



Apprendre Autrement : le point de vue d'un mathématicien sur la création d'un parcours de licence

François Vigneron

► To cite this version:

François Vigneron. Apprendre Autrement : le point de vue d'un mathématicien sur la création d'un parcours de licence. La gazette des mathématiciens, Société Mathématique de France, 2019. hal-02350951

HAL Id: hal-02350951

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02350951>

Submitted on 15 Nov 2019

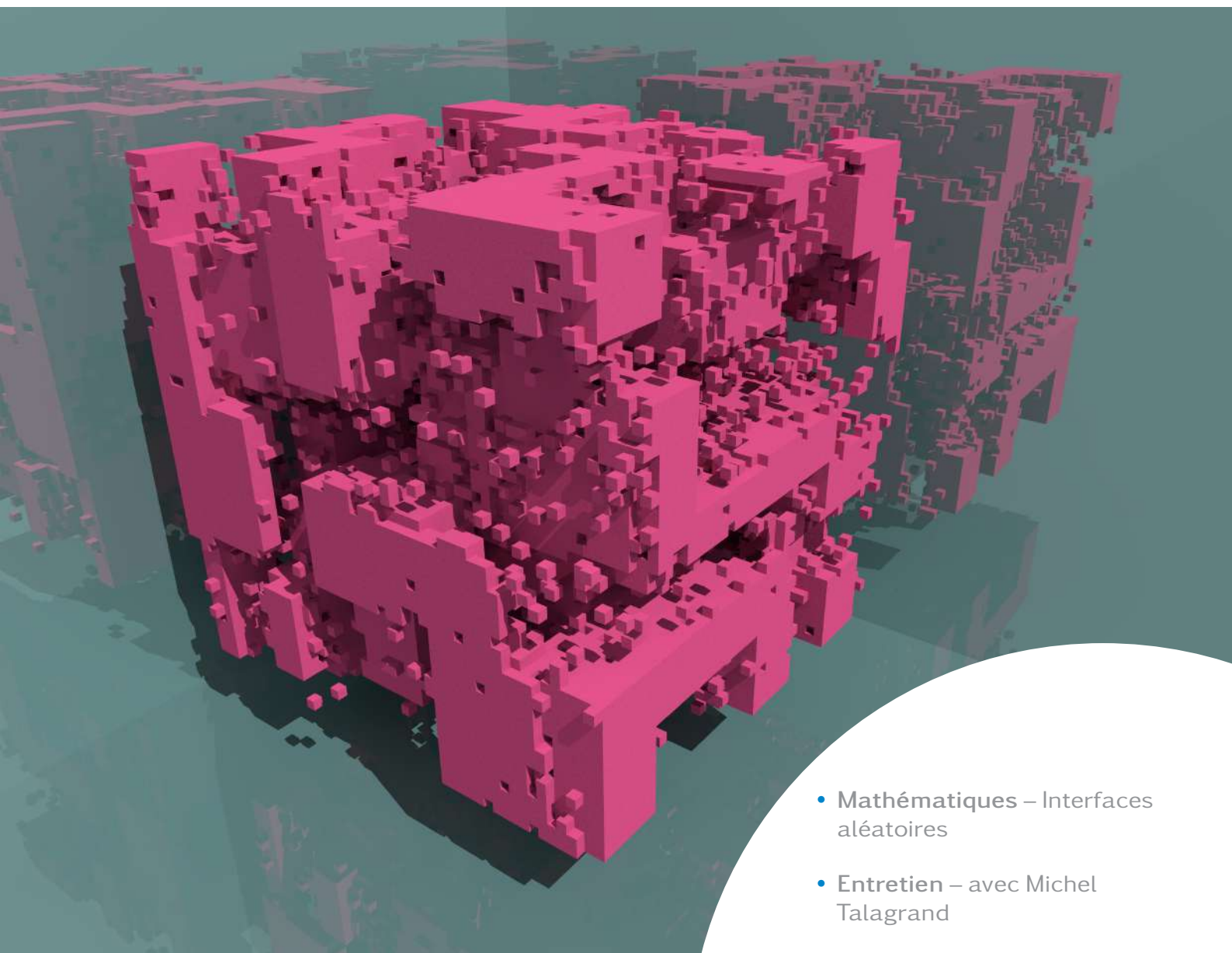
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVRIL 2019 – N° 160

la Gazette

des **Mathématiciens**



- **Mathématiques** – Interfaces aléatoires
- **Entretien** – avec Michel Talagrand
- **Raconte-moi...** les groupes approximatifs
- **Tribune libre** – Le procès d'Ayşe Berkman

Société
Mathématique
de France



Apprendre Autrement : le point de vue d'un mathématicien sur la création d'un parcours de licence

Apprendre Autrement est un parcours sur les deux premières années de licence qui permet à des étudiants en grande difficulté, en particulier à ceux issus de bacs technologiques, de poursuivre leurs études au sein d'une licence de sciences pour l'ingénieur. Les enseignements de mathématiques, de physique et d'informatique sont adaptés au public et conçus autour d'une synergie multi-disciplinaire et suivant des objectifs réalistes. Le succès de ce projet a attiré l'attention du jury du Prix Jacqueline Ferrand 2018 de la Société Mathématique de France (mention spéciale). Je partage ici mon expérience concernant l'enseignement des mathématiques.

• F. VIGNERON

Le parcours *Apprendre Autrement* est une formation universitaire dédiée aux étudiants en grande difficulté, en priorité (mais pas seulement) à ceux issus d'un baccalauréat technologique. Il est intégré aux deux premières années de la licence de sciences pour l'ingénieur de la Faculté des sciences et technologie de Créteil. Le parcours est adapté à son public non seulement au niveau des contenus enseignés mais aussi dans le choix des méthodes pédagogiques. L'objectif premier est de permettre une poursuite d'étude en licence de sciences pour l'ingénieur « standard », en troisième année.

Après plusieurs années de test et d'expérimentation pédagogique, les résultats confirment la qualité de la formation et son adéquation au public spécifique visé. L'objet de cet article est de recueillir l'expérience pédagogique acquise lors de la mise en place de ce parcours. L'accent est porté sur l'enseignement des mathématiques, l'analyse de son rôle structurant et des relations entre cette discipline et les autres matières enseignées.

Le reste de l'article est organisé de la façon suivante. Dans une première partie, je présente le projet *Apprendre Autrement* dans son ensemble, ainsi que les données statistiques qui attestent du succès de ce programme. Dans une seconde partie,

je dégage les éléments clé de la stratégie pédagogique qui a été retenue dans le projet, concernant l'enseignement des mathématiques, en identifiant six axes d'action majeurs. Dans une troisième partie, je présente en détail chacun des axes d'action pour répondre aux trois questions : comment est-il concrètement implémenté, quel est son rôle pédagogique et comment est-il reçu par les étudiants ? Une dernière partie met brièvement le projet en perspective et présente les conclusions de cette étude qui, rappelons-le, relève avant tout de la pédagogie expérimentale.

1. Présentation générale du projet *Apprendre Autrement*

En 2013-2014 et à l'occasion de la réforme des bacs technologiques et l'apparition du bac technologique STi2D¹, la faculté des sciences et technologie de Créteil s'est intéressée, à la demande du recteur de l'académie et sous l'impulsion d'un collègue de sciences pour l'ingénieur, Franck Monmasson, au devenir des étudiants issus des filières technologiques. Le constat s'est avéré très alarmant. Aussi loin que remontent les statistiques antérieures à

1. STi2D = Sciences et Technologies de l'industrie et du Développement Durable.

2014, parmi les étudiants titulaires d'un bac technologique inscrits chaque année au portail MISIPC² des licences de la faculté, quasiment aucun n'a pu valider le premier semestre.

Les mathématiques et la physique jouant un rôle central dans le tronc commun de l'offre de formation, j'ai reçu, avec une collègue physicienne, Monique Margulies, la mission d'analyser les raisons de cet échec et de proposer des solutions pédagogiques innovantes pour y remédier. Nos efforts ont conduit à la création d'un nouveau parcours, baptisé *Apprendre Autrement*, en première et deuxième années de licence (L1 et L2) au sein du portail MISIPC. La pédagogie de ce parcours a été spécifiquement étudiée pour adoucir la transition Lycée-Supérieur, renforcer les prérequis nécessaires à la poursuite des études et préparer l'insertion des étudiants dans un L3 standard de sciences pour l'ingénieur, ainsi que dans des formations professionnalisantes. En 2018, une première promotion de L1 a intégré avec succès les enseignements communs de niveau L3 et a obtenu le diplôme de licence. Au printemps 2018, des collègues m'ont incité à partager mon expertise avec le reste de la communauté mathématique. C'est ainsi que j'ai rédigé le document de synthèse [6] et que j'ai postulé à la première édition du Prix Jacqueline Ferrand. Ce prix, organisé par la Société Mathématique de France, a pour objectif de « récompenser une opération pédagogique innovante dans le domaine des mathématiques ». J'ai été particulièrement honoré de recevoir une Mention spéciale.

1.1 – De quoi s'agit-il ?

L'organisation du parcours *Apprendre Autrement* est la suivante. Le parcours est constitutif de la licence de sciences pour l'ingénieur de la faculté des sciences de l'université Paris-Est Créteil. Ce parcours comporte deux ans de formation. Les étudiants n'obtiennent pas de diplôme au bout de deux ans, mais sont crédités chaque année de 60 ECTS.

Pendant les deux premières années de formation, les enseignements de tronc commun sont modifiés : tous les cours de mathématiques, de physique et d'informatique, soit environ 150h d'enseignement par semestre, sont remplacés par des enseignements spécifiques.

Au terme de ces deux ans, les étudiants intègrent la troisième année de la licence qui est com-

mune à tous les étudiants de sciences pour l'ingénieur et obtiennent alors le diplôme de Licence sans être distingués de leurs camarades de promotion.

L'ordre de grandeur des effectifs est celui d'un groupe de TD de licence. Nous acceptons 25 inscrits en L1 et cette capacité d'accueil est atteinte. Au début du second semestre, nous recevons des demandes supplémentaires d'étudiants du tronc commun souhaitant se réorienter et bénéficier du parcours *Apprendre Autrement* suite à un échec. Dans ce cas, il est souvent préférable d'inciter ces candidats au redoublement pour leur permettre de bénéficier de l'intégralité du dispositif, mais les plus motivés sont intégrés au groupe. En L2, l'effectif est un peu plus restreint, de l'ordre de 16 étudiants. Il correspond essentiellement aux étudiants du parcours ayant validé leur première année. Bien que la pédagogie du dispositif *Apprendre Autrement* soit conçue sur deux ans, la réorientation à partir du tronc commun est possible à l'entrée de L2 ; elle est alors étudiée au cas par cas.

1.2 – Quel public pour *Apprendre Autrement* ?

Le parcours a initialement été conçu pour accueillir les étudiants titulaires d'un baccalauréat technologique, en particulier ceux de profil STi2D. Il est cependant apparu très rapidement que ce parcours devrait s'adresser simultanément à plusieurs profils d'étudiants. Les raisons de ce choix sont les suivantes.

La diversité des profils offre d'abord un bénéfice interne au parcours : elle améliore l'ambiance de travail et l'émulation. Le fait de côtoyer des étudiants de niveaux variés (en particulier des bac S en difficulté) casse le complexe d'infériorité (typiquement, des bacs technologiques) et motive les plus faibles à fournir du travail personnel. Inversement, les étudiants prennent conscience de leurs forces et de leurs faiblesses et un état d'esprit d'entraide émerge rapidement.

La diversité offre aussi un bénéfice externe, à l'échelle de l'ensemble de l'offre de formation. En effet, les difficultés rencontrées par les étudiants titulaires de bacs technologiques sont statistiquement plus prononcées, mais de nature identique aux difficultés rencontrées par de nombreux étudiants titulaires de bacs scientifiques.

Parmi les compétences en souffrance, on peut citer :

2. MISIPC = Maths, Informatique, Sciences pour l'Ingénieur, Physique, Chimie.

FIGURE 1 – Maquette du parcours

	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4
UE Spécifiques	Mathématiques 1	Mathématiques 2	Mathématiques 3	Mathématiques 4
	Introduction à Scilab & Javascool	Démarche Expérimentale 1	Démarche Expérimentale 2	Démarche Expérimentale 3
	Physique 1	Physique 2	Physique 3	Physique 4
Tronc commun	Atomes & Molécules			Systèmes électromécaniques
		Langage informatique 1	Architecture des ordinateurs	Bases de l'électronique
	Programmation 1	Langage informatique 2	Programmation en C	Electronique combinatoire Electronique séquentielle
	Techniques d'expression & méthodologie	Techniques d'expression & méthodologie		Automatismes et informatique industrielle
		Option transversale	Option transversale	
	Anglais	Anglais	Anglais	Anglais

1. le calcul des fractions ;
2. les manipulations algébriques du 1^{er} degré (en particulier, comment isoler un terme dans une expression ?) ;
3. comprendre la signification et savoir manipuler des inégalités ;
4. savoir faire des choix logiques et les enchaîner pour résoudre un problème ;
5. avoir conscience de l'universalité de la notion de fonction (en particulier pour exprimer un problème en termes mathématiques) ;
6. maîtriser le mécanisme de substitution (en particulier, identifier le mécanisme de composition qui engendre une expression donnée) ;
7. comprendre un texte scientifique ;
8. identifier puis exprimer une question mathématique ;
9. un manque chronique de pratique des notions abordées dans l'enseignement secondaire.

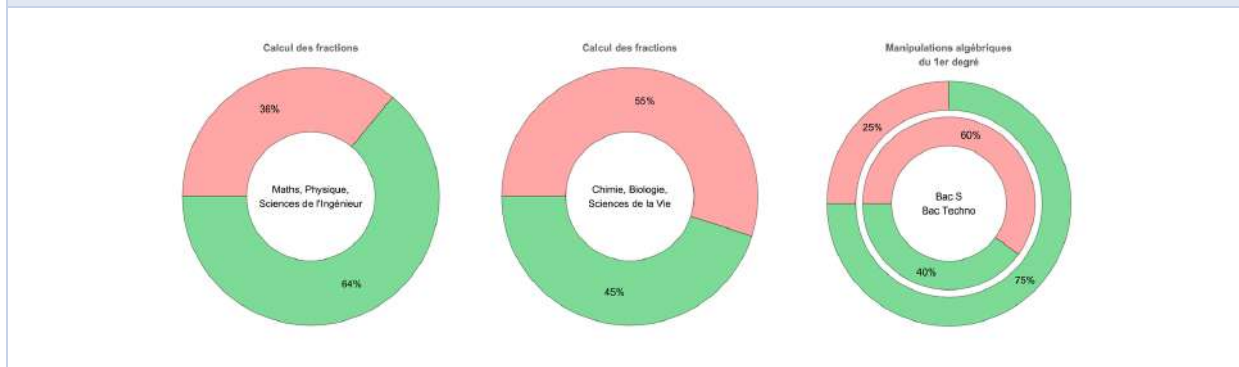
Dans la mesure du possible il est donc naturel d'offrir une solution à l'ensemble des étudiants en difficulté et pas seulement à une fraction très spécifique du public.

Pour avoir un effet optimal, la diversité des profils doit cependant être associée à un élément unificateur. Dans le cadre d'un entretien préalable, nous avons exigé comme prérequis d'entrée dans le parcours *Apprendre Autrement* que les étudiants reconnaissent la réalité de leurs difficultés, expriment leur motivation à accepter de l'aide pour y remédier, ainsi que leur détermination à travailler et consentir des sacrifices pour réussir.

1.3 – Est-ce que ça marche ?

Au terme de 5 ans d'expérimentations pédagogiques, le bilan est très positif. Si les deux premières années ont été surtout marquées par des

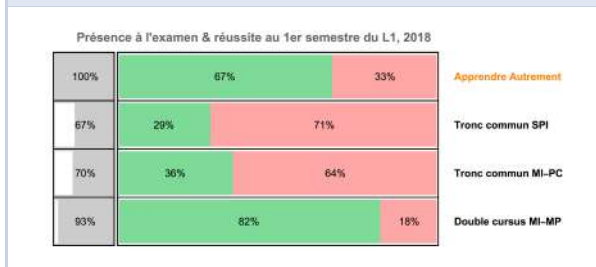
FIGURE 2 – Exemples de difficultés courantes rencontrées en licence scientifique. Les statistiques ci-dessus concernent l’ensemble des étudiants inscrits en L1 à la Faculté des sciences de Créteil (environ 500 étudiants en MISIPC et 600 en CB-SVT). Sur le 3^e diagramme, on compare les bacs S (intérieur) et les bacs techno (extérieur) sur un échantillon de 50 étudiants MISIPC. En vert le taux de réussite, en rouge le taux d’échec à la question posée.



échecs (défaut d’effectif, erreurs pédagogiques…), le projet a atteint un « régime de croisière » sur la période 2015-2018. Il est important de noter que l’évaluation de *Apprendre Autrement* est différente des épreuves communes aux autres parcours en L1 et L2. L’objectif est donc considéré comme atteint au vu des résultats obtenus en L3 par les anciens élèves du parcours.

Au niveau du L1, le profil de réussite des étudiants *Apprendre Autrement* (mesuré en terme de présence à l’examen et de taux de réussite parmi les présents) est comparable au profil des parcours sélectifs comme les doubles cursus Maths-Info et Maths-Physique avec un effectif similaire de 24 étudiants.

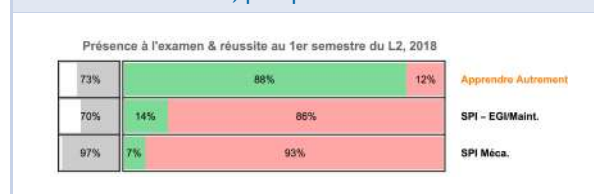
FIGURE 3 – Profils de réussite comparés au 1^{er} semestre de L1, par parcours. À gauche, le taux de participation à l’examen. À droite, le taux de réussite (en vert) et d’échec (en rouge) parmi les étudiants présents à l’examen.



Au niveau du L2, le tronc commun est en général synonyme d’hémorragie pour la licence de sciences pour l’ingénieur avec un taux de réussite de l’ordre de 1 étudiant sur 10. Au contraire, le pro-

fil de réussite du parcours *Apprendre Autrement* est troublant, avec le succès de 2/3 des étudiants inscrits. Si ce taux a parfois provoqué l’incrédulité des collègues, voire l’accusation d’une notation de complaisance, les résultats d’intégration en L3 confortent l’authenticité du progrès des étudiants concernés. Il convient cependant de moduler ce succès par le fait qu’il n’existe pas d’éléments de comparaison au niveau L2 avec des étudiants d’un parcours « classique » mais dont le contenu serait correctement adapté à leur niveau. D’autre part, grâce à un mécanisme de compensation entre UES et entre semestres, les statistiques de l’année sont légèrement moins sévères, mais la rigueur du premier semestre entraîne beaucoup d’abandons.

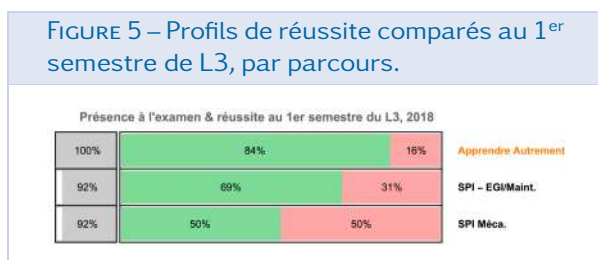
FIGURE 4 – Profils de réussite comparés au 1^{er} semestre de L2, par parcours.



En 2017-2018, une dizaine d’étudiants issus de la première promotion *Apprendre Autrement* a intégré le tronc commun de L3 de la Licence de sciences pour l’ingénieur (représentant 15% de l’effectif) avec un succès remarquable. Une fois les étudiants en L3, je n’ai eu aucun moyen d’influencer le contenu de leurs enseignements ou leur notation. Si les résultats de la 3^e année de licence sont globalement satisfaisants, ceux des anciens élèves du parcours *Apprendre Autrement* les distinguent

comme les éléments les mieux préparés aux enseignements d'ingénierie et constituent le principal indicateur de succès du parcours *Apprendre Autrement*.

FIGURE 5 – Profils de réussite comparés au 1^{er} semestre de L3, par parcours.



La réussite des élèves impliqués dans cette expérience pédagogique a nécessité une très forte implication des intervenants. Des milliers d'heures cumulées ont été nécessaires pour analyser le matériel pédagogique existant, pour concevoir de nouvelles maquettes et pour créer du matériel pédagogique multidisciplinaire nouveau. L'équilibre que nous avons atteint est le fruit d'une succession de tâtonnements, accompagnés d'une analyse critique des échecs et des succès. La suite de cet article détaille les conclusions auxquelles nous sommes arrivés.

2. Une stratégie sur plusieurs axes d'action

Au vu des statistiques présentées à la section précédente, la réussite du programme *Apprendre Autrement* est désormais établie. Il importe maintenant de dégager les principes pédagogiques qui l'ont permise, en particulier en ce qui concerne l'enseignement des mathématiques. Le principe fondamental est celui de **l'adaptation du contenu**, à la fois au public et aux objectifs, qu'il convient d'identifier précisément et avec réalisme.

Concrètement, j'ai identifié six axes d'action majeurs. Mais j'insiste sur le fait que, si chaque axe a son importance propre, c'est bien l'action conjointe et simultanée le long de ces six axes qui a été la clé de la réussite de l'expérience *Apprendre Autrement*.

1. **Donner du recul et du sens** en construisant le cours autour de problèmes directs réalistes qui servent de motivation, d'exemples non artificiels, et, au terme de l'enseignement, de sujets de travaux pratiques.
2. **Remédier à l'incompréhension de l'écrit** (ou d'un cours structuré) en utilisant des sup-

ports interactifs permettant des expérimentations numériques. Au-delà du gadget, ces supports peuvent être utilisés pour transmettre une compréhension dynamique et en profondeur des concepts abstraits.

3. **Oser le « computational thinking »** : le fait de coupler l'enseignement des mathématiques à une pratique courante de la programmation permet de travailler la rigueur de pensée et d'expression et assoit la logique dans un cadre concret.
4. **Oser le multi-disciplinaire** : au-delà de la simple synchronisation des notations et de la progression entre les mathématiques, la physique et l'informatique, nous avons créé des UE dont l'enseignement se fait à partir de projets multi-disciplinaires co-encadrés. Ces enseignements permettent d'insister sur le sens et la cohésion des savoirs et de la démarche scientifique et permettent aux étudiants de travailler leur maîtrise de l'expression.
5. **Pratiquer un entraînement régulier au calcul** à l'aide de retours brefs mais systématiques sur des notions de l'enseignement secondaire, suivis de devoirs hebdomadaires à préparer à la maison. Une deuxième phase sur la plateforme WIMS permet d'automatiser l'entraînement et de le rendre autonome.
6. **Une nouvelle façon d'évaluer, associée à des objectifs pragmatiques**. Au lieu d'annoncer un programme féérique mais de n'exiger la maîtrise que d'une fraction relativement faible du programme, j'ai préféré définir clairement et publiquement des attendus réalistes, exprimés en termes de savoirs et savoir-faire (c'est-à-dire de *compétences*), et en exiger leur maîtrise (quasi) totale. Cela m'a permis de faire de l'évaluation un outil de travail en autonomie au lieu d'être un simple indicateur de progression que les étudiants en difficulté sont conditionnés à ignorer.

En fonction du public et de l'objectif pédagogique à long terme (en particulier, si on cherche à transposer l'expérience dans un autre contexte), le poids entre ces différents axes peut être modulé. Je pense cependant que la négligence de l'un des points ne peut que fragiliser l'ensemble de l'édifice des connaissances, compliquer sa transmission et engendrer des difficultés en aval.

3. Réalisation pratique des axes d'action

Le reste de cet article donne des précisions quant à la réalisation pratique des axes d'action présentés ci-dessus.

3.1 – Donner du recul et du sens

Voici un exemple de problème directeur, utilisé au 1er semestre de L1. Les objectifs du cours pour le semestre sont d'asseoir les concepts de fonction et d'équation, travailler le mécanisme de substitution et la signification de la dérivée, assurer le calcul vectoriel dans le plan et dans l'espace et l'utilisation correcte des fonctions trigonométriques.

L'un des problèmes directeurs choisis est celui de l'analyse de la trajectoire d'un avion à partir de données GPS qu'on peut télécharger facilement sur le web. Répondre à la question « identifier la phase de vol transsonique » permet de travailler les concepts de fonction, d'équation et de substitution dans un contexte réaliste et motivant.

$\left\{ \begin{array}{l} V_{\text{son}}(h) : \text{vitesse du son en fonction de l'altitude,} \\ H(t) : \text{altitude de l'avion en fonction du temps,} \\ V(t) : \text{vitesse de l'avion en fonction du temps.} \end{array} \right.$

La phase transsonique correspond à une inéquation entre fonctions composées :

$$\mathcal{T} = \{t \in [T_0, T_1] \mid V(t) \geq 0.8 \times V_{\text{son}}(H(t))\}.$$

Le calcul approché de la vitesse de l'avion à partir des relevés GPS amène son lot de compositions, de géométrie vectorielle et de trigonométrie, tout en donnant du sens à la notion de dérivée. La reconstruction de la trajectoire en intégrant les valeurs numériques de vitesse et de cap est validée si elle se superpose à la trajectoire enregistrée.

Au final, la programmation de tous ces calculs en travaux pratiques exige un niveau de compréhension du cours et une précision d'expression bien plus élevés que le niveau moyen dont les étudiants ont l'habitude de se satisfaire.

Pour discuter le mérite général de la notion de problème directeur, je tiens à insister sur le fait que cette démarche n'est pas nécessairement multidisciplinaire. Je n'oublierai jamais le splendide cours de géométrie différentielle de Jean-Benoît Bost à l'ÉNS : son problème directeur était le théorème de

la boule chevelue. Après nous l'avoir démontré à la main lors de la première séance, l'essentiel du cours a consisté à assembler des concepts nouveaux permettant, à la dernière séance, de fournir une nouvelle preuve bien plus riche de sens.

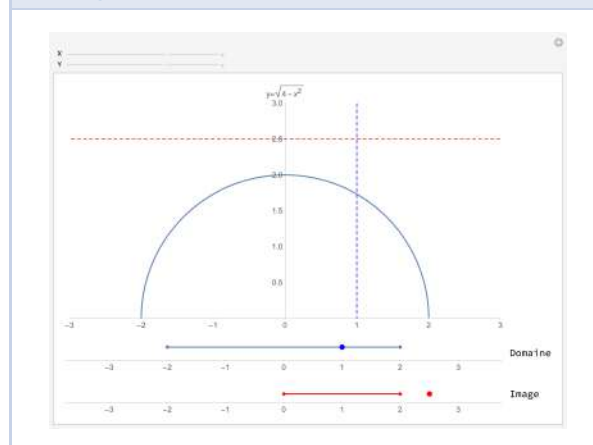
3.2 – Remédier à l'incompréhension de l'écrit

Beaucoup d'étudiants du parcours *Apprendre Autrement* ont des difficultés à comprendre un texte scientifique écrit ou un discours structuré [3].

Par exemple, les concepts associés à l'équation d'une droite (pente, ordonnée à l'origine, vecteur directeur quelconque, vecteur directeur dont la première composante est normalisée, vecteur normal, fonction affine et sa dérivée) sont souvent flous et mélangés. Le fait de voir un graphique fixe sur lequel l'enseignant ajoute peu à peu, à la craie, des annotations, semble ne pas du tout les éclairer.

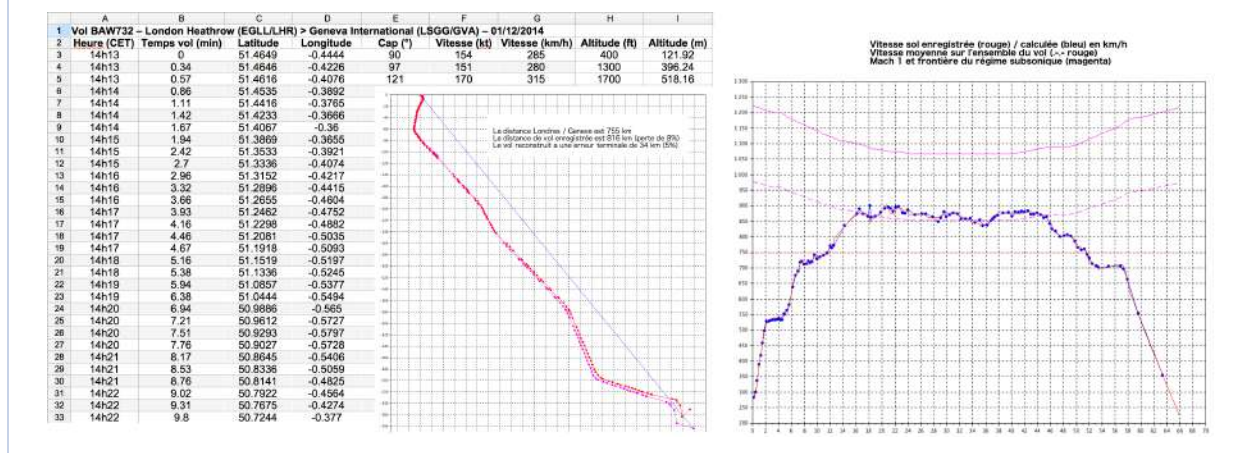
À l'inverse, l'utilisation de supports interactifs permet non seulement de capter l'attention [1] mais aussi de faire virtuellement l'expérience des effets des différents paramètres en les modifiant à la souris et donc de développer l'imagination scientifique.

FIGURE 7 – Un exemple d'applet interactif pour enseigner la distinction Domaine / Image.



Indépendamment des applets préparés à l'avance, le fait d'avoir un outil de programmation et de visualisation à disposition dans la salle de classe permet de donner, dans la mesure où l'enseignant est suffisamment à l'aise avec cet outil pour l'utiliser comme une craie, une dimension nouvelle aux questions des étudiants. Par exemple, en

FIGURE 6 – Le problème directeur de l'analyse de la trajectoire d'un avion.



traçant simultanément les graphes des deux fonctions suivantes, les étudiants ont non seulement été convaincus que

$$\sin(2x + 3) \neq \sin(2x) + 3$$

mais ils ont aussi pris conscience du fait que les mathématiques sont exactes « au caractère près ». Pour beaucoup d'étudiants du parcours *Apprendre Autrement*, ce fut une illumination.

Pour le mathématicien, la rigueur d'une définition est une évidence rassurante. L'enseignant hésite donc souvent à refaire, avec son public, le chemin qui a conduit les mathématiciens à définir un concept abstrait. Par exemple, le concept d'espace vectoriel est sobre et puissant. Mais l'introduire après avoir joué un peu dans \mathbb{R}^2 et \mathbb{R}^3 n'est pas suffisant. Au contraire, traiter d'abord numériquement un problème réel de contrôle de process industriel [2] sur lequel on illustre le principe de superposition et éventuellement ses limites en tant qu'approximation linéaire illustre que l'algèbre linéaire est la clé qui permet de choisir les paramètres de contrôle. Après un tel exemple complet, l'abstraction d'espace vectoriel apparaît naturellement comme le squelette qui reste une fois que les détails spécifiques ont été épurés.

Au-delà de l'aspect ludique, les supports interactifs et les expérimentations numériques peuvent donc être utilisés pour transmettre une compréhension dynamique et en profondeur des concepts abstraits. Le prix est un rythme de cours ralenti, mais le gain est incommensurable.

FIGURE 8 – Le « labo mobile » constitué de 20 ordinateurs portables, un projecteur et un serveur s'est avéré indispensable pour pallier le défaut de disponibilité des salles informatiques.



3.3 – Oser la pensée algorithmique ou « computational thinking »

Ce concept peu connu en France est simplement le processus mental à la racine de l'algorithmique. C'est l'enchaînement cyclique d'une phase d'analyse (en termes physiques, chimiques...) d'un problème concret, d'une phase mathématique de reformulation dans un cadre abstrait puis d'une phase informatique de construction d'une solution par un mécanisme automatisé. Le cycle se poursuit jusqu'à ce que la solution obtenue soit jugée satisfaisante.

L'exemple le plus simple consiste à écrire un algorithme pour répondre au problème suivant.

Un sapin a 50 cm. Il pousse de 50 cm par an. On veut le couper quand il me-

surera 2 m. Écrivez un programme qui indique quand couper le sapin.

Il y a une gradation naturelle des réponses, de print (« dans 3 ans ») où le travail de résolution est assuré par l'humain, à un code entièrement automatisé et paramétrable qui peut traiter, à l'aide d'un algorithme, toute la classe des problèmes analogues.

Le fait d'associer les mathématiques, la physique et l'informatique dans un seul processus mental contribue à resserrer les liens entre des disciplines que les étudiants ont tendance à penser comme orthogonales. Par exemple, beaucoup d'étudiants *Apprendre Autrement* ont du mal à identifier quelles opérations faire et dans quel ordre les enchaîner, afin de réaliser une tâche mathématique prescrite (par exemple isoler un terme dans une expression). L'algorithmique et la programmation permettent de travailler cette compétence dans un contexte plus concret où leur « bon sens » aide.

D'autre part, la programmation permet de travailler la rigueur de pensée et d'expression. Un message d'erreur `Syntax Error, Line 13, undefined operation` fait infiniment mieux pour convaincre les étudiants que les mathématiques (et les sciences en général) doivent être exactes au caractère près, qu'un sermon de l'enseignant sur l'importance de l'ordre des quantificateurs.

Il importe d'ailleurs d'insister sur le fait qu'une preuve mathématique est une forme d'algorithmie de vérité dont le cerveau humain est le compilateur : le même niveau de précision du langage (exact au caractère près) est nécessaire dans une preuve mathématique, et de même qu'un programme « fait » quelque chose, une preuve mathématique doit s'accompagner d'un progrès dans la vérité mathématique. À ma grande surprise, beaucoup d'étudiants n'en avaient jamais pris conscience !

Le recours au « Computational Thinking » a permis aux étudiants du parcours *Apprendre Autrement* de s'ouvrir au cours de mathématiques et d'y trouver non seulement un nouvel intérêt mais aussi, lorsque leur programme tourne, une grande valorisation personnelle.

3.4 – Oser le multi-disciplinaire

Les mathématiques jouent un rôle central dans la pédagogie du parcours *Apprendre Autrement*. Il est cependant apparu très clairement qu'une stratégie d'enseignement efficace exige une collaboration soutenue avec la physique et l'informatique.

Le premier niveau de collaboration est la synchronisation des notations et de la progression entre mathématiques, physique et informatique.

Au deuxième niveau, la construction du cours de mathématiques autour de problèmes directeurs a pris pleinement son sens lorsque les collègues ont réalisé qu'ils pouvaient utiliser ces mêmes problèmes dans le cours de physique. Au lieu d'induire des répétitions, les points de vue complémentaires se sont avérés enrichissants.

Par exemple, le TP de mathématiques consacré à l'étude du circuit de commande d'une basse électrique a non seulement eu un certain succès théâtral, mais il a été utilisé en physique pour présenter les lois de l'électrocinétique, la notion d'impédance complexe et celle de réponse des dipôles linéaires. En mathématiques, le problème a été utilisé pour aborder la notion d'équation différentielle et de nombres complexes. Enfin, l'UE de Démarche Expérimentale s'en est servi pour présenter les effets sonores sous l'angle du traitement du signal.

Le troisième niveau a été la création de trois UE « Démarche expérimentale » (une par semestre, à partir du second semestre de L1). Le principe de chacune de ces UE est de réaliser deux ou trois projets multi-disciplinaires, co-encadrés par un enseignant de mathématiques et un de physique. La séquence typique d'un projet est la suivante.

1. Présentation du problème sous l'angle de la physique.
2. Modélisation mathématique.
3. Réalisation de l'expérience.
4. Résolution algorithmique du modèle et simulation numérique.
5. « Debriefing » : interprétation physique des prédictions du modèle en comparaison avec les résultats expérimentaux.
6. Rédaction d'un rapport (à la maison).
7. Soutenance devant un jury constitué des deux enseignants et devant le public des autres étudiants.

Si les rapports et les exposés des premières séquences sont souvent assez naïfs, la pratique régulière de ce mode d'enseignement induit des progrès très impressionnants. La plupart des étudiants ont passé de nombreuses heures à réfléchir aux problèmes et améliorer leur présentation. Au-delà du contenu scientifique, cette UE récurrente est donc aussi un entraînement régulier à s'exprimer correctement, à l'écrit et à l'oral, sur des sujets scientifiques.

La question de l'honnêteté intellectuelle a bien sûr été posée. Au lieu de recopier les uns sur les autres sans comprendre, ils ont appris à s'entraîner et à donner officiellement crédit à ceux qui les avaient aidés.

3.5 – Entraînement régulier au calcul

Une majorité d'étudiants du parcours *Apprendre Autrement* souffre d'un manque chronique de pratique du calcul numérique et algébrique. Pour y remédier, nous avons exigé qu'ils s'entraînent régulièrement sur les bases de mathématiques de collège/lycée. L'entraînement a revêtu deux formes.

1. Au début de chaque cours, nous exposons brièvement la notion du jour. Il s'agit d'un retour sur une notion élémentaire précisant les règles opératoires et les prérequis (écriture décimale et scientifique, opération sur les fractions, équation du premier degré, systèmes 2×2 , inégalités du premier degré, signe d'un trinôme...). Ce rappel suit un calendrier de révisions et s'appuie sur un support de cours spécifique. Une courte liste d'exercices associés est à rendre en DM pour la séance suivante.
2. En parallèle, j'ai utilisé une plateforme d'exercices en ligne : wims. L'intérêt pour l'enseignant est de réduire le volume de copies à corriger. Pour l'étudiant, c'est la possibilité de refaire des variantes du même exercice autant de fois que nécessaire.

Malgré les difficultés (environnement de travail dégradé à la maison, difficultés d'accès aux salles informatiques), la plupart des étudiants ont été attirés par la notation avantageuse associée et ont réalisé le travail régulier demandé. La pratique d'entraînements réguliers est à la fois un indicateur de la motivation de l'étudiant et un outil personnel de progression. La corrélation avec la réussite globale au parcours est très prononcée.

3.6 – Une nouvelle façon d'évaluer, associée à des objectifs pragmatiques

Au sein du parcours *Apprendre Autrement*, il a fallu trouver l'équilibre entre les contrôles qui valident l'acquisition des savoirs et savoir-faire, et

ceux dont le but est de donner aux étudiants l'opportunité d'un temps de travail en autonomie (voir aussi [4]).

Je me suis fixé comme règle d'exiger des compétences³ réalistes, de définir clairement et publiquement les attendus des contrôles, d'éviter tout effet de surprise. Dès le début du cours, j'ai publié un texte normatif, comparable au syllabus des cours américains, précisant ce qui est attendu. Ce texte est rédigé dans l'esprit du Bulletin officiel de l'éducation nationale : une colonne pour définir les connaissances, une pour expliquer les savoir-faire associés. Il permet aux étudiants d'identifier les points de cours à réviser et les exercices type à savoir refaire. J'ai aussi organisé des examens blancs facultatifs pendant la semaine de révisions pour donner aux étudiants matière à travailler ; la plupart ont participé.

FIGURE 9 – Exemple des compétences exigées au 1^{er} semestre de L1 sur la notion de fonction.

Savoir	Savoir faire
distinguer les expressions suivantes et les employer correctement dans une phrase :	reconnaitre si un graphe est celui d'une fonction ou pas
f est une fonction,	trouver graphiquement une valeur $f(x)$
la formule définissant f est $y = f(x)$,	décider graphiquement si l'équation
$f(x)$ est la valeur de la fonction f en x ,	$y = f(x)$
x est dans le domaine de définition de f ,	admet une solution ou pas, combien de solutions, et déterminer le cas échéant la valeur d'une ou de toutes les solutions.
x est un antécédent de y ,	savoir déterminer graphiquement quelles sont les valeurs prises par $f(x)$ lorsque $a \leq x \leq b$.
y est une valeur prise par f ,	savoir déterminer graphiquement les valeurs x telles que $c \leq f(x) \leq d$.
x est une solution de l'équation $y = f(x)$.	

Afin de privilégier la qualité du travail, j'ai convenu de ne pas accorder une fraction des points pour une fraction de réponse, mais seulement la totalité pour une réponse complète. La consigne donnée aux étudiants et appliquée lors de la notation est que la réussite à 80% d'un exercice représente seulement la moitié de la note maximale. Le fait de traiter complètement un exercice est donc bien mieux récompensé que picorer une question dans chaque exercice. D'autre part, le fait de définir les compétences avec pragmatisme mais de tester presque toutes les compétences annoncées lors de l'examen incite franchement les étudiants à viser au-dessus de la barre des 50% de réussite.

Dans la conception d'un sujet, il est important d'associer chaque exercice à un nombre limité de compétences précises, quitte à poser de nombreux exercices courts. L'exigence de traiter complètement un exercice prend alors tout son sens, en tant que validation de compétence.

3. Dans cet article, le terme *compétence* désigne la conjonction des savoirs et des savoir-faire.

Cela n'interdit pas de poser ponctuellement des exercices contenant des questions ouvertes, lorsque l'objectif pédagogique est précisément de tester la créativité ou la capacité à réagir face à un problème nouveau. Mais il est évident que cette compétence n'est pas la seule.

Il convient aussi d'éviter d'introduire (involontairement) une compétence multiplicative, c'est-à-dire une compétence dont la réussite est nécessaire pour valider chaque exercice et donc dont le défaut cause un échec global qui interdit l'évaluation des autres compétences.

Cette démarche a globalement permis de redonner confiance à des étudiants qui n'avaient jamais réellement appris à apprendre. Certains ont alors enfin commencé à travailler par eux-mêmes et les résultats ont suivi.

3.7 – Utiliser l'évaluation comme un outil de travail

Le premier niveau consiste à offrir un changement de point de vue pour motiver les étudiants à travailler régulièrement. Par exemple, au lieu de noter cinq DM courts sur 20 points et d'en faire la moyenne, je leur ai proposé de capitaliser de 0 à 4 points par semaine pendant 5 semaines. J'ai aussi proposé aux étudiants d'utiliser une partie de l'évaluation comme un outil de travail en autonomie. L'évaluation régulière est alors perçue comme une opportunité d'entraînement et l'échec éventuel n'est plus une sanction.

Le second niveau consiste à utiliser le texte normatif définissant les savoirs et savoir-faire attendus comme un outil de travail et un guide méthodologique auquel l'enseignant et les étudiants se réfèrent régulièrement.

Enfin, on peut mettre en place un temps de réflexion et d'entraide lors des contrôles.

Sous la forme la plus simple, l'enseignant passe dans les rangs à mi-contrôle pour proposer tour à tour à chaque étudiant une aide personnalisée qui permet de débloquer les points difficiles et les motive à reprendre le travail au lieu d'attendre avec ennui la fin de l'épreuve.

Une autre possibilité est un bref temps de pause au milieu du contrôle, avec la règle que tous les échanges sont permis, à condition que leur contenu soit public, c'est-à-dire connu de tous les étudiants et de l'enseignant. Après quelques minutes d'échange frénétique de réponses pour la

plupart fausses, les étudiants ont pris conscience de l'absurde de la situation. J'ai alors proposé aux étudiants d'élever leurs échanges au niveau d'un vrai débat scientifique. La plupart ont joué le jeu et ont proposé des arguments pour justifier leurs réponses. Après quelques minutes, ce travail de groupe improvisé a effectivement convergé vers les bonnes réponses.

Dans le même esprit, les collègues de physique ont organisé régulièrement des courtes séances de débat scientifique (20 minutes) autour des idées centrales du programme, de façon indépendante de toute évaluation. Ces séances ont été particulièrement appréciées des étudiants.

4. Conclusion

La réussite du projet *Apprendre Autrement* a été le résultat d'une action conjointe sur six fronts : donner du recul et du sens avec les problèmes directeurs, remédier à l'incompréhension de l'écrit avec des supports interactifs, oser pratiquer le « computational thinking » et l'algorithmique, développer des projets multidisciplinaires, assurer un entraînement régulier au calcul et repenser l'évaluation. Ce travail a demandé beaucoup d'efforts à l'équipe pédagogique, ainsi que la motivation et la confiance des étudiants. J'espère que le succès du parcours *Apprendre Autrement* pourra inspirer d'autres initiatives au niveau universitaire.

Quelques perspectives, pour aller plus loin

De nombreuses études internationales récentes ont été menées pour identifier les pratiques pédagogiques susceptibles d'améliorer l'expérience éducative dans l'enseignement supérieur. La réflexion s'amorce naturellement par un retour sur l'articulation entre cours magistral et travaux dirigés [7, Lad16, HMRR18]. De nombreuses initiatives pédagogiques, plus radicales, sont possibles : l'approche par compétences [7, CC10] et l'approche-programme [7, LS16], la classe inversée [7, GVG17], les pratiques interdisciplinaires [7, CFL09], l'approche par projet [7, JLV⁺14], les animations multimédias [7, BR07], l'utilisation de l'informatique [7, BDD16] et du numérique [7, MR17] et même la production de clips vidéo par les étudiants [7, RRPCG15]. Ces exemples ont été une source d'inspiration et sont, en grande partie, intégrés au cœur du dispositif *Apprendre Autrement*. Il est cependant important d'insister sur le fait que chaque élément

n'est qu'un ingrédient dans une recette complexe : l'efficacité maximale semble être atteinte par une pluralité d'approches pédagogiques conjointes.

Peu d'études sont spécifiquement consacrées à l'enseignement des mathématiques dans le supérieur. Beaucoup sont consacrées aux mathématiques mais au niveau du primaire [7, Pic09], [5]. La transposition de leurs conclusions à l'enseignement supérieur n'est pas nécessairement immédiate. Si des études internationales existent (*Wikipedia* recense 15 journaux anglophones sous le label « Mathematics education journals »), elles concernent l'ensemble de l'activité éducative, et pas seulement le niveau universitaire.

Il importe aussi d'identifier, au-delà du strict bénéfice pédagogique « théorique », les pratiques qu'on peut raisonnablement espérer pouvoir mettre en place à grande échelle, au sein de l'université, lorsqu'on prend en compte les contingences humaines, économiques et sociales. Par exemple, il est important de qualifier le ressenti des étudiants et de s'interroger sur la perception et l'appropriation des innovations pédagogiques [7, CH15, Dug15]. L'analyse de la posture intellectuelle des étudiants permet de déterminer l'influence des diverses innovations pédagogiques sur la motivation des étudiants [7, Koz10, LB14, TWRM18]. De façon complémentaire, on peut aussi adopter le point de vue des enseignants et aborder les difficultés pédagogiques rencontrées, les lacunes dans notre formation à la pédagogie et la diversité des conceptions de la notion d'innovation pédagogique [7, Pai10, DLP11, Lem18]. Bien qu'associé à une problématique particulière, le mérite de l'inclusion par rapport à l'enseignement spécialisé prodigué aux étudiants handicapés [7, BBVV09, Tre12] offre un élément de réflexion dans notre perspective d'accueil d'un public spécifique et pour l'élaboration de stratégies

d'accompagnement et de réorientation [7, AM17]. L'importance du contexte humain et social dans la démarche d'apprentissage est souvent négligée par les acteurs de l'éducation, en particulier au niveau universitaire. Ce contexte en est cependant une composante essentielle [7, RS14, Jea17] qui détermine, en grande partie, la persévérance et la réussite des étudiants [7, SFN⁺10, DDCG15].

L'analyse des dispositifs existants est un prérequis indispensable à toute initiative pédagogique, qu'il s'agisse de l'évaluation du plan de réussite en licence [7, PBB13, Per14], des remèdes pour traiter l'échec des étudiants et améliorer l'apprentissage [7, Pou14, PD15] ou du problème plus général des méthodes d'évaluation de la qualité des formations [7, SG17]. Le dispositif *Apprendre Autrement* étant intégré à la formation en sciences pour l'ingénieur, il a été naturel d'étudier les différents modèles possibles pour la professionnalisation des études et les liens avec les entreprises [7, BB12] ainsi que l'influence des dispositifs pédagogiques sur l'insertion professionnelle des étudiants [7, CG13].

Il est enfin naturel de s'interroger sur la possibilité de transposer l'expérience *Apprendre Autrement* pour l'accueil d'autres publics spécifiques. Par exemple, comment peut-on améliorer l'accès à l'université aux lycéens scientifiques ayant de nombreuses lacunes ? Il s'agit non seulement d'accueillir le public identifié « oui-si » dans *Parcoursup*, mais aussi d'accompagner les étudiants en situation d'échec en L1, L2 ou L3. Les axes d'action présentés au §2 sont une piste de réflexion.

Il semble aussi pertinent de réutiliser certains éléments développés dans cet article pour accompagner le contingent des étudiants les plus brillants de L2 et L3 vers un contenu mathématique (et multidisciplinaire) plus ambitieux.

Références

- [1] F. LANDRY et G. GOUPIL. « Trouble déficitaire de l'attention à l'université ». *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur* 26-2 (2010).
- [2] D. C. LAY. *Algèbre Linéaire. Théorie, exercices et applications*. Ed. De Boeck, 2004.
- [3] B. MARIN et al. « Lire un texte documentaire scientifique : quels obstacles, quelles aides à la compréhension ? » *Revue française de pédagogie* 160 (2007). <http://journals.openedition.org/rfp/786>.
- [4] M. ROMAINVILLE. « Objectivité versus subjectivité dans l'évaluation des acquis des étudiants ». *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur* 27-2 (2011).
- [5] C. TOROSSIAN et C. VILLANI. *21 mesures principales pour l'enseignement des mathématiques*. <http://www.education.gouv.fr/cid126423/21-mesures-pour-1-enseignement-des-mathematiques.html>. 2018.

- [6] F. VIGNERON. *Création du parcours Apprendre Autrement en licence de sciences pour l'ingénieur : le point de vue d'un mathématicien*. https://www.dropbox.com/s/qvm3vgs9k0tnt9t/bilan_AA.pdf?dl=0. Mention spéciale du prix Jacqueline Ferrand 2018 (SMF), 2018.
- [7] F. VIGNERON. *Références complémentaires pour cet article*. https://www.dropbox.com/s/g0xdyufh8y2ctpa/vigneron_AA_auxbib.pdf?dl=0.



François VIGNERON

Université Paris-Est
francois.vigneron@u-pec.fr

François Vigneron est maître de conférences au Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées de l'université Paris-Est Créteil. Ancien élève de l'ÉNS, docteur de l'École polytechnique, habilité à diriger des recherches, il a reçu, en 2018, une mention spéciale du prix Jacqueline Ferrand, pour sa contribution à la création du parcours Apprendre Autrement. Il est depuis chargé de mission auprès de la direction de l'UFR de Sciences et Technologie, pour coordonner la nouvelle offre de formation 2020, dans les champs Mathématiques et Informatique.

L'auteur remercie chaleureusement le comité de rédaction et les relecteurs anonymes pour leurs suggestions qui ont grandement contribué à améliorer cet article. Il tient aussi à remercier les organismes qui ont permis le financement de cette initiative : l'université Paris-Est Créteil et, en particulier, l'UFR de Sciences et Technologie, ainsi que l'ANR qui a financé le projet de 2014 à 2017 par l'intermédiaire du dispositif d'Initiative d'Excellence en Formations Innovantes, IDEA.