous les systèmes d'éclairage. Un autre avantage par rapport aux RF est l'absence d'interférences électromagnétiques (Electromagnetic Interference – EMI), extrêmement important dans les environnements sensibles comme par exemple les hôpitaux, où les dispositifs médicaux sont nombreux.

Par ailleurs, l'une des caractéristiques de la technologie OWC est le confinement des ondes optiques dans les environnements intérieurs, contribuant ainsi à la sécurité physique des communications. Cependant, cela représente également un inconvénient car la qualité de la transmission par voie optique peut être dégradée par la présence d'obstacles notamment pour des liaisons très directives entre émetteur et récepteur. Toutefois, dans le cas de liaisons optiques plus diffuses, la capacité de réflexion optique des matériaux constituant les environnements permet d'établir la transmission indépendamment d'une connexion directe entre l'émetteur et le récepteur.

La double fonction des LEDs est également un point fort des systèmes VLC ; la lumière sert à la fois à éclairer et à communiquer, ce qui montre la perspective écologique de cette technologie émergente. Cependant, cela met également en évidence qu'une problématique de communication est soulevée lorsque les éclairages intérieurs sont éteints.

En termes de performance, la technologie OWC peut dépasser des débits supérieurs au Gbps (Sarhazi, et al., 2020), suffisamment élevés pour les demandes de communication modernes. Cependant, les photodétecteurs sont sensibles à l'éclairage ambiant qui constitue une source importante de bruit, limitant alors leurs performances. De plus, certaines des technologies OWC doivent faire l'objet de régulation de sécurité de puissance optique. C'est le cas du domaine infrarouge, qui présente un danger pour l'intégrité oculaire, et du domaine ultraviolet, bien connu pour occasionner des pathologies de la peau. Finalement, le Tableau 1 compare les technologies RF et OWC sur les principales caractéristiques.

Tableau 1 : Comparaison entre RF et OWC

PARAMÈTRE	RF	OWC
<i>Bande Passante</i>	300Ghz	1.3PHz
<i>Sécurité de la couche physique</i>	Faible	Élevée
<i>Coût des systèmes</i>	Élevée	Faible (double fonction)
<i>Complexité du système</i>	Élevée	Faible
<i>Déploiement de nouveaux systèmes</i>	Complexe	Simple
<i>Interférence Electromagnétique</i>	Élevée	Aucune
<i>Couverture</i>	Elevée	Faible
<i>Bruit</i>	Faible	Élevée

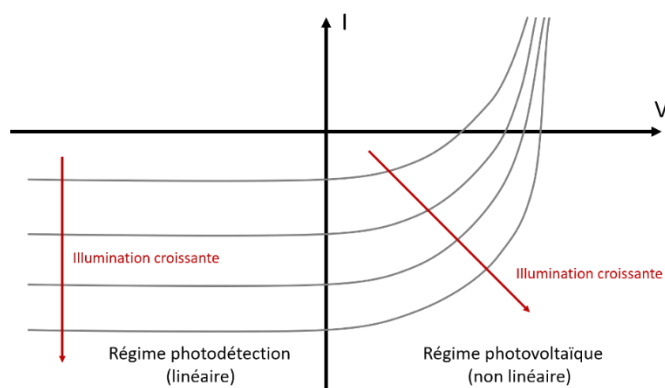
En raison de la faible mobilité, de la sensibilité aux obstacles, des propriétés de réflexion optique des matériaux et de la présence de luminaires compatibles, la technologie OWC est très adaptée pour des environnements intérieurs, comme dans le domaine de la surveillance médicale (Bas, 2017), l'internet haut-débit ou LiFi (Light Fidelity - LiFi) (Haas, et al., 2016), les *smart homes* (Xu, et al., 2021), et les *smart factories* (Muller, et al., 2022). Ces caractéristiques illustrent l'aspect très adaptatif de la technologie pouvant s'appliquer à des utilisations à bas débit (la transmission de la température d'un patient pour la surveillance médicale ne dépasse pas 10 kbps), mais aussi à très haut débit, comme dans des utilisations pour la réalité virtuelle, qui nécessite au minimum 1 Gb/s (Guerra, et al., 2019).

La section actuelle a détaillé les caractéristiques des technologies OWC en mettant en évidence certains avantages et inconvénients. La section suivante décrit l'utilisation des cellules solaires pour la réception de données pour l'OWC.

2. Cellules Solaires utilisées en tant que Photodétecteurs OWC

De manière simple, les photodiodes et les cellules PV partagent une architecture et un fonctionnement relativement proches : l'énergie lumineuse est absorbée par la couche active constituée d'un matériau semi-conducteur dont le gap électronique est adapté au spectre lumineux incident. Les paires électrons-trous (charge négatif et positif respectivement) photo-générées sont dirigées vers des contacts sélectifs adaptés jouant le rôle d'électrodes.

Figure 4 : Caractéristiques $J(V)$ typiques associées à des photorécepteurs de type photodiodes ou cellules PV

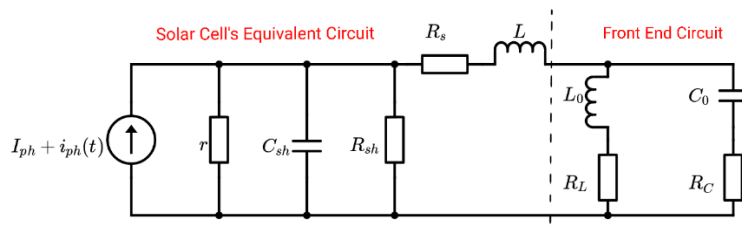


Les deux composants se caractérisent par une réponse électrique représentée par la courbe densité de courant-tension ou $J(V)$, montrée dans la Figure 4. Néanmoins, alors qu'une photodiode est utilisée sur le régime de photodétection, une cellule PV doit fournir une puissance optique au circuit accouplé. Les deux régimes sont illustrés à la Figure 4.

Les photodiodes sont donc utilisées en régime de photo-détection, leur assurant ainsi une bonne sensibilité et une bonne linéarité, en lien avec une faible capacité de jonction et un faible bruit de courant d'obscurité. Alors que ces caractéristiques sont cruciales pour de bonnes performances dans des scénarios de communication optique, les photodétecteurs conventionnels nécessitent néanmoins un circuit actif de réception permettant notamment une polarisation en inverse (pour assurer le bon fonctionnement du dispositif), mais aussi une conversion courant/tension. À l'opposé, les cellules photovoltaïques sont des dispositifs qui fournissent une puissance électrique (elles génèrent de la tension et du courant simultanément) proportionnelle à leur surface active. La récupération d'une énergie importante nécessite donc des surfaces importantes, associées à de grandes capacités de jonction, conduisant à un temps de réponse élevé, pouvant limiter le débit du système.

Pour la première fois en 2014, Harald Haas et son équipe ont investigué les performances de communication d'un module photovoltaïque au Silicium polycristallin (pc-Si) commercial (Wang, et al., 2014). Ils ont mis en évidence une bande passante de 350 kHz pour le module, associé à un débit de 1 Mb/s dans une configuration directe (*line of sight* ou LOS) associé à une distance émetteur/récepteur de 39 cm. Ce travail a posé les jalons de l'utilisation de modules PV pour la réception de données dans le contexte des OWC. Les auteurs ont aussi montré qu'un débit plus élevé de l'ordre de 7 Mb/s (dans une distance de 24 cm) peut être obtenu en utilisant une modulation d'amplitude en quadrature (MAQ) et la technique de modulation par multiplexage de fréquences orthogonales (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – OFDM), méthode de communication permettant d'extraire le meilleur débit du système. L'analyse théorique de la récupération d'énergie et réception de données simultanément a également été réalisée.

Figure 5 : Circuit équivalent d'une cellule solaire fonctionnant en régime dynamique, couplée à un circuit de réception



Crédit : Modifié avec permission de la référence (Wang, et al., 2015)

Ce travail pionnier a suscité l'intérêt des scientifiques de différents domaines, en ouvrant un nouvel horizon dans les secteurs du PV et de l'OWC. Peu de temps après la première preuve de concept, la même équipe a proposé un circuit de réception simple (Figure 5) permettant la récupération d'énergie et la réception simultanée des données (Wang, et al., 2015).

Le comportement non linéaire du module solaire imposé par son point de fonctionnement (mode de récupération d'énergie) a ainsi été mis en évidence, impliquant une limitation des performances en communication. Il a néanmoins été démontré que le modèle petit signal (Figure 4) du dispositif est suffisant pour simuler les performances. Pour des distances inférieures à 1 m, un débit maximum de 11.84 Mb/s a été obtenu. Depuis 2015, plusieurs équipes ont exploré le comportement de différentes technologies de modules PV pour cette application, illustrant leur potentiel pour le développement d'objets communicants autonomes (Alamu, et al., 2022), (De Oliveira Filho, et al., 2022). L'utilisation de composants PV inorganiques à l'état de l'art (cellule PV AsGa) et de sources laser ultra-rapides ont permis de démontrer une récupération d'énergie de 1 mW pour des débits jusqu'au Gb/s, avec une efficacité de 41 % (Fakidis, et al., 2020). Bien que démontrées à courte distance (<1 m), sur de petites surfaces, et dans des conditions idéales (LOS direct), ces performances illustrent les fortes potentialités de ce concept.

Compte-tenu de leurs spécificités en conditions d'éclairage *indoor*, les composants PV de troisième génération (DSSC, OPV, et PSC), ont suscité également l'intérêt des scientifiques pour la réception de données et la récupération d'énergie. Dès 2015, les équipes de Harald Haas et Ifor Samuel ont évalué les performances d'une cellule PV organique présentant une surface active de 2 mm x 4 mm. Ils ont obtenu un débit maximum de 34.2 Mb/s au point de puissance maximale (Maximum Power Point – MPP), générant une puissance électrique de 0.43 mW (Zhang, et al., 2015). Cette démonstration correspond en fait à la toute première mise en évidence expérimentale d'un fonctionnement dual entre la récupération d'énergie lumineuse et la réception de données par voie optique pour les OPV. En outre, les performances en communication des OPV ont été mises en évidence par Tavakkolnia et al. en utilisant quatre sources lasers et quatre cellules PV organiques (système *Multiple-Input Multiple-Output* - MIMO) (Tavakkolnia, et al., 2021). Le travail a analysé l'impact des matériaux composant la couche active de l'OPV sur différents aspects de performances. Un débit maximum de 363 Mb/s a été atteint tout en récupérant 10.9 mW de puissance. L'excellente performance des cellules solaires pérovskites dans des situations *indoor* a aussi attiré l'attention des chercheurs comme Mica et al. qui ont analysé l'impact de l'architecture de PSCs fabriquées à l'échelle du laboratoire (Mica, et al., 2020).

Ils ont fait varier l'épaisseur de la couche active en faisant une analyse quantitative à la fois des performances en récupération d'énergie et en communication. Ce travail est la première mise en évidence du compromis à réaliser concernant l'architecture du composant pour optimiser les deux régimes de fonctionnement visés (énergie et données).

Le compromis entre récupération d'énergie et réception de données a été également étudié côté circuit de réception de sorte que différentes architectures ont été proposées. L'analyse théorique de l'influence de la charge vue par le dispositif PV a été effectuée en 2020 (Fakidis, et al., 2020), en faisant varier le point d'opération d'une cellule AsGa et en caractérisant alors les performances photovoltaïques et les performances en réception de données. De plus, *Kadirvelu et al.* ont présenté un circuit de réception actif pour faire varier la charge vue par le dispositif PV en modifiant par conséquent le débit et la puissance électrique générée par un module inorganique AsGa (Kadirvelu, et al., 2021). D'autres aspects ont été examinés, tels que la limitation de la bande passante des cellules et modules, l'aspect non linéaire dans une configuration de récupération d'énergie (Chen, et al., 2021) et les effets d'ombrage et d'éclairage ambiant dans les modules (Lorrière, et al., 2019).

Néanmoins, comme la récupération d'énergie et la réception de données simultanée avec des cellules solaires reste une approche récente, la plupart des travaux reportés dans la littérature se limitent encore à la mise en évidence des performances maximales des dispositifs et peu d'articles se concentrent sur le compromis entre les deux caractéristiques. Dans ce contexte et pour la première fois, *Sepehrvand et al.* ont développé une méthodologie quantitative pour mettre en évidence le compromis entre les deux aspects (Sepehrvand, et al., 2021). Par ailleurs, aucune étude n'a détaillé les performances de modules PV dans une situation réelle *indoor* intégrant un environnement complexe (scénario IoT, par exemple). De même, la majorité des études publiées à ce jour se focalisent sur des configurations en incidence normale directe entre l'émetteur et le récepteur, avec un alignement idéal, sans tenir compte des réflexions/diffusions sur les éléments de l'environnement. L'intégration d'un aspect lié à la mobilité des systèmes OWC basés sur l'utilisation de cellules PV (système embarqué sur un objet mobile) est aussi un défi très peu adressé aujourd'hui, une seule étude ayant été proposée très récemment dans ce contexte (Liu, et al., 2021). D'autres défis restent encore à relever, comme le fait d'améliorer les performances en communication des modules présentant des surfaces actives importantes, de caractériser de façon complète les dispositifs PV pour mettre en évidence les relations entre propriétés statiques et propriétés dynamiques, et de développer des outils de simulation notamment pour prédire les performances en environnements complexes. En outre, les recherches actuelles restent encore restreintes à l'échelle du laboratoire et le déploiement des systèmes pour un usage industriel et commercial reste à développer dans le contexte général de l'IoT industriel (industrie 4.0, maison intelligente, etc.). Finalement, ce domaine innovant ouvre des opportunités de recherche pour le développement d'un monde plus économe en énergie et pourtant connecté.

Conclusion

Dans cet article, nous avons détaillé certaines caractéristiques de la technologie de communication sans fil par voie optique, en soulignant ses avantages et ses inconvénients par rapport aux technologies radiofréquences. Nous avons plus spécifiquement discuté du concept récent lié à l'utilisation de modules

photovoltaïques pour la récupération simultanée d'énergie et la réception de données optiques. Finalement, l'interdisciplinarité est très évidente : d'un côté on voit l'aspect communication, en mettant en évidence les caractéristiques dynamiques des systèmes ; de l'autre on a l'aspect technologie photovoltaïque, spécialisé sur la récupération d'énergie des cellules PV.

Alors que les sociétés connaissent un accroissement du nombre d'objets et de systèmes connectés et communicants, ce concept apparaît comme particulièrement pertinent pour répondre aux enjeux d'autonomie énergétique de ces systèmes. Les études publiées à ce jour montrent la faisabilité de la technologie, et démontrent déjà, dans des conditions expérimentales contrôlées, des performances adaptées à de nombreux scénarios IoT.

En exploitant les excellentes performances photovoltaïques en conditions indoor de la 3^{ème} génération de cellules solaires et le potentiel de communication émergent des dispositifs PV, des solutions à bas coût et à faible impact environnemental sont ainsi attendues dans les années à venir. En particulier, la flexibilité et la grande légèreté des composants PV émergents (cellules solaires organiques, cellules solaires pérovskites) permettent d'envisager une intégration aisée sur des surfaces complexes, mais aussi un déploiement simplifié, tout en permettant une mobilité importante aux futurs nœuds autonomes et communicants de l'IoT. De nombreux challenges restent à adresser dans ce domaine émergent, en lien notamment avec la linéarité limitée des composants PV, leur bande passante étroite, ou leur sensibilité importante aux bruits lumineux ambiant. De plus, des efforts importants sont encore à déployer dans le domaine de la simulation de leurs performances dans des environnements complexes, pour permettre leur déploiement à grande échelle.

Références

- Alamu, O., Olwal, T. O. & Djouani, K., 2022. Simultaneous lightwave information and power transfer in optical wireless communication networks: An overview and outlook. *Optik*, Volume 266, p. 169590.
- Bang, H. T., 2019. *INFRARED AND VISIBLE WIRELESS OPTICAL TECHNOLOGY FOR BODY SENSOR CONNECTIVITY*. Limoges : s.n.
- Bas, C. L., 2017. *Système de télésurveillance médicale utilisant la technologie de transmission optique sans fil*. Limoges : s.n.
- Bechadergue, B., 2018. *Mesure de distance et transmission de données inter-véhicules par phares à LED*. Paris: s.n.
- Carrascal, C., Demirkol, I. & Paradells, J., 2016. On-demand sensor node wake-up using solar panels and visible light communication. *Sensors (Switzerland)*, 16(3).
- Chen, S., Liu, L. & Chen, L.-K., 2021. On the Nonlinear Distortion Characterization in Photovoltaic Modules for Visible Light Communication. *IEEE Photonics Technology Letters*, 33(24), pp. 1467-1470.
- Chirilă, A. et al., 2011. Highly efficient Cu(In,Ga)Se₂ solar cells grown on flexible polymer films. *Nature Materials*, 10(11), pp. 857-861.
- Cutting, C. L., Bag, M. & Venkataraman, D., 2016. Indoor light recycling: A new home for organic photovoltaics. *Journal of Materials Chemistry C*, 4(43), pp. 10367-10370.

De Oliveira Filho, J. I. et al., 2022. Simultaneous Lightwave and Power Transfer for Internet of Things Devices. *Energies* 2022, vol. 15, Page 2814, 15(8), p. 2814.

Dong, C. et al., 2021. Lycopene-Based Bionic Membrane for Stable Perovskite Photovoltaics. *Advanced Functional Materials*, pp. 1-8.

Fakidis, J., Helmers, H. & Haas, H., 2020. Simultaneous Wireless Data and Power Transfer for a 1-Gb/s GaAs VCSEL and Photovoltaic Link. *IEEE Photonics Technology Letters*, 32(19), pp. 1277-1280.

Ghassemlooy, Z., Popoola, W. & Rajbhandari, S., 2013. *Optical Wireless Communications System and Channel Modelling with Matlab*. s.l.:s.n.

Guerra, V., Rabadan, J. & Perez-Jimenez, R., 2019. Suitability of optical wireless communication receivers for virtual reality applications. *ConTEL 2019 - 15th International Conference on Telecommunications, Proceedings*.

Haas, H., Yin, L., Wang, Y. & Chen, C., 2016. What is LiFi?. *Journal of Lightwave Technology*, 34(6), pp. 1533-1544.

Kadirvelu, S. et al., 2021. A Circuit for Simultaneous Reception of Data and Power Using a Solar Cell. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 5(4), pp. 2065-2075.

Kahn, J. M., 1997. Wireless infrared communications. *Proceedings of the IEEE*, 85(2), pp. 265-298.

Kaltenbrunner, M. et al., 2012. Ultrathin and lightweight organic solar cells with high flexibility. *Nature Communications*.

Kopidakis, N., s.d. *Best Research-Cell Efficiency Char.* [En ligne]

Available at : www.nrel.gov/

[Accès le 14 Septembre 2022].

Lee, S. H., 2015. A Passive Transponder for Visible Light Identification Using a Solar Cell. *IEEE Sensors Journal*, 15(10), pp. 5398-5403.

Liao, C. L. et al., 2015. Light-emitting diodes for visible light communication. *IWCMC 2015 - 11th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pp. 665-667.

Li, B., Hou, B. & Amaratunga, G. A. J., 2020. Indoor photovoltaics, The Next Big Trend in solution-processed solar cells. *InfoMat*, 3(5), pp. 445-459.

Li, M., Igbari, F., Wang, Z.-K. & Liao, L.-S., 2020. Indoor Thin-Film Photovoltaics: Progress and Challenges. *Advanced Energy Materials*, pp. 1-25.

Liu, M. et al., 2021. Mobility-Enhanced Simultaneous Lightwave Information and Power Transfer. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(10), pp. 6927-6939.

Lorrière, N. et al., 2019. *LiFi Reception from Organic Photovoltaic Modules Subject to Additional DC Illuminations and Shading Effects*. s.l., s.n.

Ma, L. K. et al., 2020. High-Efficiency Indoor Organic Photovoltaics with a Band-Aligned Interlayer. *Joule*, 4(7), pp. 1486-1500.

- Mica, N. A. et al., 2020. Triple-cation perovskite solar cells for visible light communications. *Photonics Research*, 8(8), p. A16.
- Muller, M. et al., 2022. LiFi with 5G for the Smart Factory. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*, Volume 2022-April, pp. 2310-2315.
- Mumtaz, S. et al., 2017. Terahertz Communication for Vehicular Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(7), pp. 5617-5625.
- Pecunia, V., Occhipinti, L. G. & Hoye, R. L., 2021. Emerging Indoor Photovoltaic Technologies for Sustainable Internet of Things. *Advanced Energy Materials*, 11(29).
- Sarbazi, E. et al., 2020. *A Tb/s Indoor Optical Wireless Access System Using VCSEL Arrays*. s.l., s.n., pp. 1-6.
- Sepehrvand, S., Theagarajan, L. N. & Hranilovic, S., 2021. Rate-power trade-off in simultaneous lightwave information and power transfer systems. *IEEE Communications Letters*, 25(4), pp. 1249-1253.
- Tartagni, M., Belleville, M., Cantatore, E. & Fanet, H., 2009. *Energy autonomous systems: future trends in devices, technology, and systems*, s.l.: s.n.
- Tavakkolnia, I. et al., 2021. Organic photovoltaics for simultaneous energy harvesting and high-speed MIMO optical wireless communications. *Light: Science and Applications*, 10(1).
- Victoria, M. et al., 2021. Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future. *Joule*, pp. 1071-1056.
- Wang, Z., Tsonev, D., Videv, S. & Haas, H., 2014. Towards self-powered solar panel receiver for optical wireless communication. *2014 IEEE International Conference on Communications, ICC 2014*, pp. 3348-3353.
- Wang, Z., Tsonev, D., Videv, S. & Haas, H., 2015. On the Design of a Solar-Panel Receiver for Optical Wireless Communications with Simultaneous Energy Harvesting. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(8), pp. 1612-1623.
- Xu, B. et al., 2021. Smart-Home Control System Using VLC-Enabled High-Power LED Lightbulb. *2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2021*, pp. 744-745.
- Zhang, S. et al., 2015. Organic solar cells as high-speed data detectors for visible light communication. *Optica*, 2(7), p. 607.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Fragments d'un discours du droit international¹

Fragments of a Discourse of International Law

Virginie SAINT-JAMES

MCF droit public, Université de Limoges,

OMIJ UR 14476

virginie.saint-james@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/620>

DOI : 10.25965/lji.620

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : L'« opération spéciale » déclenchée par la Russie sur le territoire de l'Ukraine en Février 2022 conduit à examiner les usages, le sens et la signification des mots « agression » et « légitime défense » en droit international.

Mots clés : agression, légitime défense, Russie, Ukraine

Abstract: The "special operation" launched by Russia on the territory of Ukraine in February 2022 leads to an examination of the uses, meaning and interpretation of the words "aggression" and "self-defence" in international law.

Keywords: aggression, self-defence, Russia, Ukraine

¹ Ce titre est librement inspiré de l'ouvrage Fragments d'un discours amoureux de R. Barthes (Editions du Seuil, 1977) qui détache des mots d'un soliloque amoureux pour en démontrer et en analyser le propos.

Introduction

Le droit est essentiellement une affaire de mots. Les mots deviennent du droit par leur source et, lorsqu'ils sont prescriptifs, posent une norme de qualification qui induit souvent une norme de comportement.

Les mots du droit ont un sens et une signification. Les deux expressions n'ont pas la même portée et ne doivent pas être considérées comme synonymes. Quand un juriste part à la recherche du sens de la règle, il s'inscrit dans une démarche objective, détachée des parties en cause. Il cherche ce qu'une expression englobe et quelle est sa portée. En revanche, lorsqu'on lui demande quelle est la signification de la règle, il se place alors subjectivement face aux parties et décrit le comportement qu'elles doivent adopter pour se situer en conformité avec la règle de droit. Le vocabulaire du droit et plus particulièrement du droit international est extrêmement tributaire de ces deux aspects.

La crise Russo-ukrainienne déclenchée le 24 février 2022, lorsque le Président de la Fédération de Russie initie une « opération spéciale » contre la République d'Ukraine, peut illustrer ce propos. Alors que les frontières entre les deux Etats remontent à 1991,² la Guerre du Donbass a éclaté en 2014 opposant le gouvernement ukrainien à des séparatistes pro-russes et à la Russie dans l'Est de l'Ukraine. Ce conflit a fait l'objet de deux protocoles de cessez-le-feu, tous deux violés à plusieurs reprises³. Le 15 février 2022, la Douma russe demande au président Poutine de reconnaître les républiques autoproclamées de l'Est de l'Ukraine. La Russie reconnaît alors officiellement les républiques populaires autoproclamées de Louhansk et de Donetsk le 21 février 2022, ce qui met fin au Protocole.

Nous choisirons ici deux expressions que l'actualité internationale impose à notre attention en 2022 : agression et légitime défense. Ces deux termes forment une sorte de « couple maudit » du droit international, ne cessant d'interférer. Ces vocables ont pourtant un devenir très différent dans la pratique, allant d'un cantonnement strict pour le premier à une dissémination préjudiciable pour le second.

1. Le cantonnement de l'Aggression

Le droit international définit l'agression comme l'attaque armée déclenchée par un Etat contre un autre Etat en violation des règles du droit international. Un tel sens n'a pu être pleinement déterminé qu'à partir du moment où l'usage des armes a été interdit aux Etats. Corrélativement, le mot a pris alors une telle signification qu'il est devenu plus ou moins tabou dans la pratique du droit international, mais il resurgit à l'occasion de la crise russo-ukrainienne.

2 L'indépendance de l'Ukraine fut proclamée le 24 août 1991, confirmée par le référendum du 1er décembre 1991. Le 8 décembre 1991, la dislocation de l'URSS est sanctionnée par l'accord de Minsk, signé par les dirigeants russe, ukrainien et biélorusse.

3. Le protocole de Minsk (ou Minsk I) du 5 septembre 2014 signé par les représentants de l'Ukraine, de la Russie, de la République populaire de Donetsk (DNR) et de la République populaire de Louhansk (LNR) devait mettre fin à la guerre du Donbass en Ukraine orientale. L'accord a été formulé par le groupe de contact trilatéral sur l'Ukraine, composé des représentants de l'Ukraine, de la Russie et de l'OSCE. A la suite de violations multiples, les accords de Minsk II, du 12 février 2015 sont signés selon le « format Normandie » et mettent en place un nouveau cessez-le-feu.

1.1. Le sens

L'Etat qui s'est construit sur l'appropriation de la force légitime en droit interne ne se voyait pas interdire la guerre en droit international classique. Il a fallu attendre les suites de la Première guerre mondiale pour que l'agression ait un sens, puisqu'elle repose sur une attaque en violation du droit. Ainsi l'Article 10 du Pacte de la SDN détermine que « Les membres de la Société s'engagent à respecter et à maintenir contre toute agression extérieure l'intégrité territoriale et l'indépendance politique présente de tous les membres de la Société. En cas d'agression, de menace ou de danger d'agression, le Conseil avise aux moyens d'assurer l'exécution de cette obligation⁴ ». Dans le cadre onusien, le sens est actuellement le même selon l'article 39 de la Charte. Mais l'ONU a estimé cette référence insuffisante et un Comité spécial fut chargé de travailler cette notion, donnant le jour à la célèbre Résolution de l'Assemblée générale des Nations unies n° 3314 du 14 décembre 1974 : « L'agression est l'emploi de la force armée contre la souveraineté, l'intégrité territoriale ou l'indépendance politique d'un autre Etat, ou de toute autre manière incompatible avec la Charte des nations unies⁵ ».

Dès la détermination du sens de la notion, la signification fut si lourde de conséquences qu'elle va induire un sous-emploi du vocable dans la pratique internationale.

1.2. La signification

L'agression ouvre un double champ de responsabilité regroupé non sans ambiguïté, sous le vocable unique de « crime international » et comporte une obligation de réparation, voire de punition, tant pour l'Etat que pour l'individu.

- Pour l'Etat, l'agression représente la violation d'une obligation internationale d'importance essentielle pour le maintien de la paix et de la sécurité. Il se voit alors astreint à une réparation⁶. On évoquera ici l'ombre du Traité de Versailles de 1919 dont le célèbre article 231 rejette toute la faute de la guerre sur l'Allemagne et conduit à des réparations que l'histoire jugera démesurées⁷. Une telle conception imprègne encore de nos jours le droit de l'agression. Ainsi la Résolution 3314 précitée dans son article 5, reprend l'expression « crime contre la paix » et la responsabilité subséquente⁸.

⁴ Encore faudra-t-il attendre 1928 pour que le Pacte Briand Kellogg place la guerre « hors la loi » du droit international : <https://mjp.univ-perp.fr/traites/1928briand-kellogg.html>. (Le 2 septembre 2022).

⁵ Résolution 3314, Article 1, A/RES/29/3314, 14 décembre 1974, <http://www.derechos.org/nizkor/aggression/doc/aggression37.html>. (Le 2 septembre 2022).

⁶ Projet d'articles de la CDI sur la responsabilité des Etats, 1976, article 19§3. Documents officiels de l'Assemblée générale, (A/56/10), 12 décembre 2001, <http://hrlibrary.umn.edu/instree/Fwrongfulacts.pdf>. (Le 2 septembre 2022).

⁷ Art. 231. — Les Gouvernements alliés et associés déclarent et l'Allemagne reconnaît que l'Allemagne et ses alliés sont responsables, pour les avoir causés, de toutes les pertes et de tous les dommages subis par les Gouvernements aidés et associés et leurs nationaux en conséquence de la guerre, qui leur a été imposée **par l'agression de l'Allemagne et de ses alliés**. (souligné par nous)

⁸ *In extenso* :

1. Aucune considération de quelque nature que ce soit, politique, économique, militaire ou autre, ne saurait justifier une agression.

2. Une guerre d'agression est un crime contre la paix internationale. L'agression donne lieu à responsabilité internationale.

3. Aucune acquisition territoriale ni aucun avantage spécial résultant d'une agression ne sont licites ni ne seront reconnus comme tels.

- Pour l'individu, la criminalisation pénale, sous-jacente dans le Traité de Versailles, s'exprime clairement dans le Statut du TMI de Nuremberg. L'article 6 a dénommé l'agression « crime contre la paix » et incrimine le fait de « projeter, préparer, déclencher ou poursuivre une guerre d'agression ou une guerre faite en violation de traités, accords et engagements internationaux ou de participer à un plan concerté ou à un complot pour l'accomplissement de l'un quelconque de ces actes ». De nos jours, l'agression ne sera intégrée au Statut de Rome de la Cour pénale internationale que de façon restreinte et au terme d'une prudente marche par paliers⁹. Notons au passage que, si le Procureur de la Cour a annoncé dans une Déclaration du 28 février 2022, qu'il ouvrirait une enquête sur les faits commis actuellement sur le sol ukrainien, elle ne l'est que sur le fondement de crimes de guerre et crimes contre l'humanité¹⁰.

Il est loisible de se demander si une signification aussi lourde n'est pas contre-productive, puisqu'en conséquence les organes internationaux s'ingénient à ne pas prononcer le mot, même quand la chose est évidente. Ainsi en 1990 lorsque l'Iraq, s'empare du Koweït, le Conseil de sécurité qualifie les faits « d'invasion¹¹ ». Dans d'autres circonstances et à trois reprises, il utilisera les mots « actes d'agression¹² ». Le vocable devient alors tabou, pour ne pas mettre d'emblée au ban l'agresseur et préserver une approche du règlement du conflit.

1.3. Dans le cadre du conflit russo-ukrainien.

Le Conseil de sécurité fut saisi d'un projet de résolution le 27 février 2022, présenté par les Etats-Unis et l'Albanie¹³. Si le résultat du vote ne faisait guère de doute, la formulation rompaît avec la pratique antérieure car le texte qui réaffirmait l'attachement à la souveraineté, l'indépendance, l'unité et l'intégrité territoriale de l'Ukraine à l'intérieur de ses frontières internationalement reconnues, déplorait avec la plus grande fermeté « l'agression de la Fédération de Russie contre l'Ukraine en violation de l'article 2, paragraphe 4, de la Charte des Nations Unies ».

⁹ Statut de Rome portant création de la Cour pénale internationale. Le crime ne fut pas défini au départ et c'est la Cour qui fut chargée d'en définir les termes dans un amendement que ne lie que les Etats qui y ont adhéré.

Article 8 bis Crime d'agression (extrait) :

1. Aux fins du présent Statut, on entend par « crime d'agression » la planification, la préparation, le lancement ou l'exécution par une personne effectivement en mesure de contrôler ou de diriger l'action politique ou militaire d'un État, d'un acte d'agression qui, par sa nature, sa gravité et son ampleur, constitue une violation manifeste de la Charte des Nations Unies.

2. Aux fins du paragraphe 1, on entend par « acte d'agression » l'emploi par un État de la force armée contre la souveraineté, l'intégrité territoriale ou l'indépendance politique d'un autre État, ou de toute autre manière incompatible avec la Charte des Nations Unies. Qu'il y ait ou non déclaration de guerre, les actes suivants sont des actes d'agression au regard de la résolution 3314 (XXIX) de l'Assemblée générale des Nations Unies en date du 14 décembre 1974 ...

¹⁰ « Je suis convaincu qu'il existe une base raisonnable de croire que les crimes de guerre et les crimes contre l'humanité allégués ont bel et bien été commis dans ce pays dans le cadre des événements déjà examinés lors de l'examen préliminaire mené par le Bureau. »

¹¹ Résolution 660 du 6 août 1990, S/RES/661(1990), (extrait) « Alarmé par l'invasion du Koweït, le 2 août 1990, par les forces militaires de l'Iraq ...Constatant qu'il existe, du fait de **l'invasion** du Koweït par l'Iraq, une rupture de la paix et de la sécurité internationales ... » (souligné par nous).

¹² Interventions de L'Afrique du Sud en Angola et Lesotho, Action de mercenaires au Benin en 1976 1977 et 1982. Voir P. Daillier, M. Forteau et A. Pellet, Droit international public, 8^{ème} édition, p. 1099 et ss.

¹³ 11 votes pour, 1 vote contre (Russie) et trois abstentions (Chine, Inde et Emirats arabes unis). La Russie, en tant que membre permanent du Conseil de sécurité détient un droit de veto.

Fait rarissime, à l'issue de ce refus prévisible, neuf membres du Conseil de sécurité décidaient de recourir à la Résolution 377, aux termes de laquelle l'AGNU est compétente pour discuter de toutes questions ou affaires intéressant le maintien de la paix¹⁴. Ainsi, le 27 février 2022, le Conseil de sécurité, tenant compte du fait que l'absence d'unanimité de ses membres permanents l'avait empêché d'exercer sa responsabilité principale dans le maintien de la paix et de la sécurité internationales, décidait de convoquer une session extraordinaire d'urgence de l'Assemblée Générale dans sa Résolution 2623. Pour ce type de décision, le droit de veto n'est pas requis¹⁵. Réunie du 28 février au 2 mars, l'Assemblée générale adopte alors la Résolution « Agression contre l'Ukraine » par 141 voix contre 5 et 35 abstentions¹⁶. Elle y déplore sans périphrase « l'agression de la Fédération de Russie contre l'Ukraine en violation de l'article 2 (4) de la Charte et exige que la Fédération de Russie cesse immédiatement de recourir à la force contre l'Ukraine et retire complètement et inconditionnellement toutes ses forces militaires du territoire de l'Ukraine à l'intérieur de ses frontières internationalement reconnues ». Cependant, contrairement aux résolutions du Conseil de sécurité, les résolutions de l'Assemblée générale ne sont pas contraignantes, ce qui signifie que les pays ne sont pas si clairement obligés de les mettre en œuvre. Même si le vocabulaire a l'air énergique (l'assemblée « exige » à plusieurs reprises), il n'en demeure pas moins qu'elle n'a aucun moyen de contrainte vis-à-vis des Etats membres et que par suite, la signification est amoindrie et le tabou moins prégnant ...

Ce phénomène de cantonnement ne touche pas la notion de légitime défense, pourtant liée à celle d'agression, loin de là...

2. La dissémination de la légitime défense

Le droit international définit la légitime défense comme le droit de réaction armée dont dispose, à titre collectif ou individuel tout Etat qui a été victime d'une agression armée. De façon inversée, la pratique va s'emparer dès l'abord de la signification du terme ; alors même que le sens n'est pas toujours pleinement éclairci. La crise russo/ukrainienne en apporte une démonstration flagrante.

2.1. La signification

Ce que les sujets du droit international retiennent est simpliste : la légitime défense signifie l'autorisation de recourir à la force armée. Il s'agit même de la seule exception licite au principe de prohibition. L'article 51 de la Charte des Nations unies dispose : « Aucune disposition de la présente

14 8 situations de 1956 à 1992, P. Daillier et al, op. cit., p 946.

La résolution Dean ACHESON du 3 novembre 1950, 377, « Union pour le maintien de la paix » adoptée au moment de la guerre de Corée, attribuée à l'Assemblée générale des responsabilités exercées par le Conseil de sécurité en se fondant sur l'article 11§2 de la Charte. « Dans tout cas où paraît exister une menace contre la paix, une rupture de la paix ou un acte d'agression et où, du fait que l'unanimité n'a pas pu se réaliser parmi ses membres permanents, le Conseil de Sécurité manque à s'acquitter de sa responsabilité principale dans le maintien de la paix et de la sécurité internationales, l'Assemblée générale examinera immédiatement la question afin de faire aux Membres les recommandations appropriées sur les mesures collectives à prendre, y compris, s'il s'agit d'une rupture de la paix ou d'un acte d'agression, l'emploi de la force armée en cas de besoin, pour maintenir ou rétablir la paix et la sécurité internationales ».

15 La Russie a voté contre la résolution 2623, mais ne peut empêcher son adoption puisqu'une majorité de neuf membres suffit dans les questions de procédure selon l'article 27 de la Charte.

16 Voir la Résolution en ligne : <https://reliefweb.int/report/ukraine/agression-contre-l-ukraine-aes-1111>. (Le 3 septembre 2022).

charte ne porte atteinte au droit naturel de légitime défense, individuelle ou collective, dans le cas où un membre des Nations unies est l'objet d'une agression armée ». Cette conception est reçue par la jurisprudence internationale au nom du droit de l'Etat à sa survie¹⁷.

Cette permission est individuelle et/ou collective. Individuellement, l'Etat victime d'une agression prévient le Conseil de sécurité qu'il compte utiliser son droit de légitime défense, comme le fit le Koweït en 1990 ou la France après les attentats de 2015¹⁸. Collectivement, un Etat victime d'une agression peut appeler à son aide d'autres membres de la communauté internationale. Ainsi, pour intervenir au Mali, la France avait demandé aux autorités maliennes une lettre présidentielle l'appelant à l'aide. Ainsi, Paris a pu intervenir en vertu de l'article 51 de la Charte, avec le consentement du Conseil de sécurité. Surtout, cette légitime défense peut être anticipée dans un accord international librement consenti. Dans ce cadre, une agression armée contre l'un est une agression armée contre tous, comme le prévoit l'article 5 du Traité institutif de l'OTAN¹⁹ et la "clause d'assistance mutuelle" présente dans l'article 42 §7 du Traité sur l'Union européenne²⁰. Toutefois, si les Etats ont parfaitement compris l'usage qu'ils peuvent faire de la légitime défense, il est permis de penser qu'il n'en va pas de même du sens.

2.2. Le sens

La légitime défense internationale regroupe les mêmes caractéristiques que celle que nous connaissons en droit pénal interne.

Elle fut réceptionnée en droit international l'Affaire de la Caroline en 1837²¹ (donc chronologiquement, avant l'agression). Le Secrétaire d'Etat américain Daniel Webster dans une note diplomatique du 24 avril 1841 contestait les arguments avancés par la Grande-Bretagne, tout en admettant que la destruction de la Caroline aurait été acceptée comme relevant de la légitime défense, si et seulement si, les forces britanniques s'étaient trouvées dans « une situation de nécessité absolue de légitime défense, pressante, écrasante, ne permettant pas le choix des moyens, et ne laissant pas de temps pour délibérer ». Le sens comporte donc une double condition de nécessité et de proportionnalité que les Etats ignorent très souvent.

Un exemple classique à cet égard est constitué par l'opération *Enduring Freedom* du gouvernement américain pendant la guerre d'Afghanistan menée à la suite des attentats du 11 septembre 2001. La Résolution 1368 (12 septembre 2001) du Conseil de sécurité donnait carte blanche aux Etats-Unis pour intervenir au nom du « droit inhérent à la légitime défense ». L'avis majoritaire de la doctrine est que

¹⁷ CIJ, AC, 8 juillet 1996, Licéité de l'utilisation des armes nucléaires par un Etat dans un conflit armé.

¹⁸ En 2015, Manuel Valls l'avait également évoqué pour bombarder des positions de l'État Islamique en Syrie : « Nous devons mieux identifier et localiser le dispositif de DAECH pour être en mesure de le frapper sur le sol syrien et d'exercer ainsi [...] notre légitime défense, comme le prévoit l'article 51 de la Charte des Nations unies ».

¹⁹ P. Daillier et al, op. cit., p. 1042.

²⁰ Qui prévoit qu'« en cas d'agression armée sur le territoire d'un État membre, les autres États membres doivent lui porter assistance par tous les moyens en leur pouvoir ».

²¹ Un petit navire battant pavillon américain, dénommé la Caroline, avait l'habitude d'effectuer des navettes sur le fleuve Niagara entre les territoires de Buffalo, aux Etats-Unis, et Navy Island, au Canada. Le 29 décembre 1837, il fut accusé de transporter des rebelles qui étaient sur le point d'envahir le territoire canadien. Alors qu'il se trouvait dans les eaux intérieures américaines, une intervention armée du Gouvernement anglais, avait eu lieu sur le territoire des Etats-Unis entraînant la destruction biens américains.

cette opération reposait pourtant à la fois sur une interprétation abusive de la notion d'agression armée dans l'imputation de l'agression selon les principes généraux de la responsabilité et sur un contournement abusif des conditions de nécessité et proportionnalité²².

Surtout, le droit international n'a toujours pas réglé l'épineuse question de la légitime défense préventive, c'est-à-dire le recours à la force armée dans le but d'éliminer une menace imminente d'agression armée. Pour préciser les contours flous de cet article 51, Kofi Annan, Secrétaire général des Nations unies, avait constitué en 2004 un groupe de travail. Dans leur rapport « Un monde plus sûr : notre affaire à tous²³ », les experts estiment que, « *traditionnellement (...) un État menacé peut lancer une opération militaire à condition que l'agression soit imminente, qu'il n'y ait pas d'autre moyen d'écartier la menace et que l'intervention militaire soit proportionnée* ».

Les exemples historiques abondent : se prétendant menacée par la France en 1914, l'Allemagne justifia son agression envers la Belgique en invoquant l'état de légitime défense préventive. De même, en 1940, elle invoqua l'attaque anglo-française imminente pour tenter de justifier son crime contre la paix internationale. A l'époque contemporaine, l'un des cas les plus célèbres est l'attaque aérienne par Israël le 7 juin 1981 contre le réacteur nucléaire iraquien de Tamuz que l'Etat d'Israël justifia par l'exception de la légitime défense préventive. Le Conseil de sécurité à l'unanimité, par sa Résolution 487 (1981), rejeta l'exception en condamnant cette attaque militaire.

La légitime défense étant quasiment la seule exception au principe de prohibition du recours à la force, les Etats y recourent de façon préventive pour tenter de masquer leurs violations flagrantes du droit international. Le sens n'est donc pas aussi fixé qu'il devrait l'être.

2.3. Dans le cadre russo-ukrainien

En ce qui concerne le conflit actuel, les positions initiales des Etats s'inscrivent dans cet imbroglio sémantique.

Curieusement, l'Ukraine ne fait que de courtes références à l'article 51 quelle n'a pas activé officiellement, laissant les USA et l'Albanie saisir le Conseil. Lors de la discussion, l'Ambassadeur Ukrainien exprime surtout devant le Conseil de Sécurité son intérêt pour les sanctions internationales. Le représentant a « demandé aux partenaires de suivre l'exemple de son pays et de rompre les relations diplomatiques avec la Russie. Il a aussi demandé aux organisations internationales d'interdire ou de suspendre la Russie, comme l'a fait aujourd'hui le Conseil des ministres du Conseil de l'Europe ». Ce qui à ce moment importe à l'Ukraine est donc la reconnaissance de l'agression, afin d'en tirer la signification criminelle.

²² O. Corten et F Dubuisson, Opération « Liberté immuable » : une extension abusive du concept de légitime défense, <https://dipot.ulb.ac.be/dspace/bitstream/2013/36285/1/2002.liberte.immuable.pdf>. (Le 5 septembre 2022).

²³ Disponible en ligne : <https://www.un.org/french/secureworld/> (Le 3 septembre 2022).

En parallèle, la position russe peut surprendre car la Fédération de Russie quant à elle, a bien activé l'article 51. Devant la Cour internationale de justice, elle s'exprime ainsi²⁴ : « La Fédération de Russie soutient que, en réalité, son « opération militaire spéciale » sur le territoire ukrainien est fondée sur l'article 51 de la Charte des Nations Unies et le droit international coutumier » (...). Elle « indique en outre que le fondement juridique de cette « opération militaire spéciale » a été communiqué le 24 février 2022 au Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies et au Conseil de sécurité par le représentant permanent de la Fédération de Russie auprès de l'Organisation, sous la forme d'une notification en vertu de l'article 51 de la Charte des Nations Unies. (...) « Avec l'aval du Conseil de la Fédération de Russie et conformément aux traités d'amitié et d'assistance mutuelle conclus avec les Républiques Populaires de Donetsk et de Lougansk ». Il précisait que l'opération spéciale avait pour objectif de « protéger ceux et celles qui, huit années durant, [avaient] subi les outrages du régime de Kiev et le génocide orchestré par lui ». Il ajoutait que la Fédération de Russie devait mettre fin « au génocide » perpétré contre des millions de personnes et qu'elle traduirait en justice les auteurs des nombreux crimes sanglants perpétrés contre des civils, dont des citoyens russes.

Alors que les discours du Président Poutine font fréquemment référence à l'idée d'une légitime défense préventive motivés par la crainte de l'OTAN, on constate que sa position officielle se cantonne à une revendication de légitime défense collective.

Conclusion

La vie des mots du droit international est donc parfois surprenante et nul doute que l'exercice ne puisse se réaliser dans d'autres champs disciplinaires au point que l'on pourrait envisager un jour un dictionnaire multidisciplinaire des mots de la vie internationale.

²⁴ CIJ, Ordonnance en mesures conservatoires, du 23 mars 2022, Allégations de génocide au titre de la convention pour la prévention et la répression du crime de génocide (Ukraine c. Fédération de Russie), <https://www.icj-cij.org/public/files/case-related/182/182-20220323-ORD-01-00-FR.pdf>. (Le 5 septembre 2022).



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Étude et conception de système de management pour batteries innovantes, Batterie Sodium (NA-ion)

Study and design of management systems for innovative batteries, Sodium battery (NA-ion)

Quentin Lagarde

Université de Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France
quentin.lagarde@unilim.fr

Serge Mazen

Université de Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France
serge.mazen@unilim.fr

Bruno Beillard

Université de Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France
bruno.beillard@unilim.fr

Julien Leylavergne

Université de Limoges, IUT du Limousin, F-87065 Limoges, France
julien.leylavergne@unilim.fr

Joel Andrieu

Université de Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France
joel.andrieu@unilim.fr

Jean-Pierre Cancès

Université de Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France
jean-pierre.cances@unilim.fr

Vahid Meghdadi

Université de Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France
vahid.meghdadi-neyshabouri@unilim.fr

Michelle Lalande

Université de Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France
michele.lalande@unilim.fr

Edson Martinod

Université de Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France
edson.martinod@unilim.fr

Marie-Sandrine Denis

Université de Limoges, ENSIL-ENSCI, F-87280 Limoges, France
marie-sandrine.denis@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/581>

DOI : 10.25965/lji.581

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : La transition énergétique passera notamment par l'autoconsommation et l'autoproduction. L'utilisation de sources d'origines solaire et/ou éolienne permettront d'atteindre les objectifs bas carbone (atteindre la neutralité carbone à l'horizon 20250). Cette production étant intermittente, il est indispensable de les stocker pour pouvoir les utiliser au moment opportun. Actuellement la technologie dominante est l'accumulation d'énergie dans des batteries au lithium qui sont nuisibles à l'environnement et tributaires de la disponibilité au niveau mondial.

De nouvelles batteries innovantes, comme celles au sodium-ion paraissent plus écologiques. Néanmoins, elles présentent l'inconvénient d'une durée de vie plus faible. L'utilisation d'un système de management de batterie (BMS – Battery Management System) l'améliore, les rendant ainsi concurrentielles aux batteries lithium-ion.

Mots clés : batteries, sodium-ion, système de management, durée de vie, électronique de puissance

Abstract: The energy transition will notably involve self-consumption and self-production. The use of solar and/or wind energy sources will allow us to reach our low-carbon objectives (achieving carbon neutrality by 20250). As this production is intermittent, it is essential to store it to be able to use it at the right moment. Currently, the dominant technology is the accumulation of energy in lithium batteries, which are harmful to the environment and dependent on global availability.

New innovative batteries, such as sodium-ion batteries, appear to be more ecological. However, they have the disadvantage of a shorter life span. The use of a Battery Management System (BMS) improves this, making them competitive with lithium-ion batteries.

Keywords: storage, batteries, management system, lifetime, power electronics

Introduction

Le développement des énergies renouvelables dans le monde est une tendance forte depuis les 20 dernières années. Ces sources (l'éolien, le solaire, ...) présentent de nombreux avantages face aux énergies traditionnellement utilisées (charbon, pétrole, gaz et nucléaire). Néanmoins, l'intermittence impose toujours l'utilisation des énergies fossiles tant que des systèmes de stockage efficace ne seront pas opérationnels.

A l'origine, ils furent réalisés majoritairement avec des batteries Plomb ou Nickel-Cadmium et plus récemment avec des batteries de type Lithium-ion, qui représentent aujourd'hui plus de 90 % du stockage installé dans le monde en 2020 (IEA, 2021). En revanche, elles présentent plusieurs problèmes environnementaux et éthiques (recyclage, extraction, sécurité avec notamment des risques d'emballement thermique). Ainsi de nouvelles technologies émergent avec pour objectif de réduire l'impact environnemental des batteries, dont notamment les batteries sodium-ion. Elles sont beaucoup plus volumineuses et lourdes que les ion-Lithium (Figure 1) mais présentent un bilan environnemental très positif, sont faciles à fabriquer, à recycler et sans danger et pour des applications stationnaires, elles semblent être parfaitement adaptées. Cependant, elles présentent encore l'inconvénient de leur faible durée de vie.

C'est dans ce contexte qu'est développé un Système de Gestion de Batteries ou BMS (Battery Management System), en collaboration avec la société ElSmartgrid, qui permet de rallonger cette durée de vie avec une gestion intelligente optimisée en fonction de sa charge et sa décharge.

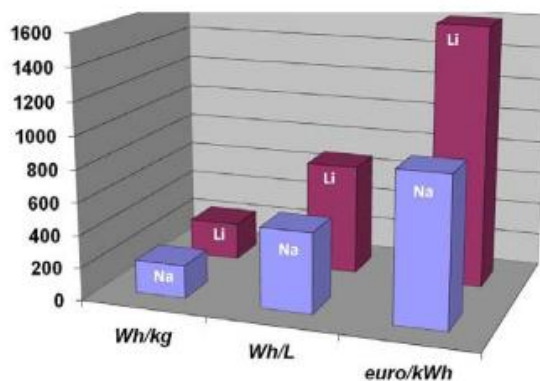


Figure 1 : Comparaison des densités d'énergie massique et volumique pour les systèmes au Li et au Na et du prix au KWh (HUYNH Le Thanh Nguyen, et al., 2016)

1. Batterie Sodium-ion

Le fonctionnement d'une batterie Sodium-ion est similaire à celui d'une batterie au lithium-ion classique. La batterie est constituée d'une électrode positive et d'une électrode négative, respectivement appelés anode et cathode. Toutes deux sont immergées dans un milieu appelé électrolyte (le sodium dans notre cas) contenant des anions et des cations. Au fur et à mesure des cycles de charge et de décharge, les ions sodium se déplacent d'une électrode à l'autre (Figure 2).

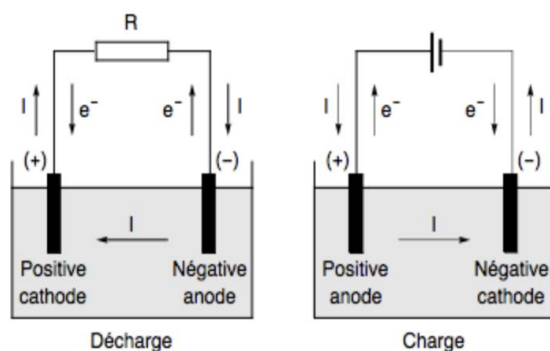


Figure 2 : Fonctionnement schématique d'une batterie (Electroche, CC BY-SA 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons)

L'idée d'exploiter des batteries au sodium à la place des batteries au lithium a fait sa première apparition en 1980 mais les chercheurs n'arrivaient pas à trouver une électrode négative assez fiable. Les recherches ont donc été abandonnées pendant un certain temps. Avec le contexte actuel de la transition énergétique, les études portant sur les batteries au sodium se multiplient afin de remplacer, sur le long terme, les batteries au lithium qui ont sensiblement les mêmes propriétés.



Figure 3 : Les différents éléments d'une cellule au sodium de la marque GreenRock (Stockage – Gerber Solar Sà)

La structure générale de la batterie Sodium-ion de la marque « GreenRock Energy » est présentée Figure 3. La cellule d'une batterie aqueuse aux ions sodium se compose d'une anode de phosphate de carbone de Titanate, d'une cathode d'oxyde de manganèse, d'un électrolyte à l'eau salée, d'un séparateur en coton synthétique, d'un collecteur de courant en acier inoxydable. Les matériaux de l'anode et de la cathode peuvent varier d'une batterie NA-ion à une autre (Figure 4). En effet, des avancées sur ces composants sont en perpétuelle évolution afin d'améliorer leurs caractéristiques (durées de vie et capacités des batteries).

Mais une autre solution existe pour l'optimisation d'une batterie : l'utilisation d'électronique.

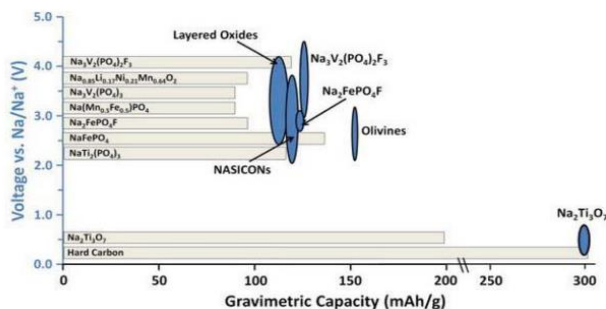


Figure 4 : Potentiel en fonction de la capacité massique pour des matériaux d'intercalation d'électrodes positives et négatives pour batteries sodium-ion. Les ovales bleus représentent les capacités théoriques (LACHAL Marie, 2015).

2. Amélioration des caractéristiques des batteries Na-ion par l'électronique

De nombreux systèmes électroniques associés aux batteries existent déjà sur le marché mais ils sont réservés majoritairement aux batteries Lithium-ion (POP, V. Bergveld et HJ, Danilov. D., Regtien, PP, Notten, PH, 2008), (LI, Siguang et ZHANG, 2009). Avec le risque d'emballement thermique et par conséquent d'explosion, il est obligatoire pour ces technologies.

En revanche des batteries Na-ion associées avec un système de gestion et d'optimisation n'existent pas actuellement. Pourtant, il permettrait d'augmenter considérablement leur durée de vie. L'électronique améliore un des problèmes des batteries NA-ion mais n'apporte pas de solution en ce qui concerne la densité énergétique, les rendant toujours non-concurrentielles pour des applications en mobilité. Au contraire, pour du stationnaire, elles deviennent meilleures que les lithium-ion car elles ne présentent pas de risque d'incendie, sont non polluantes, recyclables pour un rapport qualité/prix équivalent.

Dans le cadre du projet Limbatt, le système électronique améliorant les performances de la batterie, appelé plus communément dans la littérature BMS, (Battery Management System) est montré de manière simplifiée Figure 5. Cette architecture a l'avantage de gérer l'ensemble de la batterie charge/décharge, pour chacune des cellules permettant une optimisation globale.

Il peut être distingué 3 parties : l'acquisition de données, la charge et la décharge.

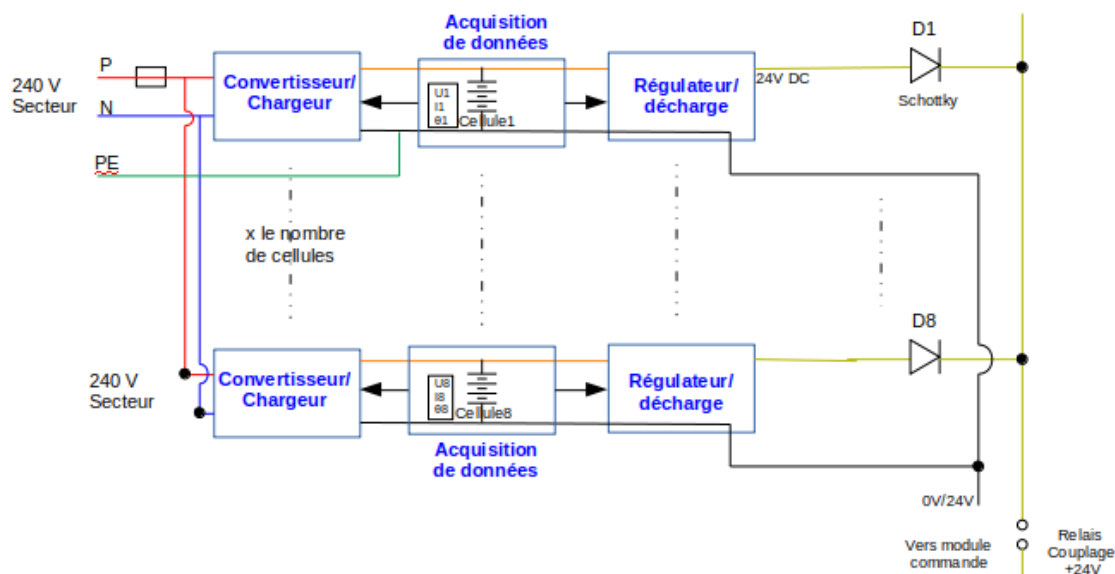


Figure 5 : Architecture de l'électronique associée à la batterie NA-ion imaginée pour le projet LimBatt

2.1 L'acquisition de données

En théorie, La tension, le courant et la température de chaque cellule doivent être connus à tout instant pour garantir la sécurité d'une batterie Lithium-ion afin d'éviter tout risque d'emballement thermique. Pour une batterie Sodium-ion seul le courant et la tension sont mesurés sur la cellule. La température ambiante est également déterminée pour éviter les charges et décharges dans des conditions extrêmes (inférieur à -5°C et supérieur à 40°C), afin de préserver ses caractéristiques.

Ces données sont obtenues à l'aide de capteurs et d'un microcontrôleur. Par la suite, elles sont traitées et utilisées pour gérer la charge et la décharge de la batterie.

2.2 Charge

La charge d'une batterie doit suivre 3 étapes : Bulk, Absorption, Flot (Figure 6) afin d'optimiser sa durée de vie.

La partie Bulk est une phase de charge présente lorsque la batterie est déchargée à au moins 20 % de sa capacité. Dans cette situation, il faut maintenir un courant constant. Plus le courant injecté est fort, plus la batterie va se charger rapidement mais provoque un stress qui détériore l'état de la batterie et donc diminue sa durée de vie.

Une fois qu'est atteinte une tension seuil, correspondant à 80 % de la charge, qui varie légèrement en fonction de l'état de vieillissement de la cellule, la partie Absorption démarre en maintenant une tension constante, engendrant une diminution du courant. Une fois qu'est atteint un courant seuil, signifiant que la batterie est chargée à 100 %, on passe à la phase Float, qui est un état de maintien afin d'éviter l'autodécharge, tout en la préservant d'un vieillissement prématuré.

Le prototype du chargeur pour la batterie Na-ion est présenté Figure 7.

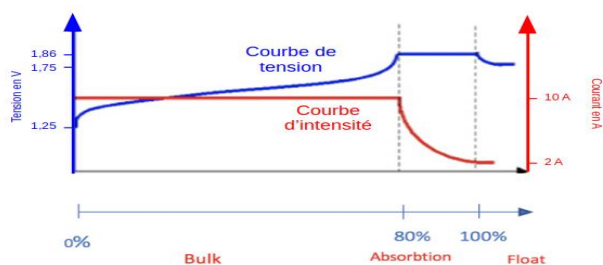


Figure 6 : Courbe de charge pour une cellule Na-ion



Figure 7 : Prototype de chargeur pour batterie au Sodium-ion

2.3 Décharge

Les courbes de décharge d'une batterie Na-ion GreenRock données par le constructeur sont représentées Figure 8. Elles reflètent des décharges pour des courants constants. Cependant, dans la réalité, le courant débité par la batterie sera induit par les appareils domestiques et va varier dans le temps. Ces altérations vont donc engendrer une modification de l'état des cellules. De plus, le vieillissement naturel de la batterie fait également évoluer les courbes de décharge.

Or, plus une batterie se décharge profondément, plus sa durée de vie sera courte. Par exemple si la batterie Na-ion est déchargée en permanence à 100 % de sa capacité (passant de 52V à 40V), sa durée de vie est estimée à 3 ans soit 1 000 cycles. En revanche, si elle est déchargée qu'à 70 % ou 50 %, elle passe respectivement à 10 ans (3 000 cycles) ou 20 ans (6 000 cycles). Ainsi, il est important de connaître le plus précisément possible l'état de chaque cellule afin d'arrêter sa décharge au moment opportun pour optimiser son utilisation et sa durée de vie. Cela sera rendu possible grâce à la mesure de tension et de courant ainsi que de la programmation d'une intelligence artificielle (CHOI, Sungsan, JANG, Hyeonwoo, HAN, Hohyeon, *et al.*, 2022), qui permettront de recalculer en permanence et temps réel, selon les pics de courants reçus la santé de la batterie et de chaque cellule.

Le prototype du déchargeur de la batterie Sodium-ion est présenté Figure 9.

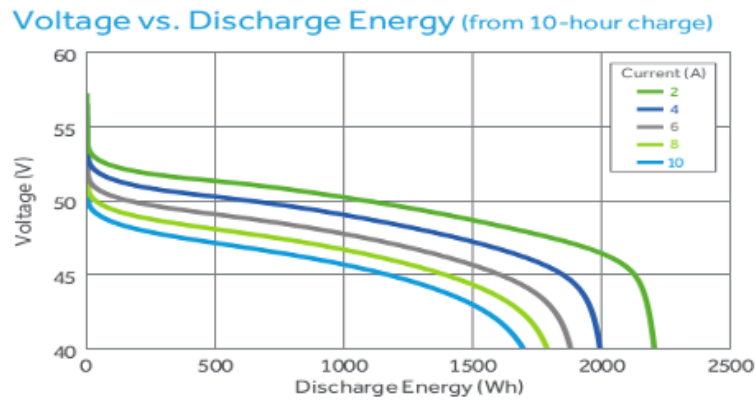


Figure 8 : Courbe de décharge d'après la datasheet de la batterie NA-ion GreenRock

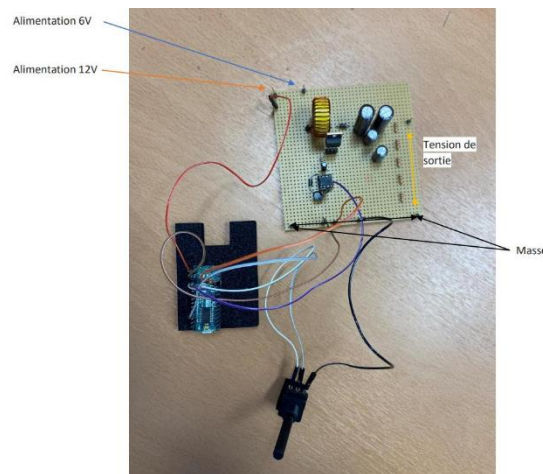


Figure 9 : Prototype de déchargeur pour Batterie Sodium-ion

Conclusion et perspective

Des BMS (Battery Management System) existent déjà sur le marché mais quasi exclusivement pour des batteries lithium-ion afin d'assurer la sécurité des usagers. De plus, la majorité des systèmes récupère les données de tension, courant et température sans prendre en compte les modifications de l'état de la batterie dû à son vieillissement.

Ainsi le système BMS LimBatt est innovant car il permet de monitorer l'énergie de la batterie, de coupler le système d'accumulation au réseau quand nécessaire, de gérer les flux de charge et décharge et de vérifier l'état de chaque cellule précisément à chaque instant (niveau d'énergie et durée de vie) pour une installation en autoconsommation.

Tout ceci est possible grâce à l'acquisition de données clés en temps réel, à des stratégies de commandes prédéfinies et à l'apprentissage dans le temps via l'intelligence artificielle.

Ainsi il a été possible d'optimiser considérablement la batterie Na-ion au point d'arriver à une durée de vie équivalente à celle des lithium-ion.

Pour aller plus loin dans le projet, il est envisagé d'avoir un BMS universel, pouvant s'adapter facilement à tout type de batterie innovante. En effet, de nouvelles technologies aux caractéristiques initiales

intéressantes apparaissent telles que la batterie Lithium-Titanate, qui ont déjà des durées de vie considérable (plus de 20 000 cycles).

Également, la gestion intelligente d'un parc de batteries hétérogènes est imaginée (CROCI, Lila.2013). En effet, l'hybridation de batteries a l'avantage de pouvoir tirer le meilleur de chaque technologie et par conséquent d'améliorer les performances de chacune.

Remerciements

Ce travail fait partie du projet de recherche LIMBATT, financé par la région Nouvelle-Aquitaine et les fonds européens FEDER [numéro : FEDER-FSE-LIM-2019-7653710].

Il a été réalisé en collaboration avec la société ElSmartgrid, 1 Av. d'Ester, 87000 Limoges

Merci aux étudiants de l'ENSIL-ENSCI et de l'IUT du limousin, département Mesures-Physiques ayant participé à des projets et stages, pour l'ensemble de leur contribution.

Références

IEA (2021), Energy Storage, IEA, PARIS <https://www.iea.org/reports/energy-storage> (consulté le 8 juin 2022).

HUYNH, Le Thanh Nguyen, *et al.* *Les accumulateurs au sodium et sodium-ion, une nouvelle génération d'accumulateurs électrochimiques : synthèse et électrochimie de nouveaux matériaux d'électrodes performants*. 2016. Thèse de doctorat. Paris Est.

« Stockage – Gerber Solar Sàrl ». <https://gerber.solar/stockage/> (consulté le 5 septembre 2022).

LACHAL, Marie. *Etude des mécanismes d'insertion/désinsertion des cations alcalins (Li⁺/Na⁺) au sein de la structure olivine FePO₄ pour accumulateurs Li-ion et Na-ion*. 2015. Thèse de doctorat. Université Grenoble Alpes.

POP, V. Bergveld et HJ, Danilov. D., Regtien, PP, Notten, PH,, "Battery management systems : Accurate state-of-charge indication for battery-powered applications", Philips Research Book Series vol. 9. 2008.

LI, Siguang et ZHANG, Chengning. Study on battery management system and lithium-ion battery. In : *2009 International Conference on Computer and Automation Engineering*. IEEE, 2009. p. 218-222.

CHOI, Sungsan, JANG, Hyeonwoo, HAN, Hohyeon, *et al.* Artificial Intelligence-based Battery State-of-Health (SoH) Prediction through battery data characteristics analysis. In : *2022 IEEE/IAS 58th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)*. IEEE, 2022. p. 1-6.

CROCI, Lila. *Gestion de l'énergie dans un système multi-sources photovoltaïque et éolien avec stockage hybride batteries/supercondensateurs*. 2013. Thèse de doctorat. Université de Poitiers.