

ANNEXES

Enseignement interactif dans les amphithéâtres de sciences du L1

Ces annexes regroupent de nombreux chiffres et fournissent des analyses statistiques qui viennent étayer l'argumentaire de 5 pages.

Sommaire

- Annexe 1 - quelques éléments de constat initial : pour savoir où aller, il faut savoir d'où l'on part.
- Annexe 2 - caractérisation du groupe traditionnel et du groupe interactif : traitement des différents biais possibles.
- Annexe 3 - activités pédagogiques en amphis : plus de détails sur ce qu'il se passe en amphi, et différences avec un amphi traditionnel.
- Annexe 4 - description plus détaillée de l'amphi inversé.
- Annexe 5 - compréhension conceptuelle. Dans quelle mesure avons-nous amélioré la compréhension conceptuelle ?
- Annexe 6 - réussite à l'UE. Dans quelle mesure avons-nous amélioré la réussite ?
- Annexe 7 - taux de satisfaction. Dans quelle mesure les étudiants ont-ils apprécié ?
- Annexe 8 - évolution d'une année sur l'autre. Bilan sur 3 ans : une année entièrement traditionnelle (2013/2014), une année mi-traditionnelle/mi-interactive (2014/2015), une année complètement interactive (2015/2016).
- Annexe 9 - à qui profite le plus l'enseignement interactif ? Cette méthode s'adresse-t-elle aux meilleurs ?
- Annexe 10 - quelques exemples de questions. Pour se faire une idée.
- Références

ANNEXE 1 : quelques éléments de constat initial

À la fin du premier semestre 2013/2014, soit 1 an avant de commencer notre expérimentation sur l'enseignement interactif (premier semestre de l'année 2014/2015), nous avons interrogé les étudiants pour cerner leur perception du cours en amphithéâtre et identifier leurs difficultés conceptuelles. Nous donnons ici quelques résultats de cette enquête. Ils permettent d'affirmer que **les étudiants ne sont pas totalement satisfaits de leur cours en amphi et sont en attente d'un changement de pédagogie en amphithéâtre.**

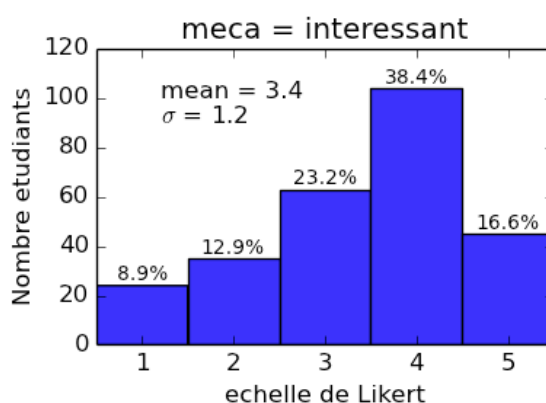
Ressenti des étudiants

La photo ci-dessous est celle d'une table dans un amphithéâtre de l'Université Paul Sabatier. Elle résume de façon un peu caricaturale mais humoristique ce que peuvent ressentir certains étudiants dans un cours en amphithéâtre : ils s'ennuient car ils ne se sentent pas concernés.



De façon plus sérieuse, nous avons posé aux étudiants une série de questions dont on reproduit une partie ci-dessous. La réponse était demandée sous forme d'échelle de Likert à 5 niveaux¹, dont les résultats figurent dans les histogrammes ci-dessous. Il faut retenir que les étudiants ont plutôt une bonne image de la discipline enseignée (la mécanique) en arrivant. **La physique leur semble utile pour leur projet professionnel à défaut de les passionner vraiment.** Enfin, ils trouvent que **leur activité lors d'un cours en amphi est insuffisante, ce qui leur fait perdre de l'intérêt.**

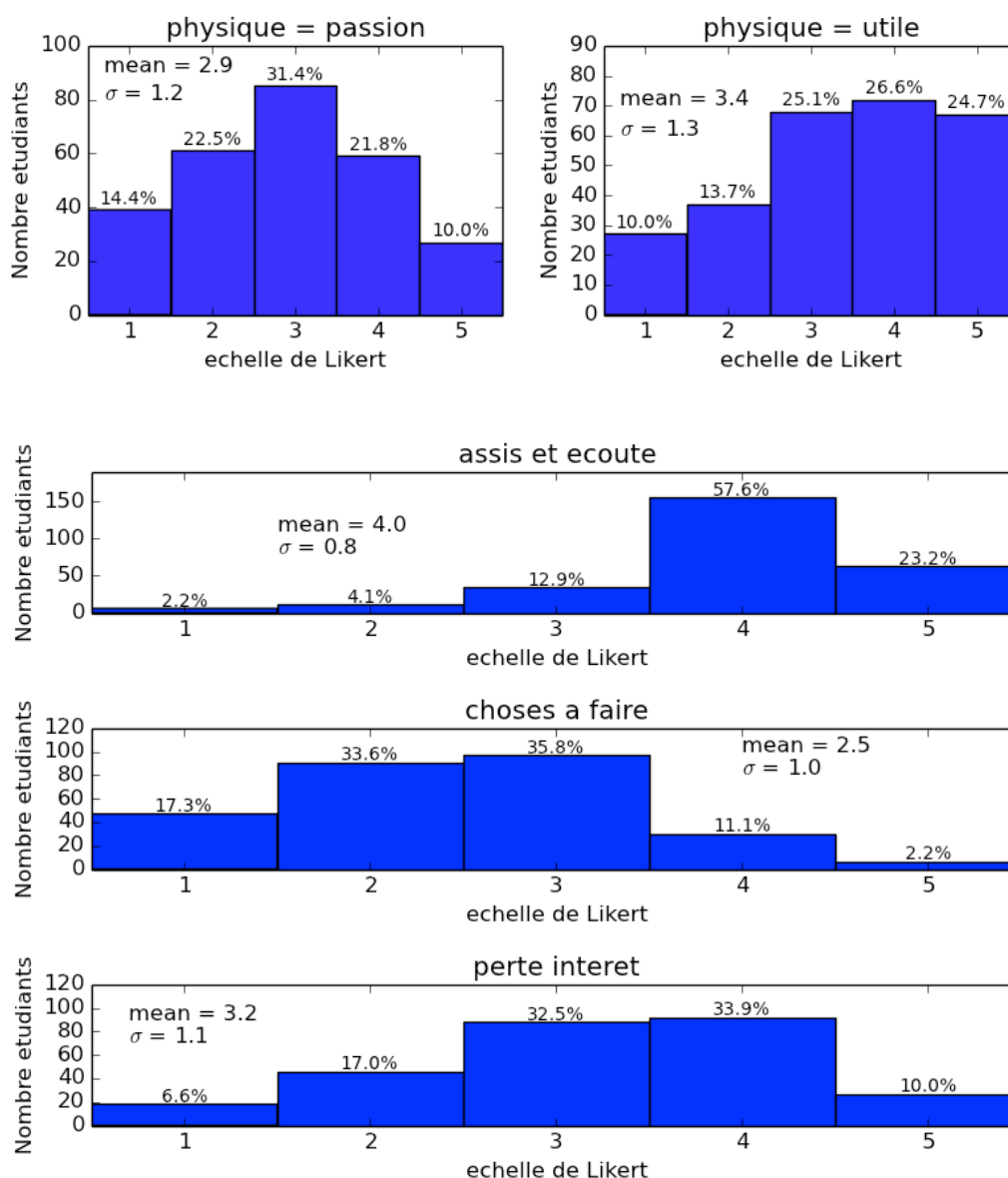
1. *Je trouve la mécanique intéressante.* Répartition non gaussienne avec une note au-dessus de la moyenne (3/5).



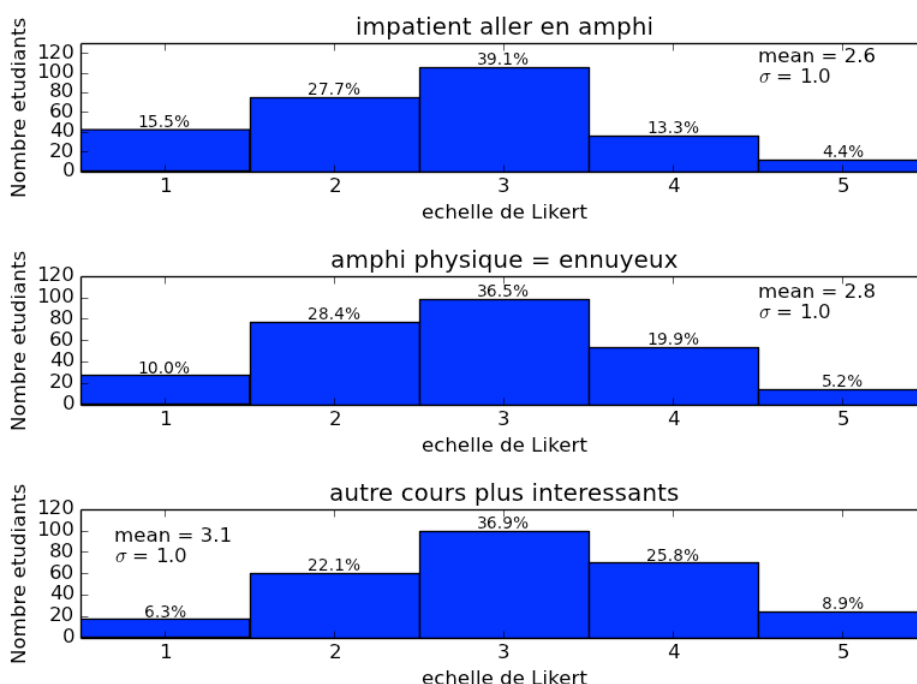
2. *La physique me passionne.* Distribution gaussienne centrée sur l'avis neutre.
3. *La physique est utile pour mon projet professionnel.* La distribution est non gaussienne; pour plus de la moitié des étudiants, la physique est perçue comme utile pour leur projet professionnel.

¹ 1 = pas du tout d'accord; 2 = plutôt pas d'accord; 3 = neutre; 4 = plutôt d'accord; 5 = tout à fait d'accord.

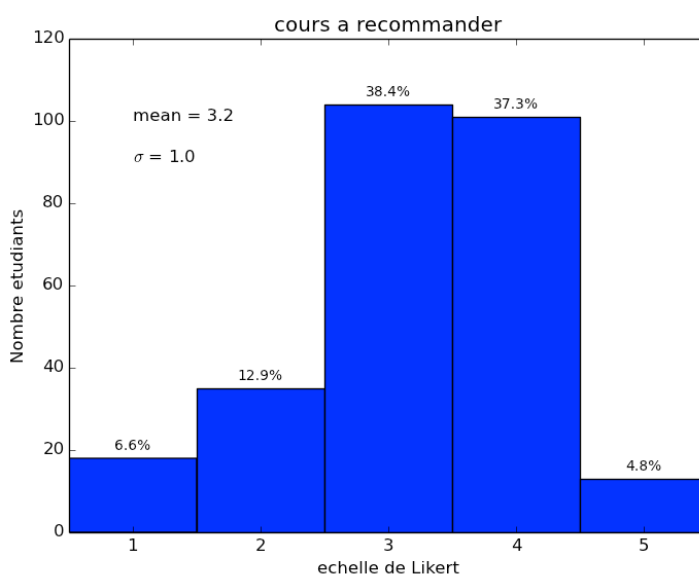
4. *Pendant le cours en amphi, je m'asseyais et j'écoutais l'enseignant parler.* 80% des étudiants sont d'accord avec cette affirmation. Cette réponse est cohérente avec l'observation faite d'un amphi traditionnel dans le cadre du projet COPUS (voir annexe 3 ci-après).
5. *Pendant le cours en amphi, l'enseignant proposait des choses à faire plutôt que simplement parler.* Cette question est un test de redondance avec la précédente. Seul 13% des étudiants sont d'accord avec cette phrase.
6. *Pendant le cours en amphi, j'ai souvent entendu de très longues explications et je perdais très vite de l'intérêt.* Près de la moitié des étudiants déclarent en effet une perte d'intérêt. Ce chiffre n'est pas aussi élevé qu'on aurait pu l'anticiper. Cela pourrait suggérer que les étudiants s'accrochent et essaient de conserver de l'intérêt, même s'ils sont dans une situation passive.



7. *J'étais impatient d'aller en amphi de physique.* Seul 18% des étudiants sont impatients d'aller en amphi, cela est cohérent avec le fait que la physique n'est pas une passion et qu'ils perdent rapidement de l'intérêt.
8. *Le cours de physique était ennuyeux.* Un tiers des étudiants trouvent qu'ils s'ennuient et 36% ne se prononcent pas vraiment. On en revient à l'image en début d'annexe...
9. *Mes autres cours étaient plus intéressants.* Malgré ce constat alarmant, les résultats à cette question montrent que les autres UE ne sont pas pour autant plus appréciées. Cela suggère que **le constat que nous dressons est généralisé à toutes les UE ayant des cours amphs.**



Enfin, nous avons demandé aux étudiants s'ils recommanderaient cette UE. Avec des cours traditionnels (année 2013/2014), la moyenne ressort à 3,2/5. Ce sera notre point de référence, auquel nous nous comparerons ultérieurement.

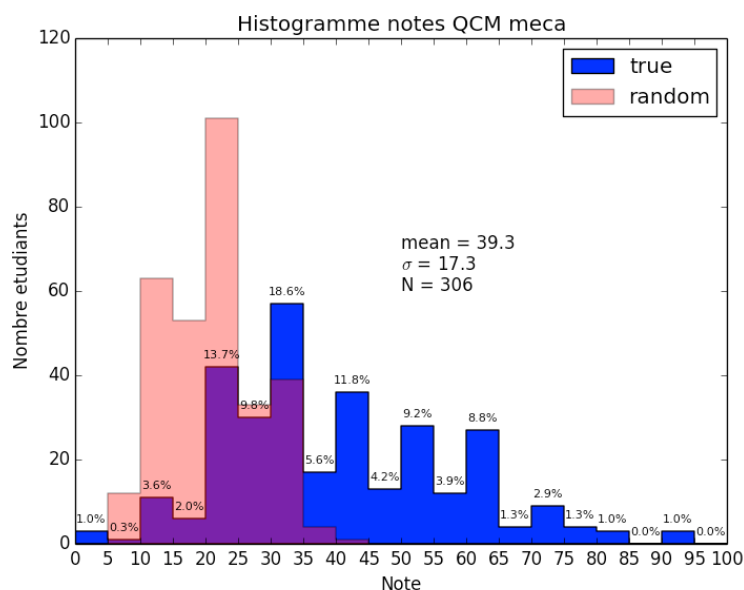


Compréhension conceptuelle (promo 2013/2014)

Nous avons mesuré le niveau de compréhension conceptuelle de nos étudiants en mécanique, un an avant que le projet ne débute. Ces données nous ont apporté de nombreuses informations et nous ont permis de définir un niveau de référence avant l'introduction de l'enseignement interactif. Pour cette mesure, nous avons utilisé un QCM standard appelé FCI (Force Concept Inventory) [Hestenes 1992]. Ce QCM a l'avantage d'avoir déjà été traduit en français², et d'avoir été validé par la recherche comme étant un test fiable. Nous en avons profité pour vérifier que cette version française du test est bien discriminatoire (efficacité discriminatoire de 39,7%) et fiable (KR20=0,75).

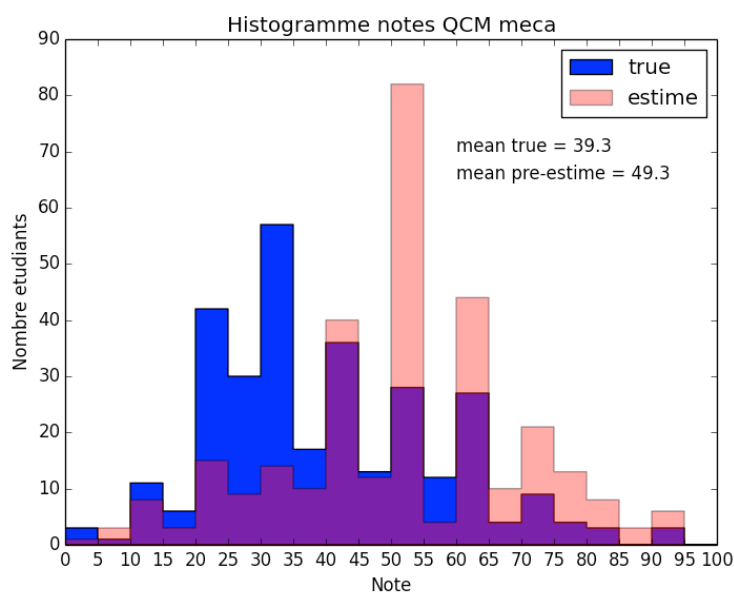
² Nous avons légèrement repris la traduction canadienne pour l'adapter au vocabulaire français, et avons éliminé un distracteur dans une question, qui nous semblait poser problème.

La figure ci-dessous représente l'histogramme des réponses (en bleu) et l'histogramme correspond à des réponses aléatoires (rouge). Les étudiants ont déjà quelques notions en arrivant, ce qui n'est pas étonnant car la mécanique est déjà une thématique abordée au cycle secondaire.



Le premier point à noter est que la moyenne à ce test (39,3%) est relativement faible et se situe dans la fourchette basse des performances des étudiants d'universités américaines (voir figure de l'annexe 5). Évidemment, une comparaison brute avec nos collègues américains n'est pas très pertinente car le contexte universitaire y est bien différent.

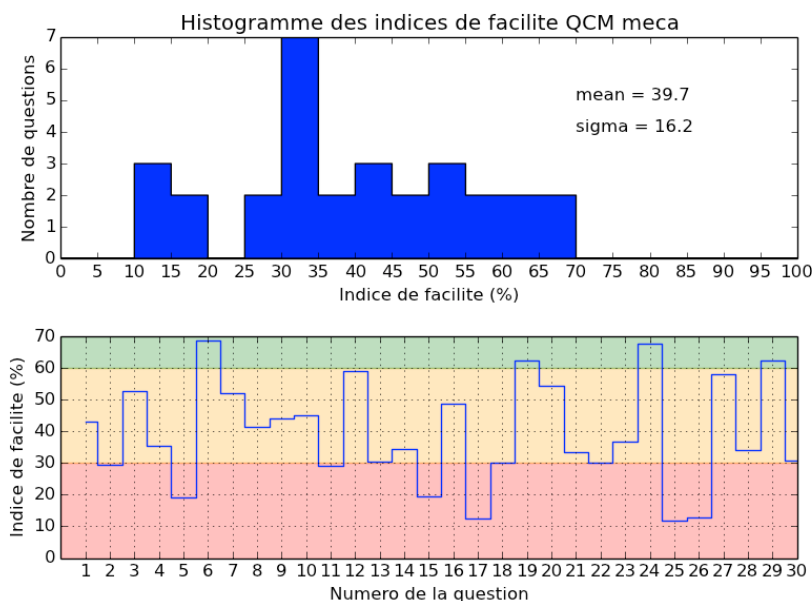
Avant que les étudiants ne commencent le test (sans voir les questions), nous leur avons demandé quelle note ils pensaient obtenir, sachant que le test portait sur les concepts de base de la mécanique Newtonienne. Il se trouve que nos étudiants **surestiment grandement leur compréhension des concepts en mécanique**³, comme constaté sur le graphique ci-dessous, où on retrouve l'histogramme réel en bleu et l'histogramme des notes estimées en rouge : 10 points d'écart séparent les moyennes, et la significativité est très forte (p -value < 1%).



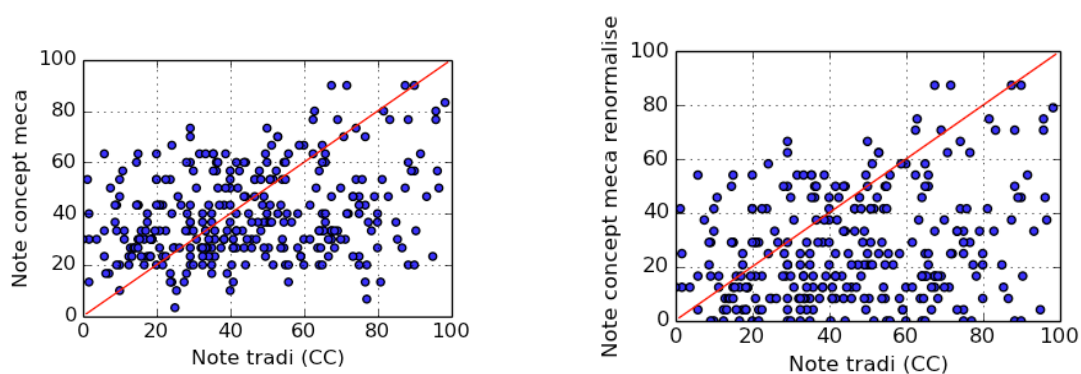
Ce QCM nous a permis de dresser un constat sur le niveau de compréhension conceptuelle. En analysant en détail quelles questions sont effectivement difficiles pour les étudiants (voir figure ci-

³ À noter, nous avons également donné un QCM de compréhension conceptuelle d'électricité, et dans ce cas l'écart est beaucoup plus faible (4 points).

dessous), nous avons pu identifier les concepts qu'il était important de travailler avec l'enseignement interactif. Ces concepts sont principalement celui de force, le principe d'inertie et la troisième loi de Newton.

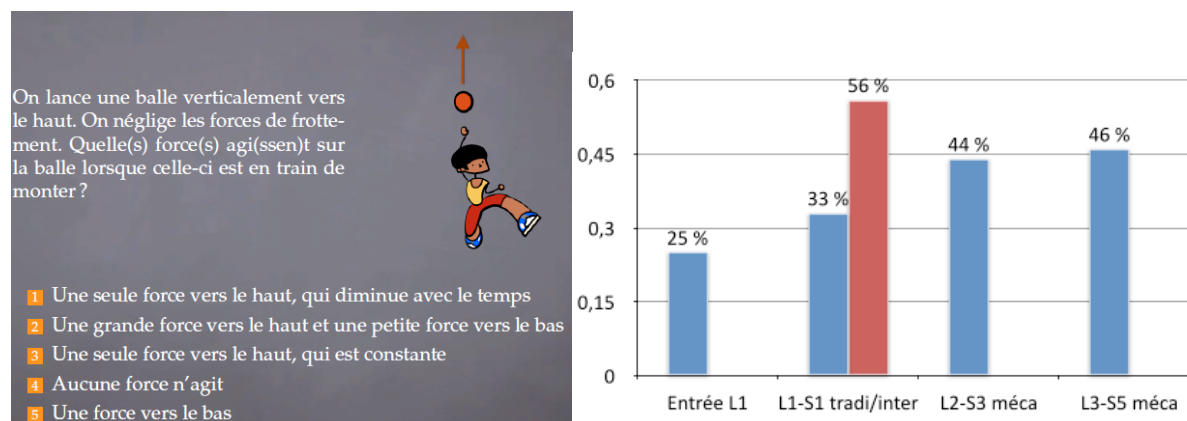


Nous avons également exploité ces résultats, en corrélation avec les notes aux contrôles continus (CC), pour voir si la compréhension conceptuelle et la réussite aux CC traditionnels étaient corrélées. Ces données sont représentées dans la figure ci-dessous. Sur le graphique de gauche est représentée la note au QCM de concept en fonction de la note aux CC (ramené sur 100). Chaque petit cercle correspond à un étudiant. Des réponses aléatoires au QCM produisent une moyenne de l'ordre de 20% (cinq réponses possibles à chaque question). Afin de ramener les notes entre 0 et 100, nous avons "renormalisé" les notes aux concepts et tracé $(x-20\%)/(100\%-20\%)$, où x est la note au QCM. Le graphique de droite représente cette note renormalisée en fonction de la note aux CC. Les points se répartissent globalement dans le coin inférieur droit. **Ainsi, un étudiant peut tout à fait réussir ses contrôles continus sans comprendre les concepts.** À contrario, il y a très peu de points dans le coin supérieur gauche, correspondant à des étudiants ayant compris les concepts mais n'ayant pas réussi les contrôles continus. Dans une situation "équilibrée", les points devraient s'aligner sur la diagonale (il y a toujours des bons étudiants et des étudiants moins bons). Ce graphique montre que les concepts ne sont pas assez travaillés dans l'UE car la compréhension conceptuelle est inférieure à ce que testent traditionnellement les contrôles continus. **Ce constat a motivé l'alignement pédagogique que nous avons mis en place, en introduisant des questions conceptuelles dans les contrôles continus.**



Le dernier point à mentionner dans cette annexe est l'évolution de cette compréhension conceptuelle avec le temps, au cours d'un enseignement traditionnel. Nous allons étudier cet effet sur une question particulière du FCI, qui a été donnée à divers niveaux, du L1 au L3. Cette question, ainsi que l'évolution du taux de bonne réponse (sur cette question) sont représentées ci-dessous. À l'entrée à

l'université, le taux de bonne réponse n'est que de 25%. Il monte à 33% après un semestre de cours traditionnel en mécanique (résultat obtenu sur les étudiants du groupe traditionnel). En L2 (premier semestre), il est de 44%, puis seulement de 46% en L3 (premier semestre) de mécanique à l'UPS. **Si les concepts ne sont pas travaillés explicitement, ceux-ci ne sont globalement pas acquis, même si le degré de compétence technique augmente.** Ainsi, l'université diplômée des étudiants dont le niveau de compréhension conceptuelle est relativement faible (en comparaison avec les universités étrangères ayant publié les résultats de leurs étudiants sur le FCI).



Face à ce constat, il faut faire quelque chose. La bonne nouvelle, c'est que cet état de fait peut assez aisément être corrigé. L'introduction de l'enseignement interactif dans l'UE de physique du L1 a permis d'atteindre 56% sur cette question (barre verticale rouge sur le graphique ci-dessus, correspondant aux étudiants du groupe interactif), soit mieux qu'après 3 ans d'enseignement traditionnel. Il faut néanmoins relativiser ce résultat, car celui-ci n'a été obtenu ici que sur l'exemple d'une seule question et ne revêt donc pas de caractère statistiquement significatif. Il faudrait, pour aller plus loin, administrer le FCI à un échantillon significatif d'étudiants sur plusieurs niveaux (du L2 et du L3). Notons qu'une telle étude à grande échelle est actuellement menée par Jean-François Parmentier, incluant, en particulier, les écoles d'ingénieurs du site toulousain⁴.

⁴ Voir des résultats préliminaires sur <http://afm-gttaum-comm-ense.jimdo.com/actions/test-de-mécanique/résultats-par-niveau-parcours/>

ANNEXE 2 : caractérisation du groupe traditionnel et du groupe interactif

Les étudiants de L1 sciences (N=1049 individus) étaient répartis sur 7 sections (de A à F), correspondant à autant d'enseignants d'amphis. Parmi ces 7 amphis, 4 ont été interactifs, les 3 autres sont restés traditionnels. Afin de lever tout biais dans l'analyse des résultats quantitatifs, nous avons vérifié que **le groupe des étudiants interactif (N=589 étudiants) était bien homogène avec le groupe des étudiants traditionnel (N=460)**. Cette annexe présente ces résultats sous forme de tableaux. Il ressort que le seul critère de non-homogénéité est celui de la fraction garçon/fille. Nous montrerons plus loin, dans l'annexe 6, comment nous avons traité ce biais.

Caractéristiques sociodémographiques

Comme le montre le tableau ci-dessous, au regard des caractéristiques sociodémographiques considérées, les deux groupes peuvent être considérés comme homogènes.

		Groupe « Traditionnel »	Groupe « Interactif »
Professions et Catégories Sociales des parents $p=0,31$ $\chi^2=3,56$ (Non Significatif)	Favorisées	40,3%	40%
	Moyennes	22,6%	18,3%
	Populaires	32,1%	36%
	Indéterminée	5,1%	5,7%
Boursier $p=0,17$ $\chi^2=1,89$ (Non Significatif)	Oui	38,9%	43,1%
	Non	61,1%	56,9%
Nationalité $p=0,27$ $\chi^2=1,22$ (Non Significatif)	Française	85,2%	82,7%
	Etrangère	14,8%	17,3%

La seule différence que nous avons pu mettre en évidence est la fraction garçon/fille. Il y a davantage de filles dans le groupe interactif, et cela est significatif (p -value = 0,03). Cela se comprend et s'explique par le choix des options. En effet, sur les 7 amphis, 3 sont constitués d'étudiants ayant choisi une option chimie. Les 4 autres amphis regroupent les étudiants ayant choisi une option info. Parmi les informaticiens, il y avait 2 amphis interactifs et 2 amphis traditionnels. Chez les chimistes, il y avait 2 amphis interactifs et un amphi traditionnel. Ainsi, il y a de fait une surreprésentation de chimiste dans le groupe interactif. Or, le taux de féminisation chez les chimistes est plus important, comme on peut le voir sur le tableau ci-dessous.

	T		I		Total	
	N	% cit.	N	% cit.	N	% cit.
M	385	83,7%	462	78,4%	847	80,7%
F	75	16,3%	127	21,6%	202	19,3%
Total	460	100,0%	589	100,0%	1049	

$p = 0,03$; $\chi^2 = 4,59$; ddl = 1 (S)

	F
Info	14,1%
Chimie	24,8%
Total	19,2%

Dans le tableau précédent et les suivants, la lettre "T" est utilisée pour désigner le groupe traditionnel tandis que la lettre "I" est utilisée pour le groupe interactif.

Profil scolaire antérieur

Nous avons pu obtenir des informations relatives au profil scolaire antérieur des étudiants, comme le type de bac, la mention, la note dans diverses épreuves de bac et l'académie d'origine. Sur ces critères, le tableau ci-dessous montre que les deux groupes sont bien homogènes. La mention "note Bac PC" représente la note au bac à l'épreuve de Physique/Chimie.

		Groupe « Traditionnel »	Groupe « Interactif »	Ensemble
Type de bac $p=0,07$ khi ² = 3,24 (PS)	Bac S	79,6%	83,9%	82%
	Autres bacs	20,4%	16,1%	18%
Obtention d'une mention $p=0,22$ khi ² = 4,42 (NS)	P	66,3%	62,5%	64,2%
	AB	23,7%	26,5%	25,3%
	B - TB	10%	11%	10,6%
Note Bac PC $p = 0,3$ z=0,99 (NS)	Effectif	307	442	749
	Moyenne	11,95	12,14	12,06
Académie d'obtention du bac $p=0,19$ khi ² = 1,71 (NS)	Toulouse	57%	61%	59,2%
	Autre	43%	39%	40,8%

Nous avons également pu vérifier que les choix dans APB ne sont pas différents sur ces deux groupes (candidature en L1, rang du vœu). À titre d'illustration, le tableau ci-dessous représente le rang du vœu dans APB (des étudiants en procédure classique).

	T		I		Total	
	N	% cit.	N	% cit.	N	% cit.
1	86	47,3%	129	52,0%	215	50,0%
2	25	13,7%	35	14,1%	60	14,0%
3	29	15,9%	30	12,1%	59	13,7%
4 et plus	42	23,1%	54	21,8%	96	22,3%
Total	182	100,0%	248	100,0%	430	

$p = 0,64$; Khi² = 1,69 ; ddl = 3 (NS)

Enfin, il n'y a pas de différence significative sur le nombre de redoublant ou d'étudiants en réorientation (voir tableau ci-dessous).

	T		I		Total	
	N	% cit.	N	% cit.	N	% cit.
Néo-entrant non néo-bachelier	85	18,50%	87	14,80%	172	16,40%
Néo-bachelier	247	53,70%	311	52,80%	558	53,20%
Redoublant	94	20,40%	130	22,10%	224	21,40%
Réorientation UPS	34	7,40%	61	10,40%	95	9,10%
Total	460	100,00%	589	100,00%	1049	

$p = 0,17$; Khi² = 5,04 ; ddl = 3 (NS)

Test de positionnement

Lors de l'inscription à l'université, les néo-étudiants passent un test de positionnement, qui permet d'aider l'étudiant à s'orienter lors de son inscription pédagogique. Ce test regroupe des questions de math, de physique et de chimie. Nous avons vérifié qu'il n'y avait pas de différence significative sur les résultats à ce test, comme le montre le tableau ci-dessous.

	Score au test de positionnement			
	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Effectif
T	51,75	15,29	52,94	320
I	51,98	15,62	52,94	381
Total	51,88	15,46	52,94	701

$p = 82,1\%$; F = 0,04 (NS)

Pre-test FCI

Enfin, le tableau ci-dessous montre que les étudiants ont le même niveau initial de compréhension conceptuelle, tel que mesuré par le score au QCM FCI lors du pretest (voir annexe 5) qui a été donné lors de la première semaine du semestre. Ce pre-test mesure donc un niveau initial.

	Note Test FCI			
	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Effectif
T	39,12	15,95	40,00	318
I	39,15	17,93	36,67	430
Total	39,14	17,10	36,67	748

$p = 93,1\%$; $F = <0,01$ (NS)

Ainsi, **la conclusion est que les étudiants des deux groupes (interactif et traditionnel) sont de même niveau initial**, et ce quelque soit le critère considéré.

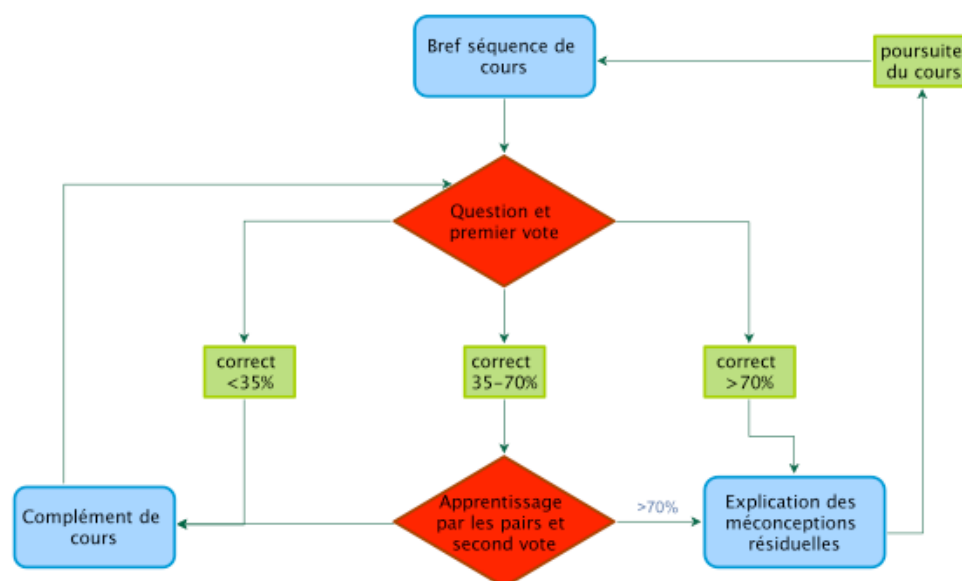
ANNEXE 3 : activités pédagogiques en amphis

L'enseignement interactif s'articule autour de 3 piliers :

- i) l'interrogation au fil de la séance en amphi. Cette interrogation est réellement **effective** car chaque étudiant se positionne clairement sur une réponse.
- ii) l'instruction par les pairs (débat et argumentations entre étudiants). Cette méthode a été développée par Eric Mazur dans les années 90⁵.
- iii) synthèse de l'enseignant.

Ainsi, de façon générique, le cours interactif se déroulait selon le schéma de la figure ci-dessous. Les séquences de cours alternent avec des questions posées aux étudiants et des éventuelles phases de vote. Pour se faire une idée de l'utilisation en cours, voir la vidéo ci-dessous :

<http://www.fsi-toulouse.fr/videos/enseignement-interactif.mp4>



La recherche montre que la bonne situation pour engager la phase de discussion est lorsque le taux de bonne réponse se situe entre 35% et 70%, comme on peut le voir sur la figure ci-dessous.



Comparaison entre amphis interactifs

Comme nous l'avons signalé, les 4 enseignants des amphis interactifs ont consacré un temps variable à la mise en œuvre de l'enseignement interactif. Grossièrement, le niveau d'interactivité peut s'évaluer par la mesure du nombre moyen de questions posées par cours en amphi. Ces chiffres sont de

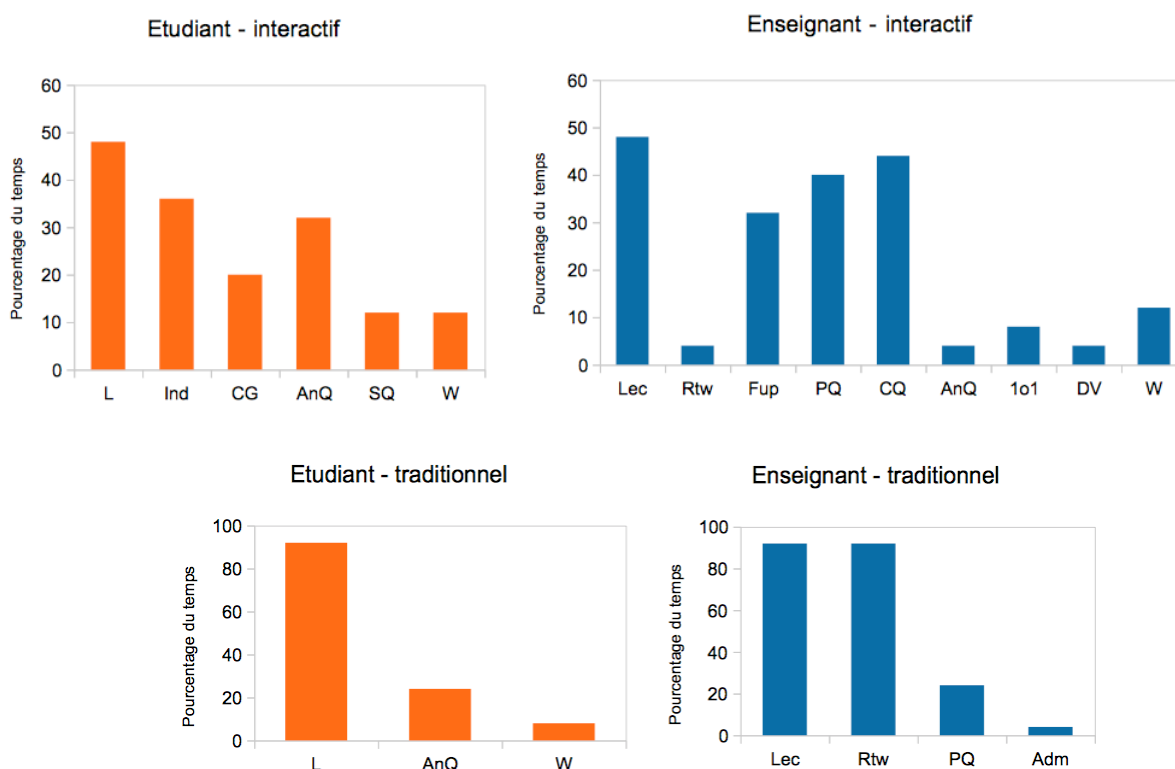
⁵ Voir le blog <https://blog.peerinstruction.net/> pour de nombreuses ressources.

4.9, 6.8, 12.1 et 20.4 (pour l'amphi inversé). Si on définit le niveau d'interactivité relativement à l'amphi inversé, on peut ainsi dire, à l'ordre le plus bas, que **les niveaux d'interactivité étaient de 25%, 33%, 60% et 100%**.

Comparaison entre amphis interactifs et traditionnels

Afin de mesurer plus finement l'activité de l'enseignant et des étudiants lors d'un cours en amphi interactif et en amphi traditionnel, nous avons utilisé une méthode appelée COPUS [Smith 2013], qui a fait ses preuves dans le monde anglo-saxon pour caractériser ce qu'il se passe dans un cours. Sans rentrer dans les détails de cette méthode, nous donnons à titre d'illustration deux figures montrant l'activité typique d'un amphi interactif et d'un amphi traditionnel, du point de vue de l'étudiant (à gauche) et de l'enseignant (à droite). Cette mesure a été effectuée en grande partie par le CDP (Centre de développement de la Pédagogie). Lors de chaque séance observée, la présence de deux observateurs indépendants était nécessaire. Ils doivent, toutes les deux minutes, remplir un tableau pour indiquer l'activité de l'étudiant ainsi que l'activité de l'enseignant⁶. Dans les figures ci-dessous, les activités en abscisses signifient :

- pour l'étudiant. L = écoute; Ind = réflexion individuelle; CG = discussion entre étudiants; AnQ = répond à une question pendant que le reste de l'amphi écoute; SQ = pose une question; W = attend.
- pour l'enseignant. Lec = fait cours en parlant; RtW = écrit au tableau; Fup = feedback de l'enseignant suite à une question; PQ = pose une question sans boitier; CQ = pose une question avec boitier; AnQ = répond à une question d'étudiant; 1o1 = discussion avec un étudiant (le reste de l'amphi écoute); DV = démo (expérience de cours/présentation d'une vidéo etc...); W = attend.



La principale conclusion de ces graphiques est que **l'activité dans une séance interactive est beaucoup plus diversifiée et engage davantage les étudiants**. Cela participe à aérer le cours et à le rendre plus agréable. Dans le cours traditionnel, nous retrouvons nos éléments de constat initial (annexe 1), à savoir le fait que l'étudiant passe l'essentiel de son temps à écouter, et l'enseignant passe l'essentiel de son temps à parler et écrire au tableau (voir les avis de pairs enseignants à ce propos).

⁶ À choisir dans une liste prédéfinie d'activités typiques. On peut cocher plusieurs activités.

À propos du dispositif technique

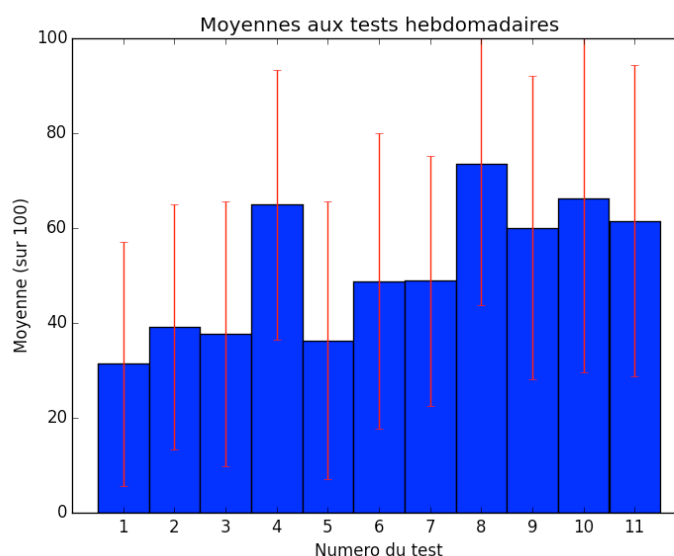
Il est important de préciser que le boîtier utilisé dans les amphis interactifs n'est qu'un outil technologique au service de l'enseignement interactif. Il permet très facilement d'interroger un grand nombre d'étudiants de façon anonyme et de récupérer l'histogramme des réponses en temps réel. **La dimension anonyme est importante dans le dispositif**, elle libère la pensée et permet de lever les obstacles traditionnels à la prise de position d'un étudiant en amphithéâtre. Typiquement, à chaque question, entre 80% et 90% des étudiants répondent à la sollicitation de l'enseignant. Ce chiffre dépend principalement de la difficulté des questions et du rythme des questions⁷. Il est par ailleurs relativement stable avec le temps (au cours du semestre), et sur une séance donnée l'immense majorité des étudiants a au moins répondu une fois.

⁷ Dans l'amphi inversé, il arrivait que les questions s'enchaînent trop vite, et que certains étudiants réfléchissent encore à la question précédente, avant de se mettre à réfléchir à la nouvelle question posée.

ANNEXE 4 : description plus détaillée de l'amphi inversé

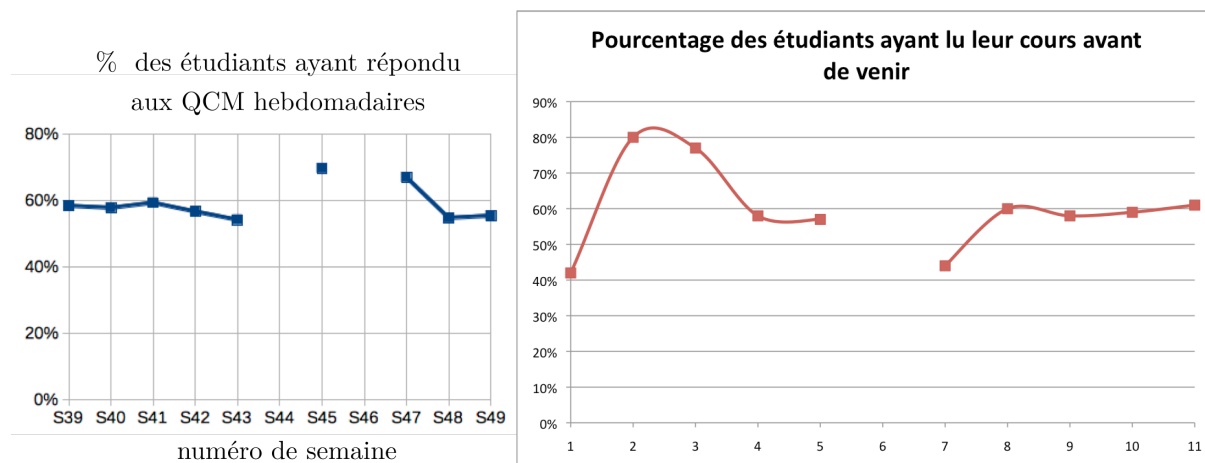
Fort d'une expérience très positive d'amphithéâtre inversé menée en 2011 à l'université Pierre et Marie Curie, le porteur du projet a décidé de tester, sur une des sections interactives, le concept de l'amphithéâtre inversé. Dans ce concept, l'interactivité est poussée au maximum, c'est-à-dire qu'il n'y a plus de "cours" pendant la séance en amphi. La transmission des connaissances, lois, théorèmes, définitions etc..., est un travail reporté à la maison et qui repose sur les épaules des étudiants. La séance en amphi s'apparente à un traitement de l'information, à une assimilation et un ancrage en profondeur des concepts identifiés comme difficiles. En ce sens, le cours ressemble à ce que fait un enseignant de Français lorsqu'il travaille une œuvre. Cette œuvre est lue par les étudiants à la maison, **le rôle de l'enseignant est de mettre en lumière les points clés**. Il s'agit donc d'un changement complet de contrat pour l'étudiant, qui peut se sentir déstabilisé. Il est ainsi nécessaire de présenter en détail ce que l'enseignant attend d'eux, et pourquoi il met en œuvre une telle méthode (nécessité de convaincre).

Pour aider les étudiants, les ressources nécessaires ont été mises en ligne sur Moodle, de telle sorte que chaque étudiant avait accès à l'ensemble du contenu du cours (dont des polys scannés, les transparents des autres enseignants, le livre de référence disponible en ligne sur ScholarVox, des liens vers des cours filmés d'autres universités etc...). Par ailleurs, l'enseignant prévenait, d'une séance à l'autre, ce que les étudiants devaient lire pour le cours suivant⁸. Pour inciter les étudiants à lire leur cours à l'avance, ils devaient répondre à des QCM hebdomadaires en ligne (durant le WE précédent le cours). Ces QCM étaient notés et comptaient, pour une faible part, dans la note finale de l'UE (environ 4% de l'UE). Ils ne sont pas censés être difficiles si le cours a été lu correctement, ils avaient avant tout pour objectif de permettre aux étudiants de **commencer à apprendre avant d'arriver en amphi**. Il a fallu quelques semaines avant de calibrer correctement le niveau des questions. Les premiers QCM étaient trop difficiles, comme le montre le graphique ci-dessous qui représente le taux de bonne réponse à ces QCM hebdomadaires.



En moyenne, 60% des étudiants ont fait régulièrement ces QCM hebdomadaires, comme le montre la figure ci-dessous à gauche. Par ailleurs, la première question posée en amphi était toujours "avez-vous lu votre cours avant de venir ?". Les résultats à cette question figurent ci-dessous à droite et viennent confirmer qu'environ 60% des étudiants seulement lisent leur cours avant de venir. Ces chiffres ne sont pas très satisfaisants, car venir en cours sans avoir travaillé à l'avance ne sert à rien dans le cadre d'un amphi inversé. **Cela montre qu'il est très difficile pour un étudiant en L1 de prendre suffisamment de recul et d'avoir l'autonomie nécessaire pour prendre en main ses apprentissages, même en étant guidé.**

⁸ cette information était affichée sur moodle, avec le numéro des pages à lire sur le livre de référence.



Les étudiants qui n'ont pas répondu aux QCM hebdomadaires sont les étudiants les plus en difficulté sur l'UE, comme le montre le tableau ci-après, où est représentée la moyenne aux trois contrôles continus, pour les étudiants ayant répondu à moins de 8 QCM, et pour ceux ayant répondu à 8 QCM ou davantage. La différence de réussite est très significative, avec une p-value < 0,1%.

Tableau croisé de moyennes
Groupe Parmi "D"

		Moins de 8	8 et plus
NOTE PHYSIQUE 1 CC1	Moyenne	6,91	12,47
	Ecart-type	5,21	4,89
	Médiane	5,38	13,00
	Effectif	64	51
NOTE PHYSIQUE 1 CC2	Moyenne	4,34	8,60
	Ecart-type	3,70	4,97
	Médiane	3,25	8,00
	Effectif	61	48
NOTE PHYSIQUE 1 CC3	Moyenne	5,15	10,13
	Ecart-type	4,18	4,67
	Médiane	4,00	9,45
	Effectif	55	51

nombre de tests repondus / NOTE PHYSIQUE 1 CC1 p = <0,1% ; F = 34,12 (TS)
nombre de tests repondus / NOTE PHYSIQUE 1 CC2 p = <0,1% ; F = 26,37 (TS)
nombre de tests repondus / NOTE PHYSIQUE 1 CC3 p = <0,1% ; F = 33,63 (TS)

Enfin, dans chacun des QCM hebdomadaires de l'amphi inversé figurait une question ouverte suivante : "Quel est le point spécifique le plus difficile et que vous désirez que l'enseignant aborde en cours?". Malheureusement, cette question n'a pas réellement donné lieu à des commentaires à la hauteur de ce qui était attendu. La plupart n'y répondaient pas, ou bien posaient des questions beaucoup trop générales (comme par exemple : "*le plus difficile c'est les lois de Newtons*").

Finalement, quel résultat tirer pour l'amphi inversé ?

Les résultats de cette expérimentation sur l'amphi inversé sont **mitigés**. En ce qui concerne la compréhension conceptuelle, l'objectif est atteint car c'est l'amphi qui décroche le meilleur score au FCI (56,9%). Cependant, l'écart avec un autre amphi dont le niveau d'interactivité était de 60% (score de 56,5%) n'est pas significatif et ne justifie pas un tel déploiement d'effort. La réussite aux contrôles continus est dans la moyenne des amphis interactifs. En ce qui concerne l'avis des étudiants, ceux-ci ne sont pas aussi bons que dans les autres amphis interactifs. En effet, la note sur la question "Recommanderiez-vous cet amphi ?" ressort avec une moyenne de 2,8/5 au lieu de 3,6/5 pour le groupe interactif dans son ensemble. Un commentaire récurrent des étudiants est qu'ils ont "besoin d'un cours". Ainsi, **nous avons abandonné l'idée de faire des amphis inversés en L1**, et avons suggéré de régler le curseur d'interactivité autour de 50%. Les résultats de l'année 2015/2016 montrent que ce choix est payant (bien que les résultats soient encore préliminaires).

ANNEXE 5 : compréhension conceptuelle

Dans cette annexe, nous donnons un peu plus de détails sur les résultats à la compréhension conceptuelle, telle que mesurée par le QCM international Force Concept Inventory, FCI [Hestenes 1992]. Plus de détails figurent dans les articles de conférence [Parmentier 2015].

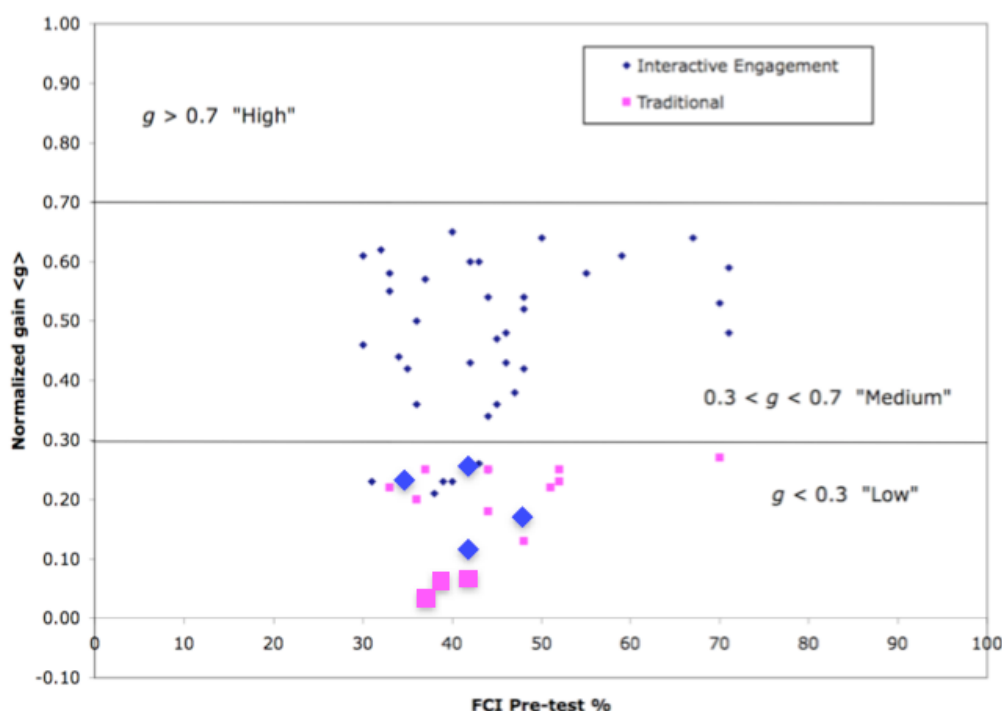
Résultats au FCI

Le tableau ci-dessous résume les résultats au pre-test et post-test FCI pour le groupe traditionnel (T) et le groupe interactif (I). **Les étudiants du groupe interactif terminent avec une compréhension conceptuelle améliorée de 20%, ce qui correspond à un effet très significatif de 0,48 écart type.**

groupe	FCI pre	écart type	FCI post	écart type	N
T	39,8	15,3	43,6	17,9	137
I	41,4	19,2	52,2	19,9	210
p-value	38% (NS)		0,0035 %		

Gain de Hake

La grandeur habituellement considérée pour mesurer la progression des étudiants est le calcul du gain dit de Hake, donné par $g = (\text{post}\% - \text{pre}\%) / (100\% - \text{pre}\%)$. Ce gain est un nombre qui va de 0 à 1⁹, et qui représente la fraction acquise par l'étudiant à la fin du semestre, comparée à ce qu'il lui restait à apprendre¹⁰. Par exemple, un étudiant ayant un pre-test à 40% et un post-test à 70% a gagné 30% sur un total de 60% à gagner potentiellement, ce qui produit un gain de 0,5 (c'est-à-dire 50%). La figure ci-dessous résume les résultats de l'article [Hake 1998], qui représente le gain de Hake (appelé ici "normalized gain" <g>) en fonction du score au pre-test. Les petits losanges bleus représentent des amphis interactifs aux États-Unis, tandis que les petits carrés roses sont des amphis traditionnels (aux États-Unis également). Deux conclusions s'imposent : i) les amphi traditionnels ne dépassent jamais un gain de 0,3; ii) il ne suffit pas de faire un amphi interactif pour que le gain soit supérieur à un amphi traditionnel. Fort heureusement, le rôle de l'enseignant reste essentiel.



⁹ Il peut éventuellement être négatif si l'étudiant régresse. Lors d'une moyenne sur un grand nombre d'étudiants, cette grandeur est toujours positive.

¹⁰ Nous montrons dans le papier [Parmentier 2016] que ce gain est une grandeur pertinente qui sort naturellement d'une analyse d'IRT, lorsque le test vérifie certaines conditions.

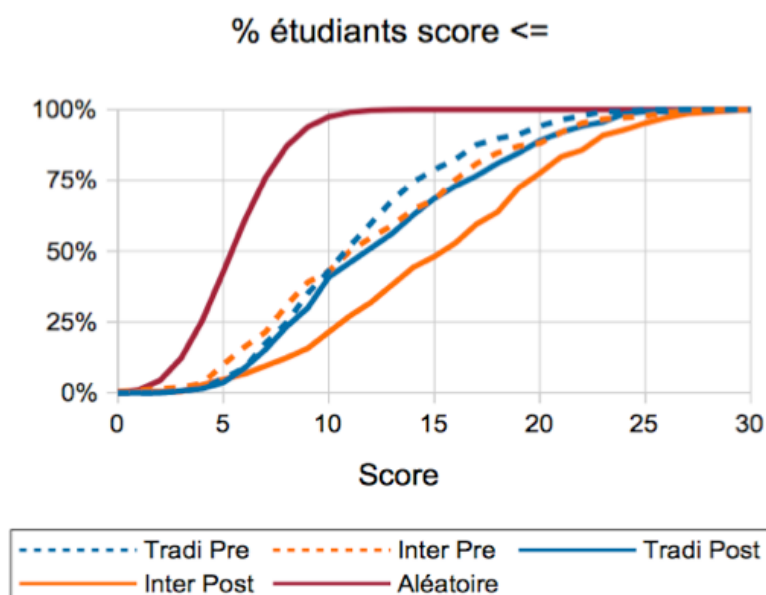
En surimpression et en plus gros sont représentés les points correspondant à notre expérimentation : les 4 amphis interactifs apparaissent en losange bleu et les 3 amphis traditionnels en carré rose. La conclusion est que **les amphis interactifs possèdent globalement un gain supérieur aux amphis traditionnels, malgré une variabilité intrinsèque**. Nous constatons également que nos gains ne sont pas encore au même niveau que ce qui est observé dans le contexte des étudiants américains. Bien sûr, une comparaison directe n'est pas possible, car le contexte est bien différent. À noter également, ces gains augmentent au fur et à mesure de l'expérience acquise, et il n'est pas impossible d'espérer que nos gains soient équivalents à ce que l'on trouve dans la littérature dans les toutes prochaines années.

Le tableau ci-dessous fait le bilan du gain de Hake sur la compréhension conceptuelle, entre le groupe traditionnel et le groupe interactif.

groupe	gain de Hake
Traditionnel	6,4%
Interactif	18,5%

Vision en terme de fonction de répartition

Une autre façon de regarder ces mêmes chiffres est de s'intéresser à la fonction de répartition, c'est-à-dire au pourcentage d'étudiants ayant un score inférieur ou égal à une valeur x donnée, en fonction de x . Cette fonction est nécessairement croissante, et croît de zéro à 100%. La figure ci-dessous représente cette fonction de répartition pour un groupe d'étudiants répondant au hasard au test (violet), ainsi que pour les pre-test (tiret) et post-test (trait plein) des groupes traditionnel (bleu) et interactif (orange). Il est déjà clair que les étudiants ne répondent pas au hasard car les courbes se situent nettement sous la courbe violette. Lors du pre-test (en pointillé), il n'y a pas de différence significative (à l'œil, mais c'est confirmé par un test de Kolmogorov-Smirnov) entre le groupe interactif et traditionnel. Par contre, on constate visuellement une différence significative entre les courbes en trait plein bleue et orange : le groupe interactif est significativement différent du groupe traditionnel (là encore confirmé par un test KS qui retourne une p-valeur de 0,002 pour les scores post-enseignement, alors que l'écart initial était non significatif $p=0,29$).



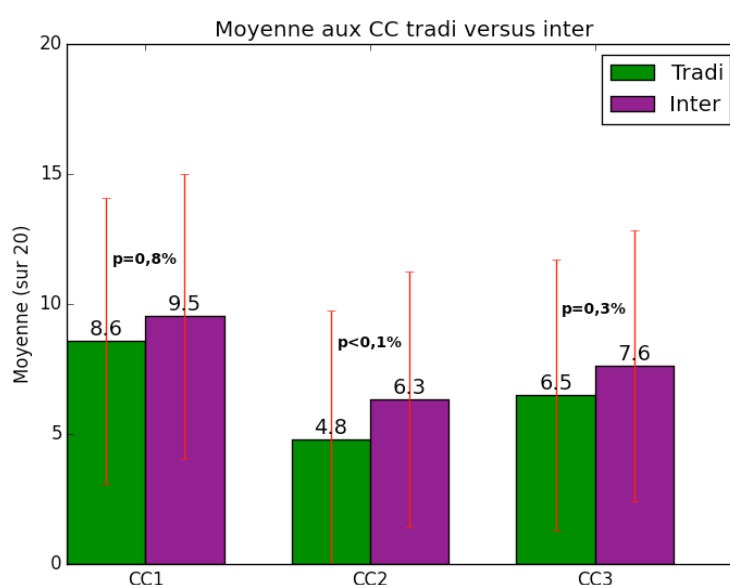
ANNEXE 6 : réussite à l'UE

Dans cette annexe, nous donnons davantage de détails sur l'analyse des résultats aux diverses évaluations de l'UE de physique 1.

Résultats aux CC

L'UE était composée de 3 contrôles continus au cours du semestre. Le graphique et le tableau ci-dessous donnent les moyennes et écarts types pour le groupe interactif et le groupe traditionnel. **L'écart entre les deux groupes est très significatif, avec p-value=0,02%.**

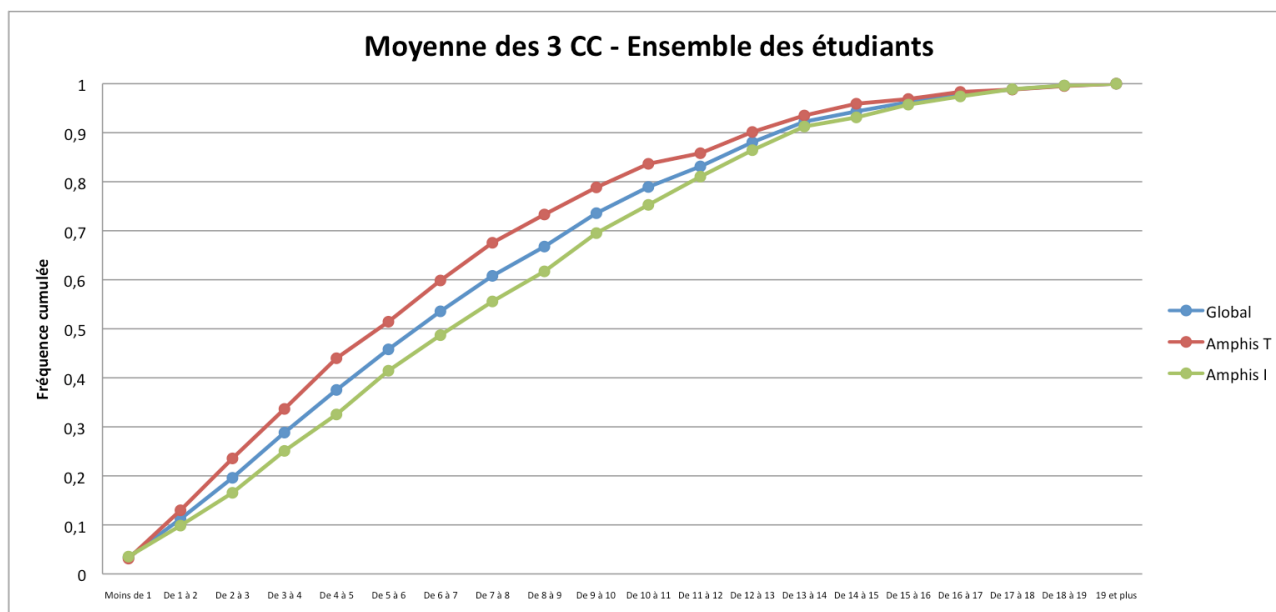
groupe	moyenne aux CC		
	moyenne	écart-type	effectif
Traditionnel	6,51	4,27	416
Interactif	7,61	4,46	538
p-value	0,02%		



Notons qu'un effet aussi important sur les notes aux CC n'était pas attendu. Puisque 15% de la note était consacré à des questions conceptuelles, et que le groupe interactif termine avec une meilleure compréhension conceptuelle, il est légitime de se demander si cette différence aux CC ne provient pas de cette introduction des questions conceptuelles. Cela n'est pas le cas. En effet, la note des concepts aux CC a représenté environ 15% de la note finale. Ainsi, avec une amélioration de la compréhension conceptuelle d'environ 20% (voir annexe 5), on peut s'attendre à ce qu'au maximum il y ait un écart de 3% de la note totale, soit 0,6 point. Or, nous constatons ici un écart de plus de 1 point à chacun des CC. Il semble donc y avoir un effet propre à l'enseignement interactif dans la réussite aux parties traditionnelles des CC¹¹.

De la même façon que pour le FCI, il est intéressant de s'intéresser à la fonction de répartition sur la note moyenne aux 3 CC. Cette fonction est représentée dans la page suivante. En vert figure le groupe interactif, en rouge le groupe traditionnel, et en bleu l'ensemble des étudiants. Il y a une différence nette entre les populations traditionnelle et interactive. Avec cette représentation, plus une courbe est "basse", meilleurs sont les résultats. Ainsi, la courbe verte est sous la courbe rouge, les étudiants interactifs réussissent mieux que les étudiants traditionnels.

¹¹ Voir l'annexe 10 pour se faire une idée des parties traditionnelles des CC.



Réussite globale à l'UE

Les résultats précédents sur les CC se traduisent par une différence de taux de réussite sur l'UE de physique 1. Ce taux de réussite est résumé dans le tableau ci-dessous. **Le taux de réussite du groupe traditionnel est de 19,6%, tandis que celui du groupe interactif est de 30,8%, soit une augmentation de 50% !** La significativité de ce résultat est très forte ($p\text{-value} < 0,01$).

Meca_TI, NOTE UE PHYSIQUE 1

	T		I		Total	
	N	% cit.	N	% cit.	N	% cit.
Moins de 10,00	370	80,4%	407	69,2%	777	74,1%
10,00 et plus	90	19,6%	181	30,8%	271	25,9%
Total	460	100,0%	588	100,0%	1048	

$p = < 0,01$; $\text{Khi}^2 = 16,94$; $\text{ddl} = 1$ (TS)

La relation est très significative.

Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.

Effet garçon/fille

Comme nous l'avons signalé, le seul biais existant entre le groupe interactif et traditionnel est la fraction garçon/fille. Nous avons donc regardé la réussite aux CC pour les filles d'une part, et celui pour les garçons d'autre part. Le tableau ci-dessous résume la situation. Il montre que **les filles réussissent globalement mieux que les garçons, mais en revanche ne réussissent pas mieux en étant dans le groupe interactif, contrairement aux garçons**. Ainsi, les filles semblent ne pas être aussi "sensibles" que les garçons à l'interactivité qui est mise en œuvre dans l'amphi, en tout cas en ce qui concerne la réussite aux CC¹².

Filles

	MOYENNE AUX CC			
	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Effectif
T	7,82	4,09	7,29	70
I	8,42	4,44	7,83	124

$p = 36,1\%$; $F = 0,85$ (NS)

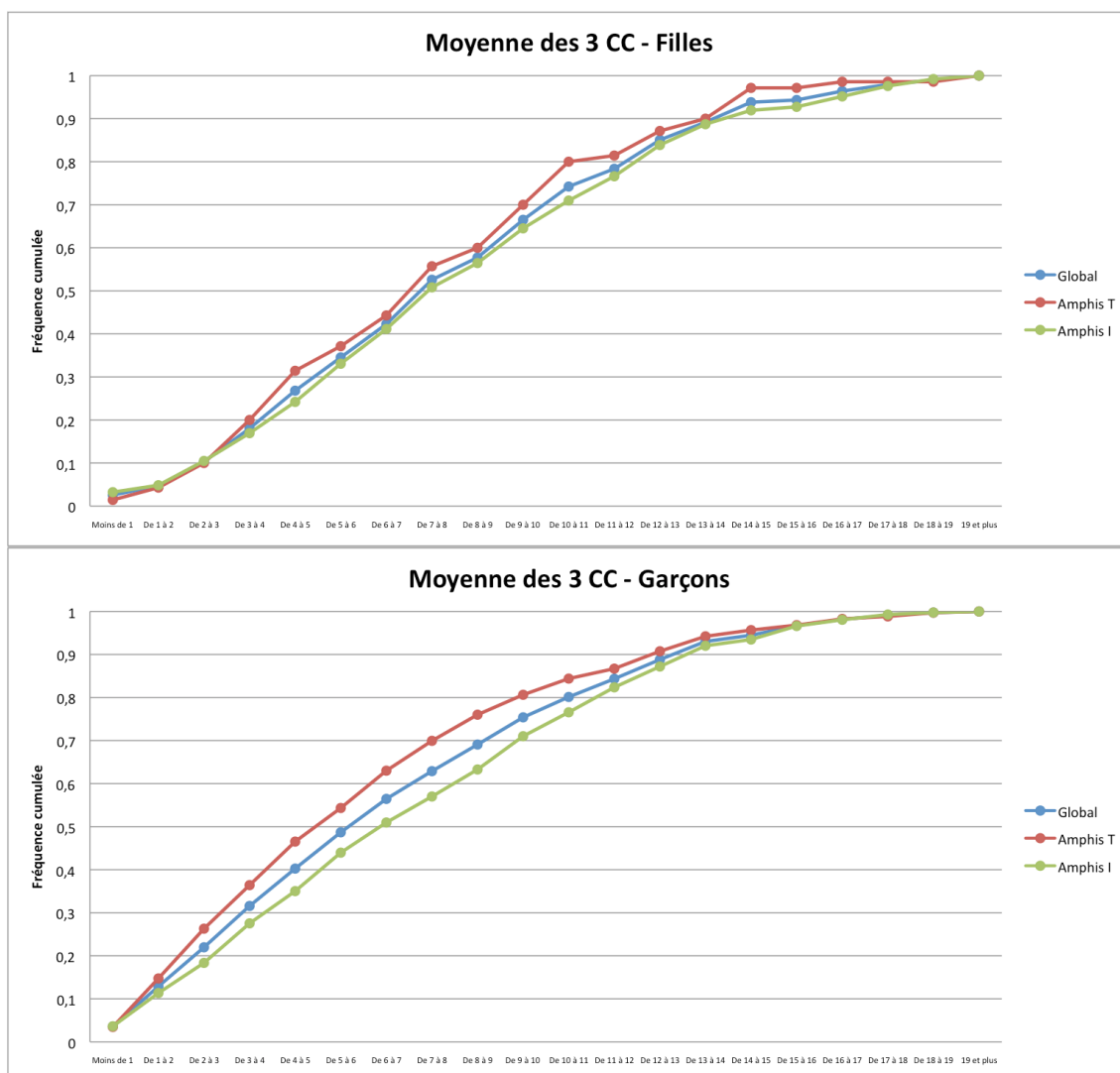
Garçons

	MOYENNE AUX CC			
	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Effectif
T	6,25	4,26	5,29	346
I	7,37	4,44	6,88	414

$p = 0,05\%$; $F = 12,54$ (TS)

¹² Une telle analyse pour la compréhension conceptuelle n'a pas encore été menée, elle permettra de tirer une conclusion plus fine sur l'effet de l'enseignement interactif en fonction du genre. Pour le moment, il n'est pas possible de tirer la moindre conclusion.

De la même manière que précédemment, il est utile de visualiser la fonction de répartition, pour avoir une représentation graphique des données précédentes.



Réussite dans une UE connexe

Nous avons regardé si la meilleure réussite dans l'UE de physique 1 pour le groupe interactif se retrouvait également dans les autres UE. Le tableau ci-dessous montre que les étudiants sont de même niveau en ce qui concerne l'UE de math (qui a lieu en même temps que l'UE de physique et qui a été enseigné par le biais de cours-TD intégrés). Ainsi, les deux groupes sont bien homogènes dans leur compétence en mathématique.

Tableau croisé de moyennes

	NOTE UE MATHS 1			
	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Tx de réponse
T	9,64	4,69	9,98	84,3%
I	10,00	4,71	10,05	84,2%

$p = 25,4\%$; $F = 1,30$ (NS)

La relation n'est pas significative.

Cependant, nous avons constaté un effet très intéressant sur une UE appelée "Outil math", qui était enseigné de façon traditionnelle en cours-TD intégrés. Cette UE est enseignée essentiellement par

des physiciens, et consiste à apprendre à utiliser les outils mathématiques pour résoudre des problèmes de physique (dérivation, vecteurs, complexes, équation différentielle etc...). Dans cette UE, le groupe interactif réussit bien mieux ($p\text{-value} < 0,01$), comme le montre le tableau ci-dessous. **Ainsi, le travail mené dans l'UE de physique a en quelque sorte "diffusé" et produit une meilleure réussite dans cette UE d'outil math.** Il est probable qu'utiliser l'outil mathématique, sur une situation physique donnée, soit plus simple si on comprend un peu mieux la situation physique en question ("donner du sens à la situation").

Meca_TI, NOTE UE PHYSIQUE 1

	T		I		Total	
	N	% cit.	N	% cit.	N	% cit.
Moins de 10,00	370	80,4%	407	69,2%	777	74,1%
10,00 et plus	90	19,6%	181	30,8%	271	25,9%
Total	460	100,0%	588	100,0%	1048	

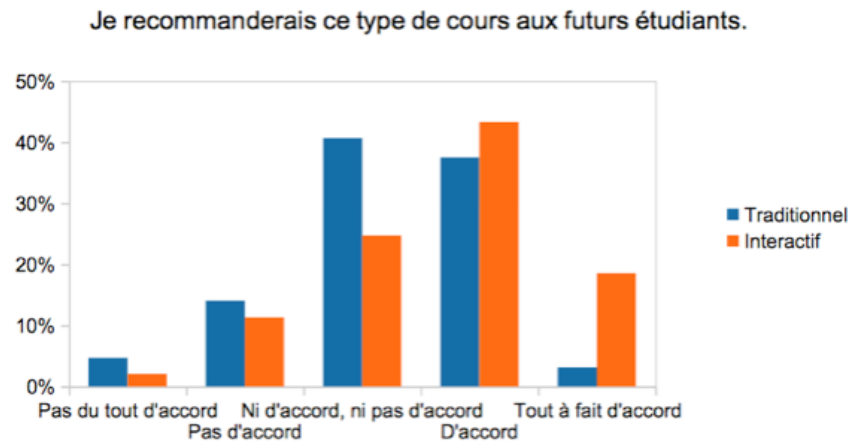
$p = <0,01$; Khi2 = 16,94 ; ddl = 1 (TS)

La relation est très significative.

Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.

ANNEXE 7 : taux de satisfaction

Nous fournissons ci-dessous l'histogramme des réponses à la question : "Recommanderiez-vous ce cours?", lors de l'année 2014/2015. La différence entre le groupe traditionnel et interactif est significative nette. Ce qui est frappant, c'est que la fraction des étudiants très satisfaits de leur cours est très supérieure dans le cadre des amphis interactifs.



Le tableau ci-dessous résume les données avec le niveau de significativité. Dans l'annexe 8, nous montrons qu'en 2015/2016 nous avons encore amélioré ces résultats. **L'effet est de $0,5\sigma$.**

groupe	Note (sur 5)		
	moyenne	écart-type	effectif
Traditionnel	3,2	0,9	64
Interactif	3,6	1,0	97
p-value	0,0033		

ANNEXE 8 : évolution d'une année sur l'autre

Le but de cette annexe est d'étudier la progression sur les différents critères précédents (annexe 5 à 7), entre les années 2013/2014 (tout traditionnel) et l'année 2015/2016 (tout interactif), en passant par l'année 2014/2015 (un groupe interactif et un groupe traditionnel).

Taux de réussite à l'UE entre l'année 2013/2014 et 2014/2015

Le taux de réussite global de l'UE de physique 1 en 2013/2014 est de 26,5%. Il est globalement inchangé par rapport à 2014/2015 (25,6%), et ce malgré la meilleure réussite des étudiants du groupe interactif. Le tableau ci-dessous résume la situation¹³.

Année	Taux de réussite	
	traditionnel	interactif
2013	26,5%	
2014	19,6%	30,8%
	global : 25,6%	

Cela provient du fait que les étudiants traditionnels ont moins bien réussi quand l'année précédente. Cela peut être dû à plusieurs facteurs : premièrement, l'introduction de questions conceptuelles a peut-être déstabilisé certains étudiants du groupe traditionnel. Deuxièmement, le niveau initial moyen en physique, tel que mesuré par la note au bac dans l'épreuve de Physique/Chimie, est plus faible en 2014/2015 qu'en 2013/2014. De façon plus précise, le tableau ci-dessous montre qu'il y a un écart de 0,5 point entre 2013 et 2014, et que le niveau de significativité est très fort.

Année	note PC bac	écart type	N
2013	12,56	2,71	439
2014	12,07	2,56	448
p-value	0,005		

Évolution de la compréhension conceptuelle

Entre 2013/14 et 2014/15, le niveau du post-test du groupe traditionnel a légèrement augmenté. Cela pourrait être un effet provenant de l'introduction de questions conceptuelles aux CC, qui donne un message fort aux étudiants que c'est important.

2014			2015			Delta FCI
Choix restreint		Post FCI	Choix restreint		Post FCI	
INFO	T	37,2 %	INFO	T	45,9 %	8,7 %
CHIMIE	T	45,4 %	INFO	I	56,5 %	11,1 %
INFO	T	40,4 %	INFO	T	43,6 %	3,2 %
INFO	T	39,6 %	INFO	I	56,9 %	17,3 %
INFO	T	34,4 %	CHIMIE	I	48,2 %	13,8 %
CHIMIE	T	34,4 %	CHIMIE	I	48,2 %	13,8 %
CHIMIE	T	40,5 %	CHIMIE	T	40,3 %	-0,2 %

Le point important dans la comparaison 2013/2014, c'est que pour un enseignant donné, après changement de sa pédagogie, le niveau de compréhension conceptuel de ses étudiants augmente sensiblement, comme le montre le tableau ci-dessus. Dans ce tableau les lignes en jaune correspondent

¹³ Les données 2015/2016 ne sont pas encore disponibles.

à des enseignants qui ont basculé d'un enseignement traditionnel) un enseignement interactif en 2014. Le score de leurs étudiants en 2013 et en 2014 est donné dans les différentes colonnes. Il ne faut pas tirer de conclusion trop hâtive de ce tableau, car certains enseignants ont changé de section, donc avaient par exemple des étudiants plutôt chimistes en 2013, puis des étudiants plutôt informaticiens en 2014. Ces deux populations n'étant pas identiques, il peut y avoir un biais. Cependant, on voit clairement que ceux qui sont restés dans le format traditionnel n'ont pas (ou peu) amélioré la performance de leur étudiant sur la compréhension conceptuelle, contrairement à ceux qui ont changé de pratique pédagogique.

Les résultats pour l'année 2015/16 sont trop récents pour pouvoir être montré ici. Cependant, on constate nettement deux choses : *i)* les enseignants qui ont basculé en 2015 en amphitheâtre interactif obtiennent, pour leurs étudiants, des résultats équivalents au groupe interactif de 2014. *ii)* Les enseignants qui ont maintenant 1 an d'expérience accumulée ont encore amélioré la performance de leur étudiant au regard de la compréhension conceptuelle. **Ainsi, avec l'expérience on progresse dans notre métier et on fait mieux progresser les étudiants.**

Taux de satisfaction à l'UE

De façon simple, nous pouvons caractériser le taux de satisfaction en considérant la moyenne des réponses à la question "Recommanderiez-vous ce cours" (échelle de Likert sur 5). Le tableau ci-dessous montre les résultats, sur les 3 dernières années (2013/14, 2014/15 et 2015/16).

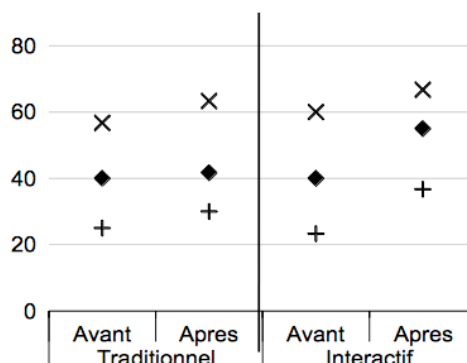
	2013	2014	2015
Traditionnel	3,2	3,2	N/A
Interactif	N/A	3,6	3,7

Trois résultats se dégagent :

- Les amphis traditionnels semblent ressortir avec une moyenne constante égale à 3,2/5.
- Les amphis interactifs ressortent avec une meilleure moyenne, 3,6/5. En 2014, l'écart entre traditionnel et interactif est statistiquement significatif avec une p-value de 0,0033. Cela correspond à un effet de $0,5\sigma$.
- Entre 2014 et 2015, le taux de satisfaction a légèrement progressé, ce qui peut laisser penser que l'équipe enseignante s'est améliorée en tenant compte des retours des étudiants (par exemple en introduisant des DM tout au long du semestre).

ANNEXE 9 : à qui profite le plus l'enseignement interactif ?

Nous avons essayé de savoir à qui profitait le plus l'enseignement interactif. De façon simple et préliminaire, nous avons commencé par découper les étudiants en trois groupes (faible, moyen, fort), sur la base de leur résultat au pre-test. Pour chacun de ces groupes, nous avons mesuré le niveau pre-test et le niveau post-test. Les résultats sont représentés sur la figure ci-dessous, qui représente le score au FCI (en %) en échelle verticale. Les trois groupes d'étudiants sont représentés par le symbole +, un losange et une croix x. Ce graphique permet de tirer les conclusions suivantes : *i)* les étudiants du groupe traditionnel progressent peu, quelque soit leur niveau initial. *ii)* dans le groupe interactif, les étudiants qui progressent le plus sont les étudiants initialement les plus en difficulté car ce sont ceux qui ont la pente la plus importante. Les bons étudiants ne progressent pas plus dans un amphi interactif ou dans un amphi traditionnel.

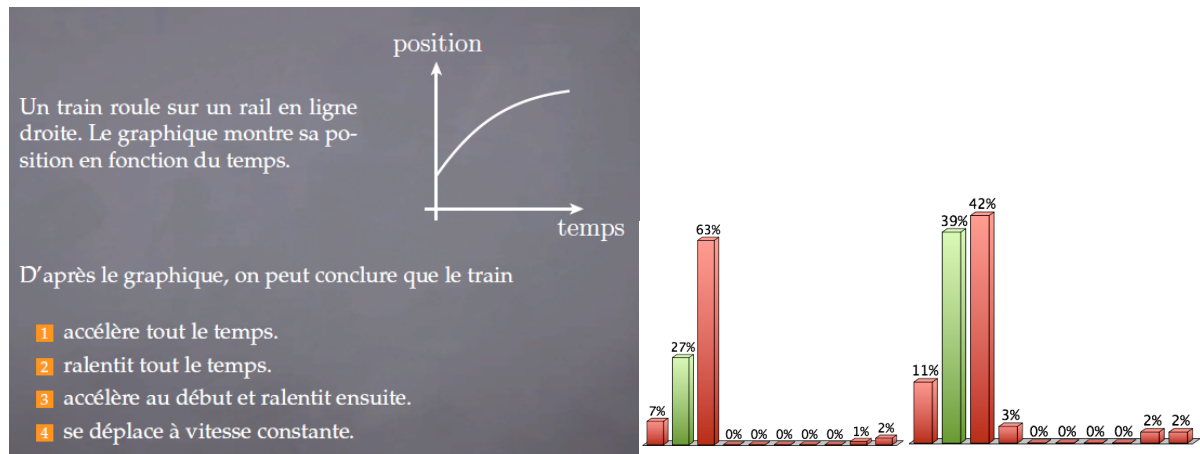


Une étude plus approfondie, basée sur l'IRT (Item Response Theory), confirme le constat que l'enseignement interactif profite davantage aux étudiants les plus en difficulté (voir [Parmentier 2016] pour plus de détails). Basé sur ce constat, des enseignants du parcours "Cap Réussite" ont décidé d'utiliser une dose d'enseignement interactif dans leurs cours-TD. Ce parcours s'adresse aux étudiants en difficulté, en leur proposant un premier semestre de rattrapage et d'approfondissement de la terminale.

ANNEXE 10 : quelques exemples de questions

Exemple de questions posées en cours et évolution des réponses

Nous donnons ci-dessous un exemple de question de cinématique, avec l'histogramme du premier vote et du second vote. On voit sur cet exemple que la relation entre position, vitesse et accélération n'est pas maîtrisée graphiquement. On voit sur cet exemple que la discussion permet de significativement améliorer le taux de bonne réponse. À l'issue d'une séquence de quelques questions sur la cinématique 1D, les étudiants finissent par assimiler ces concepts.



Exemple de questions posées en contrôle continu

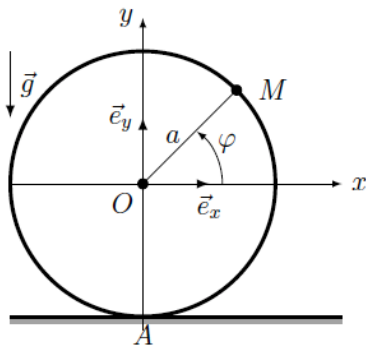
Nous joignons ci-dessous un exemple de question conceptuelle posée en examen. La troisième loi de Newton avait été travaillée en amphi sur divers exemples (entre des objets de masses différentes, avec des forces de contact ou des forces à distance etc...). À chaque fois, nous demandions de justifier la réponse. Les points n'étaient accordés que si la justification était correcte.

1.1 Question 1

On jette une pierre par terre. Elle décrit une trajectoire parabolique du fait du poids.

1. Durant la chute libre vers le sol, laquelle des propositions suivantes est vraie (on considère la norme des forces)
 - (a) La force exercée par la Terre sur la pierre est plus petite que la force exercée par la pierre sur la Terre.
 - (b) La force exercée par la Terre sur la pierre est égale à la force exercée par la pierre sur la Terre.
 - (c) La force exercée par la Terre sur la pierre est plus grande que la force exercée par la pierre sur la Terre.
2. Justifier votre réponse.

En comparaison, un exercice traditionnel dans le même CC est reproduit ci-dessous. On constate immédiatement que les compétences demandées ne sont pas les mêmes.



Un *skater* souhaite effectuer un *looping*, c'est-à-dire une rotation complète le long d'une rampe (figure de droite). On assimile ce *skater* à un point matériel M de masse m . On admet que la rampe est un cercle de centre O et de rayon a et que le skater M se déplace à l'intérieur du cercle contenu dans le plan défini par le repère orthonormé $\mathcal{R}_O = (O, \vec{e}_x, \vec{e}_y)$ assimilé au référentiel d'observation (voir figure de gauche). A l'instant $t = 0$, le *skater* M se trouve au point A avec une vitesse initiale $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$ où $v_0 > 0$. On considère dans la suite qu'aucun frottement ne s'exerce sur le *skater*.

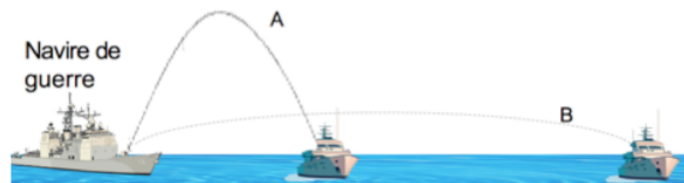
On introduit les coordonnées polaires (ρ, φ) où $\rho = \|\vec{OM}\| = a$ et $\varphi = (\vec{e}_x, \vec{OM})$ est l'angle entre $\vec{e}_x$ et le vecteur position (voir figure de gauche).

- 2.1 Sur le schéma, représenter la base polaire $(\vec{e}_\rho, \vec{e}_\varphi)$ associée au point M ainsi que la vitesse $\vec{v}_0$.
- 2.2 Sur le schéma, représenter les forces s'exerçant sur le point matériel M .
- 2.3 Écrire dans la base polaire $(\vec{e}_\rho, \vec{e}_\varphi)$ et en fonction de a et φ le vecteur position, la vitesse et l'accélération de M par rapport à $\mathcal{R}_O$ (la démonstration des relations n'est pas demandée).
- 2.4 Exprimer $\vec{g}$ dans la base cartésienne $(\vec{e}_x, \vec{e}_y)$ et dans la base polaire $(\vec{e}_\rho, \vec{e}_\varphi)$.
- 2.5 Écrire sous forme vectorielle dans la base $(\vec{e}_\rho, \vec{e}_\varphi)$ la loi fondamentale de la dynamique appliquée au point M .
- 2.6 En déduire deux équations scalaires.

Exemple de questions posées sur moodle en amont des cours de l'amphi inversé

Afin d'entraîner les étudiants sur ces questions conceptuelles, des QCM en ligne étaient disponibles sur moodle. Au total, il y a eu un QCM par semaine (11 au total). Pour les étudiants de l'amphi inversé (voir plus loin), ces QCM étaient obligatoires et comptés dans leur note de l'UE. Pour les autres étudiants, ces QCM étaient facultatifs.

Un navire de guerre tire en même temps deux boulets de canon à la même vitesse (mais pas avec la même inclinaison). Si les boulets suivent les trajectoires paraboliques ci-dessous, lequel des deux bateaux est touché en premier ?



Veuillez choisir une réponse :

- ☐ Les deux se font toucher en même temps 24%
- ☒ Le navire B 38%
- ☐ Il manque des informations pour pouvoir répondre 22%
- ☐ Le navire A 11%

Références

1. C. H. Crouch and E. Mazur, *Peer Instruction: Ten years of experience and results*, American Journal of Physics, 2001, vol 69 (9), p.970-977.
2. R.R. Hake, Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, American Journal of Physics, 1998, vol 6 (1), p.64-74.
3. D. Hestenes, M. Wells, and G. Swackhamer, *Force concept inventory*, Phys. Teach. 30, 141 (1992); doi: 10.1119/1.2343497
4. N. Lasry, J. Watkins, E. Mazur and A. Ibrahim, *Response times to conceptual questions*, Am. J. Phys. 81 (9), September 2013
5. F. Mercier, B. David, R. Chalon, J.-P. Berthet. *Amphithéâtres interactifs dans l'enseignement supérieur*. Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et de l'Industrie, Oct 2004, Compiègne, France. Université de Technologie de Compiègne, pp.400-406, 2004, <ISBN : 2-913923-12-7>.<edutice-00000728>
6. Parmentier, J.-F. et Lamine, B., *Que comprennent nos étudiants de la mécanique ?*, proceeding du Congrès Français de Mécanique, Lyon 2015.
7. Parmentier, J.-F., Lamine, B. et Bonnafé, S., *Changer les conceptions en mécanique des étudiants en L1 à l'université*, proceeding du Congrès Français de Mécanique, Lyon 2015
8. Parmentier, J.-F. et Lamine, B., Interpreting gains and losses in conceptual test using Item Response Theory , arXiv:1509.03878 (2016)
9. A.L. Rudolph, B. Lamine, M. Joyce, H. Vignolles, and D. Consiglio. *Introduction of Interactive Learning into French University Physics Classrooms*”, Physical Review Special Topics - Physics Education Research 10, no. 1 (January 27, 2014): 010103. doi:10.1103/PhysRevSTPER.10.010103
10. M. K. Smith, F. H.M. Jones, S. L. Gilbert and C.E. Wieman, CBE—Life Sciences Education Vol. 12, 618–627, Winter 2013, *The Classroom Observation Protocol for Undergraduate STEM (COPUS): A New Instrument to Characterize University STEM Classroom Practices*
11. M. K. Smith, W. B. Wood, W. K. Adams, C. Wieman, J. K. Knight, N. Guild, T. T. Su, *Why Peer Discussion Improves Student Performance on In-Class Concept Questions*, science 2009, vol 323 (5910), p.122-124.
12. M. K. Smith, W. B. Wood, K. Krauter, and J. K. Knight, *Combining Peer Discussion with Instructor Explanation Increases Student Learning from In-Class Concept Questions*, CBE Life Sci Educ, vol. 10, no. 1, pp. 55–63, Mar. 2011.
13. K. VanLehn, *The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems*, Educational Psychologist, 46(4), 197–221, 2011
14. J. Watkins and E. Mazur, *Retaining Students in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Majors*, Journal of College Science Teaching (2013), Vol. 42, No. 5, 2013, p.36
15. S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, and M. P. Wenderoth, *Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics*, PNAS, vol. 111, no. 23, pp. 8410–8415, Jun. 2014.
16. Deslauriers, Louis, Ellen Schelew, and Carl Wieman. *Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class.*, Science 332, no. 6031 (May 13, 2011): 862–64. doi:10.1126/science.1201783.