
Les laboratoires par recherche
guidée en physique :
la modélisation au cœur de
l'apprentissage.

par Vincent Sicotte et Jean-François Désilets
Collège Montmorency

Colloque AQPC, juin 2023



Sarah

Pour moi, résoudre un problème de physique, c'est trouver la bonne équation et y insérer les valeurs.

On ne peut pas expliquer des idées de physique sans formules mathématiques.

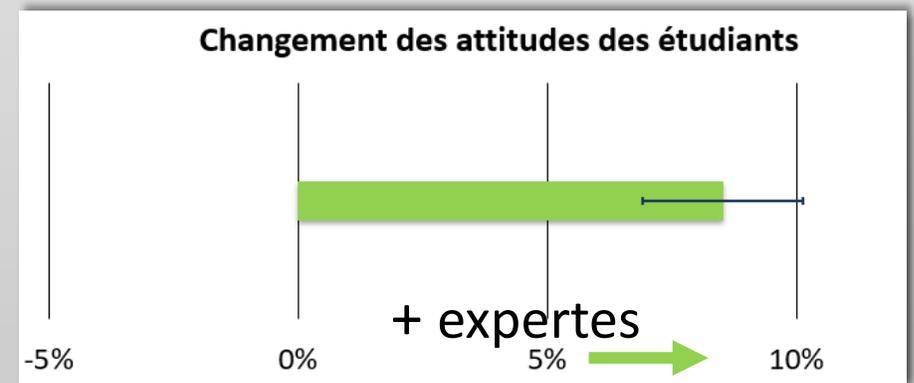
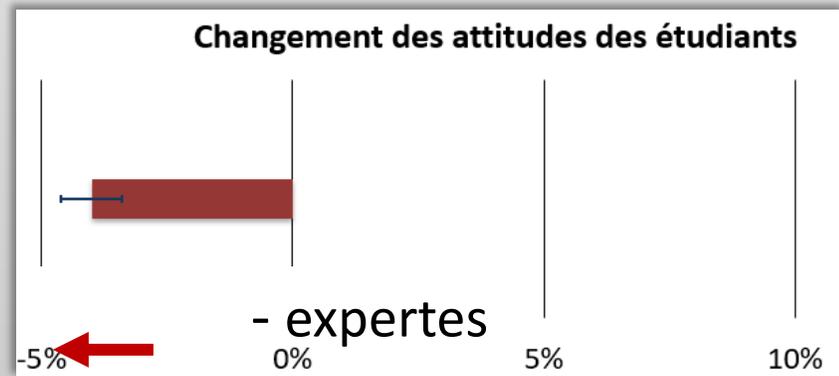


Victor

C'est important que le gouvernement approuve les nouvelles idées scientifiques avant qu'elles soient largement acceptées.



Gary



Plan de la présentation

Contexte : révision du programme de Sciences de la nature

Caractéristiques et rôle des laboratoires

Des labos nuisibles à l'apprentissage?

Solution? Des labos plus ouverts!

L'approche par la modélisation : avantages, défis

Effets sur les étudiants (*FCI* et *CLASS*)

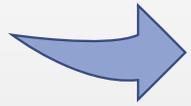
Un projet pilote en Mécanique à Montmorency (A22 – H23)

Notre version « cégep » de la modélisation

Nos résultats

Axes futurs

Lors des consultations entourant le *nouveau programme* de Sciences de la nature, des *lacunes* sont identifiées dans la formation collégiale.



Les étudiants
peinent à...

- mettre en application une démarche scientifique;
- faire preuve d'autonomie devant des problèmes complexes.

En science, des laboratoires prescriptifs sont une norme répandue :

- Les étudiants suivent une série d'étapes fournies;
- utilisent des fichiers préprogrammés (p. ex. Excel);
- « *vérifient* » des lois et phénomènes.

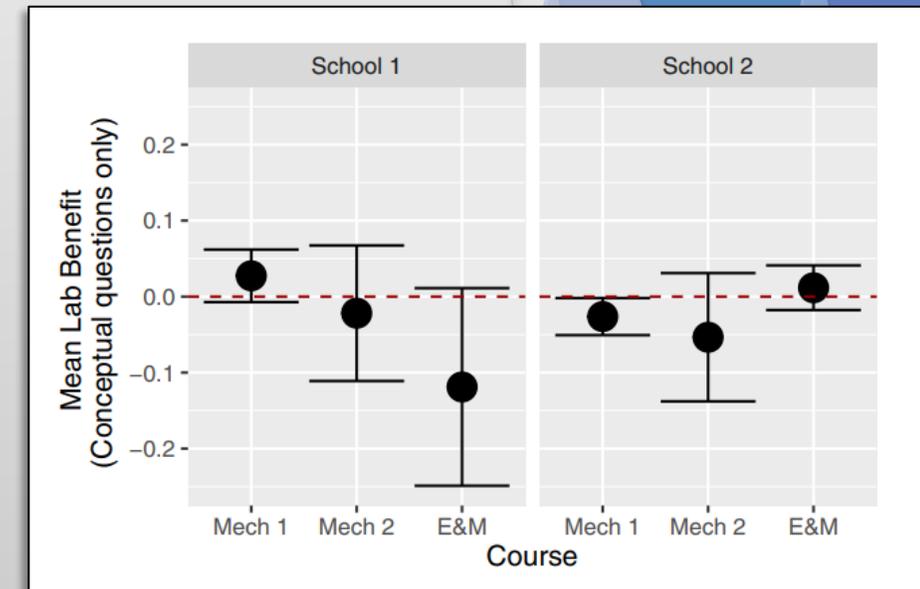
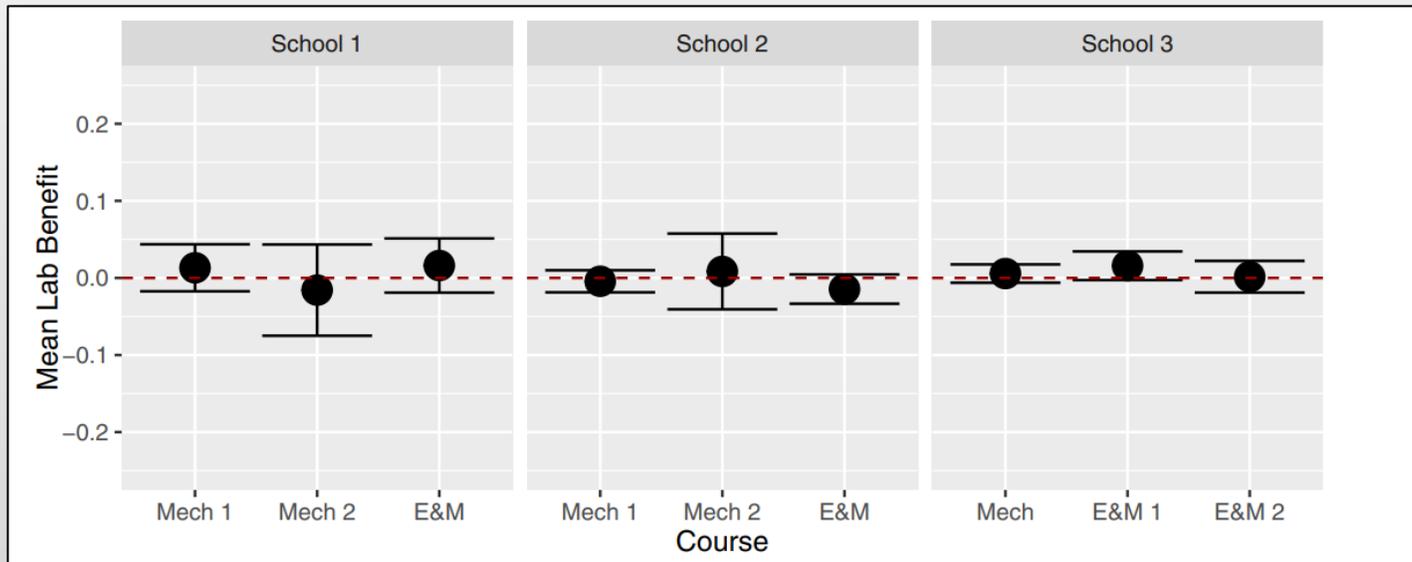
Ces labos « recettes » sont plus faciles à gérer...

...mais quels sont les bénéfices
pour les étudiants?



Les laboratoires et l'apprentissage : (Holmes et coll. 2017)

- L'effet des laboratoires sur la réussite aux examens et sur la compréhension conceptuelle
- 9 cours de physique dans 3 universités aux profils très différents
- caractéristique : labos optionnels



“ ...un *lien rompu* entre les objectifs d'apprentissage et les résultats des étudiants. ”

Les laboratoires et la nature de la science

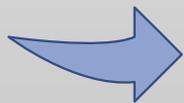
En laboratoire, les tâches proposées aux étudiants font très peu intervenir les processus cognitifs de la démarche scientifique :

- Pratiquer des techniques et utiliser des instruments;
- Collecter et analyser des données selon un protocole fourni.

« [Ces tâches] peuvent favoriser une épistémologie non scientifique dans laquelle le raisonnement scientifique est considéré comme simple, certain, algorithmique et axé sur un niveau superficiel d'observation. »

(Chinn, C. et Malhotra, B. 2002)

Est-ce qu'on inculque à nos étudiants une conception erronée de la nature de la science?



- Comment ces futurs citoyens verront-ils la science?
- Quels effets sur le débat public?

La recherche guidée en Mécanique à Montmorency

Une dizaine de laboratoires de vérification :

- protocoles semi-dirigés
- fichiers Excel préprogrammés
- valeurs de référence fournies, avec signal d'alerte

Cinq laboratoires :

- sur 2 ou 3 semaines
- aucun protocole ni fichier fourni

Transformation basée sur :

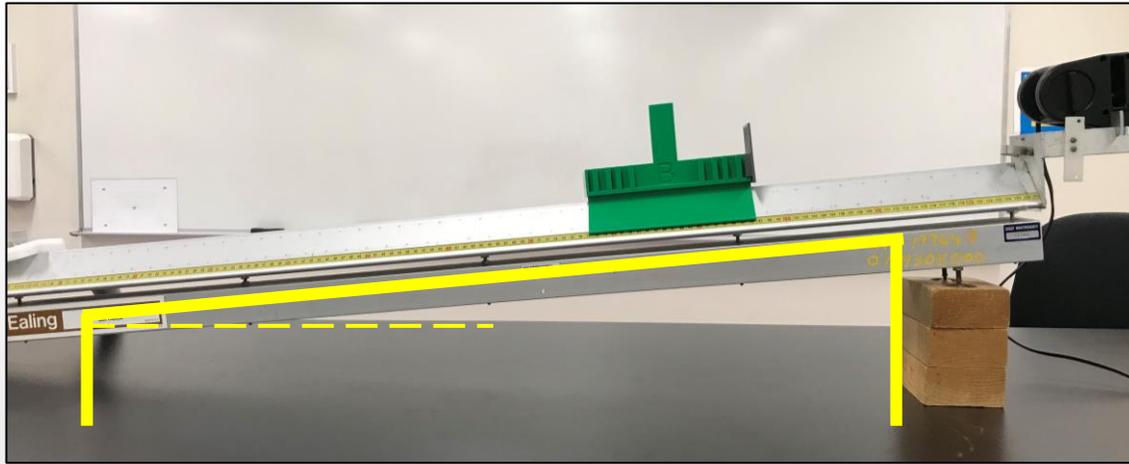
- le matériel existant
- un étayage décroissant au cours de la session
- des cadres de référence théoriques :

(d'après Blanchard et coll. 2010)

Niveau	Question de recherche	Méthode de collecte de données	Interprétation des résultats
0 : Vérification	Prof	Prof	Prof
1 : Structuré	Prof	Prof	Étudiant
2 : Guidé	Prof	Étudiant	Étudiant
3 : Ouvert	Étudiant	Étudiant	Étudiant

Rail à air incliné

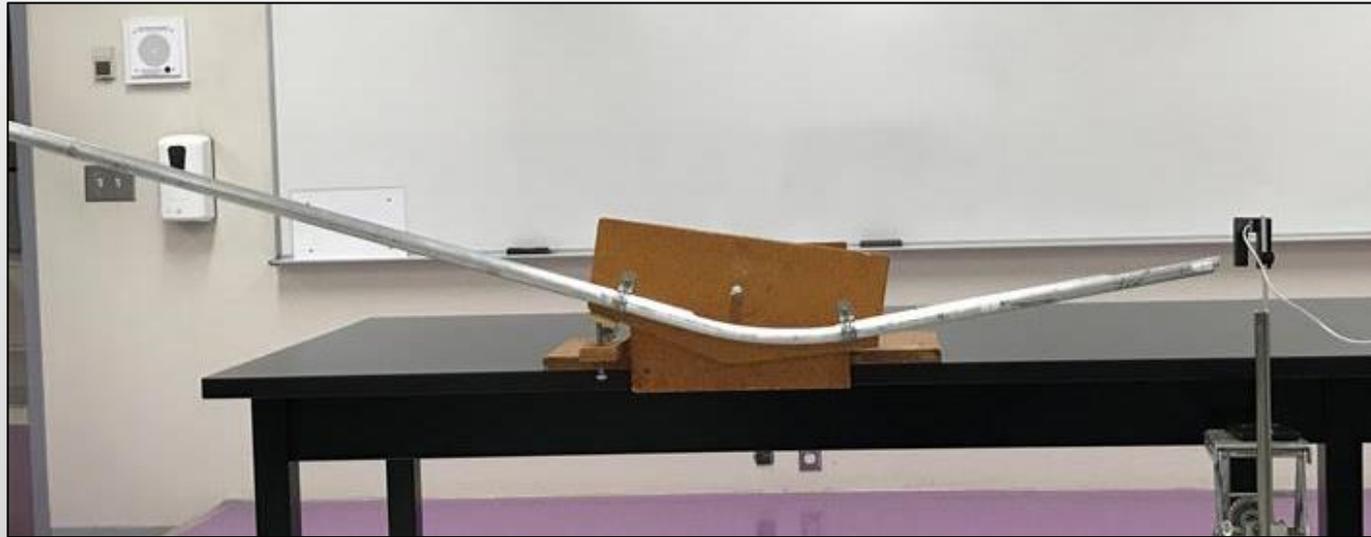
$$a_x \pm \Delta a_x$$



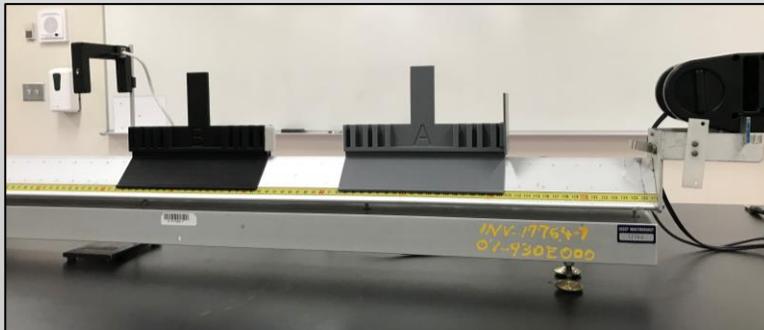
graves!

Projectile

$$x(\vec{v}_0, \Delta y)$$



Collisions



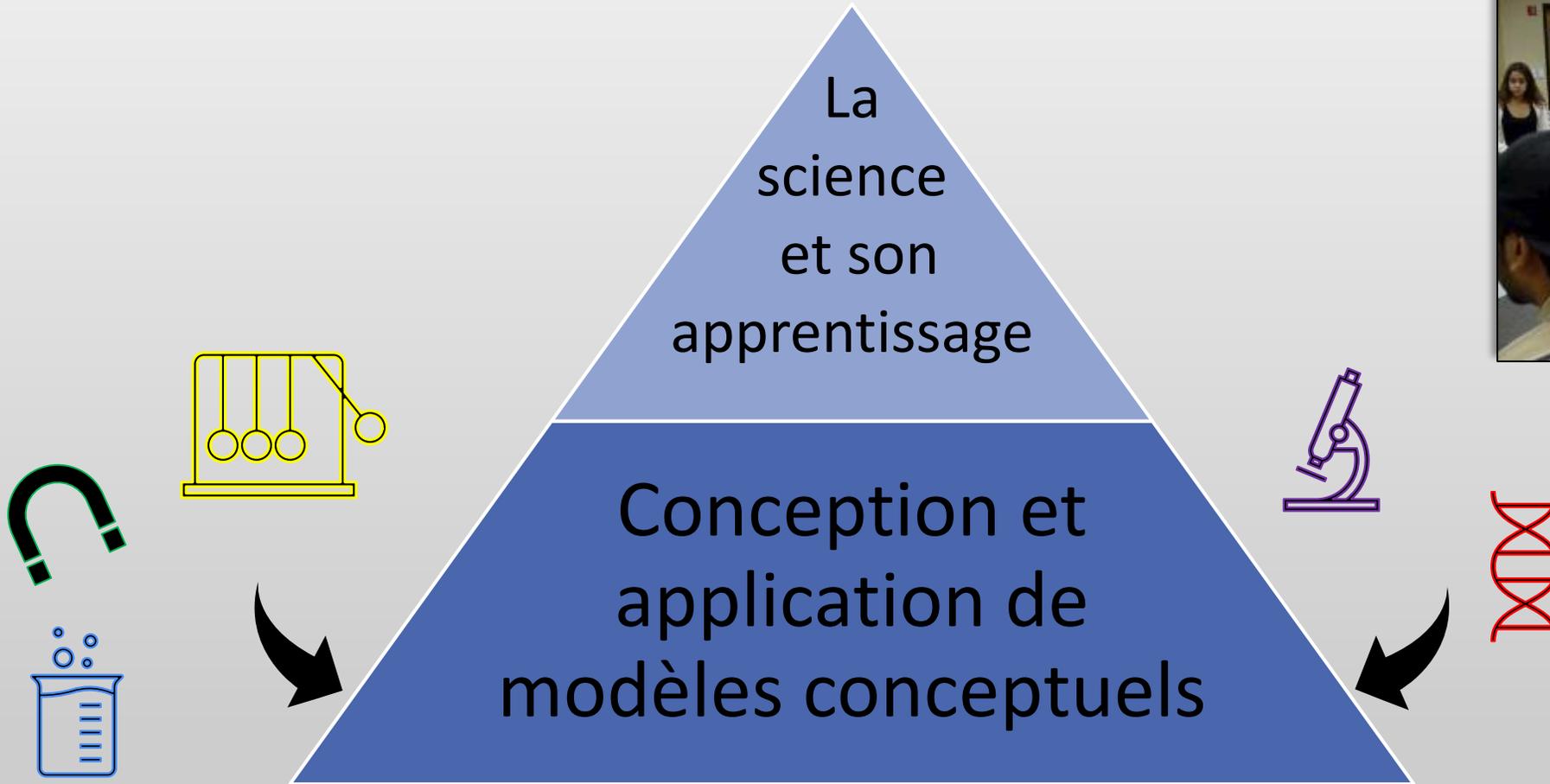
Mais comment se
prépare-t-on à un labo
ouvert?

L'apprentissage par la modélisation (AM)

- Une approche de pédagogie active
- Les étudiants apprennent en *faisant* de la science
- Une large part au travail collaboratif et aux discussions de classe



(Brewer et coll. 2017)



Cours traditionnel	Dans l'AM, un modèle...
Lois physiques = équations	<ul style="list-style-type: none"> est construit d'après des lois et contraintes physiques;
Résolution de problème = manipulation d'équations	<ul style="list-style-type: none"> est basé sur des représentations multiples (schémas, graphiques);
Résolution de problèmes théoriques → compréhension Ce qui se passe en labo reste en labo.	<ul style="list-style-type: none"> doit être validé par l'expérience, puis amélioré (allers-retours théorie/labos).
Apprentissage = processus académique : le « jeu de l'école »	L'AM a plusieurs des caractéristiques de la démarche scientifique.

(d'après Brewe et coll. 2017)

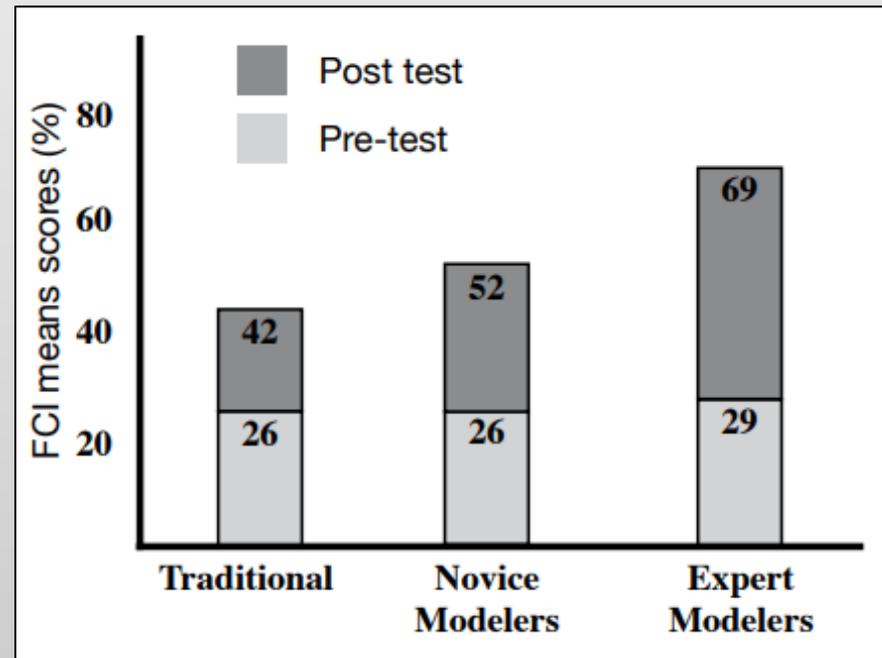
“ ...les étudiants commencent à voir la science comme un **processus** ”
 et la connaissance scientifique comme un **travail en cours**.

L' AM aux États-Unis :

- La plus importante réforme de l'éducation secondaire
- Seul programme d'enseignement considéré comme « exemplaire » par le *U.S. Department of Education*
- 10% des enseignants de physique ont reçu une formation (AMTA).



Effets sur la compréhension :



(Hestenes et coll. 2008)

...effets sur les « attitudes »?

Les attitudes envers la science

Sondages pré/post sur les attitudes et croyances des étudiants :

- *Maryland Physics Expectations Survey (MPEX, 1997)*
- *Views About Science Survey (VASS, 1997)*
- *Colorado Learning About Science Survey (CLASS, 2006)*

Le *CLASS* (traduit par notre équipe) : 42 questions (8-10 min) :

Pour résoudre un problème de physique, je trouve une équation qui utilise les variables du problème et j'y insère les valeurs.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 *Tout à fait d'accord*

La connaissance en physique consiste en plusieurs thèmes sans liens entre eux.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 *Tout à fait d'accord*

Un consensus a été établi par des professeurs/chercheurs pour des réponses « expertes ».

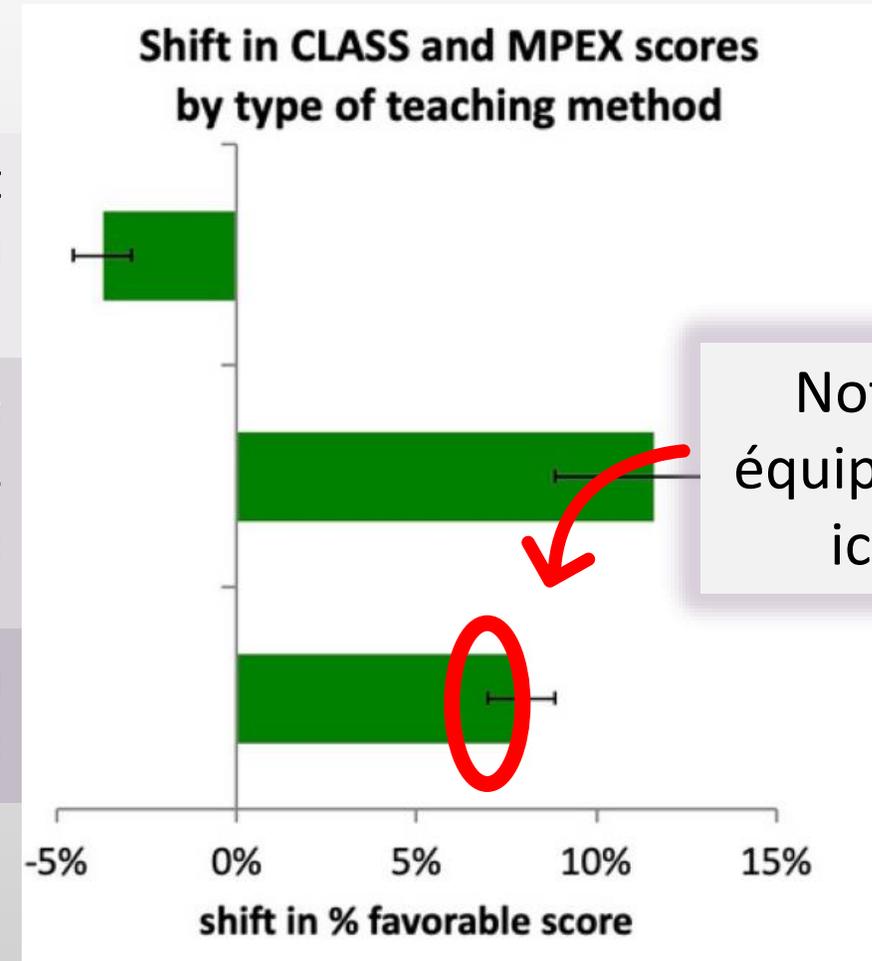
La variable qui a le plus d'effet sur les attitudes est le *type d'enseignement* :

Méta-analyse de 24 études
par Madsen et coll. (2015)

Cours typiques (traditionnels et réformés) (n=7688)

Accent explicite sur le développement d'attitudes expertes (n=224)

Modélisation (n=2587)



Notre
équipe est
ici!

Les pédagogies habituelles **dégradent** les attitudes des étudiants envers la science!



L' AM au Collège Montmorency : une recherche-action (A22 – H23)

Nos défis :

- L'AM peu connue en enseignement supérieur
- Les étudiants connaissent déjà la matière
- Calendrier plus court, groupes plus nombreux
- Cloisonnement labo-théorie
- Les acteurs sont complètement néophytes!

Notre modèle :

la **recherche guidée** dans
un **continuum** labo-théorie

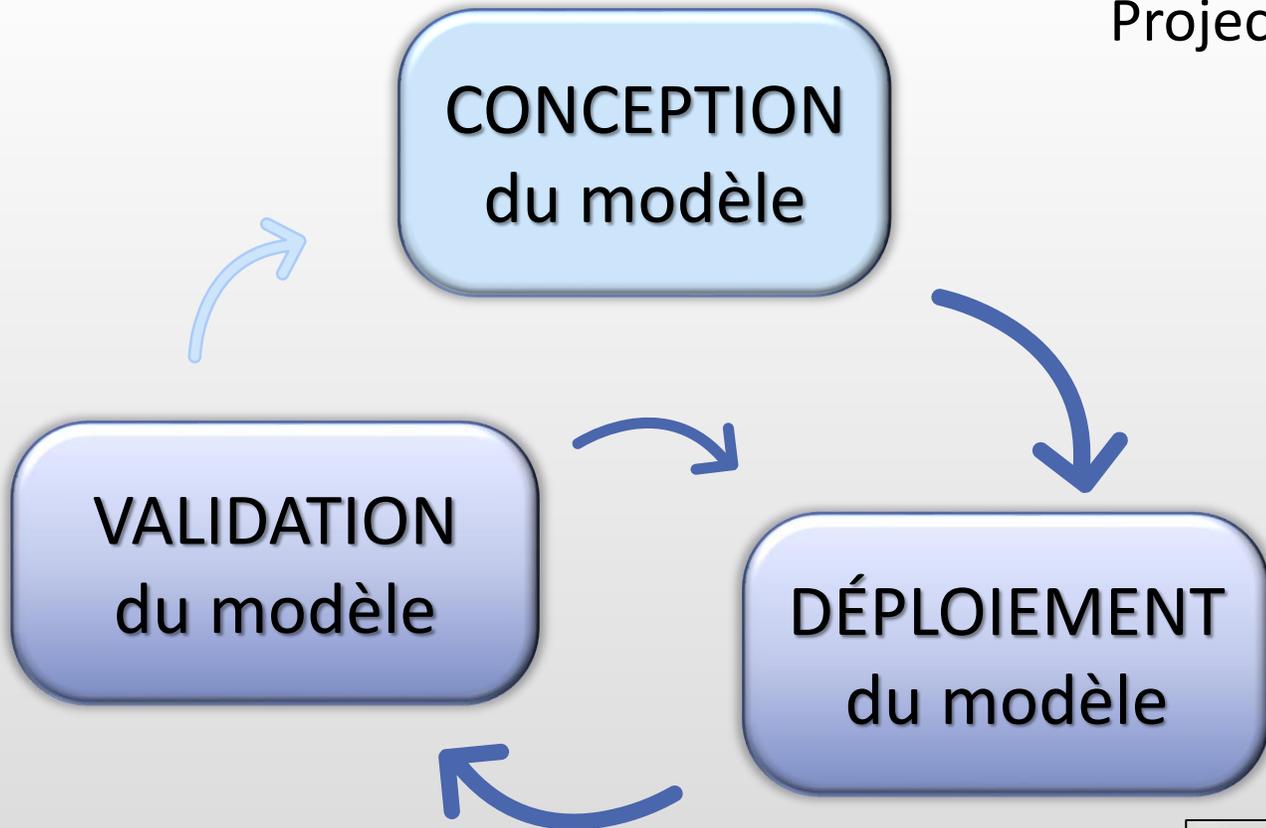
AOÛT						
	1	2	3	4	5	
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

SEPTEMBRE						
				1	2	
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

OCTOBRE						
1	2	3	4	5	6	7

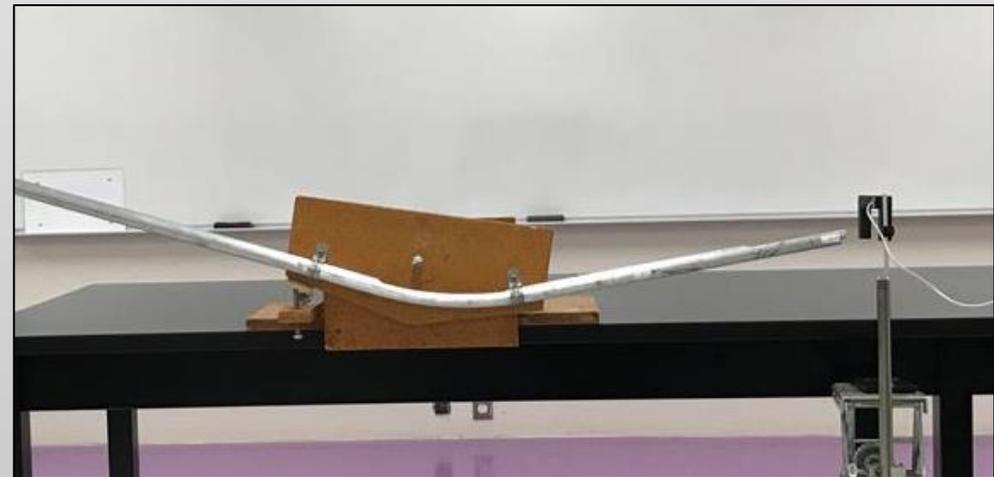
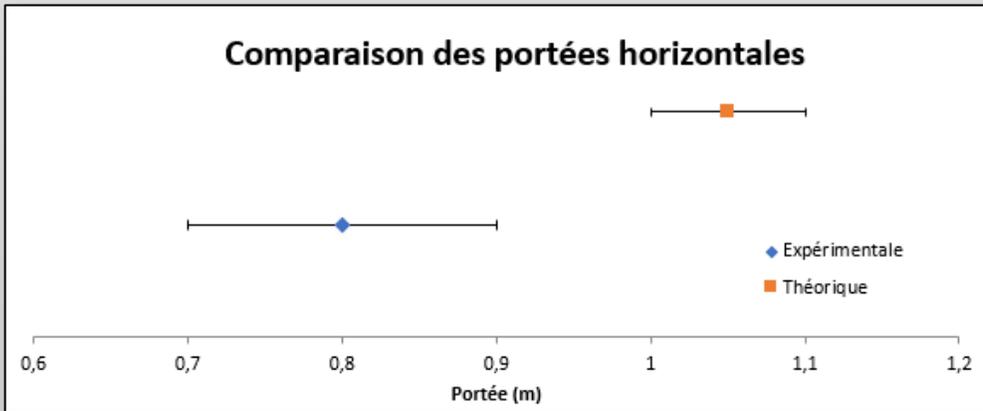
classe

labo



Projectile : modèle pour $x(v_0, \theta, \Delta y)$

$$x = \frac{v_0 \sin(2\theta)}{2g} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2g \Delta y}{v_0^2 \sin^2 \theta}} \right]$$



Avantages

Décloisonnement labo/théorie

Voir et comprendre l'utilité
des équations physiques

Saisir les limites d'un modèle



*Et si on utilisait la
modélisation pour résoudre
des problèmes théoriques?*

Limites et défis

Le point de départ n'est pas
l'observation d'un phénomène

Pas de discussions en grand groupe

Point faible : l'amélioration des modèles

La modélisation pour la résolution de problèmes

(Séguin, M., Physique XXI)

Un problème typique d'un manuel de physique :

1.6.5 Arrêt d'urgence. Le conducteur d'un train roulant à 50 km/h aperçoit soudain une voiture immobilisée sur la voie à 250 m de distance (photo ci-dessous). (a) Quel doit être le module de l'accélération du train (en m/s^2) pour que l'impact soit évité de justesse ? (On suppose que l'accélération est constante.) (b) Avec l'accélération calculée en (a), combien de temps le train prend-il pour s'arrêter ?

1.6.5 Arrêt d'urgence. (a) $a = 0,386 \text{ m/s}^2$; (b) $\Delta t = 36,0 \text{ s}$

Pour résoudre ce problème, l'étudiant n'a pas besoin :

- de comprendre la physique sous-jacente;
- d'avoir une représentation structurée des lois de la physique;
- d'avoir une méthode de résolution structurée;
- d'interpréter et de comprendre la réponse;
- de réfléchir sur sa démarche une fois la réponse obtenue.

...il a simplement besoin d'une liste de formules!

..et qu'apprend-il?

Facteur	Ampleur de l'effet
Type de rétroaction	
Rétroaction élaborée <i>(Fournir une explication)</i>	0,49
Rétroaction sur l'exactitude <i>(Dire si la réponse est correcte ou incorrecte)</i>	0,32
Rétroaction présentant la réponse correcte <i>(Fournir la réponse correcte)</i>	0,05 *

D'après Masson (2020)

“

* Le fait de donner ou non ce type de rétroaction n'a pour ainsi dire ***aucun impact sur l'apprentissage.***

”

Volet programmation d'exercices sur Moodle

Pilote automatique (I)

Le contexte

Tu travailles avec l'équipe en charge du programme de conduite automatique chez Tesla. Tu es en charge de programmer le freinage nécessaire à appliquer dans le cas où l'ordinateur de bord de la voiture détecte un obstacle immobile qui apparaît directement devant la voiture. Chaque paramètre est accompagné d'une incertitude.

Informations

- Pour ne pas trop brusquer les passagers de la voiture, le programme aimerait **freiner le plus doucement possible**;
- Pour garder une certaine marge de sécurité, le programme aimerait **s'arrêter 1m avant d'atteindre l'obstacle**;
- La vitesse initiale à laquelle la voiture roule est connue;
- La distance entre l'obstacle et la voiture au moment de commencer à freiner d est connue.

Modélisation

Utilise la méthode des extrêmes pour modéliser l'accélération requise pour arrêter complètement la voiture ainsi que son incertitude (tout en respectant les contraintes) en fonction de la vitesse à laquelle roulait initialement la voiture et de la distance d à laquelle est apparu l'obstacle.

Teste ensuite ton modèle en calculant le module de l'accélération nécessaire pour les valeurs suivantes

La voiture roulait à $(57 \pm 2) \text{ km/h}$;

L'obstacle est apparu $(31 \pm 0.5) \text{ m}$ devant la voiture;


$$a = \frac{v_{x0}^2}{d - 1}$$



3.45 ✘

0.465 ✘

Vérifier

Votre réponse est incorrecte.


$$a = \frac{v_{x0}^2}{d + 1}$$



6.277 ✔

0.682 ✔

Vérifier

Votre réponse est correcte.



Validation des modèles de laboratoire dans Moodle

Modélisation de la portée du projectile

Pour te préparer au laboratoire sur le projectile, tu dois construire un modèle pour la portée du projectile en fonction de la hauteur du lancer ($h \pm \Delta h$), de la vitesse initiale du lancer ($v_0 \pm \Delta v_0$) et de l'angle du lancer par rapport à l'horizontale ($\theta \pm \Delta\theta$).

Étape #1 : Construis ton modèle.

Étape #2 : Valide ton modèle avec les valeurs suivantes, sans te soucier des incertitudes pour l'instant.

$$h = 1.02m; \quad v_0 = 1.51m/s; \quad \theta = 44^\circ;$$

Réponse pour la portée (en m) :

Étape #3 : Programme maintenant ton modèle dans Excel. Ton fichier devra être conçu de telle sorte que tu puisses simplement entrer les valeurs de h , v_0 , θ et leur incertitude, et les résultat pour la portée et son incertitude se calculeront automatiquement. Ce calcul doit être fait avec la méthode des extrêmes, autant pour la portée que son incertitude. Utilise les valeurs suivantes :

$$h = (1.02 \pm 0.022)m; \quad v_0 = (1.51 \pm 0.03)m/s; \quad \theta = 44^\circ \pm 2.5^\circ;$$

Portée (en m) :

Incertitude sur la portée (en m) :

Vérifier

Programmation de questions conceptuelles (H23)

Une fusée en chute... libre?

Une fusée-jouet décrit la trajectoire illustrée. Au décollage, ses moteurs brûlent pendant deux secondes. À cause de sa vitesse, la fusée continue de monter, jusqu'au sommet de sa trajectoire. Lors de sa descente, un parachute est déployé.

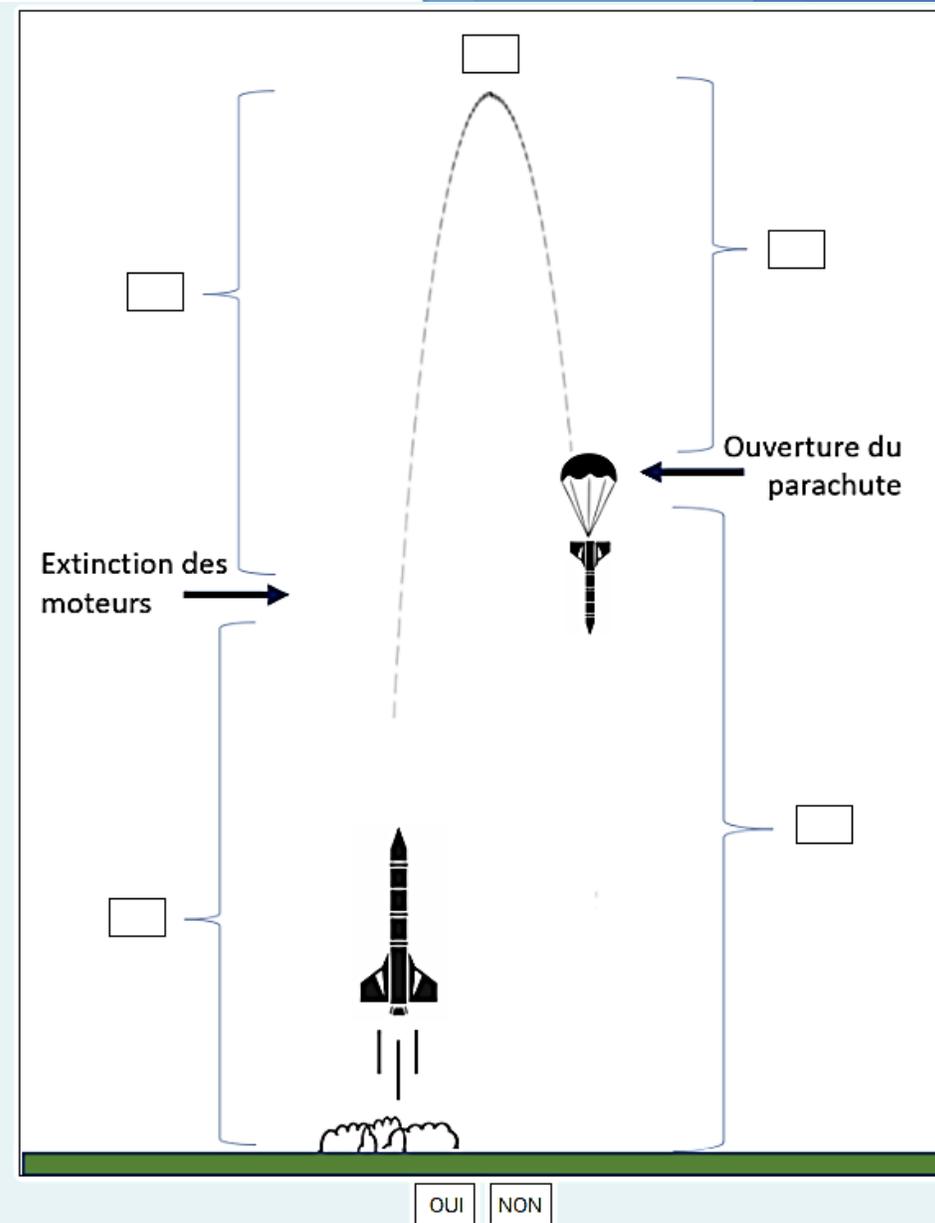
Pour chaque phase de son mouvement, indique si "oui" ou "non" la fusée est en chute libre. (On néglige la résistance de l'air sur la fusée elle-même.)

Si tu n'as pas la bonne réponse, réessaie jusqu'à l'obtenir. Tu auras alors accès à l'explication du problème.

Bien joué! La fusée est effectivement en chute libre quand la gravité est la seule force agissant sur elle. Et cela est indépendant du mouvement : elle peut être en ascension, au sommet de sa trajectoire, ou en train de tomber.

Vous en avez sélectionné correctement 5.

Correct



Vérifier

Conceptualisation des problèmes (H23 – ...)

Conceptualiser le problème

Commençons par réfléchir conceptuellement à cette mise en situation. Réponds à chaque question et valide ta réponse au fur et à mesure (le bouton pour vérifier est en bas complètement de la page). Une rétroaction sera offerte pour chaque question!

Question #1 : Il y a 4 objets dans ce problème : JF, Vincent, la feuille de gypse et la boîte de vis. Pour déterminer le module des forces exercées par JF et par Vincent sur la feuille de gypse, on appliquera les équations de la statique à quel objet ?

La feuille de gypse



Exactement! C'est la feuille qui subit les deux forces qui nous intéressent dans ce problème, soient la force de JF sur la feuille et la force de Vincent sur la feuille. Tu peux passer à la question suivante!

Question #2 : Qui forcera le plus ?

JF



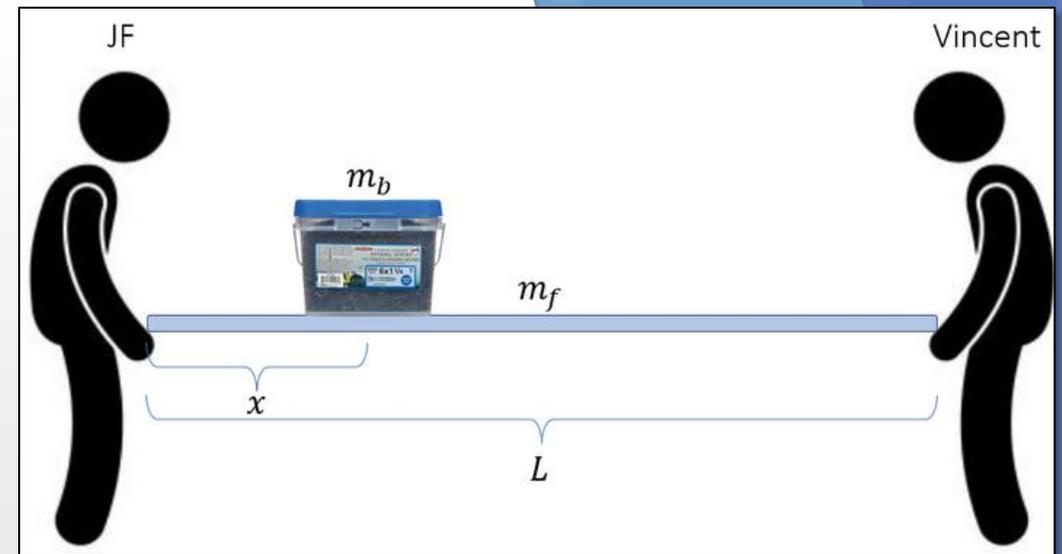
Exact, c'est JF qui forcera le plus car la boîte est plus proche de lui. Au total, la deuxième loi de Newton en y nous dit que la force de JF et la force de Vincent ensemble devront contrebalancer le poids de la boîte de vis et le poids de la feuille de gypse. Ce sera la deuxième loi de Newton en rotation qui nous permettra de déterminer comment la charge sera répartie entre les deux personnes! Nous verrons à la fin de la modélisation comment les modèles pour les deux forces viennent confirmer cette réponse.

Question #3 : Combien de forces agissent sur l'objet qui nous intéresse?

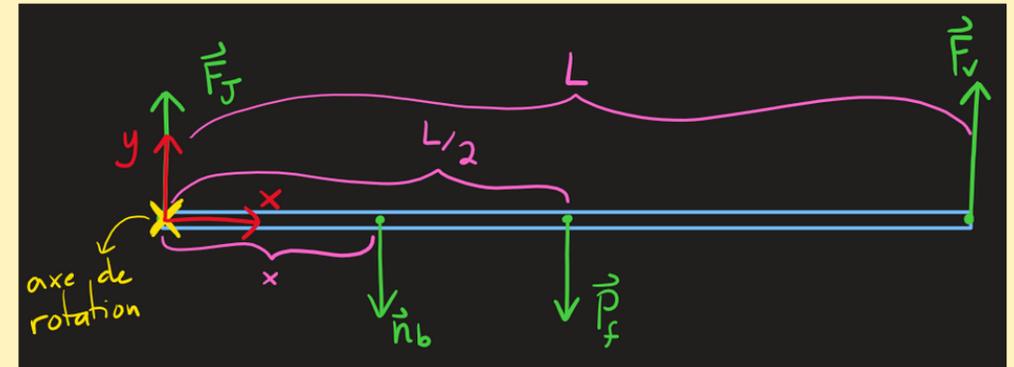
3



Pas tout à fait, essaie à nouveau!



Maintenant que tu as terminé ton schéma, tu peux le valider en le comparant avec celui-ci.



Sur le schéma présenté, il a été choisi de placer l'axe de rotation à gauche de la feuille de gypse. Techniquement, tu pourrais choisir de le placer n'importe où et réussir le problème. Le choix qui rend le problème le plus facile est de le placer complètement à gauche (comme sur le schéma) ou à droite complètement. De façon générale, on aime placer l'axe de rotation directement à l'endroit où est appliquée une de nos forces inconnues de façon à réduire le nombre d'inconnues dans notre équation $\sum \tau = 0$.

L'expérience des étudiants

(sondage A22 n=42)

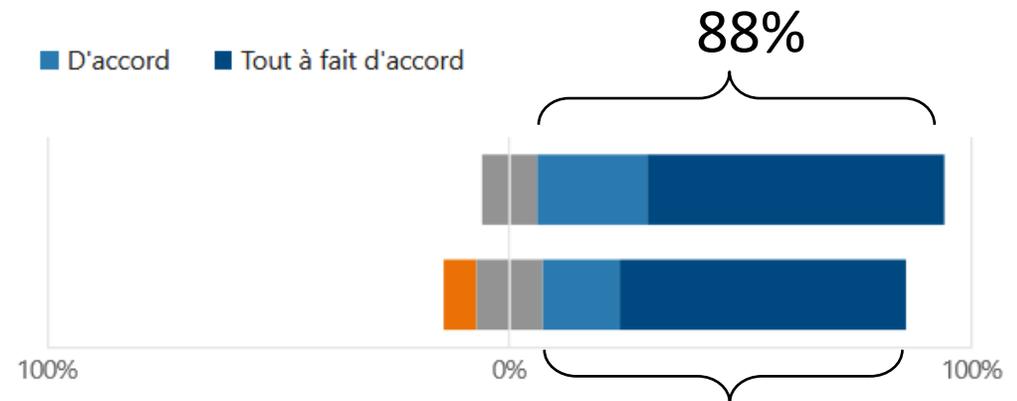
1. Les exercices formatifs et les devoirs sur Moodle : (0 point)

[Plus de détails](#)

■ Pas du tout d'accord ■ Pas d'accord ■ Neutre ■ D'accord ■ Tout à fait d'accord

Ces exercices m'ont aidé à mieux comprendre les notions de physique.

Ces exercices m'ont plus aidé à comprendre qu'un manuel traditionnel.



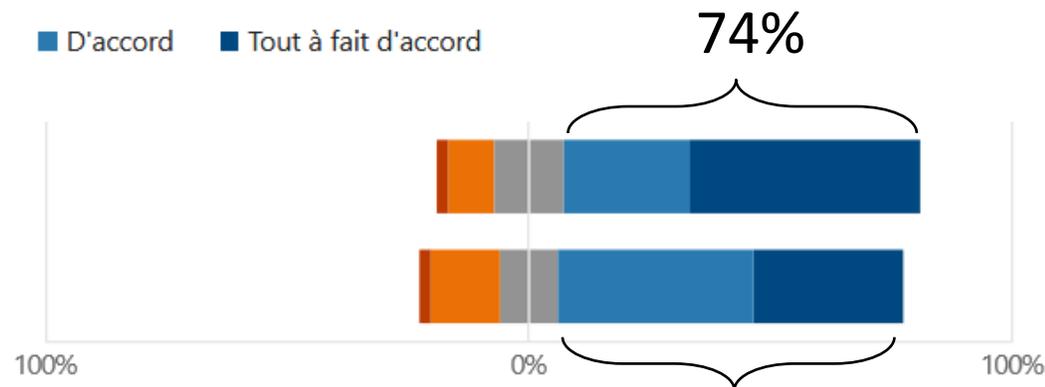
2. Cette session, les laboratoires étaient des expériences plus "ouvertes", moins dirigées, où il fallait vous-mêmes déterminer quoi mesurer et comment le mesurer.

[Plus de détails](#)

■ Pas du tout d'accord ■ Pas d'accord ■ Neutre ■ D'accord ■ Tout à fait d'accord

Ces laboratoires m'ont aidé à mieux comprendre les notions de physique.

J'aimerais que les laboratoires des autres cours de physique soient comme ça.

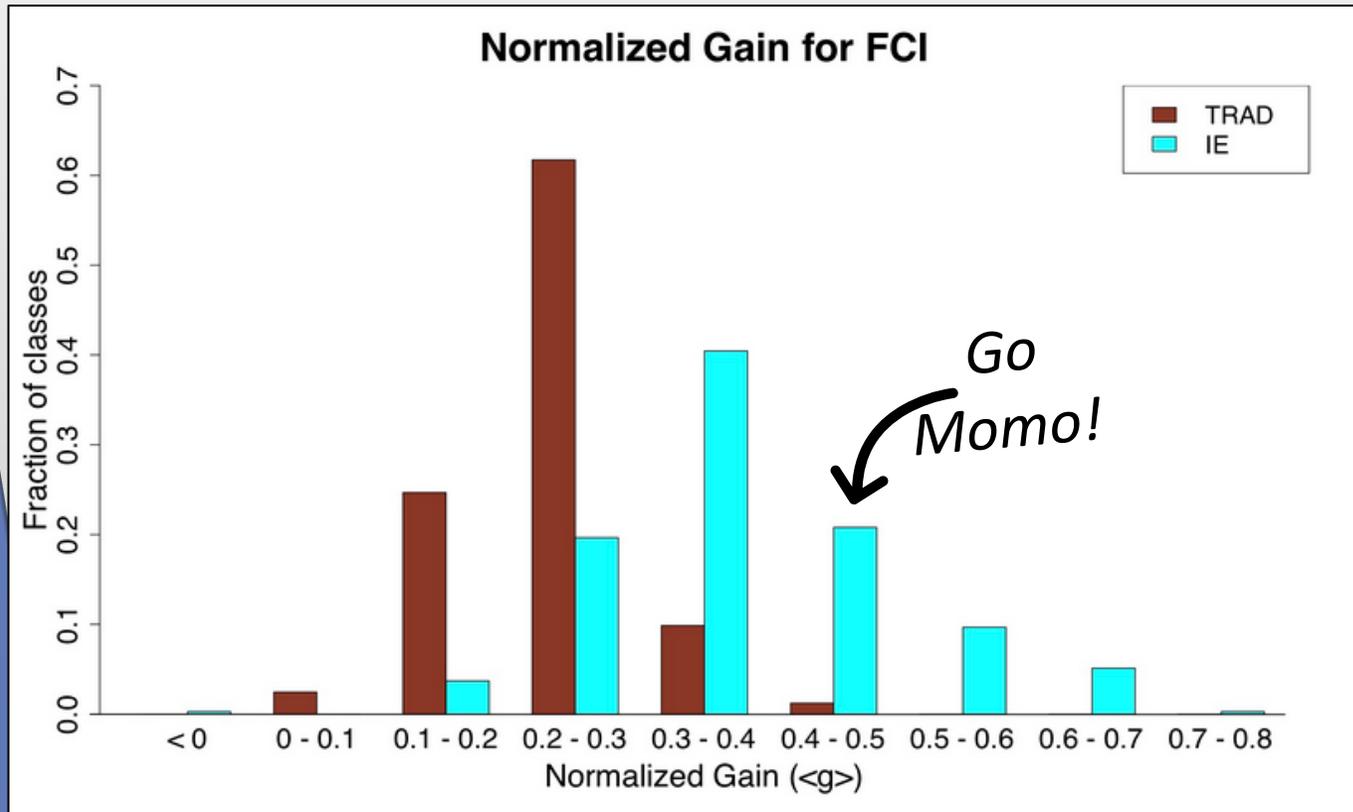


71,5%

78,6%

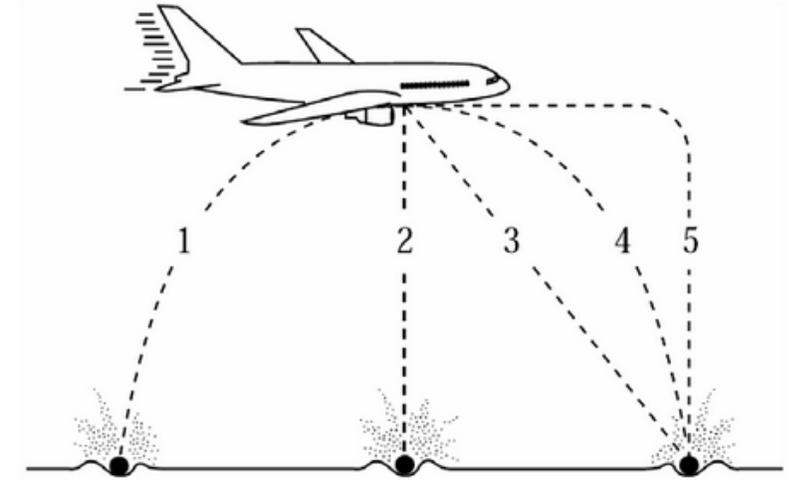
Résultats au *Force Concept Inventory (FCI)* :

- 30 questions pré/post sur la mécanique newtonienne
- L'outil le plus répandu pour mesurer les gains conceptuels en physique



(Von Korff et coll. 2016)

Une boule de quilles tombe accidentellement de la soute à bagages d'un avion volant horizontalement. D'après une personne au sol regardant l'avion, laquelle des trajectoires 1-5 représente le mieux la trajectoire de la boule de quilles après qu'elle ait quitté l'avion?

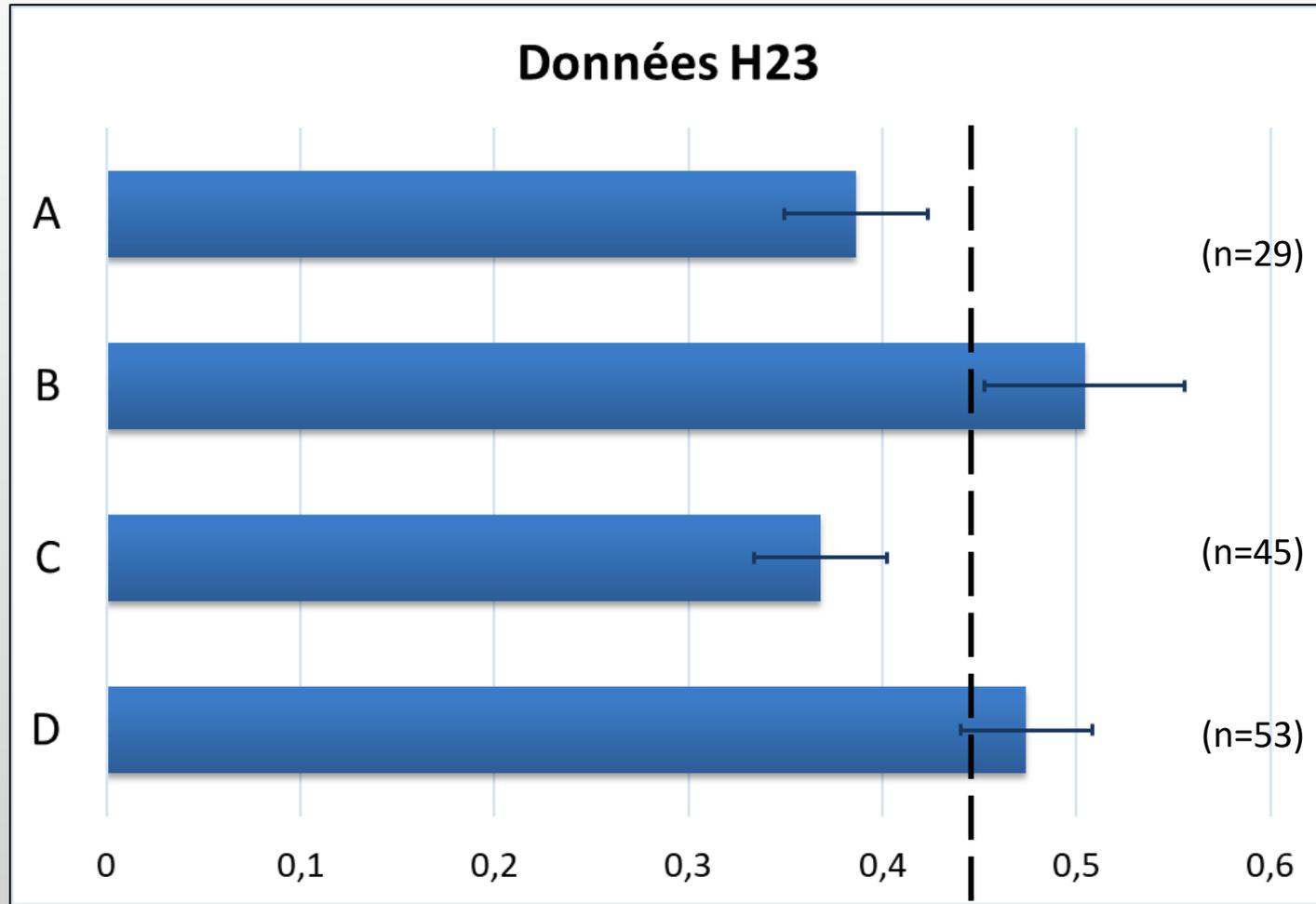


Veuillez choisir une réponse.

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5

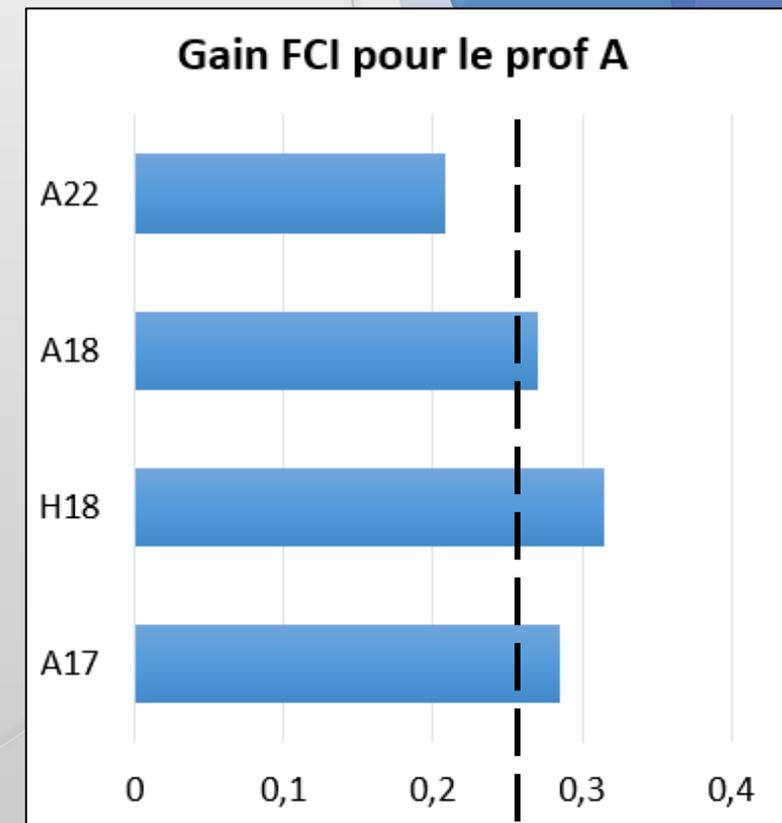
Vérier

Gains au FCI pour 4 profs de Mécanique :



$$\langle \bar{g} \rangle = 0,43$$

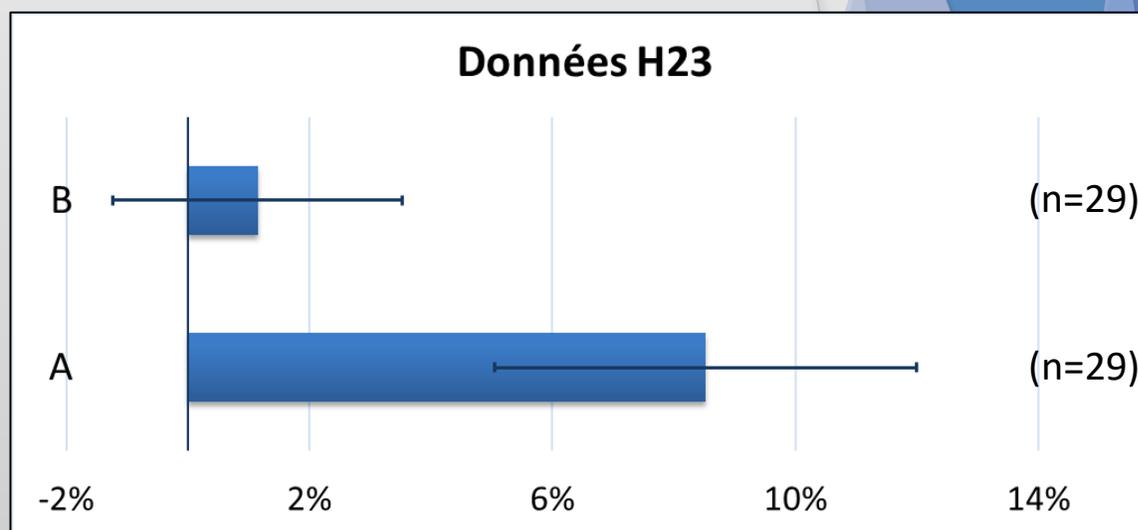
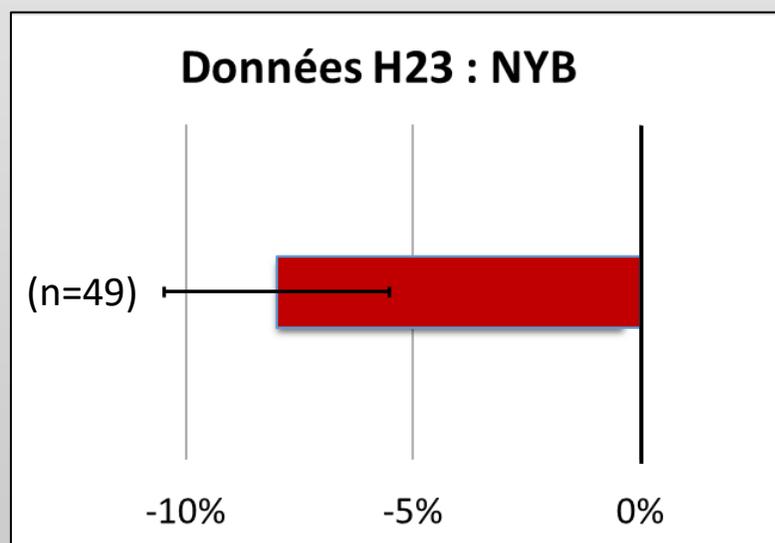
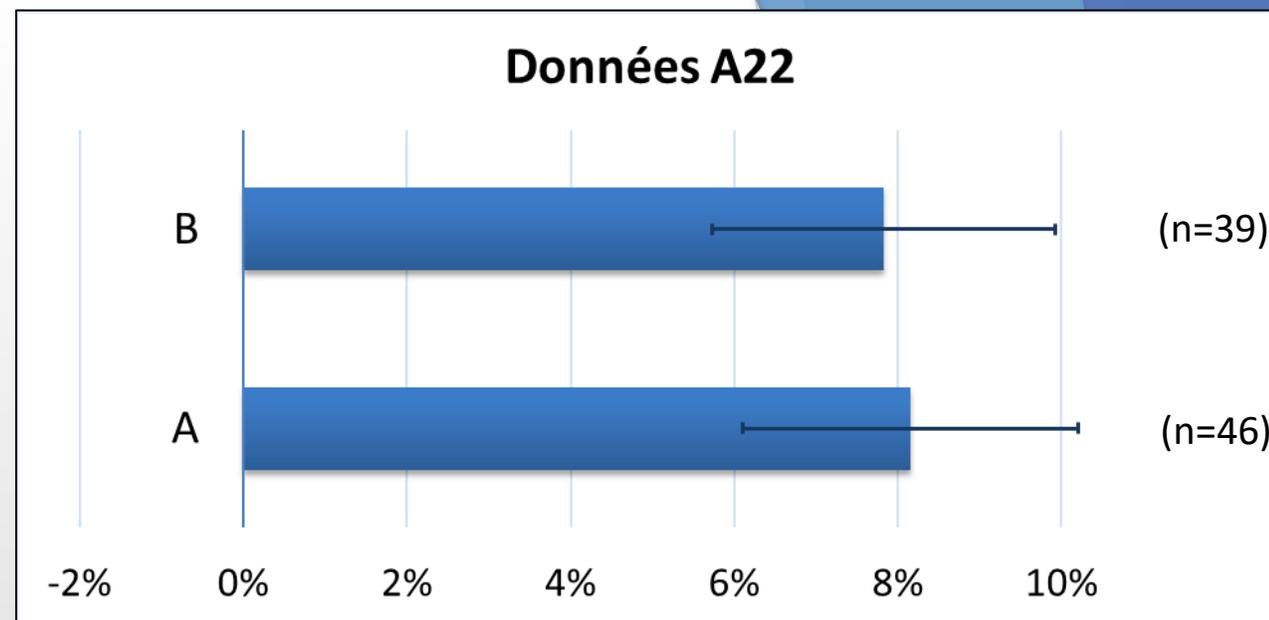
$$\langle \bar{g} \rangle = 0,27$$



Résultats au sondage APA (sur les Attitudes envers la Physique et son Apprentissage, v.f. du CLASS) :

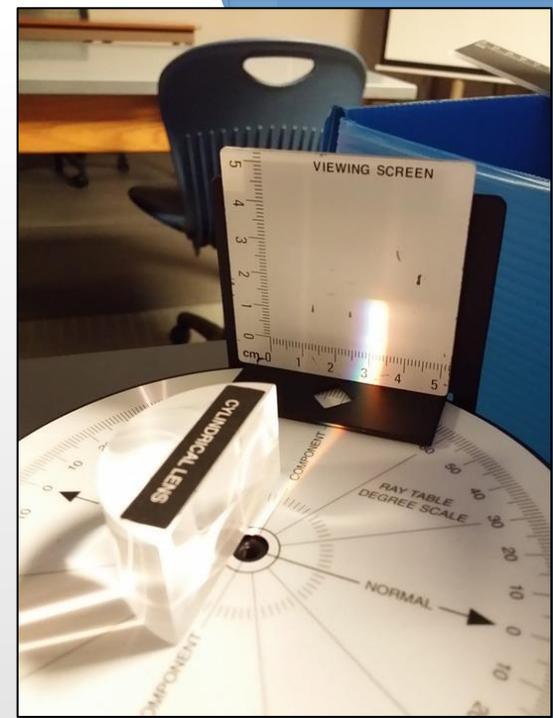
Mécanique :

Pendant ce temps, en Électricité et magnétisme...



Axes futurs de notre projet

- Adaptation de l'AM au collégial
 - Connexion labo-théorie
 - Réflexion sur les labos ouverts
 - Extension aux autres cours de physique



- Exploration de la technologie (Moodle) pour favoriser la résolution de problèmes
 - Communauté de pratique ?

Pour finir, quelques idées « à emporter » :

Des labos plus
ouverts

Attitudes scientifiques
plus « expertes » chez
les étudiants



Un peu moins de
consignes, un peu
plus de temps!

Un apprentissage
scientifique plus
authentique

L' AM est une porte d'entrée idéale
vers des labos ouverts



Quelques problèmes
« pas de chiffres »!

MERCI!

Ressources et références

American Association of Physics Teachers (pour le CLASS et FCI)
www.physport.org
American Modeling Teachers Association
www.modelinginstruction.org
Modeling Instruction @ Arizona State University
modeling.asu.edu

- Adams, W. et coll., *New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **2** (1), (2006).
- Blanchard, M. et coll. (2010). *Is inquiry possible in light of accountability? : A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction*. Science Education, 94(4), 577-616.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). *Epistemologically authentic inquiry in schools : A theoretical framework for evaluating inquiry tasks*. Science Education, 86(2), 175-218.
- Hestenes, D. et coll. (2008) *Modeling Instruction : An Effective Model for Science Education*. Science Educator, 17(1), 10-17.
- Holmes, N. G., Olsen, J., Thomas, J. L., & Wieman, C. E. (2017). *Value added or misattributed? A multi-institution study on the educational benefit of labs for reinforcing physics content*. Physical Review Physics Education Research, 13(1), 010129.
- Madsen, A. et coll. (2015) *How physics instruction impacts students' beliefs about learning physics: A meta-analysis of 24 studies*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **11** (1), 010115.
- Masson, S. (2020) *Activer ses neurones pour mieux apprendre et enseigner*, Odile Jacob, Paris.
- Von Korff, J.S. et coll. (2016), *Secondary analysis of teaching methods in introductory physics: A 50 k-student study*, Am. J. Phys., 84(12).