

# Transposition de la démarche expérimentale dans un environnement numérique de support

LabNbook, de la caractérisation didactique à l'utilisation en situation écologique

Cédric d'Ham<sup>1</sup>, Claire Wajeman<sup>1</sup>, Isabelle Girault<sup>1</sup>, Patricia Marzin-Janvier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble, France  
cedric.dham@univ-grenoble-alpes.fr

<sup>2</sup> Université de Bretagne Occidentale, CREAD, F-29200 Brest, France

**Résumé :** LabNbook est un environnement numérique qui permet aux apprenants (lycée ou enseignement supérieur) de créer et partager un cahier de laboratoire et/ou des rapports scientifiques. Cette plateforme a été conçue pour que les enseignants puissent aisément mettre en œuvre les contenus et la pédagogie de leur choix : travaux pratiques, apprentissage par investigation, apprentissage par problème, pédagogie de projet... L'objectif de cette communication est de justifier nos choix de conception de LabNbook par des éléments épistémologiques et didactiques et de présenter l'utilisation de la plateforme à grande échelle dans deux établissements d'enseignement supérieur.

**Mots-clés :** plateforme numérique, sciences expérimentales, cahier de laboratoire, rapport scientifique, transpositions du savoir

# Transposition of the experimental process in a supportive digital environment

LabNbook, from the didactical characterization to the use in ecological conditions

**Abstract:** LabNbook is a digital environment that enables learners (high school or university) to create and share laboratory notebooks and/or scientific reports. This platform has been made in order that teachers can easily implement the contents and the pedagogies they have chosen: experimental sessions, inquiry learning, problem-based learning, project-based learning... The aim of this paper is to justify with epistemological and didactical elements the design decisions taken for LabNbook. We also present the use of the platform in a large-scale experiment conducted in two higher education organizations.

**Keywords:** online environment, experimental sciences, laboratory notebook, scientific report, knowledge transpositions

## INTRODUCTION

S'il est généralement admis que les travaux pratiques font partie de l'enseignement scientifique, la question de leur efficacité dans les apprentissages – notamment en regard de leur coût de mise en œuvre – est un point discuté (Abrahams & Millar, 2008). Pour que les activités expérimentales aient un impact positif sur les apprentissages, elles doivent engager les apprenants à manipuler des concepts et pas uniquement des objets matériels (Séré & Beney, 1997 ; Hofstein & Lunetta, 2004).

L'enseignement basé sur l'investigation a été largement introduit dans les collèges et lycées européens au cours des années 2000 (Rocard, 2007) en affichant les objectifs suivants : permettre aux apprenants de donner du sens à leurs activités en laboratoire ; favoriser les apprentissages conceptuels et méthodologiques ; modifier le regard des élèves sur les résultats scientifiques et sur la manière dont ils sont établis. Bien que de multiples études aient montré les avantages de telles méthodes par rapport à une approche traditionnelle des travaux pratiques (Freeman et al., 2014), des auteurs questionnent l'efficacité de l'enseignement par investigation. Par exemple, Kirschner et ses collègues ont exprimé le peu de crédit qu'ils accordaient aux méthodes pédagogiques dérivées du constructivisme (Kirschner et al., 2006). Si on peut reprocher à ces auteurs d'associer trop évidemment les méthodes pédagogiques décrites avec un faible guidage des apprenants par les enseignants, il n'empêche qu'un de leurs arguments appelle réflexion : *“The major fallacy of [the inquiry-based] rationale is that it makes no distinction between the behaviours and methods of a researcher who is an expert practicing a profession and those students who are new to the discipline and who are, thus, essentially novices”*<sup>1</sup>. Plus récemment, l'étude PISA 2015 indique une corrélation négative entre les résultats aux tests de connaissances scientifiques et un enseignement par investigation (Léna, 2018). Les méthodes d'enseignement par investigation ne sont donc pas l'assurance d'un apprentissage optimal des concepts scientifiques par rapport à un enseignement traditionnel. Il a notamment été montré l'importance de la performance des enseignants dans la réussite d'un enseignement par investigation (Blanchard et al., 2010). D'autres auteurs ont proposé l'utilisation de logiciels de support : simulations à partir desquelles les apprenants peuvent explorer des modèles scientifiques (de Jong et al., 2013) ou étayages numériques pour accompagner les apprenants dans leurs démarches d'investigation (Zacharia et al., 2015). Parmi les plateformes support de la démarche d'investigation, on peut citer WISE (Slotta & Linn, 2009), SCY (de Jong et al., 2010) ou Go-Lab (de Jong et al., 2014). Ces environnements sont généralement complexes à configurer et imposent l'utilisation d'un modèle pédagogique défini. Un autre type d'environnements support à l'investigation apparaît actuellement en enseignement : les ELN, « Electronic Lab Notebooks » (Eblen-Zayas, 2015). Ces environnements ont été initialement conçus pour permettre aux chercheurs en laboratoire de consigner et partager leurs résultats. S'ils sont plus ouverts que les plateformes d'apprentissage par investigation, les ELN ont le défaut de ne pas avoir été pensés pour un usage pédagogique.

L'objectif de cette communication est de présenter LabNbook, un ELN pédagogique destiné aux apprenants de lycée et du supérieur pour qu'ils produisent et partagent des cahiers de laboratoire ou des rapports. Dans LabNbook, les enseignants définissent librement les contenus enseignés et les stratégies pédagogiques mises en place. LabNbook est plus spécifiquement conçu pour enseigner les sciences expérimentales dans le cadre de pédagogies « centrées-étudiant » (Hannafin & Hannafin, 2010) : apprentissage par

---

<sup>1</sup> L'erreur majeure dans la justification de l'apprentissage par investigation est qu'il n'y a pas de distinction faite entre les comportements et méthodes des chercheurs, qui sont des experts exerçant leur profession, et ceux des étudiants qui débutent dans la discipline et sont donc des novices.

investigation, apprentissage par problème, pédagogie de projet, travaux pratiques... Dans la première partie de notre communication, nous décrivons LabNbook en présentant nos choix de conception étayés par des éléments épistémologiques et didactiques. Une deuxième partie détaille quelques données qui décrivent la mise en œuvre de LabNbook à grande échelle au sein de l'Université Grenoble Alpes. La conclusion présente les questions de recherche posées par l'usage de la plateforme que nous explorons actuellement.

## CONCEPTION DE LABNBOOK : UNE DOUBLE TRANSPOSITION

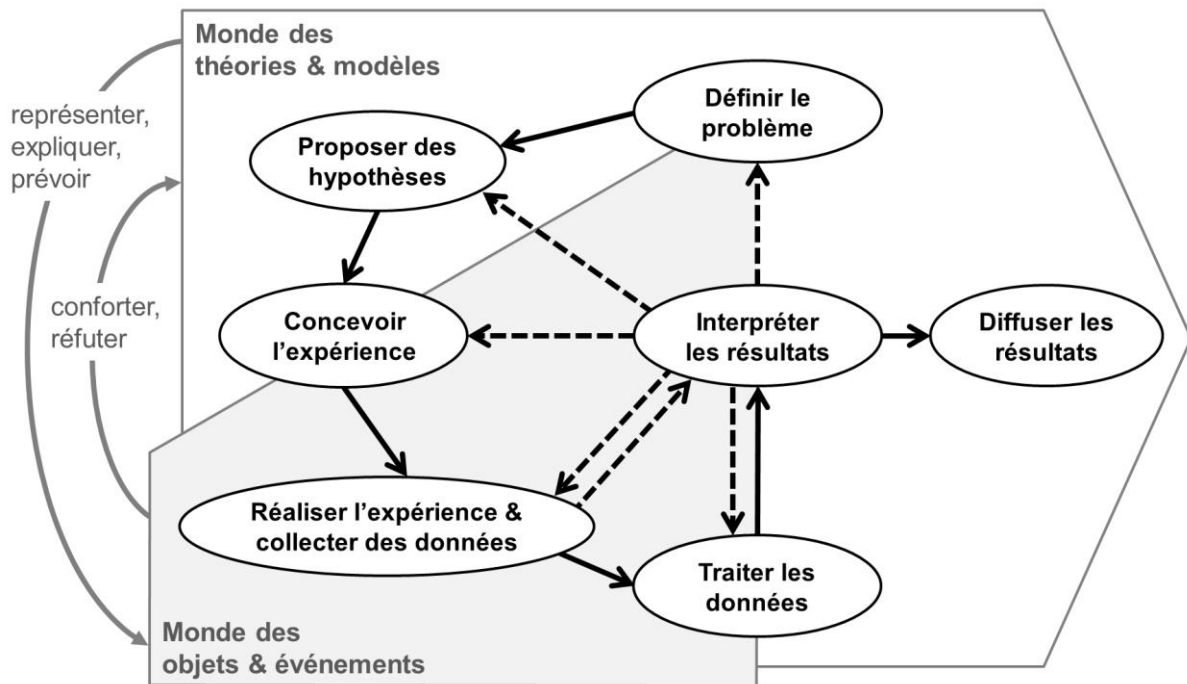
Nous proposons de caractériser la conception de la plateforme selon un double processus de transposition didactique (Chevallard, 1991) et informatique (Balacheff, 1993).

### Transposition didactique de la démarche expérimentale du chercheur

La démarche expérimentale du chercheur en sciences a été décrite à des fins d'enseignement (Develay 1989 ; Guillon & Séré, 2002). Une étude montre cependant que ces descriptions sont assez éloignées des démarches mises en place par les enseignants (Richoux & Beaufile, 2005). Des auteurs ont proposé des transpositions de la démarche expérimentale pour une utilisation en enseignement. On peut citer la démarche OHERIC ou, plus récemment, la description des phases du cycle d'investigation (Pedaste et al., 2015).

À partir de ces différents travaux, nous avons produit notre propre description d'une transposition de la démarche expérimentale pour l'enseignement. Nous nous sommes appuyés sur la description proposée par Develay (1989) à laquelle nous avons adjoint une structure cyclique à la façon de Pedaste *et al.* (2015). De plus, nous avons développé la démarche dans les mondes des « théories & modèles » et « objets & événements » proposés par (Tiberghien et al., 2009). Notre cycle expérimental consiste en une séquence de sept types de tâches pouvant être assignés à l'apprenant (*cf.* Fig.1) :

- *Définir le problème* : le problème peut correspondre soit à une investigation (par exemple déterminer la condition pour qu'un objet flotte) soit à un problème technique (par exemple déterminer la concentration d'une solution par un dosage) ; il peut être issu de réflexions théoriques ou de l'observation d'un fait singulier.
- *Proposer des hypothèses* : l'hypothèse peut être une relation entre grandeurs (cas de l'investigation par exemple) ou un résultat numérique anticipé (cas d'un problème technique par exemple).
- *Concevoir l'expérience* : ce type de tâches a pour objet de produire un protocole expérimental, document ayant un statut bien précis en sciences expérimentales (Girault et al., 2012).
- *Réaliser l'expérience & collecter des données* : les données peuvent être des phénomènes observés ou des mesures.
- *Traiter les données* : ce type de tâches correspond à appliquer des transformations mathématiques aux données numériques ou des traitements aux images ; c'est ici qu'ont lieu les tâches de modélisation.
- *Interpréter les résultats* : ce type de tâches est central dans la démarche car c'est ici que la plupart des actions de contrôle (par ex. la vérification de la valeur d'un témoin ou la comparaison du résultat à une référence) sont effectuées.
- *Diffuser les résultats* : la diffusion peut se faire à destination de l'enseignant et/ou des pairs.



**Fig.1.** Une transposition en enseignement de la démarche du scientifique : le cycle expérimental

Les types de tâches de la démarche sont présentés séquentiellement sans pour autant que la démarche soit linéaire : les chemins pointillés sur la figure correspondent aux retours pouvant être effectués par un apprenant, notamment suite à un contrôle négatif. De plus, notre proposition ne signifie pas que tous les types de tâches sont à la charge de l'apprenant : c'est l'enseignant qui, selon la pédagogie choisie, décide des tâches dévolues à l'apprenant. Situer les sept types de tâches dans les monde des « théories & modèles » et « des objets & événements » fait apparaître que quatre sont placés à l'interface des deux mondes : *Définir le problème*, *Concevoir l'expérience*, *Traiter les données* et *Interpréter les résultats*. Nous pensons que ces moments du cycle sont centraux dans la construction de sens par les apprenants car ils les obligent à articuler des concepts ou relations du monde des « théories & modèles » avec des matériels, phénomènes ou mesures du monde des « objets & événements ».

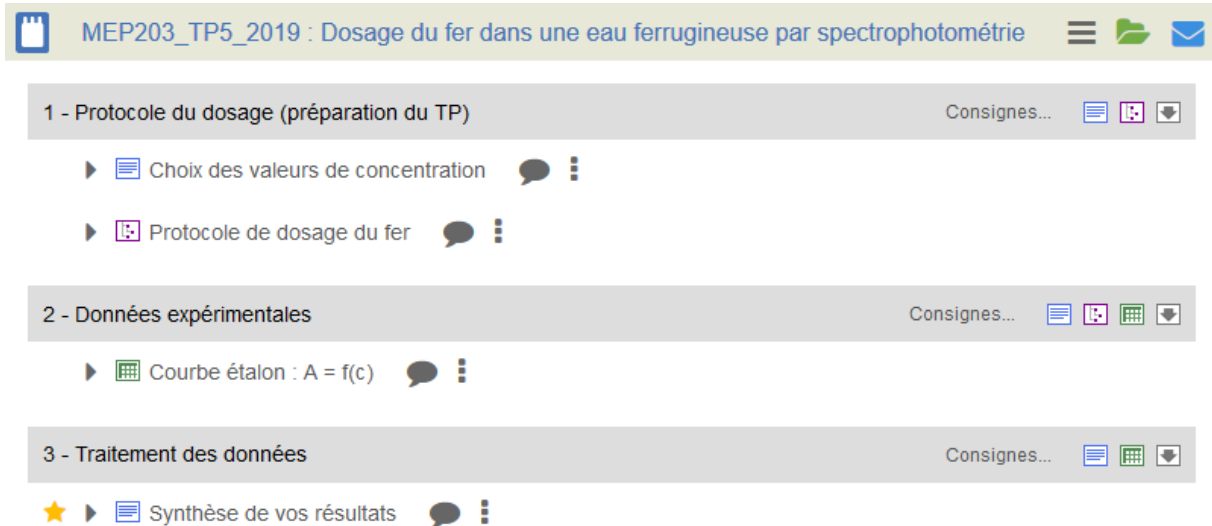
Pour compléter notre transposition de la démarche expérimentale du chercheur nous nous basons sur Latour & Woolgar (1979) qui montrent que les chercheurs en science ont pour activité principale de produire et échanger des « inscriptions littéraires ». Autrement dit, l'écriture de documents scientifiques et la communication de ces écrits, à l'intérieur ou à l'extérieur du laboratoire, occupent une place centrale dans l'activité scientifique et dans la construction de nouvelles connaissances. Il apparaît donc important que les apprenants engagés dans une démarche expérimentale disposent d'outils de production scientifique et de communication entre pairs.

## Ingénierie logicielle et transposition informatique

Nous avons développé la plateforme LabNbook pour fournir aux apprenants des outils de production et de communication utiles au cours d'une démarche résultant d'une combinaison des types de tâches de notre cycle expérimental.

Nous avons souhaité laisser un maximum de liberté aux enseignants dans le choix des démarches qu'ils proposent à leurs élèves. Dans LabNbook, les enseignants définissent des « missions » qui comportent un ensemble de documents et consignes utiles aux apprenants pour leur travail et un ensemble d'étapes qui structurent le travail et donnent accès aux outils de production scientifique. La figure 2 montre l'espace de travail des apprenants pour

une mission formée de trois étapes. Dans chaque étape, les apprenants doivent compléter ou ajouter des documents. Selon les missions, l'espace de travail des apprenants correspond à un cahier de laboratoire ou à un rapport scientifique, voire à un intermédiaire fréquemment rencontré en enseignement, le compte-rendu de travaux pratiques.



**Fig.2.** Exemple de structuration en trois parties de l'espace de travail des apprenants dans LabNbook

L'espace de travail appartient à une équipe d'apprenants. Tous les membres de l'équipe ont les mêmes droits de modification sur les documents qui peuvent ainsi être le produit d'un travail collaboratif. Pour soutenir cette collaboration, plusieurs outils de communication sont disponibles dans LabNbook :

- une messagerie,
- un porte-document partagé pour échanger des ressources au sein de l'équipe,
- un fil de discussion, associé à chaque document, qui propose un espace de discussion contextualisé au travail de production scientifique,
- un outil d'annotation pour que l'enseignant fournisse des rétroactions aux apprenants sur leur travail.

La plateforme intègre quatre outils de production avec lesquels les apprenants produisent leurs documents de types texte, dessin, protocole expérimental et tableau de données avec graphiques. Le tableau 2 indique quels documents peuvent être utilisés pour chaque type de tâches du cycle expérimental.

### Type de documents

Type de tâches du cycle expérimental	textes	dessins	protocoles expérimentaux	tableaux de données & graphiques
définir le problème	x		(x)	
proposer des hypothèses	x	x	(x)	
concevoir l'expérience	x	x	x	
collecter des données	(x)	x		x
traiter les données				x
interpréter les résultats	x	x		
diffuser les résultats	x	x	x	x

**Tableau 1.** Utilisation possible des outils de production scientifique dans les types de tâches du cycle expérimental

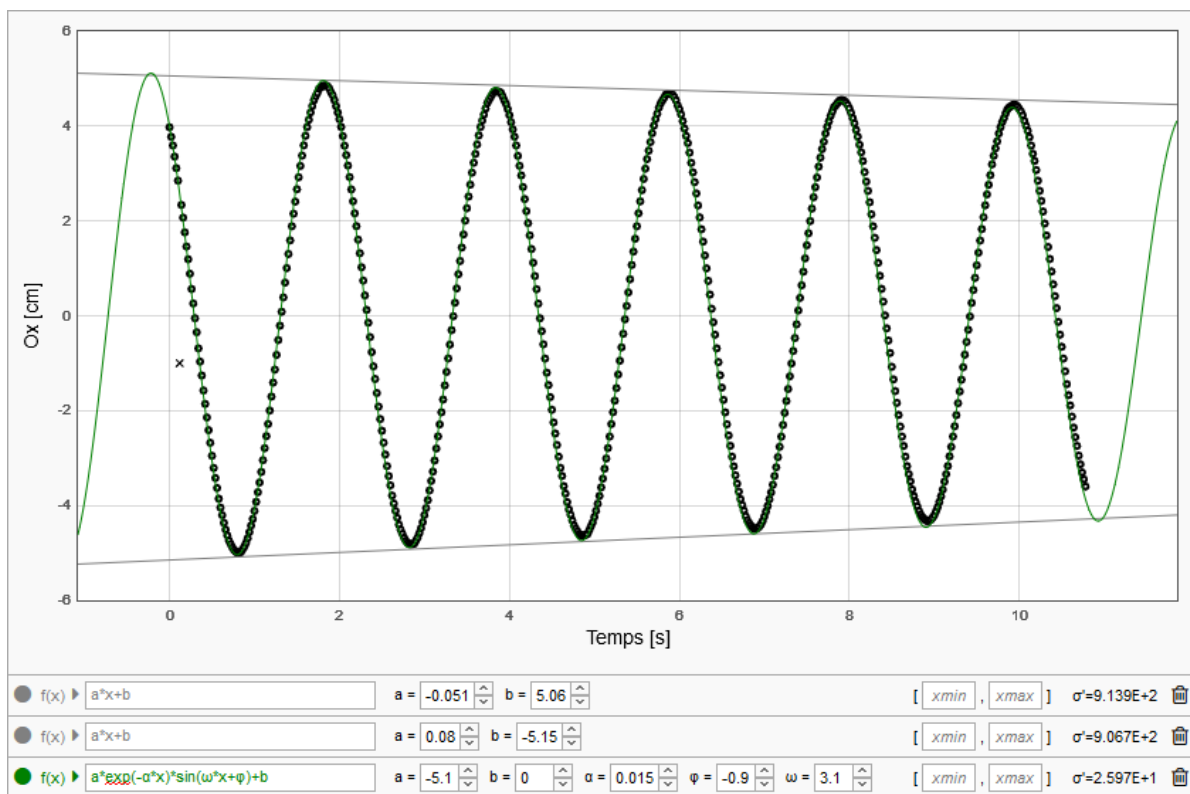
Le traitement de texte et l'outil de dessin sont des outils génériques. Un éditeur d'équation a été incorporé au traitement de texte et l'outil de dessin intègre des bibliothèques d'images utiles pour les schémas scientifiques (montages de chimie et circuits électriques). Pour deux types de tâches identifiés comme cruciaux, car à la frontière des deux mondes, nous avons développé deux outils innovants : un outil d'élaboration de protocole expérimental et un outil de traitement de données. Nous les présentons plus en détail car c'est ici qu'un travail de transposition informatique a été effectué.

L'outil d'écriture de protocole expérimental correspond principalement au type de tâches *Concevoir l'expérience*. La conception de cet outil s'appuie sur des recherches montrant l'intérêt de ce type de tâches pour l'apprentissage (Etkina et al., 2010), sa complexité (Berthet et al., 2015) et l'utilité d'un étayage par un outil numérique (Girault & d'Ham, 2014). Dans LabNbook, cet outil est un éditeur de texte structuré. Dans sa configuration par défaut, l'outil demande à l'apprenant, de rappeler (1) la question de recherche ou l'objectif de l'expérimentation et (2) les hypothèses ou les résultats attendus, afin de faire le lien avec les types de tâches *Définir le problème* et *Proposer des hypothèses*. Ensuite l'apprenant doit décrire (3) le principe de la manipulation, (4) la liste du matériel et (5) le mode opératoire. Si l'enseignant estime qu'un étayage est nécessaire, il peut proposer une liste de matériels sélectionnables ainsi qu'un ensemble d'actions prédéfinies à partir desquelles l'apprenant compose son mode opératoire.

L'outil fourni pour gérer les données et créer des graphiques XY correspond aux deux types de tâches *Collecter* et *Traiter les données*. L'outil ressemble aux tableurs habituels et, s'il comporte moins de fonctionnalités, il en intègre d'autres spécifiques aux sciences expérimentales et ayant une fonction pédagogique. L'apprenant peut notamment :

- qualifier certaines données « d'aberrantes » : ces données restent visibles mais ne sont pas prises en compte dans les calculs ;
- faire des calculs avec des noms de variables explicites : par exemple, un calcul de vitesse peut s'écrire « vitesse = distance/temps » ;
- afficher des données sur un graphique XY avec des échelles linéaires ou log ;
- ajouter à ces données des barres d'incertitude en X et/ou Y ;
- modéliser les données expérimentales par des fonctions mathématiques paramétrées : les paramètres sont reconnus comme tels par le système et l'apprenant peut modifier leurs valeurs pour ajuster visuellement le modèle mathématique aux points expérimentaux du graphique ; il est aussi possible de contrôler l'ajustement à partir de la valeur affichée de l'écart-type des résidus.

La fonction de modélisation correspond à une recommandation faite par Guillon et Séré (2002) : « Provide students with two types of ‘tools’, one indispensable to carry out proper data processing and the other for confrontation [with the model] »<sup>2</sup>. Un exemple est donné dans la figure 3 : la donnée expérimentale aberrante est représentée par une croix ; deux fonctions linéaires modélisent les enveloppes de la courbe expérimentale ; une troisième fonction ajuste les données expérimentales à l’aide d’un modèle approprié ; sous le graphique sont affichés les choix de l’apprenant (fonctions mathématiques et valeurs des paramètres) ainsi que l’écart-type des résidus.



**Fig.3.** Utilisation de l’outil tableur-grapheur pour produire une modélisation mathématique des oscillations amorties pseudo-périodiques d’un pendule

## UTILISATION DE LABNBOOK EN SITUATION ECOLOGIQUE

Après huit ans de développement et de test, la plateforme est arrivée à une certaine maturité. A ce stade de développement, notre principale question était de savoir si LabNbook pourrait répondre aux besoins d’enseignants hors de notre laboratoire et si les outils que nous avons développés selon notre conception du cycle expérimental pourraient effectivement soutenir des enseignements basés, au moins partiellement, sur ce cycle. Nous fournissons dans cette partie quelques éléments qui répondent à cette question. Une étude longitudinale est en cours qui donnera bientôt des réponses plus détaillées.

A la rentrée 2017, LabNbook a été diffusé à large échelle au sein de l’Université Grenoble Alpes et 25 unités d’enseignement ont adopté la plateforme. À partir de cette date et durant

<sup>2</sup> Fournir aux étudiants deux types d’outils, l’un indispensable pour effectuer un traitement adéquat des données et l’autre pour la confrontation [avec le modèle].

cinq semestres d'utilisation, 142 enseignants ont encadré 4 359 étudiants sur 325 missions différentes. Ces missions ont donné lieu à la création de 8 686 espaces de travail partagés par autant d'équipes. Ce succès quantitatif indique que LabNbook répond effectivement au besoin d'un outil numérique partagé pour l'écriture scientifique. De plus, les utilisateurs indiquent pour la plupart que la prise en main de la plateforme est simple, notamment au niveau de l'interface étudiant.

Un de nos objectifs, pour LabNbook, était de développer une plateforme ouverte et facilement adaptable par les enseignants à leurs divers besoins pédagogiques. Ceci semble être le cas puisque la plateforme a été utilisée dans toutes les sciences expérimentales (physique, chimie, biologie et sciences de la terre) comme support à des objectifs pédagogiques très divers allant de l'écriture de comptes-rendus dans le cadre de TP classiques à des séquences ambitieuses d'apprentissage par problème (Hoffmann et al., 2019).

Nous pensions que la communication entre étudiants serait importante dans la production de leurs écrits scientifiques sur LabNbook. Nos résultats ne corroborent pas cette hypothèse : sur cinq semestres d'utilisation, 2 233 messages et 2 602 commentaires (messages attachés à une production) ont été postés par les étudiants sur la plateforme. Ces chiffres sont faibles en regard de l'utilisation de la plateforme. Il est très probable que la communication entre étudiants passe par d'autres canaux que ceux proposés dans LabNbook. Il en va différemment pour la communication allant des enseignants vers les étudiants : sur cinq semestres, les enseignants ont produit 33 759 annotations sur les documents des étudiants. Ce chiffre témoigne de l'intérêt des enseignants pour un outil numérique permettant d'annoter les travaux des étudiants de façon aisée et tout au long du processus d'écriture. Cette facilité d'utilisation est renforcée par le fait que l'outil d'annotation de LabNbook rappelle aux enseignants leurs annotations faites dans des contextes similaires et permet leur réutilisation.

Nous nous sommes posé la question du choix des outils fait par les utilisateurs pour écrire leurs documents scientifiques. Dans le tableau 1, nous avons détaillé le champ d'application, dans le cycle expérimental, de chaque outil d'écriture proposé dans LabNbook. Les outils de texte et dessin sont ceux qui ont le champ d'application le plus large. De plus, ces outils sont aisément identifiables par les utilisateurs car ils correspondent à des outils largement utilisés dans les suites bureautiques. Nous nous attendions donc à ce qu'ils soient choisis le plus fréquemment avant l'outil de gestion des tableaux de données et graphiques puis l'outil d'écriture de protocoles. Nous avons compté pour chaque discipline, le nombre de documents, selon leur type, produits par les étudiants sur les cinq semestres d'utilisation (cf. tableau 2).

	Toutes disc.	Physique	Chimie	Biologie	Sc. terre
Textes	51 288 – 53%	35 216 – 46%	7 688 – 69%	7 473 – 92%	628 – 61%
Tableaux et graphiques	20 355 – 21%	18 365 – 24%	1 865 – 17%	10 – 0%	68 – 7%
Dessins	14 987 – 15%	12 845 – 17%	1 215 – 11%	539 – 7%	332 – 32%
Protocoles exp.	10 135 – 10%	9 523 – 13%	442 – 4%	92 – 1%	0 – 0%

**Tableau 2.** Nombre de documents utilisés par les étudiants de sept. 2017 à aout 2019, classés selon leur type et selon la discipline enseignée

Comme attendu, l'outil le plus utilisé dans la plateforme est le traitement de texte. En effet, cet outil peut être utilisé dans quasiment tous les types de tâches du cycle expérimental. L'outil tableur-grapheur est le second en termes de fréquence d'usage. Il est principalement utilisé dans les missions de physique et chimie où l'activité de modélisation mathématique a souvent une place importante. Plusieurs enseignants nous ont d'ailleurs fait part de leur



intérêt pour cette fonctionnalité de modélisation car elle permet aux étudiants d'appréhender la signification des paramètres d'un modèle. En effet, dans l'outil, les étudiants peuvent aisément modifier les valeurs des paramètres d'un modèle mathématique et observer l'évolution de la forme de la courbe, c'est-à-dire l'influence du paramètre sur le modèle. Concernant l'outil d'écriture de protocole, nous nous attendions à ce qu'il soit le moins utilisé et cela est confirmé par nos résultats. Cet outil n'a pas d'équivalent et, comme cela est observé dans les innovations, son utilité n'est probablement pas reconnue d'emblée par les utilisateurs qui ont tendance à privilégier des outils familiers. Par ailleurs, la conception d'expérimentations est une activité complexe pour les apprenants et elle n'est pas mise en œuvre dans toutes les missions. Le fait que cet outil représente tout de même 10% des utilisations est notable.

## CONCLUSION

LabNbook est un environnement numérique qui permet à des apprenants de produire collaborativement des documents scientifiques. Cette plateforme peut apporter un support au niveau de tous les types de tâches du cycle expérimental selon les choix pédagogiques effectués par les enseignants. Nos travaux en cours cherchent à évaluer les transformations induites par LabNbook, d'une part, sur les activités pédagogiques proposées par les enseignants et, d'autre part, sur la conduite de ces activités par les apprenants. Nous investiguons plusieurs questions de recherche pour lesquelles le corpus est en cours d'acquisition et dont les résultats dépassent le cadre de cette communication. Ces questions sont les suivantes :

- Quels sont les facteurs qui déterminent l'acceptation et l'adoption de la plateforme par les enseignants ? Notre hypothèse est la suivante : malgré une réticence de certains enseignants à utiliser de nouveaux outils numériques, ils adoptent LabNbook car la plateforme permet la mise en place d'activités pédagogiques qui seraient difficilement réalisables autrement. Dans ce cadre, le processus d'instrumentalisation (Rabardel, 1995) semble jouer un rôle important ; en effet, nous avons observé des activités proposées sur LabNbook que nous n'avions pas anticipé lors de la conception de la plateforme.
- La plateforme LabNbook apporte-t-elle un support aux enseignants et apprenants engagés dans des enseignements « centrés-étudiant » ? Nous faisons deux hypothèses : (i) LabNbook est un support pour les pédagogies centrées-étudiant, *i.e.* des pédagogies dans lesquelles l'enseignant donne plus d'autonomie et de responsabilité aux apprenants sur la conduite de leurs activités et de leurs apprentissages ; (ii) l'utilisation de la plateforme peut, au fil des cycles d'enseignement, amener les enseignants à transformer leur pédagogie vers plus de « centrage-étudiant ».
- Quels sont les types de tâches du cycle expérimental que les enseignants donnent à réaliser aux étudiants ? Notamment, quelle part est donnée aux tâches de conception d'expériences (Girault et al., 2012) et de modélisation de données expérimentales (Guillon & Séré, 2002) ?
- Quelle forme prend la collaboration entre étudiants pour l'écriture de documents scientifiques sur LabNbook (Onrubia & Engel, 2009) et quels sont les effets sur la réussite à la tâche ?

Nous menons actuellement une étude longitudinale (Mandran et al., 2019) sur l'utilisation de LabNbook à l'Université Grenoble Alpes sur cinq semestres. Le corpus de données est constitué des traces d'utilisation de la plateforme par les différents types d'utilisateurs, des missions produites par les enseignants, de questionnaires de satisfaction passés auprès des étudiants, d'entretiens annuels avec les responsables d'enseignement et d'un questionnaire baromètre passé annuellement auprès de tous les enseignants (Planche et al., 2019).

LabNbook est développé sous licence libre et nous souhaitons promouvoir son utilisation hors de notre établissement. Nous envisageons aussi LabNbook comme un outil de recherche qui pourrait être utilisé par d'autres laboratoires que le nôtre. LabNbook a ainsi été choisi comme plateforme support pour le projet Apaches (Vermeulen et al., 2019).

## REMERCIEMENTS

Nous remercions tous les enseignants, et notamment les pionniers, qui ont accepté d'intégrer LabNbook dans leurs enseignements. Le développement de LabNbook est possible grâce aux soutiens accordés par les projets IDEX-Formation de la COMUE Grenoble Alpes et Appel à Manifestation d'Intérêt « Transformation pédagogique et numérique » du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969. <https://doi.org/10.1080/09500690701749305>
- Balacheff, N. (1993). La transposition informatique, un nouveau problème pour la didactique. In M. Artigue, R. Gras, C. Laborde, & P. Tavnnot (Éd.), *Vingt ans de didactique des mathématiques en France* (p. 364-370). Grenoble : La Pensée Sauvage. <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00190646/document>
- Berthet, A., Girault, I., & d'Ham, C. (2015). Difficultés d'élèves pour élaborer un protocole expérimental : Un exemple en classe de terminale S. *Le Bup*, 109(978), 1395-1408.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- de Jong, T., Sotiriou, S., & Gillet, D. (2014). Innovations in STEM education : The Go-Lab federation of online labs. *Smart Learning Environments*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40561-014-0003-6>
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Giemza, A., Girault, I., Hoppe, U., Kindermann, J., Kluge, A., Lazonder, A. W., Vold, V., Weinberger, A., Weinbrenner, S., Wichmann, A., Anjewierden, A., Bodin, M., Bollen, L., d'Ham, C., Dolonen, J., Engler, J., Geraedts, C., ... Van Der Zanden, M. (2010). Learning by creating and exchanging objects : The SCY experience. *British Journal of Educational Technology*, 41(6), 909-921. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2010.01121.x>
- Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.
- Eblen-Zayas, M. (2015). Comparing Electronic and Traditional Lab Notebooks in the Advanced Lab. 2015 *BFY Proceedings*, 28-31. <https://advlabs.aapt.org/items/detail.cfm?ID=13799>
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and Reflection Help Students Develop Scientific Abilities : Learning

- in Introductory Physics Laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54-98. <https://doi.org/10.1080/10508400903452876>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Girault, I., & d'Ham, C. (2014). Scaffolding a Complex Task of Experimental Design in Chemistry with a Computer Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 514-526. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9481-5>
- Girault, I., d'Ham, C., Ney, M., Sanchez, E., & Wajeman, C. (2012). Characterizing the Experimental Procedure in Science Laboratories : A preliminary step towards students experimental design. *International Journal of Science Education*, 34(6), 825-854. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.569901>
- Guillon, A., & Séré, M. (2002). The Role of Epistemological Information in Open-ended Investigative Labwork. In *Teaching and learning in the science laboratory* (Kluwer). D. Psillos & H. Niedderer.
- Hannafin, M. J., & Hannafin, K. M. (2010). Cognition and Student-Centered, Web-Based Learning : Issues and Implications for Research and Theory. In J. M. Spector, D. Ifenthaler, P. Isaias, Kinshuk, & D. Sampson (Éd.), *Learning and Instruction in the Digital Age* (p. 11-23). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1551-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1551-1_2)
- Hoffmann, C., Girault, I., Kahane, C., d'Ham, C., & Planche, M. (2019, juin). Utilisation d'une plateforme numérique dans un dispositif d'apprentissage par problèmes (APP). *Question de Pédagogies dans l'Enseignement Supérieur (QPES)*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02058709>
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education : Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work : An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Latour, B., & Woolgar, S. (1979). *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Paris : La Découverte.
- Léna, P. (2018). La pédagogie d'investigation et l'enquête PISA 2015. *Le Bup*, 112(1000), 7-32.
- Mandran, N., Marzin-Janvier, P., Planche, M., Karoui, A., & Girault, I. (2019). Processus d'évaluation longitudinale (PEL) d'une plateforme pédagogique (LMS) : Le cas de LabNbook. *Actes de la 9ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, 133-138. [https://eiah2019.sciencesconf.org/data/pages/ActesEIAH2019\\_V4.0.pdf](https://eiah2019.sciencesconf.org/data/pages/ActesEIAH2019_V4.0.pdf)
- Onrubia, J., & Engel, A. (2009). Strategies for collaborative writing and phases of knowledge construction in CSCL environments. *Computers & Education*, 53(4), 1256-1265. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.06.008>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning : Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Planche, M., Girault, I., Mandran, N., Marzin-Janvier, P., d'Ham, C., & Wajeman, C. (2019). Contribution de différents outils de mesure à l'évaluation des usages d'une plateforme numérique par un processus longitudinal : Cas du travail à distance. *Actes de la 9ème*

- Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, 139-144. [https://eiah2019.sciencesconf.org/data/pages/ActesEIAH2019\\_V4.0.pdf](https://eiah2019.sciencesconf.org/data/pages/ActesEIAH2019_V4.0.pdf)
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01017462>
- Richoux, H., & Beaufils, D. (2005). Conception de travaux pratiques par les enseignants : Analyse de quelques exemples de physique en termes de transposition didactique. *Didaskalia*, 27, 11-39.
- Rocard, M. (2007). *Science Education NOW: A renewed Pedagogy for the Future of Europe*. [http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/report-rocard-on-science-education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf).
- Séré, M., & Beney, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : Observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, 11, 73-100.
- Slotta, J. D., & Linn, M. C. (2009). *WISE Science : Web-Based Inquiry in the Classroom*. Teachers College Press.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based Research : Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314. <https://doi.org/10.1080/09500690902874894>
- Vermeulen, M., Karami, A., Fleury, A., Bouchet, F., Mandran, N., Laval, J., & Labat, J.-M. (2019). APACHES : Human-Centered and Project-Based Methods in Higher Education. In M. Scheffel, J. Broisin, V. Pammer-Schindler, A. Ioannou, & J. Schneider (Éd.), *Transforming Learning with Meaningful Technologies* (p. 683-687). Springer International Publishing.
- Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., de Jong, T., Pedaste, M., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Mäeots, M., Siiman, L., & Tsourlidaki, E. (2015). Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science : A literature review. *Educational Technology Research and Development*, 63(2), 257-302. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9370-0>