

# La classe inversée à grande échelle en formation d'ingénieur

*BUISSON, Gilles, École des Ponts ParisTech - Service d'ingénierie et d'innovation pédagogique, gilles.buisson@enpc.fr*

*STOLTZ, Gabriel, École des Ponts ParisTech - Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul scientifique, gabriel.stolz@enpc.fr*

## Résumé

La classe inversée est implantée depuis 2011 à l'École des Ponts dans le cadre du cours d'Analyse spectrale avec un petit effectif de 25 élèves. Depuis la rentrée 2015, le cours d'Analyse et calcul scientifique a élargi cet effectif à l'échelle de toute la promotion de la première année de formation d'ingénieur, soit environ 140 élèves, divisé en 6 « petites classes » de 25 élèves. Les conditions de mise en place d'un tel dispositif sont le recrutement d'une équipe d'enseignants en phase avec l'approche pédagogique « classe inversée » et la standardisation d'une partie du dispositif. À l'issue de l'évaluation de la première édition, la démarche est favorablement accueillie par les élèves et les enseignants qui y voient un outil efficace pour la différenciation des publics.

## Summary

Flipped classroom has been implemented with small groups of 25 students in the Spectral Analysis course available at the "École des Ponts" since 2011. Since the beginning of school year 2015-2016, the Spectral Analysis course has opened to all first-year Engineering students – about 140 students being divided in six "smaller groups" composed of 25 students. The necessary conditions of such a method are – first – finding a team of teachers open to the "flipped classroom" educational method and – second – standardizing parts of it. At the end of the first flipped-classroom session, the approach is praised by students and teachers alike, it being seen as an efficient tool for adapting to different types of audience.

**Mots-clés** : Méthode pédagogique, innovation, collectif

## Introduction et problématique

En place à l'école des Ponts Paristech depuis 2011, la classe inversée a été expérimentée dans un enseignement à petit effectif (25 élèves) jusqu'en 2014 (Poitrat et Stoltz, 2013). Dans le cadre du cours de tronc commun « Analyse et calcul scientifique » (cours de mathématiques de niveau L3), le passage à la classe inversée concerne désormais la promotion entière de la première année de la formation d'ingénieur (145 élèves). Comment passe-t-on d'un dispositif de classe inversée à petit effectif à l'échelle d'un effectif d'une promotion de première année d'école d'ingénieurs ? Après

avoir donné des éléments de contexte sur le déroulement des classes inversées en petit effectif à l'École, nous nous attarderons sur l'historique du cours « Analyse et calcul scientifique » en décrivant son passage du cours magistral classique à la classe inversée. Tant au niveau de la conception que de la mise en œuvre du dispositif, nous aborderons les points critiques dans le passage d'un effectif réduit à une promotion entière d'élèves ingénieurs : le perfectionnement du dispositif pour le passage au gros effectif, le recrutement de l'équipe pédagogique formée à cette pédagogie et la standardisation du format de cours (séance type, ressources, évaluation, ...). Enfin, nous effectuerons un bilan critique et tirerons des perspectives de cette expérience en nous appuyant sur les résultats qualitatifs et quantitatifs de l'expérience, à savoir le témoignage des enseignants, les résultats aux examens et l'évaluation pédagogique de l'enseignement.

## **Le contexte : d'un module à petit effectif à une promotion entière**

### **Une méthode pédagogique éprouvée depuis 2011 : la classe inversée en petit effectif**

La classe inversée n'est pas une nouveauté à l'École des Ponts. Elle a été mise en place la première fois en 2011 pour le module d'« Analyse spectrale », cours réputé difficile et destiné à un public d'élèves ingénieurs avec un profil de mathématicien. Ce cours était bâti en 2008 sur une alternance classique entre cours magistral et travaux dirigés. Gabriel Stoltz, alors jeune chercheur et enseignant à l'École des Ponts, reprend le cours en 2009. Après une première année où il alterne entre cours magistral et travaux dirigés, il constate une dynamique de cours peu satisfaisante : passivité des élèves, difficulté à assimiler les concepts et à les appliquer.

Suite à ces constats, il décide de revoir le format du cours en profondeur et de le recentrer davantage sur les réponses aux questions des étudiants. Il adopte le principe de la classe inversée. En présentiel, les élèves travaillent sur la résolution d'exercices en petits groupes. Les cours magistraux sont remplacés par le polycopié que les élèves doivent lire à la maison. Lors des éditions suivantes, l'enseignant perfectionne le dispositif. Lors de la première séance, il impose un temps initial de lecture du syllabus pour expliciter la méthode de la classe inversée auprès des élèves. Il évolue également vers une évaluation formative et continue à travers la mise en place d'examens intermédiaires et de quizz donnés en début de séances pour augmenter la qualité et la quantité du travail à la maison.

Le format de la classe inversée a permis de faire évoluer de manière significative la dynamique de classe. De 2009 à 2013, on observe une progression quantitative nette des élèves en termes de résultats (Poitrat et Stoltz, 2013). Par rapport à l'ancienne formule cours magistral et travaux dirigés, on compte deux points de plus sur la note médiane. D'un point de vue qualitatif, les élèves sont plus actifs et posent plus de questions. Du point de vue de l'enseignant, un des principaux avantages de la méthode est de lui permettre, par l'observation des étudiants au travail, de mieux connaître leurs connaissances et lacunes, ce qui leur est facile et ce qui leur est difficile. Il ne prend plus comme norme les capacités des étudiants qui lui ressemblent : intéressés par la matière, stimulés par les problèmes qu'on y rencontre et intuitifs quant aux méthodes de résolution.

### **Le changement d'échelle avec un cours de tronc commun pour les élèves de 1ère année de formation d'ingénieur**

Le cours d'« Analyse et calcul scientifique » qui fait l'objet d'une classe inversée pour l'ensemble des élèves ingénieur de première année est un cours de tronc commun obligatoire qui existe sous sa forme actuelle depuis la rentrée 2015. Il est le résultat de la fusion de deux cours qui préexistaient :

le cours d'« Analyse » au premier semestre et le cours de « Calcul scientifique » au deuxième semestre, qui étaient eux aussi deux cours obligatoires.

Le changement de format de ces modules est dû à l'évolution du programme des classes préparatoires qui forment moins les élèves qui intègrent l'École aux techniques de l'analyse en mathématiques. Le cours d'« Analyse » concernait l'ensemble des élèves de première année, mais fonctionnait par groupes de niveaux. Le cours d'« Analyse et calcul scientifique » qui le remplace a vocation à s'adresser à l'ensemble des élèves dans une perspective d'introduction à la matière. L'idée principale de ce cours est d'apporter aux élèves de première année un contenu de base pour ceux qui ne veulent pas continuer à approfondir les mathématiques. Selon la formule du responsable de module, il s'agit de « faire moins, mais de faire mieux ». Ce cours d'introduction est accompagné d'un cours d'approfondissement optionnel au second semestre qui s'adresse, dans les faits, aux élèves qui intégreront les cursus qui recourent le plus souvent aux mathématiques, les départements « Ingénierie Informatique et Mathématique » (IMI) et le département de « Génie Mécanique et Matériaux » (GMM).

L'effectif du cours d'« Analyse et de calcul scientifique » est de 145 élèves, soit la promotion de première année de formation d'ingénieur. Cette promotion est répartie en six petites classes de vingt-cinq élèves maximum. Le cours comporte douze séances de 2h45 en présentiel inversé et six « amphithéâtres de restructuration » que nous décrivons dans la partie suivante. Ils durent quinze minutes, soit un amphithéâtre toutes les deux séances. Les enseignants sont également disponibles une heure par semaine lors d'« office hours » qui sont mises en place pour répondre aux questions des élèves qui le souhaitent.

## Conception et mise en œuvre d'une classe inversée à gros effectif

### Les ajustements et le perfectionnement du dispositif

Si la classe inversée a pu faire ses preuves depuis quelques années à l'École des Ponts, elle demeure un dispositif plus complexe à mettre en place qu'un cours traditionnel, a fortiori pour un gros effectif. La classe inversée pose des questions liées aux changements d'habitudes de travail pour les enseignants et les étudiants. Pour tenter d'y répondre, chaque édition apporte son lot d'ajustements et d'innovations incrémentales que l'on mentionne ici afin de comprendre le fonctionnement du dispositif.

- **Le syllabus qui explicite le choix de la méthode :** si le principe de la classe inversée peut paraître simple au premier abord, ce n'est pas toujours le cas de l'intention pédagogique de l'enseignant. L'intérêt de la méthode n'est pas toujours compris ou clair pour les élèves. Certains souhaitent même retourner au tableau et à la craie. Prendre le temps d'explicitier non seulement à l'oral, mais aussi à l'écrit dans le syllabus le choix de la méthode active ou même la réception de la classe inversée par les élèves des années précédentes permet d'éclaircir la nature du contrat pédagogique.
- **L'amphi de restructuration :** lors du travail de résolution d'exercices en petits groupes, l'enseignant, placé en observateur, se rend compte d'un certain nombre de difficultés des élèves qu'il n'aurait pas relevées s'il s'était mis dans la posture du TD classique, où c'est l'enseignant qui résout les exercices et l'élève qui suit son modèle. Pour répondre à ces difficultés et sur une suggestion des élèves, des « amphis de restructuration » ont été mis en place toutes les deux séances inversées afin de permettre aux élèves de sortir d'une

compréhension linéaire et locale (un chapitre) et de remettre en perspective l'ensemble du cours. À partir des difficultés observées et remontées par l'ensemble des enseignants, le responsable du module produit une synthèse de quatre à cinq transparents maximum, rassemble les élèves en amphithéâtre pendant quinze minutes et réexplique chaque point qui a fait difficulté.

- **La place de l'espace de cours sur la plateforme pédagogique :** dans le cadre d'un cours à gros effectif, l'utilisation d'une plateforme en ligne<sup>1</sup> permet bien sûr de rendre accessible les ressources, mais a aussi pour rôle de centraliser les informations pour l'ensemble des petites classes. En plus des supports déjà existants, l'espace de cours d'« Analyse et calcul scientifique » s'est enrichi cette année des vidéos des amphis de restructuration et de vidéos de correction des exercices les plus difficiles.
- **L'utilisation des quizz :** l'une des problématiques récurrentes de la classe inversée est d'amener l'élève à travailler régulièrement sur la partie théorique chez lui en amont des séances. La motivation pour l'introduction des quizz est d'inciter fortement les étudiants à lire le polycopié avant le cours (Svinicki et McKeachie, 2011 ; Brauer, 2011). Ils comportent des questions courtes sur des définitions, des notions ou des résultats qui figurent dans le polycopié ou dans le corrigé des exercices de la séance précédente. En complément, cette année ont été mis en place en amont de chaque séance des questions d'auto-évaluation afin que les enseignants aient un premier retour sur les points qui seront abordés en séance. Ces auto-évaluations sont formatives et permettent de lancer une discussion au début des séances.

### **Le recrutement de l'équipe pédagogique**

Le recrutement de l'équipe pédagogique constitue un point majeur du passage à l'échelle du format de la classe inversée. Dans le cadre du cours d'« Analyse et de calcul scientifique », l'équipe pédagogique était constituée pour la plupart de chercheurs du laboratoire CERMICS rattaché à l'école. Outre le responsable de cours, cette équipe compte un directeur de recherche avec quinze ans de pratique après la thèse, deux maîtres de conférences avec cinq ans de pratique après la thèse, un post-doctorant et deux doctorants dont l'un remplace en cas de besoin l'un des enseignants. Le fait que la plupart des enseignants soient jeunes et qu'ils soient rattachés au même laboratoire facilite sans doute l'adoption de la méthode pédagogique et la cohésion de l'équipe.

La première condition pour un bon fonctionnement d'une classe inversée à gros effectif est de trouver des enseignants convaincus et enthousiastes par rapport à la méthode pédagogique employée. Ce facteur est plus décisif pour la réussite d'un dispositif dans les méthodes actives que dans la pédagogie traditionnelle. Si l'enseignant n'est pas engagé dans son propre cours, les élèves n'adhéreront pas à la méthode pédagogique.

Pour les enseignants engagés dans la classe inversée, la deuxième condition importante est d'être prêts à sortir de la posture traditionnelle de l'enseignement magistral qui constitue une zone de confort pour bon nombre d'enseignants. De ce point de vue, la scénarisation et l'organisation du cours ont été pensées par le responsable de module bien en amont de sa réalisation. Cela a constitué une sécurité pour les enseignants qui n'étaient pas rompus à l'exercice de la séance inversée en présentiel. Pour le présentiel inversé, changer de posture signifie concrètement maîtriser

---

<sup>1</sup> La plateforme en ligne de l'École des Ponts fonctionne sous Moodle.

suffisamment son sujet de manière à être à l'aise et réactif par rapport à des questions qui dépassent le cadre strict du cours. En effet, on a observé lors des deux premières éditions que certains étudiants posent des questions qu'ils ne poseraient pas dans un mode pédagogique traditionnel.

De manière générale, il y a un vrai débat interne parmi les enseignants de l'École entre les partisans de l'enseignement magistral et ceux qui expérimentent les méthodes actives dont fait partie la classe inversée. Ce débat pose à la fois la question de l'usage du temps imparti à l'enseignant dans le dispositif et la question des objectifs visés et évalués. L'enseignant doit-il faire passer plus de contenu ou doit-il prendre le temps d'observer les élèves en activité en intervenant le cas échéant ? La réponse dépend entre autres des choix et des perceptions des enseignants concernant, d'une part, la cohérence du module dans le cursus de formation et, d'autre part, la cohérence pédagogique du module lui-même à travers l'alignement entre objectifs, activités et stratégies d'évaluation. Le cas du cours d'« Analyse et calcul scientifique » nous montre que cette cohérence pédagogique peut varier dans le temps.

### **La coordination du dispositif : entre standardisation et communication**

Le passage à l'échelle de la classe inversée impose de scénariser le cours de manière plus poussée que pour un cours alternant cours magistral et travaux dirigés. Il faut standardiser le dispositif afin que l'équipe d'enseignants puisse suivre la même trame pédagogique et garantir l'équité en termes de contenus et de feedbacks avec les étudiants entre les petites classes. À ce niveau, le choix a été fait de limiter le nombre d'élèves par classe à 25, la limite selon les enseignants pour un encadrement efficace avec cette approche pédagogique.

Pour former son équipe en amont, Gabriel Stoltz demande aux enseignants de petites classes de lire le syllabus fourni aux élèves et de visionner une vidéo de présentation qui détaille chaque aspect du dispositif. Il organise également une réunion de rentrée d'1h30, où il aborde l'organisation des séances, le travail des étudiants à la maison et le planning du cours.

Par la suite, le déroulement d'une séance suit le même scénario pour l'ensemble des enseignants :

1. *Mise des tables en configuration îlots, par groupes de quatre élèves maximums, si possible avant le début du cours (5 minutes).*
2. *Moment d'échange initial avec les élèves : retour sur l'auto-évaluation et réponses aux questions (entre 5 et 15 minutes). Au cours des premières séances, il y a en général peu de questions au départ. Au fur et à mesure, les élèves sont plus en confiance et ont une meilleure vision du cours. Ils posent typiquement cinq à six questions, parfois plus sur certaines séances difficiles.*
3. *Quizz de connaissance (un quizz toutes les deux séances environ) : définition des notions dans le photocopié à lire avant la séance ou évaluation des techniques acquises par la résolution des exercices de la séance précédente (10 minutes).*
4. *Résolution des exercices obligatoires en petits groupes : pendant le reste de la séance. Les élèves sont libérés en avance si un amphi de restructuration a lieu.*

Avant chaque séance en présentiel, Gabriel Stoltz envoie un mail hebdomadaire à tous les enseignants. Ce courriel comporte une synthèse des questionnaires d'auto-évaluation disponibles sur la plateforme pédagogique et les consignes pour les quizz à réaliser en séance.

Il envoie également un mail juste après la séance pour effectuer un éventuel bilan de quelques points ayant posé problème et l'envoi des documents pour la séance suivante (quizz, sujet de travaux pratiques et annales d'examen). Après chaque séance, il débrieife brièvement toutes les semaines avec les nouveaux enseignants, notamment sur les questions posées par les élèves.

## Résultats et perspectives

### Une première édition reçue favorablement par les élèves

Le cours d' « Analyse et de calcul scientifique » démarré à la rentrée 2015 en est actuellement à sa deuxième édition. L'évaluation de la première édition ne fait pas ressortir d'objection majeure quant au choix du format. Sur 143 élèves interrogés lors de la première évaluation du module, 93 élèves ont répondu, soit 65% de l'effectif total. Sur ces 93 élèves, 73% ont déclaré que le module pouvait être maintenu sans changement, 17% avec des changements mineurs, 9% avec des changements majeurs.

Sur le plan des résultats aux examens, il n'est pas possible de comparer le dispositif actuel à ce qui existait auparavant étant donné qu'il s'agit de la fusion de deux cours préexistants. Le choix a été fait de focaliser l'évaluation sur les compétences liées à la résolution d'exercices types vus en classe, plutôt que dans l'optique classique des examens de mathématiques, souvent considérés comme des sujets un peu plus « autonomes » qui ont pour ambition de traiter un « beau » problème un peu complet. Cette évaluation centrée sur les compétences de résolution s'est traduite par un polycopié plus précis sur les notions à assimiler et des exercices plus fractionnés lors des séances en présentiel. De manière générale, Gabriel Stoltz a relevé moins d'erreurs sur les exercices travaillés en cours, mais pas tellement d'améliorations sur des choses peu traitées en cours.

Sur un plan qualitatif, les élèves indiquent qu'ils sont satisfaits de pouvoir pratiquer plus d'exercices dans une séance de classe inversée que dans un TD classique. En effet, ce n'est pas l'enseignant qui passe la majeure partie du temps à résoudre l'exercice, mais les élèves. Ceci donne lieu à des interactions plus fréquentes et pertinentes sur le contenu du cours que ce soit au début ou en cours de séance. L'échange entre pairs lors de la résolution des exercices bénéficie à la fois aux élèves qui ont besoin d'aide pour certains problèmes et aux élèves les plus avancés qui peuvent ainsi reformuler leurs solutions. Gabriel Stoltz remarque une augmentation des questions posées entre les séances et pendant les vacances. Il relève également que les élèves débattent davantage des solutions aux problèmes et comparent les leurs à celles de l'enseignant.

En contrepartie, la pédagogie inversée ne convient pas à tout le monde et certains élèves ont exprimé le souhait de revenir à une pédagogie traditionnelle. La classe inversée impose à l'élève un travail personnel plus régulier et exigeant qu'un cours traditionnel puisqu'il faut préparer soigneusement chaque séance présenteielle en amont, là où pour un dispositif classique il est possible de ne réviser qu'au dernier moment lors des évaluations. Enfin, les quizz « surprises » du début de séance ne plaisent pas à tous les élèves qui peuvent avoir l'impression pour certains d'être « infantilisés ». Hormi ces réserves minoritaires, le choix de l'approche inversée est compris et accepté.

### Un bon outil de différenciation pour les enseignants

La première édition du cours d' « Analyse et calcul scientifique » était une première incursion dans la pédagogie inversée non seulement pour les élèves, mais aussi pour les enseignants de petites classes. Pour les six enseignants de l'équipe pédagogique, il n'y a pas eu de remise en question de la méthode pédagogique, plutôt une adhésion globale. Le principal intérêt de la méthode est de permettre plus d'interactions avec les élèves pendant les séances présentesielles. Cela se traduit par une meilleure connaissance des difficultés des élèves et une meilleure réactivité des enseignants par rapport à celles-ci, surtout pour les enseignants peu expérimentés.

Par rapport au cours d' « Analyse spectrale » qui était destiné à des élèves mathématiciens, le cours d' « Analyse et calcul scientifique » concerne aussi des non-spécialistes, ce qui implique une différence en terme de technique et de motivation. De ce point de vue, le format de la classe inversée a semblé l'outil idéal pour la différenciation des niveaux d'apprentissage. La valeur ajoutée pour les étudiants motivés est d'avoir l'enseignant ressource à portée et pour les élèves moins bons, la possibilité de faire les exercices à leur rythme et d'être aidés par leurs pairs. En effet, le travail en petits groupes permet de prendre en charge entre pairs une partie des remédiations sur les exercices. Tous les étudiants ont à compléter la partie obligatoire et ceux qui veulent se spécialiser font des exercices supplémentaires.

En conclusion, nous voyons donc à travers l'exemple du cours d' « Analyse et calcul scientifique » que le passage d'une innovation pédagogique telle que la classe inversée à l'échelle d'une promotion entière de formation d'ingénieur est possible. Dans le contexte de l'École des Ponts, cela a été grandement facilité par l'expérience précédente des classes inversées sur de plus petits effectifs. Malgré tout, pour réussir un tel passage à l'échelle, il est impératif de recruter une équipe d'enseignants convaincus par cette méthode et curieux de la pratiquer. Un tel passage à l'échelle requiert de surcroît une scénarisation minutieuse bien en amont de son lancement pour réduire la complexité et les difficultés éventuelles en cours de module. Cela passe en outre par un contrat pédagogique clair entre les enseignants et les élèves sur les objectifs pédagogiques visés. Pour élargir le débat, il faut rappeler qu'il n'y a pas une façon de faire de la classe inversée. En fonction du contexte de formation, du type de public ou encore du type de logistique pédagogique à disposition, le dispositif s'orientera vers des configurations différentes comme par exemple l'amphithéâtre inversé.

## Références bibliographiques

- Bauer, M. (2011). Enseigner à l'université : conseils pratiques, astuces, méthodes pédagogiques. Paris : Armand Colin, pp. 20-33.
- Poitrat J-Y, Stoltz G. (2013). Classe inversée en formation d'ingénieurs, actes du VIIe colloque question de pédagogies dans l'enseignement supérieur, Université de Sherbrooke
- Svnicki, M. et McKeachie, J. (2011). McKeachie's Teaching Tips. Belmont : Wadsworth, pp. 31-35.