



Centre de Didactique Universitaire  
Université de Fribourg (Suisse)

---

## GIT GUD

Conception et itérations successives d'un dispositif d'enseignement en  
parallèle de la formation didactique – l'exemple d'un cours de  
mathématiques pour non-mathématicien·ne·s

---

Travail de fin d'études

présenté en vue de l'obtention du Diploma of Advanced Studies (DAS) en enseignement  
supérieur et technologie de l'éducation de l'Université de Fribourg

effectué sous la direction de la Prof. Bernadette Charlier Pasquier

par

Matthieu Jacquemet

Août 2022



## **Déclaration sur l'honneur**

Je déclare sur mon honneur que ce travail de fin d'études est une oeuvre personnelle, composée sans recours extérieur non autorisé.



## Remerciements

Merci en premier lieu à Bernadette Charlier et Marie Lambert du Centre de Didactique Universitaire, pour la mise en place et la mise en oeuvre de cette formation didactique. J'ai pu apprécier leur immense disponibilité, leur flexibilité et leur bienveillance.

Merci aux intervenant·e·s des différents modules didactiques, que ce soit au centre Did@cTIC ou au centre DevPro, ainsi qu'à tou·te·s les participant·e·s à ces modules pour la qualité et la richesse des échanges.

Merci à Stefan Wenger de m'avoir donné l'opportunité d'enseigner dans mon *alma mater*, de m'avoir fait confiance et donné les moyens d'expérimenter dès le départ.

Merci à l'équipe d'**Assistant·e·s** avec qui j'ai eu la chance de travailler : Martin Fitzi, Simon Drewitz, Lucas D'Alimonte, Louis Faul, Damaris Meier, et Denis Marti. Ils et elle ont joué un grand rôle dans la réalisation et l'évolution du cours Analyse Propédeutique, que ce soit en nourrissant des débats (parfois enflammés) sur les directions à prendre, ou en "faisant tourner la machine" au quotidien. Le dispositif didactique présenté ici leur doit beaucoup.

Merci aux **Tutrices** et **Tuteurs** qui ont corrigé les exercices et les tests, et accompagné les assistant·e·s dans la mise en oeuvre du dispositif didactique : Alessandro Corrent, Dora Primus, Laurence Morard, Marina Cotting, Jérôme Hilken, Dan Sbaraglia, Florine Pierroz, Matthias Murray, William Schaller, Anaclét Déguénon, Mathias Blaise et Vanessa Audergon. Ils et elles ont eu le travail peut-être le plus fastidieux, et je suis reconnaissant d'avoir pu compter sur leur bonne humeur et leur énergie.

Merci aux étudiant·e·s (cette fois je ne vais pas citer la liste exhaustive) avec qui j'ai eu le plaisir de travailler. Leur curiosité et leur positivité ont été de formidables sources de motivation pour fournir un cadre qui soit le plus propice possible à leur développement. Et soyons honnêtes : leur réticence et leurs doutes ont été autant de "mini énigmes" que j'ai essayé de résoudre.

Merci aux **Force Ghosts** qui se sont spontanément portés·e·s volontaires pour animer le serveur Discord et voler au secours des "newbies" : **Algebro**, **ArtistoInHell**, **Ava**, **Cthulhu**, **Loulou**, **Lux** et **VelNewt**.

Merci à Laetitia de m'encourager en permanence alors même que je lui rabote des bouts de soirées et de weekends pour répondre à des messages sur Discord ou plancher sur des travaux de validation.

Tagazok à Laora et Braaaains à Elric pour avoir débloqué l'achievement *Chasse aux coquilles*.

Et un poke à tous les kakapos qui se reconnaîtront.



PLAYER – *Every time I ask for help in this game that's all anyone ever says – Get good, get good, git good, git gud! How? Give me some advice, like what weapon do I use? what armor? Give me some actual advice instead of vomiting up those same useless words. And you know what, sunbro? I actually came here to you specifically hoping that you of all people would be above of all the incessant trolling. But no, apparently not, you're just as bad as the rest of them.*

SOLAIRE OF ASTORA – *Sunbro...*

PLAYER – *Don't call me that, we're not bros.*

SOLAIRE OF ASTORA – *I wasn't trying to troll you. I meant what I said. There is no secret weapon or piece of armor that's going to magically make all of this easy.*

PLAYER – *So what's the point of all this shit then?*

SOLAIRE OF ASTORA – *Just to look good of course, like me. Of course the armor and stats can help, but what really matters is your skills. Your rolls need to be speedy, your parries, precise. You need to learn the moveset of your enemies. You need intelligence and patience. Perseverance. You need to get good.*

PLAYER – *Solaire that's really, really, really hard.*

SOLAIRE OF ASTORA – *Of course it's hard. We all struggle sunbro, every one of us. Throughout our lives we can get knocked down and frustrated. We fail, we experience extreme loss. In order to recover and continue on our journey we have to be focused, we have to practice, and we have to learn from our mistakes. And hey, a bit of help from a jolly cooperator doesn't hurt either.*

PLAYER – *I don't need any help.*

SOLAIRE OF ASTORA – *Of course you do. We all do. These things I'm saying are not new, nor are they specific to you. It is advice as old as time itself, passed down generation to generation since before the age of ancients. So you see, get good is not some dismissing meme. Quite the contrary. It speaks to a truth at the heart of our entire lives. It is in fact the best advice anyone can ever give you.*

PLAYER – *Wow. Solaire, I don't really know what to say.*

SOLAIRE OF ASTORA – *You don't need to say anything sunbro, you just need to try. Good luck.*

---

VIVA LA DIRT LEAGUE – SOULS LOGIC SUPERCUT SEASON 2 [74]

*Si la descente ainsi se fait certains jours dans la douleur, elle peut se faire aussi dans la joie. Ce mot n'est pas de trop. (...)*

*Toute la joie silencieuse de Sisyphe est là. Son destin lui appartient. Son rocher est sa chose. De même, l'homme absurde, quand il contemple son tourment, fait taire toutes les idoles. Dans l'univers soudain rendu à son silence, les mille petites voix émerveillées de la terre s'élèvent. (...)*

*Ainsi, persuadé de l'origine tout humaine de tout ce qui est humain, aveugle qui désire voir et qui sait que la nuit n'a pas de fin, il est toujours en marche. Le rocher roule encore.*

*Je laisse Sisyphe au bas de la montagne! On retrouve toujours son fardeau. Mais Sisyphe enseigne la fidélité supérieure qui nie les dieux et soulève les rochers. Lui aussi juge que tout est bien. Cet univers désormais sans maître ne lui paraît ni stérile ni futile. Chacun des grains de cette pierre, chaque éclat minéral de cette montagne pleine de nuit, à lui seul, forme un monde. La lutte elle-même vers les sommets suffit à remplir un coeur d'homme. Il faut imaginer Sisyphe heureux.*

---

ALBERT CAMUS – LE MYTHE DE SISYPHE



# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>1 Contexte et objectifs</b>	<b>4</b>
1.1 Le cours Analyse Propédeutique . . . . .	4
1.2 Pourquoi cette formation didactique . . . . .	6
1.3 Objectifs du travail . . . . .	7
<b>2 Intentions pédagogiques</b>	<b>8</b>
2.1 Différents "maux" liés aux mathématiques . . . . .	8
2.1.1 Constat empirique : cours d'appui au primaire et secondaire . . . . .	8
2.1.2 Mathématiques au tertiaire, anxiété et syndrome de l'imposteur·e . . . . .	10
2.2 Objectifs pour le cours . . . . .	10
2.2.1 <u>M</u> istakes <u>A</u> llow <u>T</u> hinking to <u>H</u> appen . . . . .	11
2.2.2 Des mathématiques du quotidien . . . . .	12
2.2.3 Désacralisation et accessibilité . . . . .	13
2.2.4 Une communauté d'êtres humains . . . . .	14
2.3 Caractéristiques de ma vision de l'enseignement . . . . .	15
<b>3 Dispositif didactique</b>	<b>17</b>
3.1 Scénario pédagogique . . . . .	17
3.1.1 Description du cours . . . . .	18
3.1.2 Objectifs d'apprentissage . . . . .	19
3.1.3 Prise en compte de l'étudiant·e . . . . .	19
3.1.4 Activités d'apprentissage . . . . .	23
3.1.5 Evaluation des apprentissages . . . . .	25
3.1.6 Evaluation de l'enseignement . . . . .	29
3.2 Dispositif social . . . . .	31
3.2.1 "Rituels" avant et pendant le cours . . . . .	31
3.2.2 Serveur Discord . . . . .	32
3.2.3 Série facultative "Feelgood" . . . . .	36
3.2.4 Escape Game mathématique . . . . .	37
3.2.5 Team spirit de l'équipe enseignante . . . . .	38
3.2.6 Un dispositif inattendu : serveur Discord d'"alumni" . . . . .	39

<b>4</b>	<b>Conception et itérations successives</b>	<b>40</b>
4.1	Conception du dispositif . . . . .	40
4.2	Itérations successives . . . . .	42
4.2.1	Scénario pédagogique . . . . .	42
4.2.2	Situation sanitaire et usages des TIC . . . . .	46
4.2.3	Dispositif social . . . . .	48
<b>5</b>	<b>Analyse</b>	<b>53</b>
5.1	Evaluation du dispositif didactique . . . . .	53
5.1.1	Caractéristiques d'un apprentissage en profondeur . . . . .	53
5.1.2	Résultats des évaluations des apprentissages . . . . .	55
5.1.3	Evaluations de l'enseignement par les étudiant·e·s (EEE) . . . . .	63
5.2	Considérations critiques . . . . .	68
5.2.1	Intentions pédagogiques . . . . .	68
5.2.2	Dispositif didactique . . . . .	70
5.3	Développements futurs . . . . .	78
5.4	Apports de la formation didactique . . . . .	79
	<b>Conclusion</b>	<b>81</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>82</b>
<b>A</b>	<b>Questionnaire initial sur Moodle</b>	<b>87</b>
<b>B</b>	<b>Syllabi</b>	<b>90</b>
B.1	"Math 2300", Vanderbilt 2017 . . . . .	90
B.2	"Analyse Propédeutique", Fribourg 2019-20 . . . . .	94
B.3	"Analyse Propédeutique", Fribourg 2020-21 . . . . .	98
B.4	"Analyse Propédeutique", Fribourg 2021-22 . . . . .	102
<b>C</b>	<b>Exemples d'évaluations de l'apprentissage</b>	<b>106</b>
C.1	Série d'exercices . . . . .	106
C.2	Corrigé d'une série d'exercices . . . . .	108
C.3	Contrôle continu (test) . . . . .	114
C.4	Grille d'évaluation d'un test . . . . .	119
C.5	Examen final . . . . .	121

# Introduction

*"It would seem that you have no useful skill or talent whatsoever," he said. "Have you thought of going into teaching?"*

---

TERRY PRATCHETT – MORT

La page Wikipédia du jeu Dark Souls nous informe que "*les critiques lou(e)nt la profondeur des mécaniques de combat, la conception des niveaux et le développement de l'histoire laissent une grande part à l'interprétation. Le gameplay du jeu est réputé pour son exigence*" [74]. Dans la communauté des joueurs et joueuses, en particulier de jeux héritiers de Dark Souls (les "Souls-likes"), l'expression *Git Gud* est relativement répandue. Wiktionary donne la définition suivante : "*(Internet slang, derogatory) To improve ; to develop skill or expertise.*" [76]. Cependant, son usage varie fortement selon le contexte ou les intentions de l'auteur·e. Pour certain·e-s, il s'agit d'une provocation, voire d'une insulte, moquant l'incompétence supposée ou avérée d'un·e joueur/joueuse bloqué·e face à l'un des multiples défis d'un jeu que seul·le-s les plus fort·e-s parviennent à maîtriser. Pour d'autres, au contraire, il s'agit d'un encouragement, d'une incitation à s'améliorer et à franchir les obstacles successifs d'un jeu intrinsèquement complexe et punitif.

Ce travail s'intéresse à un Souls-like d'un autre genre, dont le "level design" et l'histoire laissent aussi une grande part à l'interprétation et qui est réputé pour l'exigence de son gameplay : un cours de mathématiques pour non-mathématicien·ne-s.

Ainsi, je me propose de décrire la conception du jeu de A à Z, depuis les intentions qui le sous-tendent, puis le level design de ses premières versions et les différentes mises à jour, jusqu'à une analyse de la version actuelle et finalement des propositions de développements futurs. Toutes ces étapes seront jalonnées par des éléments tirés de la formation didactique.

En effet, toute activité professionnelle requiert une formation. Ce postulat semble relativement raisonnable, tant il est vrai que pour exercer une activité, il convient de se familiariser avec son contexte, d'en maîtriser les techniques, et d'affiner sa pratique grâce à l'expérience. Pourtant, il est certaines activités professionnelles pour lesquelles il semble parfois admis qu'une formation n'est pas indispensable. Dans le milieu académique, par exemple, selon les institutions, la pratique veut qu'une expertise dans un domaine de recherche munisse magiquement de compétences didactiques. Ce travail se veut aussi un témoignage de l'utilité immense d'une formation didactique pour exercer l'activité d'enseignant·e, y compris au degré tertiaire.

# Chapitre 1

## Contexte et objectifs

*Ca a débuté comme ça.*

---

LOUIS-FERDINAND CÉLINE – VOYAGE AU BOUT DE LA NUIT

Ce travail s'intéresse à l'interaction entre une activité d'enseignement et une formation continue en didactique. Ce chapitre a pour but de "planter le décor", en décrivant le contexte du cours "Analyse Propédeutique" de l'Université de Fribourg, puis les origines de mon inscription à la formation proposée par le Centre de Didactique Universitaire, et finalement les objectifs spécifiques du présent travail de fin d'études.

### 1.1 Le cours Analyse Propédeutique

Ma formation en didactique universitaire a été motivée, puis renforcée et enrichie, par l'enseignement d'un cours à l'Université de Fribourg. Il a été à la fois un "terrain d'expérimentation" et une source de réflexion durant les 3 ans qu'aura duré la formation. Voici des éléments contextuels le concernant.

Le cours "Analyse Propédeutique" est le plus grand cours de la Faculté des Sciences et de Médecine en termes de nombre d'étudiant·e·s : entre 250 et 300 inscrit·e·s. La dotation horaire est faible : un bloc de 2 périodes de cours, ainsi qu'une séance d'exercices d'une période, par semaine. Le nombre de points ECTS prévus pour ce cours est de 6 (3 par semestre).

Ce cours est inscrit dans divers plans d'études avec les différents statuts suivants :

- Cours propédeutique destiné aux étudiant·e·s en première année dans la section Sciences de la Faculté qui ont un domaine d'étude autre que les mathématiques ou la physique : biologie, chimie, sciences biomédicales, sciences de la Terre, sciences du sport, informatique, diplômes d'enseignement secondaire I et II.
- Cours de compétences transversales de plans d'étude de la Faculté des Lettres, notamment pour les formations en sociologie, psychologie, sciences de l'éducation, et travail social.
- Unité de cours dans des plans de formations continues ou de compléments ou préalables à certains Masters (par exemple le Master en Bioinformatique et Biologie Computationnelle).

Bien que la grande majorité des participant·e·s au cours le suivent dans le cadre des cours propédeutiques à leur voie d'études en sciences, les profils des participant·e·s au cours couvrent un large spectre de voies d'études, d'antécédents, d'intérêts et d'attentes en lien avec ce cours.

L'objectif principal du cours dans les plans d'études est d'introduire des concepts de base de l'analyse mathématique, sur lesquels viendront ultérieurement s'appuyer les différents cours spécifiques aux domaines d'études. Plus précisément, deux grandes thématiques sont discutées : les équations différentielles ordinaires, et les fonctions de plusieurs variables (représentation, optimisation, intégration).

Compte tenu de la grande diversité d'antécédents des étudiant·e·s entamant leurs études, le premier tiers du cours est essentiellement dévolu à des révisions du programme de maturité gymnasiale (dérivées et intégrales de fonctions à une variable), avec relativement peu de nouveautés. Selon l'établissement, le canton ou le parcours de chacun·e, ces concepts sont tantôt une nouveauté absolue, tantôt un terrain connu, ajoutant ainsi une dimension d'harmonisation à la première partie du cours.

Traditionnellement, il ressort des évaluations de l'enseignement ainsi que des discussions informelles avec les étudiant·e·s qu'au-delà du "saut" entre degrés secondaire II et tertiaire et des défis d'un programme souvent déjà chargé, le contenu du cours en soi est perçu comme difficile, en raison de l'abstraction et de la diversité des contenus. De plus, la variété des plans d'études implique aussi certaines variations dans la pertinence de tel ou tel chapitre dans telle ou telle voie d'études particulière, comme c'est souvent le cas dans les cours propédeutiques.

Pour la partie "exercices", le Département de Mathématiques alloue entre 1 et 2 assistant·e·s-doctorant·e·s selon les disponibilités et les contraintes des autres cours assurés par le Département, ainsi qu'entre 3 et 4 tuteurs et tutrices. Au total, ce sont donc en moyenne 5 personnes par semestre qui assurent l'encadrement des séances d'exercices.

Le taux d'encadrement est un autre défi "traditionnel" de ce cours : il est compliqué d'offrir un suivi personnalisé aux étudiant·e·s sans y investir une quantité d'heures de travail qui dépasserait les heures prévues contractuellement pour un·e assistant·e (10.5 heures/semaine) ou un tuteur ou une tutrice (5.25 heures/semaine). De plus, les seules 45 minutes par semaine prévues pour la séance d'exercices sont souvent jugées trop peu, tant par les assistant·e·s que par les étudiant·e·s.

Finalement, conformément à la pratique dans la Faculté des Sciences et de Médecine, ce cours applique un bilinguisme actif, c'est-à-dire que chacun·e s'exprime dans sa langue préférée (français ou allemand) et peut s'attendre à être compris·e. En particulier, les documents ne sont pas publiés dans les deux langues. L'objectif est un équilibre entre langue du cours, des séances d'exercices, et de la documentation (séries d'exercices, corrigés). A nouveau, selon les antécédents et familiarités, l'aspect linguistique peut représenter un obstacle supplémentaire pour les étudiant·e·s, surtout en début d'année.

Dans la suite de ce travail, j'utiliserai souvent seulement l'expression "le cours" pour désigner ce cours d'Analyse Propédeutique.

## 1.2 Pourquoi cette formation didactique

J'ai défendu ma thèse de mathématiques à l'Université de Fribourg fin 2015, à la suite de quoi j'ai obtenu une bourse post-doctorale de 18 mois à la Vanderbilt University, à Nashville TN. Là, j'ai eu l'opportunité d'enseigner un cours semestriel, ma première expérience comme enseignant principal, et mon premier contact avec la didactique universitaire : Vanderbilt a un "Center for Teaching" bien établi qui propose une grande quantité de ressources en ligne, dont je me suis inspiré principalement pour écrire le syllabus du cours.

J'ai été engagé pour la rentrée 2017-2018 à la HES-SO Valais à 80%, et ai bénéficié peu de temps après d'un petit pourcentage post-doctoral au Département de Mathématiques de l'Université de Fribourg. Au printemps 2019, le Département recherchait une personne pour enseigner le cours "Analyse Propédeutique" pour l'année académique 2019-2020. Stefan Wenger, de la chaire duquel dépend ce cours, m'a proposé de reprendre ce cours en complément de mon activité de recherche, ce que j'ai accepté avec enthousiasme. Etant intéressé par les mathématiques "en action" dans d'autres disciplines, et ayant été assistant pour ce cours à une reprise plusieurs années auparavant, cette opportunité était d'autant plus intéressante à mes yeux.

Stefan Wenger m'a donné carte blanche quant à la mise en oeuvre du cours, avec cependant l'objectif de conserver l'essentiel du contenu théorique qui y était présenté traditionnellement. Mon prédécesseur à cette charge m'ayant transmis ses supports de cours (eux-mêmes inspirés de précédentes éditions), je pensais que l'essentiel de l'effort de préparation était ainsi évité. En effet, à Vanderbilt, le cours que j'avais donné reprenait l'essentiel de la documentation et de l'organisation d'un collègue, et l'expérience s'était très bien passée. Cependant, le cours d'analyse propédeutique comportait des défis différents et plus délicats, notamment en termes de taille et de diversité de la cohorte et d'accessibilité du contenu (comme décrit à la section précédente).

Ainsi, j'ai abordé la préparation de ce cours avec comme objectif de repenser plusieurs de ses aspects, tout en conservant les concepts et techniques discutés. C'est quand il a fallu construire le syllabus du cours que je me suis rendu compte de la quantité de choix qui devaient être faits et l'étendue des possibilités qui pouvaient être explorées. Contrairement à mes activités d'enseignement à la HES-SO Valais, qui s'effectuaient en collaboration et coordination avec plusieurs collègues dans une forme de "continuité traditionnelle", j'avais dans ce cas pleine latitude pour la construction d'un scénario pédagogique (concept avec lequel je n'étais alors pas familier).

C'est dans ce contexte que j'ai demandé de suivre un premier module au Centre de Didactique Universitaire, dans le cadre de l'offre "à la carte" : le module "Evaluation des apprentissages et des enseignements", que j'ai pu immédiatement réinvestir dans la composition de contrôles continus pour le cours.

A l'issue de ce module, ayant pu constater l'intérêt de la formation didactique proposée, en particulier dans une dynamique parallèle à la construction et au déploiement d'un enseignement, et le Département de Mathématiques m'ayant proposé de continuer à donner ce cours, j'ai décidé en été 2020 d'entamer le Diploma of Advanced Studies (DAS), dont le présent travail est la dernière étape de validation.

Au-delà d'être une étape nécessaire à l'obtention d'un diplôme, ce travail de fin d'études revêt pour moi une utilité considérable, car il me permet de revenir sur 3 ans d'interactions entre modules de formation et pratique d'une même unité d'enseignement. En particulier, je l'ai abordé comme une opportunité de triplement faire le point : sur mon identité pédagogique, sur le dispositif didactique du cours, et sur la formation didactique, et ainsi voir comment ces différents aspects se sont formés, ont interagi, et se sont répondus ou sont parfois entrés en dissonance.

### 1.3 Objectifs du travail

Au vu de ce qui précède, les objectifs que j'ai choisis de poursuivre en réalisant ce travail sont les suivants :

- (1) Décrire explicitement mon identité pédagogique, identifier les valeurs qui la fondent et les intentions et intuitions didactiques qui ont motivé la création du dispositif.
- (2) Revenir sur la construction du dispositif didactique : donner une description systématique de la version la plus récente et décrire l'évolution à travers les itérations successives.
- (3) Explorer différents indicateurs qualitatifs et quantitatifs pour analyser le succès du dispositif didactique, et énoncer des pistes d'évolution.
- (4) Utiliser les différents outils et concepts travaillés dans les modules de la formation didactique pour structurer la description, puis l'analyse, du dispositif didactique.

L'organisation des chapitres suivra essentiellement l'ordre dans lesquels les objectifs (1)–(2)–(3) ont été énoncés, l'objectif (4) étant transversal à la progression.

## Chapitre 2

# Intentions pédagogiques

γνῶθι σεαυτόν

---

ATTRIBUÉ À SOCRATE

Comme mentionné dans la Section 1.1, le fond du cours était relativement fixé, et j'ai pu m'inspirer de contenus et ressources existants à ce sujet. Ainsi, j'ai eu l'occasion de réfléchir plus en détails à la forme, pour laquelle j'avais toute latitude. Cette réflexion a été soutenue et nourrie par la formation en didactique effectuée en parallèle, et le cours a subi plusieurs évolutions d'une itération à l'autre (cf. Chapitre 4). De plus, pouvoir collaborer étroitement avec des assistant·e·s m'a permis de confronter mes intuitions aux leurs, de préciser mes pensées, et *in fine* d'amorcer la construction d'un système de valeurs et intentions assumé.

Le but de ce chapitre est d'explicitier formellement ces intuitions, intentions et valeurs, afin notamment d'éclairer ensuite les choix effectués dans le dispositif didactique.

### 2.1 Différents "maux" liés aux mathématiques

#### 2.1.1 Constat empirique : cours d'appui au primaire et secondaire

Durant mon parcours gymnasial, puis surtout durant mon Bachelor, j'ai partiellement financé mes études en donnant des cours d'appui, ayant jusqu'à une dizaine de rencontres différentes par semaine. Les degrés concernés allaient du primaire au secondaire II (gymnasial, spécialisé ou professionnel), ainsi qu'occasionnellement des personnes en première année du degré tertiaire. Cet échantillon de personnes possédait à une écrasante majorité deux traits similaires : des émotions négatives (principalement crainte/nervosité) liées aux mathématiques, ainsi qu'une forme de découragement général. Bien sûr, cet échantillon est biaisé par nature.

Ces observations m'ont conduit à aborder ces séances d'appui comme une sorte d'énigme à résoudre : trouver des moyens de conduire la personne avec qui je travaillais à assainir ses processus de pensée. Dans ce contexte, j'avais à l'esprit une phrase qu'avait prononcée un de mes enseignants au secondaire :

*"Il y a quatre étapes pour passer de l'incompréhension à la compréhension :*

*D'abord, on ne sait pas qu'on ne sait pas. Ensuite, on sait qu'on ne sait pas. Ensuite, on ne sait pas qu'on sait. Et finalement, on sait qu'on sait."*

Typiquement, une personne demandant un cours d'appui a fait le passage de la première à la seconde étape. La troisième étape est peut-être la plus ingrate : durant cette période on ne se fait plus confiance : on rejette sa réflexion, pensant qu'on est encore dans une dynamique de pensée erronée (alors qu'en fait le raisonnement est correct). Ainsi, il arrivait que malgré des heures d'appui et un fort engagement, un·e étudiant·e voie ses notes stagner à de faibles niveaux. Survenait alors une forme de découragement, typiquement manifestée par une phrase comme *"Je comprends tout ce qu'on fait ensemble, mais quand j'arrive devant la feuille je ne sais plus rien"*. Il n'était alors pas rare que la personne doute de ses compétences intellectuelles (*"Je n'y arriverai jamais, je suis trop nul·le"*), et culpabilise de ne pas "rentabiliser l'investissement" consenti par ses parents en ayant recours à un appui.

L'impression que j'ai formée durant ces années était que les mathématiques ont un statut spécial dans les cursus : présentes dans les formations depuis un jeune âge, elles agissent souvent comme une discipline de sélection (accidentellement, la plupart du temps), et sont valorisées (comme si la réussite en mathématiques attestait de la qualité intellectuelle d'une personne). Par conséquent, elles sont souvent aussi une discipline "bête noire", et ne laissent presque jamais indifférent·e. De ce point de vue, elles sont comparables, il me semble, aux cours de langues en ce sens que ces disciplines semblent susciter une aversion particulière chez une partie des étudiant·e-s en primaire et au secondaire, qui restera ensuite cristallisée.

Il suffit de penser par exemple aux immenses tableaux noirs couverts de symboles dans les films "A Beautiful Mind" ou "Will Hunting", ou la série "Numb3rs", entre autres, pour se convaincre de la charge véhiculée par cette discipline dans la culture populaire. Le strip de la Figure 2.1 reflète assez bien cet état d'esprit.

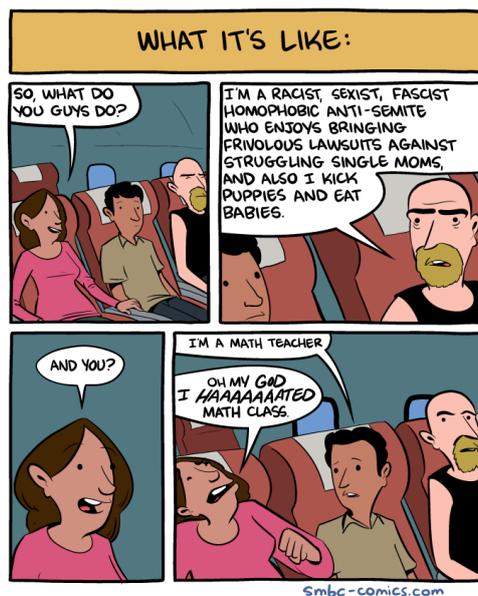


FIGURE 2.1 – Les mathématiques sont polarisantes [73]

### 2.1.2 Mathématiques au tertiaire, anxiété et syndrome de l'imposteur·e

Au-delà des impressions personnelles relatées dans la section précédente, il convient de mentionner que les difficultés en mathématiques sont reconnues et étudiées depuis de nombreuses années. Pour les jeunes enfants, les travaux fondateurs sont ceux de Piaget et Szeminska [55]. Ces défis ne sont cependant pas limités au jeune âge et se poursuivent sous différentes formes jusqu'au degré tertiaire. Dans ce contexte, un des défis principaux semble être le passage du secondaire au tertiaire, notamment (voir [29] et les références qui s'y trouvent, par exemple).

Cependant, la thématization et l'étude d'un état d'anxiété liée aux mathématiques semble relativement récente [41, 49, 50], en particulier chez les étudiant·e·s du degré tertiaire dans les disciplines dites MINT (Mathématiques, Ingénierie, sciences Naturelles, et Technologie, en anglais : STEM). En plus d'être un état psychologique inconfortable, une telle situation d'anxiété peut aussi impacter l'expérience d'apprentissage [60], voire l'attitude générale face aux disciplines MINT, indépendamment des compétences mathématiques réelles de l'étudiant·e [24] !

Quant au phénomène appelé "syndrome de l'imposteur·e", qui peut probablement aussi découler d'un état d'anxiété liée aux mathématiques, il est suffisamment établi pour que de plus en plus d'institutions le thématisent, typiquement via leurs services psychologiques [10] ou les services de vie estudiantine [40].

A mon avis, non seulement cette situation ne doit pas être ignorée, mais y remédier devrait faire partie intégrante de tout dispositif didactique en mathématiques. C'est pourquoi les objectifs décrits dans la section suivante sont à mon sens tout aussi importants que les objectifs d'apprentissage.

## 2.2 Objectifs pour le cours

Plus qu'un souhait de proposer une expérience d'apprentissage apaisée et positive, la démarche décrite dans ce chapitre a un double but :

- Susciter une participation active des étudiant·e·s. En effet, les éléments mentionnés dans la section précédente peuvent être directement liés aux aspects "Evaluation de soi" et "Attitude par rapport à la formation" du modèle de Cross [21] pour la motivation (repris par Charlier [16, pp.7-11]).
- Favoriser chez les étudiant·e·s un apprentissage en profondeur (selon la terminologie initiée par Säljö [61] puis affinée par Biggs [5], et reprise par Charlier [16, pp.11-12]), plus particulièrement en initiant une dynamique de changement de regard par rapport à soi-même et à la discipline.

Ainsi, en plus d'objectifs d'apprentissage "classiques" déclarés et formalisés dans le syllabus (voir Section 3.1.2), j'ai choisi de doter le cours d'objectifs de niveau élevé dans la taxonomie de De Ketele [26] (reprise par Charlier [16, pp. 49-54]), typiquement de type savoir-être et savoir-devenir. Ils sont en particulier liés au rapport aux mathématiques comme discipline nécessaire à la formulation et à la modélisation d'autres disciplines scientifiques, au processus d'apprentissage, ainsi qu'à la santé psychologique notamment dans le cadre des études. Chacun contribue à l'une des quatre "clés d'activation" identifiées par De Clercq et ses co-auteur·e·s [25] dans le cadre de

la pédagogie active : Réflexion profonde, Contextualisation, Implication, et Interactions.

Cette section se propose de formuler ces objectifs, qui sont soit des objectifs pour les étudiant·e-s, soit des objectifs pour l'équipe enseignante (c'est-à-dire les assistant·e-s, tutrices, tuteurs et moi-même) ou le cours en soi.

Il est important à mon sens de noter que ces objectifs et intentions ne se veulent pas contraignants pour l'étudiant·e. Plus précisément, il s'agit de mettre en place un environnement d'apprentissage qui repose sur des valeurs clairement assumées, et des objectifs qui résultent d'une certaine conception, sans pour autant attendre des étudiant·e-s qu'ils et elles partagent ces valeurs et objectifs ou y adhèrent. Il est tout-à-fait acceptable à mes yeux qu'une personne ne se reconnaisse pas dans cette approche.

### 2.2.1 Mistakes Allow Thinking to Happen

Un premier objectif concerne le rapport à l'erreur et pourrait être exprimé ainsi :

- \* (Pour l'étudiant·e :) Accepter que commettre des erreurs et ne pas comprendre quelque chose immédiatement font partie du processus d'apprentissage, y compris en mathématiques.

Cet objectif recouvre divers enjeux : accepter qu'on va inévitablement commettre des erreurs, ne pas être effrayé·e par cette perspective, et au final, aborder l'erreur comme partie intégrante du processus d'apprentissage. Cette dynamique mène à un second objectif :

- \* (Pour l'étudiant·e :) Adopter une démarche réflexive sur son processus d'apprentissage, en particulier en "apprenant de ses erreurs".

Autrement dit, l'idée est de placer le processus de réflexion au centre du dispositif pédagogique. Ça me semble particulièrement important dans la mesure où la démarche scientifique, en particulier en sciences naturelles (donc le public-cible du cours), est essentiellement empirique. Ainsi, les erreurs font partie du processus, pour autant qu'on ne les considère pas comme un cul-de-sac mais bien comme une source de questionnements nous permettant de progresser.

Dans cette perspective, la réponse à un problème est alors reléguée au second plan : ce qui est central n'est pas le produit fini, mais bien le processus de pensée, l'enchaînement et l'articulation des arguments entre eux. Pour reprendre les mots de Nicolas Rouche :

*"(...) faire des mathématiques, c'est penser, ce n'est pas appliquer des règles, ce n'est pas chercher l'unique bonne réponse par l'unique bonne méthode." [59]*

En poussant plus loin la réflexion, on débouche alors sur le troisième et dernier objectif que j'ai choisi de définir pour cet aspect :

- \* (Pour l'étudiant·e :) Savoir identifier les points de blocage dans son processus de compréhension, et les formuler afin d'obtenir du soutien de pair·e-s ou des enseignant·e-s.

Il ne suffit donc pas de dire "J'ai fait faux" ou "Je n'ai pas la bonne réponse", mais d'être capable d'identifier dans son processus les étapes dont on est sûr·e et les aspects où l'on est incertain·e, les concepts qu'on pense ne pas avoir bien intégrés, les zones de fragilité.

Ces objectifs induisent ainsi une dynamique de collaboration : l'étudiant·e n'est pas seul·e face à l'apprentissage, et la communication est un enjeu autant qu'un objectif.

Au sujet du statut de l'erreur et de la dynamique d'"essai et erreur", une autre source d'inspiration a été le travail de Manu Kapur et son équipe à l'ETH Zürich [45] autour de la "productive failure", notamment pour la composition des séries d'exercices de ce cours.

## 2.2.2 Des mathématiques du quotidien

Dans la section précédente, en examinant le statut de l'erreur, est survenue la question du processus de pensée. Un axe d'objectifs connexe est celui de l'"appropriation de la matière" : décloisonner la discipline, lui faire quitter son statut éthéré et abstrait. En effet, Rouche nous dit :

*"(...) Apprendre des mathématiques, à tous les niveaux, c'est construire un savoir sur des chantiers de problèmes. Il est essentiel que chaque élève se trouve en situation de recherche, à coups répétés, tout au long de son apprentissage. Nous pensons qu'il a ainsi la meilleure chance de devenir capable de résoudre de nouveaux problèmes. Un deuxième principe est que l'enseignement doit partir (mais pas camper !) sur le terrain familier de l'élève et dans sa langue."* [58, p. 17]

Tout est dit, et on peut ainsi emprunter à Rouche cet objectif fondamental :

\* (Pour le cours et l'équipe enseignante :) Ancrer le cours et les exercices dans la réalité, que ce soit par des exemples concrets, des expérimentations matérielles, ou par des exercices tirés de domaines applicatifs, idéalement dans les voies d'études des étudiant·e-s.

L'ambition ultime est de donner du sens à ce que font les étudiant·e-s, car, à nouveau selon Rouche (qui évoque implicitement les notions d'apprentissage en surface et en profondeur, notions qui seront discutées plus en détails dans la Section 5.2.1) :

*"Lorsqu'un élève exécute, selon les règles, des calculs algébriques qui ne sont motivés par aucune question et dont personne n'attend le résultat, à part le professeur qui comptabilise les fautes, il travaille au niveau formel, sans embrayer sur des idées, à vide."* [59]

Couplé avec les objectifs de la section précédente, le but de cet objectif est la création d'une dynamique d'apprentissage ayant des traits communs avec l'approche par problèmes ou par étude de cas. Ceci me semble d'autant plus important que le public du cours d'analyse propédeutique est précisément constitué de personnes dont l'intérêt sera d'appliquer ensuite les concepts et techniques du cours à leurs domaines respectifs.

Au-delà des contenus proposés, du choix de tel ou tel exemple ou exercice plutôt qu'un autre, il s'agit véritablement de mettre en place une proximité avec le contenu, qui se traduit jusque dans le registre de langue. Concrètement, cela signifie pour moi de parler en cours comme je parlerais à des collègues ou à des amis. Il ne s'agit pas d'effacer les rôles institutionnels d'enseignant et d'étudiant·e-s, ou de supprimer artificiellement la terminologie consacrée, mais bien de s'adresser

à l'auditoire comme je m'adresserais à un groupe de collègues : en utilisant un langage direct, accessible, voire familier, et en donnant une place de choix à l'humour et à des références à la culture populaire. Je suis persuadé de l'intérêt didactique du langage choisi, de l'univers dans lequel j'inscris la narration : si ma thèse est que les mathématiques sont partout dans le quotidien et l'environnement des étudiant·e·s, pourquoi irais-je à l'encontre de cette thèse en cloisonnant mon langage à un registre artificiellement sélectif ?

### 2.2.3 Désacralisation et accessibilité

Cet axe d'objectifs est une continuité de l'axe précédent. En effet, que ce soit en discutant informellement avec les étudiant·e·s ou en consultant les commentaires d'évaluations de l'enseignement, on constate que pour une partie d'entre eux et d'entre elles, le contexte académique peut être intimidant. Quelques éléments pourraient à mon sens contribuer à l'expliquer :

- Le degré tertiaire est le dernier accessible dans le système de formation, le plus spécialisé/abouti, et donc le plus valorisé.
- Socialement, malgré la grande diversité des passerelles et autres bifurcations, il y a, j'ai l'impression, encore une certaine forme de sacralisation de l'Université : c'est le lieu des expert·e·s, des chercheuses et chercheurs, qui se trouvent aussi être les enseignant·e·s.
- Il y a peut-être une composante culturelle. Par exemple, j'ai l'impression qu'en Amérique du Nord, où la culture du "freedom of speech" est plus centrale, les étudiant·e·s ont moins peur de s'exprimer.
- Surtout dans les cours propédeutiques, les cohortes sont plutôt grandes, et il y a couramment une perte de contact direct avec les enseignant·e·s, ce qui peut donner l'impression de n'être "qu'un·e parmi d'autres" / "un numéro d'étudiant·e".
- L'élément précédent est probablement renforcé par l'aspect très bureaucratique / administratif de l'Université : il peut y avoir une sensation d'intimidation face au fonctionnement souvent rigide et mécanique de l'institution – délais multiples et définitifs, règlements strictement appliqués, etc.

Ainsi, dans cette perspective, un second enjeu important à mes yeux est celui de l'individualisation la plus forte possible de l'expérience d'apprentissage. Celle-ci passe à mon sens par la nécessité de placer par défaut et par principe l'étudiant·e au centre du dispositif, qui est conçu comme un instrument au service de son développement. Concrètement, une possible formulation d'objectifs allant dans ce sens pourrait être la suivante :

(Pour le cours et l'équipe enseignante :)

- \* Individualiser au maximum l'expérience d'apprentissage pour les étudiant·e·s.
- \* Être accessibles et disponibles autant que faire se peut.
- \* Par défaut, être disposé·e·s à accéder aux demandes d'aménagement / d'adaptation / d'arrangement des étudiant·e·s et le cas échéant, chercher à trouver un compromis raisonnable.

Bien sûr, compte tenu de la taille de la cohorte et le relativement faible taux d'encadrement, ces objectifs se heurteront presque inévitablement à la "réalité du terrain". Cette difficulté intrinsèque, quasiment antinomique dès le départ, n'empêche cependant pas à mon sens de garder ces objectifs

comme principes directeurs. Par contre, ils s'accompagnent nécessairement de l'objectif suivant pour moi en tant qu'enseignant :

- \* (Pour moi comme enseignant :) Instaurer une culture d'équipe et de collaboration avec les assistant·e·s, tutrices et tuteurs. En particulier, veiller à ce que leur charge de travail corresponde au plus près à ce qui est prévu dans leur cahier des charges, et les impliquer activement dans l'implémentation du dispositif didactique.

#### **2.2.4 Une communauté d'êtres humains**

La progression amorcée dans les sections précédentes débouche naturellement sur le constat suivant : au final, toute activité d'enseignement et d'apprentissage est une activité impliquant avant tout des êtres humains, rassemblés par les circonstances autour d'un projet commun, ponctuel et éphémère. Cette mise en perspective appelle certainement à l'humilité quant à l'importance qu'on attribue aux aspects formels et concrets du cours. Cependant, cet espace-temps est aussi à mon avis une occasion pour l'étudiant·e d'évoluer dans son rapport à lui/elle-même et aux autres.

Ainsi, ce cours doit aussi à mon sens permettre aux étudiant·e·s de se développer comme futur·e·s scientifiques et membres actifs et actives de la société. C'est l'enjeu de ce dernier axe d'objectifs.

Un premier couple d'objectifs concerne le développement de compétences collaboratives et l'adoption de valeurs éthiques :

(Pour l'étudiant·e :)

- \* Être prêt·e à travailler activement en collaboration avec d'autres étudiant·e·s.
- \* Adopter une attitude intègre et honnête, en particulier en appliquant de hauts standards d'intégrité scientifique (non-plagiat, mention des contributions et des sources, argumentation rationnelle, notamment).

En élargissant encore la perspective, la réflexion débouche sur l'objectif suivant, partagé par tous les membres de la communauté du cours :

- \* (Pour l'étudiant·e et l'équipe enseignante :) S'engager activement dans la vie de la communauté du cours, avec bienveillance et respect.

Finalement, le dernier objectif dans ce contexte concerne essentiellement l'équipe enseignante :

- \* (Pour l'équipe enseignante :) Mettre en place et maintenir une atmosphère sécurisée et accueillante pour les étudiant·e·s. En particulier, thématiser les questions de santé physique et psychologique, y compris en pointant vers des ressources dans ce sens.

En définitive, une dimension du rôle d'enseignant·e tel que je le conçois, et également du rôle d'assistant·e, de tutrice, de tuteur, et d'étudiant·e, est intimement sociale : il ne s'agit pas seulement d'un travail, de "donner de la matière", de suivre un cours, mais bien d'être engagé·e dans une activité humaine, avec d'autres êtres humains.

## 2.3 Caractéristiques de ma vision de l'enseignement

A l'issue de la réflexion déployée dans la Section 2.2, il me semble naturel de chercher à caractériser les valeurs et intuitions qui sous-tendent ma vision de l'enseignement, et tenter ainsi de le situer sur le spectre des différentes théories de l'apprentissage et de l'enseignement. Sans prétendre être ni exhaustif, ni définitif, je me suis proposé d'utiliser deux ressources pour le faire.

### Les 7 axes de Grantner

Grantner (repris par Charlier [16, p. 20]) propose 7 axes d'approches de l'enseignement. Voici comment je situerais ma vision de l'enseignement sur ces axes :

- Orientation des buts (centré vers la réussite ↔ centré vers l'apprentissage)  
Si les objectifs notamment des Sections 2.2.1 et 2.2.2 mettaient l'accent sur le processus d'apprentissage, le contexte institutionnel du cours nécessite tout de même d'acquérir un certain degré de maîtrise des concepts et techniques. C'est pourquoi j'estime que je me situe probablement au centre de cet axe.
- Rôle de l'enseignant·e (expert·e ↔ facilitateur/facilitatrice)  
A nouveau, s'agissant d'un cours dont les enjeux sont aussi techniques, et au vu des objectifs notamment de la Section 2.2.2 à propos de l'ambition de rendre accessible le contenu, j'ai l'impression que ma situation est relativement proche du centre de l'axe.
- Activité de l'apprenant·e (réceptif/réceptive ↔ actif/active)  
Au vu des intentions et objectifs décrits en introduction de la Section 2.2, je pense que je me situe clairement du côté "Actif/active" de cet axe.
- Usage de Moodle/Discord (information et gestion ↔ collaboration et production)  
Cet aspect sera exposé plus en détails dans la section 3.2.2. Je peux d'ores et déjà dire que je me situe probablement plutôt du côté "Collaboration et production" de cet axe, bien que j'aie découpé les deux utilités en pratique : Moodle est utilisé comme "répertoire" centralisé de la documentation et des annonces officielles, et Discord est utilisé comme "lieu de vie" de la communauté du cours. Le curseur penche en direction de ce dernier compte tenu du volume d'activité qu'il héberge.
- Objectif de l'évaluation des apprenant·e·s (sélection/classement des étudiant·e·s ↔ vérification des apprentissages)  
Je suis résolument pour un objectif uniquement de vérification des apprentissages.
- Flexibilité du dispositif (fixe ↔ ouvert)  
En émettant les réserves évidentes liées par exemple au cadre institutionnel (calendrier, règlements, mais aussi objectifs pour le cours dans les plans d'études), les intentions et objectifs décrits notamment dans la Section 2.2.3 me conduisent à me situer plutôt du côté "Ouvert" de l'axe.
- Evaluation de l'enseignement (pas de pris en compte ↔ prise en compte)  
Clairement du côté "Prise en compte" (dans la mesure du possible). Voir aussi la Section 3.1.6 pour une description plus détaillée.

Ainsi, il ressort de cette analyse que mon approche est plutôt centrée sur l'apprentissage que sur les contenus, bien que ces derniers restent cruciaux de par le contexte du cours dans les plans d'études.

### **Paradigmes et pratiques d'enseignement**

Baker et coauteur·e·s [4] fournissent un tableau récapitulatif de 6 paradigmes et pratiques d'enseignement : behavioriste, cognitiviste, constructiviste cognitive, socio-constructiviste, humaniste, et transformative.

Les objectifs du cours et les présupposés décrits dans la Section 2.2 conduisent il me semble à caractériser mon approche comme principalement de type :

- Constructiviste cognitive (notamment par l'approche "par problèmes" et la démarche par "erreurs et essais")
- Humaniste (en ce que le cours doit aussi à mon sens s'inscrire dans une démarche de développement des personnes qui y participent)

De plus, il me semble que mon approche possède aussi des caractéristiques

- Socio-constructivites (notamment par l'importance donnée aux interactions et à la collaborations dans la formation des connaissances et des compétences)
- Transformatives (par exemple via la volonté d'amener les étudiant·e·s à devenir des membres actifs et actives de la communauté et de la société, et à développer un savoir-être lié à leur formation de scientifiques).

En résumé, le cours d'analyse propédeutique, vu son contexte institutionnel et dans les plans d'études, et vu le contexte inhérent à la discipline elle-même, devrait à mon avis ambitionner d'"exorciser" d'éventuelles charges émotionnelles négatives liées aux mathématiques, faire sortir les mathématiques de leur tour d'ivoire et les ancrer dans le vécu quotidien, et favoriser chez les étudiant·e·s le développement de compétences les amenant ultimement vers le rôle de scientifiques auquel ils et elles se destinent au travers de leurs études.

## Chapitre 3

# Dispositif didactique

*What you do makes a difference, and you have to decide what kind of difference you want to make.*

---

JANE GOODALL

Le chapitre précédent a exposé les intentions pédagogiques qui ont guidé la mise au point du dispositif didactique. Dans ce chapitre, je décriai ce dispositif en faisant une distinction entre le scénario pédagogique à proprement parler et ce que j'ai choisi d'appeler le dispositif social. J'ai fait le choix de les traiter distinctement avec le critère suivant :

- Sera traité dans la Section 3.1 "Scénario pédagogique" tout ce qui est lié à la réalisation des objectifs d'apprentissage définis pour le cours (voir Section 3.1.2). En particulier, j'ai choisi pour cette partie de suivre le canevas proposé par Charlier [16, pp. 37-44], repris et adapté de Viens [71].
- Dans la Section 3.2 "Dispositif social" seront discutés les éléments liés à la réalisation des objectifs du cours tels que définis dans la Section 2.2.

Bien sûr, une telle séparation comporte une partie d'arbitraire, et certains choix de traiter un aspect dans une partie plutôt qu'une autre pourraient paraître artificiels (et ils le sont certainement, puisque si le dispositif est bien conçu ces parties sont intimement interdépendantes), mais à mon avis les bénéfices en termes de structure et de clarté de l'exposition surpassent ces frictions conceptuelles.

Le dispositif didactique décrit ici est le plus récent, celui de l'Année Académique 2021-22, car c'est sa forme la plus aboutie pour le moment. La conception et les versions précédentes de ce dispositif seront discutées dans le Chapitre 4, tandis que des perspectives de modifications et améliorations seront évoquées dans la Section 5.3.

### 3.1 Scénario pédagogique

Comme mentionné précédemment, cette section adopte le canevas proposé par Charlier [16, pp. 37-44], repris et adapté de Viens [71].

### 3.1.1 Description du cours

Cette section reprend des éléments déjà évoqués dans la Section 1.1, et en élabore d'autres.

L'unité d'enseignement "Analyse Propédeutique I/II" est un cours avec exercices intégrés visant à donner des bases d'analyse mathématique nécessaires à un large spectre d'étudiant·e-s, en particulier de futur·e-s scientifiques :

- Première année de Bachelor en Sciences, donc la branche principale n'est ni mathématiques, ni physique, ni médecine.
- Bachelor ou Master en Lettres, dans le cadre des compétences transversales et complémentaires ("soft skills").
- Master en Sciences, dans le cadre de compléments ou de mise à niveau.

La quasi totalité des cohortes jusqu'à présent étaient composées d'étudiant·e-s de première année devant obligatoirement suivre ce cours. Il y a typiquement environ 250-300 étudiant·e-s qui s'inscrivent à ce cours en début d'année académique (dont entre la moitié et les deux tiers prendront effectivement l'examen final). Il n'y a pas d'autre prérequis à ce cours que d'être inscrit·e à l'Université de Fribourg.

Les plans d'études prévoient tous une dotation de 6 points ECTS. Conformément au règlement de la Faculté des Sciences et de Médecine, une note inférieure à 4.0 n'est pas forcément obstructive. Le cours fait partie d'un paquet de validation, comportant typiquement les autres cours propédeutiques, et la moyenne des notes des cours du paquet, pondérée en fonction du nombre de points ECTS et arrondie au dixième, doit être d'au moins 4.0.

Ce cours se déploie sur 3 périodes par semaine en présence (2 périodes de cours, 1 période d'exercices, soit 2h15 par semaine), durant toute l'année académique, et le dispositif prévoit une durée de travail personnel estimée à environ 4 heures par semaine en moyenne.

En plus de moi-même (enseignant), ce cours implique a priori 1 à 2 assistant·e-s-doctorant·e-s et entre 3 et 4 tutrices et tuteurs (étudiant·e-s en fin de Bachelor ou en Master en mathématiques). Ce contingent n'est pas directement fixé, mais il est discuté, voire négocié, de semestre en semestre, en fonction des disponibilités et autres contraintes du Département de Mathématiques en termes d'enseignement (pool d'assistant·e-s et tutrices/tuteurs).

La mise en place d'un serveur Discord (voir Section 3.2.2) dédié a eu comme effet inattendu que des étudiant·e-s d'éditions précédentes (et donc ayant déjà validé le cours) demandent à pouvoir intégrer le serveur et agissent comme pair·e-s ressources de manière spontanée et plus ou moins régulière. Durant l'année académique 2021-22, ils et elles représentaient 5 personnes-ressources informelles supplémentaires.

Le cours est conçu pour se dérouler sous forme présentielle. Cependant, il a été donné de facto sous forme distancielle, respectivement hybride, suite à l'épidémie de COVID-19. La présente description se concentre sur le dispositif tel qu'adopté pour un déploiement dans une situation

"normale". Les adaptations particulières et apports conservés à l'issue des différentes modalités liées à l'épidémie de COVID-19 sont discutés dans la Section 4.2.

Les ressources sont rassemblées sur une page Moodle dédiée : syllabus, bibliographie, séries d'exercices et corrigés, exemples d'évaluations d'années précédentes et grilles d'évaluation. Cette page Moodle contient en outre un forum d'annonces, qui est utilisé comme moyen de communication officiel. Les scores des exercices sont collectés depuis Moodle également.

Le cours dispose aussi d'un serveur Discord, dédié à la communication informelle (y compris questions liées au cours), et à la vie de la communauté. Il est décrit dans la Section 3.2.2.

### 3.1.2 Objectifs d'apprentissage

Le cours étant principalement destiné aux étudiant·e-s de première année de Bachelor, il est destiné à contribuer au développement des 5 descripteurs du Bachelor prévu par le cadre de qualification national (National Qualification Framework – NQF, voir [63, 65]).

Plus spécifiquement, l'objectif principal de ce cours est que les étudiant·e-s soient capables de mobiliser des techniques de l'analyse mathématique afin de comprendre, traiter, approfondir, et communiquer des problématiques issues de leur propre domaine d'études. Par nature, c'est donc un cours dit "de service", ou mieux : au service des étudiant·e-s.

Sur cette base, les objectifs d'apprentissage suivants ont été définis pour ce cours (*entre parenthèses et en italique, les niveaux de taxonomie de De Ketele [26], telle que reprise par Charlier [16, pp. 49-54], visés*) :

- Expliquer les concepts centraux et les techniques importantes de l'analyse mathématique. (*savoir-refaire/savoir-redire*)
- Illustrer ces concepts et techniques à l'aide d'exemples et de contre-exemples. (*savoir-faire cognitifs convergents*)
- Appliquer ces concepts et techniques à des situations issues de son domaine d'études et/ou d'autres domaines. (*typiquement savoir-faire cognitifs divergents ; idéalement, déboucheraient sur un niveau de type savoir-devenir*)
- Mener un raisonnement structuré et critique en vue de résoudre des problèmes. (*savoir-faire cognitifs divergents, possiblement aussi pratiques divergents, par exemple dans le cadre de l'utilisation d'un outil informatique ; idéalement, déboucheraient sur un niveau de type savoir-être*)
- Communiquer ce raisonnement de manière claire et précise. (*savoir-faire cognitifs divergents*)
- Critiquer ses propres connaissances, et évaluer son degré de certitude concernant des intuitions données. (*savoir-être*)

### 3.1.3 Prise en compte de l'étudiant·e

Cet aspect revêt une importance particulière, comme décrit dans la Section 2.2.3, a fortiori dans le contexte d'une grande cohorte. Certains aspects se recoupent avec des éléments discutés dans la Section 3.2.

## Caractéristiques individuelles

Un intérêt particulier est apporté aux dimensions suivantes de la personnalité des étudiant·e·s : genre, projets et buts, connaissances préalables, conception de l'apprentissage, attitude par rapport à la formation, compétences numériques, environnement personnel d'apprentissage, compétences linguistiques, évaluation de soi et santé mentale. L'objectif est que malgré la taille et la diversité de la cohorte, chacun·e se sente important·e, valorisé·e, et pris·e en compte individuellement autant que possible. Voici les différentes mesures mises en place dans ce but :

- Afin de veiller à une neutralité du point de vue du *genre*, le langage inclusif est utilisé dans toutes les communications officielles (à commencer par le syllabus), ainsi qu'à l'oral lors du cours. Dans les séries d'exercices et les exemples écrits, j'ai adopté une alternance entre genres masculin et féminin.
- En début d'année, un questionnaire Moodle (cf. Annexe A) est proposé aux étudiant·e·s dans le cadre de la toute première série d'exercices. Les réponses des étudiant·e·s sont utilisées pour adapter le cours lorsque c'est possible (déroulement, choix de thématiques d'exemples/d'exercices, etc). Plus précisément, ce questionnaire contient des questions portant sur :
  - Les raisons de leur choix de filière d'études, ainsi que leurs objectifs/rêves liés à cette formation, ce qui me permet de mieux cerner les *projets* et les *buts* des étudiant·e·s dans leur développement, et possiblement leur plan de carrière.
  - Leurs attentes particulières par rapport à ce cours au sens large, à l'aide d'une question ouverte à ce sujet. De plus, en parallèle, il est demandé aux étudiant·e·s de remplir le questionnaire "Attitudes Towards Thinking and Learning Survey – ATTLS" pré-implémenté dans Moodle. Ces deux instruments me permettent de synthétiser leurs *conceptions de l'apprentissage* (et par rapport à ce cours) et l'*attitude par rapport à la formation* (en général, et pour ce cours en particulier).
  - Leurs *compétences linguistiques* (en français, allemand, anglais, sur les aspects de compréhension et/ou expression orale et/ou écrite). Les énoncés et corrigés des séries d'exercices sont écrits alternativement en français, allemand et anglais. Les énoncés des contrôles continus et de l'examen final sont rédigés en français et allemand.
  - Leurs compétences estimées pour une sélection de thématiques issues des programmes de maturité gymnasiale. Comme ce cours n'a pas de *prérequis*, cette dimension permet d'infléchir potentiellement l'approche des éléments de "révision" présentés en début d'année.
- Le paragraphe "Aménagements" du Syllabus (cf. Annexes B.2, B.3 et B.4) incite les étudiant·e·s à me contacter directement si pour une raison ou une autre leur capacité de travail devait être momentanément impactée, pour quelque raison que ce soit, afin de discuter de potentielles adaptations. Ceci permet notamment de traiter au cas par cas les problématiques familiales, personnelles, matérielles, etc, et ainsi prendre en compte l'*environnement personnel d'apprentissage* de chaque étudiant·e. C'est une implémentation directe d'un des objectifs énoncés dans la Section 2.2.3.

- La première série d'exercices comporte aussi une initiation aux outils numériques utilisés dans le cours (principalement Moodle et Discord), notamment des explications pas-à-pas pour l'installation et la prise en main. Les assistant·e-s et les tutrices et tuteurs offrent ce support numérique en continu tout au long de l'année, afin de garantir une prise en compte des *compétences numériques* de chacun·e.
- La page Moodle contient un forum appelé "Resources for mental and physical support", contenant des ressources de base (lien vers le service psychologique de l'université, pages web de ressources générales, etc). Les étudiant·e-s sont incité·e-s à contribuer avec les ressources qu'ils et elles connaissent et souhaiteraient partager. Dans la ligne des objectifs énoncés dans les Sections 2.2.3 et 2.2.4, les assistant·e-s et tutrices et tuteurs sont explicitement prié·e-s de donner des feedbacks bienveillants, d'insister sur ce que les étudiant·e-s ont compris / ont été capables de faire plutôt que sur ce qui était faux, ainsi que d'adopter une attitude conciliante dans la mesure du possible (par exemple avec des demandes de délai supplémentaire ponctuel, etc). Ces mesures visent à renforcer l'*évaluation de soi* des étudiant·e-s.
- En accord avec le dernier objectif énoncé dans la Section 2.2.3, les assistant·e-s (principalement) et les tutrices et tuteurs (dans une moindre mesure) sont parties prenantes et activement impliqué·e-s dans la mise en place, la mise en oeuvre, voire le développement de ces mesures, sur une base continue tout au long de l'année académique.

### Motivation des étudiant·e-s

Les mécanismes suivants sont implémentés afin de susciter et entretenir l'intérêt et la participation active des étudiant·e-s tout au long de l'année académique :

- Les collaborations entre étudiant·e-s sont explicitement encouragées dans le syllabus, et les séries d'exercices peuvent être rendues par groupes de 3 personnes maximum. La seule limitation à ce principe est que si les discussions et le travail de résolution collaboratifs sont encouragés sans limite de nombre de personnes impliquées, la rédaction finale des solutions aux exercices doit être un travail individuel ou de petits groupes.
- Chaque série d'exercices contient parmi ses 3 exercices entre 1 et 2 exercices de type "application", souvent adaptés d'articles d'exposition ou de recherche dans un des domaines d'étude des étudiant·e-s.
- Le cours dispose d'un serveur Discord dédié, contenant
  - Des canaux écrits pour les questions théoriques, les questions sur le cours, ainsi que les questions sur les séries d'exercices (1 canal par exercice), la recherche de groupes de travail. Les étudiant·e-s peuvent se répondre entre elles/eux, mais l'enseignant et les assistant·e-s et tutrices/tuteurs sont régulièrement présent·e-s et répondent aux questions en différé.
  - Des canaux vocaux pour permettre aux étudiant·e-s de communiquer entre eux/elles et/ou avec l'équipe du cours en direct à distance.
  - Des canaux écrits de type "social" et/ou récréatif, dont une description plus détaillée peut être trouvée dans la Section 3.2.

L'ambition de ce serveur est de proposer une plateforme permanente, sur laquelle la communauté de ce cours, composée d'étudiant·e·s issu·e·s de filières différentes, parlant des langues différentes, et ayant des agendas différents, peut se retrouver en tout temps. Ils et elles ont ainsi un lieu de référence dynamique, où le temps de réaction est généralement court, et où on peut à la fois trouver des réponses à des questions liées aux cours ou simplement socialiser de manière informelle. Un autre avantage est que chacun·e a accès aux questions déjà posées précédemment, limitant ainsi l'effet de surcharge provoqué par des sollicitations multiples pour une même question, typiquement.

Finalement, un aspect important du serveur est son anonymat : au contraire de Moodle, il permet de communiquer sans avoir à donner son identité. Ceci peut contribuer à sécuriser les étudiant·e·s, notamment lorsqu'ils et elles posent des questions, en adéquation avec les objectifs décrits dans la Section 2.2.1.

- La note finale du cours peut être augmentée par un mécanisme de double bonus (voir la section "Calcul de la note" dans 3.1.5 pour plus de détails). Plus précisément,
  - Un bonus d'au maximum +0.5 à la note finale peut être obtenu en rendant une grande proportion de séries d'exercices résolues de manière satisfaisante (nombre et critères définis dans le syllabus).
  - Un autre bonus d'au maximum +0.5 à la note finale peut être obtenu en progressant lors des scores des contrôles continus ("tests") durant l'année. Plus précisément, à chaque fois que le score d'un test est supérieur au score du test précédent, un bonus est engrangé, indépendamment du score obtenu.

L'objectif de ce système est à la fois de prendre en compte la dimension "et exercices" présente dans le titre et la description du cours, et de permettre aux étudiant·e·s de viser une amélioration de leur note finale sur la base d'un travail régulier et d'une progression, indépendamment de leur niveau de compétence initial. Ainsi, ils et elles peuvent se fixer une série de "mini-buts" de progression, afin de maintenir la motivation et la régularité tout au long de l'année académique. L'utilisation de contrôles continus afin de découper la matière annuelle en sous-unités cohérentes testées individuellement a fait ses preuves, surtout pour les grands groupes, par exemple dans le cadre de la pédagogie de la maîtrise théorisée par Bloom [7] (et dont l'efficacité a notamment été mise en évidence par Anania [1, 2] et Burke [11], cités par Gilles [36]).

Ce mécanisme n'est pas un prérequis pour obtenir une note suffisante (un·e étudiant·e peut choisir de ne rendre aucune série d'exercices et ne progresser à aucun test, et tout de même obtenir une note maximale pour le cours), mais il se veut plutôt une reconnaissance à la fois de la régularité et de la qualité du travail effectué.

- Lors des diffusions en direct du cours durant la période de cours à distance / en hybride (c'est-à-dire approximativement entre début 2020 et début 2022), au moins un·e assistant·e est présent·e en direct sur le chat de la chaîne de diffusion et répond aux questions des étudiant·e·s en temps réel.

### 3.1.4 Activités d'apprentissage

Si certains chapitres du cours sont plus longs que d'autres, ce dernier est découpé de sorte que chaque séance de cours porte sur un ou deux thème(s) spécifique(s) facilement identifiable(s). Les activités d'apprentissage durant l'année académique sont réparties en deux catégories principales :

- Entre 22 et 24 dyades cours-série d'exercices tout au long de l'année, entremêlées, chacune d'une durée d'environ 2 semaines.
- Quatre contrôles continus, appelés tests (2 par semestre), qui récapitulent en moyenne 5 séances de cours et séries d'exercices.

Voici en détail le déroulement d'un cycle-type (qui s'étend donc sur 2 semaines), avec à chaque fois la mention de l'approche adoptée ainsi que la fonction d'aide planifiée pour l'activité en question. Les adaptations durant les différents changements de modalité dus au COVID-19 sont exposées dans la Section 4.2.

- (1) Jour 1 : Cours  $N$  (2x45') en présence – activité de type *transmissif* et *individualiste*, regroupant les fonctions d'aide de *compétence* (par le contenu du cours) et d'*intérêt situationnel* (par les problématisations / illustrations / exemples concrets / motivations discutés durant le cours).

A l'issue du Cours  $N$ , la Série  $N$  (d'exercices) est publiée sur la page Moodle du cours.

- (2) Jours 1-6 : Exercice de récapitulation du Cours  $N$  de type Quizz sur Moodle, individuel. Activité de type *individualiste*, de fonction d'aide à la fois *autonomie* et *compétence*.
- (3) Jours 1-6 : Travail en groupes sur la Série  $N$  – les étudiant-e-s essaient de résoudre les exercices proposés, et peuvent le cas échéant déjà poser des questions sur le serveur Discord. Activité conçue comme *collaborative*, mais qui dans les faits peut et est parfois réalisée de manière *individualiste* (si les étudiant-e-s se répartissent le travail). Les fonctions d'aide visées sont : *autonomie* (il n'y a pas de canevas de résolution, les réflexions originales sont encouragées), *affiliation* (via le travail et la réflexion en groupes et/ou sur le serveur Discord), *compétence* (entraînement et réflexion autour des techniques, concepts et leurs applications), et *intérêt situationnel* (au moins un exercice par série est tiré d'une situation concrète issue d'un des domaines d'études des étudiant-e-s).

- (4) Jour 7 : Séance d'exercices  $N$  (1x45') – en présence en trois parties :

- Court feedback au sujet de la Série  $N-1$ , discussion des erreurs fréquemment commises, ouverture et liens avec d'autres concepts, publication du corrigé (voir aussi point (9) ci-dessous).
- Brève discussion de la Série  $N$ , principalement afin que les groupes qui seraient bloqués ou partis dans la mauvaise direction puissent encore corriger le tir.
- Réponses à des questions individuelles, en fonction du temps restant.

Ces séances sont de type *transmissif* et *individualiste*, et contribuent aux fonctions d'aide d'*affiliation* (de par le partage avec les pair-e-s et le "coaching" de la part des assistant-e-et tutrices/tuteurs) et de *compétence* (le feedback permet de voir ce qui était attendu, les indications mettent sur la voie).

(Jour 8 : Cours  $N + 1$ )

- (5) Jours 7-10 : Finalisation de la Série  $N$  – c'est la suite de l'étape (2) ci-dessus, en tenant compte le cas échéant des discussions de la séance d'exercices (Jour 7) et/ou des discussions du serveur Discord. Ces discussions publiques sur le serveur Discord renforcent encore la fonction d'aide d'*affiliation*, car les étudiant·e·s se répondent entre elles/eux.
- (6) Jour 11 : Dernière séance de "debug" – Les assistant·e·s et tutrices et tuteurs se rendent disponibles soit en présence durant une pause de midi, soit sur Discord dans un canal vocal, soit les deux, pour répondre aux dernières questions éventuelles sur la Série  $N$ . C'est une activité essentiellement *transmissive* et *individualiste* (les groupes délèguent souvent un·e auteur·e pour rédiger un exercice), à fonction d'aide principalement de *compétence* (il s'agit essentiellement de régler les derniers détails techniques / lever les derniers doutes ; le travail de compréhension de fond et en groupes a été effectué en amont).
- (7) Jour 12 : Remise de la Série  $N$
- (8) Jour 14 : Retour de la Série  $N$  évaluée, publication du corrigé de la Série  $N$  – Ceci a lieu durant la séance d'exercices hebdomadaire (voir point (4) plus haut) ; les étudiant·e·s prennent connaissance des commentaires spécifiques à leur série, ainsi que de l'évaluation de leurs exercices. Ils et elles peuvent consulter un corrigé détaillé, qui contient des propositions de résolution des exercices, ainsi que des commentaires sur les erreurs communément commises et/ou des liens avec d'autres sections du cours. C'est une activité qui peut être tant *collaborative* (si le groupe décide d'un debriefing en commun) qu'*individualiste* (chaque étudiant·e peut lire et comprendre le corrigé soi-même), à fonction d'aide de *compétence*.

Il y a donc un chevauchement temporel entre deux séries successives, car les activités d'une dyade "Cours  $N$  + Série  $N$ " sont faites en parallèle avec la fin de la Série  $N - 1$  (cf point (4) ci-dessus), puis ensuite le Cours  $N + 1$  (qui a lieu au jour 8 de la dyade  $N$ , entre les points (4) et (5) ci-dessus) et la publication de la Série  $N + 1$ .

Le travail sur les séries d'exercices représente l'essentiel du travail effectué à distance par les étudiant·e·s. En effet, il présuppose une appropriation du contenu des cours, car le contenu des séries est rarement seulement de l'application directe du cours. De ce point de vue, le cours est plutôt le point de départ de la réflexion, et les séries d'exercices permettent de réfléchir à comment appliquer les concepts et techniques vus en cours dans des situations spécifiques.

En parallèle à ces activités, les étudiant·e·s préparent sur une base régulière les contrôles continus ("tests"), ainsi que l'examen final. Les contrôles continus ont lieu à la place d'une séance d'exercices (et dans ce cas tout l'agenda est décalé d'une semaine pour la série en question, laissant ainsi plus de temps aux étudiant·e·s pour se concentrer sur le contrôle continu). Ils sont de type *individualiste* et satisfont les fonctions d'aide d'*autonomie* (passer d'un travail en groupes à une révision de ses connaissances/compréhension propres) et de *compétence*.

Voici un récapitulatif de la répartition dans l'équipe enseignante des tâches liées aux activités d'apprentissage :

- Les tutrices et tuteurs mettent en oeuvre le volet "exercices" de l'enseignement : évaluation des séries d'exercices et des tests, création des commentaires qui seront intégrés aux corrigés, réponses aux questions d'étudiant·e·s durant les séances dédiées (en présence ou

sur Discord à heures fixes). Ils et elles peuvent aussi, selon leur disponibilités, participer à la vie du serveur Discord en répondant à des questions en-dehors des heures dédiées ou en interagissant avec les étudiant·e·s.

- Les assistant·e·s coordonnent et supervisent la partie "exercices" de l'enseignement : rédaction de corrigés détaillés intégrant aussi les commentaires des tutrices et tuteurs, gestion des scores d'étudiant·e·s, gestion des séances d'exercices. Comme les tutrices et tuteurs, ils et elles participent au serveur Discord en fonction de leurs disponibilités en-dehors des heures dédiées. De plus, ils et elles collaborent avec moi dans le processus de création des séries d'exercices et des évaluations : ils et elles relisent les projets de séries, tests et examens que j'ai préparés, et donnent des commentaires sur différents aspects (difficulté, complétude, etc). S'ils/elles le souhaitent, ils et elles peuvent proposer des exercices pour des séries et/ou des évaluations.
- Comme enseignant, je définis le scénario pédagogique. Je donne le cours, écris les séries d'exercices et les évaluations, ainsi que les grilles d'évaluation des tests et de l'examen final. Je corrige l'examen final et fixe les notes des étudiant·e·s. Je suis présent sur le serveur Discord pour répondre aux questions des étudiant·e·s le plus régulièrement possible. De plus, en coordination avec les assistant·e·s et les tutrices et tuteurs, je gère les requêtes d'étudiant·e·s, y compris les éventuels conflits.

### 3.1.5 Evaluation des apprentissages

Le dispositif prévoit trois sortes d'évaluations :

- Entre 22 et 24 séries d'exercices hebdomadaires.
- Quatre contrôles continus ("tests") : deux par semestre.
- L'examen écrit.

Cette section propose une description systématique de ces outils : type, objet, fonctions, forme, critères, feedback aux étudiant·e·s, et calcul de la note. Les concepts utilisés dans cette section (notamment les fonctions de l'évaluation et les échelles d'évaluation) sont repris de Charlier [17].

#### Objets et type d'évaluation

- Les séries d'exercices évaluent essentiellement les compétences techniques (effectuer des procédures, appliquer une marche-à-suivre, etc) et l'utilisation de ces dernières pour la résolution de problèmes (décomposer un problème en sous-problèmes plus élémentaires, choisir la bonne technique / le bon outil dans une situation donnée, etc).

Les étudiant·e·s disposent de 11 jours pour rendre une série (voir 3.1.4 pour une description plus précise du calendrier typique), par groupes d'au plus 3 personnes, et peuvent utiliser les moyens qui leur semblent pertinents sans restriction (mais doivent respecter les principes élémentaires d'originalité de la soumission : mention des sources, non-plagiat, etc.).

Ces séries sont facultatives, mais fortement recommandées. Elles sont rendues et évaluées par les assistant·e·s, tutrices et tuteurs, et peuvent donner un bonus à la note finale (cf. section "Calcul de la note" ci-après). Ce sont des évaluations formatives.

- Les tests évaluent les connaissances (théoriques) ainsi que les compétences ("techniques", et de résolution de problèmes) des étudiant·e·s. Ils ont lieu durant le semestre, en présence, à la place d'une séance d'exercices, sont individuels, d'une durée de 45 minutes. Les étudiant·e·s peuvent utiliser toutes les ressources non électroniques et non humaines qu'ils et elles considèrent utiles ("open-book"), ainsi qu'une calculatrice non graphique.

Le score compte pour une portion de la note du cours (les trois meilleurs tests combinés constituent 25% de la note finale; cf. section "Calcul de la note", ci-après, pour une description détaillée). Par conséquent, ces tests ont une dimension sommative. Cependant, l'incidence sur la note est volontairement plutôt minimal afin de donner une dimension avant tout formative à ces évaluations individuelles.

- L'examen écrit évalue les connaissances (théoriques) ainsi que les compétences ("techniques" et de résolution de problèmes). Il représente un volume équivalent à deux tests, que ce soit en termes de nombre et type de problèmes que de durée (90 minutes). Il est effectué en présence, durant une des sessions d'examens d'été ou automne, est individuel, et "open-book" (comme les tests). C'est une évaluation sommative, qui constitue l'essentiel de la note du cours.

## Fonctions

- Les séries d'exercices remplissent une fonction diagnostique.
- Les tests sont principalement à fonction pronostique. Cependant, comme ils contribuent à une petite portion de la note du cours, ils ont aussi un aspect certificatif.
- L'examen écrit remplit une fonction certificative.

## Formes et outils

- Une série d'exercices est constituée d'un exercice individuel (sous forme de QCM sur Moodle) et de 3 exercices à rendre. Parmi eux, un est systématiquement de type "technique" (calculatoire, entraînement d'outils ou de procédures), et un autre est systématiquement de type "application" (modélisation, résolution de problème). Le dernier exercice peut être de l'un ou l'autre type. Un exemple de série d'exercices se trouve dans l'Annexe C.1.

Chaque proposition de résolution est évaluée selon une échelle ordinaire à trois échelons : score de -1 (insuffisant), 0 (satisfaisant) ou 1 (bon). La série entière est ensuite évaluée selon une échelle ordinaire à deux échelons : non validée (total des scores inférieur à 0) ou validée (total des scores supérieur ou égal à 0).

- Un test est constitué de 3 exercices :
  - Le premier est un QCM de 5 questions. Chaque question comporte 8 propositions : 4 propositions *ad hoc* et ce que Gilles [35] appelle les "solutions générales implicites" : "Toutes les propositions sont correctes", "Aucune des propositions n'est correcte", "Il manque une information dans l'énoncé", et "L'énoncé est incohérent".
  - Le QCM a recours aux degrés de certitude : en plus de leur réponse, les étudiant·e·s attribuent à celle-ci un degré de certitude selon une convention pré-établie. Les réponses sont évaluées selon l'échelle développée par Prospero [56] (voir aussi la page web de

Gilles et Prosperi [37] à ce sujet). Comme l'a démontré Prosperi, cette échelle présente l'avantage crucial suivant : la seule stratégie possible pour maximiser le score est de donner son degré de certitude réel.

Le score est ensuite ramené à une valeur entre 0 et 10 points : l'exercice ne peut pas être évalué par un score négatif, contrairement aux scores "individuels" de chaque question.

- Le deuxième exercice est de type "technique" (calculatoire, procédural).
- Le troisième exercice est de type "application" (résolution de problème).

Chaque exercice est évalué par un score d'intervalles, de 0 à 10 points.

Un exemple de Test se trouve dans l'Annexe C.3.

- L'examen écrit a la structure d'un "double test" : un QCM de 10 questions, avec degrés de certitude, puis deux exercices de type "technique" et deux exercices de type "application". Chaque exercice est évalué à l'aide d'une échelle d'intervalles, de 0 à 10 points (sauf le QCM, qui est évalué de 0 à 20 points).

Un exemple d'examen se trouve dans l'Annexe C.5.

### Critères d'évaluation

- Les séries d'exercices sont évaluées par les assistant-e-s, tutrices et tuteurs. Ils et elles se répartissent les exercices à corriger sur une base tournante (une personne par exercice). Chaque correcteur ou correctrice décide d'une grille d'évaluation, qui tient compte autant des aspects techniques (précision, maîtrise, validité) qu'argumentatifs (structure, cohérence, complétude de l'argumentation), en accord avec les objectifs d'apprentissage.

Le principe cardinal pour l'attribution du score (-1, 0 ou 1) est qu'une résolution qui montre que le groupe a compris la problématique globale, même avec quelques manquements, devrait être évaluée avec un score au moins satisfaisant (0 ou 1).

- Les tests sont évalués selon une grille que j'ai moi-même établie, et que les correctrices et correcteurs utilisent. Chaque problème est décomposé en étapes essentielles à sa résolution, de nature techniques ("a utilisé tel théorème", "a calculé telle quantité", etc) ou discursives ("a planifié une stratégie de résolution", "a mené un raisonnement cohérent", etc). A chacune d'elles est attribué un score de 0.5 ou 1 point. Le score du problème est donc calculé comme la somme des "composantes essentielles" maîtrisées.

Un score de 20 points (sur les 30 possibles) est considéré comme maximal : tout score supérieur à 20 est ramené à cette valeur. En effet, il n'est pas attendu que les étudiant-e-s maîtrisent parfaitement la totalité de la matière, et cette construction leur permet de prioriser les questions pour lesquelles ils et elles se sentent plus compétent-e-s.

- L'examen final est évalué sur le même principe que les tests, y compris pour le score maximal : un score de 40 (sur 60 possibles) est considéré comme parfait, et tout score supérieur y est ainsi ramené.

L'Annexe C.4 contient une grille d'évaluation de Test, comme exemple.

## Feedback aux étudiant·e·s

- Chaque exercice d'une série d'exercices est annoté de manière succincte par la personne qui le corrige. Les séries sont rendues aux étudiant·e·s deux jours après qu'elles aient été soumises (conformément au canevas décrit dans 3.1.4).  
Les assistant·e·s écrivent un corrigé le plus riche possible : en plus des résolutions détaillées et commentées (y compris en proposant parfois plusieurs méthodes différentes), ce dernier contient aussi un feedback général (erreurs fréquentes dans les soumissions) et une ouverture/mise en perspective (points importants, liens avec d'autres séries / avec le cours, etc). Ce corrigé est conçu comme un document de référence et une ressource à part entière pour les étudiant·e·s, ce qui permet aussi aux correctrices et correcteurs de s'y référer dans leurs feedbacks aux exercices soumis.
- Chaque problème d'un test est annoté de manière succincte par la personne qui le corrige. Les tests sont retournés aux étudiant·e·s la semaine suivante. Dans le même esprit que les séries d'exercices, un corrigé détaillé est publié, contenant une résolution commentée de chaque problème, respectivement une explication du processus de sélection de la bonne réponse pour le QCM. La grille d'évaluation utilisée pour la correction est aussi publiée. Lors du retour des tests, un feedback général est donné oralement, avec notamment la moyenne de la cohorte et un retour sur les enjeux de tel ou tel problème du test.  
Ce feedback est particulièrement important car les tests se veulent être une sorte de simulation de l'examen écrit : les étudiant·e·s peuvent ainsi mieux comprendre ce qui est attendu (type de questions posées, difficulté, etc) et comment l'examen sera évalué (grille d'évaluation).
- L'examen écrit ne donne pas lieu à un feedback systématique. Selon le règlement de la Faculté des Sciences et de Médecine, les étudiant·e·s dont la note est insuffisante peuvent demander à consulter leur examen en présence de l'enseignant·e. Un feedback informel peut donc avoir lieu à ce moment-là. Des feedbacks informels et généraux sur la prestation peuvent être donnés si par exemple l'étudiant·e me contacte directement quand il ou elle a pris connaissance de sa note.

L'Annexe C.2 contient un exemple de corrigé de série d'exercices.

## Calcul de la note

A l'issue d'une itération du cours, chaque étudiant·e a donc obtenu un certain nombre  $S$  de séries validées (/22 séries publiées, typiquement), obtenu quatre scores de tests  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  et  $T_4$  (/20), et un score  $E$  à l'examen écrit (/40). La note finale comporte trois composantes :

- Les trois meilleurs scores de tests sont conservés, et donnent un score combiné  $T$  pour les tests :  $T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - \min\{T_1, T_2, T_3, T_4\}$ , qui contribue à 25% de la note finale.
- Le score  $E$  de l'examen écrit contribue à 75% de la note finale.
- Deux bonus possibles :
  - Un bonus de régularité/engagement : si la proportion  $S/22$  de séries validées est supérieure à 75% (respectivement 85%, 95%), l'étudiant·e gagne un bonus de 3% (resp. 6%, 10%).

- Un bonus de progression : à chaque fois qu'un score de test  $T_i$  est supérieur au score du test précédent  $T_{i-1}$ , l'étudiant·e gagne un bonus de 3%. S'il ou elle a progressé à chaque fois, alors le bonus total est de 10% (et pas 9%).

Ces deux sources donnent un bonus total  $B$  (/100).

La note du cours  $N$  est calculée sur la base de ces composantes, selon un "barème proportionnel standard" et arrondie au demi-point conformément au règlement de l'Université :

$$N = 5 \left( \frac{1}{4} \cdot \frac{T}{60} + \frac{3}{4} \cdot \frac{E}{40} + \frac{B}{100} \right) + 1.$$

### Vétéran·te·s

J'ai adopté le terme "vétéran·te·s" pour désigner les personnes qui prennent le cours pour la seconde fois (par opposition aux personnes qui se contentent de refaire l'examen sans revenir au cours).

Afin de garantir une flexibilité maximale leur permettant d'ajuster leur investissement en fonction de leurs priorités et agenda, le principe suivant est appliqué concernant les différents bonus. L'étudiant·e ayant déjà suivi le cours lors d'une itération précédente à le choix entre :

- Refaire les séries d'exercices et les tests. Pour indiquer ce choix, il/elle doit simplement rendre la première série d'exercices et le premier test. Dans ce cas, son score (et les bonus) de l'itération précédente est supprimé et il sera remplacé par le score de cette itération. En particulier, il n'est pas possible de choisir de ne refaire qu'une partie des tests / des séries.
- Conserver son score (avec les bonus) des exercices (resp. des tests) seulement, et refaire les tests (resp. les exercices). Dans ce cas la personne ne rend aucune série d'exercices (resp. ne participe à aucun test) et son score de l'itération précédente est repris.
- Conserver les scores (et bonus) des exercices et des tests de l'itération précédente. Dans ce cas la personne peut bien sûr assister au cours et travailler en autonomie sur les exercices et/ou les tests, mais elle ne sera pas évaluée pour cette itération.

Pour les cas qui sortiraient de ce cadre (typiquement, les personnes ayant suivi une itération précédente lors de laquelle je n'étais pas en charge du cours, ou les personnes ne venant que pour un semestre), des adaptations sont discutées et négociées au cas par cas. Le cas typique dans cette situation (si l'étudiant·e ne souhaite pas reprendre le cours complètement) est que la note du cours est calculée sur la seule base de l'examen final. Le règlement de la Faculté des Sciences et de Médecine prévoyant que c'est toujours l'édition la plus récente du cours qui prime lorsqu'un examen est répété, j'échappe à la question de l'harmonisation avec des dispositifs antérieurs.

### 3.1.6 Evaluation de l'enseignement

La section "Feedback durant le semestre" du Syllabus encourage explicitement les étudiant·e·s à communiquer tout feedback en tout temps, y compris anonymement si désiré. Le fait que le serveur Discord soit anonyme et contient plusieurs canaux vocaux dédiés aux questions ou aux discussions informelles participe à cette volonté affichée de communication informelle en continu, tout au long de l'année.

Afin d'obtenir des indicateurs plus systématiques, deux questionnaires Moodle sont proposés durant l'année académique : le premier après quelques semaines de cours au début du premier semestre (semaine 4 ou 5), et le second peu après le début du second semestre (à nouveau semaine 4 ou 5 de ce semestre). Ces deux questionnaires contiennent essentiellement des affirmations à échelle de Likert à 5 échelons.

Le questionnaire du premier semestre est anonyme. Il se concentre sur l'accès aux informations et ressources ("Je sais où trouver les informations importantes pour ce cours / pour mes études"), le rythme / l'acclimatation ("J'ai l'impression de m'être ajusté-e au rythme universitaire"), ainsi que sur des aspects concrets du cours ("J'ai compris le fonctionnement du cours", "J'ai compris le calcul de la note finale"). Il contient aussi une question ouverte où les étudiant·e·peuvent donner des commentaires librement.

Le questionnaire du deuxième semestre, quant à lui, n'est pas anonyme. Il se concentre davantage sur l'état d'esprit général ("Je me sens globalement bien"), les études ("Je suis satisfait·e du déroulement de mes études"), et le cours ("Je me sens confiant·e quant à la réussite de ce cours"). Il se termine avec la question ouverte "Y a-t-il quelque chose que nous (= MJ et/ou les assistant·e·, tutrices et tuteurs) pouvons faire pour vous?", et un espace libre où les étudiant·e·s peuvent donner des commentaires librement.

Finalement, chaque semestre je demande à pouvoir bénéficier du questionnaire anonyme standardisé d'évaluation de l'enseignement par les étudiant·e·s organisé par le Service Assurance Qualité de l'Université (ServAQ). Cet instrument se déploie typiquement lors des semaines 10 et 11 de chaque semestre, et les résultats des questionnaires me parviennent automatiquement.

De manière générale, les résultats des questionnaires anonymes (informel sur Moodle, et officiel par le ServAQ) sont projetés et commentés lors de la séance de cours qui suit leur réception. Les réponses au questionnaire Moodle nominatif du second semestre sont traitées individuellement : selon la nature du contenu ou l'éventuelle demande formulée, j'écris directement un e-mail à la personne concernée, avec au minimum un mot d'encouragement et quelques pointeurs vers des ressources (internes ou externes), ainsi que des commentaires ou réponses à d'éventuelles questions soulevées dans le questionnaire.

La prise en compte des commentaires est effectuée selon la faisabilité immédiate, l'adéquation avec le dispositif existant, ainsi que la fréquence et l'ampleur de la demande exprimée. Typiquement, si une suggestion est de créer davantage de canaux Discord, cette demande est implémentée immédiatement (pour autant que les canaux fassent du sens), alors que si la demande est de réviser le support de cours, elle ne sera pas satisfaisable immédiatement. D'autres commentaires ne peuvent pas être implémentés immédiatement et le sont seulement lors d'une itération suivante (de telles implémentations sont évoquées dans les Sections 4.2 et 5.3).

Bien sûr, cette prise en compte résulte aussi de choix et de pesées d'intérêts, et la prise en compte ou non, immédiatement ou non, des demandes est de toutes façons expliquée et justifiée en même temps que les résultats du questionnaire sont présentés à la cohorte.

## 3.2 Dispositif social

Dans cette section seront détaillés les éléments du dispositif didactique qui ne sont pas directement destinés au développement des objectifs d'apprentissage (il ne s'agit donc pas d'activités d'apprentissage à proprement parler), mais qui concernent plutôt les aspects personnels et relationnels. En ce sens, les objectifs poursuivis sont ceux décrits dans la Section 2.2.

Il existe bien sûr des recoupements avec la section précédente, en particulier la Section 3.1.3, puisque cette dernière poursuit implicitement le même but : créer des conditions de réceptivité maximales chez les étudiant·e·s afin de favoriser au mieux le processus d'apprentissage. Cependant, la distinction tient dans le fait qu'à mon avis ces éléments vont plus loin que prendre en compte les profils d'étudiant·e·s dans le cadre des objectifs d'apprentissage.

Les éléments de ce dispositif sont particulièrement importants compte tenu de la taille de la cohorte. En effet, comme le soulignent Daele et Sylvestre [22], une attention particulière doit être apportée à l'accueil ainsi qu'à la préparation et à l'organisation des activités. L'impact sur le premier aspect est surtout dû aux "rituels" décrits dans la Section 3.2.1. Les autres parties de cette section contribuent essentiellement à l'organisation des activités, que ce soit en termes de variétés d'activités et modes de communication ou en termes de coordination avec l'équipe enseignante.

### 3.2.1 "Rituels" avant et pendant le cours

Dans la ligne des objectifs énoncés dans les Sections 2.2.3 et 2.2.4, j'ai mis en place une série de "rituels" autour des périodes de cours. Remarque : le cours a lieu le vendredi matin de 8h15 à 10h00.

- Le tout premier cours, je me présente à l'aide de différents résultats de questionnaires liés à la culture populaire auxquels je me suis soumis (p.ex. "Quelle est votre maison dans Harry Potter"). J'expose ensuite le contexte du cours et ses intentions didactiques (cf. Section 2), et montre comment accéder au Moodle du cours ainsi qu'à son serveur Discord. J'annonce ensuite que je suis présent dans l'auditoire à 7h30 le jour du cours. Ainsi, les étudiant·e·s ont une période de temps où venir poser des questions ou discuter en personne s'ils et elles le souhaitent, sans avoir besoin de s'annoncer.
- En début d'année, je crée une playlist sur mon compte Spotify. Sur un canal Discord dédié, les étudiant·e·s, assistant·e·s, tutrices et tuteurs (et moi) peuvent donner des morceaux qu'ils et elles aimeraient voir ajoutés à la playlist (j'indique que je me réserve un droit de veto, seulement pour décourager d'éventuelles tentatives de détournement). Cette playlist est réglée en mode aléatoire et elle est diffusée dans l'auditoire dès que j'en prends possession et jusqu'au début du cours, puis durant les 15 minutes de pause. Le fait de mettre la playlist en pause à 8h15 me permet aussi de signaler implicitement le début du cours.
- En parallèle à la playlist, j'affiche sur l'écran de l'auditoire une vidéo YouTube – sans le son – "de saison" (par exemple, des images filmées par un drone durant une période de l'année proche de la période actuelle, ou des images d'une caméra sous-marine, etc). Durant la

pause, ces séquences filmées sont à nouveau diffusées.

- A l'issue des questionnaires Moodle anonymes remplis par les étudiant·e-s en début d'année (voir Section 3.1.3), j'ai créé un fichier Excel collectant toutes les réponses (une colonne du fichier correspond aux réponses à une question). J'ai trié ce fichier aléatoirement. A 8h15, je commence le cours en affichant aléatoirement certaines réponses à l'écran. Je laisse quelques instants aux étudiant·e-s pour en prendre connaissance, et je souhaite la bienvenue aux personnes qui se reconnaîtront en particulier. Le cas échéant, je commente l'une ou l'autre réponse, ou m'en sers durant la séance de cours.
- La période de pause est "sanctuarisée", c'est-à-dire que je m'efforce de terminer la première période de cours à 9h00, et dans tous les cas j'interromps le cours durant 15 minutes. De la même manière, je m'efforce de terminer le cours systématiquement à l'heure pile (les rares fois où j'ai dû déborder, ça n'a jamais duré plus de 2-3 minutes).
- Juste avant d'annoncer la pause, j'annonce et projette un "icebreaker" que j'ai préalablement préparé, dans un canal Discord dédié. Les étudiant·e-s et l'équipe enseignante peuvent alors choisir d'y répondre durant la pause ou plus tard dans la semaine. Un icebreaker est typiquement une question ouverte qui permet aux étudiant·e-s de parler un peu d'eux/elles-mêmes. Exemples : "Que nous conseillez-vous comme série/livre/film/restaurant/etc ?", "Donnez trois affirmations sur vous-mêmes : deux doivent être vraies, une doit être fausse. Essayez de deviner quelle est l'affirmation fausse chez les autres !", "Postez une photo de vous à  $N$  ans, avec  $N$  relativement petit", etc.
- Je termine toujours le cours avec la formule "Je vous souhaite un bon weekend, reposez-vous bien, et je me réjouis de vous retrouver vendredi prochain. N'oubliez pas que Discord est ouvert 24h/24, 7 jours/7" (ou une variation).

Tous ces petits éléments ont pour but de créer avec l'horaire du cours un espace-temps le plus accueillant possible pour les étudiant·e-s. En me mettant en disponibilité, je leur montre que je suis là comme ressource et pas comme obstacle. En proposant une playlist commune, les participant·e-s à ce cours peuvent matérialiser une réalisation commune en contribuant avec leurs goûts. Les icebreakers permettent de mieux faire connaissance et aussi de s'intégrer et génèrent de l'activité sur le serveur Discord.

Dans la même ligne que ces intentions, je m'efforce d'adopter une interactivité la plus positive possible durant le cours. Des petits détails tels que remercier une personne qui pose une question / propose une réponse (si elle est fausse, je termine typiquement mon commentaire par "Merci d'avoir osé essayer") ou me déplacer pour ramasser un stylo qui est tombé par terre, sont insignifiants en tant que tels, mais ont pour but de participer à la matérialisation de l'univers didactique que j'aimerais offrir aux étudiant·e-s.

Pour reprendre le concept de clés d'activation de De Clercq & al [25] (voir l'introduction à la Section 2.2), ce sont ici les clés Implication et Interactions qui sont visées.

### 3.2.2 Serveur Discord

Cette section reprend brièvement certains éléments déjà mentionnés dans la Section 3.1.3, et en développe d'autres, pas encore évoqués. Le choix d'un serveur Discord plutôt qu'une autre

ressource (type Teams) est justifié dans la Section 4.1.

Le serveur Discord se subdivise en catégories, elles-mêmes composées de canaux. Un canal peut être soit vocal (les personnes connectées au canal peuvent alors entendre ce qui s'y dit et peuvent y parler), soit écrit (comme un fil de discussion continu).

Les utilisatrices et utilisateurs peuvent choisir leur dénomination (certains·es utilisent leur prénom ou prénom+nom, et d'autres utilisent un pseudonyme).

L'inscription sur le serveur ou la participation active aux différents canaux ne sont aucunement requises : une partie des étudiant·e-s n'utilisent quasiment jamais Discord, une autre partie ne font "que" lire et n'écrivent presque jamais, et une partie est active, voire très active, sur le serveur. Ceci est complètement en accord avec l'intention énoncée dans l'introduction de la Section 2.2 : c'est un espace qui est proposé, mais qui ne se veut pas contraignant.

### Les groupes d'utilisatrices et utilisateurs

Les utilisatrices et utilisateurs du serveur Discord sont répartis en différents groupes, chacun portant un nom et dont les noms d'utilisateurs/utilisatrices sont affichés dans une certaine couleur. La commande "@(nom du groupe)" permet de notifier toutes les personnes membres du groupe en question qu'elles ont été mentionnées dans un message.

- Utilisateur/utilisatrice par défaut : c'est le groupe attribué automatiquement à toute personne nouvellement inscrite sur le serveur.
- **Admin** : les assistant·e-s du cours et moi-même. Ce groupe possède des droits d'administration étendus sur tout le serveur.
- **Tutor** : les tutrices et tuteurs. Ils et elles disposent de droits d'administration restreints (typiquement, droits de modération de messages).
- **Force Ghosts** : d'ancien·ne-s étudiant·e-s ayant émis le souhait de rejoindre le serveur de l'année en cours afin d'agir comme personnes-ressources pour les étudiant·e-s de cette année. Voir aussi la Section 3.2.6.
- **Memperess/Memperor** : les auteur·e-s des memes primés lors des votes mensuels, voir la partie "Catégorie **Varia**" plus loin dans cette section.
- **Bot** : les "bots" du serveur, typiquement ceux qui permettent d'écouter de la musique sur un canal vocal. Voir la partie "Catégorie **Varia**" ci-après.

Voici à présent une description plus détaillée des différentes catégories et canaux qui les composent :

### Catégories Série *N*

Chaque semaine, une nouvelle catégorie **Série *N*** est créée. Elle contient 4 canaux écrits : **Exercice 1**, ..., **Exercice 4**, destinés aux discussions sur les exercices de la série en question.

### Catégorie Général

Cette catégorie comporte les canaux écrits suivants :

- **Lobby** : dans ce canal, Discord indique automatiquement dès qu'une nouvelle personne s'est inscrite sur le serveur. C'est l'occasion pour les membres de la communauté de lui souhaiter la bienvenue.
- **Annonces** : destiné aux annonces. Elles sont souvent postées avec une commande "**@everyone**" qui permet de notifier l'ensemble des membres du serveur de ce message. Typiquement, une annonce est soit reprise du forum des annonces de Moodle, soit elle concerne un élément interne au serveur Discord.
- **Ressources** : sur ce canal sont déposées différentes ressources liées au cours et/ou aux exercices, typiquement de la documentation faisant suite à une question ou une remarque, ou des articles qui ont inspiré un exercice d'une série.
- **Gruppenbörse** : ici, les étudiant·e·s peuvent s'annoncer pour former des groupes pour résoudre les séries d'exercices.
- **Motivation and support** : dans lequel les étudiant·e·s peuvent trouver et donner du soutien, des encouragements, de la motivation, que ce soit en cas de baisse de régime temporaire ou lors d'un événement particulier qu'ils et elles aimeraient thématiser.
- **Notes personnelles** : sur ce canal les étudiant·e·s qui le souhaitent peuvent déposer leurs notes de cours et les partager avec les autres étudiant·e·s.

### **Catégorie Questions**

Cette catégorie contient des canaux écrits dédiés à centraliser les questions qui ne concernent pas les séries d'exercices : **Organisation, Théorie, Test 1 – ... – Test 4, Examen final**.

### **Catégorie Chez AP Team**

Cette catégorie contient des canaux vocaux qui sont par exemple utilisés pour répondre à des questions ou avoir des discussions oralement avec des membres de l'équipe enseignante. Il y a un salon par membre de l'équipe enseignante, chacun nommé **Chez** . . . .

Un intérêt de ce dispositif est de pouvoir accueillir un grand nombre de personnes (les salons vocaux de Discord sont limités à 50 participant·e·s simultanément) sans avoir besoin de faire appel à une autre application extérieure (type Teams). Un canal vocal permet aussi le partage de l'écran d'une des personnes présentes sur le canal.

### **Catégorie Working spaces**

Cette catégorie contient 5 salons vocaux appelés **Salle d'étude  $N$** , que les étudiant·e·s peuvent utiliser pour communiquer entre eux et entre elles sans directement le faire dans un des espaces dédiés des membres de l'équipe enseignante.

De plus, les deux salons écrits **Math** et **Uni but not AP** sont destinés aux discussions entre étudiant·e·s au sujet de mathématiques en général (dont le cours analyse propédeutique fait partie), respectivement à leurs études universitaires au sens large (il arrive par exemple que des personnes partagent des informations liées à tel ou tel autre cours propédeutique dans cet espace).

## Catégorie Varia

Cette catégorie est la plus représentative des instruments proposés pour atteindre les objectifs de la Section 2.2. Elle contient 11 canaux écrits et 1 canal vocal :

- **Anything but math** : destiné à toutes les discussions scientifiques autres que les maths.
- **Café du commerce** : destiné à toutes les discussions, sans exception.
- **Icebreakers** : un canal dédié à l'activité "Icebreakers" présentée dans la Section 3.2.1.
- **Playlist** : destiné à recueillir les propositions de morceaux pour enrichir la playlist du cours (comme mentionné dans la Section 3.2.1).
- **Memes** : un canal destiné au partage de memes (ces contenus à but humoristique ou ironique, souvent détournés, et répondant à certains codes [75]), si possible créations originales des étudiant·e-s (par exemple via un des nombreux générateurs de memes disponibles en ligne [46]).

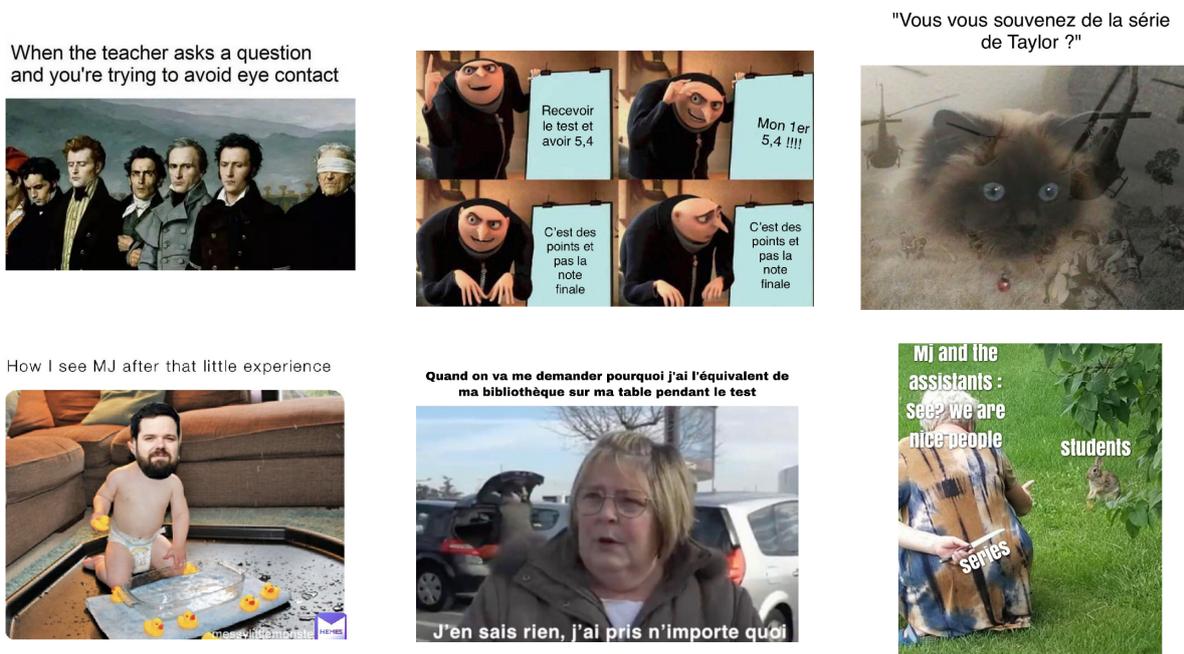


FIGURE 3.1 – Quelques exemples de memes d'étudiant·e-s

- **Vote your meme** : ce canal est dédié à un concours de memes. Chaque fin de mois, les memes postés sur le canal Memes sont rassemblés ici. Chaque membre du serveur a alors quelques jours pour voter pour ses memes préférés. A la fin de la période de votes, les auteur·e-s des 3 memes les mieux classés sont publiquement célébré·e-s lors d'une séance d'exercices. La personne qui a créé le meme du mois est transférée dans le groupe **Memperess/Memperor** du serveur.
- **Hall of fame** : destiné à collecter les "memes du mois" primés, ainsi que les photos des vainqueur·e-s.
- **Recipes** : un canal dans lequel les membres de la communauté peuvent partager des recettes de cuisine.

- **Social-apero-party** : dédié aux annonces et organisation d'événements sociaux externes au cours.
- **Catharsis** : un canal sur lequel les membres peuvent "vider leur sac". A la différence du canal **Motivation and support**, ce canal n'est pas forcément dédié à des discussions construites et une recherche de discussion. Il s'agit plutôt d'un "punching ball" ou d'une "bouteille à la mer", c'est-à-dire que les auteur·e·s des messages n'attendent pas forcément de réponse de la part de la communauté.
- **Music bot requests** : ce canal est uniquement dédié aux interactions avec les "bots" musicaux ajoutés au serveur Discord. En entrant des instructions dédiées, les utilisatrices et utilisateurs peuvent créer une liste de lecture, gérée automatiquement par les "bots" musicaux, et qui est jouée dans le canal vocal **Jukebox**.
- **Jukebox (vocal)** : les personnes connectées à ce canal entendent les morceaux programmés depuis le canal **Music bot requests**.

On le voit, ce dispositif s'inscrit dans ce que Jézégou [43, 44] appelle la présence sociale à distance, qui selon elle est la

*"résultante d'une dynamique interactionnelle médiatisée : entre les apprenants d'un groupe au sein d'un espace social numérique, mobilisant des dimensions émotionnelles, affectives, cognitives, motivationnelles véhiculées par l'usage d'artéfacts connectés."*  
[43, p.8]

Plus précisément, cette présence sociale à distance comporte, toujours selon Jézégou, les deux dimensions suivantes :

- La présence socio-cognitive, produit des interactions entre étudiant·e·s (et aussi avec l'équipe enseignante), qui est matérialisée ici notamment par les échanges sur les canaux liés aux questions théoriques et/ou au sujet des exercices.
- La présence socio-affective, qui est entretenue par les interactions plus "humaines / relationnelles" entre les étudiant·e·s, mais aussi avec l'équipe enseignante. Sur le serveur Discord, c'est notamment une dynamique recherchée par les canaux "informels", notamment de la catégorie **Varia**.

### 3.2.3 Série facultative "Feelgood"

Le semestre d'automne compte peu de jours sans cours (environ 3 en tout). Ca signifie donc une période de cours de 14 semaines presque sans interruption. A titre de comparaison, les 14 semaines du semestres de printemps ne sont pas continues (la semaine de Pâques interrompt la continuité) et contiennent davantage de jours sans cours (par exemple le pont de l'Ascension). Peu avant le 1er décembre je publie une "Série Feelgood" facultative. Cette série ne comporte pas d'exercices à proprement parler, mais une liste de 25 "défis" se voulant drôles, surprenants ou incitant à la réflexivité et à se recentrer sur soi. Des exemples de tels défis sont donnés dans la Figure 3.2.

Les étudiant·e·s peuvent choisir de rendre cette série comme une série d'exercices (la deadline est fixée à la mi-janvier). Cette dernière sera alors comptabilisée dans le score des séries d'exercices

- (1) Wear a Holidays-related piece of clothing (a fake white beard, a red nose, an outfit,...) while doing your grocery shopping.
- (4) Two-steps **new challenge challenge** :
  - Post a challenge idea on the dedicated forum on Moodle *before December 14*.
  - Among the still unchosen challenges on the dedicated forum on Moodle, select your favourite one, answer to the corresponding thread with 'Challenge accepted!', and complete it!
- (7) Record a motivational message / write a letter to your future self, to be opened in one year from now.
- (15) Random Santa : craft or buy at least one little present to be put on the auditorium's table at the beginning of **December 17**'s lecture. It should not be expensive, just something funny or handmade. Don't forget to write a small message! At the end of the lecture, we will randomly distribute the presents.
- (19) Do something you have never done before in your life and you would never have thought you would ever do.
- (20) Spread good vibes : make a compliment to a stranger (on a piece of their clothing, or something they did and you liked, or even a totally random compliment !)

FIGURE 3.2 – Quelques défis d'une Série Feelgood

(voir Section 3.1.5). Pour valider la série, il faut avoir effectué tous les défis. Par contre, les conditions pour considérer un défi comme effectué sont très larges : si dans l'idéal il faudrait avoir prouvé qu'on a réussi le défi en question, des "preuves" telles qu'une déclaration explicite ou une "bonne excuse" (en fait, un prétexte) sont aussi déclarées comme étant acceptables. De plus, une catégorie Discord correspondante (contenant 25 canaux écrits – un par défi) permet aux étudiant·e-s de partager leurs réalisations avec la communauté. Il est d'ailleurs tout-à-fait possible de participer à certains défis sans pour autant faire valider la série entière.

La publication de cette série remplit des rôles similaires à ceux des parties sociales du serveur Discord et mentionnées dans la section précédente. Une visée supplémentaire est de proposer une sorte de "soupape de décompression" aux étudiant·e-s alors que le mois de décembre est souvent une période où la fatigue commence à se faire sentir.

### 3.2.4 Escape Game mathématique

Selon l'agencement du calendrier académique, je consacre un cours entier à une activité de gamification : le dernier jour du Semestre d'Automne ou du Semestre de Printemps, les étudiant·e-s prennent part à un escape game mathématique.

Cet escape game résulte initialement d'une collaboration avec Michaël Dougoud, qui a présenté la version initiale dans son propre Travail de Fin d'Etudes [30, Section 3.1]. C'est un des modules que je présente régulièrement dans le cadre des TecDays de l'Académie suisse des sciences techniques SATW [62]. Il a pour but de mettre en scène différents mécanismes et émotions ressentis au quotidien par les mathématicien·ne-s en particulier (mais pas seulement) : syndrome de l'imposteur·e face à un problème qui nous semble insoluble, doutes, travail en équipe (avec tous les défis que ça peut générer), travail sous pression / en compétition (l'escape game met en scène des équipes concurrentes en plus d'un compte à rebours), montée d'adrénaline quand on a un moment "Eureka", créativité, débats, etc.

Présenté sous le titre "Sauvez le monde (ou pas) grâce aux maths!", l'escape game consiste en une

série d'énigmes mathématiques tirées de différents sous-domaines de la discipline (logique, combinatoire, géométrie, optimisation, cryptographie, recherche opérationnelle, etc). Le déroulement est scénarisé, et met en compétition deux équipes (une agence gouvernementale et une "start-up" terroriste) dont le but est de trouver et désamorcer une bombe programmée pour exploser peu de temps après. Durant le jeu, les équipes vont résoudre les mêmes énigmes mais pas forcément dans le même ordre, et des événements provoqués viendront perturber leur progression. Par exemple, l'équipe terroriste peut tenter d'infiltrer les communications de l'agence gouvernementale afin de leur voler leur travail.

Pour la réalisation dans le cadre du cours, les assistant·e·s et tuteurs et tutrices m'aident à démultiplier les équipes, afin de garder des équipes relativement petites, et de tenir compte des préférences linguistiques.

A l'issue du jeu, une partie de débriefing et d'échanges est prévue, afin de retracer les différents événements observés, mettre en évidence quelques passages-clés que j'ai observés durant le déroulement, faire des liens avec certains objectifs d'apprentissage du cours ou avec la démarche de la recherche scientifique en général, répondre aux éventuelles questions, etc.

Cette séquence brise le rythme habituel des cours *ex cathedra* et autres séances d'exercices, permet aux étudiant·e·s de travailler en équipes sur des problèmes "concrets" (car mis en scènes), et donne l'occasion de dépasser une vision des mathématiques comme un domaine monolithique et les études comme seulement un "empilement de contenus". Sans être un serious game à proprement parler, elle en partage cependant bon nombre de caractéristiques dans la forme et dans les objectifs.

### 3.2.5 Team spirit de l'équipe enseignante

Un dispositif tel que décrit dans les sections précédentes ne peut pas être déployé par une seule personne. Les objectifs décrits dans la Section 2.2, la répartition des tâches exposée dans la Section 3.1.4, ainsi que la partie "sociale" du dispositif décrite dans les sections ci-dessus, nécessitent un engagement actif de la part des assistant·e·s et tuteurs et tutrices.

Ainsi, afin de favoriser une adhésion au projet pédagogique et didactique, d'une part, et soutenir l'engagement actif dans la mise en oeuvre du dispositif didactique, d'autre part, je m'efforce de créer un esprit d'équipe au sein de l'équipe enseignante. Au-delà des éléments naturels (rencontres initiales avant le début du cours, présentation des objectifs et des intentions, etc.), voici les mesures concrètes mises en place dans ce but :

- Les assistant·e·s sont consulté·e·s activement dans le projet pédagogique et ne sont pas seulement en charge d'exécuter des instructions que je leur donnerais. En particulier, ils et elles sont consulté·e·s pour la conception des séries d'exercices et des examens.
- Les assistant·e·s ont pleine latitude pour prendre des décisions liées aux exercices, dans le cadre fixé par le Syllabus. Je ne m'exprime que si mon opinion est sollicitée, et n'interviens qu'en cas de désaccord profond (en 3 itérations, ça n'a pas dû arriver plus de 5 fois en tout). Ma position par défaut est de soutenir les assistant·e·s et de leur témoigner de la confiance activement.

- Les tutrices et tuteurs qui le souhaitent peuvent s'impliquer davantage (en prenant des initiatives sociales, en proposant des activités, etc). Je m'efforce dans ce cas de valoriser leur apport.
- Le serveur Discord contient deux canaux écrits à accès restreint : le premier est accessible uniquement aux assistant·e·s, et le second est accessible uniquement aux assistant·e·s et tuteurs/tutrices. Ceci permet de garder un canal de communication privilégié en permanence, et de séparer les niveaux de discussions.
- Pour la correction des Tests, j'organise des corrections communes : toute l'équipe est dans la même salle et corrige simultanément (en fonction des agendas respectifs), et je commande le repas de midi.
- Une fois par semestre, je convie l'équipe à une "AP Team Appreciation Night" : nous allons faire un escape game de la région, et allons ensuite manger ensemble.

Aucun de ces éléments n'est original ou crucial en soi. Cependant, de la même manière que des "rituels" mentionnés dans la Section 3.2.1 sont importants pour soutenir l'investissement actif des étudiant·e·s, je trouve tout aussi important de mettre en place des éléments qui montrent aux assistant·e·s et tutrices/tuteurs qu'ils et elles sont des membres important·e·s de l'équipe et que je suis reconnaissant de leur engagement. Au cours des itérations qui ont eu lieu jusqu'à présent, j'ai plutôt dû veiller à ce qu'ils et elles ne se sur-investissent pas dans ce cours.

### 3.2.6 Un dispositif inattendu : serveur Discord d'"alumni"

A l'issue de la première itération de ce dispositif, en été 2020, au moment de clore et supprimer le serveur Discord du cours, plusieurs participant·e·s ont émis le souhait de maintenir ce serveur. Je ne voulais pas le maintenir actif car il faisait partie d'un dispositif qui était arrivé à son terme. Cependant, j'ai trouvé excellente l'idée de prolonger la communauté d'une manière ou d'une autre.

J'ai ainsi créé un nouveau serveur Discord pour les "alumni" du cours. Il est appelé **Mathzad-Dûm**, un jeu de mots entre la mine-royaume naine de Khazad-dûm imaginée par Tolkien et le mot "math". Actuellement, ce serveur compte 46 membres, dont certain·e·s n'étudient plus à Fribourg. Il possède une structure propre et est essentiellement social. Comme mentionné dans la Section 3.1.1, il a une connexion autre que simplement anecdotique avec le dispositif didactique : certain·e·s de ses membres se portent volontaires pour s'inscrire sur le serveur Discord de l'itération actuelle du cours, en tant que membres-ressources pour les étudiant·e·s du cours (au sein d'un groupe de **Force Ghosts**, cf. Section 3.2.2). Dans ce cadre, ils et elles interviennent notamment pour répondre à des questions liées au cours ou aux exercices, proposer du soutien moral si nécessaire ("Je suis passé·e par là, ça va aller, on s'en sort"), ou encore prodiguer des conseils dans le cadre de l'organisation des études.

En plus de proposer des ressources supplémentaires au dispositif, cet engagement volontaire ajoute une dimension qui n'était jusqu'alors pas présente dans le dispositif : un aspect de partage d'expérience, presque de mentoring, de la part d'ancien·ne·s du cours.

## Chapitre 4

# Conception et itérations successives

*Experience is that marvelous thing that enables you to recognize a mistake when you make it again.*

---

FRANKLIN P. JONES

Avant d'entamer cette formation didactique, les intentions et valeurs exposées dans la Section 2.2 n'étaient pas encore formées, et encore moins articulées. A présent que le dispositif didactique a été exposé, je me propose de revenir sur sa mise en place : dans un premier temps, en donnant quelques éléments à propos de sa conception, et ensuite en retraçant les différents changements qui ont été apportés. Ce dernier temps sera en particulier l'occasion de mettre en évidence les apports des différents modules de formation didactique effectués en parallèle. En effet, apports théoriques et expérimentation / implémentation pratique se sont constamment questionnés, nourris et enrichis mutuellement durant ces 3 années.

### 4.1 Conception du dispositif

Comme évoqué dans le Chapitre 1, j'ai eu l'opportunité d'enseigner ce cours un peu par hasard. De plus, ce cours est le premier que j'ai pu concevoir entièrement du point de vue didactique : durant mon postdoc à Vanderbilt j'avais repris quasiment intégralement le dispositif du collègue que je remplaçais, et les dispositifs pour les cours de mathématiques à la HES-SO Valais impliquent plusieurs collègues et reposent en grande partie sur une forme de continuité traditionnelle.

Cette section a pour but de retracer les pratiques et apports qui ont influencé la mise en place initiale du cours. La liste suivante (présentée chronologiquement) représente ma "wishlist" initiale au moment de le construire, au printemps 2019 :

- Conserver le principe établi dans la "tradition" du cours de **proposer des évaluations "trop riches" afin de permettre aux étudiant-e-s de choisir**. J'avais été tuteur pour le cours Analyse Propédeutique à Fribourg (2008-09) et avais trouvé ce principe pertinent de par le signal qu'il envoie : les étudiant-e-s n'ont pas besoin d'être au point sur tout pour avoir la note maximale.

Contrairement aux pratiques que j'avais observées jusqu'alors, j'étais dès le départ convaincu de l'**intérêt d'évaluations "open book"** (contrairement à des versions "closed book" ou avec quelques pages de résumé personnel). En effet, j'étais de l'avis que ça n'aurait pas

vraiment d'impact sur le résultat, pour autant que l'évaluation soit bien conçue, alors que ça présente l'avantage de refléter plus fidèlement les conditions "réelles" : avoir toutes les sources d'information à disposition, et devoir savoir, au besoin, où trouver la bonne information et comment l'exploiter.

- Le fait de **proposer des exercices appliqués / tirés du quotidien** est une pratique que j'avais eu l'occasion d'expérimenter comme assistant du cours "Mathématiques pour BSc\_SI" de Christoph Leuenberger, un cours de mathématiques pour futur·e·s enseignant·e·s au Secondaire I. Dans ce cours, il m'incombait de composer les séries d'exercices.
- Lors de mon expérience d'assistant pour le cours "Statistiques propédeutiques" à Fribourg au printemps 2015, j'avais été convaincu par l'approche aux étudiant·e·s pratiquée par Christian Mazza, qui donnait le cours. Je me souviens de nos discussions notamment au sujet de la **place à donner à la prise en compte des étudiant·e·s dans leur singularité**, dans un cours aussi grand. J'étais alors d'avis intuitif que pour garantir une forme d'équité, les arrangements individuels devaient être réduits au minimum. Comme exposé dans la Section 2.2, ce positionnement a évolué depuis.
- Du cours que j'ai donné à Vanderbilt au printemps 2017, j'ai conservé principalement deux pratiques mises en place par son enseignant habituel, Mike Mihalik :
  - Le principe de **contrôles continus à composante sommative** : le dispositif de Mihalik prévoyait des contrôles continus (Midterms) dont les scores comptaient pour la moitié de la note finale.
  - Une **forme d'approche par compétences** : dans son dispositif, Mihalik incluait une auto-correction par les étudiant·e·s des contrôles continus ; la qualité de l'auto-correction était alors prise en compte dans le score final. Selon lui, le but était qu'à l'issue du cours les étudiant·e·s aient un certain nombre de compétences, et donc finalement peu importe de quelle manière elles ont été acquises (ou une variation de cet argument). J'ai d'ailleurs repris ce principe d'auto-correction dans la première itération du cours d'analyse propédeutique (en 2019-20).
- J'avais en parallèle amorcé un travail de documentation, notamment dans le but de **fournir un syllabus aussi complet et réfléchi que possible**. En effet, Vanderbilt m'avait demandé de soumettre un syllabus en avance (en tant que visiteur boursier et pas un membre de l'institution). Dans ce contexte, je me suis inspiré de ressources du Center for Teaching de Vanderbilt, en particulier concernant la construction d'un syllabus [57]. Cette dernière source cite le livre de Barbara Gross Davis [39], que je trouve particulièrement complet. Gross Davis a en outre rédigé un document d'aide à la construction de syllabus [38] dont je me suis également inspiré.

Enfin, le **mécanisme de bonus et la prise en compte du progrès des étudiant·e·s** trouve son origine dans mon intérêt pour la politique américaine. En effet, en janvier 2017 alors que je créais le syllabus, se tenaient les auditions devant le Sénat américain du cabinet de Donald Trump. Durant l'audition de Betsy DeVos, nommée Secrétaire à l'Education, le sénateur Al Franken l'a questionnée sur ses vues à propos du rôle des évaluations : évaluer la "compétence brute" (*proficiency*) ou le "progrès" (*growth*) [12, 1 : 24 : 40 – 1 : 28 : 00]. Cet événement m'a conduit à me renseigner sur les enjeux sous-jacents (par exemple le texte

de Matthew Chingos [20]), et notamment à mieux comprendre les implications de tel ou tel choix d'orientation, par exemple en terme d'**inclusion ou d'égalité des chances**.

Le syllabus qui a résulté de ces différentes considérations est disponible dans l'Annexe B.1. Une bonne partie des aspects du dispositif que j'ai ensuite implémenté lors de la première itération du cours Analyse Propédeutique (en 2019-20) y sont déjà présents.

- Le principe de **QCM avec évaluation du degré de certitude** provient d'une journée de formation du centre DevPro de la HES-SO [28], en février 2019. Dans son exposé, Michel Deruaz de la HEP Vaud présentait cet instrument, d'après les travaux de Gilles et Prospero [37, 56]. L'utilisation des degrés de certitude me semblant mitiger fortement l'aspect parfois aléatoire des QCM, j'ai décidé d'expérimenter cet instrument lorsque j'en ai eu l'occasion.
- Au sujet de la **prise en compte de la diversité des profils d'étudiant·e·s**, ma réflexion a été de plus nourrie par le module de formation DevPro "Les styles d'apprentissage des étudiant·e·s : les identifier et y recourir dans mon enseignement" proposé par Jacques Tardif au printemps 2019 [67]. C'est ainsi que dès la première version du cours, j'ai mis en place un questionnaire anonyme (décrit dans la Section 3.1.3 et consultable dans l'Annexe A), me permettant de mieux appréhender la cohorte du cours.

Le résultat de ces différentes réflexions et apports est le syllabus de la première itération du cours (2019-20), qui se trouve dans l'Annexe B.2. En particulier, lors de la rédaction de ce syllabus, je n'avais pas encore commencé la formation didactique dont ce travail est la conclusion, et je n'avais pas non plus interagi avec les assistants du cours (qui n'étaient alors pas encore désignés).

## 4.2 Itérations successives

Cette section s'intéresse aux interactions entre l'implémentation du dispositif didactique tel que prévu pour l'année 2019-20, basé sur des intentions éparses et essentiellement "empiriques" (comme décrit dans la section précédente), et la formation didactique. C'est aussi ici que seront décrites les adaptations liées aux contraintes imposées par le COVID-19.

Au lieu de procéder chronologiquement comme dans la section précédente, je me propose de procéder en reprenant les thématiques du Chapitre 3 (en en modifiant l'ordre afin d'augmenter la cohérence du récit), et en intercalant une thématique spécifique relative à la situation sanitaire provoquée par le COVID-19. Cette section contiendra ainsi des éléments retraçant la création et l'évolution des différents serveurs Discord utilisés au fil des années.

### 4.2.1 Scénario pédagogique

#### Contexte du cours

Le public-cible, la taille des cohortes et le contexte dans les plans d'études sont restés les mêmes. Les contingents d'assistant·e·s et tutrices / tuteurs ont fluctué, mais sont restés dans les fourchettes usuelles.

La page Moodle du cours est restée essentiellement la même. Les outils numériques utilisés sont discutés dans la section 4.2.2.

## Activités d'apprentissage

La nature et l'organisation des activités d'apprentissages telles que décrites dans la Section 3.1.4 (suivant un modèle classique "cours–exercices–discussions–soumission–correction") sont restées relativement stables au fil des années.

Les modalités de soumission des exercices (en ligne sur Moodle plutôt que physiquement) et le "lieu" de discussion (à distance, respectivement comodal), ont été adaptés aux exigences des plans de protection de l'institution, voir aussi la Section 4.2.2.

Un point de friction que je n'avais pas prévu a émergé durant l'édition 2021-22 suite au quasi-retour en présence et à la mise en place dès le départ d'un serveur Discord : certain·e·s étudiant·e·s ont progressivement cessé de venir aux séances d'exercices. Les retours informels ainsi que les retours lors l'évaluation de l'enseignement par les étudiant·e·s au semestre d'automne ont fait émerger la problématique suivante : pour certain·e·s, les séances d'exercices en présence étaient rendues peu attractives puisqu'ils et elles pouvaient obtenir des réponses presque en temps réel sur le canal Discord. De plus, le déroulement des séances d'exercices était inadapté pour certaines personnes. En particulier, certains commentaires mentionnaient le fait que d'avoir une équipe de 5-6 personnes présentes sans qu'ils et elles soient actifs et actives en même temps était sous-optimal.

Suite aux évaluations de l'enseignement du semestre d'automne, nous avons proposé aux étudiant·e·s de prendre un moment durant l'inter-semestre (en présence ou en ligne) pour réfléchir ensemble à des propositions, dans l'esprit d'un focus group. La date a été annoncée dès décembre, fixée à la semaine précédant le début du semestre de printemps. Malheureusement, malgré les friendly reminders sur le forum des annonces de Moodle, seulement une personne était présente. Suite aux discussions, des adaptations ont été proposées et directement implémentées : les étudiant·e·s pouvaient voter sur Moodle quelques jours avant la séance d'exercices pour choisir quels exercices ou parties d'exercices ils et elles voulaient voir discutés plus en détails durant la séance. Sur cette base, les assistant·e·s pouvaient alors préparer la séance en se basant sur les résultats des votes.

La fréquentation des séances d'exercices allant toujours en diminuant, et les retours de l'évaluation de l'enseignement par les étudiant·e·s du semestre de printemps contenant encore des commentaires concernant l'organisation des séances d'exercices, cette situation n'est à mon sens pas encore réglée. Des pistes d'évolution sont discutées dans la Section 5.3.

## Evaluation des apprentissages

L'essentiel du dispositif tel que décrit dans la Section 3.1.4 était déjà présente dans la version 2019-20 du dispositif et a persisté depuis.

Cependant, ce dernier a évolué de la manière suivante :

- Dans la version initiale (2019-20), les Exercices 1 (QCM individuel sur Moodle) des séries d'exercices étaient obligatoires ; il fallait en avoir effectué 90% pour pouvoir se présenter à l'examen final.

Cette disposition a été abandonnée dès la seconde itération (2020-21) pour deux raisons : d'une part, vérifier et appliquer cette condition s'est révélé fastidieux, et surtout, la question

s'est posée du bien-fondé d'une telle "obstruction à l'inscription à l'examen" sur la base de la simple participation (donc indépendamment du score) à des QCM online. Durant les discussions avec les assistants de l'époque, un contre-argument évoqué a été que justement, s'il suffisait de rendre réponse à une vingtaine de QCM, juste en cliquant au hasard si nécessaire, alors ce n'était pas une condition trop rigide.

- Dans la version initiale toujours, le mécanisme d'auto-correction des tests mentionné dans la section précédente était implémenté. Plus précisément, le Syllabus 2019-20 stipule qu'après chaque test, les étudiant·e-s doivent re-soumettre une version de leur test, pour être re-corrigé par l'équipe enseignante. A l'issue de cette seconde correction, le nouveau score était alors comptabilisé, et pour pouvoir se présenter à l'examen il fallait que ce nouveau score soit d'au moins 60% du total. Le corrigé officiel du test n'était publié qu'après cette phase.

Ce dispositif a été abandonné en cours d'année 2019-20, car il représentait une charge de travail considérable pour l'équipe d'enseignement sans que l'efficacité ait vraiment été ressentie. En effet, les étudiant·e-s se contentaient souvent de copier les exercices de collègues ayant bien réussi. Si on pouvait argumenter que le but était partiellement atteint (les étudiant·e-s s'étaient re-penché·e-s sur le contenu au lieu d'avoir simplement classé leur score sans suite), le rapport "apport/temps investi par l'équipe" était clairement défavorable.

- Dans la version 2020-21 du dispositif, la seule condition nécessaire à l'inscription à l'examen final était d'avoir participé aux 4 tests, indépendamment du score obtenu. Cette mesure se voulait presque une mesure de "protection des étudiant·e-s contre eux/elles-mêmes", en cela qu'elle "forçait" la participation aux tests. L'espoir était d'éviter que quelqu'un se désinvestisse complètement du cours et prenne l'examen sans être vraiment préparé·e, sacrifiant ainsi une tentative.

Ce mécanisme a été supprimé dans la version 2021-22. Ainsi, la Section 3.1.5 ne contient aucune condition éliminatoire à l'inscription à l'examen. Le Syllabus 2021-22 contient même explicitement un passage mentionnant que tout contrôle continu auquel l'étudiant·e ne s'est pas présenté·e sans avoir demandé un arrangement sera simplement comptabilisé avec le score 0, sans autre conséquence (le score comptant cependant pour une partie de la note finale, comme mentionné dans la partie "Calcul de la note" de la Section 3.1.5).

- Si les QCM avec degrés de certitude ont été utilisés dès la première itération du cours, l'ajout des "solutions générales implicites" date seulement de la dernière itération (2021-22) et fait suite au module de formation "Suivi des apprentissages en ligne" donné par Jean-Luc Gilles [35] (voir aussi la Section 3.1.5). Les deux premières itérations contenaient alors seulement 4 ou 5 propositions (1 correcte et des distracteurs), et la version actuelle des QCM contient donc 8 propositions : 4 propositions *ad hoc* et les 4 solutions générales implicites.

Ces évolutions ont jalonné l'évolution de ma conception vers celle décrite en préambule de la Section 2.2 : susciter la participation et favoriser l'approfondissement des apprentissages. D'une certaine manière, toutes les conditions préalables mentionnées ci-dessus reviennent à imposer deux évaluations supplémentaires, évaluées par une échelle ordinale à deux échelons : "Réussite" et "Echec". La première évaluation porterait sur la participation aux QCM Moodle, et la seconde

sur la participation (avec ou sans auto-correction) aux contrôles continus. Or, quelles seraient les compétences / les objectifs d'apprentissage testés par ces évaluations ? A priori, une forme de régularité ou de "fiabilité", et un investissement temporel, éventuellement un travail de prise en compte du feedback dans le cas des contrôles continus. Or, ces éléments n'entrent pas vraiment dans le cadre du cours, ni dans les objectifs d'apprentissage (à une exception près, voir section suivante).

### **Objectifs d'apprentissage**

La version 2019-20 du Syllabus contenait un objectif d'apprentissage supplémentaire : "Prendre en compte et exploiter les commentaires reçus afin d'améliorer cette communication". Ici, "cette communication" est à comprendre en lien avec l'objectif d'apprentissage énoncé directement avant, qui était "Communiquer son raisonnement de manière claire et précise".

Cet objectif a été supprimé dès l'édition 2020-21, pour faire suite à l'abandon du mécanisme d'auto-correction décrit dans la section précédente. On observera d'ailleurs que cet objectif d'apprentissage est un peu bancal : il concerne la capacité de prendre en compte un feedback reçu pour améliorer seulement la communication. Or, c'est bien la qualité du raisonnement qui est l'enjeu principal du cours, avant la manière de le communiquer. Mais le raisonnement a été omis de cet objectif.

Rétrospectivement, je crois me souvenir que j'avais inclus cet objectif pour justifier le choix de l'instrument (que j'avais eu envie d'expérimenter suite à une expérience précédente, voir Section 4.1), ce qui est un non-sens du point de vue de la conception : l'instrument devrait être au service de l'objectif, et pas l'inverse.

### **Prise en compte de l'étudiant·e**

Le dispositif tel que décrit dans la Section 3.1.3 était pour l'essentiel présent dès le départ, à l'exception notable de toute l'infrastructure Discord, qui est née des adaptations aux conditions sanitaires en 2020 (voir Section 4.2.2).

Au niveau des syllabi, la seule évolution concrète a été l'ajout d'une section "Langues" dans la dernière version du document (2021-22). Cet ajout explicite le principe de bilinguisme actif tel que prévu et pratiqué dans la Faculté des Sciences et de Médecine. Au lieu d'une organisation avec des cours dédoublés en français et en allemand, ou des traductions systématiques de tous les documents, la Faculté applique un modèle dans lequel les Départements (respectivement les enseignant·e-s) veillent à un équilibre des langues en général, que ce soit dans l'offre des cours, ou au sein d'un même cours. Ce principe se révèle parfois délicat pour les étudiant·e-s qui ont peut-être omis ou sous-estimé cet aspect linguistique (voir aussi la Section 5.1.3). Ainsi, dans la troisième itération du cours, j'ai ajouté explicitement ce principe dans le Syllabus.

Dernier détail mineur : dans un exemple des syllabi 2019-20 et 2020-21 j'avais utilisé l'expression "Mlle", que j'ai remplacée par "Mme" dans la version 2021-22 pour des raisons de neutralité de la formulation.

## Evaluation de l'enseignement

Le dispositif tel que décrit dans la Section 3.1.6 est resté globalement stable durant les itérations successives.

### 4.2.2 Situation sanitaire et usages des TIC

Dans la version initiale du dispositif didactique, l'usage des technologies de l'information et de la communication (TIC) se résumait à la page Moodle du cours, telle que décrite dans la Section 3.1.1, ainsi qu'à l'usage ponctuel, dans les séries d'exercices, d'outils graphiques ou de calcul symbolique (par exemple la page web Wolfram Alpha ou l'application Mathematica, ou un langage de programmation tel que Python).

Le passage à un dispositif distanciel imposé par les mesures sanitaires liées au COVID-19, au printemps 2020, a suscité la mise en place d'autres infrastructures. En raison de la rapidité de réaction nécessaire, j'ai choisi, d'entente avec mes assistants d'alors, de mettre en place un système qui soit avant tout facile d'accès, flexible, et avec lequel j'étais familier. Ne connaissant pas du tout la plateforme Teams et maîtrisant seulement les fonctions de base de Moodle, je me suis orienté vers des plateformes que je connaissais mieux. Mon intention en faisant ce choix était d'investir du temps et de l'énergie dans la création d'une infrastructure la plus fonctionnelle possible, plutôt que dans la maîtrise de nouveaux outils. De plus, la plateforme "officielle" Teams avait alors des fonctionnalités encore relativement limitées, qui ont été étendues depuis. Etant un adepte de jeux vidéos, c'est ainsi vers des outils répandus dans ce contexte que je me suis orienté. Ainsi, les mesures suivantes ont été adoptées dès le passage des cours en mode distanciel au printemps 2020 :

- Les séries d'exercices étaient à rendre sous forme numérisée directement sur Moodle, sous forme de pdf. Cette mesure a perduré jusqu'à la présente itération, car elle permettait notamment aux tutrices et tuteurs de corriger sans avoir besoin d'avoir accès physiquement aux feuilles déposées par les étudiant·e·s.
- Je donnais le cours depuis une interface OpenBoard [54], logiciel gratuit suisse utilisé notamment sur les ordinateurs de l'Université de Fribourg, à l'aide de mon ordinateur personnel et d'une tablette graphique. Le cours était diffusé en direct sur la plateforme de streaming Twitch [68], la plus utilisée pour le partage et le visionnage de contenu notamment vidéoludique. La vidéo enregistrée était alors déposée sur le site d'archivage SWITCHDrive [66], et le lien rendu disponible sur la page Moodle du cours.  
Un avantage décisif pour moi dans ce contexte a été la facilité d'accès : les étudiant·e·s pouvaient accéder directement au livestream de chaque cours depuis le même lien Twitch, sans avoir besoin de créer de compte, ou de créer un nouveau lien par cours, etc.
- Dans le même esprit, l'idée d'utiliser un serveur Discord a été motivée par la facilité d'utilisation, la flexibilité, ainsi que la familiarité que j'en avais : c'est une plateforme que j'utilisais déjà dans le contexte social. L'aspect informel et plus ludique de Discord, contrastant avec les interfaces très "officielles" de Moodle et Teams, était pour moi un avantage supplémentaire. Lors de sa création, le premier serveur Discord contenait surtout

des canaux destinés à accueillir les discussions liées aux exercices et au cours.

Par la suite, j'ai intégré cet instrument au dispositif didactique, pour finalement déboucher sur l'infrastructure décrite dans la Section 3.2.2. Au fil du temps, nourri par les idées des assistant·e-s, tutrices et tuteurs, et des étudiant·e-s, le dispositif s'est enrichi. Parmi les évolutions notables, on peut citer :

- La mise en place du canal **Memes** peu de temps après la création du serveur.
- Les différents canaux relatifs à la santé mentale et au soutien psychologique, aussi dès la création du serveur.
- Un canal écrit **Questions Livestream** destiné à recueillir en direct les questions des étudiant·e-s à propos du cours diffusé sur Twitch. Les assistant·e-s et tutrices et tuteurs se relayaient pour qu'au moins une personne soit présente sur ce canal et réponde aux questions pendant que je donnais le cours. J'y faisais aussi régulièrement des passages durant le cours afin de faire le point ou commenter sur des questions déjà répondues.
- Les différents canaux relatifs aux questions liées aux études en général ou aux autres cours, dès la seconde itération du cours (2020-21) : dès le début de cette itération, le serveur était alors conçu comme une ressource à part entière.
- La venue d'ancien·ne-s étudiant·e-s sur le serveur date de la dernière itération (2021-22) et résulte d'une initiative d'étudiant·e-s à la fin de l'année académique 2021-22 de ne pas voir le serveur actuel complètement disparaître, comme relaté dans la Section 3.2.6. C'est aussi au début de cette itération que des suggestions d'étudiant·e-s couplées à la créativité d'un tuteur ont conduit à la création du "concours de memes" (et des canaux et groupes qui en ont résulté).

Ainsi, si la structure liée aux activités d'apprentissage était déjà présente dès la création du serveur Discord, le volet "social" s'est développé avec l'intégration de ce serveur au dispositif didactique, puis grâce à l'appropriation de cet espace par les étudiant·e-s. A nouveau, la facilité d'utilisation a été pour moi un élément déterminant dans l'adoption de l'outil, de même que l'anonymat qui peut être adopté par les utilisateurs et utilisatrices s'ils/elles le décident. A la différence de Twitch et Moodle, les étudiant·e-s souhaitant utiliser Discord doivent s'inscrire (gratuitement) à la plateforme.

- J'ai mis à disposition des tableaux blancs en ligne via l'interface proposée par BitPaper [6]. L'avantage que j'y ai vu est que je pouvais diffuser des liens vers des tableaux blancs collaboratifs "infinis" : lorsqu'une personne cliquait sur le lien, elle était redirigée vers un écran vierge et pouvait alors écrire dessus avec sa souris (ou une tablette graphique). Toute personne visitant le même lien voyait alors l'état du tableau en temps réel et pouvait interagir et modifier ce qui y était déjà écrit. L'interface permettait aussi d'ajouter des images (e.g. des captures d'écran) et de les annoter. J'ai donc créé de multiples "tableaux blancs" et ai diffusé les liens sur le serveur Discord. De cette manière, les personnes souhaitant interagir "en direct" pouvaient se connecter à un canal vocal de Discord et simultanément disposer d'une interface sur laquelle écrire ou dessiner.

A nouveau, les étudiant·e-s n'avaient besoin que des liens, sans créer de compte. J'ai dû par contre créer un compte, et acheter un "paquet" de liens.

Cette infrastructure mise en place pour le distanciel au printemps 2020 (en particulier, la diffusion sur Twitch) a été à nouveau implémentée lors des itérations suivantes, y compris lors de la phase comodale durant la première partie de l'année 2021-22, lorsque l'accès aux bâtiments était interdit aux personnes non munies d'un certificat COVID-19.

Une question épineuse à la fin du semestre de printemps 2020 a été celle des examens écrits, et plus précisément, leur encadrement. Les facultés, responsables de l'enseignement, ont en effet dû créer des règlements *ad hoc*, donnant lieu à des dispositifs plus ou moins abracadabrantesques selon les facultés. La question s'est posée presque immédiatement pour moi, puisque des contrôles continus étaient agendés. Mon approche des évaluations allant dans le sens d'un accès libre aux ressources, j'ai choisi de modifier les moyens autorisés en déclarant les évaluations "open book, open web" pour la durée du distanciel.

Concrètement, cela signifiait que les moyens électroniques étaient autorisés, de même que les ressources en ligne. La seule restriction était tout contact, de quelque forme que ce soit, avec un autre humain. En suivant cette ligne j'avais deux ambitions/espoirs : une simplification de la surveillance en ligne (pour l'examen final, la Faculté des Sciences et de Médecine prévoyait une surveillance par webcam, sur Teams, en petits groupes), et une baisse de la charge de stress pour les étudiant·e·s. Sans verser dans l'angélisme, je suis parti du principe que le rapport "cas de fraude / problèmes générés par les contrôles" serait rapidement défavorable. De plus, j'avais un problème de fond : comment garantir que la performance de l'étudiant·e à l'évaluation reflète ses compétences et pas sa résilience, sa résistance au stress, ou encore le calme et la sécurité de son cadre personnel ? En effet, pour moi, en tenant des évaluations présentielles, l'institution garantit une homogénéité dans les conditions de l'examen : même lieu et même cadre. Avec le distanciel, cette garantie n'est plus fournie, au détriment des étudiant·e·s.

J'ai donc composé les évaluations (contrôles continus et examen final) en vue de ces moyens autorisés. Typiquement, je n'ai pas demandé aux étudiant·e·s de faire d'esquisse, et j'ai essayé de garder les calculs à un minimum.

Comme indiqué précédemment, le serveur Discord est à présent partie intégrante du dispositif didactique, en complément à la page Moodle du cours. Au printemps 2021, le Module "Creating interactive learning content to support your courses" de Michael Luggen [48] a été l'occasion de mieux structurer et systématiser mon approche de ces outils numériques, avec comme objectif de proposer quelque chose de plus riche qu'un "simple" répertoire de documents en ligne. Le travail de validation de ce module m'a notamment permis d'enrichir les feedbacks pré-programmés dans les QCM Moodle d'entraînement ("Exercice 1" de chaque série, cf. Section 3.1.4).

### 4.2.3 Dispositif social

Dans la version initiale du cours, le dispositif social tel que décrit dans la Section 3.2 n'était pas aussi développé. La section précédente a ainsi décrit la création et l'évolution du serveur Discord du cours et du serveur d'"alumni". Dans cette section, je retracerai les origines et l'évolution des autres aspects du dispositif social.

## Team spirit de l'équipe enseignante

En automne 2019, lors de la première itération du cours, la situation du point de vue de l'équipe enseignante (1 assistant et 5 tutrices et tuteurs) était très particulière. En effet, l'assistant du cours était en séjour de recherche à l'étranger durant les 8 premières semaines du semestre, et gérait l'équipe à distance. Etant moi-même présent à Fribourg seulement un jour par semaine, je n'avais aucun contact en personne avec les tutrices et tuteurs, qui assuraient ainsi seul-e-s le volet "exercices" du cours.

La version initiale du dispositif était beaucoup plus lourde en termes de charge de travail de l'équipe enseignante, et le manque de coordination a résulté en une situation conflictuelle qui s'est développée et a "explosé" peu de temps après le retour de l'assistant, donc durant la dernière partie du semestre. Ne pouvant pas accéder aux requêtes formulées par certain-e-s tutrices et tuteurs, j'ai tenté d'assainir l'esprit d'équipe en instaurant la tradition de l'"Appreciation night" décrite dans la Section 3.2.5. Cette situation a de plus attiré mon attention sur la responsabilité que j'avais en tant qu'enseignant du cours de créer une atmosphère la plus saine possible aussi pour mon équipe, résultant dans certains des objectifs mentionnés notamment dans la Section 2.2.3. En l'occurrence, la situation particulière n'a malheureusement pas trouvé une issue optimale, mais cette expérience malheureuse m'a de plus conduit à participer au printemps 2022 au module de formation "Gestion des conflits" donné par Fabienne Finat [34].

Quoi qu'il en soit, j'ai depuis cet incident tenu à renforcer les liens avec l'équipe enseignante dès le départ, et cultiver l'esprit d'équipe décrit dans la Section 3.2.5. Ce dispositif a donc été instauré dès le deuxième semestre de l'édition 2019-20, et les défis de l'enseignement à distance ou comodal n'ont fait que renforcer cette nécessité d'entretenir un esprit d'équipe fort et bienveillant.

Pour fonder plus systématiquement cette discussion, on peut par exemple se référer aux travaux de Lambert [47] et de Niclasse [53] ou au guide de Charlier, Niclasse et Lambert [19], tous trois repris par Charlier [18]. En effet, même si je ne supervise pas la thèse des assistant-e-s de mon cours et même si les tutrices et tuteurs ne sont pas des doctorant-e-s, la situation est fortement similaire à celles que Charlier, Lambert et Niclasse discutent. En l'occurrence, si on considère que ma responsabilité est d'accompagner mon équipe dans la pratique d'activités d'enseignement, alors le parallèle est immédiat. Les objectifs liés à l'équipe et énoncés dans les Sections 2.2.3 et 2.2.4 entrent dans ce cadre, et les recommandations du guide [19] peuvent être reprises sans restriction :

- *S'impliquer et poser un cadre transparent*, typiquement ici en cultivant l'esprit d'équipe, me rendant disponible, veillant à ne pas surcharger les membres de l'équipe, et clarifiant la répartition des tâches.
- *Soutenir le développement de l'autonomie*, ce qui est visé par la répartition des attributions, notamment en séparant le volet "cours" du volet "exercices" et en n'intervenant que si on me le demande ou "en dernier recours" si je le juge nécessaire.
- *Soutenir le développement de la compétence*, en particulier ici la compétence didactique. J'ai l'espoir que les multiples discussions, voire débats, à propos du dispositif didactique et des valeurs qui le sous-tendent contribuent à nourrir la réflexion et le développement des compétences pédagogiques et didactiques des membres de mon équipe (en plus de le faire

pour moi).

- *Soutenir l'affiliation*, par exemple en ayant des rôles dédiés sur le serveur Discord, en ayant des moments sociaux entre nous hors du contexte du cours, et échangeant aussi de manière informelle et légère.
- *Me développer comme "superviseur"*, typiquement en écrivant ce paragraphe (et le travail qui l'entoure), mais aussi au quotidien en continuant à solliciter les vues des membres de mon équipe ou en échangeant avec des collègues. En effet, que ce soit pour former une opinion ou pour défendre une opinion que j'ai déjà formée, je dois articuler ma pensée, la préciser, et dans l'idéal réussir à convaincre de sa validité (sans pour autant prétendre que c'est la seule option viable ou que c'est la vérité absolue).

### **"Rituels" avant et pendant le cours**

Le seul "rituel" qui était vraiment en vigueur dès le départ était celui consistant à lire aléatoirement quelques réponses au questionnaire de début d'année.

Les autres éléments "rituels" décrits dans la Section 3.2.1 se sont ajoutés au fil du temps, parfois même en cours d'année. Ainsi, l'idée de la playlist Spotify, mise en place dès le début de l'année 2021-22, est née de la pratique des "bots" sur le serveur Discord durant la période distancielle : j'avais apprécié l'idée que les étudiant·e·s écoutent de la musique ensemble, chacun·e proposant à tour de rôle un morceau qui serait joué pour tout le canal vocal, à la façon des juke-boxes.

De manière similaire, l'idée des icebreakers est venue durant l'année 2020-21 : je cherchais un moyen de créer du lien social entre les étudiant·e·s sur le serveur Discord. En effet, le distanciel impliquait une perte de ce lien, et les étudiant·e·s ne pouvaient typiquement plus vraiment faire connaissance informellement ou "par hasard" durant les pauses ou au détour d'un couloir ou de la mensa. Je me suis donc inspiré de techniques existantes pour "mettre en route" des groupes d'inconnu·e·s pour essayer d'y remédier.

D'autres idées ont été expérimentées mais n'ont pas reçu un accueil aussi favorable qu'espéré. Un exemple est la tentative d'instaurer ce que j'ai appelé des "energizers". Comme le cours est donné le vendredi matin à 8h15, il n'est pas rare que les étudiant·e·s arrivent relativement fatigué·e·s, ou en tous cas peu réactifs/réactives. Mon idée était de m'inspirer des mises en train pratiquées dans les troupes de théâtre ou d'improvisation théâtrale avant une répétition. Ainsi, j'ai tenté de proposer de telles activités durant les 5 premières minutes des cours. Par exemple, un des premiers energizers était un exercice dans lequel les participant·e·s se répartissaient en cercles d'une dizaine de personne et comptaient à tour de rôle (1, 2, 3, ...). La personne ayant la parole tapait au moment de compter sur une de ses épaules avec la main opposée, et la personne se situant de ce côté-là devait alors continuer le compte en reprenant la même gestuelle (et choisissant alors aussi soit son côté droit, soit son côté gauche). Le but du jeu était d'aller le plus vite possible. Des règles supplémentaires pouvaient être introduites avec le temps (par exemple : à chaque multiple de 7, on "saute" une personne et c'est la personne suivante qui doit prendre le relais, etc). Le but de ces energizers était de proposer une "mise en train" psychomotrice, et de créer une atmosphère détendue dès le début du cours. Suite à des feedbacks d'étudiant·e·s me faisant remarquer (très gentiment d'ailleurs) que c'était difficile pour eux/elles car ils/elles étaient

timides, ou alors qu'ils/elles ne souhaitent pas y participer, ou encore qu'ils/elles trouvaient que ça ne devait pas être fait sur du temps de cours, j'ai décidé d'y renoncer.

### **Série facultative "Feelgood"**

L'idée de la série "Feelgood" provient d'une expérience faite durant mon enseignement à Vanderbilt, au printemps 2017. Durant cette période, le campus a été endeuillé par le suicide d'un étudiant. Ce dernier faisait de plus partie de la même résidence estudiantine qu'un des étudiants de mon cours. Le cours directement après l'annonce de cet événement, je me suis senti démuni : je ne voulais pas faire comme si rien ne s'était passé, mais je ne savais pas quoi dire ou quoi faire. Finalement, j'ai pris la parole pour dire que j'allais thématiquer ça prochainement avec elles et eux, s'ils/elles étaient d'accord.

Le Center for Student Wellbeing de Vanderbilt proposait une courte formation externe sous forme de jeu sérieux / simulation visant à former le personnel à la thématique du suicide chez les étudiant·e·s [70]. J'ai suivi cette formation, et ai aussi consulté d'autres ressources liées à la thématique de la santé psychologique en générale, notamment proposées par Vanderbilt. Au moment de thématiquer ça avec les étudiant·e·s, en plus d'un temps de discussion ouverte où chacun·e pouvait librement prendre la parole et s'exprimer, j'ai proposé aux étudiant·e·s de pratiquer des activités qui pourraient les "recentrer / divertir / apaiser" dans ce contexte chargé, et en général. C'était le premier prototype de "Série Feelgood".

Suite aux retours positifs suite à cette expérience, j'ai naturellement réinvesti le principe lors des vacances de Pâques 2020, peu après le passage au distanciel, en intégrant cette série facultative dans le dispositif, comme décrit dans la Section 3.2.3. Durant l'année académique 2020-21, j'ai édité deux Séries Feelgood : une à Noël et une à Pâques, toujours avec une thématisation de la santé mentale et d'autres activités plus légères ou relationnelles, en particulier dans le contexte de l'enseignement à distance. Comme l'année 2021-22 était essentiellement en présence, je n'ai édité qu'une seule telle série, à Noël, et je compte conserver ce principe.

### **Escape Game mathématique**

Comme décrit dans la Section 3.2.4, l'escape game "Sauvez le monde (ou pas) grâce aux maths" provient d'une collaboration avec Michaël Dougoud. Lorsque nous étions assistants, nous avons repris en charge en 2014 l'organisation de la semaine d'introduction aux mathématiques qui a traditionnellement lieu une semaine avant le début du semestre d'automne. Au fil des années, différents modèles avaient été utilisés, et nous avons choisi d'expérimenter quelque chose qui aille dans le sens de l'apprentissage par problèmes : chaque matin, nous proposons un problème concret aux étudiant·e·s, et passons l'essentiel de la matinée à les accompagner dans leurs recherches / réflexions. A la fin de la matinée un temps était réservé pour un débriefing introduisant des éléments théoriques.

Nous avons simplement repris et adapté un peu ces concepts pour proposer un module de TecDay [30] pour des établissements du Secondaire II, dès 2015, sans apporter de grandes modifications.

Suite au module de formation continue DevPro "Serious games et simulations pour la formation

supérieure" de Dominique Jaccard que j'ai suivie au printemps 2019 [42], j'ai remanié ce projet plus sérieusement afin de l'intégrer plus précisément dans le cadre d'un enseignement au degré tertiaire.

Durant les éditions 2019-20 et 2020-21, cet escape game a été organisé directement en ligne : les étudiant·e·s étaient réparti·e·s en relativement petites équipes, disposant de canaux écrits et vocaux dédiés sur Discord ainsi que d'un lien BitPaper, et un·e assistant·e ou tutrice/tuteur avait mission de gérer un duo d'équipes concurrentes, en postant des images ou des fichiers directement sur Discord. Durant l'année 2021-22, j'ai pu organiser cet escape game en présence.

# Chapitre 5

## Analyse

*You need to take your enemy's side if you're going to see things the way they do. And you need to see things the way they do if you're going to anticipate their actions, respond effectively, and beat them.*

---

TYRION LANNISTER IN "A GAME OF THRONES"

Ce chapitre est construit en quatre temps. Premièrement, je vais utiliser différents instruments dans le but d'évaluer le dispositif didactique (son efficacité, sa robustesse, sa pertinence, etc.). Ensuite, à la lumière de ces éléments, je proposerai une réflexion critique sur le dispositif et l'approche qui le sous-tend. En troisième lieu, je proposerai des pistes de développement pour les futures itérations. Enfin, je "bouclerai la boucle" en revenant sur l'apport de la formation didactique à ma vision de l'enseignement en général et au dispositif décrit ici en particulier.

### 5.1 Evaluation du dispositif didactique

Dans cette section, l'objectif est d'investiguer le dispositif didactique décrit dans le Chapitre 3 (c'est-à-dire le plus récent). Pour ce faire, je propose d'utiliser des instruments de nature tant objective – grille d'évaluation critériée et statistiques des résultats d'étudiant·e·s, que subjective – questionnaires d'évaluation de l'enseignement par les étudiant·e·s.

Les différentes observations seront ensuite réinvesties dans la section suivante.

#### 5.1.1 Caractéristiques d'un apprentissage en profondeur

Comme mentionné en préambule de la Section 2.2, un objectif important du dispositif d'enseignement est de favoriser un apprentissage en profondeur chez les étudiant·e·s. J'ai choisi d'investiguer la mise en place ou non d'éléments favorisant un apprentissage en profondeur à l'aide des caractéristiques identifiées par Entwistle [32], telles que reprises par Charlier [16, pp. 33-35] :

Caractéristique	Fait	Commentaire/Justification
Parcours négociés	oui	Les étudiant·e·s peuvent choisir de ne pas résoudre les séries d'exercices, sans que ça ait un impact négatif sur la note finale. De même, la participation aux tests n'est pas exigée pour pouvoir s'inscrire à l'examen écrit (bien sûr, les scores sont pris en compte dans le calcul de la note, cf. Section 3.1.5). De plus, la section "Aménagements" du Syllabus garantit une flexibilité aussi individualisée que possible.
Unités de temps et de lieux diversifiées	oui	Différentes plateformes d'échanges : en présence et en simultané (cours et séances d'exercices) ou à distance en différé (serveur Discord). Les dates des tests sont publiées dans le syllabus et sont donc disponibles dès le premier cours. Lors d'une semaine de test, aucune série d'exercices n'est à rendre.
Ressources en provenance des lieux de vie privés et professionnels	oui/non	Présent via l'utilisation d'exemples et problématiques issus de différents domaines d'études (adaptés d'articles de recherche ou d'exposition, cf. Section 3.1.5). Absent car il n'y a pas vraiment d'intervenant·e extérieur·e, par exemple issu·e du monde professionnel.
Evaluation	oui	Feedbacks hebdomadaires (séries d'exercices) et bi-semestriels (tests).
Tâche	oui	Problématisation des chapitres et illustration à l'aide d'exemples basés sur les intérêts et le domaine d'études des étudiant·e·s (questionnaire en début d'année, cf. Section 3.1.3). Au moins un exercice par série est de type "application".
Cohérence : objectifs-méthodes-évaluation	oui	Les séries d'exercices, tests et examens sont construits (choix du type de questions, contenu des questions) et évalués (critères d'évaluation, scores maximaux inférieurs au total possible) en adéquation directe avec les objectifs d'apprentissage.
Collaboration	oui	Les séries d'exercices peuvent être rendues par groupes de 3. Utilisation de la plateforme Discord : canaux textuels où les étudiant·e·s peuvent discuter du cours et/ou des exercices, canaux vocaux où les étudiant·e·s peuvent interagir et travailler ensemble à distance.
Fonctions d'aide à l'apprentissage	oui	Les quatre grandes classes de fonctions d'aide sont représentées et utilisées, idéalement à parts égales (prépondérance pour la fonction de compétence). Voir le détail dans la Section 3.1.4.

Usage des TIC	oui/non	Utilisation de Moodle (syllabus, séries et corrigés, quiz d'auto-contrôle individuels, soumission des séries d'exercices, corrigés des tests et grilles d'évaluation, tests d'années précédentes, ressources complémentaires : vidéos YouTube, articles, etc) et Discord (canaux textuels et vocaux, que ce soit pour les activités sociales ou d'apprentissage, cf Sections 3.1.4 et 3.2). Utilisation de Mathematica et Wolfram Alpha (la version "lite" gratuite), ou de Python, pour résoudre une minorité de séries d'exercices ; cette dernière pourrait être mieux amenée (tutoriel plus étendu, support). De plus, le fait de n'utiliser ces logiciels que pour peu de séries rend le ratio "investissement temporel / bénéfice pédagogique" plutôt défavorable.
Moments de régulation du dispositif	oui/non	Je suis <i>de facto</i> présent sur Discord pour répondre aux questions et interagir avec les étudiant·e-s, y compris de manière informelle ou en réaction à des interrogations, critiques, suggestions. Le syllabus incite les étudiant·e-s à donner des feedbacks et à me contacter, même anonymement, pour toute question. Le cours est systématiquement évalué chaque semestre. Cependant, il n'y a pas de dispositif explicite de rencontre ou de régulation avec des représentant·e-s de la cohorte.

Cette grille d'analyse permet de mettre en évidence que globalement, le dispositif semble favoriser l'apprentissage en profondeur, tout en donnant des pistes de réflexion pour des améliorations : le lien avec les mondes privés et professionnels, les usages des TIC, et la régulation du dispositif, notamment, pourraient probablement être encore mieux développés. J'y reviendrai dans la Section 5.3.

### 5.1.2 Résultats des évaluations des apprentissages

Dans cette section je commenterai quelques statistiques à propos des évaluations des étudiants (exercices, contrôles continus, examen final, voir Section 3.1.5). Ces données permettront d'estimer la robustesse du dispositif, ainsi que de tirer quelques conclusions quant à son efficacité. Compte tenu du relativement faible nombre d'itérations, leur portée est cependant limitée.

Le tableau suivant donne le nombre d'étudiant·e-s inscrit·e-s au cours (c'est-à-dire qui se sont enregistré·e-s sur MyUniFR avant la première séance de cours).

Année académique	Nombre d'inscrit·e·s
2019-20	245
2020-21	246
2021-22	301

On observe donc une relative stabilité pour les deux premières itérations, suivie d'une augmentation de plus de 20%.

Observons à présent la proportion de séries d'exercices validées parmi ces étudiant·e·s inscrit·e·s au cours. Rappel : chaque année comporte 22 séries, et selon le syllabus, des bonus de régularité sont attribués si l'étudiant·e·s valide plus de 75% (respectivement 85%, 95%) des séries. Sur un total de 22 séries, cela signifie qu'entre aucune et 16 séries validées, l'étudiant·e n'enregistre aucun bonus, et que les bonus s'échelonnent ensuite chaque deux séries (c'est-à-dire 17-18 séries validées donnent 3% de bonus, 19-20 séries validées donnent 6%, et 21-22 séries validées donnent 10%).

La Figure 5.1 donne la répartition des séries validées à la fin de l'année académique (c'est-à-dire que la ou les série(s) Feelgood sont comptabilisées dans ces données) :

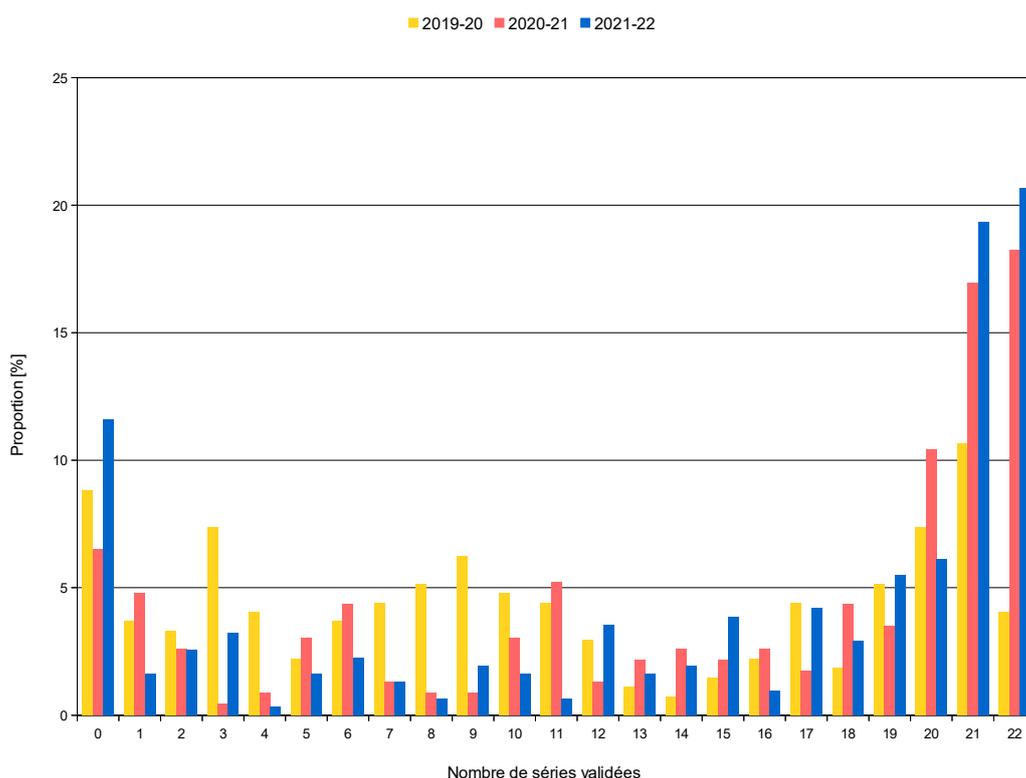


FIGURE 5.1 – Séries d'exercices validées (parmi les étudiant·e·s inscrit·e·s au cours)

On constate des profils similaires pour les années 2020-21 et 2021-22, et un profil relativement différent pour l'année 2019-20. En particulier, pour cette année, il semble qu'une partie des étudiant·e·s aient "baissé les bras" après avoir validé entre 6 et 12 séries, ce qui se traduit par la petite "bosse" qu'on constate autour de 9 séries rendues. De plus, beaucoup moins d'étudiant·e·s

ont validé 21 ou 22 séries cette année-là. Une explication potentielle que je vois est le passage au distanciel, qui a eu lieu en début de 2ème semestre, et dont les effets ont peut-être découragé les étudiant·e·s d'investir du temps pour faire valider des séries. Ceci semble d'autant plus plausible que les séries d'exercices se rendent en groupes, et que la dynamique installée a peut-être été stoppée nette par les changements brutaux induits par le premier confinement.

En prenant l'année 2019-20 avec des pincettes, on peut voir quelques tendances se dessiner, en particulier lors des deux itérations suivantes :

- On observe un premier "pic" tout à gauche (0 à 4 séries validées), ce qui correspond à des étudiant·e·s ayant très tôt décidé de ne pas investir de temps dans le travail des séries d'exercices (car facultatives), ou ayant décidé de se réorienter rapidement, ou ayant tenté sans succès de valider un certain nombre de séries. Ce "pic" représente entre 15% (en 2020-21) et 25% (en 2019-20) des étudiant·e·s.
- Un second "pic" semble se dessiner au centre-gauche (9-11 séries validées). Ceci pourrait correspondre à des étudiant·e·s ayant régulièrement rendu des séries de bonne qualité, puis décidé de se réorienter après le premier semestre.
- Enfin, à partir de 15 séries validées, les données s'"écrasent" globalement vers la droite, avec l'apparition des plus grands "pics" à 21-22 séries validées (2019-20 étant comme indiqué une exception à cette observation). Cette tendance correspond aux étudiant·e·s ayant décidé d'investir du temps pour effectuer les séries d'exercices régulièrement.

On peut résumer la répartition du nombre de séries validées comme suit :

Répartition du nombre de séries validées	0-16	17-18	19-20	21-22
2019-20	66%	6%	13%	15%
2020-21	45%	6%	14%	35%
2021-22	41%	7%	12%	40%

Le shift déjà observé entre l'année 2019-20 et les deux années suivantes se précise : si les deux colonnes centrales sont très similaires d'une année à l'autre, on observe un "glissement" d'environ 20-25% depuis la première colonne (aucun bonus) vers la dernière (bonus maximal).

Pour résumer de manière grossière, en faisant abstraction de l'année 2019-20 qui peut probablement être considérée comme biaisée, environ 55%-60% des étudiant·e·s s'étant inscrit·e·s au cours ont rendu plus de 75% des séries d'exercices de bonne qualité.

Le deuxième type d'évaluation des apprentissages prévu par le dispositif didactique consiste en 4 tests (contrôles continus), 2 par semestre. Pour rappel, ces derniers comportent un total maximal possible de 30 points, mais un score de 20 points est considéré comme maximal. De plus, à l'issue de ces 4 tests, seuls les 3 meilleurs scores sont conservés et contribueront pour un quart de la note finale du cours. Finalement, le dispositif prévoit un mécanisme de bonus récompensant un progrès réalisé entre le score d'un test et le score du test précédent.

La Figure 5.2 représente les scores moyens aux tests (4 premières colonnes) ainsi que le score moyen des 3 meilleurs tests (dernière colonne).

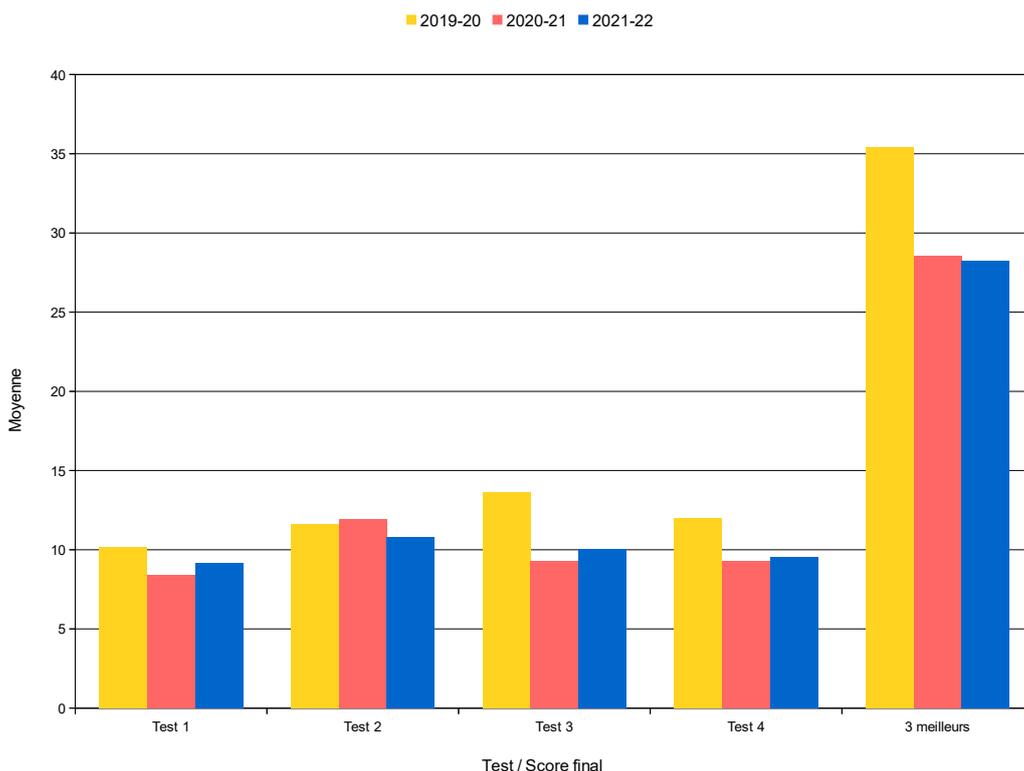


FIGURE 5.2 – Scores moyens aux tests, resp. moyenne des 3 meilleurs tests

A nouveau, on observe un comportement globalement similaire, avec une différence pour l'année académique 2019-20. Cette fois, cette différence s'explique par le passage à distance. En effet, j'ai décidé de proposer des exercices plus simples pour les Tests 3 et 4 cette année-là. Comme mentionné précédemment, j'avais à coeur de ne pas trop mettre les étudiant·e-s sous pression, compte tenu de la pression déjà existante, que ce soit au niveau des incertitudes intrinsèques à la situation en général, ou aux conséquences de l'isolement induit par un confinement et des études à distance. Ceci explique ainsi la différence notable qu'on observe pour ces deux tests par rapport aux années suivantes.

Pour le reste, les scores sont conformes à ce qu'on pourrait attendre. En effet, les Tests 1 et 2 sont essentiellement des récapitulatifs de la maturité gymnasiale. Le Test 1 met pour la première fois les étudiant·e-s face à une évaluation, et est souvent le moins bon des quatre. De plus, à ce moment-là (Semaine 7 du semestre), une partie des étudiant·e-s songe à se réorienter sans avoir encore pris de décision. En particulier, comme le Test 2 porte sur des thèmes centraux de la maturité (dérivées et les intégrales), il est sans surprise le mieux réussi des quatre. Les Test 3 (équations différentielles) et 4 (analyse à plusieurs variables) portent sur une matière complètement nouvelle pour la grande majorité des étudiant·e-s et sont donc généralement moins bien réussis que le Test 2.

Voyons à présent ce qu'il en est de l'examen final. D'abord, le taux de participation (nombre de personnes qui ont pris l'examen par rapport au nombre d'étudiant·e-s inscrit·e-s). Au moment où j'écris ces lignes, la session de septembre 2022 n'a pas encore eu lieu.

Proportion ayant pris l'examen	Juin	Septembre	Total
2019-20	50%	15%	65%
2020-21	51%	11%	62%
2021-22	52%	?	?

Le ratio "examens pris en juin / examens pris en septembre" est déséquilibré en faveur du premier. Ceci suggère que les étudiant·e·s se sentent prêt·e·s à prendre l'examen final déjà en juin, ou en tous cas davantage que pour d'autres de leurs examens. Cette constatation tend ainsi à établir l'efficacité des tests comme préparation à l'examen.

La Figure 5.3 compare les scores moyens obtenus à chaque session ainsi que les scores moyens de chaque année. Pour rappel, l'examen final comporte un total maximal de 60 points (+10 de bonus), mais un score de 40 points est considéré comme maximal.

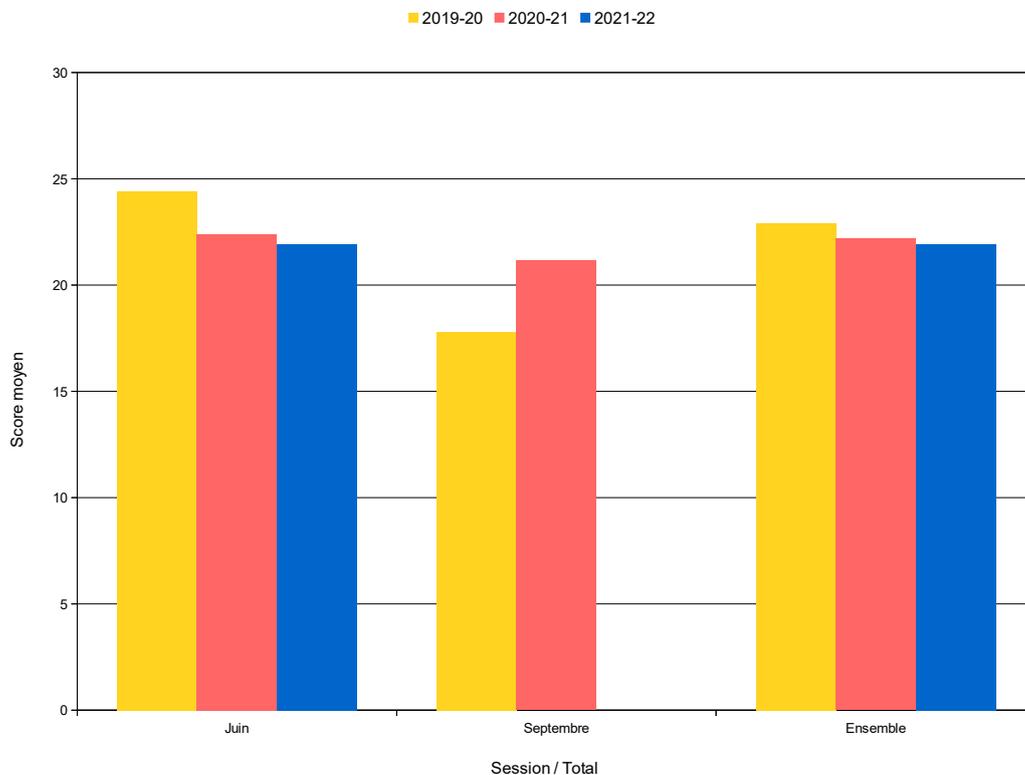


FIGURE 5.3 – Score moyen à l'examen final

Les données sont en trop faible quantité pour être déterminantes, mais il semble que les étudiant·e·s font en moyenne un moins bon score en septembre qu'en juin (particulièrement en 2019-20). Un élément d'explication pourrait être que l'examen de septembre est pris soit par des personnes qui ne se sentaient pas à l'aise en juin, soit par des personnes qui ont obtenu une note insuffisante en juin. Ceci pourrait ainsi peut-être expliquer la tendance observée.

De plus, il semble y avoir une tendance à la baisse (même minime) sur les scores d'une année à l'autre, déjà en juin. Cette tendance semble corrélée avec les scores des 3 meilleurs tests (cf. Figure 5.2), mais il n'en reste pas moins qu'elle interpelle. Il est possible que je sois involontaire-

ment victime d'un effet de répétition : en voulant chercher chaque année des nouveaux problèmes pour tests et examens, il est possible que je compose parfois des problèmes plus complexes, en voulant éviter de ré-utiliser des problèmes déjà proposés. Ceci aurait pour effet une sorte de surenchère de complexité.

Comme l'examen final est littéralement un "double test", il semble justifié de comparer le score de l'examen final, ramené à 20 points, au score des 3 meilleurs tests, aussi ramené à 20 points. On obtient alors le tableau suivant (entre crochets, la valeur pour la session de juin).

Scores normalisés /20	Tests	Examen final
2019-20	11.8	11.5 [12.2]
2020-21	9.5	11.1 [11.2]
2021-22	9.4	? [11.0]

Ainsi, il semble que malgré le fait que l'examen porte sur la matière de toute l'année et soit deux fois plus long qu'un test, les étudiant·e·s progressent entre les contrôles continus (alors même que le score de tests est amputé du moins bon score individuel) et l'examen final. L'année 2019-20 est à nouveau singulière, puisque les Tests 3 et 4 avaient été allégés, comme mentionné plus haut.

Les scores et bonus sont combinés pour calculer la note du cours, selon la procédure décrite dans la Section 3.1.5. La Figure 5.4 donne les notes attribuées aux examens. Les notes "1", attribuées aux personnes inscrites mais absentes à l'examen, ont été éliminées.

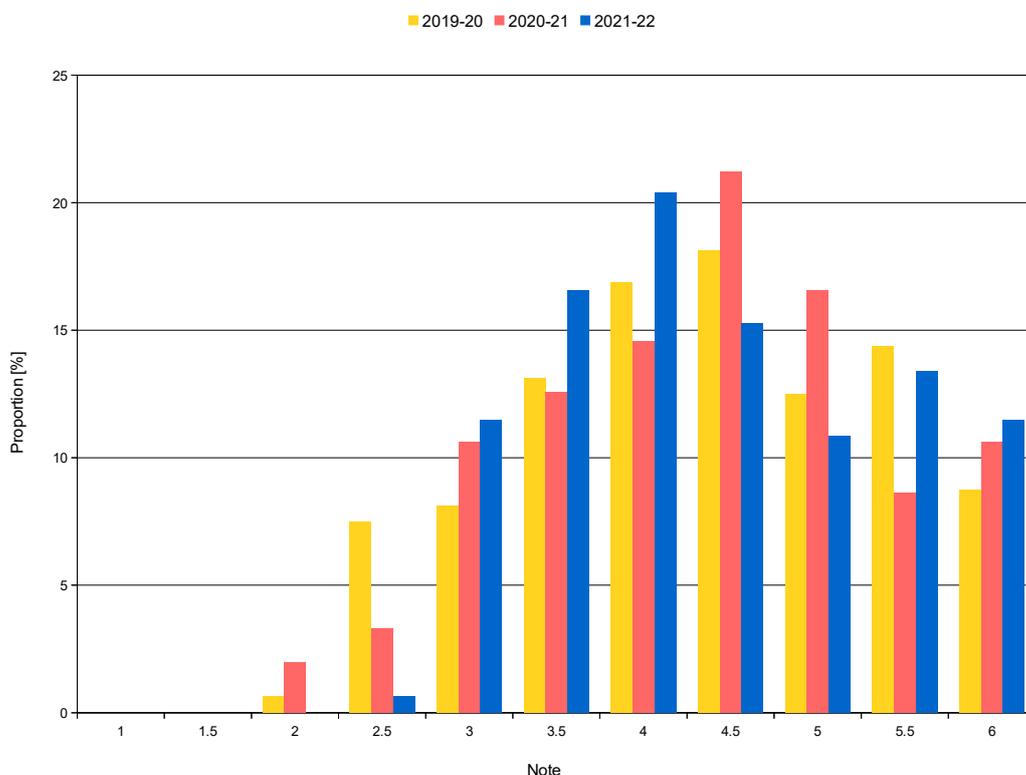


FIGURE 5.4 – Notes attribuées

Le profil grossier est similaire d'une année à l'autre. On observe un "tassement à gauche" pour l'année 2019-20, et un "tassement à droite" pour l'année 2021-22. Pour 2019-20, une partie de l'explication pourrait être que certain·e·s des étudiant·e·s prenant l'examen avaient suivi une édition antérieure du cours, et se sont présent·e·s à un examen dont les modalités leur étaient peu familières (voir aussi la partie "Vétérant·e·s" de la Section 3.1.5). Environ 30% des notes attribuées sont insuffisantes (ce qui n'est pas éliminatoire).

Les moyennes des différentes sessions, et de la totalité de la cohorte, sont les suivantes :

Note moyenne attribuée	Juin	Septembre	Totale
2019-20	4.51	3.71	4.33
2020-21	4.43	4.00	4.35
2021-22	4.41	?	?

On retrouve le léger déclin à la session de juin observé précédemment. A nouveau, le faible nombre de données rend toute conclusion hasardeuse.

Pour terminer cette section, je trouverais intéressant de comparer les bonus obtenus tout au long de l'année (qui indiquent une régularité du travail sur les séries d'exercices et/ou une progression aux tests) avec le score obtenu à l'examen final. Pour ce faire, je vais me baser sur l'agrégation de toutes les données disponibles (au nombre de 468), indépendamment de l'itération. L'objectif est en effet de voir si on peut dégager une tendance générale.

Rappel : pour les exercices comme pour les tests, il y a 4 bonus possibles : 0%, 3%, 6% et 10%. En combinant ces bonus, on a ainsi les 9 totaux possibles suivants : 0%, 3%, 6%, 9%, 10%, 12%, 13%, 16% et 20%. La Figure 5.5 donne la répartition de ces bonus totaux :

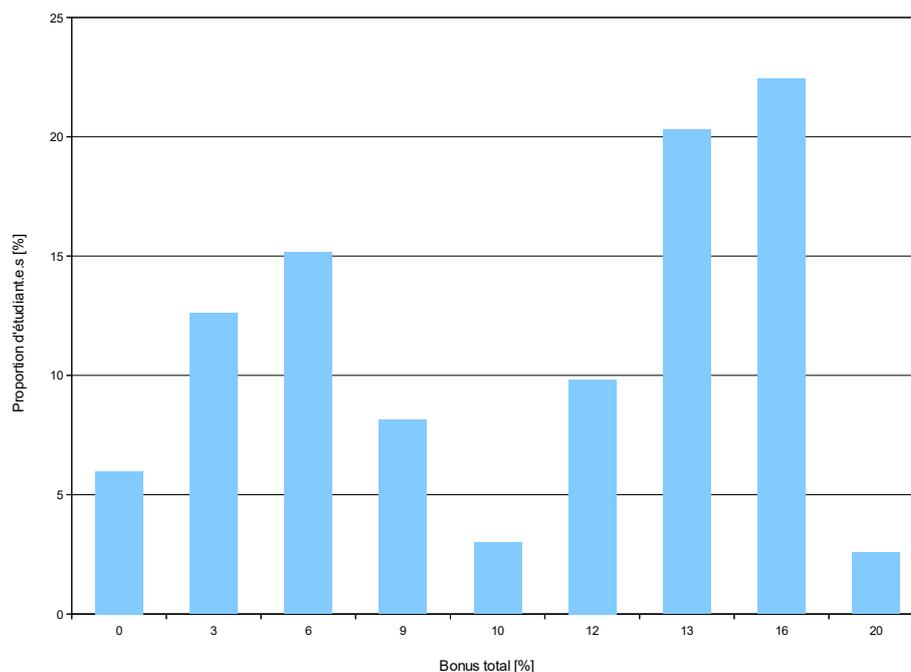


FIGURE 5.5 – Répartition des bonus totaux obtenus

Un examen de cette figure conduit en particulier aux conclusions suivantes :

- Un bonus de 10% aux tests (pas au total!) est rare (entre 1% et 5%). Un bonus total de 20% ne s'obtient qu'en cumulant deux bonus de 10%. Sur la Figure 5.5, on voit que c'est le cas d'environ 2.5% des étudiant·e·s, dans le même ordre de grandeur que le nombre de personnes ayant obtenu 10% en bonus de tests seulement. Ainsi, une personne progressant à tous les tests a aussi rendu plus de 95% de séries d'exercices satisfaisantes.
- Très peu d'étudiant·e·s (environ 3%) obtiennent un bonus total de 10%, ce qui est essentiellement dû à un bonus de 10% aux séries et de 0% aux tests. Ainsi, on peut affirmer qu'il est rare qu'une personne ayant rendu plus de 95% des séries d'exercices de bonne qualité ne progresse à aucun test.
- Plus de 40% des étudiant·e·s ont validé plus de 95% de leurs séries d'exercices et progressé à une ou deux reprises aux tests.
- Environ 6% des étudiant·e·s n'obtiennent aucun bonus total. C'est une proportion relativement faible. A titre de comparaison, un peu moins de 30% des étudiant·e·s obtiennent un petit bonus de 3% ou 6%.

Remarque : les disparités de proportions entre les Figures 5.1 et 5.5 s'expliquent par le fait que la Figure 5.1 contient également les scores de personnes s'étant réorientées.

La Figure 5.6, enfin, donne le score moyen à l'examen final en fonction du bonus total obtenu :

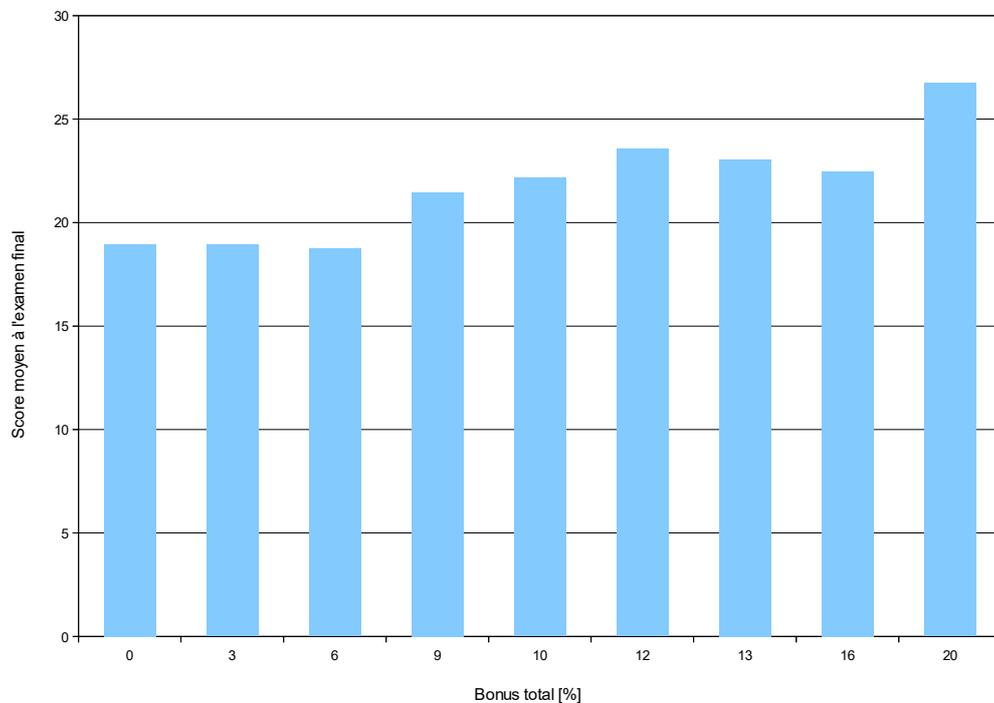


FIGURE 5.6 – Score moyen à l'examen en fonction du bonus total

Cette figure me semble révélatrice. Les personnes ayant validé peu de séries et peu progressé aux tests obtiennent en moyenne un score d'examen moindre. De l'autre côté du spectre, les personnes ayant validé la quasi-totalité des séries d'exercices et progressé à tous les tests (indépendamment du score lui-même!) obtiennent de loin les meilleurs scores à l'examen final. Enfin, les personnes dans des situations intermédiaires obtiennent des scores intermédiaires, en moyenne. On observe de plus une augmentation du score moyen entre les classes de bonus total 9% et 10%, et les classes de bonus total 12%–13%–16%.

Il est intéressant de constater que la classe de bonus total de 12% est composée de personnes ayant "mixé" des bonus intermédiaires (soit 3%+9%, soit 6%+6%). Ca correspond en particulier à des personnes n'ayant pas validé le maximum de séries d'exercices. Pourtant, cette classe a le second meilleur score moyen à l'examen. Ceci indique qu'il n'est pas nécessaire de faire toutes les séries d'exercices parfaitement pour obtenir un bon score d'examen.

Finalement, cette figure montre, il me semble, que la régularité de l'implication conduit à une meilleure performance à l'examen. Il est important de souligner qu'il ne s'agit ici que du score de l'examen et pas de la note finale. En particulier, il ne s'agit pas de dire que les personnes ayant plus de bonus ont une meilleure note à la fin (ce qui semblerait évident), mais bien que les personnes ayant validé une grande partie des séries d'exercices et progressé aux tests obtiennent de meilleurs scores à l'examen final. La différence de scores moyens est de près de 8 points sur un score total possible de 40, soit 20% du total!

Les éléments discutés dans cette section tendent à mon sens à montrer que le dispositif didactique est généralement bien aligné avec l'examen final, en ce sens que les activités d'apprentissage prévues (principalement les séries d'exercices) sont bien corrélées avec les tests, qui eux-mêmes sont une préparation réaliste à l'examen final.

De plus, l'analyse des données a fait émerger quelques tendances qui pourraient refléter un possible biais dans la construction des questions d'évaluations (tests et examen) au fil du temps.

### **5.1.3 Évaluations de l'enseignement par les étudiant·e·s (EEE)**

Dans cette section je propose un résumé synthétique des évaluations de l'enseignement par les étudiant·e·s (EEE). Comme indiqué dans la Section 3.1.6, je fais systématiquement usage de la possibilité offerte par le Service Assurance Qualité de l'Université (ServAQ) de faire évaluer le semestre en cours à l'aide d'un questionnaire standardisé [64]. Une évaluation a lieu traditionnellement durant les semaines 10 et 11 d'un semestre donc grosso modo aux deux tiers. Après 3 itérations du cours, ce sont donc 6 EEE qui ont été remplies anonymement par les étudiant·e·s.

Au total, ce sont chaque semestre entre 70 et 160 étudiant·e·s qui ont rempli ces questionnaires. Ils et elles sont systématiques plus nombreux et nombreuses au semestre d'automne, ce qui s'explique probablement par le fait qu'il y a encore à ce moment-là davantage de personnes qui suivent encore le cours, et probablement aussi peut-être par un effet "de nouveauté". Dans tous les cas, ces nombres représentent entre 40% et 60% des personnes qui suivent encore le cours au moment du questionnaire, ce qui peut être considéré comme relativement significatif (le Bureau d'évaluation de l'enseignement et des programmes d'études de l'Université de Montréal indique

que "dans un très grand groupe, un taux de réponse de 50% peut être représentatif" [69, p. 34]).

Pour commencer, examinons les questions fermées du questionnaire. Il s'agit d'abord d'une série de 10 questions à échelle de Likert à 7 échelons, allant de "Ne correspond pas" (échelon 1) à "Correspond tout à fait" (échelon 7). Les questions sont formulées de manière à ce qu'un score élevé soit un indicateur positif. Ceci facilite donc l'interprétation des résultats.

Le tableau suivant récapitule les scores moyens obtenus pour chacune des 10 questions fermées de l'EEE :

Question	A 19	P 20	A 20	P 21	A 21	P 22	Moyenne
Les objectifs du cours sont clairs	5.4	5.8	5.3	5.9	5.7	5.7	5.6
La structure du cours est claire	5.7	6	5.4	5.8	5.9	5.9	5.8
L'enseignant s'engage dans son activité	6.6	6.9	6.5	6.8	6.7	6.7	6.7
Il règne un climat favorable à l'apprentissage	6.1	6.1	6.1	6.4	6.5	6.4	6.3
Les modalités d'évaluation sont cohérentes avec les objectifs	4.6	5.6	5.4	6	5.6	5.6	5.5
Le cours me donne les outils nécessaires pour approfondir les contenus de manière indépendante	4.4	5.3	5	5.8	5.5	5.2	5.2
Les activités proposées favorisent mon apprentissage	4.6	5.3	5.3	5.6	5.6	5.5	5.3
J'ai l'impression que le cours me prépare de manière adéquate aux évaluations	4.2	5.4	4.8	5.5	5.1	4.9	5.0
Les contenus sont présentés de manière compréhensible	5.3	5.6	5.2	5.6	5.7	5.4	5.5
La matière est illustrée par des exemples	5.8	6.3	5.7	6.1	6.2	6.1	6.0
Moyenne	5.3	5.8	5.5	6.0	5.9	5.7	5.7

De manière générale, il ressort de ces chiffres que le semestre de printemps est habituellement mieux perçu que le semestre d'automne. Je vois plusieurs pistes d'interprétation à ce fait : une partie des étudiant-e-s s'est réorientée (et on peut imaginer que ces personnes pourraient tendre à être moins satisfaites globalement), d'une part, et d'autre part les étudiant-e-s se sont peut-être mieux approprié un dispositif qui initialement aurait pu paraître massif et compliqué. Enfin, l'EEE du semestre d'automne a lieu juste après que les étudiant-e-s reçoivent leur premier test en retour, ce qui peut potentiellement infléchir certains ressentis (on a vu dans la Section précédente que c'est aussi ce test-là qui est le moins bien réussi des quatre en moyenne).

Au-delà des fluctuations entre les semestres, on peut encore constater que le semestre d'automne 2019 est clairement le semestre le moins bien évalué, avec quatre scores en-dessous de 5 (sur les six scores inférieurs à 5 du tableau!). Ce phénomène pourrait s'expliquer d'une part parce que c'était mon premier semestre avec ce dispositif, que j'étais donc en train de "rôder" (en particulier, toute la partie "sociale" du dispositif n'était pas encore présente!), et d'autre part possiblement aussi à cause de l'absence de l'assistant du cours pendant les 8 premières semaines (comme évoqué dans la Section 4.2.3).

Examinons à présent les scores question par question. On constate que selon les étudiant·e-s, l'équipe et moi-même sommes clairement impliqués, que le climat du cours est favorable à l'apprentissage, et que la matière est illustrée par des exemples (ces questions sont évaluées en moyenne avec un score de 6 et plus). Ces résultats reflètent l'effort qui est fourni dans l'architecture du cours sur les dimensions humaines (cf. Sections 2.2.3 et 2.2.4) et sur le fait de rendre les contenus les plus concrets possibles (cf. Section 2.2.2).

En revanche, les étudiant·e-s sont plus réservé·e-s en ce qui concerne l'efficacité du cours à les préparer aux évaluations et à leur permettre d'approfondir les contenus de manière autonome, ainsi qu'à l'efficacité des contenus à favoriser leur apprentissage (ces questions sont évaluées en moyenne avec un score proche de 5). Une hypothèse en lien avec ces résultats est la suivante : durant les séances de cours, je donne des contenus les plus synthétiques possibles, typiquement en donnant des indicateurs sur la motivation de l'introduction de tel ou tel concept, l'utilisation de tel ou tel outil, etc. C'est ensuite durant les séries d'exercices que les étudiant·e-s vont vraiment apprendre à manipuler ces concepts et outils, souvent dans des situations "concrètes". Ainsi, les séries d'exercices ne sont pas une application directe du cours, mais le processus demande un travail d'intégration et de compréhension intermédiaire. Ce travail est d'ailleurs destiné à être amorcé durant l'exercice Moodle facultatif, puis déployé lors de la réflexion sur la série d'exercices. Il arrive régulièrement que les étudiant·e-s se sentent perdu·e-s en lisant un exercice pour la première fois, car il ne s'agit pas d'une application directe de la théorie telle qu'elle a été donnée. Ce n'est qu'en réfléchissant plus profondément, en discutant entre elles et eux, et en posant des questions, que la trame va se dévoiler petit-à-petit. Ainsi, si "le cours" dans l'énoncé de la question désigne les séances de cours (par opposition au cours – unité d'enseignement), alors les raisons évoquées ci-dessus me semblent correspondre à la situation telle qu'elle pourrait être vécue par les étudiant·e-s.

Voyons à présent les deux questions suivantes du questionnaire, qui concernent les exigences du cours et le degré d'engagement des étudiant·e-s. Elles sont à nouveau évaluées sur une échelle de Likert à 7 échelons, la première graduée de "beaucoup trop basses" (échelon 1) à "beaucoup trop hautes" (échelon 7), et la seconde de "ne correspond pas" (échelon 1) à "correspond tout à fait" (échelon 7).

Question	A 19	P 20	A 20	P 21	A 21	P 22	Moyenne
Les exigences sont...	5.3	5.2	5.4	5.2	5.2	5	5.2
Je m'engage activement au cours	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8	5.7	5.8

Les scores de ces questions sont remarquablement stables, ceci malgré l'abandon au fil du temps de différentes conditions de réussite (cf. Section 4.2.1). Je trouve réjouissant que le niveau d'exigence ne soit pas perçu comme beaucoup trop élevé. Il est effectivement perçu comme plutôt élevé que bas, sans pour autant être trop éloigné du degré médian, correspondant à des exigences équilibrées (échelon 4). L'engagement des étudiant·e·s est lui plus élevé que leur perception du degré d'exigences, et quasi-constant. Proche de 6, il dénote un fort engagement de la cohorte, engagement qui se traduit notamment dans les séries d'exercices rendues (voir la Figure 5.1 dans la section précédente). Je ne suis pas sûr de comment interpréter cette donnée : est-ce que ce fort taux d'engagement est la manifestation d'un dispositif qui ne décourage pas et invite à l'engagement, ou au contraire est-il le symptôme d'une pression ressentie par les étudiant·e·s ? S'agissant d'un cours à faible dotation horaire et relativement aisément compensable dans le paquet de validation, j'aurais tendance à pencher pour la première hypothèse. Il est aussi possible que le cours soit perçu comme moins pire que d'autres, et que les étudiant·e·s essaient de se servir de leur résultat à ce cours pour compenser d'autres cours du paquet de validation...

Le questionnaire d'évaluation contient ensuite les questions ouvertes "Quels sont les points forts de ce cours?" et "Quels sont les aspects de ce cours à améliorer?", ainsi qu'une question ouverte "Commentaire concernant les exigences ou votre participation au cours".

En analysant les réponses à ces questions ouvertes, on remarque une tendance générale se dégager, relativement stable au fil des itérations. Je propose ici un résumé sur la base de la lecture des commentaires des 6 EEE disponibles. Je tiens les documents à disposition sur demande.

Au niveau des points forts, les étudiant·e·s relèvent :

- L'implication et la disponibilité de l'équipe enseignante, ainsi que l'atmosphère détendue et l'humour qui règnent dans le cours.
- Le cours permet de faire des liens avec la vie réelle et donne des illustrations concrètes.
- Le cours est bien structuré et les conditions sont claires.
- Le système de bonus encourage à s'investir, et le fait que les séries sont facultatives est apprécié.

Concernant les aspects à améliorer, les étudiant·e·s mettent en avant les points suivants :

- La charge de travail est élevée par rapport aux points ECTS dédiés, si on veut faire toutes les séries sérieusement.
- Il y a un "saut" entre la théorie présentée en cours et les exercices proposés. Il est difficile de directement savoir quoi faire.
- La documentation n'est fournie que dans une seule langue (script en français, séries d'exercices/corrigés souvent en allemand).
- Les séances d'exercices pourraient être organisées différemment (ce commentaire survient surtout depuis la mise en place du serveur Discord).

Il est par ailleurs intéressant de noter que certaines thématiques reviennent alternativement dans les points forts et dans les points faibles. Par exemple, pour une partie des étudiant·e·s, le fait

d'avoir des tests "trop longs" (avec 30 points possibles, mais 20 représentent un score maximal) est encourageant car ils/elles peuvent choisir les questions qu'ils/elles préfèrent ; pour une autre partie des étudiant·e-s, ce fait est perçu comme décourageant, car ils/elles n'arrivent jamais à traiter toutes les questions du test. Un autre exemple de disparité est l'approche des exercices : certain·e-étudiant·e-s apprécient le fait que les séries soient écrites comme des "mini-problèmes" à réfléchir, alors que d'autres se sentent perdu·e-s à la lecture des séries et apprécieraient une connexion plus limpide entre le cours théorique et la série.

On constate que les thématiques qui ressortent des questions ouvertes sont en adéquation avec les résultats des questions fermées : les étudiant·e-s apprécient l'approche du cours, l'investissement de l'équipe et les illustrations concrètes, mais sont plus réservé·e-s sur l'efficacité du cours à les préparer aux évaluations (certain·e-s d'entre eux/elles ne voient pas forcément le lien entre cours et exercices, par exemple), ou à les mettre en situation d'apprentissage autonome (possiblement pour les mêmes raisons).

En résumé, cette section a permis d'identifier des points de friction et ainsi de dégager des pistes d'amélioration. Elle a aussi permis de constater qu'une bonne partie des intentions didactiques qui sous-tendent le dispositif est perçue positivement par les étudiant·e-s, qui semblent y adhérer. Si on se réfère aux principes énoncés par le Centre de Pédagogie Universitaire de l'Université de Montréal [69, p. 36] ainsi que par le Centre de Soutien à l'Enseignement de l'Université de Lausanne [15], les résultats des questions fermées peuvent être considérés comme très bons, ce qui est encourageant. Ces résultats sont d'autant plus réjouissants que le contexte du cours présente plusieurs caractéristiques pouvant "favoriser" des évaluations moins bonnes : un cours de début de cursus, n'ayant pas été choisi par les étudiant·e-s, et avec un grand nombre d'inscrit·e-s [13]. Enfin, vu le contexte du cours ainsi que les différentes caractéristiques évoquées précédemment (difficulté, charge de travail, résultats aux tests, notamment), ces EEE tordent le cou, s'il en était encore besoin, à différentes idées reçues ou intuitions erronées régulièrement entendues dans le contexte des évaluations de l'enseignement par les étudiant·e-s [14].

Remarque : J'ai posté en mai 2022 un questionnaire sur le Moodle du cours de l'année 2019-20. Les questions posées portaient essentiellement sur la perception des étudiant·e-s des compétences développées durant le cours (tant au niveau savoir-faire : maîtrise des outils, que savoir-être : rapport aux mathématiques et à l'erreur), ainsi que sur le dispositif didactique en tant que tel (pertinence des séries d'exercices, cohérence du dispositif, pertinence du cours dans le cursus, etc). Le but était d'avoir un regard rétrospectif de la part d'étudiant·e-s à la fin du 6ème semestre d'études, et donc sur le point de terminer leur Bachelor.

Malheureusement, au moment de rendre ce travail, le questionnaire a été rempli par 30 personnes seulement. C'est un taux de réponse très faible : environ 12% des inscrit·e-s à ce cours, et moins de 20% des personnes ayant effectué l'examen de ce cours. De plus, les personnes ayant pris le temps de remplir ce questionnaire sont probablement des personnes qui ont plutôt une inclinaison positive par rapport au cours. Ainsi, les résultats sont probablement biaisés et ne sont certainement pas significatifs. C'est pourquoi je renonce à les inclure à ce travail.

## 5.2 Considérations critiques

Cette section sera l'occasion de faire un premier bilan, en reprenant des éléments mis en lumière dans les sections précédentes. Le but est de proposer une réflexion sur les intentions pédagogiques, d'abord, et ensuite sur les choix didactiques qui en ont découlé.

### 5.2.1 Intentions pédagogiques

Les objectifs mentionnés en préambule de la Section 2.2 sont probablement les objectifs de tout enseignant·e : un apprentissage actif et en profondeur. Ainsi, les objectifs tels que détaillés dans cette section vont dans le sens des quatre "clés d'activation" selon De Clercq & al. [25].

Le principal aspect qui me questionne n'est ainsi pas tant sur les intentions des buts globaux, mais plutôt dans mon interprétation de ce que l'enseignement devrait apporter. En effet, comme discuté dans la Section 2.3, mes préconceptions de l'enseignement sont clairement marquées : centrées sur l'apprentissage, elles sont de nature résolument constructivistes cognitives et humanistes. Ainsi, pour moi, les activités d'enseignement et d'apprentissage sont des activités humaines avant tout, qui portent des enjeux plus profonds que "simplement" des contenus. Cette vision est la mienne, et je me demande si d'une certaine manière elle ne pourrait pas être par trop marquée. Plus précisément, des questions liées à cette problématique sont :

- Est-ce que cette position n'exclut pas les étudiant·e-s dont les conceptions de l'apprentissage ne sont pas les mêmes que les miennes ? Quelqu'un pour qui le cours est un espace-temps dans lequel les étudiant·e-s prennent connaissance et apprennent à organiser des concepts et utiliser des outils (ayant ainsi une approche plutôt cognitive de l'enseignement), est-il/elle traité·e équitablement dans une approche comme la mienne ?
- Est-ce qu'avoir une approche si marquée laisse aux assistant·e-s la possibilité de développer leurs propres conceptions et expérimenter leurs idées ? Ou est-ce qu'ils/elles sont réduit·e-s à "exécuter mon plan" ?
- Même indépendamment des visions et préconceptions, les objectifs énoncés dans la Section 2.2 imposent nécessairement une "charge d'attentes" et des enjeux au cours, qui dépassent les objectifs d'apprentissage. Cette charge et ces enjeux sont-ils adaptés / légitimes / proportionnés, sachant qu'il s'agit d'un cours propédeutique de première année et de 3 heures par semaine ?
- Est-ce bien mon rôle d'enseignant en mathématiques de thématiser des éléments qui ne sont pas mon champ d'expertise ou qui ne sont pas des éléments que l'institution attend de moi ?
- Est-ce adéquat d'adopter un registre de langue courant / familier, et des références à la pop culture ou vidéo-ludiques, pour jalonner mes cours ? Est-ce qu'en faisant ainsi je n'exclus pas de facto les personnes qui "n'ont pas la référence" ou qui s'attendent à un enseignement plus "académique" ?

Un premier élément de réponse est donné par la mise en évidence de six types de conceptions de l'apprentissage chez les étudiant·e-s selon Marton & al [51] (cité·e-s et repris·e-s par Charlier [16, p. 11]). En effet, trois des six types correspondent à un apprentissage en surface ("augmentation

qualitative des connaissances", "mémoriser et reproduire", et "appliquer"), et les trois autres correspondent à un apprentissage en profondeur ("comprendre", "voir quelque chose de manière différente", et "changer comme personne"). Cependant, comme le rappelle Charlier,

*"cette relation est loin d'être toujours vérifiée. En effet, l'approche d'apprentissage est également conditionnée par le contexte dans lequel est placé-e l'apprenant-e."* [16, p.12]

Ainsi, davantage que les préconceptions qui sous-tendent le cours, c'est plutôt l'alignement entre vision de l'enseignement et mise en place du dispositif didactique qui est déterminant. Cette notion, due à Biggs [5] (cité et repris par Charlier [16, p. 6]), prend tout son sens dans cette discussion. Reprenons le modèle de Biggs, que Charlier appelle "modèle fondamental de la pédagogie universitaire" :

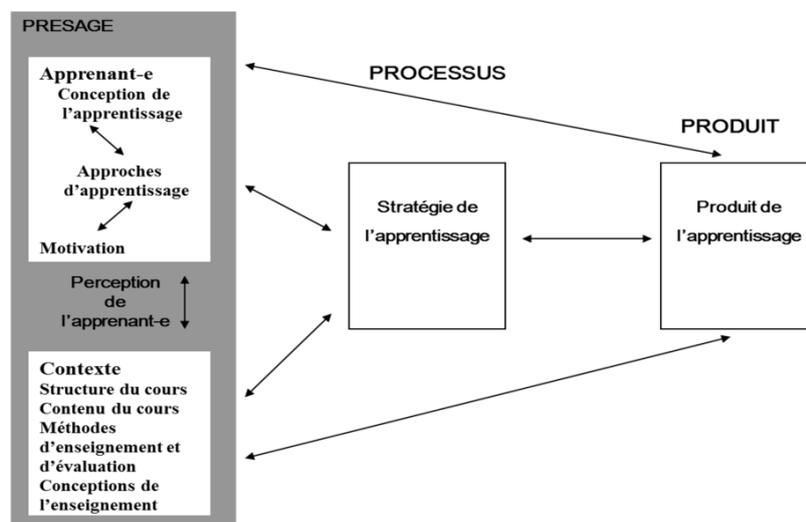


FIGURE 5.7 – "Modèle fondamental", traduit et adapté de Biggs [5, p. 19] par Charlier [16, p. 6]

En particulier, en tant qu'enseignant, je n'ai pas le contrôle sur la perception, les processus et ultimement, le produit de l'apprentissage des étudiant·e·s. Ce que je peux faire est offrir aux étudiant·e·s une vision aussi claire que possible de mes conceptions de l'enseignement et de l'organisation du cours, afin qu'ils et elles aient une perception la plus proche possible de la réalité, et adaptent leur stratégie d'apprentissage en conséquence. En effet, comme nous l'apprend Charlier [16, p. 11],

*"plusieurs recherches récentes mettent en évidence une corrélation entre l'approche d'apprentissage adoptée par les étudiant·e·s et leur représentation du dispositif de formation (Bonvin, 2012 [8] ; Ellis & Goodyear, 2010 [31] ; Deschryver & Charlier, 2012 [27])."*

L'enjeu est donc bien de favoriser chez les étudiant·e·s un alignement entre ce qu'ils et elles pensent être les objectifs du cours, les attentes, le contexte, les présupposés, etc., et "la réalité" (ou plutôt : ma réalité et celle de mon équipe). De la sorte, toute la construction est fonctionnelle et permet aux étudiant·e·s de déployer des stratégies d'apprentissage adéquates, les menant aux produits de l'apprentissage désirés.

Quant à la question de savoir si mes préconceptions et les objectifs de la Section 2.2 sont légitimes / adéquats, il me semble que justement, pour autant que le "modèle fondamental" décrit ci-dessus soit fonctionnel, les valeurs qui sous-tendent le dispositif d'apprentissage sont alignées avec les approches favorisant un apprentissage en profondeur selon Marton & al [51]. En effet, les trois types de profils qui y sont associés – "comprendre", "voir quelque chose de manière différente", et "changer comme personne" – correspondent parfaitement, il me semble, aux objectifs tels que décrits dans la Section 2.2. En particulier, il y a bien une notion de transformation de soi (et j'irai même plus loin : de la société, car nous ne sommes pas des êtres isolés) qui est présente dans ce contexte.

Cette approche de l'enseignement semble de plus être validée par les étudiant·e·s. En effet, les valeurs qui fondent le dispositif didactique sont relevées positivement par les étudiant·e·s dans les EEE, que ce soit dans les questions fermées qui y sont relatives (e.g. disponibilité, atmosphère), ou dans les questions ouvertes (e.g. l'approche de l'enseignement est décrite comme un point fort du cours).

### **5.2.2 Dispositif didactique**

Il est ressorti de la section précédente qu'à la fois intrinsèquement et du point de vue des étudiant·e·s, les intentions didactiques semblent adéquates. Il reste encore à examiner le dispositif didactique qui en découle. Pour cette démarche, les différents points soulevés dans le chapitre précédent, notamment, donneront le cap et permettront d'organiser la réflexion par thématiques. Concrètement, trois aspects me semblent centraux dans le dispositif et son équilibre : le volet "exercices" (séries, séances, etc), la complexité du dispositif en tant que tel, et les éléments liés au serveur Discord et aux TIC en général. Ce sont ces trois aspects que je me propose de discuter plus en détails ici.

#### **Séries d'exercices : charge de travail, liens avec le cours, organisation des séances**

Un premier point de friction concerne la charge de travail. En effet, cette remarque revient régulièrement dans les EEE.

Le cours annuel est doté de 6 points ECTS, ce qui correspond à environ 180 heures de travail. Les activités en présence (exercices et cours) correspondent au maximum à 63 heures (sur une base de 28 semaines annuelles – en pratique, il y a plutôt environ 24 ou 25 séances). Ainsi, la charge de travail personnel serait de 117 heures. En approximation, ça signifie que les étudiant·e·s devraient prévoir 4h15 de travail personnel par semaine en moyenne (sur 28 semaines – en pratique, le travail sur les examens, par exemple, s'effectue durant les inter-semestres aussi).

L'aspect du dispositif qui est le plus chronophage, et de loin, est lié aux séries d'exercices. Ces dernières, facultatives, peuvent être rendues par groupes de 3 au maximum. Dans la planification, le "service minimal" pour un·e étudiant·e est de prendre connaissance des séries, essayer de résoudre les exercices, et ensuite lire et comprendre les corrigés. C'est ce qui est annoncé en début d'année académique : les corrigés sont volontairement riches, et ont pour but d'être des documents de travail à part entière. Il est aussi annoncé que de vouloir faire toutes les séries d'exercices en détails et proprement est une tâche qui demande un investissement temporel conséquent. Le

système de bonus lié au nombre de séries validées a justement pour but de récompenser cet investissement : lors du premier cours, j'annonce que ce bonus a pour but de refléter dans la note finale l'investissement particulier dédié à la régularité de travail sur les séries d'exercices. Dans la conception de ce dispositif, les groupes de 3 se partagent la série, chacun-e étant "spécialiste" d'un exercice en particulier. Ces personnes peuvent alors travailler avec d'autres "spécialistes" d'autres groupes sur le même problème, en échangeant des idées (le Syllabus incite explicitement au travail à plusieurs, pour autant que chaque groupe ensuite rende un travail original et pas plagié). Finalement, après que chaque "spécialiste" du groupe a écrit son exercice, charge à lui/elle de résumer à ses collègues de groupe les points principaux de "son" exercice. Dans cette conception, la charge de travail semble plutôt raisonnable. En effet, nous rappelons régulièrement que les étudiant·e·s ne doivent en aucun cas rester "coincé·e·s" 2 heures sur un exercice sans demander de l'aide, typiquement en posant une question sur Discord ou en consultant les questions déjà posées sur le canal thématique correspondant.

Cependant, cette construction soulève des problématiques inter-connectées :

- L'hétérogénéité de la cohorte. C'est un cours de première année, qui comporte *de facto* des étudiant·e·s de backgrounds et de compétences différents (sans parler du degré de motivation ou du rapport à la discipline en tant que telle). Cette partie du dispositif a été conçue avec le présupposé que les étudiant·e·s ont acquis les compétences décrites dans le programme de maturité gymnasiale. En ce sens, on pourrait argumenter que les exercices sont adéquats, et leur nature facultative permet de ne pas trop mettre sous pression ou pénaliser les étudiant·e·s qui sont en déficit de compétences dès le départ. Cependant, cet argument ne me semble que partiellement satisfaisant. En effet, si en théorie il est parfaitement recevable (le système d'éducation est construit sur des présupposés successifs, et repose sur la confiance qu'on a dans le fait qu'un·e étudiant·e diplômé·e a développé un degré de maîtrise suffisant), la réalité est plus nuancée. Si un des objectifs du dispositif est l'inclusivité, l'individualisation autant que possible, et l'ouverture à la négociation, alors je ne peux pas balayer d'un revers de la main l'existence de cette hétérogénéité.

Daele [23] cite et reprend des ouvrages d'Aylwin [3] et Boucenna [9] sur le thème de la différenciation de l'enseignement comme moyen de prendre en compte l'hétérogénéité d'un groupe. Il fait état de quatre catégories de différenciations :

- *Différenciation des natures d'interactions entre étudiant·e·s (relations et rôles)*, atteinte notamment par des travaux en groupes (qui peuvent être composés avec différentes stratégies : niveau, intérêt/affinité, complémentarité, etc) ou des variations de rôles d'étudiant·e (e.g. mentoring). Actuellement, la composition des groupes est laissée libre et se fait donc le plus souvent par affinité personnelle ou entre personnes qui se connaissent déjà. Il y a donc probablement quelque chose à réfléchir de ce côté-là. Par contre, l'infrastructure en place, que ce soit au sein des groupes ou sur Discord semble permettre les variations de rôles d'étudiant·e·s.
- *Différenciation des processus/activités*, en proposant une diversité dans les activités d'apprentissage, en favorisant et "encadrant" le développement de méthodes de travail autonomes. Si les activités prévues semblent déjà relativement diversifiées (compte tenu du temps à disposition), une réflexion supplémentaire au sujet de l'introduction

aux méthodes de travail (e.g. fiches méthodologiques) pourrait être envisagée. Pour l'instant, cet instrument est surtout réalisé par le biais des corrigés détaillés et commentés des séries d'exercices.

- *Différenciation des contenus et des supports*, notamment en proposant des contenus différents en fonction des intérêts, backgrounds, orientations, ou difficultés rencontrées. En l'état, je veille à une diversité du contenu des exercices en proposant des thématiques alternativement issues des différentes voies d'études représentées. Mais il est vrai que j'ai parfois eu des remarques d'étudiant·e-s disant qu'ils/elles n'étaient pas intéressé·e-s par des exercices issus de la biologie (par exemple), car ils/elles étudient l'informatique (par exemple). Je dois dire que je ne sais pas encore très bien comment me positionner par rapport à ceci : d'un côté je comprends l'intérêt de proposer des contenus adaptés aux attentes et intérêts des étudiant·e-s, mais d'un autre côté j'ai l'impression qu'il est important de proposer aussi des contenus variés, afin de développer la "culture générale" scientifique des étudiant·e-s, surtout en début de cursus. En effet, aucun des exercices n'est spécialisé dans une discipline : je me sers de situations concrètes comme prétexte pour illustrer l'utilisation de tel ou tel concept mathématique.
- *Différenciation des pratiques d'évaluation (formative)*, notamment en variant les modes (auto-évaluation, co-évaluation, etc.), et les outils (fiches méthodologiques, séances Q/R, corrigés, etc.). De ce point de vue, il me semble que le dispositif est déjà relativement bien fourni ; le développement d'outils supplémentaires pourrait être envisageable, cependant.

Cette catégorisation facilite ainsi l'analyse du dispositif, et a permis de pointer quelques pistes de réflexions. Ces dernières se traduiront en propositions concrètes dans la Section 5.3. Mon impression est que, pour l'instant, le dispositif, qui a été conçu plutôt empiriquement, pourrait grandement bénéficier d'une approche plus systématique telle qu'esquissée ci-dessus.

- Le degré d'autonomie / "maturité d'apprentissage" des étudiant·e-s. Plus précisément, pour certain·e-s étudiant·e-s il est difficile de formuler des questions ou de développer une approche de l'apprentissage qui soit exempte de "barrières psychologiques", voire d'anxiété mathématique. C'est dans ce cas le serpent qui se mord la queue : si le dispositif repose sur le présupposé que les étudiant·e-s s'inscriront dans une démarche de progression en osant poser des questions, alors il n'est à nouveau pas réaliste !
- La tendance au sur-investissement. De ce point de vue, il n'est pas rare que les étudiant·e-s se sentent le devoir de faire les séries d'exercices, car elles ont été "publiées officiellement", indépendamment des conditions formelles. Si ça peut être interprété comme le résultat des fonctionnements souvent plus "cadrés" des écoles de maturité, ça participe aussi d'une envie naturelle de faire son possible pour réussir ses études. Le problème du sur-investissement est d'ailleurs observé dans les dispositifs où les étudiant·e-s ont "trop de ressources à disposition", par exemple dans le contexte des serious games [42] ou de l'apprentissage par problèmes. Une question qui me tracasse dans ce contexte, en particulier suite à la réflexion du point précédent au sujet de la diversification notamment des contenus, est de savoir si une approche diversifiée n'est pas justement un risque de multiplier les sources de

sur-investissement pour les étudiant·e·s.

- L'attrait du bonus. Cet effet pourrait être un effet pervers de la présence d'un bonus. En effet, les étudiant·e·s doutant de leurs compétences (à tort ou à raison), verront le bonus des séries comme une condition nécessaire à leur réussite à l'examen, et essaieront ainsi de l'obtenir. Ce faisant, ils et elles vont alors devoir investir d'autant plus de temps (et ressentiront une pression d'autant plus grande) que leur degré de compétences à l'entrée est faible. Ce qui produit ainsi l'effet inverse de celui escompté...
- Pour ne rien simplifier, une partie des étudiant·e·s qui ressentent davantage de difficultés émettent la demande d'avoir des exercices de "drill" supplémentaires, ce qui est paradoxal : dans un système qui est déjà chronophage, ils et elles demandent d'une certaine manière une charge de travail supplémentaire. On retrouve ici une préconception qui lierait quantité de travail fourni et résultats obtenus, comme si le remède à une compréhension imparfaite était une avalanche de contenu supplémentaire. Quelque chose comme "Si je ne comprends pas / réussis pas, alors je dois travailler plus".

On voit à la lumière de ce qui précède que la problématique de la charge de travail n'est pas intrinsèque à la construction elle-même. Elle n'est pas non plus anodine (puisque connectée à des comportements ou perceptions profonds), ni "isolable" (on ne peut pas la considérer seule). Le fait qu'une partie des étudiant·e·s passent un temps raisonnable, voire plus faible que prévu, pour résoudre les séries ne signifie pas non plus que le dispositif est clairement déséquilibré ou mal conçu. L'hétérogénéité va ainsi "dans les deux sens", et on pourrait aussi argumenter qu'une partie des objectifs des cours propédeutiques est justement de créer une certaine homogénéité, un socle commun, parmi la cohorte. De la sorte, les étudiant·e·s ayant plus de facilité dans tel ou tel cours pourront investir plus de temps dans tel ou tel autre, et réciproquement. C'est d'ailleurs l'esprit de la possibilité de compenser des notes insuffisantes au sein d'un même paquet de validation. Un·e étudiant·e ayant des difficultés dans une majorité des cours devra alors réfléchir à l'adéquation de sa filière d'étude avec ses compétences, ou a minima aura peut-être besoin de davantage de temps pour développer les compétences nécessaires.

Enfin, la méthode d'évaluation des séries d'exercices est volontairement conçue pour ne pas être pointilleuse : chaque exercice est évalué par un score de -1 (insuffisant), 0 (suffisant), 1 (très bien), et une série est réputée validée si la somme des 3 évaluations d'exercices est supérieure ou égale à 0. Ainsi, il suffit de produire un travail suffisant (sans être forcément excellent) à chaque exercice, ou de traiter un exercice de manière approfondie et un autre exercice de manière suffisante, pour obtenir la validation de la série. C'est d'ailleurs ce qui pourrait en partie expliquer que les étudiant·e·s perçoivent les exigences du cours dans la globalité comme relativement élevées, mais pas excessivement (score moyen de 5.2/7 à la question y relative dans les EEE, cf. Section 5.1.3).

Egalement sur la thématique des exercices, la problématique de leur lien avec la partie théorique du cours est régulièrement soulevée dans les EEE. Cette thématique rejoint le point soulevé dans la partie précédente, et la demande d'exercices "de drill" de la part de certain·e·s étudiant·e·s. Elle rejoint aussi la réflexion liée à l'hétérogénéité de la cohorte, et est ainsi connectée également à la question de l'efficacité du dispositif à préparer les étudiant·e·s pour les évaluations, ainsi que la capacité du dispositif à les mettre en situation d'approfondir les contenus de manière

autonome (deux autres points qui ressortaient de l'analyse des questions fermées des EEE).

Dans la conception du dispositif, ce lien devrait être fait au moyen des questions à choix multiples des exercices individuels (QCM) sur Moodle dans les séries d'exercices, qui devraient jouer un rôle d'auto-contrôle. En effet, si un·e étudiant·e rencontre des difficultés lors de ce QCM, il est attendu qu'il/elle retourne à la théorie, essaie de la comprendre, et pose le cas échéant des questions. Ce premier volet de la série d'exercices, individuel, vise ainsi à indiquer à l'étudiant·e s'il/elle est prêt·e à aborder les autres exercices de la série, du point de vue de la compréhension des concepts travaillés dans cette dernière.

On débouche alors sur une réflexion similaire à celle décrite précédemment : une partie des étudiant·e·s effectuent le QCM (ou pas, d'ailleurs) et attaquent les exercices indépendamment de leur résultat à ce dernier. On retrouve ainsi la friction provenant d'une vision "en check-list" de l'apprentissage des mathématiques : une liste de règles, suivie d'une série d'exercices qui appliquent les règles. En fait, j'ai l'impression que le coeur du problème dans ce cas est que les programmes de maturité gymnasiale en mathématiques (surtout les mathématiques dites "standard") visent des degrés taxonomiques plutôt bas. Ainsi, cette pratique a pu fonctionner pour une partie des étudiant·e·s, suscitant des commentaires tels que "J'ai réussi mon collège sans problème en maths, et maintenant je suis perdu·e". Cet argument a cependant ses limites, puisqu'une partie des objectifs d'apprentissage du cours sont situés sur les premiers échelons de la taxonomie.

Il n'en reste pas moins que pour une partie des étudiant·e·s, l'approche adoptée dans le dispositif est une sorte de mini-révolution quasi copernicienne. En effet, la focalisation du cours (telle qu'énoncée notamment dans les Sections 2.2.1 et 2.2.2) se concentre sur le processus de compréhension, sur des approches par essais et erreurs, sur une démarche d'identification, puis de formulation de ses propres incompréhensions, et sur l'établissement de liens entre problèmes concrets / quotidiens et mise en oeuvre d'outils mathématiques.

Ainsi, survient à nouveau la question de la prise en compte des profils et de la "réalité du terrain" (qui est de toutes façons hétérogène), de même que la question du statut des exercices comme instrument au service de la progression, comme lieu d'expériences et d'erreurs, et pas comme liste de "devoirs" à effectuer obligatoirement.

Pour terminer sur la thématique des exercices, l'organisation des séances d'exercices est un dernier point de friction mis en lumière par les EEE, surtout après la régularisation du serveur Discord. En effet, leur organisation suit souvent un schéma très classique : "feedback sur la série précédente – indications/commentaires sur la série en cours – questions". Peut-être que le déroulement de ces séances est en dissonance avec les valeurs et objectifs du dispositif en général ? En effet, on pourrait facilement tomber dans une routine qui laisserait à penser que les séries se traitent séquentiellement, et que l'enjeu est de venir collecter des indications pour débloquer tel ou tel exercice. De ce point de vue, les commentaires d'étudiant·e·s reprochant aux séances de ne pas être très utiles pourraient s'expliquer par le fait qu'effectivement, l'approche n'est pas alignée avec les intentions des séries d'exercices et leur fonction dans le dispositif. De plus, un autre aspect qui est relevé est que durant ces séances, seulement un·e assistant·e ou tutrice/tuteur est actif/active (à tour de rôle), alors que les autres écoutent. Il semble ainsi y

avoir un vrai problème dans la conception de ces séances, et un potentiel d'amélioration et de ré-alignement avec le dispositif. J'y reviendrai dans la section suivante.

### **Un dispositif trop complexe et disproportionné ?**

Si tous les aspects du dispositif reposent sur des intentions claires et réfléchies, force est de constater que ce dernier est complexe. Par exemple, le calcul de la note finale repose sur différents mécanismes indépendants. On est ici face à l'éternel problème de la modélisation : un système simple sera facile à déployer mais aura le désavantage d'être trop réducteur, alors qu'un système complexe permettra d'agir à différents niveaux mais sera plus difficile à s'approprier ou à "manier". Cette problématique est connectée à celle du sur-investissement des étudiant·e-s déjà mentionnée ci-dessus, et de la diversification de l'enseignement, mais elle peut aussi impliquer une sur-sollicitation des assistant·e-s, tutrices et tuteurs, et de moi-même. En effet, les intentions et objectifs sont multiples, de même que les instruments (ne serait-ce que le serveur Discord).

Comme décrit dans la Section 4.2, ma réponse intuitive à cette problématique a été de modifier progressivement le dispositif en voulant le rendre plus flexible (moins de contraintes pour les étudiant·e-s) et plus maniable par l'équipe enseignante (moins de choses à vérifier/corriger/contrôler). Cependant, le coeur du dispositif reste le même, et comme déjà mentionné, rien que les séries d'exercices peuvent conduire à des frictions, qu'elles soit liées à la masse de travail, à la charge temporelle, ou encore à l'investissement ou à l'approche de l'apprentissage. Les contrôles continus ajoutent encore un degré de complexité, de même qu'un enjeu pour les étudiant·e-s, puisqu'ils contribuent pour une partie de la note du cours. Enfin, le fait que les contrôles continus soient "trop riches" à dessein peut aussi produire l'effet inverse chez certain·e-s, comme on l'a vu dans la Section 5.1.3.

Une remarque qui est parfois formulée (surtout de la part de "bon-ne-s" étudiant·e-s), est le bien-fondé d'un bonus de progression aux tests. En effet, selon cet argument, un tel bonus serait relativement aléatoire pour des personnes dont le "niveau" reste relativement stable, ou pour des personnes qui obtiennent des scores élevés. En particulier, si une personne obtient un score parfait à un test, alors nécessairement elle ne pourra pas battre ce score au test suivant et se disqualifie d'office pour le bonus de progression. Je trouve cet argument valide jusqu'à un certain point : il est clair que quelqu'un qui obtiendrait disons 8.1/20 à un test et 8/20 au suivant a toutes les raisons d'avoir l'impression que la situation est aléatoire, ou pour le moins arbitraire, surtout en sachant que toute correction de problèmes ouverts est par nature sujette à des fluctuations dans l'attribution d'un score. Cependant, d'une certaine manière, tout système d'évaluation est arbitraire par nature (rien que la construction d'une grille d'évaluation et l'attribution des points, ou le choix de considérer telle prestation comme "suffisante" plutôt que "bonne", etc), et les principes posés sont surtout là pour guider l'action globale à l'échelle d'une cohorte entière et d'une année académique. Je pense que dans un cas comme celui que j'ai pris en exemple, l'étudiant·e peut sans problème demander une relecture de la correction ; très souvent, dans ce genre de cas, nous essayons de trouver le "demi-point manquant" si la prestation le justifie. Quant à la remarque concernant la non-amélioration d'un score parfait, ma justification en est que le mécanisme de bonus de progression n'est pas destiné à récompenser la performance, justement, mais bien la pro-

gression ; mais cela soulève effectivement des questions liées à l'introduction d'une partie "growth" dans le dispositif (et on retombe dans le débat "proficiency vs growth" évoqué dans la Section 4.1).

Une objection que j'ai parfois entendue, mais cette fois de la part de collègues, est que ce dispositif fait de la "concurrence déloyale" (ce sont les mots utilisés !) aux autres cours. En effet, selon ces personnes, l'existence de bonus dans ce dispositif implique de facto un investissement supérieur dans ce cours de la part des étudiant·e·s, "siphonnant" par conséquent une partie de l'investissement qu'ils/elles auraient pu déployer dans d'autres cours. Si on fait abstraction du vocabulaire utilisé ou des comparaisons entendues (par exemple : "C'est comme faire un rabais pour qu'ils viennent chez toi plutôt que chez moi"), il y a quand même une partie valide dans cet argument : est-ce que le dispositif est proportionné à un cours propédeutique de 1ère année, de 3 périodes par semaine ?

Du point de vue purement comptable, la charge de travail prévue est adéquate avec le nombre de points ECTS, et donc je peux argumenter que le cours est adéquatement proportionné. Mais comme on l'a vu plus haut, cette approche se heurte à la réalité de certain·e·s étudiant·e·s, qui effectivement vont voir dans les bonus une nécessité pour leur réussite, déséquilibrant ainsi leur investissement.

Un contre-argument plus efficace à mon avis est le suivant : si tous les dispositifs étaient construits de manière à favoriser un apprentissage actif et en profondeur, alors ce déséquilibre n'existerait pas, a priori. En effet, si un cours est construit de manière "traditionnelle" (malheureusement), c'est-à-dire un cours magistral assorti d'exercices encadrés, et sanctionné en fin d'année par un examen final, alors le risque est d'autant plus grand qu'il conduise à un apprentissage en surface. Ainsi, il semble paradoxal de "reprocher" à un dispositif qu'il conduise à une approche active et en profondeur de l'apprentissage.

### **TIC : familiarité avec les outils numériques, anonymat, "overflow"**

C'est peut-être l'aspect du dispositif qui a le plus évolué au fil des itérations, "forcé et contraint" par l'épisode COVID-19. Ainsi, d'un enseignement présentiel, nous sommes passés en l'espace de quelques jours à un enseignement totalement distanciel lors des confinements, puis à un dispositif ayant quelques caractéristiques de l'hybride, notamment lors de la phase de transition avec quarantaines et certificat vaccinal. Le maintien de la présence sociale à distance (pour reprendre le terme de Jézégou [43]) a été assuré par la création *ad hoc* d'un serveur Discord. Cet instrument a ensuite été intégré comme partie intégrante du dispositif, comme décrit dans la Section 4.2, permettant de faciliter les échanges sur les contenus, et de munir ce dernier d'un volet "social" à part entière, en phase avec les objectifs énoncés dans la Section 2.2.4.

Au-delà des questions de flexibilité d'adaptation de la part des étudiant·e·s (qui ont dû s'approprier de nouveaux modes d'enseignement "à la volée"), se pose la question de l'accessibilité des outils digitaux. Le cas de Discord est frappant : une partie des étudiant·e·s connaissaient déjà cet outil, alors que d'autres n'avaient pour ainsi dire jamais posté de message même sur un forum en ligne. A nouveau, l'hétérogénéité de la cohorte se rappelle à notre bon souvenir, cette fois-ci sous la forme de disparités quant à la maîtrise de la technologie, mais aussi aux affinités avec les

outils numériques.

Cette situation est complexifiée par la diversité des outils numériques utilisés : Moodle et Discord pour la communication (chacun ayant des utilités définies et disjointes), mais aussi des outils de calcul et représentation graphique, tels que Wolfram Alpha, Mathematica et Python. Concernant ces derniers, des mini-tutoriels sont proposés, que ce soit directement sur les séries d'exercices (typiquement, en donnant explicitement les lignes de code à exécuter) ou sous forme de documents *ad hoc* (par exemple un tutoriel Python mis à disposition). En effet, l'enjeu n'est pas de leur apprendre à programmer, mais d'utiliser ces outils lorsque leur apport est déterminant pour "voir les maths en action", ce qui est impossible à la main. De plus, les exercices se faisant en groupes, les étudiant·e-s peuvent soit se répartir le travail en fonction de leurs affinités personnelles, soit travailler ensemble et s'entraider.

A l'inverse, le serveur Discord est "individuel", et bien qu'une petite introduction soit donnée lors de la première séance d'exercices, son degré d'utilisation dépendra fortement des individus, ce qui potentiellement peut créer des obstructions à l'accessibilité pour les étudiant·e-s les moins familiers/familières de ce genre d'outils. Il y a probablement un potentiel d'amélioration de l'alignement entre importance donnée au serveur Discord dans le dispositif didactique, et moyens d'accès proposés aux étudiant·e-s.

Le recours à une plateforme externe pose aussi la question de la sécurité des données et de l'anonymat. L'utilisation des données personnelles par la plateforme Discord est en effet différente de celle qui en est faite par une plateforme de type Moodle.

Lors de l'initiation à Discord proposée en début d'année, l'équipe soulève ce point et insiste sur le fait qu'à la différence de Moodle, le serveur Discord est un logiciel "externe". C'est pourquoi notamment aucune communication officielle, aucun document du cours (séries d'exercices, examens, corrigés, etc) ne sont communiqués sur Discord, et que son utilisation est surtout destinée aux questions/réponses et aux aspects sociaux. De plus, le serveur dispose d'un lien d'invitation communiqué en début d'année aux étudiant·e-s, ce qui permet d'éviter que des personnes tierces accèdent au serveur librement. Comme tout outil numérique, le serveur Discord peut être sujet à des ruptures de sécurité : à une occasion, un étudiant s'est fait pirater son compte Discord, résultant dans une avalanche de publicités écrites depuis son compte sur le serveur. Cet épisode m'a permis de repenser la politique de droits d'accès (j'étais hors ligne lorsque c'est arrivé), en incluant des membres de l'équipe enseignante dans la liste des personnes pouvant gérer les accès d'utilisateurs et utilisatrices au serveur. La question est d'autant plus délicate que le serveur est possiblement anonyme : à la différence de Moodle où les personnes se connectent avec leurs identifiants officiels, le serveur Discord permet de créer un compte depuis n'importe quelle adresse e-mail, et les utilisateurs et utilisatrices peuvent choisir d'écrire sous un pseudonyme. Comme expliqué dans la Section 3.2.2, ce fait est volontaire et est destiné à rendre la plateforme plus accessible et plus informelle. Même s'il n'y a jamais eu d'incident lié à cet anonymat, c'est tout de même un aspect qui ne peut pas être négligé. Ceci dit, le serveur étant "en vase clos" et les étudiant·e-s finissant bien souvent par connaître qui se cache derrière tel ou tel pseudonyme, ces considérations me semblent conduire à une situation à risques plutôt faibles.

La démultiplication des outils numériques reste cependant un enjeu important, qui peut potentiellement décourager l'investissement de tel ou tel étudiant·e, et doit être prise en compte. En effet, un risque est de se diriger vers un système dans lequel une partie des étudiant·e-s se sentent exclu·e-s et réduisent ainsi leur investissement. On rejoint dans ce cas la thématique de la complexité du dispositif didactique en soi, évoquée dans la section précédente, avec en particulier ici la question de l'accessibilité des outils numériques.

### 5.3 Développements futurs

L'analyse du dispositif déployée dans les Sections 5.1 et 5.2 a permis d'identifier des points de friction et de les examiner plus en détails. Cette section s'attache à formuler des pistes d'évolution. Concernant les aspects spécifiques d'une grande cohorte, et respectivement d'un groupe fortement hétérogène, en plus des ressources déjà citées, la revue de littérature de Mulryan-Kyne [52] ainsi que le résumé de Fenley et Daele [33], respectivement, peuvent être intéressants dans ce contexte. Ainsi, dans mon "débat interne" entre différenciation de l'enseignement et prévention du sur-investissement des étudiant·e-s, je penche plutôt pour la première option.

Voici donc une liste de développements envisageables. Cette liste n'est pas destinée à être implémentée *in extenso*, mais doit plutôt être vue comme un recueil d'idées qui pourraient être explorées.

- Concernant l'organisation des séances de cours :
  - Créer des supports "visuels" (expériences, maquettes, etc. – dans l'esprit de l'émission "C'est pas sorcier") aux cours magistraux, qui permettraient aux étudiant·e-s d'ancrer les concepts dans leur quotidien.
  - Choisir et utiliser un exemple qui sera si possible transversal à tout le cours, tout au long de l'année. Par exemple : développer la culture d'un *physarum polycephalum* ("blob"), l'entretenir tout au long de l'année (comme une mascotte), et jalonner les séries d'exercices et le cours d'exemples en lien avec cet organisme.
  - Introduire un "one-minute paper" à la fin de chaque cours, permettant aux étudiant·e-s de faire le point sur ce qui a été vu.
  - Compléter le "one-minute paper" avec un "take-home message" sous forme de résumé succinct (1 page maximum) de la séance du jour, avec objectifs, notions-clés, énoncés importants, exemples typiques, et éventuellement des exercices de drill. Ceci pourrait être fait en allemand (vu que le cours est écrit en français).
  - Créer et maintenir une mind-map générale du cours, qui sera complétée après chaque séance de cours et mise à disposition des étudiant·e-s en temps réel.
  - Pour le dernier cours du 2ème semestre, inviter un·e intervenant·e externe, non-mathématicien·ne·e de formation, pour un exposé et des interactions avec les étudiant·e-s, autour du thème de l'utilisation des mathématiques (si possible, des outils vus dans le cours) dans leur quotidien de scientifique.
- Concernant les séries d'exercices :

- Attendre quelques temps avant la création des groupes d'exercices (actuellement libres), et proposer dans l'intervalle des activités qui permettraient aux étudiant·e-s de mieux se connaître et aussi d'évaluer leurs forces et faiblesses. Sans pour autant piloter la composition des groupes, ceci pourrait permettre aux étudiant·e-s de construire des groupes sur la base d'autres critères que la "simple" connaissance ou que le hasard.
- Diminuer le nombre de séries au profit d'activités de plus longue haleine, peut-être des mini-projets thématiques (avec plusieurs thèmes à disposition), aussi à rendre en groupes, qui se déploieraient sur une période de temps plus grande, et pourraient aussi donner lieu à de l'évaluation entre pair·e-s (que ce soit intra-groupes ou inter-groupes).
- Programmer des feedbacks plus précis pour les Exercices 1 (QCM) sur Moodle : si l'étudiant·e a choisi un distracteur erroné, faire en sorte qu'il/elle reçoive un message indiquant une raison probable de l'erreur et comment corriger le processus de pensée.
- Organiser les séances d'exercices dans plusieurs salles simultanément, avec des thématiques différentes et annoncées à l'avance : Q/R à propos du contenu de la série précédente, récapitulation de la théorie, "bébé-exemples" en lien avec la série courante, etc. Tenir une liste de pré-inscriptions afin de gérer la taille de la salle (et éventuellement annuler ou dédoubler l'une ou l'autre option).
- A propos des outils numériques :
  - N'utiliser qu'un langage de programmation / interface pour tout le volet "exercices".
  - Proposer des tutoriels écrits et détaillés pour : Moodle, Discord, et le langage de programmation choisi pour les exercices.
  - Lors du tout premier cours, faire la transition avec le serveur Discord de l'année précédente : clore et supprimer en direct ce serveur-là (après en avoir donné un survol aux nouveaux/nouvelles étudiant·e-s), et ouvrir le nouveau serveur Discord en direct. Laisser du temps aux étudiant·e-s pour s'y inscrire.
  - Munir le serveur Discord d'une liste de règles explicites. Faire approuver cette liste par toute nouvelle personne intégrant le serveur.
- Assouplir le calcul de la note de la manière suivante : à la fin de l'année, la note est calculée soit uniquement sur la base du score de l'examen final, soit en tenant compte des 3 meilleurs tests (comme actuellement). L'option qui résulte dans la meilleure note est retenue.

## 5.4 Apports de la formation didactique

Cette section est l'occasion de revenir sur l'apport particulier de la formation didactique pour ce dispositif didactique, et pour ma pratique de l'enseignement en général.

Je crois que ce qui m'a le plus marqué durant cette formation est la richesse et la diversité de la littérature. En effet, si en mathématiques la notion de démontrabilité est centrale et quelque part "tue le débat" (puisque'il n'y a pas d'école de pensées ou de théories concurrentes en mathématiques), je crois que je portais naïvement du principe que les sciences de l'éducation, tout comme la philosophie ou la psychologie, s'appuyaient avant tout sur des approches fondées

sur des visions, et que des opinions divergentes pouvaient ainsi cohabiter au sein de la discipline (sans que ce soit problématique en soi, d'ailleurs). De ce que j'en ai entrevu, j'ai l'impression que c'est en partie vrai. En effet, de la même manière que les courants philosophiques se répondent, se critiquent et s'enrichissent tout en ayant le même objet d'étude, les approches et les contributions en didactique me semblent ainsi toutes éclairer le même objet selon des angles différents, mettant au final en lumière la subtilité de l'apprentissage humain.

Cependant, réduire la didactique à un recueil de théories déconnectées, ou à des effets de mode, voire parfois même à une compromission des "vraies valeurs qui se perdent", serait non seulement erroné, mais à mon avis hautement dangereux. Ainsi, cette formation a été ancrée dans le concret, m'a permis de formuler des questions qui sont survenues "sur le terrain", et a proposé un support articulé et systématique à mes interrogations. Le fait d'avoir à disposition des concepts et des descriptions d'auteur-e-s m'a permis de verbaliser telle ou telle question, de formaliser telle ou telle réflexion, et ce faisant, d'organiser, conscientiser, et ultimement systématiser mon approche. Sans ce cadre et ces ressources, je n'aurais jamais su "par où commencer" ma réflexion, et ainsi ma pratique aurait certainement été moins cohérente, car moins organisée.

A la différence d'autres formations qui ne demandent "que" de s'asseoir et prendre connaissance de concepts, les différents travaux de validation des modules de formation m'ont forcé à "mettre les mains dans le cambouis", tout bénéficiant de l'expérience et de l'encadrement de professionnel-le-s.

Ainsi, découvrir des approches de l'apprentissage m'a permis de me demander comment je me situerais dans ces approches, de verbaliser et décrire systématiquement mes préconceptions, et ensuite d'analyser ces dernières à la lumière des concepts établis. Ce faisant, j'ai pu affiner et articuler ma pensée, et j'ai pu aussi identifier des zones grises dont je n'avais même pas conscience, qui ont à leur tour nourri ma réflexion et m'ont forcé à l'approfondir. Ecrire un scénario pédagogique, passer au crible les évaluations des apprentissages à la recherche de biais, ou encore chercher des moyens de créer un environnement de travail capacitant pour mon équipe et moi-même sont des exemples d'actions, réelles et concrètes, que j'ai appris à entreprendre durant cette formation.

Pouvoir travailler sur ma pratique au travers des communautés de pratique et de l'intervention/autoscopie m'a permis de bénéficier de regards extérieurs et de la richesse d'un brainstorming. J'en retiendrai une forme d'universalité de la didactique, qui dépasse les disciplines particulières.

Ce travail de validation a été l'occasion pour moi de rassembler en un seul document cohérent (j'espère !) les différentes problématiques abordées, partant des prémisses de réflexion sur ce que devrait être un cours dans le contexte donné, puis la conception d'un dispositif imparfait, son évolution à travers les leçons de l'expérimentation et les aléas "extérieurs", ses dispositifs de diagnostic, pour déboucher sur des réflexions synthétiques menant à l'identification d'instruments de régulation du dispositif.

Je termine ce long processus en me sentant plus à même de justifier et défendre mes choix et mes approches, me donnant ainsi davantage confiance en moi, en ma pratique, et en ma capacité à analyser et faire évoluer mon enseignement. J'ai pu me cultiver, découvrir des points de vue, prendre position, ainsi que développer et affirmer mes valeurs et mes intentions didactiques.

# Conclusion

*The road goes ever on and on.*

---

J.R.R. TOLKIEN, THE HOBBIT

Une maison est un concept simple : quatre murs et un toit. Mais pour construire une maison fonctionnelle, sécurisante, solide, qui pourra ainsi accueillir toutes les activités sociales et humaines, il y a une multitude de paramètres à prendre en compte. De l'isolation à l'efficacité énergétique, de la solidité des fondations à l'organisation des pièces, du choix des matériaux à la décoration intérieure, c'est un organisme complexe, multiple, et les différentes parties qui la composent sont à la fois indépendantes et intimement liées. Pourtant, au quotidien, il est rare que l'on pense à tous ces aspects lorsqu'on s'y épanouit.

De la même manière, un dispositif didactique efficace devrait à mon avis être imperceptible. L'apprentissage devrait avoir lieu sans même que l'étudiant·e remarque la réflexion et l'énergie qui y ont été investies, tout en étant conscient·e que ce dispositif est à son service. Pour ce faire, un telle construction devrait reposer sur des fondations bien posées, être portée par des murs bien conçus, et être abritée par des mécanismes de régulation sains et étanches. Alors, toutes les parties du dispositif étant ainsi bien alignées, l'étudiant·e peut investir les lieux, repeindre tel mur s'il/elle le veut, poser un tableau ici, un hamac là, et en définitive s'approprier littéralement la maison, et s'y développer, évoluer, et devenir meilleur·e. *Git Gud*.

Car, définitivement, *Git Gud* n'est pas une injonction vide ou élitiste !

Pour les étudiant·e-s, loin d'être un suranné "La vie est dure", "Travaille plus dur", et autres boomereries (pardon pour le néologisme), c'est un message d'espoir et de motivation : "D'autres sont passé·e-s par là, d'autres ont douté, lutté, et y sont arrivé·e-s, et vous y arriverez aussi", "Ce dispositif a été conçu pour vous soutenir dans la réalisation de vos objectifs", et surtout "Vous n'êtes pas seul·e-s" !

Pour mes équipes et moi-même en tant qu'enseignant·e-s, c'est aussi un rappel et une motivation : rien n'est jamais acquis, on peut toujours faire mieux, il y a toujours un·e étudiant·e à aller chercher, une meilleure manière de présenter un concept, un aspect du dispositif à ajuster à la réalité unique de la cohorte actuelle.

Et face à cet éternel recommencement que sont l'apprentissage et l'enseignement, étudiant·e-s et enseignant·e-s peuvent se tourner vers Camus et imaginer un *Git Gud* heureux.

# Bibliographie

- [1] Joanne Anania, The Effects of Quality of Instruction on the Cognitive and Affective Learning of Students, Doctoral Dissertation, The University of Chicago, 1981.
- [2] Joanne Anania, The influence of instructional conditions on student learning and achievement, *Evaluation in Education* **7**(1), pp. 1-92, 1983. doi: 10.1016/0191-765X(83)90002-2.
- [3] Ulric Aylwin, La différence qui fait la différence... ou l'art de réussir dans l'enseignement, AQPC – Association Québécoise de Pédagogie Collégiale, Québec, 1996.
- [4] Lindsay Baker, Sarah Wright, Maria Mylopoulos, Kulamakan Kulasegaram, Kulamakan and Stella Ng, Aligning and Applying the Paradigms and Practices of Education, *Academic Medicine* **94**(7), p. 1060, 2019. doi: 10.1097/ACM.0000000000002693.
- [5] John B. Biggs, Student Approaches to Learning and Studying, Research Monograph, Australian Council for Educational Research, 1987.
- [6] BitPaper – Collaborative Whiteboard. <https://bitpaper.io/> (consulté le 11/08/2022).
- [7] Benjamin S. Bloom, The 2 Sigma Problem : The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring, *Educational Researcher* **13**(6), 1984. doi: 10.2307/1175554.
- [8] Guillaume Bonvin, Dispositif hybride et approche d'apprentissage – Analyse de la relation entre un cours à dispositif hybride et l'approche d'apprentissage dans l'enseignement supérieur, *Education & Formation* e-301, 2013.
- [9] Séphora Boucenna, 101 fiches pour différencier, Presses Universitaires de Namur, 2011.
- [10] Caroline Broad, Imposter Syndrom – What it is and how to manage its impact, University of Edinburgh. [www.docs.hss.ed.ac.uk/iad/Researchers/Research\\_staff/Imposter\\_Syndrome.pdf](http://www.docs.hss.ed.ac.uk/iad/Researchers/Research_staff/Imposter_Syndrome.pdf) (consulté le 11/08/2022).
- [11] Arthur J. Burke, Students' Potential for Learning Contrasted under Tutorial and Group Approaches to Instruction, Doctoral Dissertation, The University of Chicago, 1983.
- [12] C-SPAN, Education Secretary Confirmation Hearing, 2017. <https://www.c-span.org/video/?421224-1> (consulté le 11/08/2022).
- [13] Centre de Pédagogie Universitaire de l'Université de Montréal, Vrai ou faux sur la validité de l'évaluation de l'enseignement, <https://cpu.umontreal.ca/appreciation-de-lenseignement/faq-levaluation-statutaire/vrai-ou-faux-sur-la-validite-de-levaluation-de-lenseignement/#c69912> (consulté le 11/08/2022).

- [14] Centre de Soutien à l'Enseignement (CSE) de l'Université de Lausanne, Des mythes et légendes circulant sur l'évaluation des enseignements par les étudiant-e-s, 2009. [https://enseigner.unil.ch/ressources/wp-content/uploads/Mythes\\_Evaluation.pdf](https://enseigner.unil.ch/ressources/wp-content/uploads/Mythes_Evaluation.pdf) (consulté le 11/08/2022).
- [15] Centre de Soutien à l'Enseignement (CSE) de l'Université de Lausanne, Guide d'interprétation des résultats de l'évaluation d'un enseignement (Version 2), 2012.
- [16] Bernadette Charlier, Module A – Enseignement et apprentissage, Notes de cours 2020-2021, Université de Fribourg.
- [17] Bernadette Charlier, Module B – Evaluation des apprentissages, Notes de cours 2019-2020, Université de Fribourg.
- [18] Bernadette Charlier, Module C – Apprendre dans son institution, Notes de cours 2020-2021, Université de Fribourg.
- [19] Bernadette Charlier, Colette Niclasse et Marie Lambert, Conditions de réussite de la supervision doctorale – Pistes concrètes pour les doctorant-e-s et les personnes qui les paencadrent (2nde édition), Centre de Didactique Universitaire de l'Université de Fribourg, 2020.
- [20] Matthew Chingos, Why the proficiency-versus-growth debate matters for assessing school performance, The Urban Institute, 2017. <https://www.urban.org/urban-wire/why-proficiency-versus-growth-debate-matters-assessing-school-performance> (consulté le 11/08/2022).
- [21] Kathryn Patricia Cross, Adults as Learners, Jossey-Bass, Londres, 1981.
- [22] Amaury Daele et Emmanuel Sylvestre, Enseigner à un grand groupe, *Les mémos du CSE*, Université de Lausanne, 2011.
- [23] Amaury Daele, Différencier pour enseigner à tou-te-s les étudiant-e-s, 2016. <https://pedagogieuniversitaire.wordpress.com/2016/08/09/differencier-pour-enseigner-a-tou-te-s-les-etudiant-e-s/> (consulté le 11/08/2022).
- [24] Richard J. Daker, Sylvia U. Gattas, H. Moriah Sokolowski, Adam E. Green and Ian M. Lyons, First-year students' math anxiety predicts STEM avoidance and underperformance throughout university, independently of math ability, *npj Science of Learning* **6**, 2021. doi: 10.1038/s41539-021-00095-7.
- [25] Michaël De Clercq (dir.), Oser la pédagogie active – Quatre clés pour accompagner les étudiant-e-s dans leur activation pédagogique, *Les cahiers pédagogiques du III – Louvain Learning Lab* **13**, Presses Universitaires de Louvain, 2020.
- [26] Jean-Marie De Ketele, Maurice Chastrette, Danièle Cros, Pierre Mettelin et Jacques Thomas, Guide du formateur, De Boeck, Bruxelles, 1989.
- [27] Nathalie Deschryver et Bernadette Charlier, Dispositifs hybrides, nouvelle perspective pour une pédagogie renouvelée de l'enseignement supérieur – Rapport final, HY-SUP, 2012. [https://tecfa.unige.ch/tecfa/research/hysup/rapport\\_final\\_hysup\\_12.pdf](https://tecfa.unige.ch/tecfa/research/hysup/rapport_final_hysup_12.pdf) (consulté le 11/08/2022).

- [28] DevPro – Centre HES-SO de Développement Professionnel, <https://devpro.hes-so.ch/fr> (consulté le 11/08/2022).
- [29] Pietro Di Gregorio and Francesca Martino, The Mathematical Crisis in Secondary–Tertiary Transition, *International Journal of Science and Mathematics Education* **17**(4), pp. 825-843, 2019. doi: 10.1007/s10763-018-9894-y.
- [30] Michaël Dougoud, Développer les compétences des étudiants au travers de la popularisation des mathématiques, Travail de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme en Enseignement Supérieur et Technologie de l'Education, Université de Fribourg, 2017.
- [31] Robert Ellis and Peter Goodyear, Students' Experiences of e-Learning in Higher Education – The Ecology of Sustainable Innovation, Routledge, London, 2010.
- [32] Noel Entwistle, Concepts and Conceptual Frameworks Underpinning the ETL Project, ETL – Enhancing Teaching-Learning Environments in Undergraduate Courses, Occasional Report 3, Universities of Edinburgh, Coventry and Durham, 2003. <https://www.etl.tla.ed.ac.uk/docs/ETLreport3.pdf> (consulté le 11/08/2022).
- [33] Marika Fenley and Amaury Daele, Increase inclusion in higher education : Tips and tools for teachers, Centre de Soutien à l'Enseignement supérieur, Université de Lausanne, 2014. [https://www.unil.ch/cse/files/live/sites/cse/files/shared/brochures/Diversity\\_Toolbox\\_June2014.pdf](https://www.unil.ch/cse/files/live/sites/cse/files/shared/brochures/Diversity_Toolbox_June2014.pdf) (consulté le 11/08/2022).
- [34] Fabienne Finat, La gestion constructive des conflits, Slides du Module C4, Université de Fribourg, 2022.
- [35] Jean-Luc Gilles, Deux techniques pour améliorer la qualité des QCM : les DC et les SGI, Notes de cours du Module B5, Université de Fribourg, 2021.
- [36] Jean-Luc Gilles, Typologies en évaluations des apprentissages, Notes de cours du Module B5, Université de Fribourg, 2021.
- [37] Jean-Luc Gilles et Oliver Prospero, Degrés de certitude, <https://sites.google.com/site/dchepl> (consulté le 11/08/2022).
- [38] Barbara Gross Davis, Components of a Course Syllabus, Berkeley Center for Teaching & Learning, 2004. [https://teaching.berkeley.edu/sites/default/files/syllabus\\_components.pdf](https://teaching.berkeley.edu/sites/default/files/syllabus_components.pdf) (consulté le 11/08/2022).
- [39] Barbara Gross Davis, Tools for Teaching (2nd edition), Jossey-Bass, San Francisco, 2009.
- [40] Harvard Graduate School of Arts and Sciences, Imposter Syndrome, 2018. [gsas.harvard.edu/news/stories/imposter-syndrome](https://gsas.harvard.edu/news/stories/imposter-syndrome) (consulté le 11/08/2022).
- [41] Ray Hembree, The Nature, Effects, and Relief of Mathematics Anxiety, *Journal for Research in Mathematics Education* **21**(1), pp. 33-46, 1991. doi: 10.2307/749455.
- [42] Dominique Jaccard, Serious games et simulations pour la formation supérieure, Slides du cours, avril 2019, Centre DevPro de la HES-SO.
- [43] Annie Jézégou, La présence sociale en e-learning : de quoi parle-t-on ?, slides de la Conférence d'ouverture du colloque : "Le e-learning social : entre présence et distance", Bruxelles, 25 février 2019. Disponible sur l'archive HAL-SHS : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01992302> (consulté le 11/08/2022).

- [44] Annie Jézégou, La distance, la proximité et la présence en e-Formation, in : A. Jézégou (dir.), *Traité de la e-Formation des adultes*, De Boeck Supérieur, Bruxelles, 2019.
- [45] Manu Kapur – ETHZ Professorship for Learning Sciences and Higher Education, Productive Failure, [lse.ethz.ch/research/productive-failure.html](http://lse.ethz.ch/research/productive-failure.html) (consulté le 11/08/2022).
- [46] Kawping, Meme Generator, <https://www.kapwing.com/meme-maker> (consulté le 11/08/2022).
- [47] Marie Lambert, Etre assistant et se développer professionnellement ? Recherche descriptive et compréhensive sur le développement professionnel des assistants à l'Université de Fribourg, Thèse de doctorat présentée devant la Faculté des Lettres de l'Université de Fribourg, Suisse. <http://doc.rero.ch/record/232541> (consulté le 11/08/2022).
- [48] Michael Luggen, Creating interactive learning content to support your courses, Notes du Module A5, Université de Fribourg, 2021.
- [49] Ian M. Lyons and Sian L. Beilock, When math hurts : math anxiety predicts pain network activation in anticipation of doing math, *PLoS One* **7**(10), 2012. doi: 10.1371/journal.pone.0048076.
- [50] Xin Ma, A Meta-Analysis of the Relationship between Anxiety toward Mathematics and Achievement in Mathematics, *Journal for Research in Mathematics Education* **30**(5), pp. 520-540, 1999. doi: 10.2307/749772.
- [51] Ference Marton, Gloria Dall'Alba and Elizabeth Beaty, Conceptions of learning, *International Journal of Educational Research* **19**(3), pp. 277-300, 1993.
- [52] Catherine Mulryan-Kyne, Teaching large classes at college and university level : challenges and opportunities, *Teaching in Higher Education* **15**(2), pp. 175-185, 2010. doi: 10.1080/13562511003620001.
- [53] Colette Niclasse, La thèse de doctorat comme parcours de (trans)formation : analyses longitudinales au prisme des émotions, Thèse de doctorat présentée devant la Faculté des Lettres de l'Université de Fribourg, Suisse, 2019.
- [54] OpenBoard – Tableau blanc interactif pour écoles et universités. <http://www.openboard.ch/> (consulté le 11/08/2022).
- [55] Jean Piaget et Alina Szeminska, La genèse du nombre chez l'enfant, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1941.
- [56] Oliver Proserpi, Développement d'un indice de difficulté subjective pour la calibration de tests standardisés, Travail de Master en Sciences et Pratiques de l'Education, Haute Ecole Pédagogique Vaud – Université de Lausanne, 2012.
- [57] Jessica Riviere, Danielle Picard & Richard Coble, Syllabus Design, Vanderbilt University Center for Teaching, 2014. <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/syllabus-design/> (consulté le 11/08/2022).
- [58] Nicolas Rouche, Lettre du GEM au GFEN, *Dialogue – Groupe français d'éducation nouvelle* **54bis**, pp. 10-25, 1985. Disponible à l'adresse <https://wp.gem-math.be/1996/01/01/lettre-du-gem-au-gfen/> (consulté le 11/08/2022).

- [59] Nicolas Rouche, L'analphabétisme mathématique, in : *R. Bkouche, B. Charlot et N. Rouche (éditeurs), Faire des mathématiques : le plaisir du sens*, Armand Colin, Paris, 1991. Accessible à l'adresse <http://www.gem-math.be/spip.php?article761> (consulté le 11/08/2022).
- [60] Dmitri Rozgonjuk, Tiina Kraav, Kristel Mikkor, Kerli Orav-Puurand and Karin Täht, Mathematics anxiety among STEM and social sciences students : the roles of mathematics self-efficacy, and deep and surface approach to learning, *International Journal of STEM Education* **7**, 2020. doi: 10.1186/s40594-020-00246-z.
- [61] Roger Säljö, Learning in the Learner's Perspective. I. Some Common-Sense Conceptions, *Reports from the Institute of Education, University of Gothenburg* **76**, 1979.
- [62] SATW – Académie suisse des sciences techniques, TecDay, <https://www.satw.ch/fr/tecday/> (consulté le 11/08/2022).
- [63] Secrétariat d'Etat à la Formation, à la Recherche, et à l'Innovation SEFRI, Le cadre de qualification pour le domaine des hautes écoles, [www.sbf.admin.ch/sbf/fr/home/formation/mobilite/cnc-formation-professionnelle/der-schweizerische-hochschulrahmen.html](http://www.sbf.admin.ch/sbf/fr/home/formation/mobilite/cnc-formation-professionnelle/der-schweizerische-hochschulrahmen.html) (consulté le 11/08/2022).
- [64] Service Assurance Qualité de l'Université de Fribourg, Questionnaire d'évaluation du cours, <https://www.unifr.ch/evaluation/fr/assurance-qualite/enseignement/modeles.html> (consulté le 11/08/2022).
- [65] swissuniversities, Cadre de qualifications Bachelor, <https://www.swissuniversities.ch/fr/themes/etudes/cadre-de-qualifications-1-2> (consulté le 11/08/2022).
- [66] SWITCH, SWITCHDrive, <https://www.switch.ch/drive/> (consulté le 11/08/2022).
- [67] Jacques Tardif, Les styles d'apprentissage des étudiant·e·s : les identifier et y recourir dans mon enseignement, Notes de cours, édition du 12 février 2019, Centre DevPro de la HES-SO.
- [68] Twitch, <https://www.twitch.tv/> (consulté le 11/08/2022).
- [69] Université de Montréal, Bureau d'évaluation de l'enseignement et des programmes d'études, Évaluation des prestations d'enseignement par les étudiants, 2007. <https://cpu.umontreal.ca/fileadmin/cpu/documents/evaluation/DocumentDInformationBEPE2007.pdf> (consulté le 11/08/2022).
- [70] Vanderbilt University Center for Student Wellbeing, Education and Training Resources – Kognito At-Risk Mental Health for Faculty, <https://www.vanderbilt.edu/healthydores/education-and-training/> (consulté le 11/08/2022).
- [71] Jacques Viens, Développement d'un scénario pédagogique, document de travail non publié, 2003. Repris et adapté dans [16, pp. 37-44].
- [72] Viva La Dirt League, SOULS LOGIC SUPERCUT – Season 2, 2021. <https://youtu.be/TDe5eIFgIZI?t=1337> (consulté le 11/08/2022).
- [73] Zach Weinersmith, Saturday Morning Breakfast Cereal – What it's like (ressource non datée). <https://www.smbc-comics.com/comic/what-its-like> (consulté le 11/08/2022).
- [74] Wikipedia, Dark Souls, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Dark\\_Souls](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dark_Souls) (consulté le 11/08/2022).
- [75] Wikipedia, Meme, <https://en.wikipedia.org/wiki/Meme> (consulté le 11/08/2022).
- [76] Wiktionary, git gud, [https://en.wiktionary.org/wiki/git\\_gud](https://en.wiktionary.org/wiki/git_gud) (consulté le 11/08/2022).

# Annexe A

## Questionnaire initial sur Moodle

### Exercice 1 - Mieux vous connaître

Vous êtes nombreux/euses. Il est impossible de tous/toutes vous connaître dès le premier jour. Ce questionnaire est destiné à mieux vous connaître.

**Aucune des questions n'est obligatoire - ne répondez qu'aux questions auxquelles vous êtes d'accord de donner une réponse. Vos réponses sont totalement anonymes (même les créateurs du questionnaire ne pourront pas voir vos réponses individuelles).**

Répondez dans la langue de votre choix (de préférence, français, allemand ou anglais).

1 Quel est votre âge ?

17 et moins  18  19  20  21  22  23  24  25 et plus  No answer

2 Quel est votre genre ?

Femme  Homme  Autre  No answer

3 D'où venez-vous ?

FR  BE  NE  VD  VS  GE  JU  TI  AG  SO  BS/BL  LU  Autre canton  
 France  Allemagne  Italie  Luxembourg  Autre (Europe)  Autre (Hors Europe)  No answer

4 Quelle est votre langue maternelle ?

Français  Allemand  Italien  Anglais  Autre  No answer

5 Comment évaluez-vous vos compétences linguistiques ?

	Inexistantes	Mauvaises	Plutôt mauvaises	Moyennes	Plutôt bonnes	Bonnes	Langue maternelle
Français (comprendre oral)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Français (parler)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Français (lire)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Français (écrire)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Allemand (comprendre oral)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Allemand (parler)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Allemand (lire)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Allemand (écrire)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Anglais (comprendre oral)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Anglais (parler)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Anglais (lire)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Anglais (écrire)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					

6 Quelle était votre précédente activité ?

Gymnase/Collège/Lycée  CFC/Matu Pro  Monde professionnel (reconversion)  Autre  No answer

7 Quel est votre domaine d'études principal ?

Biochimie  Sciences Biomédicales  BSc SI  Sport  Sciences de la terre  Informatique  Géographie  
 Chimie  Biologie  Autre (Sciences)  Autre (Lettres)  Autre (Economie)  Autre (Autre)  No answer

8 Pourquoi avez-vous entrepris ces études ?

Rich text editor toolbar with icons for: Undo, Bold, Italic, Text color, Bulleted list, Numbered list, Link, Unlink, Smiley, Image, and Full screen.

9 Quelles sont vos attentes par rapport à ce cours ?



10 A quelle(s) question(s) aimeriez-vous que ce cours (ou un.e mathématicien.ne en général) réponde ?



11 Vous êtes invité.e à passer sur une chaîne YouTube célèbre. Vous aurez 1-2 phrases pour vous présenter, donner une caractéristique, une anecdote, quelque chose qui vous représente. Que dites-vous ?



12 Avez-vous des hobbies ? Lesquels ?



13 Avez-vous des séries TV / films / livres préférés ? Lesquels ?



14 Sérieusement, les saisons 4-5 de La Casa de Papel sont bof

- Je suis d'accord  Je ne suis pas d'accord  Je n'ai pas regardé (mais je vais le faire)  Je ne me sens pas concerné(e)  
 No answer

15 De quoi êtes-vous le/la plus fier/fière ?



16 Avez-vous des héros / des sources d'inspiration ? Lesquel(le)s ? Pourquoi ?

A horizontal toolbar for a rich text editor. It contains the following icons from left to right: a downward arrow, 'A' with a dropdown arrow, 'B', 'I', 'T' with a dropdown arrow, a bulleted list icon, a numbered list icon, a link icon, a unlink icon, a smiley face icon, an image icon, and a full-screen icon.

17 Avez-vous un (des) rêve(s) / objectifs dans la vie en général ?

A horizontal toolbar for a rich text editor. It contains the following icons from left to right: a downward arrow, 'A' with a dropdown arrow, 'B', 'I', 'T' with a dropdown arrow, a bulleted list icon, a numbered list icon, a link icon, a unlink icon, a smiley face icon, an image icon, and a full-screen icon.

18 Voulez-vous ajouter quelque chose ? Répondre à une question qui n'a pas été posée ici ?

A horizontal toolbar for a rich text editor. It contains the following icons from left to right: a downward arrow, 'A' with a dropdown arrow, 'B', 'I', 'T' with a dropdown arrow, a bulleted list icon, a numbered list icon, a link icon, a unlink icon, a smiley face icon, an image icon, and a full-screen icon.

Close this window

# Annexe B

## Syllabi

### B.1 "Math 2300", Vanderbilt 2017



**MATH 2300-07 - Multivariable Calculus - Spring 2017**  
*(This is an up-to-date version of the first syllabus)*

---

#### Basic Information

**Time/Place** - MWF 10:10a-11:00a - Room SC 1310

**Instructor** - Matthieu Jacquemet, Office SC 1401

Contact - e-mail: [matthieu.jacquemet@vanderbilt.edu](mailto:matthieu.jacquemet@vanderbilt.edu) ; office phone: 615-322-8473

Office Hours - M 11:05a-12:05p, WF 1:30p-2:30p, or by appointment

**Course webpage** - <http://my.vanderbilt.edu/matthieujacquemet/math2300-07>

#### Course description

**Prerequisites** - MATH 1301 or 2200

**Textbook** - *Calculus*, by J. Stewart, 8th edition

**Overview** - Chapters 12.1 to 16.10 of the textbook : vectors and the geometry of space, vector functions, partial derivatives, multiple integrals, vector calculus

**Learning objectives** - My goal for this course is for you to improve your mathematical technical and communication skills. In particular, at the end of the semester, my goal is for you to be able to understand the basic concepts and central results of the topic and illustrate them with help of examples and counterexamples, master the tools and techniques typically used in the topic (for example by being able to rigorously outline the proofs of central results), and communicate your work in a clear and precise way.

#### Requirements

**General philosophy** - In accordance with the Learning objectives, my goal is for you to be able to solve problems using successively different ideas of various natures (algebraic, geometric, analytic, etc.), and to be able to communicate your solutions in a legible, neat and precise way.

To this end, I will suggest (non-graded) homework problems from the textbook, the understanding of which should help you solving the (graded) take-home quizzes which will be handed out regularly. Three mid-term exams and the final exam will allow me (and you!) to evaluate your progression.

As a general principle, you should be ready to invest considerable amounts of time and energy in understanding the material and doing the homework and quizzes.

**Homework** - Suggested problems from the textbook will be given for each section.

Solving Quizzes/Midterms/Final problems will require a good understanding of that type of problems, so it is worth your time to work as many homework problems as possible.

*Working with others on homework problems is encouraged!*

These problems will not be graded, but you should practice writing complete (and neat!) solutions, as this will also be evaluated on the quizzes and exams (see section "Learning objectives" above).

**Quizzes** - There will be several ( $\approx 20$ ) take-home quizzes given during the semester.

You will be allowed to drop no more than 10% of the quizzes. Miss a quiz for any reason and that

will be counted as one of your drops.

You may not discuss these quizzes with anyone but me, but you may use the textbook to solve them (although trying to do it without the textbook is a good preparation for the Midterms/Final). They will determine part of your grade, so the Honor Code will be in effect for these quizzes.

**Midterms** - There will be 3 closed book midterm exams (at the end of Chapters 13, 14 and 15) on February 3, February 24 and March 27. You are expected to abide by the Honor Code for the Midterms.

Extra credits for the Midterms can be earned in two ways: by beating your Quiz score from the chapter being examined on the Midterm, and by submitting corrections of your Midterm after it has been graded. This allows me to reward your progress, while your initial Midterm score intends to measure your proficiency.

**Final exam** - The comprehensive closed book final exam will take place at 3:00p Wednesday, April 26, at a location to be determined. *I do not give an alternate final.* Again, you are expected to abide by the Honor Code for the Final exam.

You do not have to take the Final, but this will cost you a single grade reduction (i.e. if you have a *B* going into the Final and do not take the Final, your grade will be *B<sub>-</sub>* ; furthermore, if you exercise this option you also lose the opportunity to raise your grade).

## Policies

### Grading procedures

Weighting of course components - Your final grade will be computed according to the following breakdown: Quizzes: 25% - Midterms: 15% each - Final: 30%.

Grades - *A* 100-94 ; *A<sub>-</sub>* 93-90 ; *B<sup>+</sup>* 89-87 ; *B* 86-84 ; *B<sub>-</sub>* 83-80 ; *C<sup>+</sup>* 79-77 ; *C* 76-74 ; *C<sub>-</sub>* 73-70 ; *D<sup>+</sup>* 69-67 ; *D* 66-64 ; *D<sub>-</sub>* 63-60 ; *F* below 60.

GPA - It is department policy that the overall GPA for the course will fall in the 2.6-3.1 range.

**Honor Code** - All work submitted for credit must be the student own and is subject to the provisions of the Vanderbilt Honor Code.

Details can be found at the address <http://studentorgs.vanderbilt.edu/HonorCouncil>.

In particular, while you are allowed and encouraged to use all the resources you consider useful (including discussions with fellow students, online resources, books, etc.) to understand the course and solve the suggested Homework problems, the only acceptable resource to solve quizzes is the textbook, and there is no resource allowed for the Midterms and the Final.

**Attendance** - Attendance is very important for this class ; I strongly encourage you to actively participate by asking questions and engaging in class discussion. Attendance is expected for each class meeting, and students are responsible for all announcements, assignments, and material covered in class, even the ones they missed.

The stated attendance policy of the College of Arts and Science applies in this course (see the Undergraduate Catalogue)

**Accommodations** - If you have any condition which might impact your course work, please contact the Equal Opportunity, Affirmative Action, and Disability Services Department (see the address [www.vanderbilt.edu/ead](http://www.vanderbilt.edu/ead)). They will determine with you what accommodations are appropriate and communicate them to the instructor. This service is confidential.

**Classroom Policy** - Students are not allowed to use electronic equipment such as cellphones, music players, or computers during class.

## Tentative Schedule

An up-to-date schedule will be maintained on the course webpage. All suggested homework problems are from the textbook.

Date	Section	Suggested homework problems
M, Jan 9	12.1	1, 3, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 31, 34
W, Jan 11	12.2	3, 9, 15, 19, 21, 22, 25, 27, 29
F, Jan 13	12.3	1, 3, 5, 7, 9, 13, 17, 19, 22, 23, 26, 27, 29, 39, 41
W, Jan 18	12.4	5, 9, 11, 13, 17, 21, 27, 29, 31, 33, 49
F, Jan 20	12.5	3, 5, 7, 13, 15, 19, 25, 29, 33, 37, 46, 51, 57, 59, 69, 71
M, Jan 23	12.6	3, 5, 9 a, 13, 17, 21, 25, 27, 31, 33, 35, 37
W, Jan 25	13.1	1, 3, 5, 7, 21, 23, 25, 27
F, Jan 27	13.2	3, 5, 7, 9, 13, 19, 21, 25, 33, 35, 37, 41
M, Jan 30	13.3	3, 13, 19, 21, 25, 27, 31, 43, 47
W, Feb 1	13.4	5, 11, 15, 19, 37, 39
F, Feb 3	14.1	9, 11, 17, 21, 27, 30, 31, 61, 63, 65
M, Feb 6	14.2	3, 13, 21, 25, 33, 37, 41
W, Feb 8	14.3	15, 17, 25, 33, 37, 41, 47, 55, 61, 65, 67
F, Feb 10	14.4	3, 5, (7) calculator, 15, 19, 25, 35
M, Feb 13		<b>Midterm 1</b>
W, Feb 15	14.5	3, 7, 11, 17, 21, 23, 27, 31, 38, 41, 53
F, Feb 17	14.6	5, 9, 15, 17, 19, 23, 25, 33, 37, 41, 45, 51
M, Feb 20	14.7	7, 11, 13, 15, 31, 33, 37, 41, 45, 49, 51
W, Feb 22	14.8	3, 7, 17, 19, 23
F, Feb 24	15.1	3(a), 9, 11, 15, 17, 23, 25, 27, 29, 31, 37, 39
M, Feb 27	15.2	3, 5, 9, 17, 19, 21, 27, 31, 41, 49, 51
W, Mar 1	15.3	1, 3, 5, 7, 9, 21, 23, 25, 27, 29, 39
F, Mar 3	15.4	1, 7, 9, 11, 17
M, Mar 13	15.6	1, 3, 7, 9, 21
W, Mar 15		<b>Midterm 2</b>
F, Mar 17	15.7	1, 5, 7, 9, 13, 15, 17, 19, 21, 27, 29
M, Mar 20	15.8	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 27, 29, 30, 33, 35
W, Mar 22	15.9	3, 5, 7, 11, 19
F, Mar 24	15.10	-
M, Mar 27	16.1	7, 9, 11, 15, 17, 21
W, Mar 29	16.2	3, 5, 7, 13, 15, 19, 21, 33, 39, 41
F, Mar 31	16.3	3, 5, 7, 13, 15, 19, 24
M, Apr 3		<b>Midterm 3</b>
W, Apr 5	16.4	3, 7, 9, 13, 17, 19
F, Apr 7	16.5	1, 6, 13, 23
M, Apr 10	16.6	3, 13, 14, 15, 19, 21
W, Apr 12	16.7	3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 23, 27, 29
F, Apr 14	16.8	3, 5, 7, 13
M, Apr 17	16.9	3, 5, 7, 10, 25, 27, 28, 29, 30
W, Apr 19	16.10	-
F, Apr 21	Review	
M, Apr 24	Review	
W, Apr 26		<b>FINAL</b>

## **Rights**

**Academic freedom** - The students and the instructor have the right to academic freedom. In particular, the right to express one's points of view, and to engage in critical discussion.

**Copyright** - All contents of the course, as well as the students' work are subject to the usual copyright protection.

## **Evaluation of the course**

**Feedback during the semester** - You are encouraged to contact me if you have any question or concern regarding the course, my expectations, the grading policy, etc. Should you prefer to make anonymous comments, you can for example print your comment and deposit it in my mailbox in the SC 1326 main office.

**Course evaluation** - Student evaluations are submitted online and are only accessible to the instructor after all grades have been submitted.

## **Disclaimer**

This syllabus (in particular the schedule) is subject to change. Hypothetical changes will be announced during class hours, and an up-to-date schedule will be available on the course webpage.

## B.2 "Analyse Propédeutique", Fribourg 2019-20



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG SUISSE  
UNIVERSITÄT FREIBURG SCHWEIZ

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES



### SMA.00103 - Analyse Propédeutique I/II - AA 2019-20

---

#### Généralités

**Horaire** - Je 9-10 (exercices), Ve 8-10 (cours) - Grand Auditoire 013 (Chimie)

**Enseignant** - Dr Matthieu Jacquemet ; [matthieu.jacquemet@unifr.ch](mailto:matthieu.jacquemet@unifr.ch)

**Assistant** - Martin Fitzi ; bureau PER11 0.103 ; [martin.fitzi@unifr.ch](mailto:martin.fitzi@unifr.ch)

**Moodle** - <https://moodle.unifr.ch/course/view.php?id=168619>

#### Description du cours

**But du cours** - Introduire des outils analytiques de base pour les domaines scientifiques : Calcul différentiel et intégral, équations différentielles et systèmes dynamiques, nombres complexes, analyse multivariée, séries de Fourier.

Un effort particulier sera fourni pour la compréhension et l'illustration des différentes notions ainsi que pour leurs applications.

**Objectifs d'apprentissage** - A l'issue de ce cours, l'étudiant-e doit être capable de/d'

- expliquer les concepts centraux et les techniques importantes de l'analyse mathématique,
- illustrer ces concepts et techniques à l'aide d'exemples et de contre-exemples,
- appliquer ces concepts et techniques à des situations issues de son domaine d'études et/ou d'autres domaines,
- mener un raisonnement structuré et critique en vue de résoudre des problèmes,
- communiquer ce raisonnement de manière claire et précise,
- prendre en compte et exploiter les commentaires reçus afin d'améliorer cette communication,
- critiquer ses propres connaissances, et évaluer son degré de certitude concernant des intuitions données.

#### Validation

**Principes généraux** - Conformément aux objectifs d'apprentissages, l'objectif principal est que vous soyez capables d'approcher des problèmes concrets en combinant de manière structurée des idées et techniques de différentes natures (algébrique, analytique, géométrique, etc), d'être capables de communiquer votre démarche d'une manière claire et précise, et enfin d'évaluer critiqueusement la démarche effectuée. Ainsi, au-delà du contenu formel du cours, le but est de vous faire développer vos compétences de réflexion et de rigueur, des qualités essentielles pour tout scientifique. En

particulier, il n'est pas attendu que vous ne fassiez aucune erreur, ni que vous deveniez des experts en mathématiques!

Pour ce faire, vous aurez chaque semaine une série d'exercices qui vous sera proposée. Ces séries permettront d'approfondir et digérer la matière du cours. Votre progression sera mesurée lors de quatre tests écrits durant l'année (2 par semestre), ainsi que lors d'un examen final.

*De manière générale, il est attendu que vous fournissiez un travail régulier dans le respect du principe d'honnêteté scientifique.*

**Séries d'exercices** - Chaque semaine, une série d'exercices sera publiée. Chaque série contiendra un exercice que vous devrez résoudre *individuellement* sur la plateforme Moodle, ainsi que d'autres exercices que vous devrez rendre *par groupes*. Il n'est pas obligatoire de rendre les parties collectives, mais le faire peut augmenter la note finale du cours (Cf. "Valorisation" ci-dessous).

*Pour les exercices en groupes, le travail collectif est encouragé, pour autant que les contributions soient authentiques!*

Durant la séance d'exercices et en-dehors de celle-ci, vous aurez la possibilité de discuter de ces exercices avec l'assistant et son équipe de tuteurs. Ces derniers corrigeront ensuite les séries, et vous les rendront avec des commentaires.

*Validation:* les parties individuelles (Moodle) sont obligatoires et doivent être effectuées chaque semaine par chacun. Si moins de 90% de ces exercices est rendu, la partie "Exercices" du cours ne sera pas validée.

*Valorisation:* Les groupes d'étudiants ayant rendu au moins 95% (respectivement 85%, 75%) des séries d'exercices dans un état acceptable (c'est-à-dire que la majorité des exercices non-individuels ont été traités de manière acceptable) bénéficieront d'un bonus de 10% (respectivement, 6%, 3%) lors du calcul du taux de réussite final (voir plus bas).

*Comme le score des exercices a une incidence sur la note finale, il est attendu que les principes de non-plagiat et d'honnêteté soient respectés. Il n'y aura aucune exception à ce principe.*

**Tests** - Il y aura 4 tests durant l'année, à raison de 2 par semestre. Ces tests porteront *essentiellement* sur la matière vue depuis le précédent test (la matière sera à chaque fois précisée suffisamment à l'avance), et ils seront effectués avec des moyens auxiliaires annoncés à l'avance. Il auront lieu les jeudis 14.11, 12.12, 09.04 et 14.05, durant la session d'exercices.

Chaque test comportera 30 points. Cependant, chaque test sera compté sur 20 points lors du décompte final. Ainsi, vous n'êtes pas obligés de tout réussir dans un test pour obtenir un score maximal.

Après chaque test, vous aurez du temps pour corriger votre test, qui sera alors corrigé à nouveau par les assistants. Vous aurez à cette occasion la possibilité de regagner au plus la moitié des points qui vous manquaient, donnant ainsi le score total du test (c'est-à-dire au maximum  $15 + \frac{S}{2}$ , où  $S$  est votre score au test).

*Validation:* Vous devez être présents aux quatre tests. De plus, pour valider la partie "Exercices" du cours, vous devez avoir obtenu après corrections un total d'au moins 60 points.

*Evaluation:* Les trois meilleurs scores de tests *initiaux* (avant corrections) compteront pour 25% de la note du cours.

*Valorisation:* A chaque fois que votre score à un test (avant correction) est meilleur que votre score au test précédent, vous gagnez un bonus de 3% des points totaux lors du calcul de la note finale. Si votre score était meilleur que le précédent à chaque fois, ce bonus sera de 10%.

*A nouveau, le score des tests ayant une incidence sur la note finale, il est attendu que les principes de non-plagiat et d'honnêteté soient respectés.*

**Examen final** - L'examen final aura lieu à l'issue du Semestre de Printemps 2020, à une date et une heure à préciser. Pour pouvoir s'inscrire à l'examen, il faut que la partie "Exercices" du cours soit validée (c'est-à-dire il faut avoir rendu au moins 90% des exercices individuels et avoir participé à tous les tests en ayant obtenu après corrections au moins 60 points en tout).

Le score de l'examen écrit contribuera à 75% du score final.

## Aspects pratiques

### Note finale

Conformément à ce qui est décrit ci-dessus, la note finale du cours est basée pour 25% sur les scores initiaux (avant correction) des trois meilleurs tests, et pour 75% du score de l'examen final. De plus, le total final peut être augmenté, en ayant rendu une portion des séries dans un état acceptable et/ou en ayant progressé durant l'année aux scores des tests.

*Exemple de calcul du score final:* Mlle A. a effectué tous les exercices individuels sur Moodle. Elle a rendu 18 séries sur 22 dans un état acceptable. De plus, elle a obtenu les scores suivants (dans l'ordre) aux tests (avant corrections): 11/20, 9/20, 12/20, 13/20. Après corrections, ses scores sont respectivement de 15/30, 12/30, 21/30 et 13/30.

Comme elle a effectué tous les exercices individuels sur Moodle et qu'elle a obtenu un score combiné (après corrections) de 61/120 aux tests, elle se qualifie pour l'examen final. A ce dernier, elle obtient un score de 26/40.

Ses trois meilleurs tests (avant correction) forment un score de 36/60. Comme l'examen final compte pour 75% et les 3 meilleurs tests pour 25%, son score total est de  $\frac{36}{60} \cdot 25 + \frac{26}{40} \cdot 75 = 63.75/100$ .

Ses bonus combinés se montent à 9% (6% grâce aux tests, 3% grâce aux séries d'exercices), ce qui porte son score final à environ 72.75/100 (dans un barème standard, un tel score correspondrait à une note de 4,5).

**Intégrité scientifique** - Tout travail rendu en vue d'une évaluation formelle (qui compte pour la note finale) doit résulter du travail personnel de l'étudiant-e, respectivement d'un groupe d'étudiants (auquel cas les contributions individuelles doivent être comparables). Les principes concernant le plagiat et l'honnêteté scientifique seront appliqués sans exception.

**Participation** - Une participation active au cours et aux exercices est essentielle pour se familiariser avec la matière et approfondir vos connaissances. C'est pourquoi je vous recommande fortement de participer activement. De plus, vous êtes seuls responsables en cas d'absence, si vous deviez avoir raté une information essentielle ou une échéance annoncée durant un cours.

**Aménagements** - Si pour une raison quelconque vous deviez être dans l'incapacité momentanée ou prolongée de mener à bien votre travail pour ce cours, vous pouvez me le communiquer. Si des aménagements légers peuvent être trouvés, nous pourrons le faire sans problème. Pour des aménagements plus longs ou plus conséquents, le Décanat et/ou votre conseiller-ère aux études est en mesure de vous renseigner.

**Atmosphère** - Tout comportement susceptible de gêner la bonne tenue du cours ou des exercices, ainsi que le travail des autres étudiants est à éviter.

## **Droits**

**Liberté académique** - Les étudiants et les enseignants ont le droit à la liberté académique. En particulier, cela inclut le droit d'exprimer son point de vue et d'initier un débat critique.

**Copyright** - Tous les contenus du cours, ainsi que les productions d'étudiants (exercices, tests, examens) sont sujets aux règles usuelles concernant le droit d'auteur.

## **Evaluation du cours**

**Feedback durant le semestre** - Vous êtes encouragés à me contacter ou à contacter Martin Fitzl si vous deviez avoir des questions ou des incertitudes concernant le cours, les exigences, les conditions de validation, etc. Si pour une quelconque raison vous préférez que votre feedback soit anonyme, vous pouvez par exemple l'imprimer et le déposer à mon intention au secrétariat du Département de Mathématiques (PER 11).

**Evaluation du cours** - Le cours et les exercices seront évalués informellement à différents moments durant l'année, ainsi que formellement par les services de l'université. Ces évaluations sont anonymes, et votre feedback honnête et constructif est hautement apprécié: il permet soit d'infléchir le cours en cours d'année, soit de le modifier pour une année ultérieure.

## **Disclaimer**

Ce document (notamment les données chiffrées, dates et pourcentages) peut être modifié en cours d'année. Le cas échéant, les changements seront annoncés en classe et publiés sur Moodle.

## B.3 "Analyse Propédeutique", Fribourg 2020-21



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG  
UNIVERSITÄT FREIBURG

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES  
DEPARTEMENT FÜR MATHEMATIK

### SMA.00103-00104 - Analyse Propédeutique I/II - AA 2020-21

---

#### Généralités

**Horaire** - Je 9-10 (exercices), Ve 8-10 (cours) - Grand Auditoire 013 (Chimie) + online

**Enseignant** - Dr Matthieu Jacquemet ; [matthieu.jacquemet@unifr.ch](mailto:matthieu.jacquemet@unifr.ch)

**Assistants** - Simon Drewitz (Bureau PER11 0.107 - [simon.drewitz@unifr.ch](mailto:simon.drewitz@unifr.ch))  
Martin Fitzi (Bureau PER11 0.103 - [martin.fitzi@unifr.ch](mailto:martin.fitzi@unifr.ch))

**Moodle** - <https://moodle.unifr.ch/course/view.php?id=249988>

**Discord** - <https://discord.gg/PYNahSb>

#### Description du cours

**But du cours** - Introduire des outils analytiques de base pour les domaines scientifiques : Calcul différentiel et intégral, équations différentielles et systèmes dynamiques, nombres complexes, analyse multivariée, séries de Fourier.

Un effort particulier sera fourni pour la compréhension et l'illustration des différentes notions ainsi que pour leurs applications.

**Objectifs d'apprentissage** - A l'issue de ce cours, l'étudiant-e doit être capable de/d'

- expliquer les concepts centraux et les techniques importantes de l'analyse mathématique,
- illustrer ces concepts et techniques à l'aide d'exemples et de contre-exemples,
- appliquer ces concepts et techniques à des situations issues de son domaine d'études et/ou d'autres domaines,
- mener un raisonnement structuré et critique en vue de résoudre des problèmes,
- communiquer ce raisonnement de manière claire et précise,
- critiquer ses propres connaissances, et évaluer son degré de certitude concernant des intuitions données.

**Mode d'enseignement** - Hybride: cours et exercices donnés en présence et en livestream (présence en alternance selon domaine (non-BMS - BMS) une semaine sur deux pour commencer, puis selon l'évolution de la situation), utilisation de Moodle pour les documents et les exercices et tests, et de Discord pour les questions et autres interactions à distance.

## Validation

**Principes généraux** - Conformément aux objectifs d'apprentissages, l'objectif principal est que vous soyez capables d'approcher des problèmes concrets en combinant de manière structurée des idées et techniques de différentes natures (algébrique, analytique, géométrique, etc), d'être capables de communiquer votre démarche d'une manière claire et précise, et enfin d'évaluer critiquement la démarche effectuée. Ainsi, au-delà du contenu formel du cours, le but est de vous faire développer vos compétences de réflexion et de rigueur, des qualités essentielles pour tout scientifique. En particulier, il n'est pas attendu que vous ne fassiez aucune erreur, ni que vous deveniez des expert.e.s en mathématiques!

Pour ce faire, vous aurez chaque semaine une série d'exercices qui vous sera proposée. Ces séries permettront d'approfondir et digérer la matière du cours. Votre progression sera mesurée lors de quatre tests écrits durant l'année (2 par semestre), ainsi que lors d'un examen final.

*De manière générale, il est attendu que vous fournissiez un travail régulier dans le respect du principe d'honnêteté scientifique.*

**Séries d'exercices** - Chaque semaine, une série d'exercices sera publiée. Les séries peuvent se rendre par groupes, en ligne uniquement, sur la plateforme Moodle. Il n'est pas obligatoire de rendre les séries, mais le faire peut augmenter la note finale du cours (Cf. "Valorisation" ci-dessous).

*Pour les exercices en groupes, le travail collectif est encouragé, pour autant que les contributions soient authentiques!*

Durant la séance d'exercices et en-dehors de celle-ci, vous aurez la possibilité de discuter de ces exercices avec les assistants et leur équipe de tuteurs. Ces derniers corrigeront ensuite les séries, et vous les rendront avec des commentaires.

*Valorisation:* Les groupes d'étudiant.e.s ayant rendu au moins 95% (respectivement 85%, 75%) des séries d'exercices dans un état acceptable (c'est-à-dire que la majorité des exercices ont été traités de manière acceptable) bénéficieront d'un bonus de 10% (respectivement, 6%, 3%) lors du calcul du taux de réussite final (voir plus bas).

*Comme le score des exercices a une incidence sur la note finale, il est attendu que les principes de non-plagiat et d'honnêteté soient respectés. Il n'y aura aucune exception à ce principe.*

**Tests** - Il y aura 4 tests durant l'année, à raison de 2 par semestre. Ces tests porteront *essentiellement* sur la matière vue depuis le précédent test (la matière sera à chaque fois précisée suffisamment à l'avance), et ils seront effectués avec des moyens auxiliaires annoncés à l'avance. Il auront lieu les jeudis 05.11, 17.12, 15.04 et 27.05, durant la session d'exercices.

Chaque test comportera 30 points. Cependant, chaque test sera compté sur 20 points lors du décompte final. Ainsi, vous n'êtes pas obligé.e.s de tout réussir dans un test pour obtenir un score maximal.

*Validation:* Vous devez être présent.e.s aux quatre tests pour pouvoir valider la partie "Exercices" du cours et être admis.e.s à l'examen.

*Evaluation:* Les trois meilleurs scores de tests compteront pour 25% de la note du cours.

*Valorisation:* A chaque fois que votre score à un test est meilleur que votre score au test précédent, vous gagnez un bonus de 3% des points totaux lors du calcul de la note finale. Si votre score était meilleur que le précédent à chaque fois, ce bonus sera de 10%.

*A nouveau, le score des tests ayant une incidence sur la note finale, il est attendu que les principes*

*de non-plagiat et d'honnêteté soient respectés.*

**Examen final** - L'examen final aura lieu à l'issue du Semestre de Printemps 2021, à une date et une heure à préciser. Pour pouvoir s'inscrire à l'examen, il faut que la partie "Exercices" du cours soit validée (c'est-à-dire il faut avoir participé à tous les tests).

Le score de l'examen écrit contribuera à 75% du score final.

**Moyens autorisés** - Les évaluations (tests et examen final) sont open book, c'est-à-dire que vous pouvez consulter toutes les ressources non-électroniques que vous voulez. Vous pouvez aussi utiliser une calculatrice non-graphique.

**Moyen non-autorisé** - Toute interaction avec un autre être humain, sous quelque forme que ce soit.

## Aspects pratiques

### Note finale

Conformément à ce qui est décrit ci-dessus, la note finale du cours est basée pour 25% sur les scores des trois meilleurs tests, et pour 75% du score de l'examen final. De plus, le total final peut être augmenté, en ayant rendu une portion des séries dans un état acceptable et/ou en ayant progressé durant l'année aux scores des tests.

*Exemple de calcul du score final:* Mlle A. a rendu 18 séries sur 22 dans un état acceptable. De plus, elle a obtenu les scores suivants (dans l'ordre) aux tests: 11/20, 9/20, 12/20, 13/20.

Comme elle a participé aux quatre tests, elle se qualifie pour l'examen final. A ce dernier, elle obtient un score de 26/40.

Ses trois meilleurs tests forment un score de 36/60. Comme l'examen final compte pour 75% et les 3 meilleurs tests pour 25%, son score total est de  $\frac{36}{60} \cdot 25 + \frac{26}{40} \cdot 75 = 63.75/100$ .

Ses bonus combinés se montent à 9% (6% grâce aux tests, 3% grâce aux séries d'exercices), ce qui porte son score final à environ 72.75/100 (dans un barème standard, un tel score correspondrait à une note de 4,5).

**Intégrité scientifique** - Tout travail rendu en vue d'une évaluation formelle (qui compte pour la note finale) doit résulter du travail personnel de l'étudiant.e, respectivement d'un groupe d'étudiant.e.s (auquel cas les contributions individuelles doivent être comparables). Les principes concernant le plagiat et l'honnêteté scientifique seront appliqués sans exception.

**Participation** - Une participation active au cours et aux exercices est essentielle pour se familiariser avec la matière et approfondir vos connaissances. C'est pourquoi je vous recommande fortement de participer activement. De plus, vous êtes seul.e.s responsables en cas d'absence, si vous deviez avoir raté une information essentielle ou une échéance annoncée durant un cours.

**Aménagements** - Si pour une raison quelconque vous deviez être dans l'incapacité momentanée ou prolongée de mener à bien votre travail pour ce cours, vous pouvez me le communiquer. Si des aménagements légers peuvent être trouvés, nous pourrions le faire sans problème. Pour des aménagements plus longs ou plus conséquents, le Décanat et/ou votre conseiller.ère aux études est en mesure de vous renseigner.

**Atmosphère** - Tout comportement susceptible de gêner la bonne tenue du cours ou des exercices, ainsi que le travail des autres étudiant.e.s est à éviter.

## Droits

**Liberté académique** - Les étudiant.e.s et les enseignant.e.s ont le droit à la liberté académique. En particulier, cela inclut le droit d'exprimer son point de vue et d'initier un débat critique.

**Copyright** - Tous les contenus du cours, ainsi que les productions d'étudiant.e.s (exercices, tests, examens) sont sujets aux règles usuelles concernant le droit d'auteur.

## Evaluation du cours

**Feedback durant le semestre** - Vous êtes encouragé.e.s à me contacter ou à contacter Simon ou Martin si vous deviez avoir des questions ou des incertitudes concernant le cours, les exigences, les conditions de validation, etc. Si pour une quelconque raison vous préférez que votre feedback soit anonyme, vous pouvez par exemple l'imprimer et le déposer à mon intention au secrétariat du Département de Mathématiques (PER 11).

**Evaluation du cours** - Le cours et les exercices seront évalués informellement à différents moments durant l'année, ainsi que formellement par les services de l'université. Ces évaluations sont anonymes, et votre feedback honnête et constructif est hautement apprécié: il permet soit d'infléchir le cours en cours d'année, soit de le modifier pour une année ultérieure.

## Disclaimer

Ce document (notamment les données chiffrées, dates et pourcentages) peut être modifié en cours d'année. Le cas échéant, les changements seront annoncés en classe et publiés sur Moodle.

## B.4 "Analyse Propédeutique", Fribourg 2021-22



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG  
UNIVERSITÄT FREIBURG

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES  
DEPARTEMENT FÜR MATHEMATIK

### SMA.00103-00104 - Analyse Propédeutique I/II - AA 2021-22

---

#### Généralités

**Horaire** - Je 9-10 (exercices), Ve 8-10 (cours) - Grand Auditoire 013 (Chimie) + online

**Enseignant** - Dr Matthieu Jacquemet ; [matthieu.jacquemet@unifr.ch](mailto:matthieu.jacquemet@unifr.ch)

**Assistant.e.s** - Damaris Meier (Bureau PER11 0.107 - [damaris.meier@unifr.ch](mailto:damaris.meier@unifr.ch))  
Louis Faul ([louis.faul@unifr.ch](mailto:louis.faul@unifr.ch))

**Moodle** - <https://moodle.unifr.ch/course/view.php?id=263762>

**Discord** - <https://discord.gg/wjbNGh83rt>

**Twitch (cours)** - <https://www.twitch.tv/garbosack>

**Twitch (exercices)** - [https://www.twitch.tv/ap2122\\_exercises](https://www.twitch.tv/ap2122_exercises)

#### Description du cours

**But du cours** - Introduire des outils analytiques de base pour les domaines scientifiques : Calcul différentiel et intégral, équations différentielles et systèmes dynamiques, nombres complexes, analyse multivariée, séries de Fourier.

Un effort particulier sera fourni pour la compréhension et l'illustration des différentes notions ainsi que pour leurs applications.

**Objectifs d'apprentissage** - A l'issue de ce cours, l'étudiant-e doit être capable de/d'

- expliquer les concepts centraux et les techniques importantes de l'analyse mathématique,
- illustrer ces concepts et techniques à l'aide d'exemples et de contre-exemples,
- appliquer ces concepts et techniques à des situations issues de son domaine d'études et/ou d'autres domaines,
- mener un raisonnement structuré et critique en vue de résoudre des problèmes,
- communiquer ce raisonnement de manière claire et précise,
- critiquer ses propres connaissances, et évaluer son degré de certitude concernant des intuitions données.

**Mode d'enseignement** - Hybride: cours et exercices donnés en présence et en livestream, utilisation de Moodle pour les documents et les exercices et tests, et de Discord pour les questions et autres interactions à distance. L'évolution de la situation sanitaire peut modifier le mode d'enseignement à tout moment.

## Validation

**Principes généraux** - Conformément aux objectifs d'apprentissages, l'objectif principal est que vous soyez capables d'approcher des problèmes concrets en combinant de manière structurée des idées et techniques de différentes natures (algébrique, analytique, géométrique, etc), d'être capables de communiquer votre démarche d'une manière claire et précise, et enfin d'évaluer critiquement la démarche effectuée. Ainsi, au-delà du contenu formel du cours, le but est de vous faire développer vos compétences de réflexion et de rigueur, des qualités essentielles pour tout scientifique. En particulier, il n'est pas attendu que vous ne fassiez aucune erreur, ni que vous deveniez des expert.e.s en mathématiques!

Pour ce faire, vous aurez chaque semaine une série d'exercices qui vous sera proposée. Ces séries permettront d'approfondir et digérer la matière du cours. Votre progression sera mesurée lors de quatre tests écrits durant l'année (2 par semestre), ainsi que lors d'un examen final.

*De manière générale, il est attendu que vous fournissiez un travail régulier dans le respect du principe d'honnêteté scientifique.*

**Séries d'exercices** - Chaque semaine, une série d'exercices sera publiée. Les séries peuvent se rendre par groupes, en ligne uniquement, sur la plateforme Moodle. Il n'est pas obligatoire de rendre les séries, mais le faire peut augmenter la note finale du cours (Cf. "Valorisation" ci-dessous).

*Pour les exercices en groupes, le travail collectif est encouragé, pour autant que les contributions soient authentiques!*

Durant la séance d'exercices et en-dehors de celle-ci, vous aurez la possibilité de discuter de ces exercices avec les assistants et leur équipe de tuteurs. Ces derniers corrigeront ensuite les séries, et vous les rendront avec des commentaires.

*Valorisation:* Les groupes d'étudiant.e.s ayant rendu au moins 95% (respectivement 85%, 75%) des séries d'exercices dans un état acceptable (c'est-à-dire que la majorité des exercices ont été traités de manière acceptable) bénéficieront d'un bonus de 10% (respectivement, 6%, 3%) lors du calcul du taux de réussite final (voir plus bas).

*Comme le score des exercices a une incidence sur la note finale, il est attendu que les principes de non-plagiat et d'honnêteté soient respectés. Il n'y aura aucune exception à ce principe.*

**Tests** - Il y aura 4 tests durant l'année, à raison de 2 par semestre. Ces tests porteront *essentiellement* sur la matière vue depuis le précédent test (la matière sera à chaque fois précisée suffisamment à l'avance), et ils seront effectués avec des moyens auxiliaires annoncés à l'avance. Il auront lieu les jeudis 11.11, 23.12, 07.04 et 19.05, durant la session d'exercices.

Chaque test comporte 30 points. Cependant, chaque test est compté sur 20 points lors du décompte final. Ainsi, vous n'êtes pas obligé.e.s de tout réussir dans un test pour obtenir un score maximal.

*Evaluation:* Les trois meilleurs scores de tests compteront pour 25% de la note du cours.

*Valorisation:* A chaque fois que votre score à un test est meilleur que votre score au test précédent, vous gagnez un bonus de 3% des points totaux lors du calcul de la note finale. Si votre score était meilleur que le précédent à chaque fois, ce bonus sera de 10%.

*A nouveau, le score des tests ayant une incidence sur la note finale, il est attendu que les principes de non-plagiat et d'honnêteté soient respectés.*

*Important:* Toute absence à un test entraîne un score de 0, qui sera comptabilisé comme tel à moins qu'un arrangement spécifique ait été trouvé au préalable.

**Examen final** - L'examen final aura lieu à l'issue du Semestre de Printemps 2022, à une date et une heure à préciser. Il n'y a pas de condition formelle pour avoir le droit de s'inscrire à l'examen. Le score de l'examen écrit contribuera à 75% du score final.

**Moyens autorisés** - Les évaluations (tests et examen final) sont open book, c'est-à-dire que vous pouvez consulter toutes les ressources non-électroniques que vous voulez. Vous pouvez aussi utiliser une calculatrice non-graphique.

**Moyen non-autorisé** - Toute interaction avec un autre être humain, sous quelque forme que ce soit.

## Aspects pratiques

### Note finale

Conformément à ce qui est décrit ci-dessus, la note finale du cours est basée pour 25% sur les scores des trois meilleurs tests, et pour 75% du score de l'examen final. De plus, le total final peut être augmenté, en ayant rendu une portion des séries dans un état acceptable et/ou en ayant progressé durant l'année aux scores des tests.

*Exemple de calcul du score final:* Mme A. a rendu 18 séries sur 22 dans un état acceptable. De plus, elle a obtenu les scores suivants (dans l'ordre) aux tests: 11/20, 9/20, 12/20, 13/20. A l'examen final, elle obtient un score de 26/40.

Ses trois meilleurs tests forment un score de 36/60. Comme l'examen final compte pour 75% et les 3 meilleurs tests pour 25%, son score total est de  $\frac{36}{60} \cdot 25 + \frac{26}{40} \cdot 75 = 63.75/100$ .

Ses bonus combinés se montent à 9% (6% grâce aux tests, 3% grâce aux séries d'exercices), ce qui porte son score final à environ 72.75/100 (dans un barème standard, un tel score correspondrait à une note de 4,5).

**Intégrité scientifique** - Tout travail rendu en vue d'une évaluation formelle (qui compte pour la note finale) doit résulter du travail personnel de l'étudiant.e, respectivement d'un groupe d'étudiant.e.s (auquel cas les contributions individuelles doivent être comparables). Les principes concernant le plagiat et l'honnêteté scientifique seront appliqués sans exception.

**Participation** - Une participation active au cours et aux exercices est essentielle pour se familiariser avec la matière et approfondir vos connaissances. C'est pourquoi je vous recommande fortement de participer activement. De plus, vous êtes seul.e.s responsables en cas d'absence, si vous deviez avoir raté une information essentielle ou une échéance annoncée durant un cours.

**Aménagements** - Si pour une raison quelconque vous deviez être dans l'incapacité momentanée ou prolongée de mener à bien votre travail pour ce cours, vous pouvez me le communiquer. Si des aménagements légers peuvent être trouvés, nous pourrions le faire sans problème. Pour des aménagements plus longs ou plus conséquents, le Décanat et/ou votre conseiller.ère aux études est en mesure de vous renseigner.

**Atmosphère** - Tout comportement susceptible de gêner la bonne tenue du cours ou des exercices, ainsi que le travail des autres étudiant.e.s est à éviter.

**Langues** - Conformément aux principes de la Faculté des Sciences et de Médecine, ce cours pratique un bilinguisme actif, c'est-à-dire que chacun.e s'exprime dans sa langue préférée, allemand ou français (ou anglais, le cas échéant), et peut s'attendre à être compris.e dans cette langue.

## **Droits**

**Liberté académique** - Les étudiant.e.s et les enseignant.e.s ont le droit à la liberté académique. En particulier, cela inclut le droit d'exprimer son point de vue et d'initier un débat critique.

**Copyright** - Tous les contenus du cours, ainsi que les productions d'étudiant.e.s (exercices, tests, examens) sont sujets aux règles usuelles concernant le droit d'auteur.

## **Evaluation du cours**

**Feedback durant le semestre** - Vous êtes encouragé.e.s à me contacter ou à contacter Louis ou Damaris si vous deviez avoir des questions ou des incertitudes concernant le cours, les exigences, les conditions de validation, etc. Si pour une quelconque raison vous préférez que votre feedback soit anonyme, vous pouvez par exemple l'imprimer et le déposer à mon intention au secrétariat du Département de Mathématiques (PER 11).

**Evaluation du cours** - Le cours et les exercices seront évalués informellement à différents moments durant l'année, ainsi que formellement par les services de l'université. Ces évaluations sont anonymes, et votre feedback honnête et constructif est hautement apprécié: il permet soit d'infléchir le cours en cours d'année, soit de le modifier pour une année ultérieure.

## **Disclaimer**

Ce document (notamment les données chiffrées, dates et pourcentages) peut être modifié en cours d'année. Le cas échéant, les changements seront annoncés en classe et publiés sur Moodle.

# Annexe C

## Exemples d'évaluations de l'apprentissage

### C.1 Série d'exercices



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG  
UNIVERSITÄT FREIBURG

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES  
DEPARTEMENT FÜR MATHEMATIK

Cours : Dr Matthieu Jacquemet  
Exercices : Damaris Meier, Louis Faul

ANALYSE PROPÉDEUTIQUE  
Vendredi 8 octobre 2021

SÉRIE 3

Fonctions III - Suites et séries I

À rendre sur Moodle avant le mardi 19 octobre, 8h15

EXERCICE 1 (Recap (Individuel - Facultatif - sur Moodle))  
Remplir le questionnaire **Exercice 1** sur Moodle.

EXERCICE 2 (**Krankenkasse**)

Die Krankenkasse ForeverHealthy (FH) bietet die folgenden Prämien/Franchisen für die Grundversicherung an :

Jährliche Franchise [CHF]	300	500	1000	1500	2000	2500
Monatliche Prämie [CHF]	380.85	370.15	342.95	315.75	288.75	261.55

Das Abrechnungssystem sieht folgendermassen aus :

- Die versicherte Person übernimmt die gesamten Krankheitskosten bis zur Höhe der Franchise,
  - Danach trägt sie/er 10% der Kosten als *Selbstbehalt* bis zu einem Maximalbetrag von 700 CHF,
  - Sobald die Franchise und dann der Maximalbetrag des Selbstbehalts erreicht sind, zahlt der Versicherte nichts mehr.
- (a) Bestimmen Sie die Funktion  $C_{300}(f)$ , welche die effektiven Kosten, für die der/die Versicherte der FH-Krankenkasse mit einer Franchise von 300 CHF aufkommen muss, in Abhängigkeit von der jährlichen Summe  $f$  der Arztrechnungen darstellt.
- (b) Stellen Sie die Funktionen  $C_{300}$ ,  $C_{500}$ ,  $C_{1000}$ ,  $C_{1500}$ ,  $C_{2000}$  und  $C_{2500}$  in demselben Koordinatensystem dar.
- (c) Ab welcher jährlichen Gesamtsumme an Arztrechnungen ist es finanziell vorteilhaft, eine Franchise von CHF 1000 zu wählen ? oder von 2500 ?
- (d) Ein Familienmitglied bittet Sie um Rat, welche Prämie sie/er wählen soll. Allerdings hat er/sie in den vergangenen Jahren keine Statistiken über seine/ihre medizinischen Ausgaben geführt. Welchen Rat würden Sie geben und warum ?
- (e) Stellen Sie Hypothesen über die praktischen Gründe für die "Zwischenfranchisen" (500 CHF, 1000 CHF, 1500 CHF, 2000 CHF) auf.

EXERCICE 3 (**Convergence de suites**) (a) Calculer les limites des suites  $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$  suivantes pour les valeurs de  $a_n$  données.

(i)  $a_n = \frac{n^2 - n}{n^2 + 1}$

(iii)  $a_n = \sqrt{10n^2 - 3n} - \sqrt{n^2 + 2n}$

(ii)  $a_n = \frac{1 + e^{-n}}{n^e}$

(iv)  $a_n = \left(\frac{1}{3}\right)^n + 2^n$

(v)  $a_n = 3^{-n} - 4^{-n}$

(b) Pour les cas suivants, illustrer explicitement la convergence, c'est-à-dire, trouver la limite  $L$ , et déterminer le  $N > 0$  tel que pour tout  $n \geq N$ ,  $|a_n - L| < \varepsilon$ , pour la tolérance  $\varepsilon > 0$  donnée.

(i)  $a_n = \frac{1}{\sqrt{n}}$ , tolérance  $\varepsilon = 0.05$ .

(ii)  $a_n = \ln\left(1 + \frac{1}{n}\right)$ , tolérance  $\varepsilon = 0.01$ .

**EXERCICE 4 (Save the Kakapo)**

You are modeling the size of the population of kakapo (a rare flightless parrot) in an island reserve in New Zealand. Here are some facts/assumptions about kakapo :

- Half of the birds are female.
- A female bird lays one egg every four years.
- Because of the large numbers of predators (mostly rats) only 29% of hatchlings survive their first year.
- Kakapo life expectancy is not well understood, but you will assume that they live around 50 years.

You want to use the mathematical model to chose between the two following strategies aimed at increasing kakapo population size :

(Strategy 1) If the kakapo are given supplementary food, then they will breed more frequently. If given supplementary food, then rather than laying an egg every four years, a female will lay an egg every two years.

(Strategy 2) By hand-rearing kakapo chicks, it is possible to increase their one year survival rate from 29% to 75%.

- (a) Find an equation relating the population size  $N_t$  in year  $t$  to the population size  $N_{t+1}$  in the next year.
- (b) Assume that the starting population size on this island is 50 birds. Calculate the predicted population size over the next five years.
- (c) When (if ever) will the population size reach 100 birds? What about 200 birds?
- (d) Derive an expression for  $N_t$  as a function of  $N_0$  and  $t$ .
- (e) Using your above constructed model, decide which strategy is the most efficient (explain your choice!).



## C.2 Corrigé d'une série d'exercices

### AUFGABE 2

(a)

$$C_{300}(f) = \begin{cases} 4570.20 + f & \text{si } 0 \leq f \leq 300, \\ 4840.20 + 0.1 \cdot f & \text{si } 300 < f \leq 7300, \\ 5570.20 & \text{si } 7300 < f. \end{cases} \quad (1)$$

#### Explication:

Que l'assuré ait des frais médicaux ( $f$ ) ou non, il devra de toutes façons payer la prime mensuelle de CHF 380.85 par mois (donc  $380.85 \cdot 12 = 4570.20$  par année). La franchise annuelle est de CHF 300 par année dans le cas qui nous intéresse. Cela signifie que les 300 premiers francs des frais médicaux annuels devront être payés par l'assuré.

Regardons maintenant les différents cas de notre fonction:

**1er Cas:** Les frais médicaux annuels sont inférieurs à CHF 300. Donc l'assuré paie sa prime annuelle de CHF 4570.20 ainsi que tout ses frais médicaux.

**2ème Cas:** Les frais médicaux sont compris entre CHF 300 et CHF 7300. Dans ce cas, la personne paie sa prime annuelle (CHF 4570.20), la franchise de CHF 300 et les 10% du montant restant (qui ne dépasse pas la quote-part de CHF 700). Donc mathématiquement,

$$C_{300}(f) = 4570.20 + 300 + 0.1 \cdot (f - 300) = 4840.20 + 0.1 \cdot f.$$

**3ème Cas:** Les frais médicaux sont de plus de CHF 7300. L'assuré paiera donc la prime annuelle (CHF 4570.20), la franchise de CHF 300 et la quote-part de CHF 700. Tout le reste des frais sera payé par l'assurance.

(b) Les fonctions  $C_{500}, C_{1000}, \dots, C_{2500}$  se calculent d'une manière analogue qu'en (a).

$$C_{500}(f) = \begin{cases} 4441.80 + f & \text{si } 0 \leq f \leq 500, \\ 4891.80 + 0.1 \cdot f & \text{si } 500 < f \leq 7500, \\ 5641.80 & \text{si } 7500 < f. \end{cases} \quad (2)$$

$$C_{1000}(f) = \begin{cases} 4115.40 + f & \text{si } 0 \leq f \leq 1000, \\ 5015.40 + 0.1 \cdot f & \text{si } 1000 < f \leq 8000, \\ 5815.40 & \text{si } 8000 < f. \end{cases} \quad (2)$$

$$C_{1500}(f) = \begin{cases} 3789.00 & \text{si } 0 \leq f \leq 1500, \\ 5139.00 + 0.1 \cdot f & \text{si } 1500 < f \leq 8500, \\ 5989.00 & \text{si } 8500 < f. \end{cases} \quad (2)$$

$$C_{2000}(f) = \begin{cases} 3465.00 + f & \text{si } 0 \leq f \leq 2000, \\ 5265.00 + 0.1 \cdot f & \text{si } 2000 < f \leq 9000, \\ 6165.00 & \text{si } 9000 < f. \end{cases} \quad (3)$$

$$C_{2500}(f) = \begin{cases} 3138.60 + f & \text{si } 0 \leq f \leq 2500, \\ 5388.60 + 0.1 \cdot f & \text{si } 2500 < f \leq 9500, \\ 6338.60 & \text{si } 9500 < f. \end{cases} \quad (3)$$

Voir Graphe 1 pour les graphes résultants.

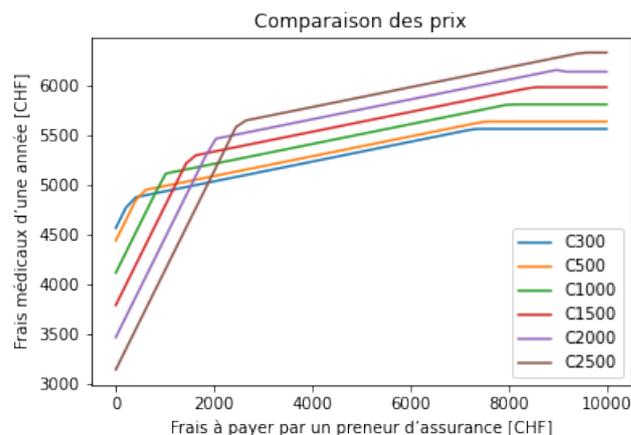


Abbildung 1: Graphes des fonctions  $C_{300}, C_{500}, C_{1000}, C_{1500}, C_{2000}, C_{2500}$

- (c) On remarque directement sur le Graphe 1 que peu importe le montant annuel des frais médicaux  $f$ , l'option la plus avantageuse pour l'assuré(e) est soit  $C_{300}$ , soit  $C_{2500}$ . Ainsi, il n'est jamais plus avantageux (d'un point de vue purement financier) de choisir la franchise à CHF 1000 !

Selon le graphe 1, on peut grossièrement dire que pour des petits frais médicaux, la franchise haute (CHF 2500) est plus avantageuse, alors que pour des frais médicaux élevés, c'est la franchise basse (CHF 300) qui est la plus avantageuse - comme indiqué précédemment, les franchises "intermédiaires" (CHF 500, CHF 1000, CHF 1500, CHF 2000) sont toujours moins avantageuse que l'une de ces deux franchises.

Pour trouver à partir de quel montant annuel  $f$  il est plus avantageux d'avoir souscrit à la franchise à CHF 300, il faut trouver quand  $C_{300}$  et  $C_{2500}$  s'intersectent. Selon le graphe 1, ce montant est un peu inférieur à  $f = 2000$ , c'est pourquoi on doit résoudre l'équation

$$3138.60 + f = 4840.20 + 0.1 \cdot f.$$

La solution s'obtient facilement:  $f \approx 1890.67$  CHF. Ainsi, on conclut que pour  $0 \leq f < 1890.67$ , la franchise à CHF 2500 est la plus avantageuse (et pour  $1890.67 \leq f$  c'est la franchise à CHF 300).

- (d) Selon la discussion en (c), si la personne en question estime que ses frais médicaux annuels sont inférieurs à CHF 1900-2000 (environ ; la valeur exacte est CHF 1890.67), alors il vaut mieux choisir la franchise à CHF 2500. Dans le cas contraire, il vaut mieux choisir la franchise à CHF 300.

On peut encore préciser notre réponse en calculant le risque financier maximal pris en choisissant la "mauvaise" franchise, c'est-à-dire l'écart maximal entre deux fonctions dans le graphe 1:

- Pour  $f$  petit, le pire scénario (financièrement parlant, et pas médicalement parlant !) est celui où  $f = 0$  alors qu'on a choisi la franchise à CHF 300. Dans ce cas, le montant payé "en trop" par rapport à la franchise la plus avantageuse (CHF 2500) est de

$$C_{300}(0) - C_{2500}(0) = 4570.20 - 3138.60 = 1431.60 \text{ CHF.}$$

- Pour  $f$  grand, le pire scénario est celui où  $f > 9500$  (c'est-à-dire on a choisi la franchise à CHF 2500 et dépassé la quote-part). Alors, le montant payé "en trop" par rapport à la franchise la plus avantageuse dans ce cas (CHF 300) est

$$C_{2500}(9500) - C_{300}(9500) = 6338.60 - 5570.20 = 768.40 \text{ CHF.}$$

De la sorte, on peut évaluer le risque financier maximal dans les deux cas (si on a pris une franchise "trop haute" ou "trop basse").

- (e) Les franchises intermédiaires, qui sont moins avantageuses que les deux franchise "extrêmes" (CHF 300 et CHF 2500) permettent aux personnes qui n'ont pas les moyens de faire face à une facture de CHF 2500 (montant de la franchise "élevée") de pouvoir décider de scénarii intermédiaires en fonction de leurs moyens.

Une stratégie imaginable pour pallier à cet inconvénient *pour quelqu'un ayant relativement peu (moins de CHF 1890.67, cf. (c)) de frais médicaux annuels* pourrait être de souscrire à la franchise à CHF 2500, tout en "bloquant" chaque mois l'économie de prime réalisée par rapport à la prime pour la franchise à CHF 300 (c'est-à-dire CHF 119.10) sur un compte en banque dédié, jusqu'à atteindre le montant de sa franchise (CHF 2500). C'est un processus qui serait alors relativement long (21 mois).

Le risque pris est d'avoir une facture importante à payer durant ce laps de temps. Cependant, une fois cette "réserve" constituée, la situation serait ensuite optimale.

### AUFGABE 3

- (a) (i) Bemerke vorerst, dass

$$a_n = \frac{n^2 - n}{n^2 + 1} = \frac{n^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right)}{n^2 \left(1 + \frac{1}{n^2}\right)} = \frac{1 - \frac{1}{n}}{1 + \frac{1}{n^2}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{n^2}} - \frac{\frac{1}{n}}{1 + \frac{1}{n^2}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{n^2}} - \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{n^2}}$$

Falls also  $b_n = \frac{1}{1 + \frac{1}{n^2}}$  und  $c_n = \frac{1}{n}$ , so folgt  $a_n = b_n - c_n \cdot b_n$ . Bemerke

$$\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{1 + \frac{1}{n^2}} = \frac{1}{1 + 0} = 1 \quad \text{und} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} c_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0.$$

Man hat mit der Produkt- und Subtraktionsregel zur Berechnung für Grenzwerte, dass

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n - \lim_{n \rightarrow \infty} c_n \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \underbrace{1}_{=1} - \underbrace{0}_{=0} \cdot \underbrace{1}_{=1} = 1.$$

- (ii) Wir schreiben zunächst

$$a_n = \frac{1 + e^{-n}}{n^e} = \frac{1}{n^e} + \frac{e^{-n}}{n^e} = \frac{1}{n^e} + \frac{1}{e^n} \cdot \frac{1}{n^e}.$$

Falls also  $b_n = \frac{1}{n^e} = \left(\frac{1}{n}\right)^e$  und  $c_n = \frac{1}{e^n} = \left(\frac{1}{e}\right)^n$ , so folgt  $a_n = b_n + c_n \cdot b_n$ . Wir wissen aus der Vorlesung, dass  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$ . Es folgt nun

$$\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n}\right)^e = \underbrace{\left(\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n}\right)^e}_{=0} = 0$$

Weiter ist die Folge  $c_n$  eine geometrische Folge und konvergiert gegen 0, da  $|\frac{1}{e}| < 1$ .

$$\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^e} = 0 \quad \text{und} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} c_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{e^n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{e}\right)^n = 0.$$

Man hat mit der Produkt- und Subtraktionsregel zur Berechnung für Grenzwerte, dass

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n + \lim_{n \rightarrow \infty} c_n \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \underbrace{0}_{=0} + \underbrace{0}_{=0} \cdot \underbrace{0}_{=0} = 0.$$

(iii) Bemerke, dass für alle  $n \in \mathbb{N}$  gilt

$$10n^2 - 3n \geq 10n^2 \quad \text{und} \quad n^2 + 2n \leq n^2 + 2n + 1 = (n+1)^2$$

also folgt da die Wurzelfunktion monoton steigend ist, dass

$$\begin{aligned} a_n &= \sqrt{10n^2 - 3n} - \sqrt{n^2 + 2n} \\ &\geq \sqrt{10n^2} - \sqrt{(n+1)^2} \\ &= \sqrt{10}n - n - 1 = (\sqrt{10} - 1)n - 1. \end{aligned}$$

Man kann berechnen, dass  $\sqrt{10} > 3$  und daher gilt für alle  $n \geq 1$

$$a_n > n.$$

Da die Folge  $b_n = n$  divergiert, ist auch  $a_n$  divergent.

(iv) Die Folgen  $b_n = \left(\frac{1}{3}\right)^n > 0$  und  $c_n = 2^n > 0$  sind beides geometrische Folgen. Da jedoch  $2 > 1$  konvergiert die Folge  $c_n$  nicht. Dies kann man auch daran erkennen, dass  $2^n > n$  für alle  $n \in \mathbb{N}$ . Somit gilt auch  $a_n > n$  und die Folge  $a_n$  ist divergent.

(v) Wir schreiben  $a_n = b_n + c_n$ , wobei  $a_n = \frac{1}{3^n} = \left(\frac{1}{3}\right)^n$  und  $b_n = \frac{1}{4^n} = \left(\frac{1}{4}\right)^n$ . Beide Folgen sind geometrisch und es gilt  $\left|\frac{1}{3}\right| < 1$  und  $\left|\frac{1}{4}\right| < 1$ . Die Subtraktionsregel liefert, dass

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{3^n} - \frac{1}{4^n} \right) = \underbrace{\lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{3} \right)^n}_{=0} - \underbrace{\lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{4} \right)^n}_{=0} = 0.$$

(b) (i) Wir haben

$$L = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{n}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^{1/2}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{n} \right)^{1/2} = \underbrace{\left( \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \right)^{1/2}}_{=0} = 0$$

und suchen demnach  $N \in \mathbb{N}$ , so dass

$$|a_n - L| < \varepsilon \iff \left| \frac{1}{\sqrt{n}} - 0 \right| < 0.05 \iff \frac{1}{\sqrt{n}} < 0.05$$

für jedes  $n \geq N$  gilt. Die letzte Ungleichung lässt sich umformen zu

$$20 < \sqrt{n} \iff n > 20^2 = 400$$

und gilt für  $n = 401, 402, 403, 404, \dots$ , wie man leicht verifiziert. Wir wählen demnach  $N = 401$ .

(ii) Für sehr grosses  $n$  ist der Ausdruck  $\frac{1}{n}$  im Argument von  $\ln(\cdot)$  beinahe 0, weswegen wir

$$L = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \ln(1+0) = 0$$

vermuten. Wir möchten hier also wissen, ab welchem  $N \in \mathbb{N}$  die Ungleichungen

$$|a_n - L| < \varepsilon \iff \left| \ln \left( 1 + \frac{1}{n} \right) - 0 \right| < 0.01 \iff \ln \left( 1 + \frac{1}{n} \right) < 0.01$$

gelten. Da die Exponentialfunktion  $\exp: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  strikt monoton steigend ist, i.e.  $\exp(x) < \exp(y)$  für jedes  $x, y \in \mathbb{R}$  mit  $x < y$  gilt, folgt aus der letzten Ungleichung oben

$$\begin{aligned} \exp \left( \ln \left( 1 + \frac{1}{n} \right) \right) < \exp(0.01) &\iff 1 + \frac{1}{n} < \exp(0.01) \\ &\iff \frac{1}{\exp(0.01) - 1} < n. \end{aligned}$$

Weil  $(\exp(0.01) - 1)^{-1} \approx 99.5$ , ist die letzte Ungleichung für  $n = 100, 101, 102, 103, \dots$  erfüllt. Man wählt hier also  $N = 100$ .

AUFGABE 4

(a) Denote by  $N_t$  the population size at the end of the year  $(t - 1, t]$ . Then we have that

- the number of female birds is  $0.5 \cdot N_t$ ,
- a female bird lays an egg every 4 years or equivalently, that  $\frac{1}{2}$  of the female population lays an egg in the year  $(t, t + 1]$ , hence  $0.125 \cdot N_t$  eggs are laid,
- 29% of the hatchlings survive the year  $(t, t + 1]$ , hence the population increases by  $0.03625 \cdot N_t$  young birds,
- the population decreases by  $\frac{N_t}{50} = 0.02 \cdot N_t$  birds that die of old age, since we may assume that the age of the kakapo population is uniformly distributed.

Therefore, the number of kakapo at the end of the year  $(t, t + 1]$  is given by

$$N_{t+1} = N_t + 0.03625 \cdot N_t - 0.02 \cdot N_t = 1.01625 \cdot N_t. \quad (4)$$

(b) Let us assume that  $N_0 = 50$ . Using formula (4) recursively, we calculate that

$$\begin{aligned} N_1 &= 1.01625 \cdot N_0 = 1.01625 \cdot 50 &= 50.8125 \approx 51, \\ N_2 &= 1.01625 \cdot N_1 = 1.01625 \cdot 50.8125 \approx 51.6382 \approx 52, \\ N_3 &= 1.01625 \cdot N_2 = 1.01625 \cdot 51.6382 \approx 52.4773 \approx 52, \\ N_4 &= 1.01625 \cdot N_3 = 1.01625 \cdot 52.4773 \approx 53.3301 \approx 53, \\ N_5 &= 1.01625 \cdot N_4 = 1.01625 \cdot 53.3301 \approx 54.1967 \approx 54. \end{aligned}$$

(c) By repeating the process in (b) (e.g. with a calculator), one finds that the kakapo population  $N_t$  is at least 100 after  $t = 44$  iterations; and at least 200 after  $t = 87$  iterations. This procedure is of course quite tiresome and we provide a faster method to find these numbers in the solution for the next subexercise. One could also use the following code in Python:

```
[1]: N = 50
     i = 0
     a = 1.01625

     while N < 100:
         N = a*N
         i+=1

     print(i)

44
```

(d) Using formula (4) inductively  $t$  times for  $N_t$ , we are able to write

$$\begin{aligned} N_t &= 1.01625 \cdot N_{t-1} = 1.01625 \cdot (1.01625 \cdot N_{t-2}) = 1.01625^2 \cdot N_{t-2} \\ &= 1.01625^3 \cdot N_{t-3} = \dots = 1.01625^t \cdot N_0. \end{aligned}$$

The first answer to (c) can now be found quite efficiently by considering

$$1.01625^t \cdot 50 \geq 100 \iff 1.01625^t \geq 2 \iff t = \frac{\ln(2)}{\ln(1.01625)} \approx 43.00085 > 43,$$

which tells us again that the population surpasses the size of 100 for  $t = 44$ . Similarly, one can check the answer to when the population reaches at least 200 by the same method.

Lastly, since the model for  $N_t$  is an exponential one, any population size (no matter how big) will be attained sooner or later. However, the growth factor is quite close to 1, implying that the smallest perturbation of the influencing parameters could render this factor smaller than 1 and the population would start to diminish.

- (e) Analogous to (a), we are going to construct new models for each strategy. Let  $N_t$  be again the population size at the end of the year  $(t - 1, t]$ .

**Strategy 1:** The same hypotheses as before hold with the only exception being that a female bird now lays an egg every second year. We therefore have

$$N_{t+1} = N_t + (0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.29 \cdot N_t) - 0.02 \cdot N_t = (1 + 0.0725 - 0.02) \cdot N_t = 1.0525 \cdot N_t$$

and hence

$$N_t = 1.0525^t \cdot N_0.$$

**Strategy 2:** Here, we assume that we can only alter the chances of survival for hatchlings from 29% to 75%. One obtains

$$N_{t+1} = N_t + (0.5 \cdot 0.25 \cdot 0.75 \cdot N_t) - 0.02 = (1 + 0.09375 - 0.02) \cdot N_t = 1.07375 \cdot N_t$$

and thus

$$N_t = 1.07375^t \cdot N_0.$$

We observe that the growth factor of strategy 2 is bigger than the respective ones of strategy 1 and the initial model, so one should pursue this strategy as the best way to increase the kakapo population. However, the growth factor of strategy 1 is still bigger than the one of the initial model, thus the first strategy could also provide a viable solution.

## C.3 Contrôle continu (test)



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG SUISSE  
UNIVERSITÄT FREIBURG SCHWEIZ

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES



Cours : Dr Matthieu Jacquemet  
Exercices : Damaris Meier

ANALYSE PROPÉDEUTIQUE  
Jeudi 7 avril 2022

TEST 3

**Equations différentielles**

*Durée: 45 minutes*

- Moyens autorisés : tout document papier, ainsi qu'une calculatrice non graphique
- Ecrire lisiblement et de manière structurée
- Justifier votre raisonnement dans les Exercices 2 et 3. Les réponses sans justification ne donnent pas beaucoup de points.
- Ce document contient 3 exercices répartis sur 5 côtés de pages. N'oubliez pas de lire au verso des pages.
- Ce document comprend une page supplémentaire laissée vide si vous deviez avoir besoin de plus d'espace.
- Par votre signature, vous certifiez que vous avez effectué cette évaluation vous-mêmes (sans apport extérieur), et que vous avez conscience qu'un plagiat ou une tentative de plagiat entrainera un score de 0 à cette évaluation.

Prénom	
Nom	
Numéro d'étudiant.e	
Signature	

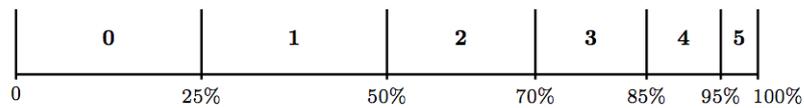
Exercice	1	2	3	Total
Score				



This message is brought to you by MaurerRo

EXERCICE 1 (10 pts)

Dans cet exercice, on vous demande d'estimer votre degré de certitude. Veuillez utiliser l'échelle suivante :



Chaque question sera notée selon le barème suivant :

		Degrés de certitude					
		0	1	2	3	4	5
Réponse	Correcte	+13	+16	+17	+18	+19	+20
	Incorrecte	+4	+3	+2	0	-6	-20

Le score de l'exercice sera calculé comme suit :

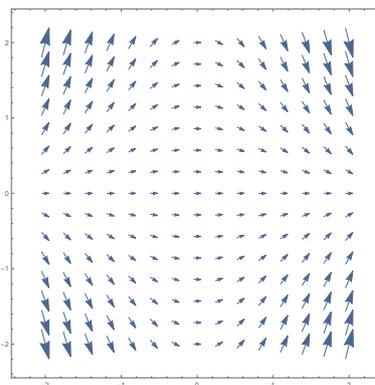
$$\text{Score} = \max \left\{ 0, \frac{\text{total des points}}{10} \right\}.$$

Remplir la table suivante en inscrivant pour chaque question votre réponse ainsi que votre degré de certitude (sans justification) :

Question	1	2	3	4	5
Réponse					
Degré de certitude					

Questions

1. L'équation différentielle ayant le champs de direction



est...

- A.  $y' = y^2$ .
- B.  $y' = e^{t^2}$ .
- C.  $y' = -ty$ .
- D.  $y' = \sin(t) \cos(y)$ .
- E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
- F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
- G. Il manque une information dans l'énoncé.
- H. L'énoncé est incohérent.

2. Une solution de l'équation différentielle  $y' = y e^t$  est...

- A.  $y(t) = t$ .
- B.  $y(t) = e^t$ .
- C.  $y(t) = \ln(t)$ .
- D.  $y(t) = e^{e^t}$ .
- E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
- F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
- G. Il manque une information dans l'énoncé.
- H. L'énoncé est incohérent.

3. Si une équation différentielle linéaire à coefficients constants homogène a le polynôme caractéristique

$$p(\lambda) = (\lambda + 2)^3,$$

alors elle admet la solution...

- A.  $y(t) = t^3 e^{-2t}$ .
- B.  $y(t) = t^3 e^{2t}$ .
- C.  $y(t) = t^2 e^{-2t}$ .
- D.  $y(t) = t^2 e^{2t}$ .
- E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
- F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
- G. Il manque une information dans l'énoncé.
- H. L'énoncé est incohérent.

4. L'équation différentielle d'ordre 4 donnée par  $y^4 - 3y^3 + 2y^2 - y = \cos(t)$ ...

- A. est homogène.
- B. admet une solution constante.
- C. est à coefficients constants.
- D. est linéaire.
- E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
- F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
- G. Il manque une information dans l'énoncé.
- H. L'énoncé est incohérent.

5. Soient  $x(t)$ ,  $y(t)$  et  $z(t)$  les populations de trois espèces, dont les dynamiques sont données par le système

$$\begin{cases} x' &= 2x - xz \\ y' &= 3y + 6xy \\ z' &= -z + 8xz \end{cases} .$$

Alors...

- A. l'espèce  $x$  prospère au contact de l'espèce  $y$ .
- B. l'espèce  $y$  prospère au contact de l'espèce  $x$ .
- C. l'espèce  $x$  prospère au contact de l'espèce  $z$ .
- D. l'espèce  $z$  prospère au contact de l'espèce  $y$ .
- E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
- F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
- G. Il manque une information dans l'énoncé.
- H. L'énoncé est incohérent.

EXERCICE 2 (10 pts)(a) Donner une équation différentielle d'ordre 1 contenant  $\sin(t)$  et qui soit

- (i) linéaire mais pas séparable.
- (ii) séparable mais pas linéaire.
- (iii) linéaire et séparable.
- (iv) ni linéaire, ni séparable.

(b) *Sans chercher son polynôme caractéristique et sans écrire cette équation*, donner la solution générale de l'équation différentielle linéaire à coefficients constants homogène d'ordre minimal qui admet la solution

$$y = 2x^2e^{-x} - 7x \cos(3x)e^{2x}.$$

Justifier votre démarche.

(c) Soit l'équation différentielle inhomogène

$$y''' + 4y' = \cos(2x) + 5.$$

- (i) Donner la solution générale de l'équation homogène associée.
- (ii) Ecrire l'Ansatz pour une solution particulière à cette équation (*sans ensuite rechercher cette solution particulière !*).

EXERCICE 3 (10 pts)

Soit  $K(t)$  le nombre d'étudiant.e.s au sein de l'Université de Fribourg qui connaissent l'existence des kakapos.

- (a) Expliquer pourquoi  $K$  obéit à l'équation différentielle

$$K' = C \cdot K \cdot (P - K),$$

où  $P$  est le nombre total d'étudiant.e.s à UniFR et  $C$  est une constante réelle.

- (b) Résoudre l'équation différentielle de (a).

On suppose pour le reste de l'exercice qu'il y a en tout 10000 étudiant.e.s à l'Université de Fribourg. On fixe le temps  $t = 0$  (exprimé en jours) à la veille de la deadline pour la Série 4 d'Analyse Propédeutique. A ce moment-là, 250 étudiant.e.s découvrent l'existence des kakapos, et on suppose qu'aucun.e autre étudiant.e d'UniFR ne connaissait leur existence avant ce moment.

- (c) Donner la fonction  $K(t)$  qui modélise la situation décrite ci-dessus.
- (d) Dix jours après la deadline de la Série 4 d'Analyse Propédeutique, 1000 étudiant.e.s d'UniFR connaissent l'existence des kakapos. Combien d'étudiant.e.s connaissent l'existence des kakapos au temps  $t = 20$  ?  
*Pour cette partie, vous pouvez sans problème donner les nombres sous forme "brute" (c'est-à-dire que vous ne devez pas donner une réponse numérique explicite, par exemple si vous n'avez pas de calculatrice).*

## C.4 Grille d'évaluation d'un test

### Test 3 - Grille d'évaluation

Principes généraux :

- Faire ce test en 45 minutes est un exercice compliqué. C'est pourquoi les fautes de calcul, de frappe ou de copie ne doivent pas pénaliser l'étudiant.e.
- Il n'est pas attendu que les étudiant.e.s écrivent toutes les justifications en détail avec référence au théorème correspondant pour chaque ligne. Les grands théorèmes doivent être mentionnés (typiquement ceux qui nécessitent de vérifier des hypothèses spécifiques), mais pas toutes les règles de calcul et autres technicités.
- Quand on demande d'esquisser un graphe, on s'attend à voir un comportement général correct (asymptotes, croissances, zéros, etc) d'un point de vue qualitatif. Les détails ne sont pas nécessaire. De même si l'étudiant ne fait que "relier des points", ça n'est pas satisfaisant : le but est de savoir qualitativement ce que fait la courbe.
- Si vous voyez que l'étudiant.e a compris la question et a une idée de comment la résoudre (même si ce n'est pas la manière décrite ici ou la manière la plus rapide), l'étudiant.e devrait alors recevoir au moins la moitié des points liés à la question.
- Si vous hésitez entre attribuer les points ou ne pas le faire, attribuez-les systématiquement. Vous devriez ne pas attribuer les points seulement si vous êtes certains que clairement l'objectif n'est pas atteint.
- Les points bonus pour structure et argumentation (Ex2+3) sont là pour être attribués. Donc si vous avez l'impression que compte tenu du contexte la solution est claire et bien argumentée (pas forcément tous les détails explicités, mais la réflexion essentielle est là), attribuez le bonus.

#### EXERCICE 1

Cf. explications sur la donnée du test.

#### EXERCICE 2

2-3.5-4.5 pts, répartis comme suit :

- (a) 0.5pt/item (pas de justification demandée)
- (b) Identifier le bon générateur pour  $e^{-x}$  : 0.5pt  
Faire le lien avec la multiplicité (donc la puissance  $x^j$ ) : 0.5pt  
On a  $j = 0, 1, 2$  (c'est-à-dire multiplicité  $m = 3$ , implicitement) : 0.5pt  
Identifier les paires de générateurs  $e^{2x} \cos(3x)$  et  $e^{2x} \sin(3x)$  : 0.5pt  
Faire le lien avec la multiplicité (donc la puissance  $x^j$ ) : 0.5pt  
On a  $j = 0, 1$  (c'est-à-dire multiplicité  $m = 2$ , implicitement) : 0.5pt  
Répondre à la question : donner la solution générale, avec les constantes : 0.5pt  
(Remarque : tenter de calculer le polynôme caractéristique etc, ne ramène pas de point, sauf si ça montre la compréhension d'un des aspects mentionnés ci-dessus).
- (c) (i) Factoriser le polynôme caractéristique : 0.5pt  
Déduire les bons générateurs et la solution générale : 2x 0.5pt  
(ii) Identifier correctement qu'il y a 2 parties : 0.5pt  
Pour la partie  $\cos(2x)$ , identifier que ça correspond au facteur  $\lambda^2 + 4$  de  $p(\lambda)$  : 0.5pt  
Bien utiliser la multiplicité : 0.5pt  
Générer le bon Ansatz  $y_{p1}$  : 0.5pt

Pour la partie 5, utiliser correctement le théorème pour générer un Ansatz  $y_{p2}$  correspondant : 0.5pt

Répondre à la question : donner l'Ansatz complet  $y_p = y_{p1} + y_{p2}$  explicitement : 0.5pt

Bonus pour structure et argumentation : +0.5 pt par item (donc maximum +1.5 pt en tout).

### EXERCICE 3

2-3-2-3, répartis comme suit :

- (a) Expliquer la présence de  $K$  et  $P - K$  en termes de populations respectives : 0.5pt  
Expliquer la présence de  $C$  d'une manière ou d'une autre : 0.5pt  
Expliquer la signification de la multiplication  $C \cdot K \cdot (P - K)$  : 0.5pt  
Expliquer le lien avec la dérivée  $K'$  : 0.5pt
- (b) Voir qu'elle est séparable : 0.5pt  
Trouver les solutions constantes : 0.5pt  
Séparer correctement : 0.5pt  
Intégrer des deux côtés correctement : 0.5pt+0.5pt  
Isoler  $K(t)$  explicitement : 0.5pt
- (c) Utiliser correctement les données pour interpréter  $P$  : 0.5pt  
Utiliser  $K(0)$  pour déduire  $\alpha$  : 0.5pt+0.5pt  
Conclure : donner  $K(t)$  en ayant implémenté  $P$  et  $\alpha$  : 0.5pt
- (d) Implémenter  $K(10)$  pour établir une équation : 0.5pt  
Calculer et déduire la valeur de  $C$  : 0.5pt+0.5pt  
Ré-injecter cette valeur dans  $K(t)$  : 0.5pt  
Calculer  $K(20)$  et simplifier un minimum le résultat (pas forcément jusqu'au bout, mais pas non plus poser l'équation littérale sans évaluer avec des nombres) : 0.5pt+0.5pt

Bonus pour structure et argumentation pour (c)-(d) : +0.5 pt par item (donc maximum +1 pt en tout).



Dr Matthieu Jacquemet

ANALYSE PROPÉDEUTIQUE

EXAMEN FINAL - 17 JUIN 2022

*Durée: 90 minutes*

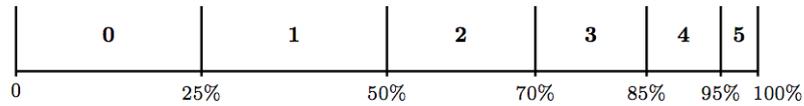
- Ce document contient 14 pages. Les exercices 6 et 7 sont des exercices bonus.
- Moyens autorisés : Tout document relatif au cours (notes personnelles, script du cours, séries d'exercices, corrigés des séries d'exercices), ainsi que toute autre ressource liée au contenu du cours (livre de référence, résumés, etc).  
 Calculatrice non-graphique autorisée, mais pas forcément utile.  
 Pour les personnes de langue maternelle autre que le français ou l'allemand, un dictionnaire ou un traducteur est autorisé.  
**Moyens non autorisés** : toute interaction, directe ou indirecte, avec un être humain, sous toute forme qu'elle soit, ainsi que tout appareil électronique autre qu'une calculatrice non-graphique.
- Ecrire lisiblement et de manière structurée.
- Justifier votre raisonnement dans les Exercices 2-3-4-5 (et 6-7, si vous choisissez de les faire). Les réponses sans justification ne donnent pas beaucoup de points.
- Par votre signature, vous certifiez que vous avez effectué cette évaluation vous-mêmes (sans apport extérieur), et que vous avez conscience qu'un plagiat ou une tentative de plagiat seront annoncés au rectorat et entraîneront des conséquences pouvant aller jusqu'à une procédure disciplinaire.
- Veuillez écrire vos solutions uniquement sur ce document.

Prénom	
Nom	
Numéro d'étudiant.e	
Signature	

Exercice	1	2	3	4	5	6	7	Total
Score								

EXERCICE 1 (20 pts)

Dans cet exercice, on vous demande d'estimer votre degré de certitude. Veuillez utiliser l'échelle suivante :



Chaque question sera notée selon le barème suivant :

		Degrés de certitude					
		0	1	2	3	4	5
Réponse	Correcte	+13	+16	+17	+18	+19	+20
	Incorrecte	+4	+3	+2	0	-6	-20

Le score de l'exercice sera calculé comme suit :

$$\text{Score} = \max \left\{ 0, \frac{\text{total des points}}{10} \right\}.$$

Donner vos réponses ainsi que le degré de certitude respectif (sans justification) dans la table suivante :

Question	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Réponse										
Degré de certitude										

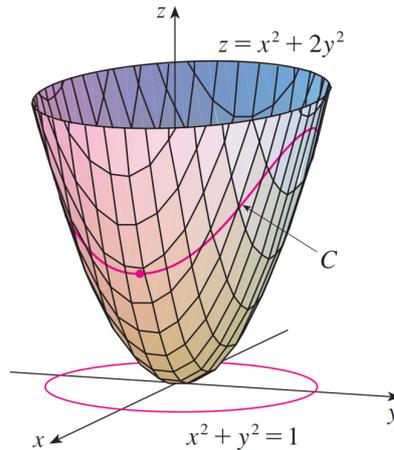
**Questions**

1. Soient  $f(x) = x^2 - 1$  et  $g(x) = \sqrt{x} + 2$ . Alors...

- A.  $g \circ f = f \circ g$ .
- B.  $(f \circ g)(x) = x + 3$ .
- C.  $(g \circ f)(x) = \sqrt{x^2 + 1}$ .
- D.  $D_{g \circ f} = \mathbb{R} \setminus ]-1, 1[$ .
- E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
- F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
- G. Il manque une information dans l'énoncé.
- H. L'énoncé est incohérent.

2. Soit  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  une fonction continue et soit  $[a, b] \subset \mathbb{R}$ . Alors...
- si  $f(a) = f(b)$ , alors  $f|_{[a,b]}$  est constante.
  - la fonction  $f|_{[a,b]}$  possède un maximum et un minimum.
  - pour  $x_0 \in [a, b]$ , si  $f'(x_0) = 0$ , alors  $(x_0, f(x_0))$  est un extremum de  $f|_{[a,b]}$ .
  - si  $f$  n'est **pas** dérivable en  $x_0 \in [a, b]$ , alors  $(x_0, f(x_0))$  n'est **pas** un extremum de  $f|_{[a,b]}$ .
  - Toutes les propositions A-D sont correctes.
  - Aucune des propositions A-D n'est correcte.
  - Il manque une information dans l'énoncé.
  - L'énoncé est incohérent.
3. L'équation  $y' = (t - y)(t + y) + y^2 \dots$
- est linéaire et séparable.
  - est linéaire mais **pas** séparable.
  - est séparable mais **pas** linéaire.
  - n'est **ni** linéaire, **ni** séparable.
  - Toutes les propositions A-D sont correctes.
  - Aucune des propositions A-D n'est correcte.
  - Il manque une information dans l'énoncé.
  - L'énoncé est incohérent.
4. Une équation différentielle d'ordre 3 linéaire homogène à coefficients constants a toujours une solution de la forme...
- $c e^{\alpha t}$ , avec  $\alpha, c \in \mathbb{R}$ .
  - $c \sin(\beta t)$ , avec  $\beta, c \in \mathbb{R}$ .
  - $c e^{\alpha t} \sin(\beta t)$ , avec  $\alpha, \beta, c \in \mathbb{R}$ .
  - $c R(t) \cos(\beta t)$ , avec  $\beta, c \in \mathbb{R}$  et  $R(t)$  un polynôme.
  - Toutes les propositions A-D sont correctes.
  - Aucune des propositions A-D n'est correcte.
  - Il manque une information dans l'énoncé.
  - L'énoncé est incohérent.
5. L'équation logistique  $N' = rN \left(1 - \frac{N}{k}\right)$ ,  $r \in \mathbb{R}$ ,  $k > 0$ , possède toujours...
- exactement deux équilibres.
  - des solutions croissantes.
  - des solutions constantes.
  - des solutions décroissantes.
  - Toutes les propositions A-D sont correctes.
  - Aucune des propositions A-D n'est correcte.
  - Il manque une information dans l'énoncé.
  - L'énoncé est incohérent.

6. L'image



illustre...

- A. la dérivée directionnelle.
  - B. la règle de la chaîne.
  - C. le théorème de Taylor.
  - D. les multiplicateurs de Lagrange.
  - E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
  - F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
  - G. Il manque une information dans l'énoncé.
  - H. L'énoncé est incohérent.
7. Le domaine de définition de la fonction  $f(x, y) = 1 + \sqrt{4 - x^2y^2}$  est ... et son domaine image est ...
- A.  $D_f = \{x^2 + y^2 \leq 4\} / \text{Im}(f) = [1, 3]$
  - B.  $D_f = \{x^2 + y^2 \leq 4\} / \text{Im}(f) = \mathbb{R} \setminus [-2, 2]$
  - C.  $D_f = [-2, 2] \times [-2, 2] / \text{Im}(f) = [1, 3]$
  - D.  $D_f = [-2, 2] \times [-2, 2] / \text{Im}(f) = \mathbb{R} \setminus [-2, 2]$
  - E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
  - F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
  - G. Il manque une information dans l'énoncé.
  - H. L'énoncé est incohérent.
8. Si  $f(x, y, z) = xy \sin z$  et si  $x = st^2$ ,  $y = 4s^2t$  et  $z = t - s$ , alors  $\frac{\partial}{\partial s} f(s, t) = \dots$
- A.  $2st + 8st - 1$ .
  - B.  $st^2 \sin(t - s) + 4s^2t \sin(t - s) + 4s^3t^3$ .
  - C.  $4s^2t^3 \sin(t - s) + 8s^2t^3 \sin(t - s) - 4s^3t^3 \cos(t - s)$ .
  - D. C'est impossible car  $f(x, y, z)$  a 3 variables mais  $f(s, t)$  n'en a que 2.
  - E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
  - F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
  - G. Il manque une information dans l'énoncé.
  - H. L'énoncé est incohérent.

9. Soient  $f, g : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  deux fonctions dérivables et soit  $C := \{f(\vec{x}) = 15\}$ . Alors...

- A. si  $\vec{a}$  est un extremum de  $f$  sous la contrainte  $C$ , alors  $\vec{\nabla} f(\vec{a})$  est parallèle à  $\vec{\nabla} g(\vec{a})$ .
- B. si  $\vec{a}$  est un extremum de  $g$  sous la contrainte  $C$ , alors  $\vec{\nabla} f(\vec{a})$  est parallèle à  $\vec{\nabla} g(\vec{a})$ .
- C. si  $\vec{a}$  est un extremum de  $f$  sous la contrainte  $C$ , alors  $g(\vec{a}) = 15$ .
- D. si  $\vec{a}$  est un extremum de  $g$  sous la contrainte  $C$ , alors  $g(\vec{a}) = 15$ .
- E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
- F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
- G. Il manque une information dans l'énoncé.
- H. L'énoncé est incohérent.

10. L'égalité

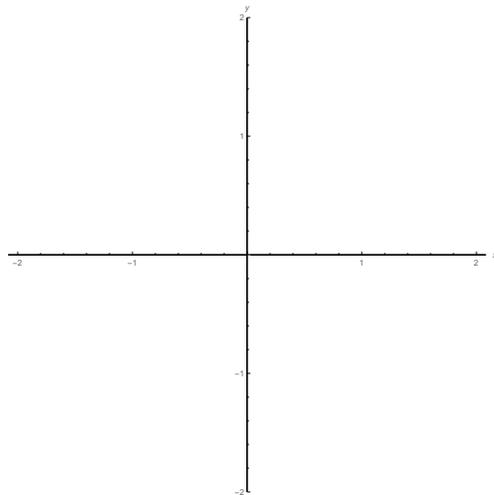
$$\int_1^2 \int_3^4 x^2 e^y dy dx = \int_1^2 x^2 dx \cdot \int_3^4 e^y dy$$

est...

- A. vraie.
- B. fausse, car la fonction  $f(x, y) = x^2 e^y$  dépend de  $x$  et  $y$ .
- C. fausse, car on intègre sur le rectangle  $[1, 2] \times [3, 4]$ .
- D. fausse, car on ne sait pas si les bornes 1 et 2 sont celles de  $x$  ou de  $y$ .
- E. Toutes les propositions A-D sont correctes.
- F. Aucune des propositions A-D n'est correcte.
- G. Il manque une information dans l'énoncé.
- H. L'énoncé est incohérent.

EXERCICE 2 (10 pts)(a) Soit l'équation différentielle  $y' = y^3 - y$ .

(i) Esquisser le champs de directions de l'équation dans la zone  $[-2, 2] \times [-2, 2]$ .



(ii) Pour quelle(s) valeur(s) de  $c \in \mathbb{R}$  la condition initiale  $y(0) = c$  donne-t-elle une solution  $y(t)$  telle que  $\lim_{t \rightarrow +\infty} y(t) = L$  existe et est finie? Quelle est (sont) alors la (les) valeur(s) de  $L$ ? Justifier.

(b) (i) Calculer l'intégrale

$$\int \frac{\ln(x)}{x} dx$$

en utilisant une substitution.

(ii) Résoudre le problème initial

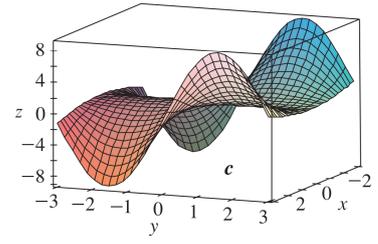
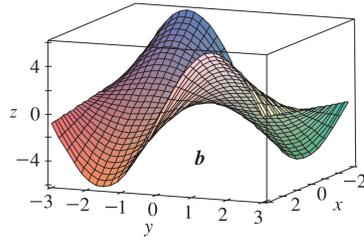
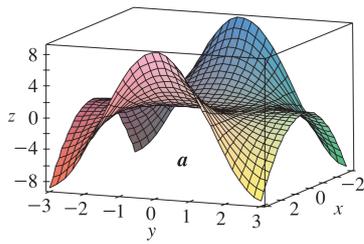
$$\begin{cases} y' = \frac{y \ln(t)}{t} \\ y(1) = 2 \end{cases} .$$

(c) Soit l'équation différentielle  $y'' + 3y' - 4y = 2e^t + 4t^2$ .

(i) Donner la solution générale de l'équation homogène associée.

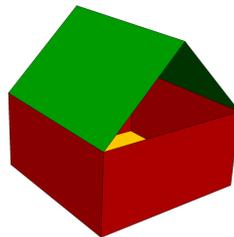
(ii) Donner l'Ansatz pour une solution particulière de cette équation. Ne **pas** chercher ensuite cette solution particulière!

EXERCICE 3 (10 pts)(a) Les figures suivantes représentent les graphes des fonctions  $f(x, y)$ ,  $\frac{\partial}{\partial x}f(x, y)$  et  $\frac{\partial}{\partial y}f(x, y)$  (pas forcément dans cet ordre) :



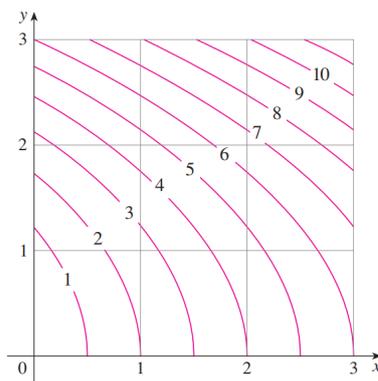
Dire quelle figure  $a$ ,  $b$ ,  $c$  correspond à quelle fonction  $f(x, y)$ ,  $\frac{\partial}{\partial x}f(x, y)$ ,  $\frac{\partial}{\partial y}f(x, y)$ . Expliquer votre démarche.

(b) On aimerait construire une petite cabane en carton avec 4 panneaux rectangulaires de taille  $x \times y$  (pour les 4 murs) et 3 panneaux carrés de taille  $x \times x$  (un pour le sol, et les 2 autres pour le toit), comme sur la figure suivante :



On aimerait que le volume de la base de la cabane (en rouge) soit 1.5, et on aimerait utiliser la surface totale de carton la plus petite possible (pour minimiser la masse totale). Calculer cette surface minimale et donner les dimensions qui la réalisent.

(c) Des courbes de niveau pour la fonction continue  $f$  sont données sur la figure suivante :



En découpant la région  $R = [0, 3] \times [0, 3]$  en 9 rectangles (comme dessiné en gris sur la figure), estimer la valeur de  $\iint_R f(x, y) dA$ . Expliquer votre démarche.

EXERCICE 4 (10 pts)

On désigne par  $I(t)$  la population d'une espèce d'insecte au temps  $t$ .

- (a) Expliquer pourquoi la croissance de la population  $I$  est a priori donnée par l'équation différentielle  $I' = \alpha I$ .

L'espèce  $I$  est nuisible pour certaines cultures de céréales. On aimerait introduire dans l'écosystème une population  $P(t)$  d'une espèce prédatrice de  $I$ . On décrit à l'aide du système

$$\begin{cases} I' &= \alpha I + \beta IP \\ P' &= \gamma P + \delta IP \end{cases}$$

la dynamique entre l'espèce d'insecte et son espèce prédatrice.

- (b) Expliquer les rôles des paramètres  $\alpha, \beta, \gamma$  et  $\delta$ , et quelles valeurs ces paramètres peuvent prendre.

- (c) **A l'aide d'arguments mathématiques** (dynamique du système, équilibres, croissance / décroissance, etc), expliquer pourquoi la population  $P$  agit comme un insecticide naturel.

On suppose pour la suite de l'exercice que  $\alpha = 5$ ,  $\beta = -3$ ,  $\gamma = -1$  et  $\delta = 2$ , et que les populations initiales sont données par  $I(0) = 0.5$  et  $P(0) = 2$ .

- (d) Utiliser une analyse des équilibres pour esquisser la dynamique de ce système particulier dans un plan d'axes  $x = I$  et  $y = P$ . Sur la base de cette esquisse, estimer grossièrement la population maximale  $I(t)$  qui serait alors atteinte.

- (e) Vous vous rendez compte que l'espèce  $P$  ne suffira probablement pas à maintenir la population  $I$  toujours en-dessous d'une certaine valeur, et vous souhaitez donc utiliser en plus un insecticide (inoffensif pour l'espèce  $P$ ) afin de réduire la population  $I$ . Vous estimez qu'en le faisant, vous pourrez réduire  $I(0)$  d'un facteur 50. Ajouter sur votre esquisse de (d) la dynamique qui en résulterait.

EXERCICE 5 (10 pts)

On modélise la quantité d'ensoleillement à l'endroit  $(x, y)$  par

$$E(x, y) = 2x + \frac{1}{2}y^2 - xy.$$

- (a) Calculer la pente du graphe de  $E$  dans la direction du vecteur  $\vec{v} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$  en  $\vec{x}_0 = (-1, 2)$ .

- (b) Votre terrasse est le triangle  $T$  de sommets  $(0, 0)$ ,  $(0, 6)$  et  $(6, 0)$ . Vous aimeriez poser votre transat à l'endroit le plus ensoleillé de la terrasse, et votre sirop à l'endroit le moins ensoleillé. Où allez-vous poser votre transat, respectivement votre sirop ?

(c) Calculer la quantité d'ensoleillement moyenne sur votre terrasse.

EXERCICE 6 (BONUS - 5pts)  
Etudier la convergence de la série

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} \sqrt{n}}{n+1}.$$

---

EXERCICE 7 (BONUS - 5pts)  
Esquisser

$$\left\{ z \in \mathbb{C} \mid \operatorname{Re} \left( \frac{z+2i}{z-1} \right) = 0 \right\}$$

dans le plan complexe.