

# Classe profondément inversée de physique en première année

Jean-Marc Virey (Aix Marseille Université, Centre de Physique Théorique), Avril 2017

## ● Contexte

L'apprentissage de la physique en première année après le bac pose de plus en plus de problèmes, pour les étudiants mais aussi pour les enseignants. Ces difficultés ont commencé à se faire ressentir sérieusement au milieu des années 2000, mais ont explosé suite à la réforme des programmes du lycée de 2012. Force est de constater que les étudiants ont changé. La nouvelle génération, entourée d'écrans et née avec internet, a un accès à l'information et aux connaissances radicalement différent. Chaque étudiant a un profond besoin d'individuation dans ses rapports avec les enseignants. Cette nouvelle façon d'appréhender le monde heurte de plein fouet les pratiques éducatives traditionnelles. Personnellement, je vois en la pédagogie inversée une véritable solution à ce choc générationnel.

L'objectif principal est de développer une compréhension profonde de la discipline à travers la pensée propre aux physiciens et la capacité à résoudre des problèmes. Plus précisément, nous sommes concernés par l'apprentissage des aspects théoriques de la physique utilisés pour décrire les phénomènes naturels (approximations, construction de modèles, lois, théories, outils mathématiques ...). Cette partie de la physique est celle qui rencontre le plus de difficultés auprès des étudiants aujourd'hui. Bien-entendu, en parallèle de cet enseignement théorique, environ 20% du temps est consacré à la pratique expérimentale pour développer l'intuition sur des phénomènes spécifiques ou pour faire la synthèse de tout ce qui a été vu lors du semestre lors d'expérimentations plus complexes. Nous ne discuterons pas ces aspects là dans la suite car ça n'est pas à ce niveau que se situe l'innovation pédagogique.

La méthode est appliquée depuis 4 ans à 180 étudiants par an, par une quinzaine d'enseignants-chercheurs, dans deux formations différentes : une classe de 30 étudiants en L1 de Physique, Chimie, Mathématiques et Informatique, ainsi que l'ensemble de la promotion de 150 étudiants (5 classes) en PEIP (Parcours des Écoles d'Ingénieurs Polytech). En prépa nous enseignons la mécanique newtonienne (3 heures/semaine, semestres 1 et 2), l'optique géométrique (2h/sem, S1) et l'électrocinétique (2h/sem, S2). En L1, seul l'enseignement de mécanique est concerné. Les activités numériques ont été essentiellement développées pour la mécanique qui est clairement la matière la plus ardue. Cette méthode s'applique donc pour l'enseignement des matières théoriques les plus difficiles avec de grandes cohortes d'étudiants, bien qu'il ne faille pas dépasser 30 étudiants par classe pour un unique tuteur.

## ● La classe profondément inversée

L'apprentissage actif peut être réalisé par bien des méthodes différentes. Celle que nous présentons ici est basée sur les notions de classe inversée, d'apprentissage par les pairs, d'apprentissage par résolution de problèmes, de travail en équipe et d'activités numériques. L'étudiant est placé au centre du processus d'apprentissage. Les enseignants sont transformés en tuteurs qui obéissent au principe que « moins d'enseignement amène à plus d'apprentissage ». On peut qualifier cette pédagogie de profondément inversée à cause de l'absence quasi complète de cours et de corrections en présence des étudiants. En séance, ils travaillent en équipe car l'apprentissage par les pairs est d'une efficacité redoutable. Le tuteur est un guide qui s'assure que chaque équipe fonctionne correctement, remet sur le bon chemin par un questionnement si cela s'avère nécessaire, et répond aux questions par des questions. De nombreuses activités numériques complètent le dispositif afin d'optimiser le temps de présence avec les élèves.

### → Absence de cours

Force est de constater qu'en première année, le cours, en amphi ou en classe, est totalement inefficace, c'est du temps perdu pour la majorité des étudiants et pour l'enseignant. On l'a donc purement et simplement supprimé. Le travail se fait en amont sur un manuel de cours adapté. J'ai écrit celui de mécanique et participé à l'écriture du manuel d'électrocinétique. Souvent, lorsque un élève étudie un

cours (en classe, sur un livre ou sur une vidéo) il est passif et a du mal à suivre le fil logique qui semble si évident à l'enseignant. Pour remédier à cela, j'ai introduit la notion d'« exercice de cours » où tous les aspects techniques du cours, mais essentiels à connaître, sont rédigés sous la forme d'un exercice. L'énoncé permet de saisir le cheminement de pensée grâce à la succession des questions. La solution est extrêmement détaillée afin que rien ne reste obscur même à ceux qui sont les plus en difficulté. L'intérêt majeur de cette présentation est de faciliter le travail autonome et l'autoévaluation : les connaissances et compétences sont en bonne voie d'acquisition si l'étudiant est capable de refaire les exercices de cours sans en regarder les solutions.

### → Absence de corrections pendant les séances

Si les étudiants savent que la correction des exercices et problèmes sera donnée en fin de séance, en général, on constate que la grande majorité reste passive et attend en faisant plus ou moins semblant de travailler. Si le programme est particulièrement chargé, comme en mécanique, souvent le professeur ne se prête même plus à cette mascarade et corrige immédiatement en questionnant directement la classe, et s'il a de la chance, quelques étudiants jouent le jeu malgré l'apathie générale.

En classe profondément inversée nous ne cédon plus à cette hypocrisie et à cette facilité. Il n'y a plus de corrections ! Le contrat est donc très clair : si les étudiants ne travaillent pas ils n'auront rien en mains au moment de l'examen... Lorsque nous exposons la méthode pour la première fois, l'absence de cours les réjouit, mais l'annonce de l'absence de corrections est une véritable douche froide qui les laisse complètement désemparés. Ils ne vont pu pouvoir bachoter. C'est alors le moment opportun pour leur annoncer qu'ils vont travailler en équipe et devoir se serrer les coudes !

### → Travail en équipe

C'est la base de l'apprentissage par les pairs. Chaque étudiant à un rôle qui le valorise (animateur, scribe, secrétaire, gardien du temps et évaluateur). La constitution des équipes est hétérogène. Imposée en début d'année (suite à un test lors de la première séance), on laisse libre les étudiants de se regrouper comme ils le désirent dès qu'ils ont compris les principes de fonctionnement (au second semestre en général). Cinq étudiants par équipe est un bon nombre qui évite trop de tire au flanc.

Le facteur le plus important pour la réussite de l'équipe est l'émulation de groupe. Au sein d'une équipe, dès qu'une majorité d'étudiants s'est mise au travail (3) les autres suivent. Pour l'enseignant, il est très agréable de voir que les étudiants parlent de la matière pendant toute la séance et arrivent à résoudre les problèmes les plus difficiles. Les corrections sont, en fait, inutiles ! Rares sont les parties du programme qui résistent au travail en équipe et qui demandent réellement à l'enseignant d'aller au tableau pour donner des explications en classe entière.

La confrontation des différents point de vues favorise une meilleure préparation de la compréhension. La nécessité d'expliquer ses propres idées aux autres développe à la fois des compétences en communication mais aussi le raisonnement critique. D'autres compétences transverses sont mise en pratique comme la prise de décision, l'autoévaluation voire la résolution de conflit. Les équipes qui marchent le mieux exportent la méthode dans les autres matières et hors de la classe.

### → Évaluations fréquentes

L'instinct naturel de la majorité des étudiants à en faire le moins possible est tenace, et des évaluations fréquentes sont malheureusement indispensables pour assurer une quantité de travail suffisantes. Outre l'arsenal classique du contrôle continu avec ses interros (courtes), devoirs surveillés (longs), devoirs maison et oraux, nous utilisons fortement les tests numériques. Quand c'est le travail en équipe qui est noté, nous laissons les étudiants se répartir la note globale.

### → Déroulement des séances et séquence d'apprentissage

Chaque séance suit une chronologie précise :

- a) Réponses aux questions et rappel de cours si nécessaire (diagnostic via les activités numériques).

- b) Résolution des exercices et problèmes. Un temps approximatif est donné pour chaque sujet à traiter.  
c) En fin de séance l'enseignant fait la liste de l'ensemble des tâches à accomplir pour la séance suivante.  
En général, le temps moyen de travail maison est équivalent au temps des séances présentielles.

Chaque séquence d'apprentissage correspond à un chapitre du manuel de cours et s'étale sur 4 séances. Le travail en aval est récurrent et correspond à la rédaction d'un compte-rendu de séance individuel.

**Séance 1** - *Amont* : lecture et analyse des objectifs d'apprentissage (contextualisation), étude du manuel et initiation à la résolution de problème (reprise des exercices de cours, activités numériques)

- *Pendant* : travail en équipe sur des exercices d'application plus ou moins durs.

**Séance 2** - *Amont* : suite du cours et activités numériques

- *Pendant* : interro courte, travail en équipe sur des exercices difficiles ou un problème.

**Séance 3** - *Amont* : module numérique « problème », devoir maison ou problème à préparer

- *Pendant* : oraux avec jury de pairs (si DM) ou travail en équipe sur le problème préparé.

**Séance 4** - Travaux Pratiques pouvant être de 3 types, « découverte » (positionné alors en séance 1), « application » (positionné en séance 2 ou 3), « synthèse » (séance 4). *Amont* : exercices de TP et activités numériques - *Pendant* : manipulations et comptes-rendus de TP par binôme.

Malheureusement, par manque de temps, cette séance de TP n'est pas systématiquement présente dans chaque séquence d'apprentissage.

**Séance 5** - Depuis 2017, j'expérimente la mise en place d'une séance à haut niveau cognitif pour donner plus de sens à chaque séquence d'apprentissage en poussant les étudiants à être créatifs par la production d'une œuvre, puis à évaluer les œuvres de leurs pairs et à faire le bilan de leurs activités. Les résultats obtenus sont excellents.

- *Amont* : bilan individuel du travail en équipe, production individuelle ou en équipe (exercice ou problème avec solution, proposition de TP ou expériences amusantes, vidéo/article/interview/poster de vulgarisation ou d'histoire des sciences, essai ...)

- *Pendant* : présentation en classe, jury de pairs, bilan commun du travail en équipe, répartition des notes.

## ● Les activités numériques

### → Pourquoi ?

Aujourd'hui, il est vraiment dommage de se passer des outils numériques. Excepté le temps très long nécessaire à la création des activités, elles n'apportent que des avantages. Le premier et non des moindres, est la possibilité d'avoir un retour sur erreur immédiat ce qui est, d'un point de vue cognitif, un avantage majeur. Le second, est de mettre au travail à la maison les étudiants tout en utilisant un support numérique, ce qu'ils apprécient. Est-ce vraiment surprenant que les étudiants se mettent bien plus volontiers au travail devant un écran plutôt que devant une feuille de papier ?! Les divers sondages que j'ai pu mener montrent qu'ils en redemandent. Le troisième intérêt, tout aussi important, est de pouvoir gérer l'hétérogénéité de la classe grâce à la construction d'outils de remédiation (plus de détails ci-dessous). Le quatrième avantage concerne les gains de temps. D'une part, la correction automatique soulage grandement tous les enseignants. D'autre part, pouvoir faire travailler les étudiants sur des « exercices d'application », relativement faciles, en amont des séances, permet d'optimiser le travail présentiel et de se concentrer sur de véritables problèmes pendant les séances, lieux où les interactions entre étudiants et avec l'enseignant sont indispensables pour surmonter les difficultés. Enfin, les méthodes de travail sont améliorées. Des feedbacks bien pensés permettent une véritable autoformation, et les diverses notes permettent une autoévaluation. Au niveau enseignant, l'étude des résultats permet non seulement d'évaluer les apprentissages mais aussi de pouvoir adapter judicieusement la séance de travail à venir.

Les activités numériques peuvent parfaitement accompagner un cours traditionnel, mais elles sont fortement complémentaires, voire indispensables, à un enseignement en pédagogie inversée.

## → Types d'activités

Sur la plateforme principale MOODLE, j'ai développé quatre types d'activités :

\* Le module « leçon » reprend les points essentiels du cours tels que les définitions, les connaissances de bases, les théorèmes fondamentaux et les techniques indispensables à la résolution des exercices et problèmes. En cas d'erreur un feedback donne le rappel de cours adapté. L'étudiant peut refaire jusqu'à 10 fois cette leçon présentée sous forme de qcm.

\* Le module « exercice » applique la leçon à une connaissance et/ou une compétence particulière. Si un étudiant n'arrive pas à répondre à une question, il enchaîne alors sur des sous-questions avant de revenir à la question initiale.

\* Le module « problème » correspond, en général, à un ancien sujet d'examen dont la résolution nécessite la synthèse de plusieurs connaissances et compétences. C'est ici que l'arborescence adaptative prend véritablement toute son importance. On les trouve en fin de séquence d'apprentissage. En fin de cours (de semestre) certains problèmes intègrent l'ensemble des connaissances de plusieurs chapitres, voire de plusieurs matières.

\* Le module « test » sert à l'autoévaluation, suit directement le module leçon ou clôt chaque chapitre. Les résultats obtenus par la classe entière permet à l'enseignant d'adapter les contenus de la séance suivante.

Nous utilisons aussi la plateforme WIMS qui propose des exercices à valeurs générées automatiquement variant à chaque essai et pour chaque élève.

## → Remédiation et arborescence adaptative

L'activité « leçon au sens de Moodle », utilisée pour les modules leçon, exercice et problème décrits plus haut, est particulièrement intéressante car elle permet de créer une arborescence qui s'adapte au niveau de l'étudiant. Le bon étudiant aura une progression rapide, alors que l'étudiant en difficulté sera aidé pas à pas. Pour une question donnée, après la première erreur le feedback donnera des indices et la même question sera reposée. Après une seconde erreur, l'étudiant quitte la branche principale et entre dans une branche secondaire dont la structure dépend de la nature de la question posée. Pour les questions d'un module « problème », la nouvelle branche sera constitué de (sous-)questions qui décompose la problématique initiale. En revanche, pour les questions d'un module « exercice », on fournit la solution détaillée de la question initiale puis on repose des questions similaires : faire des gammes renforce les pratiques. Parfois, quand la nature de l'erreur permet de diagnostiquer une lacune précise on oriente l'étudiant vers une troisième branche. Bien-entendu après ces divers détours, l'étudiant revient toujours au questionnement principal.

## ● Bilan

### → Les avantages étudiants

- Étant actif de leur propre formation, leur motivation est renforcée.
- Le haut degré d'autonomie demandé développe leur maturité.
- Les méthodes de travail variées permettent une meilleure préparation de la compréhension, un travail en profondeur et ainsi de faciliter l'assimilation.
- En plus de l'acquisition des savoirs et savoir-faire disciplinaires, cette pédagogie inversée et, en particulier, le travail en équipe, développe de nombreuses compétences transverses comme le raisonnement critique via la confrontation des différents points de vue, la prise de décision, la communication via la nécessité d'expliquer ses propres idées aux autres, la résolution de conflit, l'autoévaluation ...
- La méthode est appréciée même si elle les surprend au début : 60% d'évaluations positives à la fin du semestre 1 mais ce nombre monte à plus de 75% à la fin du semestre 2. Pour preuve, nombre d'étudiants

continuent à travailler en équipe dans d'autres matières et hors de la classe.

- Enfin, le taux de réussite est quasiment doublé par rapport à l'enseignement traditionnel. Ce chiffre se base sur les enseignements de L1 où les deux méthodes, traditionnelle et inversée, se côtoient.

### → **Les avantages enseignants**

- Cette façon de faire est un véritable plaisir pour l'enseignant car il n'y a rien de mieux que voir les étudiants actifs et discuter la matière de la première à la dernière minute, et même pendant les pauses!

- Le taux de satisfaction, relativement subjectif, est fortement augmenté (environ d'un facteur trois). Par exemple, en mécanique, avec un enseignement traditionnel seuls 20 à 30% des étudiants acquièrent des compétences solides en fin de semestre, alors qu'avec cette pédagogie inversée on atteint les 70%.

- En prépa PEIP, où toutes les classes suivent la même méthode, nous n'avons pas changé le taux de réussite mais nous avons fortement élevé les objectifs d'apprentissage. Après le succès immédiat lors de la première année d'expérimentation de la méthode, nous avons décidé de renforcer le programme, de poser des problèmes de synthèse plus difficiles et d'avoir des examens plus durs.

### → **Difficultés**

- Le problème majeur est que de nombreux étudiants surestiment leurs capacités individuelles par rapport à celles de l'équipe. Ils ont du mal à saisir l'intérêt des comptes rendus où ils doivent reprendre individuellement ce qui a été fait en groupe. Les évaluations individuelles sont alors indispensables pour leur montrer que seul devant une copie ils ont beaucoup plus de mal...

- L'émulation de groupe ne fonctionne que si la majorité des étudiants, au sein d'une équipe, joue le jeu. Sur six équipes, en général, une ou deux a des problèmes. Le tuteur doit alors intervenir voire remanier les équipes. Parfois le recours à la création d'une équipe « poubelle » permet, d'une part de préserver les étudiants sérieux d'une ambiance laxiste, et d'autre part de réussir à sauver quelques étudiants qui se retrouvent valorisés au sein de l'équipe la plus médiocre.

- Le temps d'adaptation à la méthode est important. Il faut un mois pour que les étudiants comprennent que le travail personnel en amont est crucial et qu'ils doivent y consacrer le temps nécessaire.

- L'enseignant-tuteur doit être motivé sinon la méthode est inefficace. Trop de distance avec les étudiants et un manque de pression ne poussent pas les étudiants au travail.

### → **Perspectives**

- Cette méthode est, en fin de compte, relativement facile à exporter. Le plus difficile est de convaincre les collègues de s'y mettre. La crainte, réelle, est de devoir consacrer beaucoup de temps à la préparation des divers supports indispensables au travail hors séance (manuel de cours adapté, activités numériques). En revanche, devenir tuteur est très facile, c'est une simple question de volonté.

- Si les supports créés pour l'enseignement de la mécanique du point en première année vous intéressent, contactez moi pour les obtenir. Certains collègues d'autres universités ont franchi le pas...

- Diffusant la méthode via des vidéos et des conférences, certains collègues expérimentent le travail en équipe en TD, voire la classe profondément inversée, dans d'autres disciplines et d'autres formations.

- Les activités numériques peuvent être utilisées dans un cours traditionnel. Dans mon université, plus de 1000 étudiants supplémentaires peuvent ainsi en profiter.

- Création d'un nouveau type d'activité numérique, le module « intérêt », dont le but est de renforcer l'effort de contextualisation en amont de la séance 1 de chaque séquence d'apprentissage. À partir des objectifs d'apprentissage du chapitre, l'étudiant a la charge d'écrire quelques lignes sur ce qui lui semble le plus et le moins intéressant dans l'étude à venir. Puis, retour sur cet avis en fin de séquence.

- La proximité avec les étudiants est très forte ce qui a de nombreux avantages pour chaque partie. Le tuteur a une connaissance bien plus claire de la personnalité de chaque étudiant ce qui permet une évaluation efficace des compétences au sens large (disciplinaire et transverse) via un portfolio. Le module « intérêt » et surtout les activités de création (séance 5) y trouvent naturellement leurs places.