

Enseigner la physique dans la forêt

FREDERIC BOUQUET, JULIEN BOBROFF, LOU-ANDREAS ÉTIENNE, CLARA VARDON

Université Paris-Saclay, CNRS, Laboratoire de Physique des Solides, 91405, Orsay, France.

frederic.bouquet@universite-paris-saclay.fr

TYPE DE SOUMISSION

Analyse de dispositif

RESUME

Nous avons développé un enseignement de physique de deux jours, qui se déroule en partie en forêt, afin de montrer aux étudiants comment la physique peut être utile pour décrire et comprendre le monde réel qui nous entoure, en sortant des salles de TP habituelles. Cet enseignement fait travailler les étudiants en groupe, sur des projets qu'ils définissent eux-mêmes, projets de physique mais en lien avec la forêt. Le rendu de ces projets est une exposition que les étudiants conçoivent et fabriquent.

SUMMARY

We have developed a two-day physics course, which takes place partly in the forest, in order to show students how physics can be used to describe and understand the real world around us, outside the lab rooms. The students work in groups, on projects that they define themselves; physics projects in connection with the forest. The outcome of the course is an exhibit that the students design and build.

MOTS-CLES (MAXIMUM 5)

Physique, Forêt, Science frugale, Apprentissage par projets

KEY WORDS (MAXIMUM 5)

Physics, Forest, Low-Tech science, Project-based learning

1. Introduction

L'enseignement supérieur ne peut pas ignorer la crise climatique à laquelle les jeunes générations seront bien plus exposées que les moins jeunes (Boecker et al, 2016 ; Forinash, 2016). Au niveau français, le ministère demande désormais que la totalité des cursus Bac+2 prennent en compte la transition écologique avant 2027 (Jouzel, 2022). D'un point de vue disciplinaire, la physique offre plusieurs approches possibles (Busch, 2013 ; Boecker et al, 2003 ; Kimori et Roehrig, 2021), la plus évidente pour un niveau licence étant la notion d'énergie. Cette notion existait déjà dans les cursus à ce niveau, principalement dans les cours

de mécanique et de thermodynamique, et permet d'aborder différents aspects importants pour la transition écologique : les différentes sources d'énergies (électriques ou autre), la notion de rendement, ou la notion d'effet de serre par exemple. Plusieurs cours, théoriques ou expérimentaux, se sont développés dans ce sens ces dernières années sur ces notions (Blankert et Mulder, 2003 ; Martinuk et al, 2010 ; Forinash et Whitten, 2019).

En mai 2022, le workshop international « Reimagine Physics Teaching » a réuni pendant deux semaines des enseignants du supérieur en physique pour faire un point sur les façons originales d'enseigner la physique et de réfléchir aux évolutions possibles (Bobroff, 2022). La deuxième semaine de ce colloque a été coconstruite par tous les participants. Un groupe de travail s'est constitué autour de la problématique suivante : « comment rendre concret l'intérêt de la physique dans la crise environnementale actuelle en évitant une approche trop technique et trop déprimante, en gardant un côté sensible ? ». Le résultat de ce travail a été une trame pour un nouvel enseignement, se déroulant en grande partie en forêt et proposant aux étudiants de regarder la forêt avec l'œil du physicien. Cet enseignement est décrit dans les rendus de ce workshop (Vest et al, 2023 ; workshop reimagine physics teaching, 2022). À partir de cette trame nous avons mis en place cet enseignement : en deux jours, des étudiants de notre université ont conçu et mené une expérience de physique, en forêt et liée à la forêt, ont analysé les résultats, et ont présenté ces résultats en construisant une exposition collective à destination d'étudiants n'ayant pas participé à l'enseignement.

2. Description de l'enseignement

Cet enseignement a été proposé en septembre 2022 à des étudiants de double licence physique / géologie de l'université Paris-Saclay, en tout début d'année universitaire, dans un module qui regroupe les deux dernières années de ce cursus. Au total, 16 étudiants ont participé, 12 en L2, 4 en L3. Cet enseignement se déroule sur deux jours pleins. Pour obtenir un retour sur cet enseignement, un débriefing d'une heure est organisé en fin de deuxième journée auquel participent tous les étudiants et les enseignants. En outre, un questionnaire léger a été envoyé aux étudiants. Ce questionnaire était composé de questions quantitatives, sur une échelle de Likert de 1 à 7, et de quelques questions ouvertes ; la réponse à ce questionnaire était libre, et 9 étudiants y ont répondu.

2.1. Objectif de l'enseignement

L'objectif de l'enseignement vis-à-vis de la crise climatique est de rendre concret l'intérêt de la physique pour comprendre le monde autour de nous, en dehors du cadre un peu artificiel d'un montage de TP, afin de préparer les étudiants à appliquer leurs savoirs à des situations réelles (Vest et al, 2023 ; workshop reimagine physics teaching, 2022). Les objectifs sont qu'à la fin de l'enseignement les étudiants soient capables de :

- observer leur environnement avec un regard scientifique ;
- organiser et documenter leurs observations ;
- définir une question scientifique à partir de leurs observations ;
- identifier les quantités physiques pertinentes ;
- concevoir et réaliser une étude pour répondre à la question scientifique, analyser ses résultats ;
- communiquer à des pairs le processus et le résultat de cette étude ;
- identifier des questions restant ouvertes ;
- s'interroger sur leur place dans l'environnement.

Ces objectifs visent des compétences méthodologiques plus que disciplinaires (savoir concevoir une étude scientifique plus que résoudre un problème thermodynamique). L'apprentissage par projet est une façon reconnue pour travailler la démarche expérimentale (Blumenfeld et al, 1991 ; Reverdy, 2013). Cet enseignement s'inscrit dans ce cadre, avec pour caractéristique un travail sur un temps court, et en groupe.

Cet enseignement comporte également des objectifs liés à des compétences transverses, de travail de groupe, de partage et transmission de connaissance, de créativité et de plaisir lié à la physique.

2.2. La première journée, « comprendre la forêt »

Un point marquant de cette journée est qu'elle se déroule en partie en forêt, accessible à quelques minutes de marche du bâtiment d'enseignement qui est également utilisé. Une grande table de pique-nique installée dans la forêt sert de lieu de rendez-vous et de discussion en extérieur.

Cette immersion en forêt commence dès le début de l'enseignement : la première activité qui leur est demandée est de prendre le pouls de la forêt. Pendant 15 minutes, les étudiants doivent s'y promener, individuellement et en silence, avec pour seule consigne de revenir au

point de rendez-vous extérieur avec un souvenir : un objet ramassé dans la forêt, qui leur parle. Quand tous les étudiants se retrouvent à la fin de ce temps d'exploration, chacun présente à tour de rôle son objet (feuille, caillou, écorce, plume, branche ...) et explique pourquoi il l'a choisi. Cette activité donne le temps aux étudiants de découvrir la forêt avec un regard personnel, avant le regard de physicien que cet enseignement les poussera à adopter. Elle marque également une rupture forte par rapport aux cours auxquels ils sont habitués, ce qui est utile pour libérer les étudiants de leurs inhibitions éventuelles. Enfin, elle joue le rôle d'activité brise-glace, afin que les étudiants se découvrent. Les enseignants ramènent également un objet et participent à cette activité.

Les enseignants explicitent alors les objectifs de l'enseignement, ainsi que les différentes activités qui seront menées. Cette explication se fait dans la forêt, sans moyen numérique.

L'activité suivante des étudiants va être de construire un catalogue contenant le maximum d'études de physique possibles liées à la forêt. Le but est que les étudiants construisent eux-mêmes leur propre projet. La notion de projet de physique lié à la forêt est assez vaste et est présentée aux étudiants :

- mesurer une propriété (ex : mesurer la solidité d'une toile d'araignée) ;
- faire une estimation (ex : estimer le nb d'arbres) ;
- mesurer une distribution (ex : la distribution de la taille des arbres) ;
- tester une loi de physique (ex : la chute des corps) ;
- tester une loi d'échelle (ex : diamètre des arbres fonction de leur hauteur) ;
- fabriquer une expérience (ex : fabriquer un microscope frugal) ;
- utiliser un des capteurs du smartphone ;
- réfléchir par domaine : mécanique / optique / fluides / acoustique / thermodynamique.

Cette diversité permet d'assurer un grand nombre potentiel de projets. Nous nous en étions assurés avant le début de l'enseignement en réfléchissant aux différents projets possibles, en faisant quelques tests de mesure en forêt, et en recherchant des références (Guyon, 2010 ; Guyon, 2018 ; Séon, 2018 ; Lenne, 2021).

Pour cette activité, les étudiants travaillent en binôme. Pour les aider à définir des projets de physique, les étudiants tirent trois contraintes aléatoirement parmi une liste et réfléchissent ensembles autour de ces contraintes (les sons / minuscule / très grand / compter / rapide / lent / couleurs / lourd / léger / arbre / vivant / liquide / invisible / texture / flexible / rigide / étrange / humide / température / géométrique / ciel / terre / soleil / animal / éphémère / bruyant / vert /

marron / qui pousse / caillou ou rocher). Ces contraintes servent à guider leur réflexion, mais ne sont pas conçues pour les brider : si des étudiants ont une idée de projet hors de leurs contraintes, cette idée est la bienvenue. Pendant cette activité, une toute petite demi-heure, les étudiants sont libres de se déplacer dans la forêt. Un rendez-vous est fixé dans le bâtiment. Là, ils vont tous ensemble construire le catalogue de leurs idées de projets. Les enseignants aident à synthétiser les propositions et à vérifier que les projets sont conformes aux consignes.



Figure 1 : les étudiants cherchent des idées de projet en fonction des contraintes qu'ils ont tirées.

Les étudiants s'organisent ensuite en petit groupes de deux à trois étudiants, chaque groupe choisissant l'un des projets du catalogue. À titre d'exemple, les projets choisis cette année ont été :

- l'étude de la chute des glands ;
- l'étude du débit de la rivière ;
- l'effet loupe d'une goutte d'eau sur une feuille ;
- le lien entre la taille des arbres et la pente du sol sur lequel les arbres poussent ;
- la mesure de la flexibilité d'un arbre (ou d'une branche) ;
- l'atténuation du son en fonction de la densité surfacique en arbres de la forêt ;
- le lien entre la densité surfacique en arbre et leur hauteur.

Pour réaliser leur projet, les étudiants disposent d'un temps réduit (3 heures 30), et de matériel frugal de mesure : leur smartphone, des cordes, des règles, des mètres mesureurs. Du matériel spécifique a été rajouté suite au choix des projets (notamment une enceinte portable pour l'étude de l'atténuation du son et des pipettes en plastique pour l'étude des gouttes sur les feuilles). Les étudiants mènent leurs mesures en autonomie dans la forêt (après avoir laissé leur numéro de téléphone aux enseignants) et peuvent revenir dans le bâtiment pour analyser leurs données. Les encadrants jouent le rôle de conseillers, vérifient régulièrement que les groupes n'ont pas de problèmes et sont disponibles pour répondre aux questions éventuelles

des étudiants, qui peuvent être très pratiques (où peut-on trouver une balance pour peser des objets) ou physiques (une discussion sur l'énergie et ses différentes formes lors de la chute d'un gland).



Figure 2 : les étudiants mènent une étude de débit de rivière.

À la fin de la journée, les études doivent être terminées et analysées, et la journée se termine par une présentation pendant laquelle chaque groupe présente aux autres ses résultats.

2.3. La deuxième journée, « raconter la forêt »

La deuxième journée est consacrée à la restitution des projets. Les étudiants doivent concevoir et fabriquer une exposition collective qui sera ouverte en milieu d'après-midi à la visite d'étudiants et d'enseignants n'ayant pas participé à l'enseignement. En pratique, cela veut dire concevoir la scénographie pour occuper l'espace (deux grandes salles du bâtiment), les supports et différents stands qui présenteront les projets, et la scénographie et le message pour donner une unité à l'exposition. Tout en gardant une approche d'apprentissage par projets, cette journée regroupe des enjeux de vulgarisation (expliquer leurs résultats à un grand public), de travail en équipe (la scénographie doit être décidée et validée par l'ensemble du groupe), de créativité (concevoir et fabriquer l'exposition).

Le début de la matinée fournit aux étudiants des outils pour cela. La journée commence par une visite d'une salle d'inspiration : une salle a été aménagée afin de présenter aux étudiants tout une série de références, à la fois scientifiques (livres et articles sur la forêt) mais également des références de design, d'art, de bricolage, afin d'inspirer les étudiants dans la conception de leur exposition. Ils sont fortement encouragés à éviter une exposition uniquement constituée de posters pédagogiques, et sont poussés à explorer d'autres façons d'interagir avec un public : maquette, objet interactif, stand avec médiateur, quizz ...

La méthode du prototypage rapide leur est présentée, afin de leur donner une méthode de travail pour le temps très court dont ils disposent. Le prototypage rapide est une méthode de travail qui a d'abord été utilisée dans le développement logiciel, mais qui a été appliquée à différents domaines ensuite notamment dans le champ du design (Jones et Richey, 2000 ; Nixon et Lee, 2001 ; Vest, 2023). L'un des principes de cette méthode est de faire des prototypes très rapidement dans le déroulement d'un projet, même si ce prototype est imparfait et réalisé de manière grossière. Le but n'est pas d'avoir une maquette léchée qui représente l'idéal à atteindre, mais d'obtenir un objet de travail avec lequel on peut interagir pour tester des idées. La salle à inspiration contient également une table avec du matériel frugal permettant la fabrication rapide de maquettes pour tester rapidement les idées de mises en scène de l'exposition (cure dents, playmobiles, papèterie, pâte à modeler, pic à brochette en bois, cartonnette, etc...). Les étudiants ont ensuite trois heures pour concevoir et construire ensemble une exposition qui présente leurs études de la veille. Ils organisent de nouveaux groupes de travail autour des différentes tâches : contenu scientifique, scénographie, graphisme, conception des maquettes, graphismes, ...

Pour cet enseignement, les étudiants se sont mis d'accord pour une scénographie autour du thème « la forêt mécanique », et ont organisé leurs différents projets en un parcours cohérent pour les visiteurs. Vers le milieu de l'après-midi, l'exposition est ouverte et est visitée par des enseignants et étudiants n'ayant pas participé à l'enseignement. Les créateurs de l'exposition assurent la visite et animent certains stands.

La dernière heure de la journée est consacrée au débriefing, permettant un retour des étudiants sur l'enseignement, et un retour des enseignants sur le travail des étudiants.



Figure 3 : l'exposition, visitée par des étudiants et enseignants extérieurs à l'enseignement.

2.4. Évaluation

Les enseignants ont fait plusieurs retours aux différentes équipes en proposant des pistes ou des améliorations aux différentes étapes des projets. En revanche les étudiants n'ont pas reçu de note pour cet enseignement, ni individuellement, ni en groupe. Cette absence de note n'a pas amoindri la participation des étudiants, qui ont tous activement participé à cet enseignement. C'est une pratique que nous avons déjà testée dans d'autres enseignements qui travaillent les compétences, avec de bons résultats (Bouquet et al., 2021).

3. Retours des étudiants

Comme souvent lors d'un enseignement original (Hattie, 2012), le retour général des étudiants est qu'ils ont apprécié l'enseignement : la moyenne de leurs réponses à la question « Qu'avez-vous pensé de cet enseignement ? » est de 6,1 (médiane : 6), et les verbatims lors du débriefing ou des questions ouvertes sont positifs (« *un autre point de vue sur les équations et la physique* » « *Du bien-être* » « *Satisfaction d'avoir pu effectuer de A à Z un projet scientifique* » « *on est complètement immergé dans une expérience sociale et scientifique et ça fait du bien !* » « *J'ai vraiment adoré.* »).

Au niveau des apprentissages disciplinaires, à la question « Avez-vous le sentiment d'avoir plus ou moins appris que lors d'un TP classique à nombre d'heures égales ? », la moyenne des réponses est de 4,6 (médiane : 4). Autrement dit, les étudiants estiment avoir à peu près autant appris qu'un TP classique. Lors du débriefing, les étudiants ont mentionné qu'ils n'avaient pas vraiment eu le temps d'améliorer leurs connaissances théoriques, qui auraient pu les aider.

On peut retrouver plusieurs thèmes dans le débriefing et dans les réponses ouvertes des étudiants :

- **le travail de groupe** (« *s'organiser en équipe* » « *Cet enseignement m'a apporté des connaissances sur le [...] travail de groupe* » « *le travail en groupe peut être très efficace en s'organisant* » « *le travail en groupe c'est pas facile car on a tous des idées différentes et on se met pas d'accord aussi facilement* »)
- **la liberté et l'autonomie** (« *La liberté qu'on avait* » « *choisir nous-mêmes le thème sur lequel on veut travailler, et de monter nous-mêmes nos expériences.* »)
- **le lien entre la théorie et le réel** (« *Les sciences sont partout, il faut juste faire un petit effort pour les remarquer.* » « *un autre point de vue sur les équations et la physique* » « *un aspect plus concret de la recherche et de comment on peut appliquer*

nos connaissances » « *La science n'est pas que des calculs longs et incompréhensibles* »)

- **le temps contraint** (« *Les contraintes de temps. [...] c'était une montée d'adrénaline. Ça nous obligeait à travailler vite (dans un bon sens)* » « *stress pour finir la maquette et l'exposition* »)
- **le côté frugal des outils mis à leur disposition** (« *on peut accomplir beaucoup plus qu'on ne le pense avec peu de matériel* » « *il n'y a pas besoin de matériel très sophistiqué pour faire des sciences* » « *avec peu de chose on peut réaliser un travail satisfaisant* » « *on peut faire des expériences à partir de pas grand-chose* »)
- **le plaisir d'être en forêt** (« *Être dehors et regarder la nature par la physique* » « *Raconter la forêt* » « *Plus de forêt* »)

4. Discussion

Les retours des étudiants sur le travail de groupe, l'autonomie, le lien entre la théorie et le réel sont des retours que nous avons régulièrement dans d'autres enseignements par projets (Bouquet et al., 2017), et ces sujets font partie de ceux pour lesquels ce type d'apprentissage est connu pour avoir un effet fort (Blumenfeld et al, 1991 ; Reverdy, 2013). Il n'est donc pas étonnant de les retrouver ici, mais on peut noter que la notion de travail de groupe est l'un des thèmes qui est revenu le plus souvent dans les réponses des étudiants. Cela indique peut-être que ces étudiants ont rarement eu l'occasion de travailler en groupe dans leur cursus jusque-là.

Le thème lié à la frugalité du matériel disponible revient également assez souvent, et de manière positive. On pouvait craindre que le côté frugal puisse rebuter les étudiants, par rapport aux mesures très précises qu'ils effectuent par ailleurs dans le cadre de TP en salle ; cela ne semble pas avoir été le cas. Le fait que le focus de l'enseignement soit sur le process (comment faire une étude de physique dans des conditions réelles) plus que sur la précision des résultats justifie ce côté frugal et assure aux étudiants une certaine liberté qu'ils n'auraient pas forcément avec des instruments plus précis, mais plus fragiles et plus coûteux. C'est une démarche que nous avons déjà testée dans un autre contexte et qui semble fonctionner (Bouquet, 2017).

Par rapport aux objectifs choisis, la plupart sont atteints mécaniquement par la construction de l'enseignement (« observer », « concevoir une expérience », « analyser » ...). Les réponses des étudiants montrent notamment que les objectifs de travail collaboratifs et de plaisir à faire

de la physique sont présents. On peut s'interroger sur le dernier objectif, que les étudiants soient capables de « s'interroger sur leur place dans l'environnement ». Ce thème n'apparaît pas directement dans leurs réponses. De manière tangentielle, les étudiants mentionnent leur plaisir d'avoir travaillé en forêt, et le sens que cela donne à leurs connaissances en physique, mais ce n'est pas exactement la même chose. C'est finalement l'exposition qu'ils ont construite, en présentant la notion de forêt dans la ville (à travers des mesures acoustiques), qui indique clairement que cette dimension a été ressentie par les étudiants.

Cette utilisation de la forêt comme lieu d'enseignement d'une discipline non-directement liée à la forêt n'est pas pratiquée au niveau universitaire, à notre connaissance. Les enseignements qui existent sont soit directement orientés vers la forêt (gestion, exploitation de la forêt), soit utilisent la forêt comme un terrain d'étude du vivant (en biologie, écologie, étude de la diversité du vivant). Notre utilisation de la forêt ici est finalement plus proche du mouvement de l'école à la forêt qui est surtout développé au niveau de l'école maternelle et primaire, notamment dans les pays scandinaves ou en Grande Bretagne (Lindemann-Matthies et Knecht, 2011 ; Slade et al, 2013). Les principaux avantages cités pour cette pratique ne sont pas des connaissances nouvelles qui seraient apprises, mais se situent au niveau d'apprentissage de compétences nouvelles ou d'amélioration de compétences : en communication, motivation, concentration, compréhension, confiance en soi et estime de soi (Harris, 2018). En plus de ces points-là, Harris (2018) note que les recherches montrent que le fait de sortir du cadre de la salle de classe permet de proposer un espace d'enseignement neuf, qui offre plus de liberté en se libérant des contraintes de la salle de classe, et offre de nouvelles possibilités d'interactions entre enseignants et élèves. Ces résultats sont obtenus pour des classes d'âge plus basses que celles de nos étudiants, mais les points mentionnés ci-dessus semblent être transposables à notre enseignement.

Un dernier thème apparaît dans les réponses ouvertes des étudiant, avec un aspect négatif : la présence de moustiques, qui étaient effectivement nombreux lors des deux jours de l'enseignement. Malgré un aspect un peu anecdotique, ces réponses pointent un problème dont il faut tenir compte en tant qu'enseignant : contrairement à une salle de classe, où tous les aspects techniques peuvent être maîtrisés, enseigner à l'extérieur comporte une part d'imprévu ; notamment la météo, un facteur imprévisible qui peut avoir des conséquences fortes sur l'organisation et le ressenti de la journée. Il est prudent de prévoir à l'avance différents scénarios d'enseignement selon les conditions.

5. Conclusion

Nous avons conçu un enseignement en forêt qui permet de proposer aux étudiants une vision de la physique et de son utilité pour appréhender le monde réel, dans un cadre qui permet aux étudiants de prendre du plaisir en faisant de la science, tout en abordant le thème de la crise climatique. L'approche par projet est utilisée ; l'originalité de cet enseignement est qu'une partie se déroule à l'extérieur, dans la forêt voisine des bâtiments d'enseignement. Les retours des étudiants montrent que les objectifs sont atteints. Cet enseignement est complémentaire de cours plus orientés vers un contenu lié au changement climatique, mais il apporte une dimension plus sensible et positive. Pour faciliter l'essaimage de ces pratiques, outre la trame de l'enseignement conçue pendant le workshop *reimagine physics teaching* (Vest, 2023 ; *Workshop reimagine physics teaching*, 2022), nous avons également mis en ligne les références présentées aux étudiants dans la salle à inspiration (*La physique autrement*, 2022) afin qu'elles puissent inspirer également d'autres enseignants. Nous sommes de plus en train de concevoir une vidéo de vulgarisation pour mettre en scène cette approche de la physique en forêt.

Ce format d'enseignement pourrait facilement être repris et adapté à d'autres disciplines expérimentales, notamment en lien avec le vivant. Nous réfléchissons à faire évoluer notre pratique dans les années qui viennent en introduisant une composante interdisciplinaire, en se rapprochant d'enseignants de chimie, géologie ou d'écologie par exemple. L'approche pluridisciplinaire permet de mieux étudier les problèmes environnementaux (Kimori et Roehrig, 2021), et pourrait renforcer l'impact de cet enseignement sur les étudiants.

Remerciements

Nous remercions Fabienne Bernard, Hervé Caps, Marina Carpineti, Joël Chevrier, Francesca Chiodi, Ulysse Delabre, Fun-Man Fung, Jean-Michel Geneveaux, Natacha Krins, Denis Terwagne, Benjamin Vest, et Maëlle Vilbert qui ont participé au groupe de travail qui a réfléchi à cet enseignement lors du workshop international « *Reimagine Physics Teaching* » en mai 2022. Nous remercions l'ensemble des acteurs de la Chaire de recherche-action sur l'innovation pédagogique de l'Université Paris-Saclay portée par Martin Riopel, et financée par l'École Universitaire de 1er Cycle de l'Université Paris-Saclay. Cette chaire existe grâce à Jeanne Parmentier, Isabelle Demachy, et Martin Riopel, et bénéficie du soutien méthodologique de Patrice Potvin, Christian Bégin, Diane Leduc, Geneviève Allaire-Duquette, et Marine Moyon. Ce travail a bénéficié du soutien de la Chaire « *La Physique*

Autrement » de la fondation Paris-Saclay soutenue par le groupe Air Liquide et le Crédit Agricole – CIB, ainsi qu'un soutien de l'Institut Villebon - Georges Charpak.

Références bibliographiques

- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational psychologist*, 26(3-4), 369-398.
- Boeker, E., van Grondelle, R., et Blankert, P. (2003). Environmental physics as a teaching concept. *European Journal of Physics*, 24(5), S59.
- Bobroff, J. (2022, September 14). The ‘ anti-conference ’, a collaborative way to create innovative teaching methods. *The Conversation*. <https://theconversation.com/the-anti-conference-a-collaborative-way-to-create-innovative-teaching-methods-190504>
- Bouquet, F., Bobroff, J., Fuchs-Gallezot, M., et Maurines, L. (2017). Project-based physics labs using low-cost open-source hardware. *American Journal of Physics*, 85(3), 216-222.
- Bouquet, F., Bobroff, J., Moyon, M., Berry, V., et Allaire-Duquette, G. (2021, août 30 – septembre 2). Adding fiction into physics’ lab to engage undergrad students [Présentation vidéo, Actes de conférence]. In The 14th European Science Education Research Association, 30 August - 3 September, 2021, Braga, Portugal. ESERA.
- Busch, H. C. (2010). Using Environmental Science as a Motivational Tool to Teach Physics to Non- science Majors. *The Physics Teacher*, 48(9), 578-581.
- Forinash, K. (2016). A few ideas for teaching environmental physics. *Physics Education*, 51(6), 065024.
- Forinash, K., et Whitten, B. (2019). Resource letter TEP-1: resources for teaching environmental physics. *American Journal of Physics*, 87(6), 421-432.
- Guyon, É. (dir.). (2010). *Matière et matériaux - De quoi est fait le monde ?* Belin.
- Guyon, É. (dir.). (2018). *Du merveilleux caché dans le quotidien*. Flammarion.
- Harris, F. (2018). Outdoor learning spaces: The case of forest school. *Area*, 50(2), 222-231. <https://doi.org/10.1111/area.12360>
- Harris, F. (2022). Forest school. *CABI Reviews*, (2022). <https://doi.org/10.1079/cabireviews202217041>
- Hattie, J. (2012). *Visible learning for teachers: Maximizing impact on learning*. Routledge.
- Irwin, J. L., Pearce, J. M., Anzalone, G. C., Douglas, M., & Oppliger, E. (2014). The RepRap 3-D printer revolution in STEM education. 360 of Engineering Education. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02119683>
- Jones, T. S., et Richey, R. C. (2000). Rapid prototyping methodology in action: A developmental study. *Educational Technology Research and Development*, 48(2), 63-80. <https://doi.org/10.1007/BF02313401>
- Jouzel, J. (groupe de travail sous la direction de). (2022). Sensibiliser et former aux enjeux de la transition écologique et du développement durable dans l’enseignement supérieur, rapport remis le 16/02/2022 à la ministre de l’enseignement supérieur et de la recherche française. Repéré le 13/12/2022 à <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/remise-du-rapport-sensibiliser-et-former-aux-enjeux-de-la-transition-ecologique-et-du-developpement-83903>

- Kimori, D. A., et Roehrig, G. (2021). Environmental topics in physics by inquiry course: Integration models used by physics teachers. *The Qualitative Report*, 26(5), 1601-1617.
- La physique autrement. (2022). Références pour la forêt. <https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/references-sur-la-foret/>
- Lenne, C. (2021). *Dans la peau d'un arbre*. Belin.
- Lindemann-Matthies, P., et Knecht, S. (2011). Swiss elementary school teachers' attitudes toward forest education. *The journal of environmental education*, 42(3), 152-167.
- Martinuk, M. S., Moll, R. F., et Kotlicki, A. (2010). Teaching introductory physics with an environmental focus. *The Physics Teacher*, 48(6), 413-415.
- Nixon, E. K., & Lee, D. (2001). Rapid prototyping in the instructional design process. *Performance Improvement Quarterly*, 14(3), 95-116.
- Reverdy, C. (2013). Des projets pour mieux apprendre?. Dossier de veille de l'IFÉ, (82). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01657236/document>
- Séon, T. (2018). *Les lois d'échelles, la physique du petit et du grand*. Odile Jacob.
- Slade, M., Lowery, C., et Bland, K. E. N. (2013). Evaluating the impact of Forest Schools: a collaboration between a university and a primary school. *Support for Learning*, 28(2), 66-72.
- Vest, B. et al. (2023). Reimagine Physics Teaching: a workshop designed to sparkle exchanges and creativity. Les cahiers de l'institut Pascal.
- Workshop Reimagine Physics Teaching. (2022). Recipe for teaching in the forest. <https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/physics-teaching/formats/workshop-recipes-formats/recipe-for-teaching-in-the-forest/>