Mémoire d'initiation à la recherche

Université de Limoges

INSPE Académie de Limoges
Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation
Master MEEF second degré
Parcours sciences de la vie et de la Terre

2019/2020

Impact d'une éducation explicite à l'esprit critique

Exemple de l'évaluation d'une information à caractère scientifique en classe d'enseignement scientifique

Thomas AUZEL

Stage effectué du 1er septembre au 4 juillet 2020
Lycée Edmond-Perrier

Stage encadré par
Eliane PAUTAL
Docteur en science de l'éducation – Didactique des SVT
Responsable préprofessionnalisation INSPÉ de l'académie de Limoges

Remerciements

La rédaction de ce mémoire est le fruit d'une très longue année de réflexion au cours de laquelle plusieurs personnes ont su m'apporter l'aide dont j'avais besoin.

Je tiens dans un premier temps à remercier, Eliane PAUTAL pour avoir accepté d'être ma tutrice et pour avoir su trouver les mots justes lorsque je n'arrivais plus à avancer.

Je remercie chaleureusement Didier MULNET, mon ancien formateur, pour avoir pris de son précieux temps pour me conseiller et m'aider dans la construction de ma grille de compétence.

Ensuite, je remercie Fabienne ROLLIN et Nathalie LACHAUD pour leur joie de vivre au quotidien et pour avoir testé en avant-première mes activités élèves.

Je remercie mes élèves pour avoir pris le temps de m'envoyer leurs résultats et ce même dans cette période compliquée.

Je remercie Roxane pour avoir su mettre de l'ordre dans mes idées lors de la rédaction.

Enfin, je remercie tout particulièrement ce mémoire de m'avoir permis de ne pas voir le temps passer durant la période de confinement.

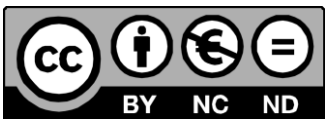
Licence CC BY-NC-ND 3.0

Droits d’auteurs

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : *http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/*



Licence CC BY-NC-ND 3.0

Table des matières

Préambule....10
Introduction....11
1. Cadre bibliographique....13
1.1. L'esprit critique et la science....13
1.1.1. La distinction entre science, non-science et pseudoscience....13
1.1.2. La science et les croyances....14
1.1.3. La pseudoscience et l'esprit critique....16
1.2. Les deux vitesses de la pensée....17
1.2.1. Système 1, système 2 et système 3....17
1.2.2. Système de pensée et traitement de l'information....19
1.2.2.1. Le traitement en système 1....19
1.2.2.2. Le traitement en système 2....21
1.2.2.3. Le rôle du système 3....22
1.3. Biais cognitifs et arguments fallacieux....22
1.3.1. Les biais cognitifs....22
1.3.2. La logique de l'argumentation....23
1.3.2.1. Les arguments déductifs et inductifs....23
1.3.2.2. Les arguments fallacieux....25
1.3.2.2.1. Manipulation de contenus....25
1.3.2.2.2. Déductions erronées....26
1.3.2.2.3. Confusion entre cause et effet....26
1.3.2.2.4. Les manipulations de l'esprit....28
1.3.2.2.5. L'appel aux émotions....29
1.4. La démarche d'investigation....29
1.5. L'évaluation par compétence....30
1.5.1. Les compétences....30
1.5.2. L'évaluation....31
2. Méthodologie de recherche....32
2.1. Contexte de l'étude....32
2.2. Protocole expérimental....32
2.2.1. Groupes expérimentaux et échantillonnage....32
2.2.2. Démarche implicite et explicite....33
2.2.2.1. Pratique de la démarche scientifique....33
2.2.2.2. Pratique d'une méthodologie critique....35
2.2.3. Préparation au test de compétence....39
2.2.4. Test de compétence....40
2.2.4.1. Article 1....40
2.2.4.2. Article 2....43
2.2.4.3. Conclusion....46
2.2.5. Outil d'évaluation....46
2.2.5.1. Construction de la grille de compétence....46
2.2.5.2. Utilisation de la grille de compétence....50
2.3. Résultats théoriques attendus....50
2.3.1. Article 1....50
2.3.2. Article 2....51

Licence CC BY-NC-ND 3.0

3. Résultats expérimentaux 53
3.1. Mise en forme des résultats 53
3.1.1. Traitement des données Témoins/Tests 53
3.1.2. Traitement des données Article1/Article2 55
3.2. Présentation des résultats 57
3.2.1. Influence de l'éducation à l'esprit critique explicite 57
3.2.1.1. Le critère C1 57
3.2.1.2. Le critère C2 60
3.2.1.3. Le critère C3 62
3.2.2. Impact du type d'article 65
3.2.2.1. Le critère C1 65
3.2.2.2. Le critère C2 67
3.2.2.3. Le critère C3 70
3.2.3. Bilan 72
4. Discussion 74
4.1. La maîtrise du système 1 74
4.1.1. Impact de la pédagogie 74
4.1.2. Impact de l'article 75
4.1.3. Interaction entre la pédagogie et l'article 76
4.2. La maîtrise du système 2 78
4.3. La maîtrise du système 3 79
4.4. Bilan 81
5. Limites et perspectives de l'étude 83
Conclusion 86
Références bibliographiques 87
Annexes 89

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Table des illustrations

Figure 1 : Science, non science et pseudoscience.. 14

Figure 2 : Schéma représentant le domaine de la croyance et de la connaissance 15

Figure 3 : Capacités et attitudes en lien avec l'esprit critique 17

Figure 4 : Exemple de l'utilisation différentielle d'une heuristique du système 1 du type « la parole d'un expert » 20

Figure 5 : Illusion visuelle de Müller-Lyer. A gauche : opposition des deux figures de même longueur. 23

Figure 6 : Schéma représentant les différentes étapes de la démarche d'investigation 30

Figure 7 : Schéma représentant l'interaction entre les connaissances (savoirs), les capacités (savoir-faire) et les attitudes (savoir-être) dans le cadre d'une compétence 31

Figure 8 : Schéma représentant les deux modèles historiques de l'organisation de la membrane plasmique 34

Figure 9 : Graphiques représentant de manière schématique les différentes postures qu'une personne peut adopter face à une information 36

Figure 10 : Capture d'écran du diaporama présenté aux élèves dans le cadre de la troisième séance d'éducation explicite à l'esprit critique. 38

Figure 11 : Article fictif n°1 nommé " Le « refroidissement » climatique !! ". 42

Figure 12 : Article fictif n°2 nommé " Comment les études paléoenvironnementales remettent en cause les prédictions des scientifiques sur le réchauffement climatique ?". 45

Figure 13 : Modèle métacognitif théorique faisant apparaître les différents types de raisonnement attendus chez les élèves des groupes tests et témoins dans le cadre de l'analyse de l'article 1 51

Figure 14 : Modèle métacognitif théorique faisant apparaître les différents types de raisonnement attendus chez les élèves des groupes tests et témoins dans le cadre de l'analyse de l'article 2 52

Figure 15 : Bilan de la comparaison des niveaux de maîtrise des élèves appartenant aux groupes témoin et test pour le critère C1 58

Figure 16 : Bilan de la comparaison des résultats des élèves appartenant aux groupes témoin et test pour le critère C2 60

Figure 17 : Bilan de la comparaison des élèves du groupe témoin et test pour le critère C3. 63

Figure 18 : Bilan de la comparaison des résultats de l'article 1 et de l'article 2 pour le critère C1 66

Figure 19 : Bilan de la comparaison du niveau de maîtrise des élèves analysant l'article 1 et 2 pour le critère C2 68

Figure 20 : Synthèse de la comparaison des résultats de l'article 1 et de l'article 2 pour le critère C3 71

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Figure 21 : Représentation schématique du niveau de maîtrise moyen des élèves pour le critère C1 (système 1) en fonction des différentes conditions expérimentales 75

Figure 22 : Histogramme illustrant le degré d'adhésion des élèves testés à la théorie du réchauffement climatique 76

Figure 23 : A gauche : Histogramme comparant les résultats des élèves témoins analysant l'article 1 (niveau de référence) à ceux des élèves tests analysant l'article 2. A droite : Modèle schématique représentant la compensation de l'effet positif de l'enseignement d'une pédagogie explicite de l'esprit critique et de l'effet négatif de l'article 2.....77

Figure 24 : Représentation schématique de l'impact de l'éducation explicite à l'esprit critique sur la capacité des élèves tests à mobiliser leur système 3 dans le cadre de l'analyse de l'article 1 (gauche) et de l'article 2 (droite). 79

Figure 25 : Graphiques opposant les niveaux de maîtrise des critères C1 et C3 dans le cadre de l'analyse de l'article 2 pour les élèves tests (à droite) et les élèves témoins (à gauche) 80

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Table des tableaux

Tableau 1 : L'implication est un type de raisonnement déductif 24

Tableau 2 : La contraposée est un type de raisonnement déductif.....24

Tableau 3 : La négation de l'antécédent est un type de raisonnement déductif invalide 27

Tableau 4 : L'affirmation du conséquent est un type de raisonnement déductif invalide.....27

Tableau 5 : Répartition des élèves en fonction des conditions expérimentales et des sujets à analyser 33

Tableau 6 : Indicateurs détaillés de la compétence 1 (C1) produits à partir de la hiérarchisation des critères précédemment cités.....47

Tableau 7 : Indicateurs détaillés de la compétence 2 (C2) produits à partir de la hiérarchisation des critères précédemment cités.....49

Tableau 8 : Indicateurs détaillés de la compétence 3 (C3) produits à partir de la hiérarchisation des critères précédemment cités.....49

Tableau 9 : Niveau de maîtrise d'un critère et points associés.....50

Tableau 10 : Récapitulatif des différents histogrammes présentés en **Annexe 3**.....53

Tableau 11 : Tableau de contingence où le niveau de maîtrise du critère et le type de pédagogie suivie sont comparés 55

Tableau 12 : Récapitulatif des différents histogrammes présentés en **Annexe 4**.....56

Tableau 13 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type de pédagogie et du niveau de maîtrise du critère C1. 59

Tableau 14 : Impact de la pédagogie explicite sur la moyenne et sur la médiane des résultats des élèves des groupes tests par rapport aux résultats des élèves des groupes témoins.....59

Tableau 15 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type de pédagogie et du niveau de maîtrise du critère C2. 62

Tableau 16 : Impact global de la pédagogie explicite sur la moyenne et sur la médiane des résultats des élèves analysant l'article 1 et 2 par rapport aux résultats des élèves témoins .62

Tableau 17 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type de pédagogie et du niveau de maîtrise du critère C3. 64

Tableau 18 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type d'article analysé et du niveau de maîtrise du critère C1. 67

Tableau 19 : Impact de l'article 2 sur la moyenne et sur la médiane des résultats des élèves des groupes tests et témoins par rapport aux résultats des élèves analysant l'article 1 (condition témoin). 67

Tableau 20 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type d'article analysé et du niveau de maîtrise du critère C2. 69

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Tableau 21 : Impact global de la pédagogie explicite (gauche) et du type d'article (droite) sur la moyenne et sur la médiane des résultats des élèves analysant l'article 1 et 2 par rapport aux résultats des élèves témoins. 70

Tableau 22 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type d'article analysé et du niveau de maîtrise du critère C2. 72

Tableau 23 : Compilation des impacts du type de pédagogie sur le niveau de maîtrise des élèves concernant les critères C1, C2 et C3 73

Tableau 24 : Compilation des impacts du type d'article sur le niveau de maîtrise des élèves concernant les critères C1, C2 et C3 73

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Préambule

En 2014, le visionnage d'une vidéo publiée sur internet via une chaîne de vulgarisation scientifique (Benamram, 2014) m'a fait temporairement adhérer à des affirmations pseudo-scientifiques sur l'inversion des pôles magnétiques terrestres. L'auteur de cette vidéo avait pour objectif de sensibiliser son audience aux dangers des arguments fallacieux exploitant les biais cognitifs de notre cerveau afin de mieux nous tromper. Cette expérience amusante fut pour moi l'élément déclencheur d'une double prise de conscience, d'une part celle de ma vulnérabilité et d'autre part de la nécessité d'en apprendre plus afin de pouvoir me défendre contre les théories pseudoscientifiques.

Au cours des années qui suivirent, ce besoin « d'autodéfense intellectuelle » m'a permis de découvrir le domaine de la zététique et de travailler mon esprit critique. Cet éclairage nouveau sur la façon dont fonctionne le cerveau humain m'a permis de réaliser à quel point les croyances irrationnelles et les savoirs pseudoscientifiques étaient omniprésents dans mon quotidien sans pour autant que je les remette en question. Ainsi, les traitements homéopathiques, les sourciers, les barreurs de feu, les superstitions ou l'astrologie sont autant de savoirs non-scientifiques auxquels j'ai été exposé durant mon enfance.

Au regard de mon expérience personnelle, suivre un cursus scolaire scientifique ne permet pas forcément de diminuer son degré d'adhésion à des théories pseudoscientifiques. Dès lors, il apparaît important de développer cette compétence à l'école afin de sensibiliser les élèves de la même manière que je l'ai été par cette vidéo, il y a quelques années.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Introduction

En 2017 et 2019, l'Institut français d'opinion publique IFOP a réalisé deux enquêtes d'opinion visant à quantifier le degré d'adhésion de la population française à différentes théories conspirationnistes (IFOP, 2019, 2018). Ces deux études montrent que 30 % des Français adhèrent à au moins une théorie conspirationniste. Parmi toutes ces théories conspirationnistes se trouvent des théories présentées comme scientifiques, mais qui ne le sont pas en réalité : on parle alors de théories pseudoscientifiques. Par exemple, 55 % des sondés pensent que les vaccins sont nocifs pour la santé (dont 40 % chez les moins de 25 ans), 32 % des sondés pensent que le VIH est un virus créé par l'Homme et 9 % des sondés pensent qu'il est possible que la Terre soit plate (IFOP, 2018). Le degré d'adhésion de la population française aux théories pseudoscientifiques est donc relativement élevé. Or, le degré d'adhésion d'un individu à différentes théories pseudoscientifiques peut être utilisé comme un indicateur fiable de son niveau d'esprit critique (Dyer et Hall, 2019). Nous pouvons donc en conclure qu'une partie significative de la population française manque d'esprit critique.

Dans ce contexte, l'enseignement des sciences peut être envisagé comme un des moyens permettant l'amélioration de l'esprit critique des élèves. Cependant, il convient préalablement de confirmer l'existence d'une relation de causalité entre ces deux paramètres. Plusieurs travaux de recherche ont tenté d'établir ce lien et leurs résultats témoignent d'une relation complexe (Dyer et Hall, 2019). Selon le type de croyance, l'enseignement des sciences peut avoir un impact négatif, positif ou nul sur le degré d'adhésion aux théories pseudoscientifiques des individus (Dyer et Hall, 2019). L'enseignement des sciences ne permet donc pas toujours de développer l'esprit critique des élèves. Or, la formation de leur esprit critique est un des objectifs de l'enseignement des sciences. En effet, l'éducation nationale fait référence à de nombreuses reprises à la nécessité de développer l'esprit critique des élèves dans les programmes des disciplines scientifiques du lycée (Blanquer, 2019a, 2019b). Il convient donc de trouver un moyen de renforcer l'impact de l'enseignement des sciences sur l'esprit critique des élèves.

L'hypothèse de départ de ce mémoire d'initiation à la recherche consiste à supposer que l'impact variable de l'enseignement scientifique sur le degré d'adhésion des élèves aux théories pseudoscientifiques, est une conséquence de la façon d'enseigner l'esprit critique en science. En effet, l'esprit critique est souvent abordé de manière implicite par les enseignants des disciplines scientifiques car, ils considèrent que l'étude de la démarche scientifique est suffisante afin de développer cette compétence. Ainsi, au début de la rédaction de ce mémoire d'initiation à la recherche, l'objectif était de déterminer si une éducation explicite à l'esprit critique permettait, en complément d'une démarche scientifique, d'augmenter de manière

Licence CC BY-NC-ND 3.0

significative l'esprit critique des élèves. Cette problématique de recherche a été affinée au fur et à mesure de l'avancé de ce mémoire d'initiation à la recherche. Ainsi, la compétence critique, explicitement travaillée par les élèves, concerne ici l'évaluation de la fiabilité d'une information à caractère scientifique. La problématique finale de ce mémoire d'initiation à la recherche est donc : **est-ce qu'une éducation explicite à l'esprit critique en complément d'une étude de la démarche scientifique permet d'augmenter significativement la capacité d'un élève à évaluer la fiabilité d'une information à caractère scientifique ?**

Ce choix de problématique a nécessité de développer :

(1) Un modèle métacognitif permettant de comprendre comment un élève évalue la fiabilité d'une information à caractère scientifique. Ce modèle s'appuie sur des travaux en psychologie (Kahneman, 2011) et en neuropsychologie (Houdé, 2018) mais aussi sur une communication orale de Michel, (2017a). C'est sur la base de ce modèle que sont construites les séances d'éducation explicite à l'esprit critique.

(2) Deux activités permettant de tester la capacité d'analyse d'une information à caractère scientifique des élèves.

(3) Un outil d'évaluation prenant la forme d'une grille de compétence et permettant d'évaluer la capacité des élèves à analyser, de manière rationnelle, une information à caractère scientifique. Ce dernier a pour but l'obtention de résultats dont l'analyse permettra de réfuter ou non l'hypothèse de départ.

Afin d'évaluer l'impact d'une éducation explicite à l'esprit critique sur la capacité des élèves à évaluer la fiabilité d'une information à caractère scientifique, il a été choisi d'effectuer une étude comparative randomisée entre (1) un groupe témoin où les élèves travaillent uniquement la démarche scientifique et (2) un groupe test où les élèves travaillent – en complément de l'étude de la démarche scientifique – une méthodologie critique permettant d'évaluer la fiabilité d'une information à caractère scientifique. La comparaison des résultats des élèves composant les groupes tests par rapport aux résultats des élèves composant les groupes témoins permettra de confirmer ou non l'impact positif de l'éducation explicite sur l'esprit critique des élèves.

Dans un premier temps, il a été essentiel d'expliquer les différentes notions, détaillées dans le cadre bibliographique, sur lesquelles repose la méthodologie de ce mémoire d'initiation à la recherche. Dans un second temps, la méthodologie, à partir de laquelle les résultats de cette étude ont été obtenus, a été abordée. A posteriori, après une présentation et une interprétation des résultats, une réponse à la problématique a été proposée. In fine, les limites de ce mémoire d'initiation à la recherche ainsi que les perspectives possibles ont été traitées.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

1. Cadre bibliographique

1.1. L'esprit critique et la science

Pour développer une méthode critique permettant d'estimer la fiabilité d'une information à caractère scientifique, il est essentiel de maîtriser différents concepts liés aux domaines de l'esprit critique et de la science. Or, de nombreux termes utilisés dans le cadre de ce mémoire d'initiation à la recherche et relatif à ces domaines, possèdent plusieurs définitions. Il est donc important de les définir afin de lever toute ambiguïté et de prêter à chaque mot, une signification conforme.

1.1.1. La distinction entre science, non-science et pseudoscience

Afin de comprendre pourquoi la méthode critique développée dans ce mémoire d'initiation à la recherche est importante, il est nécessaire de comprendre la différence entre science, non science et pseudoscience.

Monvoisin (2007) définit la science comme un ensemble de connaissances obtenues via une démarche scientifique. Cette démarche est caractérisée par le respect de différents critères appelés critères de scientificité (Blanquet, 2014). C'est le respect de ces critères qui permet de confirmer le caractère scientifique d'une démarche et des connaissances qui en sont issues. C'est donc « *la méthode plus que l'objet d'étude qui définit la science* » (Monvoisin, 2007).

En classe de sciences de la vie et de la Terre, les élèves doivent respecter certains critères de scientificité lorsqu'ils réalisent une démarche d'investigation (Cf. 1.4. La démarche d'investigation). Blanquet (2014) propose une liste de critères de scientificité que les élèves de collège et de primaire peuvent aborder en classe. Cette liste est également applicable aux élèves du lycée. Dans le cadre de ce mémoire d'initiation à la recherche, on se concentrera particulièrement sur la validité logique du raisonnement de l'élève et la réfutabilité des hypothèses.

Par opposition à la science, Hansson (2017) définit la non-science comme un ensemble de connaissances obtenues via une démarche non scientifique. Dans ce cas, les connaissances sont obtenues par des méthodes ne respectant pas les critères de scientificité de la démarche scientifique. Le savoir religieux et traditionnels sont des exemples parmi d'autres de savoirs non scientifiques.

La pseudoscience, quant à elle, représente un cas particulier de la non-science (**Figure 1** ; Hansson, 2017). Elle représente un ensemble de connaissances obtenues via une démarche

Licence CC BY-NC-ND 3.0

non-scientifique, mais qui sont pourtant présentées de manière à faire croire qu'elles ont été obtenues via une démarche scientifique.

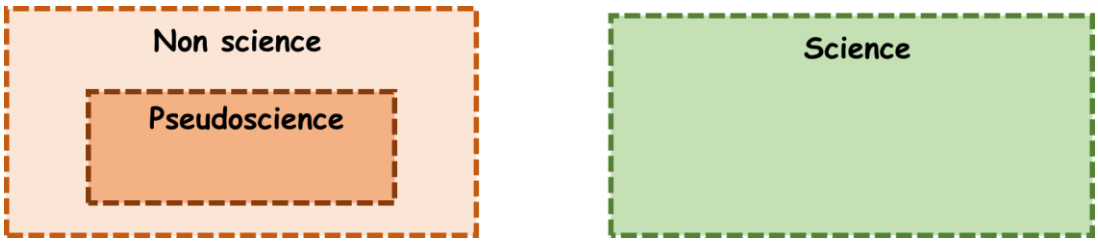


Figure 1 : Science, non science et pseudoscience. La différence entre les connaissances non-scientifiques et scientifiques se caractérise par leur méthode d'obtention. Au contraire des connaissances non-scientifiques, les connaissances scientifiques ont été obtenues par une démarche scientifique respectant les critères de scientificité. Production personnelle.

Les élèves sont quotidiennement confrontés à un flux d'informations continu via les médias et les réseaux sociaux. Parmi ces informations, se trouvent des informations scientifiques et pseudoscientifiques qu'il est impossible de distinguer indépendamment de toute analyse. Il convient donc de proposer un néologisme permettant de regrouper ces deux types d'informations. Ainsi, l'expression « information à caractère scientifique » désignera indistinctement l'ensemble des informations scientifiques et pseudoscientifiques auxquelles un élève peut être confronté.

1.1.2. La science et les croyances

Pour Brahic (2013), la science ne s'applique qu'aux phénomènes mesurables et reproductibles, c'est-à-dire aux phénomènes pouvant faire l'objet d'une démarche scientifique respectant les critères de scientificité définis précédemment. Ces phénomènes forment un ensemble appelé domaine de la connaissance (**Figure 2**). Ce domaine concerne tous phénomènes étant susceptibles d'être étudiés par la science et de générer des connaissances scientifiques. Dans ce contexte, on définira une connaissance (scientifique) comme une proposition très probablement vraie, car elle repose sur une méthodologie permettant de définir objectivement son degré de fiabilité (Bronner, 2003). Lorsqu'un phénomène n'est pas observable et testable, il ne peut pas être étudié selon une démarche scientifique. Ces phénomènes forment alors un ensemble appelé domaine de la croyance (**Figure 2**).

Une croyance se définit comme le « *fait de tenir une proposition pour vraie* » (Sauvayre, 2012). Plusieurs types de croyances peuvent être distingués en fonction du domaine dans lesquelles elles s'appliquent (Michel, 2017b) :

(1) Dans le domaine de la croyance, le fait de tenir pour vrai un phénomène ne pouvant faire l'objet d'une démarche scientifique, constitue un acte de foi (croyance irrationnelle).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

(2) Dans le domaine de la connaissance, les croyances rationnelles caractérisent le fait de tenir un phénomène observable et testable pour vrai en fonction du niveau de preuve scientifique qui le valide. Différents cas de figures sont alors possibles : en l'absence de preuve, une personne aux croyances rationnelles suspendra son jugement (« je ne sais pas ») alors qu'en présence de preuves scientifiques, elle indexera son degré de croyance au niveau de preuve. En science, le niveau de preuve dépend du nombre d'étude réalisée (Ponzi, 2018). Une connaissance scientifique n'aura pas le même crédit auprès de la communauté scientifique, selon qu'elle soit appuyée par une seule étude isolée ou par une méta-analyse regroupant un nombre d'étude très important. Plus le nombre d'étude réalisée est important, plus le niveau de confiance sur la reproductibilité du phénomène testé et sa non-réfutabilité augmente jusqu'à atteindre le consensus scientifique (savoirs stabilisés). Lorsque le niveau de preuve n'est pas suffisant et/ou que plusieurs études sont contradictoires, c'est une controverse scientifique (savoirs non stabilisés). A l'inverse, les témoignages personnels (vécus ou rapportés) ou les rumeurs ne constituent pas des preuves valides, car ils/elles reposent sur des perceptions sensorielles isolées et subjectives sensibles aux biais cognitifs (Cf. 1.3.1. Les biais cognitifs).

(3) Dans le domaine de la connaissance, le fait de tenir pour vrai un phénomène dont l'inexistence fait l'objet d'un consensus scientifique (ou inversement) relève du déni (croyance irrationnelle).

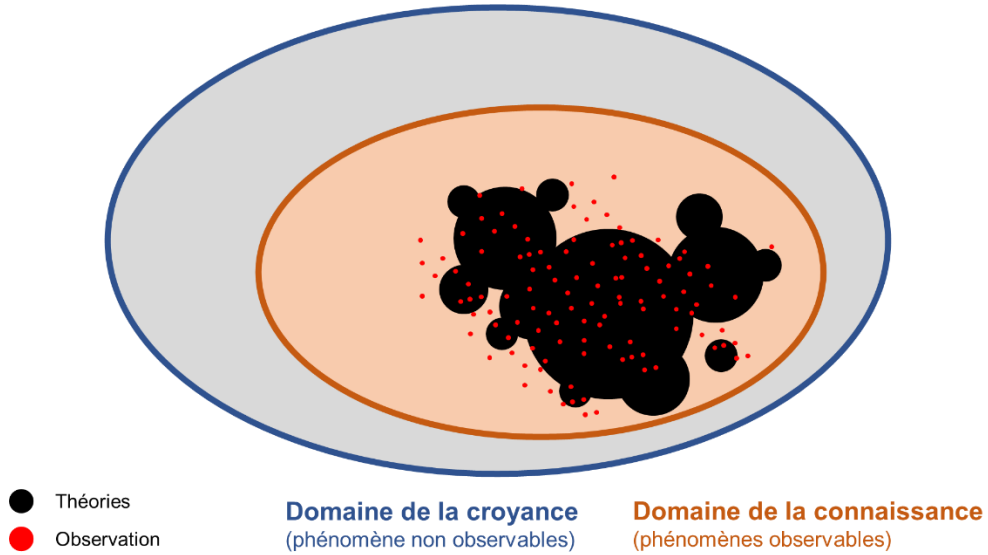


Figure 2 : Schéma représentant le domaine de la croyance et de la connaissance. Dans le domaine de la connaissance, on distingue les phénomènes observés et expliqués par les théories scientifiques, les phénomènes observés que les théories scientifiques n'expliquent pas, les phénomènes prédits par la théorie mais encore non-observés et les phénomènes non observés et non prédit par la théorie. Modifié d'après Michel, 2017.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Cette catégorisation des croyances permet de comprendre le danger que représente les pseudo-sciences. En déguisant la non-science en science, la pseudoscience utilise la crédibilité de la méthode scientifique afin de faire accepter des connaissances non scientifiques à des personnes ayant pourtant des croyances rationnelles. Dans ces conditions, si la croyance de l'individu est méthodologiquement rationnelle, elle est scientifiquement fausse, car fondée sur des arguments et/ou preuves non scientifiques. Ainsi, savoir distinguer la science de la pseudoscience est un enjeu important afin de permettre aux élèves de se construire des croyances rationnelles valides, sur lesquelles ils pourront fonder leurs opinions personnelles de manière éclairée (éducation à la citoyenneté).

L'opinion – définit comme « *un jugement personnel que l'on porte sur une question et qui n'est pas obligatoirement juste* » (CNRT, 2020) – est un sentiment personnel qui prend en compte les croyances rationnelles de l'individu mais également ses connaissances, ses expériences personnelles, ses valeurs éthiques et morales, ses émotions, etc. Ainsi, sur la base de connaissances rationnelles identiques et objectives, plusieurs opinions subjectives différentes peuvent être produites. Dans tous les cas, le jugement est éclairé, car fondé sur des faits scientifiques objectifs.

Enfin, s'il est important que les élèves puissent effectuer des choix éclairés, il est tout aussi important de limiter leur adhésion à des informations pseudoscientifiques dangereuses pouvant potentiellement les mettre en danger (ex : anti-vaccination). La formation des élèves à l'esprit critique, afin d'améliorer leurs capacités à détecter les informations pseudoscientifiques, est donc un enjeu actuel important.

1.1.3. La pseudoscience et l'esprit critique

L'esprit critique est une compétence interdisciplinaire dont la pratique mobilise des capacités et des attitudes (Cf. 1.5. L'évaluation par compétence) qui interagissent mutuellement (Éduscol, 2018). Par exemple, une personne incapable d'écouter un avis contradictoire (attitude), ne pourra pas en évaluer la pertinence scientifique (capacité). Si l'esprit critique regroupe un ensemble de capacités et d'attitudes variées (**Figure 3**), ce mémoire d'initiation à la recherche se focalise sur la capacité d'analyse d'une information à caractère scientifique. Cette capacité générale regroupe (1) l'évaluation de l'information, (2) la distinction des faits et des interprétations ainsi que (3) l'évaluation de ces interprétations (**Figure 3**).

Dans le cadre de ce mémoire d'initiation à la recherche, faire preuve d'esprit critique désignera la faculté d'un individu à interroger la fiabilité et/ou la véracité d'une information à caractère scientifique sur la base d'une méthodologie permettant de limiter les erreurs de jugement. Cette définition restreinte de l'esprit critique est proche de la définition moderne de la zététique proposée par Broch (2008) à travers l'expression « *art du doute* » où le mot « art » est utilisé

Licence CC BY-NC-ND 3.0

dans son sens médiéval (outillage). En effet, pour cet auteur la zététique peut-être définie comme « *la panoplie de tous les moyens intellectuels mis en œuvre pour amener l'apprenant à développer l'esprit critique vis-à-vis de toute thèse de type scientifique* ».

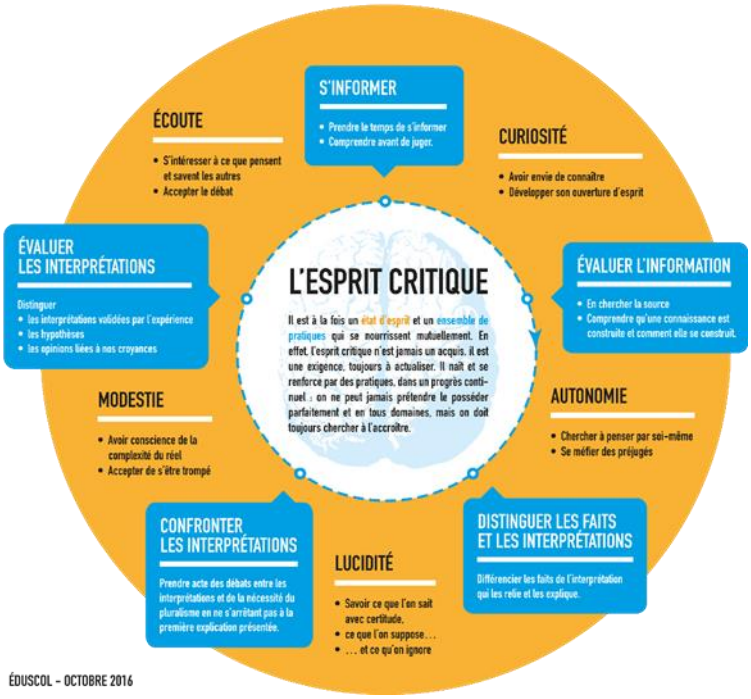


Figure 3 : Capacités et attitudes en lien avec l'esprit critique. Dans ce schéma, les attitudes se trouvent sur le cercle jaune (ex ; écoute, modestie …) ; tandis que les capacités sont disposées dans les rectangles bleus (ex : confronter les interprétations, …). D'après Eduscol (2016).

1.2. Les deux vitesses de la pensée

1.2.1. Système 1, système 2 et système 3

D'après Kahneman (2011), le cerveau humain présente deux systèmes de pensée différents et interdépendants : le système 1 et le système 2.

Le **système 1** est un mode de pensée intuitif et rapide fonctionnant par défaut. Il permet d'utiliser des heuristiques subjectives – c'est-à-dire des stratégies appropriées ou des prédictions fiables, qui se basent sur des situations familières. Toutefois, les heuristiques du système 1 sont faillibles. Dans certaines situations, elles aboutissent à des erreurs systématiques qu'il est impossible d'éviter. Ces erreurs s'expliquent par l'irrationalité des heuristiques et la sensibilité du système 1 aux biais cognitifs (Cf. 1.3.1. Les biais cognitifs).

Le **système 2** est un système analytique, lent et conscient. Il permet de mobiliser des stratégies logiques dont l'application méthodique permettra de trouver une solution au problème. Sa mobilisation intervient automatiquement lorsque le système 1 ne permet pas de répondre à une question ou lorsque celui-ci détecte des stimulus anormaux évidents. Dans le cas contraire, il reste en retrait. La pratique, l'apprentissage et l'entrainement permettent de

Licence CC BY-NC-ND 3.0

faire basculer des tâches demandant un effort cognitif important du système 2 au système 1. Par exemple, lorsque l'on doit résoudre une équation mathématique, il est nécessaire d'effectuer une tâche cognitive permettant de trouver une solution valide à un calcul. Dans le cas d'une équation simple de type « 1+1 », cette tâche cognitive est automatique, elle met en jeu la pensée intuitive, car ce calcul est devenu un réflexe. En revanche, dans le cas d'une équation mathématique complexe de type « 365 x 87 », cette tâche cognitive n'est plus intuitive, elle demandera un effort cognitif et du temps ce qui met en jeu la pensée analytique. Toutefois, dans certaines situations, la pensée intuitive peut nous tromper et mener à la validation d'un résultat faux en absence de mobilisation de la pensée analytique. Prenons l'exemple suivant : soit un ensemble d'articles de sport composé d'une raquette et d'une balle de tennis coutant 103 €. Sachant que la raquette coûte 100 € de plus que la balle, combien coûte la balle ? La pensée intuitive aboutira à la conclusion que la balle coûte 3 € pourtant ce résultat est faux. L'équation mathématique mise en jeu dans ce problème est de type « x + (x + 100) = 103 » et la réponse valide est « 1,5 € ». Si le problème avait été directement présenté sous forme mathématique, le système 2 aurait automatiquement été utilisé. Mais, dans ce cas-ci, un biais cognitif empêche son utilisation et incite à répondre à une question plus simple (que la pensée intuitive sait résoudre) correspondant à l'équation suivante « 100 + x = 103 ».

Houdé (2018) met en évidence l'existence d'un **système 3** permettant le contrôle, au cas par cas, des rapports de compétition entre le système 1 et le système 2. Ce contrôle repose sur les capacités d'inhibition du système 1 par le système 3 au profit du système 2 (ou vicariance cognitive). La mise en œuvre de protocoles expérimentaux associée à des imageries IRM fonctionnelles a permis la localisation, au niveau de l'encéphale, des réseaux neuronaux impliqués dans ces différents systèmes de pensée (Houdé, 2018). Ainsi, le système 3 et le système 2 impliquent des réseaux de neurones situés au niveau du cortex préfrontal tandis que le système 1 implique des réseaux de neurones situés à l'arrière du cerveau. L'utilisation du système 3 de manière pertinente est acquise par l'apprentissage. Cela met en œuvre des réorganisations neuronales au niveau du cortex préfrontal. Cet apprentissage passe notamment par la sensibilisation des individus testés, aux biais cognitifs affectant les heuristiques du système 1 (Houdé, 2018).

En conclusion, c'est l'utilisation des systèmes de pensée 1 et 2 qui permet de prendre l'ensemble de nos décisions. Dans le cadre de l'évaluation de la fiabilité et/ou de la véracité d'une information à caractère scientifique, la conclusion dépend donc de l'utilisation d'un des deux systèmes ou des deux. C'est l'utilisation du système 3 qui permet de trier de manière pertinente les situations dans lesquelles le système 1 est suffisant, des situations dans lesquelles il est indispensable de passer en système 2. Cette capacité de tri peut être acquise en sensibilisant les individus aux biais cognitifs du système 1 (Houdé, 2018). Afin de permettre

Licence CC BY-NC-ND 3.0

aux élèves de distinguer de manière fiable les informations scientifiques des informations pseudoscientifiques, l'étude des critères de scientificité propres à la démarche hypothético-déductive ne suffit donc pas, car ce type d'enseignement permet de développer uniquement la pensée analytique du système 2. Il est également nécessaire de sensibiliser les élèves aux biais cognitifs pouvant affecter leurs heuristiques afin de développer leur système 3.

1.2.2. Système de pensée et traitement de l'information

Il est possible d'appliquer les connaissances issues des auteurs précédents (Houdé, 2018; Kahneman, 2011) afin de comprendre les processus cognitifs mis en jeu dans le cadre de l'évaluation d'une information à caractère scientifique. Ce modèle métacognitif est également inspiré d'une communication orale de Michel (2017a).

1.2.2.1. Le traitement en système 1

Un raisonnement intuitif en système 1 permet de déterminer la fiabilité d'une information à caractère scientifique. Cette décision repose sur des heuristiques, c'est-à-dire des raisonnements subjectifs et rapides à utiliser, qui nous permettent de diminuer au maximum les risques d'erreurs. Le terme « fiabilité » fait ici référence à la probabilité de prendre la bonne décision concernant la validité scientifique ou non de cette information à caractère scientifique. Par exemple, il est courant d'évaluer la fiabilité d'une information à caractère scientifique par rapport au statut social de l'auteur, à la qualité de sa syntaxe et de son orthographe ou à la cohérence de l'information par rapport à ce que l'on pense savoir du sujet ; ce sont des heuristiques.

Ce type de raisonnement déductif est invalide, car il repose sur une règle réfutable (Cf. 1.3.2.1. Arguments déductifs et inductifs). Par exemple, en se basant sur le statut social de la personne à l'origine de l'information à évaluer, nous procédons au raisonnement déductif fallacieux suivant :

« Si l'individu est un expert scientifique alors les informations sont fiables. Or, il est scientifique, donc l'information est fiable / Or, il n'est pas scientifique, donc l'information n'est pas fiable ».

La règle *« Si l'individu est un expert scientifique alors les informations sont fiables »* est une prémisse erronée, car il est possible de trouver des contre-exemples de scientifiques ayant produits des informations pseudoscientifiques. Pour autant, cette règle aboutie à une conclusion qui constitue un très bon indicateur, car la probabilité de se tromper est faible. En effet, la grande majorité des experts scientifiques ne propagent pas d'informations pseudoscientifiques. De plus, ce risque d'erreur peut être de nouveau diminué en associant

Licence CC BY-NC-ND 3.0

plusieurs heuristiques entre-elles et en les pondérant. Ainsi, l'utilisation d'heuristiques peut être particulièrement utile notamment lorsque la prise de décision doit être rapide.

Si les conclusions des heuristiques du système 1 peuvent être de bons indicateurs, il faut cependant veiller à utiliser ces heuristiques de manière pertinente. En effet, si la règle sur laquelle se base l'implication qui est statistiquement la moins probable (ex : « Si l'individu n'est pas un expert scientifique alors les informations sont fiables »), alors les chances de se tromper sont importantes. Dans cette situation, l'indicateur n'est plus fiable (**Figure 4**). Une analyse non pertinente d'une information à caractère scientifique en système 1 peut donc s'expliquer par une utilisation non pertinente d'une ou plusieurs heuristiques. Ce choix non pertinent met en jeu des représentations personnelles biaisées (Cf. 1.3.1. Les biais cognitifs) qui diffèrent des valeurs statistiques réelles. Par exemple, une information à caractère scientifique, transmise à la population par une institution gouvernementale a statistiquement plus de chance d'être fiable que l'inverse. Pourtant, une partie de la population focalisera cette heuristique sur l'indicateur le moins fiable (dans ce cas : « Si l'information provient d'une institution gouvernementale, alors l'information n'est pas fiable »). Ce type de comportement témoigne d'un écart à la norme caractéristique d'un biais cognitif. Celui-ci peut être à l'origine d'un effet d'ancrage (ou effet de Halo) et/ou un biais de confirmation (Cf. 1.3.2.2. Les arguments fallacieux).

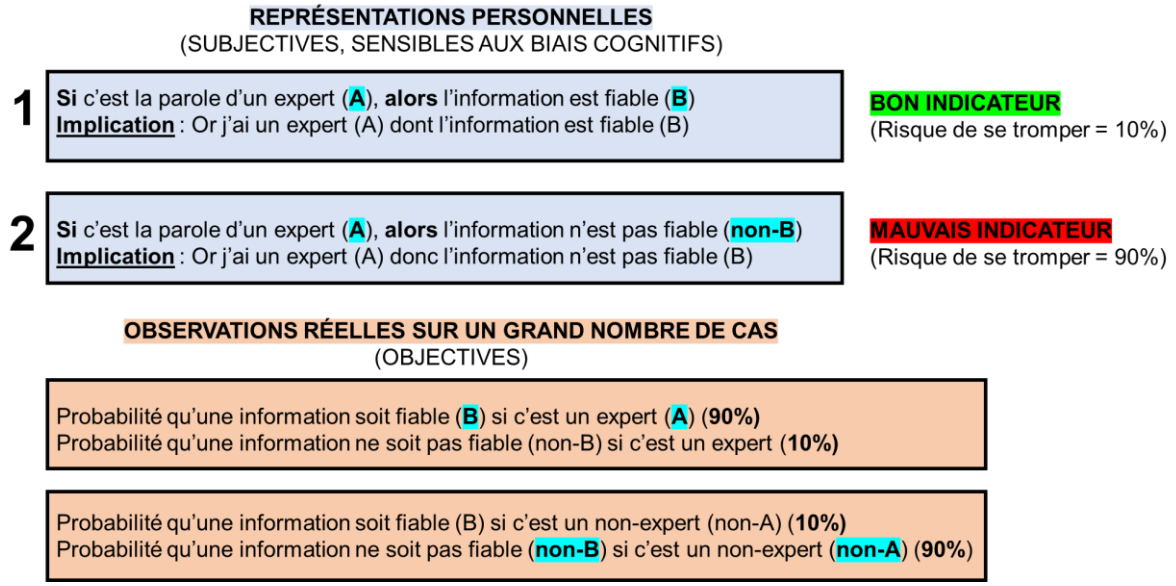


Figure 4 : Exemple de l'utilisation différentielle d'une heuristique du système 1 du type « la parole d'un expert ». Deux types d'implication peuvent être mobilisés par un individu en fonction de ses représentations personnelles concernant la fiabilité de la parole d'un expert. Si l'hypothèse de départ est celle qui est statistiquement la plus probable (si A alors B), alors le risque d'erreur sera faible (bon indicateur) et l'utilisation de l'heuristique sera pertinente. Production personnelle.

Ainsi, du fait de la sensibilité des heuristiques aux biais cognitifs, il est possible d'accorder un niveau de fiabilité élevé à une information pseudoscientifique tout comme il est possible

Licence CC BY-NC-ND 3.0

d'accorder un niveau de fiabilité faible à une information scientifique (Cf. 1.3.1. Les biais cognitifs). Une utilisation pertinente du système 1 repose donc sur l'association de plusieurs heuristiques et la capacité de l'individu à choisir des indicateurs fiables en calquant ses représentations personnelles sur des réalités statistiques objectives.

En conclusion, l'analyse d'une information à caractère scientifique en système 1 peut aboutir à deux résultats différents :

(1) Les heuristiques mobilisées ne permettent pas de remettre en cause la fiabilité de l'information et celle-ci sera donc considérée comme fiable. Elle sera donc utilisée pour construire notre opinion sur le sujet.
(2) Les heuristiques mobilisées génèrent un doute sur la fiabilité de l'information. Dans ce cas-là deux réactions sont possibles :
    - Soit on observe une bascule en système 2 afin d'analyser plus en détail cette information.
    - Soit la bascule en système 2 n'est pas possible ; l'information ne sera donc pas prise en compte afin de se faire une opinion sur le sujet.

1.2.2.2. Le traitement en système 2

Un raisonnement analytique en système 2 permet de déterminer la véracité d'une information à caractère scientifique. Cette décision reposera sur des stratégies rationnelles chronophages et cognitivement couteuses permettant de vérifier le respect des critères de scientificités. Les stratégies mises en place peuvent, par exemple, être : la détermination de la source primaire de l'information (publication scientifique à l'origine), le croisement des sources d'informations et/ou l'évaluation des preuves.

Dans le cadre de ce mémoire d'initiation à la recherche, l'étude s'est concentrée plus particulièrement sur une stratégie rationnelle : « l'évaluation des preuves ». En effet, les deux autres stratégies sont déjà travaillées en éducation morale et civique (EMC) par les élèves constituants notre échantillon. Cette stratégie consiste à analyser la validité logique des raisonnements déductifs et inductifs étayant les conclusions de l'auteur (Cf. 1.3.2.2. Les arguments fallacieux).

En conclusion, l'analyse d'une information à caractère scientifique en système 2 peut aboutir à deux résultats différents.

(1) Si les différents critères d'analyse remettent clairement en cause la validité scientifique de l'information à caractère scientifique alors il s'agit d'une information pseudoscientifique. Dans ce cas, il ne faut pas la prendre en compte dans le cadre d'un raisonnement rationnel.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

(2) En revanche, si la validité scientifique des preuves ne peut pas être réfutée, alors il faut les prendre en compte afin de se faire une opinion sur le sujet.

La pertinence de l'utilisation du système 2 repose sur la capacité à ne pas faire d'erreur d'analyse. Ces erreurs peuvent reposer sur une analyse logique et/ou une justification défaillante. Ainsi, la difficulté d'analyse en système 2 réside autant dans notre capacité à détecter les erreurs de raisonnement qu'à notre capacité à s'auto-appliquer ces règles de raisonnement ; c'est-à-dire, en d'autres termes, faire preuve de « rigueur scientifique ».

1.2.2.3. Le rôle du système 3

Dans ce modèle métacognitif, le système 3 admet un rôle central dans la mesure où il détermine seul, les situations dans lesquelles rester en système 1 est suffisant, des situations dans lesquelles il est nécessaire d'inhiber les heuristiques du système 1 afin de passer en système 2. Cette bascule entre le système 1 et 2 est dépendante de nombreux critères dont notre capacité à prendre du recul sur nos intuitions. Cela passe par notre capacité à connaître les biais cognitifs et les arguments fallacieux qui affectent nos intuitions (Houdé, 2018).

1.3. Biais cognitifs et arguments fallacieux

Notre cerveau fonctionne par défaut suivant un mode de pensée intuitif et rapide (système 1). Si, il est efficace dans la majorité des situations quotidiennes, grâce à la fiabilité de ses prédictions, il n'en reste pas moins faillible car sensible aux biais cognitifs. Il peut ainsi nous faire accepter une argumentation fallacieuse en l'absence d'un entrainement adapté. Il ne s'agit pas de proscrire l'utilisation de ce type de raisonnement par les élèves, mais de leur permettre d'engager un recul critique sur les limites des intuitions du système 1, dans le but de basculer de manière pertinente en système 2 en fonction des cas (système 3).

1.3.1. Les biais cognitifs

Un biais cognitif est un dysfonctionnement affectant le traitement par le cerveau d'une information dans le cadre d'une activité cognitive. Pour Kahneman (2011), ces biais cognitifs ne peuvent pas être ignorés, tout comme le sont les illusions visuelles. Ces dernières mettent en jeu des biais cognitifs affectant le sens de la vue. Elles doivent alors être comprises comme étant une conséquence d'un dysfonctionnement, affectant le traitement par le cerveau, des informations visuelles transmissent par les yeux. Cela se traduit, dans la **Figure 5**, par une illusion : le trait inférieur semble plus long que le trait supérieur alors même qu'une analyse rationnelle permet de constater que la longueur des traits est identique.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Figure 5 : Illusion visuelle de Müller-Lyer. A gauche : opposition des deux figures de même longueur. A droite : mise en évidence de la longueur similaire des deux figures. Modifié d'après Wikipédia.

S'il est impossible d'observer, au niveau cérébral, les biais cognitifs, il est possible d'identifier les effets caractéristiques qu'ils engendrent. En effet, les biais cognitifs se traduisent par un écart systématique à la norme (Caverni et al., 1990). Dans le cadre de l'évaluation d'une preuve, cette norme correspond au respect des règles de logique formelle et informelle (Cf. 1.3.2.2. Les arguments fallacieux). Ainsi, la détection d'un biais cognitif nécessite de mettre en évidence une déviation systématique de la pensée logique. En d'autres termes, effectuer de manière systématique des inférences, dont la logique est invalide, est un indicateur permettant de mettre en évidence l'intervention d'un biais cognitif affectant notre raisonnement.

1.3.2. La logique de l'argumentation

1.3.2.1. Les arguments déductifs et inductifs

Pour (George, 1997), un argument est « *une suite constituée d'une part de propositions appelées prémisses et d'autre part d'une proposition unique appelée conclusion* ». Cette distinction entre prémisses et conclusion est permise dans le langage courant par l'utilisation de connecteurs logiques spécifiques aux prémisses (ex : si, comme, etc.) et à la conclusion (ex : donc, en conclusion, etc.). La distinction entre « argument » et « raisonnement » repose sur la relation de causalité qui fait le lien entre ces deux paramètres puisque l'argument est la conséquence du raisonnement. En effet, le raisonnement peut se définir comme l'ensemble des activités cognitives permettant la production d'un argument (George, 1997). Dans le cadre de ce mémoire, les deux termes seront utilisés indistinctement. En classe de sciences de la vie et de la Terre, la démarche d'investigation permet de travailler deux grands types d'arguments : les arguments déductifs et les arguments inductifs.

Les **arguments inductifs** permettent d'aboutir à une conclusion dont la véracité n'est pas absolue, car elle repose non seulement sur la véracité des prémisses, mais aussi sur leur probabilité. Dans le cadre d'un raisonnement scientifique, ce type d'argument consiste à conclure de la généralité d'un phénomène à partir de l'étude d'un nombre de cas particuliers suffisamment nombreux. C'est pour cette raison qu'il est pédagogiquement critiquable de

Licence CC BY-NC-ND 3.0

réaliser une induction à partir d'un exemple unique (Cf. 1.3.2.2. Les arguments fallacieux – Généralisation hâtive).

A l'inverse, les **arguments déductifs** permettent d'aboutir à une conclusion dont la véracité est absolue, si la véracité des prémisses est vérifiée. Dans le cadre d'un raisonnement scientifique, les arguments déductifs sont identifiables par l'expression « Si … Alors ». Le connecteur « si » introduit la ou les prémisses et le connecteur « alors » la conclusion. Un argument déductif est toujours composé de deux prémisses, une règle et une affirmation. La règle (si A alors B) permet d'établir un lien de causalité systématique entre un antécédent (A) et un conséquent (B). On distingue alors deux formes d'arguments déductifs valides suivant le type d'affirmation :

(1) L'implication (ou modus ponens) est un raisonnement déductif valide consistant à poser la règle (Si A alors B) puis l'antécédent (Or A) afin d'en déduire le conséquent (Donc B) (**Tableau 1**). *Exemple : « S'il pleut alors le sol est mouillé. Or, il a plu, donc le sol est mouillé ».*

Tableau 1 : L'implication est un type de raisonnement déductif. Ici, la règle est « Si A alors B », l'antécédent est « A » et le conséquent est « B ». En présence de l'antécédent (or A), on peut déduire la présence du conséquent (donc B).

Prémises		Conclusion
Règle	**A → B**	**B**
Affirmation	**A**	

(2) La contraposée (ou modus tollens) est un raisonnement déductif valide consistant à poser la règle (Si A alors B) puis l'absence du conséquent (Or non B) afin d'en déduire l'absence de l'antécédent (Donc non A) (**Tableau 2**). *Exemple : « S'il pleut alors le sol est mouillé. Or, le sol n'est pas mouillé donc il n'a pas plu ».*

Tableau 2 : La contraposée est un type de raisonnement déductif. Ici, la règle est « Si A alors B », l'antécédent est « A » est le conséquent est « B ». En absence du conséquent (Or non-B), on peut déduire l'absence de l'antécédent (Donc non-A).

Prémises		Conclusion
Règle	**A → B**	**Non A**
Affirmation	**Non B**	

Lorsqu'un élève teste son hypothèse, c'est l'absence du conséquent (résultats théoriques attendus différents des résultats expérimentaux) qui permet de réfuter l'antécédent (hypothèse). Dans le cas contraire, l'antécédent sera validé jusqu'à preuve du contraire. Ainsi,

Licence CC BY-NC-ND 3.0

le critère de réfutabilité est lié au respect de la logique déductive. La démarche d'investigation nécessite donc l'utilisation par l'élève d'une logique inductive (généralisation) et déductive (réfutation des hypothèses). On parle de logique formelle pour le premier et de logique informelle pour le second.

1.3.2.2. Les arguments fallacieux

Un argument fallacieux désigne un argument qui semble valide, mais qui ne l'est pas (Hamblin, 1970). Cette validité logique apparente est un écart à la norme témoignant d'un biais cognitif. Dans le cadre de ce mémoire d'initiation à la recherche, un argument est considéré comme fallacieux dans deux conditions : (1) lorsqu'il repose sur un raisonnement inductif dont les prémisses sont insuffisamment justifiées ; (2) lorsqu'il repose sur un raisonnement déductif dont la relation entre les prémisses et la conclusion est invalide (George, 1997). Si la véracité des prémisses est également un critère à prendre en compte, celui-ci n'est pas étudié dans le cadre de ce mémoire d'initiation à la recherche, car les élèves n'ont pas accès à des ressources externes lors de l'expérience (Cf. 2.2. Protocole expérimental).

Il existe de nombreux arguments fallacieux exploitant les biais cognitifs de notre cerveau afin de nous tromper. Toutefois, limiter les erreurs d'analyse du système 1 à ces seuls arguments est réducteur. Il est également nécessaire de prendre en compte les nombreux biais cognitifs affectant notre propre analyse indépendamment de l'information en elle-même. Les arguments fallacieux et les biais cognitifs forment ainsi un ensemble de causes externes et internes aboutissant à une conséquence identique, celle de nous pousser à prendre de mauvaise décision dans le cadre de l'analyse d'une information à caractère scientifique. Par la suite, le terme « argument fallacieux » désignera les arguments fallacieux exploitant nos biais cognitifs internes (cause externe) et nos propres biais cognitifs affectant notre analyse (cause interne).

La classification des arguments fallacieux proposée par la suite s'appuie sur celle donnée par (McCandles, n.d.). Elle permet de développer quelques biais cognitifs et arguments fallacieux auxquels les élèves sont couramment exposés.

1.3.2.2.1. Manipulation de contenus

- **Le Biais de confirmation**

Le biais de confirmation est un biais cognitif affectant notre raisonnement intuitif. Il consiste à privilégier les informations confirmant nos idées/hypothèses et/ou à accorder moins de valeur aux informations qui vont à l'encontre de nos idées/hypothèses. De cette manière, il existe une sélection subjective des informations en fonction de nos intérêts et/ou de nos croyances.

- **Faux dilemme**

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Le faux dilemme est un raisonnement fallacieux consistant à proposer uniquement deux solutions à un problème, comme si celles-ci étaient les deux seules solutions possibles. Dans ce cas, la possibilité qu'il puisse exister d'autres solutions possibles au problème, est exclue de manière subjective.

- **Mensonge**

Le mensonge caractérise soit le fait d'énoncer, de manière délibérée, un fait contraire à la vérité, soit de dissimuler la vérité (mensonge par omission). On parle parfois de contrevérité, lorsqu'une affirmation est inexacte, sans préjuger du fait que son auteur le sache ou non. Dans cette situation, les prémisses étant fausses, la conclusion le sera également indépendamment de la validité logique de raisonnement.

1.3.2.2.2. Déductions erronées

- **Généralisation hâtive**

La généralisation hâtive est un raisonnement inductif fallacieux consistant à tirer une conclusion générale à partir d'une expérience isolée ou d'un échantillon de données trop faibles. Dans cette situation, les prémisses sont insuffisamment justifiées.

- **Erreur du parieur**

L'erreur du parieur est un raisonnement fallacieux consistant à surestimer ou sous-estimer la probabilité d'un évènement aléatoire et indépendant en fonction des évènements antérieurs ayant eu lieu. Ce type de raisonnement est fallacieux, car les résultats des évènements précédents n'affecteront pas la probabilité des résultats des futurs évènements. Cette erreur résulte de la difficulté de notre système 1 à manipuler les statistiques et les probabilités. Par exemple, l'erreur du parieur consisterait à croire que la probabilité d'obtenir un six lors du tirage d'un dé est plus faible si l'on a obtenu un six lors des trois lancés précédents. En vérité, le résultat de chaque lancé de dé est indépendant des résultats des lancés de dé précédents.

1.3.2.2.3. Confusion entre cause et effet

Les confusions entre causes et effets peuvent être des raisonnements déductifs fallacieux. Ce type d'erreurs est lié à la propension du cerveau à partir du principe intuitif qu'un évènement est mono-causal en excluant la possibilité que celui-ci puisse être multi-causal. Il en résulte deux arguments fallacieux : (1) la négation de l'antécédent et (2) l'affirmation du conséquent.

- **Négation de l'antécédent**

La négation de l'antécédent est un raisonnement déductif invalide consistant à poser la règle (Si A alors B) puis l'absence de l'antécédent (Or non A) pour en déduire l'absence du conséquent (Donc non-B) (**Tableau 3**). Ce raisonnement est invalide car il est possible que le

Licence CC BY-NC-ND 3.0

conséquent (B) puisse admettre un autre antécédent (C, D, E, etc.). *Exemple : « S'il pleut alors le sol est mouillé. Or, il n'a pas plu donc le sol n'est pas mouillé ».* La possibilité que le sol soit mouillé car on l'a arrosé, ou pour une autre raison, est exclue par principe.

Tableau 3 : La négation de l'antécédent est un type de raisonnement déductif invalide. Ici, la règle est « Si A alors B ». En absence de l'antécédent « Or non A », il n'est pas possible de conclure de l'absence du conséquent « Donc non B » car le conséquent (B) peut admettre d'autres antécédents.

Prémises		**Conclusion**
Règle	**A → B**	**Non B**
Affirmation	**Non A**	

- **Affirmation du conséquent**

L'affirmation du conséquent est un raisonnement déductif invalide consistant à poser la règle (Si A alors B) et le conséquent (Or B) afin d'en déduire l'antécédent (Donc A). Ce raisonnement est invalide, car il est possible que le conséquent (B) puisse admettre un autre antécédent (C, D, E, etc.) (**Tableau 4**). *Exemple : « S'il pleut alors le sol est mouillé. Or le sol est mouillé donc il a plu ».* La possibilité que le sol soit mouillé, car on l'a arrosé est exclue de par principe.

Tableau 4 : L'affirmation du conséquent est un type de raisonnement déductif invalide. Ici, la règle est « Si A alors B ». En présence du conséquent « Or B », il n'est pas possible de déduire la présence de l'antécédent « Donc A » car le conséquent (B) peut admettre d'autres antécédents.

Prémises		**Conclusion**
Règle	**A → B**	**A**
Affirmation	**B**	

Les confusions entre causes et effets peuvent également résulter de corrélations fallacieuses.

- **Effet cigogne**

L'effet cigogne (ou Cum Hoc Ergo Propter Hoc) est un raisonnement fallacieux consistant à croire que toutes les corrélations sont des causalités. Or, si une causalité implique systématiquement une corrélation (Si j'ai causalité alors j'ai corrélation) la réciproque n'est pas valide (si j'ai corrélation alors j'ai causalité). En science, cette erreur est rappelée par la phrase « *la corrélation n'implique pas la causalité* ». *Exemple :* « *Plus une population consomme de chocolat (en Kg/personne/an), plus les individus de cette population vivent longtemps (en année)* ». L'erreur serait de déduire, à partir de cette corrélation, un lien de causalité entre le fait de manger du chocolat et de vivre plus longtemps alors même que cette corrélation peut résulter du hasard ou de l'existence d'une cause commune engendrant les deux variations

Licence CC BY-NC-ND 3.0

(ignorer les causes communes). Par exemple, la consommation de chocolat et l'espérance de vie des individus d'une population sont corrélés au niveau de vie des individus de la population.

- **Le raisonnement Post Hoc**

Le raisonnement Post Hoc (ou Post Hoc Ergo Propter Hoc) est un raisonnement fallacieux consistant à déduire une relation de causalité entre deux évènements à partir d'une séquence temporelle (séquentialité) sans prendre en compte d'autres paramètres pouvant exclure cette relation de causalité. Toutefois, si une causalité implique systématiquement une séquentialité (Si j'ai causalité alors j'ai séquentialité) la réciproque n'est pas valide (si j'ai séquentialité alors j'ai causalité). La succession de deux évènements n'est donc pas suffisante pour établir une relation de causalité. Ce type de raisonnement fallacieux peut être à l'origine des superstitions.

1.3.2.2.4. Les manipulations de l'esprit

- **Appel à l'ignorance**

L'appel à l'ignorance est un raisonnement fallacieux consistant à utiliser le critère de réfutabilité de la démarche scientifique afin d'appuyer une proposition non scientifique irréfutable. Ce raisonnement peut également s'appliquer aux propositions réfutables mais n'ayant fait l'objet d'aucune tentative de réfutation de la part de son auteur. Or, dans le cadre d'une démarche scientifique, c'est à la personne affirmant une proposition de démontrer qu'elle n'est pas fausse en échouant à la contredire (critère de réfutabilité). On parle ainsi de renversement de la charge de la preuve lorsqu'une personne, défendant une théorie, attribue la responsabilité de la charge de la preuve aux opposants de celle-ci plutôt qu'à elle-même.

- **L'appel à la popularité**

L'appel à la popularité est un raisonnement fallacieux consistant à accepter une proposition en se fondant uniquement sur le nombre de personne y adhérant. Ce type d'argumentation n'est pas rationnel, car il n'existe aucune relation de causalité entre le nombre de personne adhérant à une proposition et sa fiabilité scientifique.

- **L'appel à l'ancienneté**

L'appel à l'ancienneté est un raisonnement fallacieux consistant à accepter une proposition en se fondant uniquement sur son ancienneté. Or, il n'existe aucune relation de causalité entre l'ancienneté d'une proposition et sa fiabilité scientifique.

- **L'argument d'autorité**

L'argument d'autorité est un raisonnement fallacieux consistant à accepter une proposition en se fondant uniquement sur le statut social de la personne qui la donne. S'il peut s'agir d'un bon indicateur, il faut en revanche rester vigilant et s'assurer que la personne donnant cette information est bien un expert du sujet dont il parle.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

1.3.2.2.5. L'appel aux émotions

L'appel aux émotions recouvre plusieurs raisonnements fallacieux consistant à accepter une proposition sur la base de l'émotion qu'elle implique. Il peut – entre autres – s'agir de la terreur (appel à la terreur), de la flatterie (appel à la flatterie) ou de la pitié (appel à la pitié).

1.4. La démarche d'investigation

Dans le cadre de l'enseignement des sciences au lycée, les enseignants mettent en œuvre une démarche scientifique pédagogisée appelée démarche d'investigation. Cette démarche met en jeu différentes étapes (Molvinger, 2017 ; **Figure 6**) permettant d'engager les élèves de la classe dans une démarche réflexive mobilisant à la fois leur pensée analytique (système 2) et intuitive (système 1).

La démarche d'investigation est initiée par l'enseignant en confrontant l'élève à une situation problème stimulante qui éveillera sa curiosité. Une discussion entre l'enseignant et les élèves de la classe permet de faire émerger, à partir de cette situation problème, un problème ou une problématique scientifique. En permettant aux élèves de la classe de formuler eux-mêmes le problème ou la problématique, on favorise son appropriation.

La formulation d'hypothèses explicatives permet aux élèves de la classe de proposer des solutions possibles aux problèmes via un dialogue avec l'enseignant. Ces hypothèses sont ensuite testées par l'investigation afin de garder uniquement les hypothèses non réfutées (critère de réfutabilité de Popper). Si les hypothèses des élèves sont souvent testées par un mode d'investigation expérimental nécessitant l'élaboration et/ou la réalisation d'un protocole expérimental (critère de reproductibilité), l'investigation peut également se faire par l'observation, la modélisation, la recherche documentaire, les enquêtes ou les visites.

Les résultats de l'investigation sont ensuite discutés par les élèves et l'enseignant dans le cadre d'un débat argumentatif mobilisant la pensée analytique des élèves. Il en résulte un savoir provisoire. La généralisation de ce savoir provisoire par un raisonnement inductif, permettra de construire un savoir établi. C'est ce savoir établi qui correspond aux attentes notionnelles du bulletin officiel.

En conclusion, la démarche d'investigation est indissociable de l'enseignement scientifique dans le primaire et le secondaire. Elle permet d'initier les élèves à la démarche scientifique dans le cadre d'une pédagogie active mobilisant la pensée analytique des élèves et leur permettant de prendre du recul sur les intuitions de leur pensée intuitive (représentations élèves). En revanche, si la démarche d'investigation permet de travailler le raisonnement analytique et intuitif des élèves, elle ne permet pas de travailler leur système 3. Son utilisation

Licence CC BY-NC-ND 3.0

est pourtant indispensable afin de dissocier de manière pertinente les situations dans lesquelles la pensée intuitive est suffisante, des situations où elle ne l'est pas.

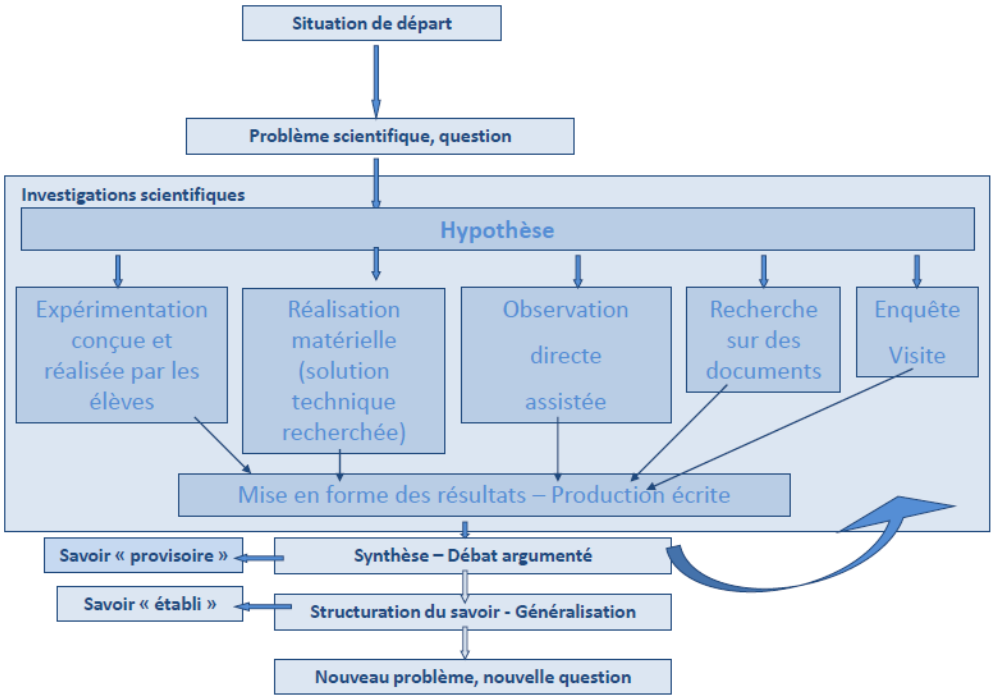


Figure 6 : Schéma représentant les différentes étapes de la démarche d'investigation. La situation de départ permet de faire émerger un problème qui fera l'objet d'une investigation scientifique expérimentale ou non. La synthèse des résultats permet de produire un savoir « établi » qui fera l'objet d'une évaluation sommative tout comme les savoir-faire travaillés au cours de l'investigation. D'après Bobée – IA-IPR Orléans-Tours.

1.5. L'évaluation par compétence

1.5.1. Les compétences

Une compétence caractérise une association de savoirs (connaissance), savoir-faire (capacité) et savoir-être (attitude) interagissant les uns avec les autres (**Figure 7**) dans le cadre d'une tâche (Gérard, 2010). Par exemple, pour conduire (tâche), il est nécessaire de mobiliser des savoirs (code de la route), des savoir-faire (passage de vitesse) et des savoir-être (respect des vitesses) interagissant les uns avec les autres.

Ce qui caractérise la maîtrise d'une compétence, c'est la pertinence de celle-ci avec la tâche. La compétence est donc dépendante d'un contexte. L'élève doit non seulement disposer d'acquis (connaissances, capacités, attitudes) mais aussi d'une expérience des situations dans lesquelles il convient de les utiliser. Il est donc possible d'attester de la compétence uniquement en confrontant l'élève à des situations inédites appartenant à la famille des situations définies par la compétence (Gérard, 2010).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

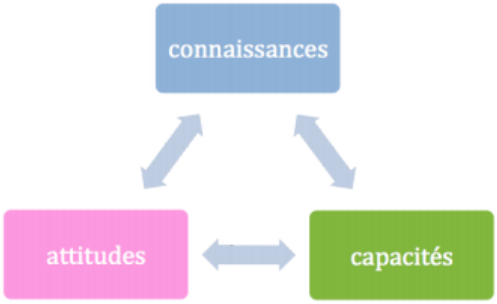


Figure 7 : Schéma représentant l'interaction entre les connaissances (savoirs), les capacités (savoir-faire) et les attitudes (savoir-être) dans le cadre d'une compétence. D'après https://www.pedagogie.ac-nantes.fr.

1.5.2. L'évaluation

Etymologiquement, « évaluer » vient du grec *ex-valuare* signifiant « sortir la valeur de ». Évaluer un élève revient donc à expliciter les points forts et les points faibles d'un élève afin de mieux l'accompagner dans son apprentissage (Gérard, 2010).

L'évaluation des compétences doit donc faire ressortir la valeur d'une production ; mettre en évidence ce qui est réussi et pas seulement souligner les lacunes. Cette évaluation repose sur deux éléments : les critères et les indicateurs.

- Un critère correspond à la qualité que l'enseignant s'attend à trouver dans la production de l'élève. Ils doivent être généraux, indépendants et pondérés.
- Un indicateur correspond au contenu attendu par l'enseignant. Dépendant du contexte, il est donc concret et observable. Il peut être décliné en différents niveaux de maîtrise, on parle alors d'indicateurs détaillés. C'est sur la base de ces indicateurs détaillés qu'un barème de notation est élaboré afin de déterminer quand le critère sera ou non considéré comme maîtrisé.

La construction d'une grille d'évaluation par compétence requiert une méthodologie précise pouvant se résumer de la manière suivante : (1) détermination de la famille de situation dans laquelle la compétence est travaillée, (2) définition des critères, (3) définition et gestion des indicateurs. Ce travail doit permettre d'aboutir à un consensus entre la précision de la grille d'évaluation et la faisabilité de son utilisation (Cf. 2.3. Outil d'évaluation).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

2. Méthodologie de recherche

2.1. Contexte de l'étude

Cette étude a été réalisée sur un échantillon de 136 élèves scolarisés au lycée général et technologique Edmond-Perrier à Tulle. Ces élèves sont issus de quatre classes de première générale (601, 602, 604 et 605) et suivent en majorité des options scientifiques. Le protocole expérimental développé ci-dessous a été mis en place lors des cours d'enseignement scientifique de ces différentes classes.

2.2. Protocole expérimental

Le protocole expérimental développé ci-dessous est un protocole théorique ayant subi quelques modifications afin de s'adapter aux contraintes induites par la période de confinement causé par le virus SARS-CoV-2.

2.2.1. Groupes expérimentaux et échantillonnage

J'ai en responsabilité quatre classes d'enseignement scientifique (601, 602, 604 et 605) que j'accueille le lundi. Je bénéficie d'un dédoublement me permettant d'accueillir une semaine sur deux, ces quatre classes en demi-groupe ($601G_1$, $601G_2$, $602G_1$, $602G_2$, etc.). Pour les besoins de cette étude, j'ai fait le choix subjectif d'attribuer aux classes ayant cours le matin (602 et 604) les conditions témoins et aux classes ayant cours l'après-midi (601 et 605) les conditions tests (**Tableau 5**).

Les groupes témoins ont suivi des cours d'enseignement scientifique dit « classiques » pendant lesquels ils ont pu pratiquer différents aspects de la démarche scientifique (Cf. 2.2.2.1. Pratique de la démarche scientifique). Les groupes tests ont suivi des cours d'enseignement scientifique pendant lesquels ils ont pu travailler – en complément des cours « classiques » – une méthodologie permettant l'analyse rationnelle des informations à caractère scientifique produites par les médias au sens large (Cf. 2.2.2.2. Pratique d'une méthodologie critique). Le détail de la constitution des groupes tests et des groupes témoins est disponible en **Annexe 1**.

Afin d'obtenir un échantillonnage quantitatif identique pour chaque sujet et pour chaque condition expérimentale, le nombre d'élève de chaque demi-groupe, a été défini de manière subjective (**Tableau 5**). En revanche, pour chaque demi-groupe, le choix des élèves réalisant le sujet 1 ou 2 a été réalisé de manière aléatoire par un algorithme mathématique. Pour cela, une randomisation simple a été effectuée : chaque élève de chaque demi-groupe est associé à un numéro correspondant à sa position dans la « liste élève » produite par l'établissement (**Annexe 1**). Le logiciel de tirage au sort aléatoire (DCode, 2020) est ensuite configuré afin

Licence CC BY-NC-ND 3.0

d'obtenir une liste de numéros dont le total est égal au nombre d'élèves devant réaliser le sujet 1 dans cette classe (échantillonnage quantitatif). Par défaut, les élèves du demi-groupe qui n'ont pas été tirés au sort, se voient attribuer le sujet 2. Cette étape de randomisation simple permet de limiter l'influence de facteurs annexes.

Tableau 5 : Répartition des élèves en fonction des conditions expérimentales et des sujets à analyser. Les classes 602 et 604 représentent les groupes témoins tandis que les classes 601 et 605 représentent les groupes tests. Chacune de ces classes a été divisée en deux demi-groupes, chacun assigné à un sujet.

	Classes	Demi-groupes	Sujet 1	Sujet 2
Conditions témoins (initiation à la démarche scientifique)	**602** 35 élèves	**602 G1** (18 élèves)	9 élèves	9 élèves
		602 G2 (17 élèves)	8 élèves	9 élèves
	604 33 élèves	**604 G1** (16 élèves)	8 élèves	8 élèves
		604 G2 (17 élèves)	9 élèves	8 élèves
TOTAL		68 élèves témoins	34 élèves	34 élèves

	Classes	Demi-groupes	Sujet 1	Sujet 2
Conditions tests (initiation à la démarche scientifique + présentation d'un outil)	**605** 35 élèves	**605 G1** (18 élèves)	9 élèves	9 élèves
		605 G2 (17 élèves)	8 élèves	9 élèves
	601 33 élèves	**601 G1** (17 élèves)	9 élèves	8 élèves
		601 G2 (16 élèves)	8 élèves	8 élèves
TOTAL		68 élèves tests	34 élèves	34 élèves

BILAN	138 élèves testés	68 élèves	68 élèves

2.2.2. Démarche implicite et explicite

2.2.2.1. Pratique de la démarche scientifique

Dans le cadre des cours d'enseignement scientifique, l'intégralité des élèves testés (601, 602, 604 et 605) ont étudié différents aspects de la démarche scientifique via la pratique de démarches d'investigation expérimentales et historiques. Le détail de plusieurs séances importantes réalisées en cours d'année est proposé ci-dessous.

- **<u>Le critère de réfutabilité et le raisonnement déductif</u>**

En début d'année scolaire, les élèves ont travaillé sur la membrane plasmique des cellules au cours d'une séance. Deux modèles historiques de membrane plasmique ont alors été proposés aux élèves : (1) le modèle en sandwich de Danielli et Davson (1935) et (2) le modèle en mosaïque fluide de Singer et Nicolson (1972) (**Figure 8**). La date de publication de ces deux modèles n'était pas connue des élèves. L'objectif de la séance était de déterminer le

Licence CC BY-NC-ND 3.0

modèle scientifique le plus fiable à partir de l'analyse d'un ensemble de résultats expérimentaux historiques.

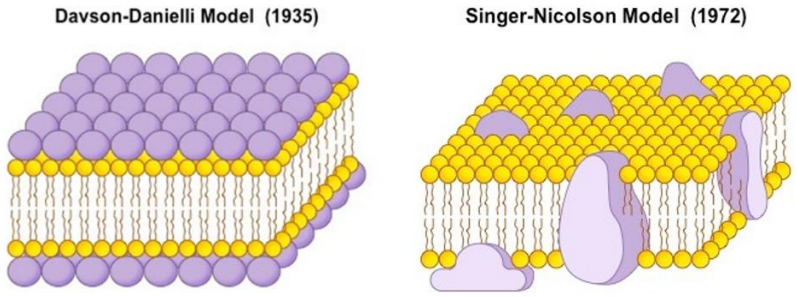


Figure 8 : Schéma représentant les deux modèles historiques de l'organisation de la membrane plasmique. A gauche : le modèle de Davson et Danielli (1935). A droite : le modèle de Singer et Nicolson (1972). D'après BioNinja.

Cette activité permet aux élèves de travailler, de manière implicite, les capacités critiques évaluées dans le cadre de ce mémoire d'initiation à la recherche. En effet, les élèves doivent évaluer la fiabilité d'un modèle (information scientifique) à partir de l'analyse de données expérimentales historiques (preuves). L'analyse des documents permet aux élèves de pratiquer un raisonnement déductif valide. La synthèse des informations permet ensuite de valider le modèle le plus probable en réfutant le deuxième (critère de réfutabilité).

Si cette activité permet aux élèves de travailler certains critères de scientificité de la démarche scientifique, elle ne permet pas de les confronter à un savoir pseudoscientifique invalide. Si l'un des deux modèles est moins probable, son invalidité ne repose pas sur le non-respect de la démarche scientifique (comme c'est le cas avec les arguments fallacieux informels ou les logiques invalides) mais sur la découverte de nouveaux faits expérimentaux entrainant la modification du modèle (40 ans séparent les deux modèles).

- **La distinction entre science et non science**

En milieu d'année scolaire, les élèves ont travaillé sur l'âge de la Terre. Ils ont mis en pratique plusieurs méthodes scientifiques historiques ayant permis la détermination de l'âge de la Terre. Parmi elles, des méthodes de datation relative (taux de sédimentation/érosion, flux de déperdition de chaleur) et des méthodes de datations absolues (radiochronologie).

L'étude des méthodes théologiques (ex : généalogie des écrits religieux) a permis aux élèves de réfléchir aux critères permettant de distinguer le savoir religieux du savoir scientifique (ex : reproductibilité des résultats, possibilité de réfutation). Dans cette activité, les élèves ont donc été emmenés à distinguer de manière plus générale le savoir non scientifique (non-science) du savoir scientifique. Les élèves ont ainsi pris conscience du fait que la religion (non-science) ne peut pas faire l'objet d'une démarche scientifique (irréfutabilité de l'hypothèse de l'existence

Licence CC BY-NC-ND 3.0

ou de l'inexistante d'une entité supérieure). En revanche, si l'absence d'interaction possible entre la science et la religion (non-science) a été mise en évidence, les élèves n'ont pas été confrontés à un savoir pseudo-scientifique au cours de cette séance.

2.2.2.2. Pratique d'une méthodologie critique

Dans le cadre des cours d'enseignement scientifique, les élèves des groupes tests (601 et 605) ont engagé à trois reprises une réflexion critique explicite sur leur façon d'évaluer une information à caractère scientifique. Le détail de ces trois séances est proposé ci-dessous.

- **Posture rationnelle et non rationnelle**

Comme dit précédemment, en milieu d'année scolaire, les élèves des classes témoins et des classes tests ont étudié les différentes méthodes scientifiques et non scientifiques permettant d'estimer l'âge de la Terre. Un travail de réflexion critique explicite supplémentaire a été proposé aux élèves des classes tests en fin de séance.

(1) Dans un premier temps, un graphique reliant les connaissances scientifiques d'un individu par rapport à ses croyances, a été présenté **(Figure 9).** Ce graphique permet de distinguer trois postures différentes par rapport à une information à caractère scientifique : l'acte de foi, le déni et la posture rationnelle (Cf. 1.1.2. La science et les croyances).

(2) Les élèves ont ensuite été invités à replacer les méthodes de datation abordées en cours dans ce graphique (**Figure 9**) par rapport aux personnes qui les ont produites et en fonction du temps. Ainsi, durant l'antiquité, la méthode de datation théologique est la seule méthode permettant de dater l'âge de la Terre. En absence de preuves scientifiques, croire en la datation théologique relève alors de l'acte de foi. Au 18ème siècle, différentes méthodes de datation relative de l'âge de la Terre sont développées dans le domaine de la physique et de la géologie. Ces datations aboutissent à des âges minimums très différents allant de 1 Ma pour les physiciens à 1 Ga pour les géologues. A cette époque, une controverse scientifique existe donc concernant l'ordre de grandeur de l'âge de la Terre, mais les géologues comme les physiciens sont persuadés de la validité de leurs résultats. Ce n'est que très récemment que l'utilisation des propriétés radioactives de certains éléments chimiques constitutifs des roches a permis la datation absolue de la Terre et l'aboutissement à un consensus scientifique.

(3) Enfin, les élèves ont été invités à prendre du recul par rapport au graphique de la **Figure 9**. Si la posture rationnelle s'applique à tous les phénomènes testables par la démarche scientifique, il relève du choix personnel de croire (existence, inexistence) ou de ne pas croire (je ne sais pas) en un phénomène non testable. De même, un jugement est rationnel seulement si nous avons une bonne représentation de l'état actuel des connaissances scientifiques concernant le sujet sur lequel nous nous prononçons. Dans le cas contraire,

Licence CC BY-NC-ND 3.0

il est préférable de suspendre son jugement et d'effectuer des recherches complémentaires avant de se prononcer.

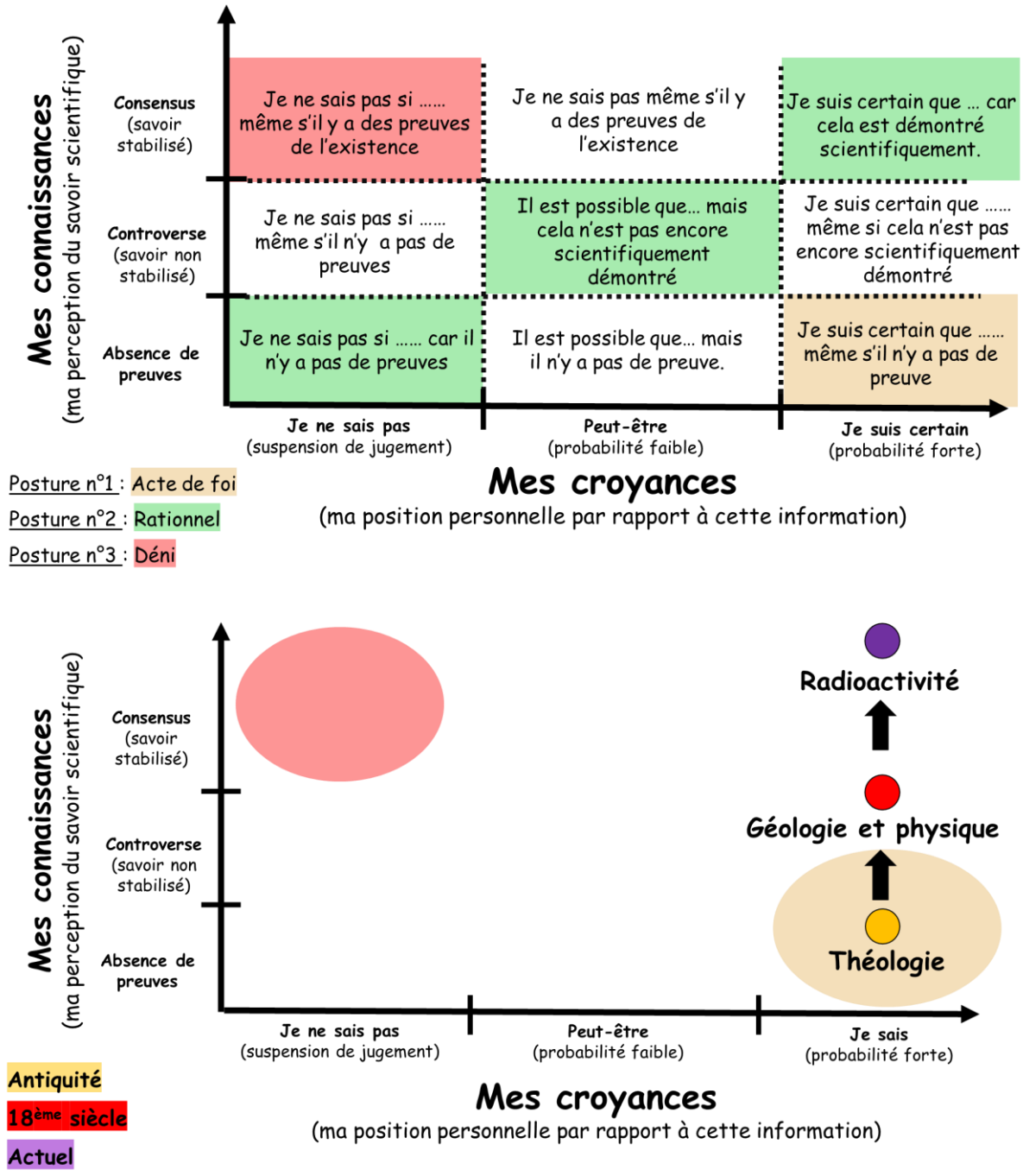


Figure 9 : Graphiques représentant de manière schématique les différentes postures qu'une personne peut adopter face à une information. En haut : le détail des différentes postures qu'une personne peut adopter face à une information à caractère scientifique. En bas : la posture adoptée par différents personnages historiques ayant proposés des méthodes de datation de la Terre. Modifié d'après Michel (2017b)

Licence CC BY-NC-ND 3.0

- **La neige en plastique**

En milieu d'année, les élèves des groupes tests et des groupes témoins ont travaillé sur les flux énergétiques mis en jeu sur Terre. Au préalable, une introduction à la séquence traitant du vocabulaire utilisé lors de l'étude de l'énergie (forme et flux d'énergie, conversion énergétique, etc.) a été proposée. Dans le cadre de cette séance, les élèves ont travaillé sur la notion de conversion énergétique via l'exemple de la combustion des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz).

Les élèves des groupes tests (uniquement) ont ensuite été invités à analyser une vidéo conspirationniste traitant de la théorie pseudoscientifique de la neige en plastique (INEAMM, 2018). Selon cette théorie, la neige ne serait pas composée d'eau, mais de plastique. Cette théorie est appuyée par une observation : lorsque l'on brûle de la neige avec un briquet à gaz, un dépôt noir apparaît sur la neige et une odeur de plastique se dégage. De même, aucune eau liquide ne coule au niveau de la zone brulée.

L'analyse de cette vidéo en système 1 par les élèves permet de faire émerger une contre-argumentation fallacieuse essentiellement fondée sur une discréditation du locuteur sur la base de son apparence (physique, élocution). Les élèves ont ensuite été invités à analyser le fond du propos (système 2), c'est-à-dire les éléments factuels – plutôt que la forme : « comment expliquer les observations factuelles de cette personne ? ». Une contre-argumentation objective fondée sur les connaissances scientifiques abordées auparavant est proposée. C'est la combustion incomplète du gaz du briquet qui est à l'origine d'un dépôt de carbone noir et de l'odeur de plastique et non la fonte de la neige. L'absence d'eau liquide s'explique par un phénomène d'absorption (la neige absorbe l'eau liquide) et de sublimation (passage d'une neige solide à de la vapeur d'eau). Ainsi, bien que les observations effectuées dans la vidéo soient justes, la cause et la conséquence de celles-ci reposaient sur des déductions invalides, car les prémisses étaient fausses (par manque de connaissance). Si le locuteur de la vidéo avait adopté une posture rationnelle, il aurait suspendu son jugement et effectué des recherches complémentaires avant de poster une vidéo sur les réseaux sociaux à ce sujet. De même, plusieurs observations allant à l'encontre de la théorie proposée dans la vidéo, sont omises (biais de confirmation). Par exemple, il omet de spécifier que la partie de sa main tenant la boule de neige est probablement mouillée.

Cette séance d'analyse vidéo a permis le travail de la posture rationnelle des élèves tout en constituant une introduction à la séance suivante portant sur la présentation formelle de la démarche mise en œuvre lors de l'analyse de cette vidéo.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

- **<u>Mode de raisonnement rationnel et non rationnel</u>**

La dernière séance d'éducation explicite à l'esprit critique, qui devait être réalisée en classe entière le 10 Avril 2020, a été réalisée en visioconférence via l'outil « classe virtuelle » du CNED (2020). Seulement 66 % des élèves concernés (groupes tests) ont pu y assister, soit 45 élèves sur 68. Au cours de cette séance expositive, une méthodologie permettant l'analyse de la fiabilité d'une information à caractère scientifique a été présentée aux élèves des groupes tests. Cette présentation est structurée en différentes parties.

(1) Dans un premier temps, les définitions de science, pseudoscience et information à caractère scientifique ont été présentées aux élèves puis étayées par des exemples concrets issus de différents types de médias.

(2) Ensuite, les deux systèmes de pensée ont été présentés aux élèves. Cette présentation a été réalisée à travers la fable « le lièvre et la tortue » afin de favoriser la rétention de l'information par les élèves. Cette histoire, créée pour les besoins de ce mémoire, permet de comprendre les situations dans lesquelles une personne utilise son système 1 ou son système 2, mais aussi de comprendre les avantages et les inconvénients de chacun de ces systèmes. Dans cette histoire un parieur sportif doit parier sur le résultat d'une course à laquelle participe deux coureurs différents : un lièvre et une tortue. Cette situation d'accroche est une analogie de la capacité de notre cerveau (parieur) à raisonner en système 1 (parier sur le lièvre) ou en système 2 (parier sur la tortue) en fonction des situations (type de course) afin de répondre à un problème (le coureur participe à la course) (**Figure 10**). La réponse à ce problème pouvant être correcte (le coureur franchit la ligne d'arrivée) ou non (ne pas franchir la ligne d'arrivée).

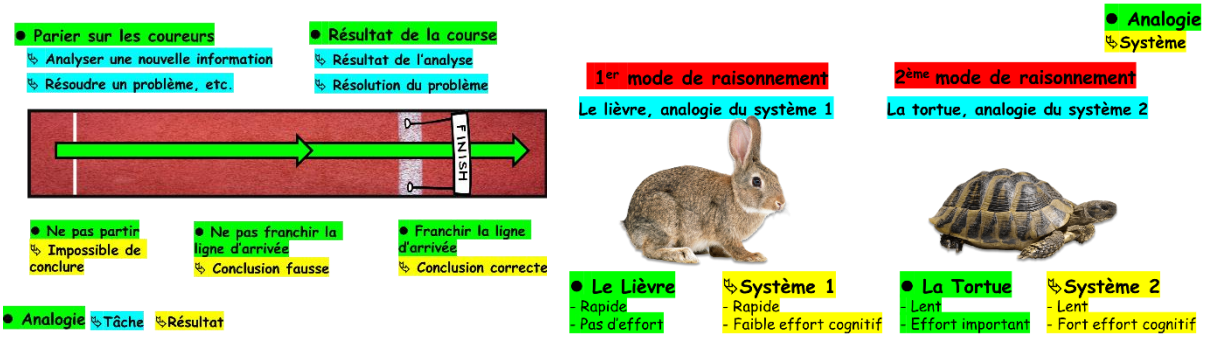


Figure 10 : Capture d'écran du diaporama présenté aux élèves dans le cadre de la troisième séance d'éducation explicite à l'esprit critique. Dans le cadre de cette analogie, le parieur (représentant le cerveau) doit parier sur le gagnant de la course (c'est-à-dire sur le système de pensée à utiliser), soit sur le lièvre (le système 1) soit sur la tortue (le système 2). Production personnelle.

La plupart des courses ont lieu sur une piste d'athlétisme (90 % des cas). Dans cette situation, le parieur sportif va parier sur le lièvre, car il court plus vite et a donc de grandes chances de franchir la ligne d'arrivée en premier. Ainsi, il y a de grandes chances (90 %)

Licence CC BY-NC-ND 3.0

que ce pari soit gagnant. Pour autant, on ne peut pas exclure la possibilité que le lièvre se blesse pendant la course (10 % des cas). Dans ce cas-là, le pari est perdant, car le lièvre ne franchit pas la ligne d'arrivée contrairement à la tortue. Cette première course est une analogie des situations dans lesquelles notre cerveau peut utiliser le système 1 par défaut. En effet, dans un grand nombre de situation quotidienne, notre système 1 (lièvre) est capable d'apporter une réponse à un problème (participer à la course). Si cette réponse est correcte dans la majorité des cas (franchir la ligne d'arrivée), il existe néanmoins un risque faible de se tromper (ne pas franchir la ligne d'arrivée) car la règle n'est pas respectée ou parce que notre cerveau a répondu à une question plus simple (Cf. 1.2.2. Système de pensée et traitement de l'information). Toutefois, certaines courses ont lieu dans une piscine. Dans cette situation, le parieur sportif va parier sur la tortue, car elle est la seule à savoir nager ; le lièvre ne peut donc pas participer à la course. Dans cette situation, le parieur est certain de gagner (100 %). Cette situation est une analogie des situations dans lesquelles le cerveau ne peut pas utiliser le système 1 afin de proposer une solution au problème. Le cerveau va alors raisonner en système 2 par défaut.

(3) Par la suite, les élèves ont été amenés à comprendre pourquoi le système 1 pouvait parfois aboutir à de fausses conclusions. Tout d'abord, l'invalidité des raisonnements déductifs mis en jeu dans le cadre de la pensée intuitive est démontrée via l'existence de contre-exemples (Cf. 1.2.2.1. Le traitement en système 1). Pour autant, la pertinence de ces stratégies est rappelée dans la mesure où elles constituent de bons indicateurs lorsqu'elles sont bien utilisées. Dans un second temps, après avoir développé quelques exemples dans lesquels ces stratégies sont utilisées de manière plus ou moins pertinente, les biais cognitifs et les arguments fallacieux à l'origine de ces erreurs de jugement, ont été développés. De cette manière, les élèves veilleront à détecter ce type d'argument dans les propos qu'ils analysent ou dans leur propre raisonnement.

(4) En conclusion de cette présentation, un bilan a été effectué. Les élèves ont notamment été invités à bien distinguer les situations dans lesquelles le système 1 était utile (affirmation ordinaire) des situations dans lesquelles il était obligatoirement nécessaire de raisonner en système 2 indépendamment des conclusions du système 1 (affirmation extraordinaire).

2.2.3. Préparation au test de compétence

En fin d'année scolaire, les élèves ont travaillé sur le bilan radiatif terrestre. L'objectif était de construire un modèle scientifique permettant de modéliser la température moyenne au niveau de la surface terrestre. Pour cela, les élèves ont pratiqué une démarche d'investigation permettant la mise en évidence des différents phénomènes physiques (absorption, réflexion,

Licence CC BY-NC-ND 3.0

ré-émission) affectant les flux énergétiques mis en jeu (rayonnement solaire incident, flux infrarouge terrestre) à l'origine de la température de surface terrestre.

La validité du modèle a été testée par les élèves via l'utilisation de l'équation mathématique de Stefan-Boltzmann. L'objectif étant que la température du modèle soit identique à la température moyenne calculée par les scientifiques (15°C). Ce modèle a ensuite servi de base pour envisager les conséquences possibles de la modification de certains paramètres sur la température moyenne terrestre (ex : variation de la surface glaciaire et/ou de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre). Les élèves ont ainsi été amenés à travailler sur la place des modèles en science. C'est l'occasion de comprendre comment un modèle peut être modifié en le confrontant aux faits expérimentaux empiriques. Pour autant, au-delà de l'aspect méthodologique propre à la démarche scientifique, cette séance a surtout eu pour objectif de donner aux élèves un ensemble de connaissances scientifiques sur lesquelles ils pouvaient se reposer lors du test de compétence, indépendamment de toutes ressources notionnelles externes.

2.2.4. Test de compétence

Afin d'évaluer l'esprit critique des élèves et plus particulièrement leur capacité à évaluer la fiabilité d'une information à caractère scientifique, une activité élève consistant à analyser le contenu d'un article scientifique fictif est proposé. Pour cela, deux articles de niveaux différents mais reposant sur la même rhétorique fallacieuse sont proposés aux élèves. Ces articles sont en rapport direct avec la séquence pédagogique travaillée préalablement en classe (Cf. 2.2.3. Préparation au test de compétence), puisqu'ils traitent de l'augmentation de la température moyenne de surface de la Terre.

Préalablement à l'analyse de ces articles, les élèves sont invités à donner leur degré d'adhésion à la théorie du réchauffement climatique afin de connaitre leurs croyances personnelles. Cette question a pour objectif de confirmer l'hypothèse selon laquelle la majorité des élèves testées croient au réchauffement climatique et seront donc potentiellement affectés par un biais de confirmation lors de l'analyse des deux articles.

2.2.4.1. Article 1

L'article n°1 (**Figure 11**), intitulé " Le « refroidissement » climatique !! ", est un article fictif reposant sur une argumentation fallacieuse permettant d'étayer l'hypothèse selon laquelle le réchauffement climatique – qui est réduit ici à l'augmentation de la température moyenne de la surface terrestre – n'est pas une réalité scientifique.

Concernant la forme de l'article, l'apparence visuelle de ce site internet ne respecte pas les standards des médias traditionnels. L'auteur de cet article de blog (« Fifi83 »), n'est pas

Licence CC BY-NC-ND 3.0

clairement identifiable et procède à une utilisation abusive des émoticônes, des images et des couleurs fluorescentes agressives. Par ailleurs, afin de susciter l'attention du lecteur, l'auteur a recours à la rhétorique complotiste en utilisant un titre provocateur. Via l'emploi du conditionnel (incertitude), des majuscules ou des points d'exclamation (surprise, colère), d'un vocabulaire mélioratif ou péjoratif (approbation, désapprobation), l'auteur tente de véhiculer ses propres opinions. En outre, l'orthographe de l'article est douteuse et certaines fautes sont grossières (ex : « effet de cerf » pour effet de serre). Les données quantitatives utilisées ne sont jamais sourcées ce qui empêche de remonter aux sources primaires. Enfin, le lien URL du site internet, est trompeur puisque le nom du sous-domaine du site « lavraisscience.com » est « tf1.com » ce qui peut laisser croire que ce blog est issu du groupe TF1.

Concernant l'argumentation, c'est-à-dire le fond du propos de l'article, l'auteur procède à plusieurs raisonnements fallacieux afin d'étayer son opinion personnelle. Dans un premier temps, l'auteur simplifie de manière grossière la position du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur le dérèglement climatique en l'assimilant à une simple augmentation des températures. Ce procédé rhétorique permet à l'auteur de contredire plus facilement la thèse adverse dans laquelle il ne croit pas (Homme de paille). Sa contre-argumentation peut être résumée de la manière suivante : la mesure d'anomalie thermique négative contredit la thèse du réchauffement climatique. Si, il est factuellement vrai que des températures anormalement froides sont mesurées à la surface du globe, de nombreux biais cognitifs sont mis en jeu dans cette affirmation semblant a priori valide.

Tout d'abord, du fait d'une confusion d'échelle, l'auteur compare deux mesures de température non équivalentes : une température moyenne annuelle dont le calcul relève de la climatologie et une mesure de température isolée dans le temps et dans l'espace dont le calcul relève de la météorologie. Par une illustration mathématique, il est possible de démontrer le poids relativement faible d'un évènement météorologique isolé dans le calcul d'une moyenne de température annuelle. Selon, les données statistiques du Canada (Gouvernement du Canada, 2020), le Québec possède une superficie de 1,7 millions de km^2. Sachant que la Terre admet une superficie de 510 millions de km^2, le Québec couvre 0,3 % de la superficie terrestre. De plus, cette anomalie négative de température est mesurée sur une période de 1 jour. Sachant qu'une année dure 365 jours, cette mesure ne représente que 0,3 % de l'ensemble des mesures de température effectuées au Québec sur une année. Dans le cadre d'un calcul de la température annuelle moyenne terrestre, cette anomalie de température négative possède donc un coefficient de 0,0009 (0,09 %). Un tel évènement météorologique a donc une incidence faible sur le calcul d'une moyenne de température annuelle.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Figure 11 : Article fictif n°1 nommé “ Le « refroidissement » climatique !! ”.

Ainsi, cette comparaison n’est pas pertinente d’un point de vue logique. Non seulement, le poids d’une seule mesure de température est statistiquement nul sur le calcul d’une moyenne annuelle (généralisation abusive), mais cette comparaison n’est pas possible puisqu’elle compare une donnée brute et une donnée traitée. La non-spécificité de cet argument repose sur cette invalidité logique. En effet, si l’auteur de l’article a fait le choix subjectif de se focaliser uniquement sur des anomalies de température négative mesurées dans des hautes latitudes (biais de confirmation), il aurait aussi pu se focaliser sur des anomalies de températures positives mesurées à des latitudes plus faibles. Le même argument permet ainsi de défendre

Licence CC BY-NC-ND 3.0

la thèse défendue dans l'article (refroidissement climatique) et son antithèse (réchauffement climatique). Pour toutes ces raisons, il est impossible de conclure à partir de cet argument. Enfin, pour conclure son propos, l'auteur tente de légitimer sa position personnelle en faisant référence au nombre de personne soutenant cette théorie (appel au peuple) ainsi qu'à leur statut social (argument d'autorité à causalité externe).

En fonction des connaissances du lecteur, il est possible de proposer la contre-argumentation suivante : les modèles scientifiques actuels modélisant le réchauffement climatique permettent de comprendre et prédire l'augmentation en fréquence des épisodes météorologiques extrêmes dont les épisodes de chaleur (ou de froid) extrême. L'observation apportée dans l'article, ne remet donc pas en cause la théorie du réchauffement climatique.

En conclusion, sur la forme, les heuristiques les plus courantes mises en œuvre dans le cadre d'une analyse en système 1, permettent de détecter les éléments engendrant un doute sur la fiabilité des informations à caractère scientifique contenues dans cet article (ex : syntaxe, orthographe, apparence). Ce doute est d'autant plus important que l'auteur défend une thèse allant à l'inverse de celle défendue majoritairement par les élèves. Dans le contexte de cette activité, ce doute doit inciter le lecteur à basculer en système 2, afin d'analyser la validité logique des arguments de l'auteur. Si quelques arguments fallacieux sont facilement détectables (ex : argument d'autorité, appel au peuple), d'autres nécessitent une lecture attentive (ex : Homme de paille, biais de confirmation, généralisation abusive, non spécificité des arguments).

2.2.4.2. Article 2

L'article n°2 (**Figure 12**) est intitulé « Comment les études paléoenvironnementales remettent en cause les conclusions scientifiques sur le réchauffement climatique actuel ? ». Cet article fictif repose sur une argumentation fallacieuse permettant d'étayer l'hypothèse selon laquelle le réchauffement climatique – que l'on réduit ici à l'augmentation de la température moyenne de la surface terrestre – n'est pas une conséquence des activités humaines.

Concernant la forme de l'article, l'apparence visuelle de ce site internet respecte les standards des médias traditionnels. Cet article est censé être extrait d'un site internet d'une organisation à but non lucratif traitant des questions sur le climat. L'auteur de l'article est un docteur en physique, enseignant-chercheur dans une grande université des Etats-Unis et collaborant avec la NASA. Si son expertise scientifique est probablement supérieure à la moyenne du fait de ces qualifications, celui-ci n'est pas un expert reconnu dans le domaine de la climatologie, mais de la physique (argument d'autorité à causalité interne). L'apparence visuelle du site est épurée, elle utilise des couleurs non agressives, le titre de l'article est cohérent, la syntaxe et

Licence CC BY-NC-ND 3.0

l'orthographe sont correctes. Les données quantitatives sont sourcées et l'URL du site est clair.

Concernant l'argumentation de fond, la position de l'auteur peut être résumée de la manière suivante : si les variations des températures observées au cours des 400 000 dernières années peuvent s'expliquer par la variation des paramètres orbitaux terrestres, alors les variations actuellement observées peuvent également s'expliquer par cette même cause. Ce raisonnement déductif est invalide dans la mesure où l'auteur part du principe que les variations de température moyenne terrestre s'expliquent uniquement par la variation des paramètres orbitaux en ignorant la possibilité que d'autres phénomènes puissent être mis en jeu (affirmation du conséquent). Si ce raisonnement est invalide d'un point de vue logique, la possibilité qu'une variation de température puisse être monocausale ne peut être exclue que par la mise en évidence d'un contre-argument permettant de la réfuter.

Tout d'abord, du fait d'une confusion d'échelle, l'auteur attribue une cause commune à deux variations de température ne se déroulant pas dans les mêmes échelles de temps. Si la variation des paramètres orbitaux terrestres est significative sur une grande échelle de temps, elle devient très faible à l'échelle humaine. Dès lors, les variations actuelles de la température moyenne terrestre ne peuvent pas uniquement s'expliquer par la variation des paramètres orbitaux terrestres ; d'autres paramètres doivent nécessairement être en cause. Par une illustration mathématique, il est possible de démontrer la faible variation des paramètres orbitaux sur une faible échelle de temps. Par exemple, sur le graphique proposé par l'auteur de l'article, l'excentricité terrestre varie au maximum de 6 % sur une période de 100 000 ans. Ceci représente une variation moyenne de 0,06 % par siècle soit 0,00006 % par an. Ce type de variation ne permet pas d'expliquer les variations de température actuellement observées. Par ailleurs, l'auteur de l'étude n'évoque à aucun moment (biais de confirmation) les variations de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre (ex : CH_4, CO_2). Ce sont pourtant ces variations-ci qui sont la cause des prédictions du GIEC quant à l'augmentation de la température moyenne terrestre. Ce paramètre est d'autant plus important qu'un lien de causalité a pu être démontré entre : les activités humaines et l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre (ex : combustion des énergies fossiles, cycle du carbone) et entre la concentration en gaz à effet de serre et la température moyenne terrestre (ex : bilan radiatif). Pour finir, il est à noter que l'auteur compare deux graphiques dont l'axe des ordonnées ne présente pas le même paramètre. Alors que le premier graphique affiche l'évolution de la moyenne annuelle globale des anomalies de température terrestre, le second graphique expose l'évolution de la température moyenne terrestre. Ces deux valeurs ne sont donc pas comparables.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

En conclusion, sur la forme, les heuristiques du système 1 ne permettent pas de douter facilement des informations à caractère scientifique contenues dans cet article (ex : publication sourcée, auteur identifiable, syntaxe et orthographe correcte, etc.). Dans le contexte de cette activité, même en absence de doute, le lecteur doit basculer en système 2 afin d'analyser la validité logique des arguments de l'auteur. La détection des arguments fallacieux nécessite une lecture attentive du lecteur (ex : biais de confirmation, affirmation du conséquent).

http://www.leclimatenquestion.org/nos-investigations/janvier2020

Le climat en question

Vulgarisation scientifique et enquête d'investigation autour du sujet climatique

Fabrice Martin

Docteur en Physique

Astrophysicien

Chercheur à l'Université de l'Alabama à Huntsville

Chef de l'équipe scientifique américaine pour le radiomètre à balayage micro-ondes avancé sur le satellite Aqua de la NASA.

Comment les études paléoenvironnementales remettent en cause les prédictions des scientifiques sur le réchauffement climatique ?

Les mesures actuelles de température effectuées de part et d'autre du globe permettent aux scientifiques de suivre en temps réel l'évolution de la température moyenne à la surface de la Terre depuis plusieurs dizaines d'années (figure 1a). Ces études ont permis de montrer une augmentation significative des températures annuelles moyennes sur la Terre.

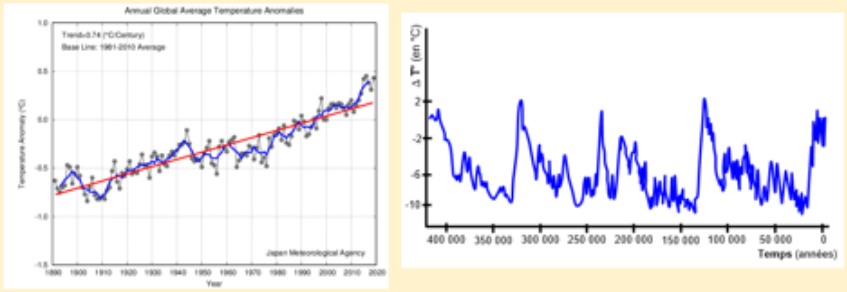


Figure 1 : variation des températures sur Terre (climate.nasa.gov)

Cette augmentation est perçue de manière alarmante par la communauté scientifique alors même que de nombreuses **études paléoenvironnementales** montrent que de tels épisodes de réchauffement ne sont pas exceptionnels (figure 1b). Au contraire, l'histoire récente de la Terre (800 000 dernières années) est marquée par de nombreux épisodes cycliques de réchauffement et refroidissement qui sont parfaitement corrélés aux variations des paramètres orbitaux terrestres (Figure 2).

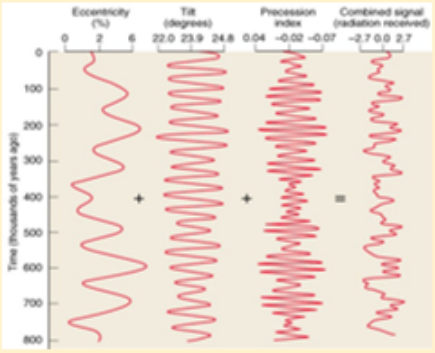


Figure 2 : Les paramètres orbitaux terrestres (John Wiley and Sons, 1999)

Dès lors, pourquoi émettre l'hypothèse que l'augmentation actuelle des températures est la conséquence de l'activité industrielle humaine alors même que celle-ci était inexistante au cours des 800 000 dernières années ?

Propos recueillis le 27 Janvier 2020 à 19h30

©2020 Le climat en question - Tous droits réservés Nous contacter : leclimatenquestion@gmail.com

Figure 12 : Article fictif n°2 nommé " Comment les études paléoenvironnementales remettent en cause les prédictions des scientifiques sur le réchauffement climatique ?".

Licence CC BY-NC-ND 3.0

2.2.4.3. Conclusion

La construction des deux articles précédents permet de proposer aux élèves deux analyses de niveaux différents, mais mobilisant les mêmes capacités d'analyse. En effet, dans chacun des articles, l'auteur développe une argumentation basée sur des faits, mais qui est erronée, car il se focalise sur certaines données (biais de confirmation) et réalise une confusion d'échelle. Toutefois, le premier article se distingue par son apparence visuelle et sa rhétorique sensationnaliste, ce qui permet de douter plus facilement des informations à caractère scientifique qu'il contient.

L'analyse en système 1 de l'article 1 est plus simple et se fera donc par défaut ce qui permettra d'évaluer le niveau de maîtrise des élèves pour les critères C1, C2 et C3 (Cf. 2.2.5. Outil d'évaluation). L'article 1 de niveau 1 correspond ainsi à la condition témoin. A l'inverse, l'apparence de l'article 2 ne permet pas – dans la majorité des cas – de douter des informations qu'il contient sur la base d'un raisonnement en système 1. Il est probable que de nombreux élèves passent directement en système 2 dans la mesure où le raisonnement en système 1 ne permettra pas de confirmer leurs croyances personnelles (biais de confirmation). Dans ces conditions, l'analyse en système 1 ne se fera pas par défaut ce qui impactera le niveau de maîtrise des élèves pour les critères C1 et C3. L'article 2 de niveau 2 correspond ainsi à la condition test.

2.2.5. Outil d'évaluation

2.2.5.1. Construction de la grille de compétence

Afin de pouvoir mesurer le degré de compétence des élèves de notre échantillon, il est nécessaire de développer une grille de compétence (**Annexe 2**) permettant de mesurer le niveau de maîtrise de chaque élève (indicateurs) pour différents critères. Cette grille est le résultat d'une réflexion au cours de laquelle un compromis a dû être effectué entre la précision de la grille de compétence et sa facilité d'utilisation.

Dans un premier temps, il est nécessaire de déterminer la famille de situations dans laquelle la compétence est travaillée. Cette grille de compétence s'applique dans le cas d'un exercice d'analyse d'une information à caractère scientifique sans utilisation de ressources notionnelles externes. Dans un second temps, il est nécessaire de déterminer les critères évalués dans le cadre de ces situations. Conformément au modèle métacognitif détaillé précédemment (Cf. 1.2.2. Système de pensée et traitement de l'information), trois critères sont retenus : la capacité de l'élève à mobiliser des heuristiques (système 1), la capacité de l'élève à détecter et intégrer les arguments fallacieux (système 2) et la capacité de l'élève à basculer du système

Licence CC BY-NC-ND 3.0

1 au système 2 (système 3). Enfin, pour chacun de ces trois critères il est nécessaire de proposer des indicateurs détaillés permettant de situer l'élève dans son apprentissage :

(1) La qualité du raisonnement en système 1 d'un élève est fonction de plusieurs critères d'évaluation qualitatifs et quantitatifs (**Tableau 6**). On juge :

(1.1.) La quantité d'heuristiques utilisées : ce critère d'évaluation vise à déterminer la quantité d'heuristiques mobilisées par l'élève. On distingue trois cas de figures différents selon si l'élève ne mobilise aucune heuristique (0), quelques heuristiques (1 à 2) ou plusieurs heuristiques (3 ou plus).

(1.2.) La pertinence de l'utilisation des heuristiques : ce critère d'évaluation dichotomique vise à déterminer la cohérence de l'utilisation de l'heuristique par rapport au contexte. Lorsque l'utilisation de l'heuristique est pertinente, l'élève effectue une bonne approximation (ex : « *L'auteur de cet article utilise un pseudonyme, il est donc impossible de l'identifier. L'information est donc peu fiable* »). A l'inverse, une utilisation non pertinente d'une heuristique augmentera le risque d'erreur (ex : « *Il y a une faute d'orthographe dans l'article, l'information est donc peu fiable* »).

(1.3.) La hiérarchisation des heuristiques : ce critère d'évaluation dichotomique vise à déterminer la capacité de l'élève à associer à chaque heuristique un poids différent en fonction de la probabilité d'erreur associée. En absence de pondération toutes les heuristiques ont le même poids, ce qui peut augmenter le risque d'erreur (ex : « *L'auteur est un scientifique expert du domaine dont il parle mais l'article contient quelques fautes d'orthographe. Les informations contenues dans l'article sont donc peu fiables* ». A l'inverse, une pondération permet de limiter le risque d'erreur en négligeant les heuristiques les moins fiables au profit d'autres plus fiables dans le contexte de l'étude (ex : « *Même s'il y a quelques fautes d'orthographe dans l'article, l'auteur est un scientifique expert du domaine dont il parle. Les informations contenues dans l'article sont donc fiables* ».

Tableau 6 : Indicateurs détaillés de la compétence 1 (C1) produits à partir de la hiérarchisation des critères précédemment cités. Le critère 1.1 est en vert, le critère 1.2 en jaune et le critère 1.3 en rouge.

Critères	**Indicateurs**				
C1 Utilisation du Système 1 (Stratégies subjectives diminuant les chances de me tromper)	Pas de mobilisation d'heuristiques	Mobilisation de quelques heuristiques non pertinentes	Mobilisation de quelques heuristiques pertinentes et non pertinentes.	Mobilisation de plusieurs heuristiques pertinentes et non hiérarchisés.	Mobilisation de plusieurs heuristiques pertinentes et hiérarchisés
	Niveau 1	**Niveau 2**	**Niveau 3**	**Niveau 4**	**Niveau 5**

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Le respect de ces différents critères d'évaluation permet à l'élève de réduire au maximum le risque d'erreur concernant sa conclusion sur la fiabilité de l'information à caractère scientifique contenue dans l'article. Ces critères d'évaluation sont pondérés et interdépendants. Par exemple, si l'élève n'engage aucune stratégie d'analyse sur la base d'heuristique, tous les autres critères d'évaluation deviennent inutiles. Sur la base de cette réflexion, les indicateurs détaillés sont proposés dans le **Tableau 6**.

(2) De la même manière, la qualité du raisonnement en système 2 d'un élève est fonction de plusieurs critères d'évaluation qualitatifs et quantitatifs (**Tableau 7**). On juge :

(2.1.) La quantité d'arguments fallacieux détectés : ce critère d'évaluation vise à déterminer la quantité d'arguments fallacieux identifiés par l'élève. On distingue trois cas de figures différents selon si l'élève ne détecte aucun argument fallacieux (0), quelques arguments fallacieux (1 à 2) ou plusieurs arguments fallacieux (3 ou plus).

(2.2.) La pertinence de la justification : ce critère d'évaluation dichotomique vise à déterminer la capacité de l'élève à justifier de manière pertinente le caractère fallacieux d'un argument. Lorsque la justification est pertinente, l'élève est capable de démontrer la non-validité scientifique de l'argument (ex : *L'auteur part du principe que le réchauffement climatique est uniquement la conséquence de la variation des paramètres orbitaux terrestres, mais il peut également être la cause des activités humaines* ».). Le respect de ce critère d'évaluation n'implique pas obligatoirement l'utilisation d'une terminologie adéquate. A l'inverse, la justification non pertinente d'un argument fallacieux ne permet pas d'attester de la capacité de l'élève à démontrer la non-validité scientifique de l'argument (ex : L'auteur de l'article est un scientifique, il s'agit d'un argument d'autorité).

(2.3.) La capacité d'intégration : ce critère d'évaluation dichotomique vise à déterminer la capacité de l'élève à intégrer le respect des critères de scientificité à son propre raisonnement dans le cadre d'une contre-argumentation (passage d'une attitude à un comportement).

Le respect de ces différents critères d'évaluation permet d'attester de la capacité de l'élève à aboutir à une conclusion correcte et logiquement argumentée concernant la véracité des informations à caractère scientifique contenues dans l'article. Ces critères d'évaluations sont pondérés et interdépendants. Par exemple, si l'élève ne détecte aucun argument fallacieux, tous les autres critères d'évaluation deviennent inutiles. Sur la base de cette réflexion, les indicateurs détaillés sont proposés dans le **Tableau 7**.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Tableau 7 : Indicateurs détaillés de la compétence 2 (C2) produits à partir de la hiérarchisation des critères précédemment cités. Le critère 2.1 est en vert, le critère 2.2 en jaune et le critère 2.3 en rouge.

Critères	Indicateurs				
C2 Utilisation du système 2 (Evaluation des preuves)	Pas de détection d'arguments fallacieux	Détection de quelques arguments fallacieux non pertinents	Détection de quelques arguments fallacieux pertinents	Détection de plusieurs arguments fallacieux pertinents et intégration non pertinente	Détection de plusieurs arguments fallacieux pertinents et Intégration pertinente
	Niveau 1	**Niveau 2**	**Niveau 3**	**Niveau 4**	**Niveau 5**

(3) Enfin, la capacité d'un élève à utiliser son système 3 est fonction de plusieurs critères d'évaluation qualitatifs et quantitatifs (**Tableau 8**). On juge :

(3.1.) La multiplicité des modes de raisonnement : ce critère d'évaluation dichotomique vise à déterminer la capacité de l'élève à utiliser deux types de raisonnement dans le cadre de l'analyse d'une information à caractère scientifique. On distingue deux cas de figures différents selon si l'élève utilise un seul mode de raisonnement (système 1 ou 2) ou les deux (système 1 et 2). Attention, ce critère est pertinent, car l'activité test proposée aux élèves nécessite obligatoirement de développer les deux types de raisonnement. Dans un contexte différent, il peut être pertinent de passer directement en système 2 ou de rester en système 1.

(3.2.) La capacité de distinction : ce critère d'évaluation vise à déterminer la capacité de l'élève à différencier les raisonnements subjectifs reposant sur des heuristiques du système 1, des raisonnements objectifs reposant sur le respect des règles logiques. Cette distinction nécessite un recul critique de l'élève par rapport à ses intuitions personnelles (suspension de jugement). Elle peut être implicite ou explicite.

Tableau 8 : Indicateurs détaillés de la compétence 3 (C3) produits à partir de la hiérarchisation des critères précédemment cités. Le critère 3.1 est en vert et le critère 3.2 est en jaune.

Critères	Indicateurs				
C3 Utilisation du système 3 (Bascule de C1 à C3)	Pas de multiplicité des modes de raisonnement.	Multiplicité des modes de raisonnement sans distinction	Multiplicité des modes de raisonnement avec distinction non-pertinente	Multiplicité des modes de raisonnement avec distinction pertinente implicite	Multiplicité des modes de raisonnement avec distinction pertinente explicite
	Niveau 1	**Niveau 2**	**Niveau 3**	**Niveau 4**	**Niveau 5**

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Le respect de ces différents critères d'évaluation permet d'attester de la capacité de l'élève à basculer de manière pertinente entre un mode de pensée intuitif (système 1) et un mode de pensée analytique (système 2) indépendamment de la qualité de ces deux types de raisonnement. Ces critères d'évaluation sont pondérés et interdépendants. Par exemple, si l'élève n'utilise qu'un seul type de raisonnement, tous les autres critères d'évaluation deviennent inutiles. Sur la base de cette réflexion, les indicateurs détaillés sont proposés dans le **Tableau 8**.

2.2.5.2. Utilisation de la grille de compétence

La grille de compétences proposée (**Annexe 2**) est un outil d'évaluation interdisciplinaire à destination de l'enseignant (évaluation) mais également des élèves (autoévaluation). Elle permet d'évaluer le niveau de maîtrise de l'élève sur chacun des critères précédents (C1, C2 et C3). Pour chacun de ces critères, les niveaux de maîtrise sont associés à un nombre de point (**Tableau 9**). Un critère est considéré comme maîtrisé pour une note minimum de 3/5 (niveau 3). Les critères d'évaluation étant pondérés, le passage d'un niveau de maîtrise « n » à un niveau de maîtrise « n+1 » nécessite de respecter l'intégralité des critères d'évaluation du niveau de maîtrise « n ». Dans le cas contraire, l'élève reste au niveau « n » même s'il maîtrise certains critères d'évaluation du niveau de maîtrise « n+1 ».

Tableau 9 : Niveau de maîtrise d'un critère et points associés.

Niveau 1 (1 points)	**Niveau 2** (2 point)	**Niveau 3** (3 points)	**Niveau 4** (4 points)	**Niveau 5** (5 points)

2.3. Résultats théoriques attendus

2.3.1. Article 1

L'article 1 défend une thèse opposée à celle développée en cours par l'enseignant. De cette manière, il est probable que la majorité des élèves cherchent à prouver que les informations à caractère scientifique contenues dans l'article sont fausses. Par ailleurs, l'article 1 est construit de manière à permettre aux élèves de démontrer assez facilement la non-fiabilité des informations à caractère scientifique contenues, à partir des heuristiques du système 1. On s'attend alors à ce qu'une majorité des élèves des groupes témoins se limite à un mode de raisonnement intuitif sans effectuer de bascule en système 2. Les conclusions des élèves témoins se feront alors majoritairement sur la base d'heuristiques (**Figure 13**). Si ce type de raisonnement est tout à fait acceptable dans le cadre d'une situation où la prise de décision doit être rapide, elle ne l'est pas dans le cadre d'une analyse rigoureuse d'un article contenant des informations à caractère scientifique. En effet, les élèves identifieront correctement le

Licence CC BY-NC-ND 3.0

caractère non fiable des informations à caractère scientifique contenues dans l'article, mais cette conclusion reposera sur des arguments non rationnels. Ainsi, il sera possible d'attester d'un niveau de maîtrise de la compétence C1 mais pas des compétences C2 et C3.

A l'inverse, les élèves des groupes tests ont été sensibilisés aux dangers du raisonnement intuitif, on s'attend alors à ce qu'une majorité d'entre eux bascule en système 2. Dans ces conditions, le niveau de maîtrise des critères C2 et C3 des élèves tests sera supérieur à celui des élèves témoins. En revanche, l'utilisation du système 1 se faisant par défaut, les différences de niveau de maîtrise du critère C1 entre les élèves des groupes tests et des groupes témoins seront probablement moindres.

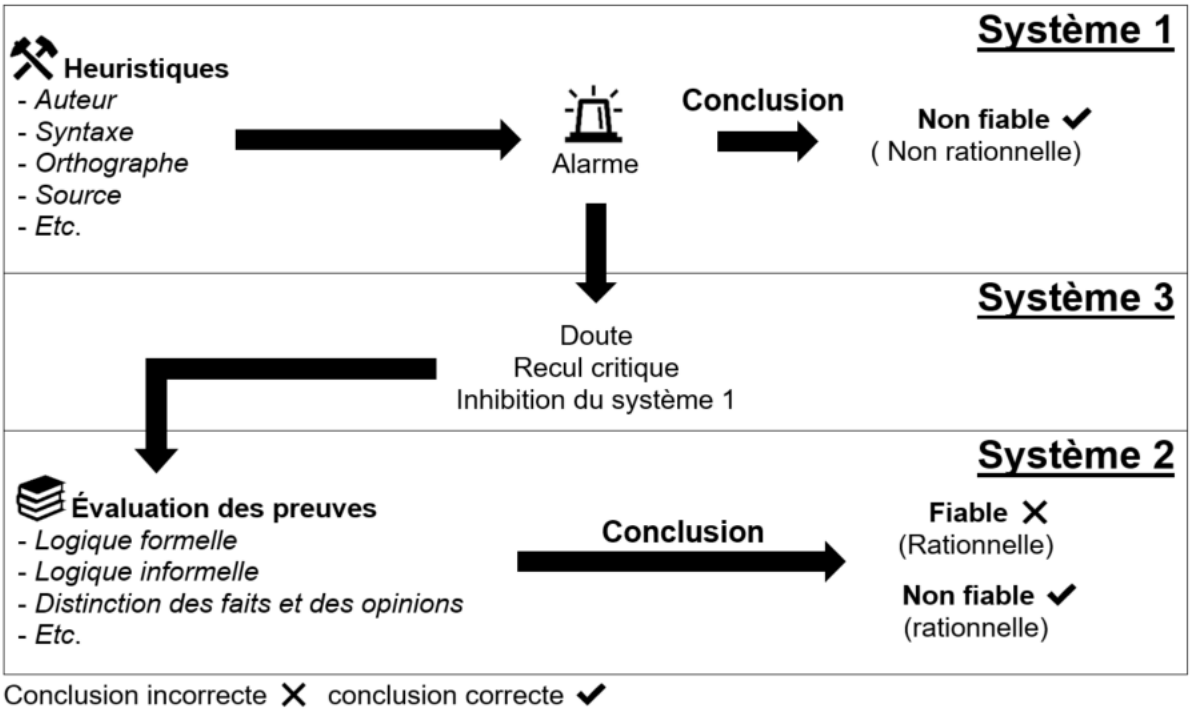


Figure 13 : Modèle métacognitif théorique faisant apparaître les différents types de raisonnement attendus chez les élèves des groupes tests et témoins dans le cadre de l'analyse de l'article 1. Les élèves des groupes témoins restent en système 1, leur conclusion est correcte mais non rationnelle. Les élèves des groupes tests basculent en système 2 et aboutissent à une conclusion rationnelle correcte ou non. Production personnelle.

2.3.2. Article 2

L'article 2 défend une thèse opposée à celle développée en cours par l'enseignant. De cette manière, il est probable que la majorité des élèves cherchent à prouver que ces informations sont fausses. Cet article est construit de manière à empêcher les élèves de démontrer facilement la non-fiabilité des informations à caractère scientifique à partir d'heuristiques du système 1 (**Figure 14**). On s'attend alors à ce qu'une majorité des élèves des groupes tests et témoins utilisent un raisonnement analytique (avec ou sans bascule). Dans ces conditions

Licence CC BY-NC-ND 3.0

il est probable que les élèves des groupes tests présentent un degré de maîtrise du critère C2 supérieur à celui des élèves des groupes témoins.

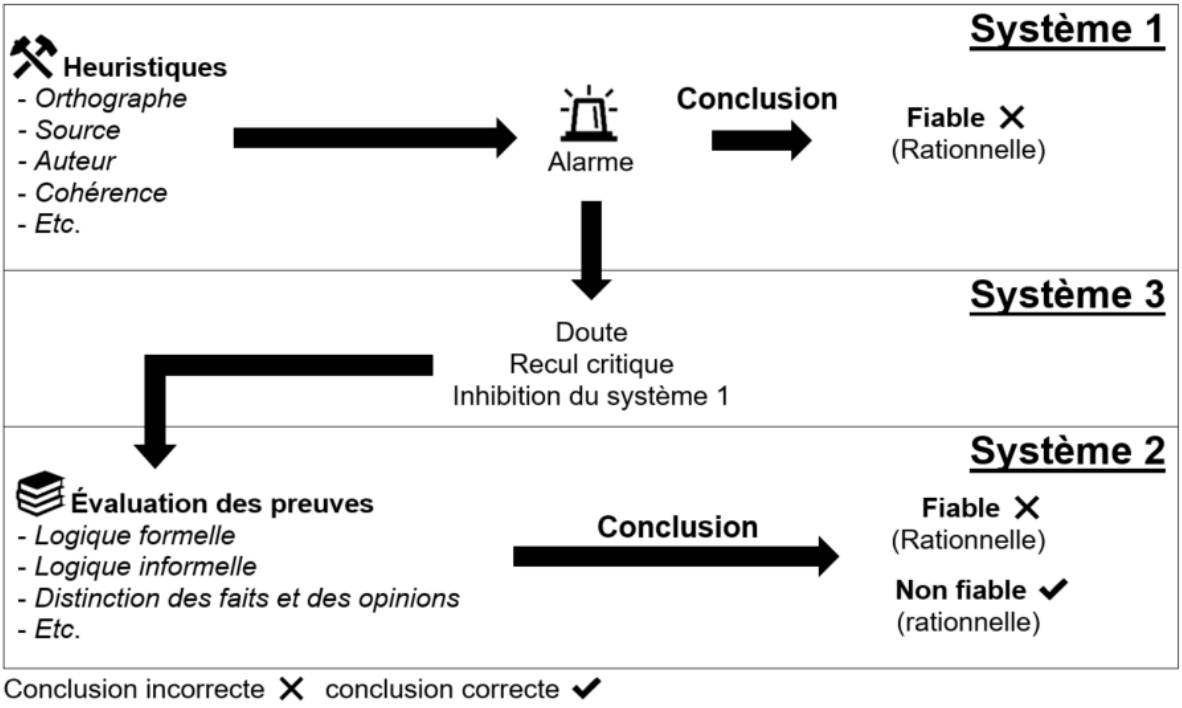


Figure 14 : Modèle métacognitif théorique faisant apparaître les différents types de raisonnement attendus chez les élèves des groupes tests et témoins dans le cadre de l'analyse de l'article 2. Les élèves des groupes témoins utilisent uniquement leur système 2 pour aboutir à une conclusion rationnelle. Les élèves des groupes tests analysent en système 1 puis basculent en système 2 pour aboutir à une conclusion rationnelle (correcte ou non). Production personnelle.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

3. Résultats expérimentaux

3.1. Mise en forme des résultats

3.1.1. Traitement des données Témoins/Tests

La pédagogie explicite reçue par les élèves des groupes tests a pour objectif d'augmenter leur esprit critique dans le cadre de l'évaluation de la fiabilité d'une information à caractère scientifique. Afin de mesurer l'impact de cette pédagogie explicite, les niveaux de maîtrise des élèves des groupes tests (ayant reçus un enseignement explicite à l'esprit critique) sont comparés à ceux des élèves des groupes témoins (n'ayant pas reçus d'enseignement explicite à l'esprit critique). Cette comparaison est effectuée pour chaque critère de la grille de compétence (C1 : analyse en système 1, C2 : analyse en système 2, C3 : bascule du système 1 au système 2) et pour chaque type d'article analysé (**Tableau 10**).

Tableau 10 : Récapitulatif des différents histogrammes présentés en **Annexe 3**. Chaque histogramme oppose les élèves formant les groupes tests et les groupes témoins pour un critère de la grille de compétence et un article.

		C1	C2	C3
TÉMOIN/TEST	Article 1	Histogramme 1	Histogramme 2	Histogramme 3
	Article 2	Histogramme 4	Histogramme 5	Histogramme 6

Toutefois, le nombre d'élèves dans les groupes tests et témoins diffère du nombre d'élèves attendus au départ, car certaines copies n'ont pas été rendues. En outre, six élèves des groupes tests ont dû être exclus de l'échantillon, car ils n'ont pas pu assister à la dernière séance d'éducation explicite à l'esprit critique (Cf. 2.2.1. Groupes expérimentaux et échantillonnage). Ainsi, afin de pouvoir comparer les résultats des élèves des groupes tests et témoins, il est nécessaire de les normaliser. Cette normalisation consiste à transformer les effectifs d'élèves des groupes tests et des groupes témoins en un pourcentage (nombre d'élèves multiplié par 100 par rapport au nombre total d'élèves). Les résultats de ces comparaisons sont présentés sous la forme de six histogrammes, disponibles en **Annexe 3**.

En complément de ces histogrammes, les moyennes, les médianes et les quartiles 1 et 3 de chaque échantillon pour chaque critère et chaque article, sont calculées. Ensuite, les différences de moyenne ($\Delta_{Moyenne}$), de médiane ($\Delta_{Médiane}$) et de quartile (ΔQ_1 et ΔQ_3) entre les élèves des groupes tests et les élèves des groupes témoins sont évaluées. Ces données

Licence CC BY-NC-ND 3.0

constituent des indicateurs importants pour la détermination de l'impact qualitatif et quantitatif de la pédagogie explicite (conditions test).

Pour finir, afin de déterminer s'il existe une relation entre les variations du niveau de maîtrise des élèves (si elles existent) et le type de pédagogie suivie, un test d'indépendance du khi-deux (χ^2) est réalisé. Dans le domaine des statistiques descriptives, le test d'indépendance du khi carré (ou khi-deux), est un test statistique suivant une loi du χ^2 sous hypothèse nulle (H_0). Il permet de vérifier l'absence de lien statistique entre deux variables qualitatives ordinales dont la loi de probabilité n'est pas connue (test non paramétrique). Il peut donc s'appliquer dans le cadre de la comparaison d'une notation et d'un type de pédagogie. Il est tout de même important de noter que ce test ne permet pas de connaître le sens de cette dépendance (lorsqu'elle existe), cette donnée sera apportée par les différences de moyenne et de médiane.

Le test d'indépendance du χ^2 permet de réfuter ou non l'hypothèse d'indépendance entre deux variables qualitatives d'une population. Cette hypothèse est appelée hypothèse nulle (H_0). Dans cette situation, le test d'indépendance du Khi-deux permet donc de réfuter ou de confirmer l'hypothèse d'indépendance entre le niveau de maîtrise des élèves et le type de pédagogie suivie. Afin d'arriver à la réfutation ou la confirmation de l'indépendance, il est nécessaire de procéder à la méthodologie suivante :

1. Tout d'abord, les proportions d'élèves attendues sous l'hypothèse nulle d'indépendance (F_j) sont calculées en divisant la somme des effectifs observés (O_{ij}) pour chaque critère (C1, C2 et C3) par la somme totale des effectifs observés ($\sum O_{ij}$) (1).

$$F_j = \frac{O_{ij}}{\sum O_{ij}} \quad (1)$$

2. Puis, les effectifs attendus pour chaque niveau de maîtrise et chaque type de pédagogie (C_{ij}) sont calculés en multipliant la proportion d'élèves attendues sous l'hypothèse nulle d'indépendance (C_{ij}) par les effectifs observés (O_{ij}) (2).

$$C_{ij} = F_j \times O_{ij} \quad (2)$$

3. Enfin, le khi-deux observé (ou χ^2_{Obs}) est calculé par la somme des différences entre les Cij et les Oij élevés au carré, divisés par les Cij (3).

$$\chi^2_{Obs} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{(O_{ij} - C_{ij})^2}{C_{ij}} \quad (3)$$

Le calcul du χ^2_{Obs} est automatisé via la construction d'un tableur Excel dont un exemple illustratif est proposé dans le **Tableau 11.** Une fois le χ^2_{Obs} calculé, il est nécessaire de calculer le Khi-deux seuil (χ^2_{Seuil}). Pour obtenir cette valeur, il faut connaître deux autres valeurs : le nombre de degré de liberté (ddl) qui intervient dans notre étude et le risque d'erreur alpha (ou

Licence CC BY-NC-ND 3.0

risque α) associé au test d'indépendance. Afin de connaître le ddl de notre étude, il est nécessaire de suivre la formule (4).

$$ddl = (\text{nombre de ligne} - 1) \times (\text{nombre de colonne} - 1) \quad (4)$$

Tableau 11 : Tableau de contingence où le niveau de maîtrise du critère et le type de pédagogie suivie sont comparés. Le calcul des F_{ij} nécessite de diviser la somme marginale par ligne (SML) de chaque critère par la somme totale des effectifs observés ($\sum O_{ij}$).

		Variable dépendante = niveau de compétence du critère (ex : C1)										SMC
		j = 1		j = 2		j = 3		j = 4		j = 5		
		Observés	Calcul	Observés	Calcul	Observés	Calcul	Observés	Calcul	Observés	Calcul	
Variable indépendante	i= 1 Témoins	O_{ij} = 7	4,875	O_{ij} = 3	1,625	O_{ij} = 6	4,875	O_{ij} = 10	14,625	O_{ij} = 0	0	26
		0,93		1,16		0,26		1,46		0,00		
	i = 2 Tets	O_{ij} = 2	4,125	O_{ij} = 0	1,375	O_{ij} = 3	1,375	O_{ij} = 17	12,375	O_{ij} = 0	0	22
		1,09		1,38		1,92		1,73		0,00		
SML		9		3		9		27		0		$\sum O_{ij}$ = 48
F_{ij}		0,1875		0,0625		0,1875		0,5625		0		$\sum PH_0$= 1
Tableau des contingences : calcul des Cij à partir des Oij.												9,93

Le risque d'erreur α est défini à 5 % par convention. Le degré de liberté (ddl) et le risque α permettent de définir le χ^2_{Seuil} par lecture d'une table des valeurs critiques de la loi du Khi-deux à n ddl. Deux situations sont alors possibles :

(1) Si $\chi^2_{Obs} > \chi^2_{Seuil}$: L'hypothèse nulle (H_0) est réfutée. Une relation de dépendance entre les deux critères comparés est mise en évidence. Cela signifie que les différences constatées entre les élèves des groupes tests et témoins (**Annexe 3**) sont liées de manière statistiquement significative au type de pédagogie reçue avec un risque de se tromper inférieure à 5 %.

(2) Si $\chi^2_{Obs} < \chi^2_{Seuil}$: L'hypothèse nulle (H_0) ne peut pas être réfutée. Les deux critères comparés sont indépendants. Cela signifie que les différences constatées – si elles existent – entre les élèves des groupes tests et témoins (**Annexe 3**) ne sont pas supérieures à ce que l'on aurait obtenu avec le hasard pour un échantillon de cette taille, avec un risque de se tromper de 5 %.

3.1.2. Traitement des données Article1/Article2

Lors du test d'évaluation, les élèves doivent analyser un article contenant des informations à caractère scientifique. Cet article peut être de niveau 1 (Article 1) ou de niveau 2 (Article 2) selon si son analyse permet ou non de mobiliser par défaut les heuristiques du système 1. L'objectif de ces deux articles est d'identifier dans quelle mesure l'apparence générale d'un article impacte la capacité des élèves à mobiliser les critères C1, C2 et C3 dans le cadre de l'évaluation de la fiabilité d'une information à caractère scientifique. Ainsi, pour chaque critère de la grille de compétence (C1, C2 et C3) et pour chaque type de pédagogie (Témoins ou

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Tests), les niveaux de maîtrise des élèves ayant analysé l'article 1 et l'article 2 sont comparés (**Tableau 12**).

Tableau 12 : Récapitulatif des différents histogrammes présentés en **Annexe 4**. Chaque histogramme oppose les articles pour un critère de la grille de compétence et les élèves formant les groupes tests et les groupes témoins.

		C1	C2	C3
Article 1 / Article 2	Témoins	Histogramme 1	Histogramme 2	Histogramme 3
	Tests	Histogramme 4	Histogramme 5	Histogramme 6

Comme pour le traitement des données des groupes tests et témoins (Cf. 1.1.1. Traitement des données Témoins/Tests), ces données sont normalisées afin de pouvoir comparer les résultats des élèves ayant analysé l'article 1 avec les résultats des élèves ayant analysé l'article 2. Les résultats de ces comparaisons sont présentés sous la forme de six histogrammes, disponibles **Annexe 4**. En complément de ces histogrammes, les moyennes, les médianes et les quartiles 1 et 3 des groupes d'élèves ayant analysé l'article 1 ou l'article 2 sont calculées pour chaque critère de la grille de compétence et pour chaque type de pédagogie. Ensuite, les différences de moyenne ($\Delta_{Moyenne}$), de médiane ($\Delta_{Médiane}$) et de quartile (ΔQ_1 et ΔQ_3) entre les élèves ayant analysé l'article 1 et les élèves ayant analysé l'article 2 sont évaluées. Ces données constituent des indicateurs importants afin de déterminer l'impact qualitatif et quantitatif de l'article 2 par rapport à l'article 1 (représentant dans ce contexte, la condition témoin).

Pour finir, afin de déterminer s'il existe une relation entre les variations du niveau de maîtrise des élèves (si elles existent) et le type d'article analysé, un test d'indépendance du khi-deux (χ^2) est réalisé. Les conditions d'application et la méthodologie de ce test statistique sont développées dans le cadre de l'étude de l'impact du type de pédagogie (Cf. 1.1.1. Traitement des groupes Témoins/Tests) et s'appliquent également dans ce cas-ci. Dans cette situation, ce test permet de réfuter ou de confirmer l'hypothèse d'indépendance entre le résultat des élèves et le type d'article analysé (hypothèse nulle H_0). Deux situations sont alors possibles :

Licence CC BY-NC-ND 3.0

(1) Si $\chi^2_{Obs} > \chi^2_{Seuil}$: L'hypothèse nulle (H_0) est réfutée. Une relation de dépendance entre les deux critères comparés est mise en évidence. Cela signifie que les différences constatées entre les élèves analysant l'article 1 et les élèves analysant l'article 2 (**Annexe 4**) sont liées de manière statistiquement significative au type d'article analysé avec un risque de se tromper inférieure à 5 %.

(2) Si $\chi^2_{Obs} < \chi^2_{Seuil}$: L'hypothèse nulle (H_0) ne peut pas être réfutée. Les deux critères comparés sont indépendants. Cela signifie que les différences constatées – si elles existent – entre les élèves analysant l'article 1 et les élèves analysant l'article 2 (**Annexe 4**) ne sont pas supérieures à ce que l'on aurait obtenu avec le hasard pour un échantillon de cette taille, avec un risque de se tromper de 5 %.

3.2. Présentation des résultats

3.2.1. Influence de l'éducation à l'esprit critique explicite

3.2.1.1. Le critère C1

Les histogrammes 1 et 4 présentés en **Figure 15** et dans l'**Annexe 3**, permettent de procéder à une lecture graphique de la répartition des niveaux de maîtrise du critère C1 en fonction du type de pédagogie suivie (explicite : groupe test / implicite : groupe témoin) et ce pour chaque type d'article. En complément de ces deux histogrammes, les moyennes, les médianes et les quartiles 1 et 2 sont précisés (**Figure 15** ; **Annexe 5**).

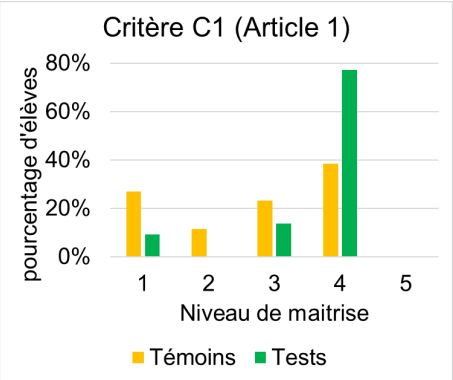
Concernant l'analyse de l'article 1, on observe que :

(1) Les élèves témoins sont répartis de manière uniforme entre les quatre premiers niveaux de maîtrise du critère C1 : 27 % présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1), 12 % un niveau de maîtrise faible (niveau 2), 23 % un niveau de maîtrise moyen (niveau 3) et 38 % un niveau bon niveau de maîtrise (niveau 4). De plus, les élèves témoins possèdent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 de 2,73 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note supérieure ou égale à 3 points sur 5 (maîtrise satisfaisante).

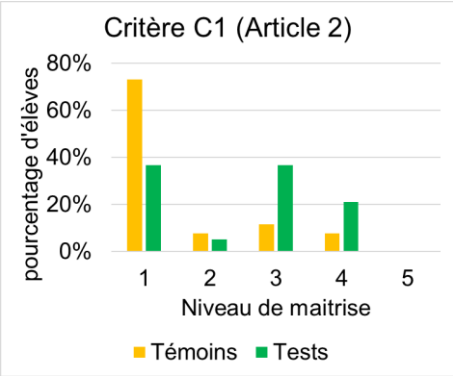
(2) Environ 75 % des élèves tests présentent un bon niveau de maîtrise du critère C1 (niveau 4). De plus, les élèves tests ont en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 de 3,71 points sur 5.

Ainsi, les élèves tests, tout comme les élèves témoins, présentent un niveau de maîtrise du critère C1 tout à fait satisfaisant. Néanmoins, le niveau de maîtrise du critère C1 des élèves tests est en moyenne supérieur de 0,98 point à celui des élèves témoins.

Licence CC BY-NC-ND 3.0



Histogramme 1



Histogramme 4

Moyenne (Témoins) = **2,73** Moyenne (Tests) = **3,71** Δ_{Moyenne} = **+ 0,98**	Moyenne (Témoins) = **1,54** Moyenne (Tests) = **2,42** Δ_{Moyenne} = **+ 0,88**
Quartile 1 (Témoins) = **1,25** Quartile 1 (Tests) = **4** ΔQ_1 = **+ 2,75**	Quartile 1 (Témoins) = **1** Quartile 1 (Tests) = **1** ΔQ_1 = **0**
Médiane (Témoins) = **3** Médiane (Tests) = **4** $\Delta_{\text{Médiane}}$ = **+ 1**	Médiane (Témoins) = **1** Médiane (Tests) = **3** $\Delta_{\text{Médiane}}$ = **+ 2**
Quartile 3 (Témoins) = **4** Quartile 3 (Tests) = **4** ΔQ_3 = **0**	Quartile 3 (Témoins) = **1,75** Quartile 3 (Tests) = **3** ΔQ_3 = **+ 1,25**

Figure 15 : Bilan de la comparaison des niveaux de maîtrise des élèves appartenant aux groupes témoin et test pour le critère C1. En haut : les histogrammes donnant la répartition des élèves des groupes témoins et des élèves des groupes tests en fonction de leur niveau de maîtrise du critère C1 dans le cadre de l'analyse de l'article 1 (gauche – histogramme n°1) ou de l'article 2 (droite – histogramme n°4). En bas : tableau compilant les moyennes, médianes, quartile 1, quartile 3 et différences pour chaque groupe (test ou témoin) et pour chaque article pour le critère C1. La différence de moyenne (Δ_{Moyenne}) est calculée en soustrayant la moyenne des élèves témoins à la moyenne des élèves tests. La différence de médiane ($\Delta_{\text{Médiane}}$) est calculée en soustrayant la moyenne des élèves témoins à la moyenne des élèves tests.

Concernant l'analyse de l'article 2, on observe que :

(1) Environ 75 % des élèves témoins présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C1. De plus, les élèves témoins présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 de 1,54 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

(2) Les élèves tests sont répartis de manière uniforme entre les quatre premiers niveaux de maîtrise du critère C1 : 37 % présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1), 5 % un niveau de maîtrise faible (niveau 2), 37 % un niveau de maîtrise moyen (niveau 3) et 21 % un niveau bon niveau de maîtrise (niveau 4). De plus, les élèves tests ont en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 de 2,42 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note supérieure ou égale à 3 points sur 5 (maîtrise satisfaisante).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Ainsi, les élèves témoins semblent présenter plus de difficulté à mobiliser les heuristiques de leur système 1 que les élèves tests dans le cadre de l'analyse de l'article 2. En effet, les élèves tests présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 supérieur de 0,88 point à celui des élèves n'ayant pas bénéficié de ce type de pédagogie.

Au vu de la comparaison de la répartition des résultats des élèves, de leur moyenne et de leur médiane, le niveau de maîtrise du critère C1 semble lié au type de pédagogie reçue. Le test d'indépendance du χ^2 est donc utilisé afin de permettre de réfuter ou non l'hypothèse d'indépendance entre le type de pédagogie et le niveau de maîtrise du critère C1. Les données de χ^2_{OBS} et de χ^2_{SEUIL} ont été calculées et sont présentées dans le **Tableau 13**. Dans le cadre de l'analyse de l'article 1, tout comme dans le cadre de l'analyse de l'article 2, le χ^2_{OBS} (respectivement 9,93 et 31,35) est supérieur au χ^2_{SEUIL} (9,488). Dans les deux cas, l'hypothèse d'indépendance entre les deux variables éudiées est réfutée. Ainsi, le niveau de maîtrise du critère C1 est dépendant du type de pédagogie suivie par les élèves.

Tableau 13 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type de pédagogie et du niveau de maîtrise du critère C1.

		C1
TÉMOIN/TEST	Article 1	Histogramme 1 $\chi^2_{OBS} > \chi^2_{SEUIL}$ 9,93 > 9,488 Risque α < 0,05
	Article 2	Histogramme 4 $\chi^2_{OBS} > \chi^2_{SEUIL}$ 9,93 > 9,488 Risque α < 0,005

Au regard de l'ensemble de ces informations, non seulement l'impact de l'éducation explicite à l'esprit critique sur le niveau de maîtrise du critère C1 semble positif, mais cet impact ne semble pas être modifié par la nature de l'article analysé (**Tableau 14**).

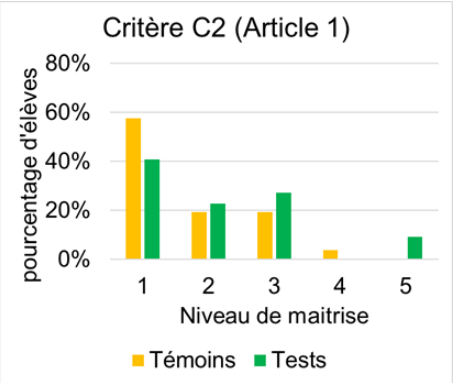
Tableau 14 : Impact de la pédagogie explicite sur la moyenne et sur la médiane des résultats des élèves des groupes tests par rapport aux résultats des élèves des groupes témoins.

	Moyenne	Médiane
Article 1	+0,98 point	+1 point
Article 2	+0,88 point	+2 points
Impact moyen	+0,93 (+18,6 %)	+1,5 (+30 %)

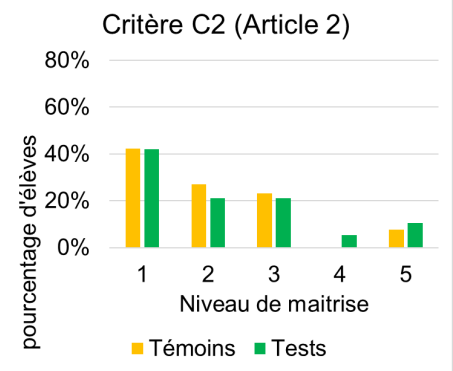
Licence CC BY-NC-ND 3.0

3.2.1.2. Le critère C2

Les histogrammes 2 et 5 présentés en **Figure 16** et dans l'**Annexe 3**, permettent de procéder à une lecture graphique de la répartition des niveaux de maîtrise du critère C2 en fonction du type de pédagogie suivie (explicite : groupe test / implicite : groupe témoin) et ce pour chaque type d'article analysé. En complément de ces deux histogrammes, les moyennes, les médianes et les quartiles 1 et 3 de chaque groupe d'élèves sont ajoutées en **Figure 16 (Annexe 5)**.



Histogramme 2



Histogramme 5

Moyenne (Témoins) = **1,69** Moyenne (Tests) = **2,19** $\Delta_{Moyenne}$ = **+ 0,5**	Moyenne (Témoins) = **2,04** Moyenne (Tests) = **2** $\Delta_{Moyenne}$ = **- 0,04**
Quartile 1 (Témoins) = **1** Quartile 1 (Tests) = **1** ΔQ_1 = **0**	Quartile 1 (Témoins) = **1** Quartile 1 (Tests) = **1** ΔQ_1 = **0**
Médiane (Témoins) = **1** Médiane (Tests) = **2** $\Delta_{Médiane}$ = **+ 1**	Médiane (Témoins) = **2** Médiane (Tests) = **2** $\Delta_{Médiane}$ = **0**
Quartile 3 (Témoins) = **2** Quartile 3 (Tests) = **3** ΔQ_3 = **+ 1**	Quartile 3 (Témoins) = **3** Quartile 3 (Tests) = **3** ΔQ_3 = **0**

Figure 16 : Bilan de la comparaison des résultats des élèves appartenant aux groupes témoin et test pour le critère C2. En haut : les histogrammes donnant la répartition des élèves des groupes témoins et tests en fonction de leur niveau de maîtrise du critère C2 dans le cadre de l'analyse de l'article 1 (gauche – histogramme n°2) ou de l'article 2 (droite – histogramme n°5). En bas : tableau compilant les moyennes, médianes, quartiles et différences pour chaque groupe (test ou témoin) et pour chaque article pour le critère C2. La différence de moyenne ($\Delta_{Moyenne}$) est calculée en soustrayant la moyenne des élèves témoins à la moyenne des élèves tests. La différence de médiane ($\Delta_{Médiane}$) est calculée en soustrayant la moyenne des élèves témoins à la moyenne des élèves tests.

Concernant l'analyse de l'article 1, on observe que :

(1) Environ 60 % des élèves témoins présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C2 (niveau 1) et 10 % des élèves témoins présentent un bon (niveau 4) ou un très bon (niveau 5) niveau de maîtrise du critère C2. De plus, les élèves témoins présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 de 1,69 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

(2) Environ 40 % des élèves des groupes tests présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C2 (niveau 1) et 10 % des élèves tests présentent un bon (niveau 4) ou un très bon (niveau 5) niveau de maîtrise du critère C2. De plus, les élèves tests ont en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 de 2,19 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note inférieure ou égale à 2 points sur 5 (maîtrise faible).

Ainsi, concernant l'article 1, les élèves tests, tout comme les élèves témoins, présentent un niveau de maîtrise du critère C2 non satisfaisant. Néanmoins, le niveau de maîtrise du critère C2 des élèves tests est en moyenne légèrement supérieur (+ 0,5 point) à celui des élèves n'ayant pas bénéficié de ce type de pédagogie.

Concernant l'article 2, on observe que :

(1) Environ 42 % des élèves témoins présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1), 27 % présentent un niveau de maîtrise faible (niveau 2), 20 % présentent un niveau de maîtrise moyen (niveau 3) et 8 % présentent un très bon niveau de maîtrise (niveau 4) du critère C2. De plus, les élèves témoins présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 de 2,04 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note inférieure ou égale à 2 points sur 5 (maîtrise faible).

(2) Environ 42 % des élèves tests présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1), 21 % présentent un niveau de maîtrise faible (niveau 2), 21 % présentent un niveau de maîtrise moyen (niveau 3), 5 % présentent un bon niveau de maîtrise (niveau 3) et 11 % présentent un très bon niveau de maîtrise (niveau 4) du critère C2. De plus, les élèves tests ont en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 de 2 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note inférieure ou égale à 2 points sur 5 (maîtrise faible).

Ainsi, les élèves témoins présentent autant de difficultés à mobiliser les stratégies analytiques de leur système 2 que les élèves tests, dans le cadre de l'analyse de l'article 2. En outre, les élèves tests présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 semblable (- 0,04 point) à celui des élèves n'ayant pas bénéficié de ce type de pédagogie.

Au vu de la comparaison de la répartition des élèves, de leur moyenne et de leur médiane, le niveau de maîtrise du critère C2 ne semble pas lié au type de pédagogie reçue dans le cas de l'article 1 et 2, car les différences sont faibles. Le test d'indépendance du χ^2 est donc utilisé afin de permettre de réfuter ou non l'hypothèse d'indépendance entre le type de pédagogie et le niveau de maîtrise du critère C2. Les données de χ^2_{OBS} et de χ^2_{SEUIL} ont été calculées et sont présentées dans le **Tableau 15**. Dans le cadre de l'analyse de l'article 1, tout comme dans le cadre de l'analyse de l'article 2, le χ^2_{OBS} (respectivement 4,54 et 1,72) est inférieur au χ^2_{SEUIL} (9,488). Dans les deux cas, l'hypothèse d'indépendance entre les deux variables étudiées

Licence CC BY-NC-ND 3.0

n'est pas réfutée. Ainsi, le niveau de maîtrise du critère C2 est indépendant du type de pédagogie suivie par les élèves.

Tableau 15 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type de pédagogie et du niveau de maîtrise du critère C2.

		C2
TÉMOIN/TEST	Article 1	Histogramme 2 $\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$ 4,54 < 9,488 Risque α < 0,05
	Article 2	Histogramme 5 $\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$ 1,72 < 9,488 Risque α < 0,05

Au regard de l'ensemble de ces informations, l'impact de l'éducation explicite à l'esprit critique sur le niveau de maîtrise du critère C2 est nul. Les différences observées ne sont pas supérieures à celles que l'on aurait pu observer par hasard avec un risque de se tromper de 5 % (**Tableau 16**).

Tableau 16 : Impact global de la pédagogie explicite sur la moyenne et sur la médiane des résultats des élèves analysant l'article 1 et 2 par rapport aux résultats des élèves témoins.

	Moyenne	Médiane
A1	+0,5	+1
A2	- 0,04	0
Impact moyen	+0,23 (+4,6 %)	+0,5 (+10 %)

3.2.1.3. Le critère C3

Les histogrammes 3 et 6 présentés en **Figure 17** et dans l'**Annexe 3**, permettent de procéder à une lecture graphique de la répartition des niveaux de maîtrise du critère C3 en fonction du type de pédagogie suivie (explicite : groupe test / implicite : groupe témoin) et ce pour chaque type d'article. En complément de ces deux histogrammes, les moyennes, les médianes et les quartiles 1 et 3 de chaque groupe d'élèves sont calculés (**Figure 17 ; Annexe 5)**.

Concernant l'analyse de l'article 1, on observe que :

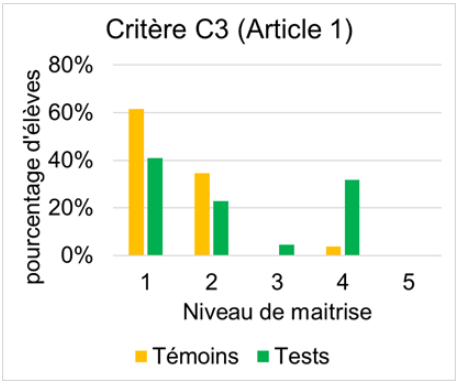
(1) Environ 60 % des élèves témoins présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C3 (niveau 1). De plus, 5 % des élèves témoins présentent un bon niveau de maîtrise du critère C3 (niveau 4). Les élèves témoins présentent en moyenne un niveau de

Licence CC BY-NC-ND 3.0

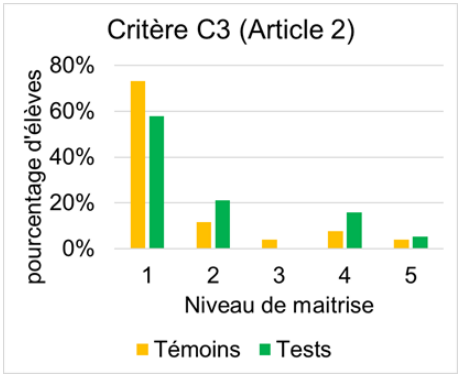
maîtrise du critère C3 de 1,46 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

(2) Environ 40 % des élèves tests présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C3 (niveau 1). De plus, 30 % des élèves tests présentent un bon niveau de maîtrise du critère C3 (niveau 4). Les élèves tests ont en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 de 2,33 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note inférieure ou égale à 2 points sur 5 (maîtrise faible).

Ainsi, les élèves tests, tout comme les élèves témoins, présentent un niveau de maîtrise du critère C3 non satisfaisant. Néanmoins, le niveau de maîtrise du critère C3 des élèves tests est en moyenne légèrement supérieur (+ 0,46 point) à celui des élèves n'ayant pas bénéficié de ce type de pédagogie.



Histogramme 3



Histogramme 6

Moyenne (Témoins) = **1,46** Moyenne (Tests) = **2,33** Δ Moyenne = **+ 0,46**	Moyenne (Témoins) = **1,58** Moyenne (Tests) = **1,89** Δ Moyenne = **+ 0,31**
Quartile 1 (Témoins) = **1** Quartile 1 (Tests) = **1** ΔQ_1 = **0**	Quartile 1 (Témoins) = **1** Quartile 1 (Tests) = **1** ΔQ_1 = **0**
Médiane (Témoins) = **1** Médiane (Tests) = **2** Δ Médiane = **+ 1**	Médiane (Témoins) = **1** Médiane (Tests) = **1** Δ Médiane = **0**
Quartile 3 (Témoins) = **2** Quartile 3 (Tests) = **4** ΔQ_3 = **+ 2**	Quartile 3 (Témoins) = **1,75** Quartile 3 (Tests) = **2** ΔQ_3 = **+ 0,25**

Figure 17 : Bilan de la comparaison des élèves du groupe témoin et test pour le critère C3. En haut : les histogrammes donnant la répartition des élèves des groupes témoins et des élèves des groupes tests en fonction de leur niveau de maîtrise du critère C1 dans le cadre de l'analyse de l'article 1 (gauche – histogramme n°3) ou de l'article 2 (droite – histogramme n°6). En bas : tableau compilant les moyennes, médianes, quartiles et différences pour chaque groupe (test ou témoin) et pour chaque article pour le critère C3. La différence de moyenne ($\Delta_{Moyenne}$) est calculée en soustrayant la moyenne des élèves témoins à la moyenne des élèves tests. La différence de médiane ($\Delta_{Médiane}$) est calculée en soustrayant la moyenne des élèves témoins à la moyenne des élèves tests.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Concernant l'analyse de l'article 2, on observe que :

(1) Environ 60 % des élèves témoins présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1). De plus, les élèves témoins présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 de 1,58 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

(2) Environ 60 % des élèves tests présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1). De plus, les élèves tests ont en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 de 1,89 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

Ainsi, les élèves témoins présentent autant de difficultés à basculer du système 1 au système 2, que les élèves tests dans le cadre de l'analyse de l'article 2. Néanmoins, les élèves tests présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 légèrement supérieur (+ 0.31 point) à celui des élèves témoins.

Au vu de la comparaison de la répartition des élèves, de leur moyenne et de leur médiane, le niveau de maîtrise du critère C3 ne semble pas lié au type de pédagogie reçue dans le cas de l'article 1 et 2, car les différences sont faibles. Le test d'indépendance du χ^2 est donc utilisé afin de permettre de réfuter ou non l'hypothèse d'indépendance entre le type de pédagogie et le niveau de maîtrise du critère C2. Les données de χ^2_{OBS} et de χ^2_{SEUIL} ont été calculées et sont présentées dans le **Tableau 17**. Dans le cadre de l'analyse de l'article 1, le χ^2_{OBS} (12,26) est supérieur au χ^2_{SEUIL} (9,488) ce qui permet de réfuter l'hypothèse d'indépendance entre les deux variables étudiées. A l'inverse, dans le cadre de l'analyse de l'article 2, le χ^2_{OBS} (4,98) est inférieur au χ^2_{SEUIL} (9,488) ce qui ne permet pas de réfuter l'hypothèse d'indépendance entre les deux variables étudiées. Ainsi, le niveau de maîtrise du critère C3 est dépendant du type de pédagogie suivie par les élèves dans le cadre de l'analyse de l'article 1 uniquement. Ce dernier est indépendant du type de pédagogie reçue dans le cadre de l'analyse de l'article 2.

Tableau 17 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type de pédagogie et du niveau de maîtrise du critère C3.

		C2
TÉMOIN/TEST	Article 1	Graphique 3 $\chi^2_{OBS} > \chi^2_{SEUIL}$ 12,26 > 9,488 0,010 < Risque α < 0,025
	Article 2	Graphique 6 $\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$ 4,98 < 9,488 Risque α < 0,05

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Au regard de l'ensemble de ces informations, l'impact de l'éducation explicite à l'esprit critique sur le niveau de maîtrise du critère C3 semble positif dans le cadre de l'analyse de l'article 1 uniquement (+ 0,46 point en moyenne). En revanche, cet impact est nul dans le cadre de l'analyse de l'article 2. Dans ce cas, les différences observées ne sont pas supérieures à celles que l'on aurait pu observer par hasard avec un risque de se tromper de 5 %. Dès lors, l'impact de l'éducation explicite à l'esprit critique semble dépendant du type d'article analysé de sorte que cet impact est inhibé par l'article 2 (condition test).

3.2.2. Impact du type d'article

3.2.2.1. Le critère C1

Les histogrammes 1 et 4 présentés en **Figure 18** et dans l'**Annexe 4**, permettent de procéder à une lecture graphique de la répartition des niveaux de maîtrise du critère C1 en fonction du type d'article analysé et pour chaque type de pédagogie suivie par les élèves. En complément de ces deux histogrammes, les moyennes, les médianes et les quartiles 1 et 3 de chaque groupe d'élèves sont ajoutées en **Figure 18 (Annexe 6)**.

Concernant les élèves témoins, on observe que :

(1) Environ 27 % des élèves analysant l'article 1 ont une maîtrise fragile du critère C1 (niveau 1) tandis que 38 % ont un bon niveau de maîtrise du critère C1 (niveau 4). De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 de 2,73 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note supérieure ou égale à 3 points sur 5 (maîtrise moyenne).

(2) Environ 73 % des élèves analysant l'article 2 ont une maîtrise fragile du critère C1 (niveau 1) tandis que 8 % ont un bon niveau de maîtrise du critère C1 (niveau 4). De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 de 1,54 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

Ainsi, les élèves témoins analysant l'article 2 présentent plus de difficultés à mobiliser les heuristiques de leur système 1 (C1) que les élèves témoins analysant l'article 1. En effet, les élèves témoins analysant l'article 1 présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 supérieur de 1,29 points à celui des élèves témoins analysant l'article 2.

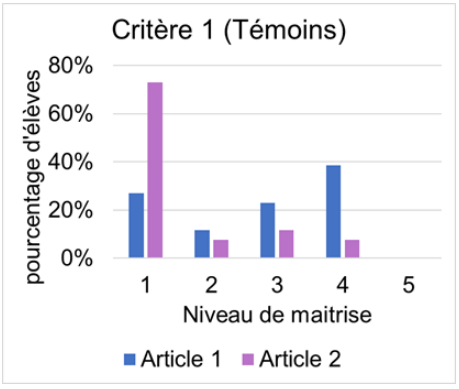
Concernant les élèves tests, on observe :

(1) Environ 77 % des élèves tests analysant l'article 1 ont un bon niveau de maîtrise du critère C1 (niveau 4). De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 de 3,71 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note supérieure ou égale à 4 points sur 5 (bonne maîtrise).

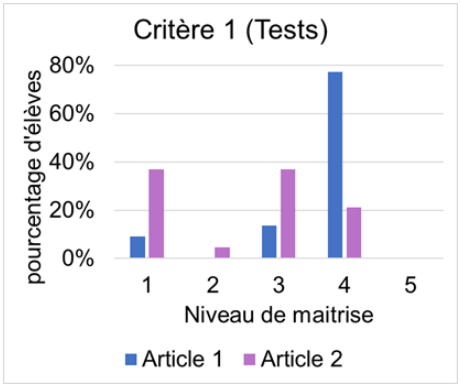
Licence CC BY-NC-ND 3.0

(2) Environ 21 % des élèves tests analysant l'article 2 ont un bon niveau de maîtrise du critère C1 (niveau 4). De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C1 de 2,42 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note supérieure ou égale à 3 points sur 5 (maîtrise satisfaisante).

Ainsi, les élèves tests analysant l'article 1, tout comme ceux analysant l'article 2, présentent un niveau de maîtrise du critère C1 tout à fait satisfaisant. Néanmoins, le niveau de maîtrise du critère C1 des élèves des groupes tests ayant analysé l'article 1 est en moyenne supérieur de 1,29 points à celui des élèves ayant analysé l'article 2.



Histogramme 1



Histogramme 4

Moyenne (Article 1) = **2,73** Moyenne (Article 2) = **1,54** $\Delta_{Moyenne}$ = **- 1,19**	Moyenne (Article 1) = **3,71** Moyenne (Article 2) = **2,42** $\Delta_{Moyenne}$ = **- 1,29**
Quartile 1 (Article 1) = **1,25** Quartile 1 (Article 2) = **1** ΔQ_1 = - **0,25**	Quartile 1 (Article 1) = **4** Quartile 1 (Article 2) = **1** ΔQ_1 = **- 3**
Médiane (Article 1) = **3** Médiane (Article 2) = **1** $\Delta_{Médiane}$ = **- 2**	Médiane (Article 1) = **4** Médiane (Article 2) = **3** $\Delta_{Médiane}$ = **- 1**
Quartile 3 (Article 1) = **4** Quartile 3 (Article 2) = **1,75** ΔQ_3 = **- 2,25**	Quartile 3 (Article 1) = **4** Quartile 3 (Article 2) = **3** ΔQ_3 = **- 1**

Figure 18 : Bilan de la comparaison des résultats de l'article 1 et de l'article 2 pour le critère C1. En haut : les histogrammes donnant la répartition des élèves selon l'article 1 ou 2 en fonction de leur niveau de maîtrise du critère C1 dans le cadre du groupe témoin (gauche – histogramme n°1) ou pour le groupe test (droite – histogramme n°4). En bas : tableau compilant les moyennes, médianes, les quartiles et différences pour chaque groupe (Article 1 ou 2) et pour chaque groupe (test ou témoin) pour le critère C1.

Au vu de la comparaison de la répartition des élèves, de leur moyenne et de leur médiane, le niveau de maîtrise du critère C1 semble lié au type d'article analysé. Le test d'indépendance du χ^2 est donc utilisé afin de permettre de réfuter ou non l'hypothèse d'indépendance entre le type d'article analysé et le niveau de maîtrise du critère C1. Les données de χ^2_{OBS} et de χ^2_{SEUIL} ont été calculées et sont présentées dans le **Tableau 18**. Chez les élèves témoins et tests, le χ^2_{OBS} (respectivement 11,67 et 104,27) est supérieur au χ^2_{SEUIL} (9,488). Dans les deux cas,

Licence CC BY-NC-ND 3.0

l'hypothèse d'indépendance entre les deux variables éudiées est réfutée. Ainsi, le niveau de maîtrise du critère C1 est dépendant du type d'article analysé par les élèves.

Tableau 18 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type d'article analysé et du niveau de maîtrise du critère C1.

		C1
Article 1 / Article 2	Témoins	Histogramme 1 $X^2_{OBS} > X^2_{SEUIL}$ 11,67 > 9,488 0,01 < Risque α < 0,025
	Tests	Histogramme 4 $X^2_{OBS} > X^2_{SEUIL}$ 104,27 > 9,488 Risque α < 0,005

Au regard de l'ensemble de ces informations, non seulement l'impact du type d'article sur le niveau de maîtrise du critère C1 semble négatif mais cet impact ne semble pas être modifié par le type de pédagogie suivie par les élèves (**Tableau 19**).

Tableau 19 : Impact de l'article 2 sur la moyenne et sur la médiane des résultats des élèves des groupes tests et témoins par rapport aux résultats des élèves analysant l'article 1 (condition témoin).

	Moyenne	Médiane
Témoins	-1,29 points	-2 points
Tests	-1,19 points	0 point
Impact moyen	-1,24 points (-24,8 %)	-1 point (-20 %)

3.2.2.2. Le critère C2

Les histogrammes 2 et 5 présentés en **Figure 19** et dans l'**Annexe 4**, permettent de procéder à une lecture graphique de la répartition des niveaux de maîtrise du critère C2 en fonction du type d'article analysé pour chaque type de pédagogie suivie par les élèves. En complément de ces deux histogrammes, les moyennes et les médianes des élèves sont ajoutées en **Figure 19** (**Annexe 6**).

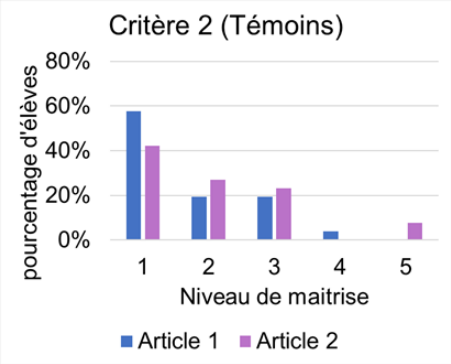
Licence CC BY-NC-ND 3.0

Concernant les élèves témoins, on observe que :

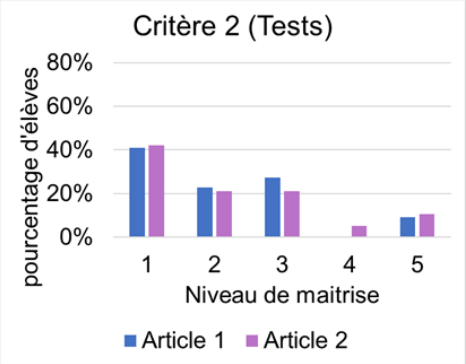
(1) Environ 58 % des élèves témoins analysant l'article 1 présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C2 (niveau 1) alors que seulement 4 % présentent un bon niveau de maîtrise du critère C2 (niveau 4). Des plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 de 1,69 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

(2) Environ 42 % des élèves témoins analysant l'article 2 présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C2 (niveau 1) alors que seulement 8 % présentent un très bon niveau de maîtrise du critère C2 (niveau 5). De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 de 2,04 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note supérieure ou égale à 2 points sur 5 (maîtrise faible).

Ainsi, les élèves témoins analysant l'article 1 et ceux analysant l'article 2, présentent un niveau de maîtrise du critère C2 non satisfaisant. Néanmoins, le niveau de maîtrise du critère C2 des élèves témoins analysant l'article 1 est en moyenne légèrement supérieur (+ 0,35 point) à celui des élèves analysant l'article 2.



Histogramme 2



Histogramme 5

Moyenne (Article 1) = **1,69** Moyenne (Article 2) = **2,04** $\Delta_{Moyenne}$ = **+ 0,35**	Moyenne (Article 1) = **2,19** Moyenne (Article 2) = **2** $\Delta_{Moyenne}$ = **- 0,19**
Quartile 1 (Article 1) = **1** Quartile 1 (Article 2) = **1** ΔQ_1 = **0**	Quartile 1 (Article 1) = **1** Quartile 1 (Article 2) = **1** ΔQ_1 = **0**
Médiane (Article 1) = **1** Médiane (Article 2) = **2** $\Delta_{Médiane}$ = **+ 1**	Médiane (Article 1) = **2** Médiane (Article 2) = **2** $\Delta_{Médiane}$ = **0**
Quartile 3 (Article 1) = **2** Quartile 3 (Article 2) = **3** ΔQ_3 = **+ 1**	Quartile 3 (Article 1) = **3** Quartile 3 (Article 2) = **3** ΔQ_3 = **0**

Figure 19 : Bilan de la comparaison du niveau de maîtrise des élèves analysant l'article 1 et 2 pour le critère C2. En haut : les histogrammes donnant la répartition des élèves analysant l'article 1 ou 2 en fonction de leur niveau de maîtrise du critère C1 et du type de pédagogie suivie : implicite (gauche – histogramme n°2) ou explicite (droite – histogramme n°5). En bas : tableau compilant les moyennes, la médiane, les quartiles et leurs différences pour chaque groupe (Article 1 ou 2) et pour chaque groupe (test ou témoin) pour le critère C2.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Concernant les élèves tests, on observe que :

(1) Environ 41 % des élèves tests analysant l'article 1 présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1), 23 % présentent un niveau de maîtrise faible (niveau 2), 27 % présentent un niveau de maîtrise moyen (niveau 3) et 9 % présentent un très bon niveau de maîtrise (niveau 4) du critère C2. De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 de 2,19 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note inférieure ou égale à 2 points sur 5 (maîtrise faible).

(2) Environ 42 % des élèves tests analysant l'article 2 présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1), 21 % présentent un niveau de maîtrise faible (niveau 2), 21 % présentent un niveau de maîtrise moyen (niveau 3), 5 % présentent un bon niveau de maîtrise (niveau 3) et 11 % présentent un très bon niveau de maîtrise (niveau 4) du critère C2. De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 de 2 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note inférieure ou égale à 2 points sur 5 (maîtrise faible).

Ainsi, les élèves témoins analysant l'article 1, tout comme ceux analysant l'article 2, présentent un niveau de maîtrise du critère C2 non satisfaisant. De plus, les élèves tests ayant analysé l'article 2 présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C2 semblable (- 0,19 point) à celui des élèves ayant analysé l'article 1 (condition témoin).

Tableau 20 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type d'article analysé et du niveau de maîtrise du critère C2.

		C2
Article 1 / Article 2	Témoins	Histogramme 2 $\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$ Risque $\alpha < 0,05$
	Tests	Histogramme 5 $\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$ Risque $\alpha < 0,05$

Au vu de la comparaison de la répartition des élèves, de leur moyenne et de leur médiane, le niveau de maîtrise du critère C2 ne semble pas lié au type d'article analysé, car les différences sont faibles. Le test d'indépendance du χ^2 est donc utilisé afin de permettre de réfuter ou non l'hypothèse d'indépendance entre le type d'article analysé et le niveau de maîtrise du critère C2. Les données de χ^2_{OBS} et de χ^2_{SEUIL} ont été calculées et sont présentées dans le **Tableau 20**. Chez les élèves témoins et les élèves tests, le χ^2_{OBS} (respectivement 3,99 et 1,28) est inférieur au χ^2_{SEUIL} (9,488). Dans les deux cas, l'hypothèse d'indépendance entre les deux

Licence CC BY-NC-ND 3.0

variables étudiées n'est pas réfutée. Ainsi, le niveau de maîtrise du critère C2 est indépendant du type d'article analysé par les élèves.

Au regard de l'ensemble de ces informations, l'impact du type d'article sur le niveau de maîtrise du critère C2 est nul. Les différences observées (**Tableau 21**) ne sont donc pas supérieures à celles que l'on aurait pu observer par hasard avec un risque de se tromper de 5 %.

Tableau 21 : Impact global de la pédagogie explicite (gauche) et du type d'article (droite) sur la moyenne et sur la médiane des résultats des élèves analysant l'article 1 et 2 par rapport aux résultats des élèves témoins.

	Moyenne	Médiane
Témoins	+ 0,35 point	+1
Tests	- 0,19 point	+2
Impact moyen	+ 0,08 point (+1,6 %)	+ 1,5 point (+30 %)

3.2.2.3. Le critère C3

Les histogrammes 3 et 6 présentés en **Figure 20** et dans l'**Annexe 4**, permettent de procéder à une lecture graphique de la répartition des niveaux de maîtrise du critère C3 en fonction du type d'article analysé pour chaque type de pédagogie suivie par les élèves. En complément de ces deux histogrammes, les moyennes, les médianes et les quartiles 1 et 3 de chaque groupe d'élèves sont ajoutées en **Figure 20** (**Annexe 6**).

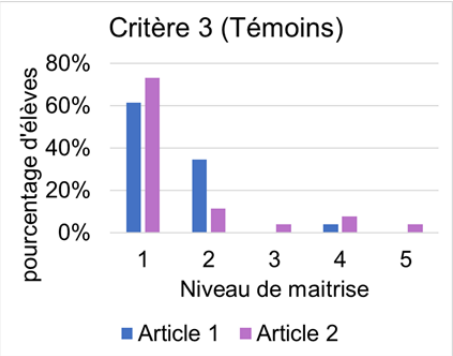
Concernant les élèves témoins, on observe que :

(1) Environ 35 % des élèves témoins analysant l'article 1 présentent un niveau de maîtrise faible du critère C3 (niveau 2) tandis que 62 % des élèves témoins analysant l'article 1 présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C3 (niveau 1). De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 de 1,46 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

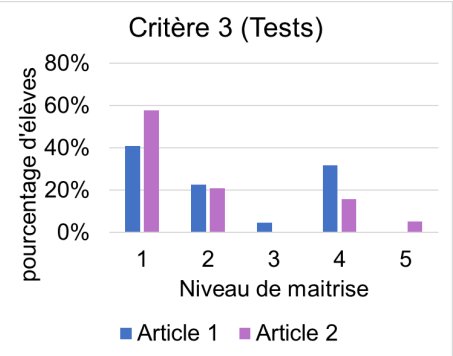
(2) Environ 12 % des élèves témoins analysant l'article 2 présentent un niveau de maîtrise faible du critère C3 (niveau 2) tandis que 73 % des élèves témoins analysant l'article 2 présentent un niveau de maîtrise fragile du critère C3 (niveau 1). De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 de 1,58 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

Ainsi, les élèves témoins analysant l'article 1, tout comme ceux analysant l'article 2, présentent un niveau de maîtrise du critère C3 non satisfaisant ; le niveau de maîtrise du critère C3 est semblable dans ces deux cas.

Licence CC BY-NC-ND 3.0



Histogramme 3



Histogramme 6

Moyenne (Article 1) = **1,46** Moyenne (Article 2) = **1,58** $\Delta_{Moyenne}$ = **+ 0,12**	Moyenne (Article 1) = **2,33** Moyenne (Article 2) = **1,89** $\Delta_{Moyenne}$ = **- 0,44**
Quartile 1 (Article 1) = **1** Quartile 1 (Article 2) = **1** ΔQ_1 = **0**	Quartile 1 (Article 1) = **1** Quartile 1 (Article 2) = **1** ΔQ_1 = **0**
Médiane (Article 1) = **1** Médiane (Article 2) = **1** $\Delta_{Médiane}$ = **0**	Médiane (Article 1) = **2** Médiane (Article 2) = **1** $\Delta_{Médiane}$ = **- 1**
Quartile 3 (Article 1) = **2** Quartile 3 (Article 2) = **1,75** ΔQ_3 = **- 0,25**	Quartile 3 (Article 1) = **4** Quartile 3 (Article 2) = **2** ΔQ_3 = **- 2**

Figure 20 : Synthèse de la comparaison des résultats de l'article 1 et de l'article 2 pour le critère C3. En haut : les histogrammes donnant la répartition des élèves selon l'article 1 ou 2 en fonction de leur niveau de maîtrise du critère C1 dans le cadre du groupe témoin (gauche – histogramme n°3) ou pour le groupe test (droite – histogramme n°6). En bas : tableau compilant les moyennes, médianes, les quartiles et différences pour chaque groupe (Article 1 ou 2) et pour chaque groupe (test ou témoin) pour le critère C3.

Concernant les élèves tests, on observe que :

(1) Environ, 32 % des élèves tests analysant l'article 1 présentent un bon niveau de maîtrise du critère C3 (niveau 4) tandis que 41 % présentent un niveau de maîtrise fragile (niveau 1). De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 de 2,33 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont obtenu une note inférieure ou égale à 2 points sur 5 (maîtrise faible).

(2) Environ 16 % des élèves tests analysant l'article 2 présentent un bon niveau de maîtrise du critère C3 (niveau 4) tandis que 58 % présentent un niveau de maîtrise fragile. De plus, ils présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 de 1,89 points sur 5. Enfin, 50 % de ces élèves ont une note de 1 point sur 5 (maîtrise fragile).

Ainsi, les élèves test analysant l'article 1 et ceux analysant l'article 2, présentent un niveau de maîtrise du critère C3 non satisfaisant. Toutefois, les élèves tests ayant analysé l'article 2 présentent en moyenne un niveau de maîtrise du critère C3 inférieur (- 0,44 point) à celui des élèves ayant analysé l'article 1 (condition témoin).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Au vu de la comparaison de la répartition des élèves, de leur moyenne et de leur médiane, le niveau de maîtrise du critère C3 ne semble pas lié au type d'article analysé, car les différences sont faibles. Le test d'indépendance du χ^2 est donc utilisé afin de permettre de réfuter ou non l'hypothèse d'indépendance entre le type d'article analysé et le niveau de maîtrise du critère C3. Les données de χ^2_{OBS} et de χ^2_{SEUIL} ont été calculées et sont présentées dans le **Tableau 22**. Chez les élèves témoins et chez les élèves tests, le χ^2_{OBS} (respectivement 9,26 et 7,42) est inférieur au χ^2_{SEUIL} (9,488). Dans les deux cas, l'hypothèse d'indépendance entre les deux variables étudiées est réfutée. Ainsi, le niveau de maîtrise du critère C3 est indépendant du type d'article analysé par les élèves.

Tableau 22 : Résultat du test d'indépendance du Khi-deux concernant l'indépendance du type d'article analysé et du niveau de maîtrise du critère C2.

		C3
Article 1 / Article 2	Témoins	Histogramme 3 $\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$ 9,26 < 9,488 Risque α < 0,05
	Tests	Histogramme 6 $\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$ 7,42 < 9,488 Risque α < 0,05

Au regard de l'ensemble de ces informations, l'impact du type d'article sur le niveau de maîtrise du critère C3 est nul. Les différences observées chez les élèves tests ne sont donc pas supérieures à celles que l'on aurait pu observer par hasard avec un risque de se tromper de 5 %.

3.2.3. Bilan

Afin de faciliter la discussion et l'interprétation des données par la suite, un récapitulatif de l'impact (positif, négatif ou nul) de chaque variable (pédagogie suivie ou article analysé) sur les niveaux de maîtrise des compétences (C1, C2 et C3) des élèves, est donné sous la forme de deux tableaux (**Tableau 23 et 24**). Pour rappel :

(1) Le fait de suivre des cours d'éducation explicite à l'esprit critique admet un impact positif sur la faculté des élèves tests à mobiliser un raisonnement en système 1 indépendamment du type d'article analysé et sur la faculté des élèves à mobiliser leur système 3 dans le cadre de l'analyse de l'article 1. En revanche, ces cours n'ont aucun impact sur la faculté des élèves à raisonner en système 2 (**Tableau 23**).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Tableau 23 : Compilation des impacts du type de pédagogie sur le niveau de maîtrise des élèves concernant les critères C1, C2 et C3. En absence d'impact, la case est colorée est grise. En présence d'un impact négatif, la case est colorée en rouge alors qu'elle est colorée en vert en cas d'impact positif.

		C1	C2	C3
TÉMOIN /T EST	Article 1			
	Article 2			

(2) Le fait d'analyser l'article 2 admet un impact négatif sur la capacité des élèves à mobiliser un raisonnement en système 1 indépendamment du type de cours suivi. En revanche, cet article n'a aucun impact sur la faculté des élèves à raisonner en système 2 ou à mobiliser leur système 3 (**Tableau 24**).

Tableau 24 : Compilation des impacts du type d'article sur le niveau de maîtrise des élèves concernant les critères C1, C2 et C3. En absence d'impact, la case est colorée est grise. En présence d'un impact négatif, la case est colorée en rouge alors qu'elle est colorée en verte en cas d'impact positif.

		C1	C2	C3
ARTICLE 1 / ARTICLE 2	Témoin			
	Test			

Licence CC BY-NC-ND 3.0

4. Discussion

4.1. La maîtrise du système 1

4.1.1. Impact de la pédagogie

La comparaison des notes obtenues par les élèves tests et témoins suite à l'évaluation du niveau de maîtrise du critère C1, a mis en évidence la dépendance et l'impact positif de l'enseignement explicite de l'esprit critique sur le niveau de maîtrise des élèves du critère C1 (augmentation moyenne de 0.93 point). En effet, dans le cas de l'article 1, les résultats ont démontré que les élèves composant le groupe test possédaient en moyenne un bon niveau de maîtrise du système 1 (77 % possèdent un niveau 4) ; contrairement aux élèves témoins dont le niveau de maîtrise était réparti de manière uniforme entre les quatre premiers niveaux de maîtrise du critère C1. Ainsi, on peut en conclure que les élèves ayant reçu l'enseignement explicite de l'esprit critique surperforment par rapport aux élèves ayant uniquement travaillé la démarche scientifique, lors de l'analyse de l'article 1.

Les séances d'éducation explicite à l'esprit critique sont articulées – entre autres – autour de l'explication du fonctionnement du système 1 dans le cadre de l'évaluation d'une information à caractère scientifique (modèle métacognitif). L'enseignement de ce modèle permet de sensibiliser les élèves aux incertitudes liées à l'utilisation du raisonnement intuitif. Dès lors, afin de limiter le risque de se tromper lors de l'évaluation d'une information à caractère scientifique, les élèves suivant les séances d'éducation explicite à l'esprit critique, apprennent à mobiliser un nombre d'heuristiques important. De plus, ils apprennent également à utiliser ces stratégies subjectives de la manière la plus pertinente. Dans la mesure où la grille d'évaluation des compétences produite est construite autour de ces recommandations, il apparaît logique que les élèves tests, s'étant entraînés à mobiliser plusieurs heuristiques et de manière pertinente, soient plus performants que les élèves témoins lors de l'analyse des informations à caractère scientifique contenues dans l'article 1 (**Figure 21**).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

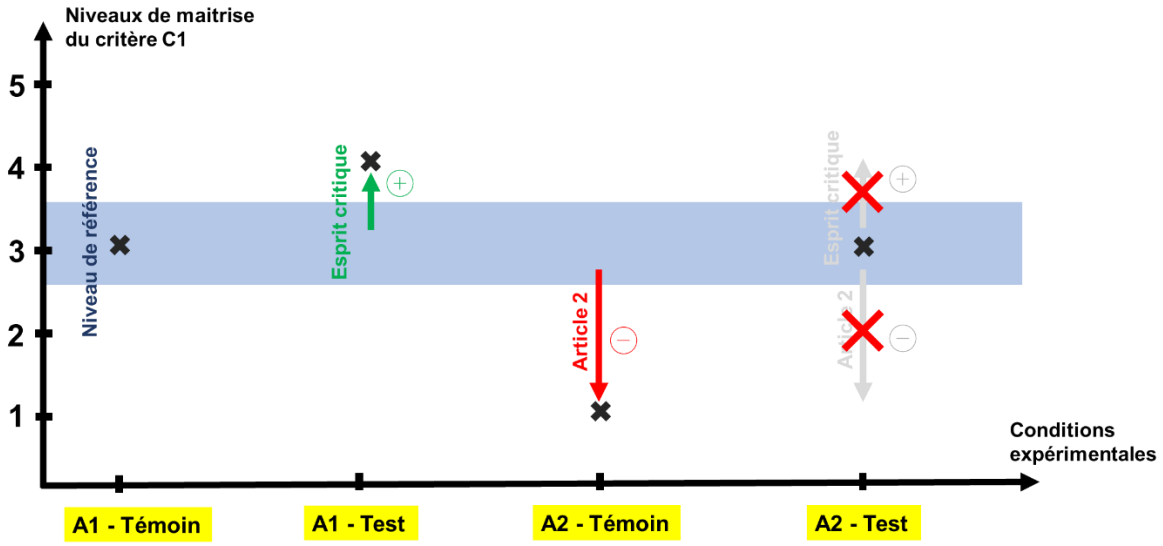


Figure 21 : Représentation schématique du niveau de maîtrise moyen des élèves pour le critère C1 (système 1) en fonction des différentes conditions expérimentales. Le niveau de maîtrise des élèves témoins analysant l'article 1 sert de référence car il reflète le niveau moyen des élèves de notre échantillon en absence d'éducation à l'esprit critique (témoin négatif) et en absence d'analyse de l'article 2 (témoin négatif). Le rectangle bleu représente le niveau de référence.

4.1.2. Impact de l'article

La comparaison des niveaux de maîtrise du critère C1 selon les articles analysés, a permis d'exposer la dépendance de ce niveau de maîtrise à l'article analysé. L'article 2 admet un impact négatif sur le niveau de maîtrise du critère C1 des élèves (diminution moyenne de 1.24 points) (**Figure 21**). Dans le cadre de l'étude de l'article 2, les résultats ont mis en évidence le niveau de maîtrise fragile du critère C1 de la plupart des élèves témoins (77 % possèdent un niveau 1). Au contraire, les niveaux de maîtrise des élèves tests sont répartis de manière uniforme entre les quatre premiers niveaux de maîtrise du critère C1, ce qui permet d'arriver aux conclusions suivantes :

(1) Le fait de devoir analyser l'article 2 entraîne une sous-performance des élèves témoins par rapport au niveau de référence (représenté par les témoins analysant article 1 ; **Figure 21**) ;

(2) Le fait de devoir analyser l'article 2 ne permet plus aux élèves tests de surperformer par rapport au niveau de référence (représenté par les témoins analysant article 1 ; **Figure 21**) mais leur évite de sous-performer.

L'article 2 est construit de manière à empêcher les élèves de faire émerger facilement le caractère douteux des informations à caractère scientifique qu'il contient, sur la base d'un raisonnement en système 1. Or, une grande majorité des élèves de notre échantillon se trouvent en accord avec la théorie du dérèglement climatique (**Figure 22**). Dès lors, dans la mesure où l'analyse en système 1 de l'article ne permet pas aux élèves d'aboutir à une

Licence CC BY-NC-ND 3.0

conclusion confortant leur croyance, ils préfèrent ignorer ce mode de raisonnement au profit d'un raisonnement en système 2. Une majorité des élèves témoins passent donc directement en système 2 sans passer par le système 1. Ce choix, de ne pas prendre en compte les conclusions du système 1, constitue un biais de confirmation (sélection subjective des données). C'est ce même biais de confirmation qui pousse la majorité des élèves témoins à ne pas basculer en système 2 lors de l'analyse de l'article 1 (Cf. 4.3. La maîtrise du système 3). La forme de l'article contenant les informations à caractère scientifique, a donc un impact sur le type de raisonnement que les élèves témoins mobilisent par défaut (système 1 ou système 2). Dans ce cas-ci, la difficulté de faire émerger facilement le caractère douteux d'un article, n'allant pas dans le sens des croyances des élèves, a un impact négatif sur l'analyse des élèves en système 1.

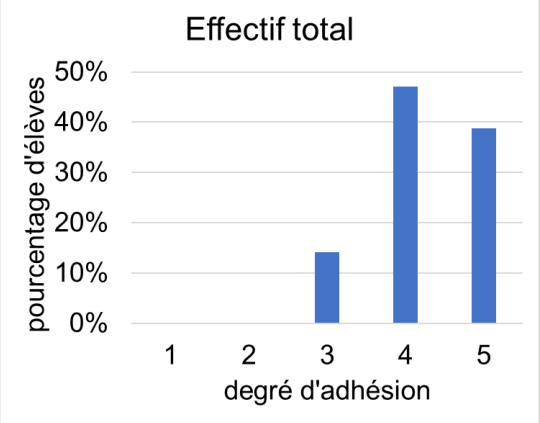


Figure 22 : Histogramme illustrant le degré d'adhésion des élèves testés à la théorie du réchauffement climatique. Le degré d'adhésion des élèves est évalué selon un gradient allant de 1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord). Alors que 86 % des élèves sont d'accord ou totalement d'accord sur la réalité du réchauffement climatique, 14 % sont mitigés. Le détail des degrés d'adhésion des différents groupes expérimentaux est disponible en **Annexe 7**.

4.1.3. Interaction entre la pédagogie et l'article

L'absence de surperformance (causée par la pédagogie explicite) et de sous-performance (causée par la difficulté de l'article) chez les élèves tests dans le cas de l'article 2, témoigne de la mise en jeu d'un phénomène de double inhibition (**Figure 23**). L'impact positif de l'éducation à l'esprit critique et l'impact négatif induit par le fait d'analyser l'article 2 se compensent mutuellement. En effet, comme la **Figure 23** nous le montre, les élèves tests analysant l'article 2 présentent un niveau de maîtrise du critère C1 proche de celui des élèves témoins analysant l'article 1 (qui est la référence). Il est donc important de se demander de quelle manière la pédagogie explicite permet de compenser l'effet négatif de l'article 2 (et inversement).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

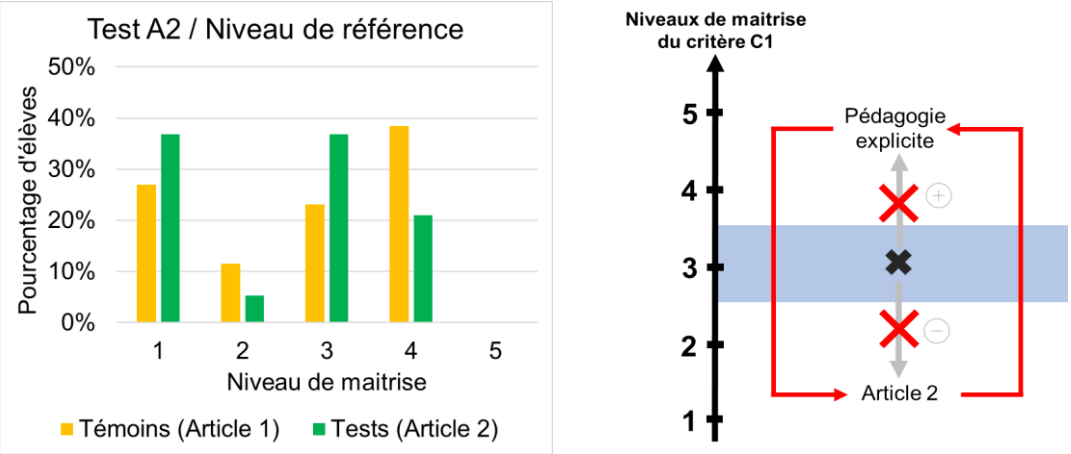


Figure 23 : A gauche : Histogramme comparant les résultats des élèves témoins analysant l'article 1 (niveau de référence) à ceux des élèves tests analysant l'article 2. Environ 58 % des élèves témoins analysant l'article 1 ont un bon ou très bon niveau de maîtrise du critère C1 contre 61 % des élèves tests analysant l'article 2. De même, 42 % des élèves tests analysant l'article 2 possèdent un niveau de maîtrise fragile ou faible du critère C1 contre 39 % des élèves témoins analysant l'article 1. Ainsi, on observe que la répartition des niveaux de maîtrise pour chaque groupe d'élèves est similaire. A droite : Modèle schématique représentant la compensation de l'effet positif de l'enseignement d'une pédagogie explicite de l'esprit critique et de l'effet négatif de l'article 2. Cette compensation amène les élèves tests ayant analysé l'article 2 à avoir un niveau de maîtrise du critère C1 équivalent au niveau de référence (représenté par le rectangle bleu) ; à savoir, le niveau de maîtrise des élèves témoins ayant analysé l'article C1.

L'éducation explicite à l'esprit critique permet de limiter le nombre d'élèves n'ayant pas recours à l'utilisation des heuristiques du système 1 dans le cadre de l'analyse de l'article 2 (- 36 %). Il est probable que l'éducation explicite à l'esprit critique agisse en limitant les effets de la sélection subjective des données (biais de confirmation). En effet, les élèves témoins ne prennent pas en compte l'analyse réalisée en système 1, car elle ne va pas dans le sens de leur croyance (la réalité du réchauffement climatique). L'enseignement explicite limiterait ce biais de confirmation chez les élèves tests et leur permettrait de mobiliser les heuristiques de leur système 1 afin d'analyser la fiabilité de l'article. En effet, les élèves tests savent que la conclusion produite par les heuristiques du système 1 est indicative, car elle présente un risque d'erreur. Les conclusions produites par l'application des heuristiques du système 1 (dans ce cas : pas d'arguments corroborant la non-fiabilité de l'article) ne remettent donc pas forcément en cause les conclusions obtenues dans le cadre de l'évaluation des preuves en système 2 ; ce qui pousse la majorité des élèves tests à ne pas les ignorer.

A l'inverse, l'article 2 permet d'empêcher l'utilisation pertinente des heuristiques du système 1 par les élèves tests. Il est probable que cet effet soit une conséquence de la construction de l'article 2, rendant l'utilisation des heuristiques plus difficile. Les informations à caractère scientifique contenues dans l'article 2 vont à l'encontre des croyances des élèves, ces derniers vont donc – par tous les moyens – chercher des arguments attestant de leur non-fiabilité. Ainsi,

Licence CC BY-NC-ND 3.0

ils vont avoir tendance à recourir à l'utilisation d'heuristiques de manière non pertinente afin de conclure de la non-fiabilité de l'article et ainsi, corroborer leurs croyances. Par exemple, certains élèves ont utilisé la présence d'une faute d'orthographe dans l'article 2 afin de conclure sur sa non-fiabilité en omettant les conclusions des autres heuristiques. Ainsi, les élèves tests analysant l'article 2 ne pourront pas surperformer par rapport à l'article 1, même s'ils mobilisent plus leur système 1 que les élèves témoins.

4.2. La maîtrise du système 2

La comparaison des niveaux de maîtrise du critère C2 pour les groupes tests et témoins n'a pas permis de mettre en évidence un impact de l'enseignement explicite de l'esprit critique sur le niveau de maîtrise du système 2. Ainsi, les différences constatées entre les élèves appartenant au groupe témoin et ceux appartenant au groupe test ne sont pas significatives (elles ne sont pas supérieures à ce que l'on obtiendrait par hasard). De la même manière, la comparaison des niveaux de maîtrise pour ce même critère pour les groupes analysant l'article 1 et ceux analysant l'article 2, n'a pas permis de mettre en évidence un impact de l'article sur la maîtrise du critère. Les différences constatées entre les élèves analysant les deux articles ne sont donc pas significatives.

Ainsi, contrairement à ce qui avait été avancé (Cf. 2.3. Résultats théoriques attendus), les cours d'éducation à l'esprit critique prodigués n'ont pas permis, dans notre cas, l'augmentation de la capacité des élèves à détecter des arguments fallacieux. L'hypothèse, également proposée par Moutier et Houdé (2003), pouvant expliquer cette observation est, qu'afin de constater un effet de l'éducation à l'esprit critique, il est nécessaire que l'élève puisse s'exercer à plusieurs reprises. En effet, contrairement au critère C1, la maîtrise du critère C2 nécessite un effort cognitif important dans la mesure où il met en jeu un raisonnement en système 2. Dès lors, le nombre de séances proposées dans le cadre de cette étude (trois séances) apparaît comme étant trop faible pour permettre aux élèves de maîtriser l'utilisation de leur système 2. Avoir uniquement connaissance de l'existence des arguments fallacieux est important, mais sans un entrainement régulier cela ne permet pas de savoir les repérer.

En outre, dans le cas de notre étude et contrairement à ce qui avait été avancé (Cf. 2.3. Résultats théoriques attendus), la capacité des élèves à détecter les arguments fallacieux n'est pas diminuée par la nature de l'article analysé. Par conséquent, le contexte dans lequel, les arguments fallacieux sont inclus n'a aucune influence sur la capacité moyenne des élèves à les détecter (système 2).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

4.3. La maîtrise du système 3

La comparaison des notes obtenues suite à l'évaluation du niveau de maîtrise du critère C3 pour les groupes tests et témoins, a mis en évidence la dépendance et l'impact positif de l'enseignement explicite de l'esprit critique sur le niveau de maîtrise de C3 dans le cadre de l'analyse de l'article 1 uniquement (augmentation de 0.46 point) (**Figure 24**). Ce résultat permet donc de confirmer l'hypothèse de départ selon laquelle, les cours d'éducation explicite à l'esprit critique permettent aux élèves tests de basculer de manière plus pertinente de leur système 1 à leur système 2, dans le cadre de l'analyse d'un article mobilisant par défaut les heuristiques du système 1.

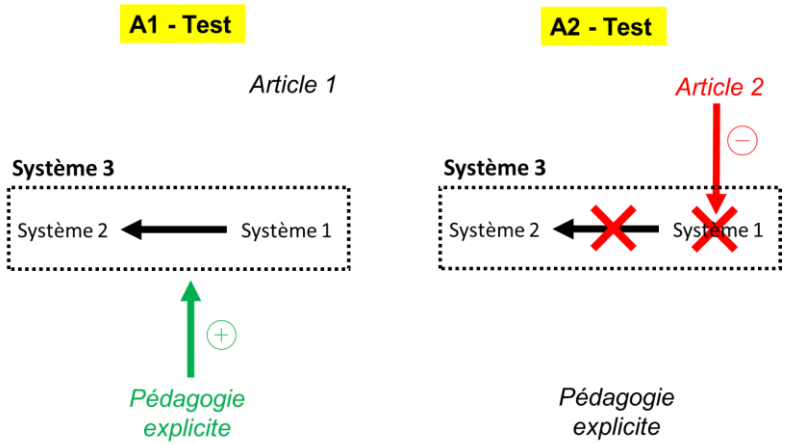


Figure 24 : Représentation schématique de l'impact de l'éducation explicite à l'esprit critique sur la capacité des élèves tests à mobiliser leur système 3 dans le cadre de l'analyse de l'article 1 (gauche) et de l'article 2 (droite). Dans le cadre de l'analyse de l'article 1, l'utilisation par défaut d'un raisonnement en système 1 permet aux élèves tests de basculer préférentiellement en système 2 par rapport aux élèves témoins (C3 dépendant du type de pédagogie). Dans le cadre de l'analyse de l'article 2, l'utilisation par défaut du système 2 ne permet plus aux élèves tests d'effectuer cette bascule tout comme les élèves témoins (C3 indépendant du type de pédagogie).

Dans le cas de l'article 1, il est pensé que les élèves témoins, mobilisant leur système 1, restent sur la conclusion obtenue par ce système uniquement, car elle corrobore leur croyance initiale (ils sont partisans de la théorie du réchauffement climatique et juge l'article comme non fiable sur la base de leurs heuristiques). A l'inverse, les élèves ayant reçu une éducation explicite à l'esprit critique savent que le jugement obtenu via le système 1 est subjectif et indicatif. Par ailleurs, ils connaissent également le danger que représente les biais de confirmation (sélection subjective des informations allant dans notre intérêt au détriment de celles allant à l'encontre). Ce recul critique sur la fiabilité du système 1 et sur les biais cognitifs affectant leur propre raisonnement, les pousse à devoir confirmer leur première conclusion via une analyse plus poussée du contenu de l'article (notamment en évaluant la validité des preuves) avec le système 2. Ainsi, le recul critique mobilisé par les élèves tests vis-à-vis de leurs intuitions et

Licence CC BY-NC-ND 3.0

croyances, peut leur permettre de basculer plus facilement dans le système 2 et donc d'avoir un niveau de maîtrise du critère C3 plus élevé que les élèves témoins.

En outre, il est important de se demander pourquoi la pédagogie explicite de l'esprit critique n'a pas d'impact sur le critère C3 dans le cadre de l'analyse de l'article 2. On a vu que dans le cas de l'analyse de l'article 2, l'article admettait un impact négatif sur le critère C1 (**Figure 21**), ce qui inhibait son utilisation chez les élèves témoins et limitait son utilisation de manière pertinente chez les élèves tests. Or, en absence de mobilisation du système 1, il n'est pas possible pour les élèves d'effectuer une bascule entre le système 1 et le système 2 (critère C3). La répartition des niveaux de maîtrise C1 et C3 présentés dans la **Figure 25** met en évidence, sauf erreur d'évaluation, l'impossibilité d'obtenir un bon niveau de maîtrise de C3 avec un niveau de maîtrise C1 fragile. Dès lors, l'article 2 admet un impact négatif indirect sur le critère C3 (**Figure 24**). Il est donc impossible d'évaluer la capacité d'un élève à basculer de C1 à C2 dans le cadre de l'analyse de l'article 2, si les heuristiques n'ont pas été mobilisées. L'analyse de la **Figure 25** permet de voir que 67 % des élèves des groupes témoins et 37 % des élèves tests n'ont pas mobilisé d'heuristiques dans le cadre de l'article 2, bloquant ainsi par défaut, leur niveau de maîtrise du critère C3 à 1 (maîtrise fragile). Par conséquent, il n'est pas recommandé d'évaluer la capacité des élèves à basculer du système 1 au système 2 dans le cadre de l'analyse d'un article ne permettant pas de mobiliser par défaut les heuristiques du système 1 (comme l'article 2), car les niveaux de maîtrise des critères C1 et C3 sont dépendants l'un de l'autre.

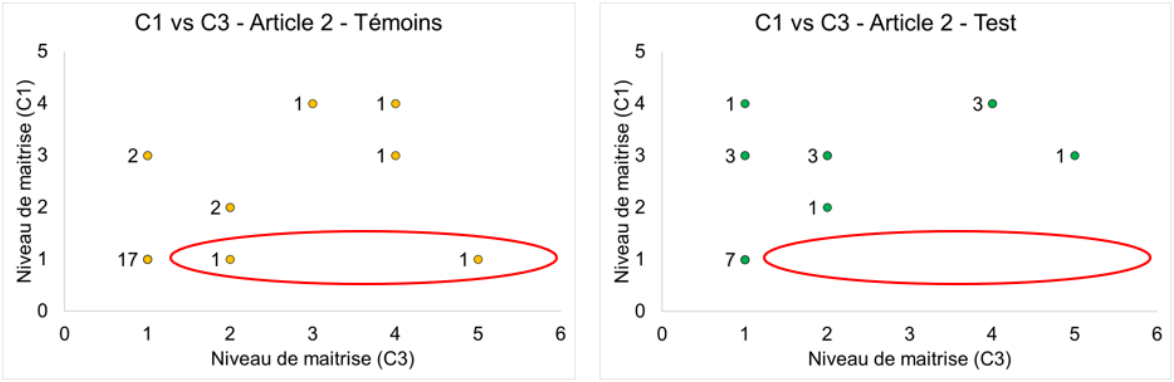


Figure 25 : Graphiques opposant les niveaux de maîtrise des critères C1 et C3 dans le cadre de l'analyse de l'article 2 pour les élèves tests (à droite) et les élèves témoins (à gauche). Les chiffres associés à chacun des points représentent l'effectif de chaque point. Un effet de seuil important est observé entre le critère C1 et C3 (zone entourée en rouge). En effet, en absence de mobilisation d'heuristiques (niveau 1, critère C1), il n'est pas possible pour les élèves de basculer du système 1 au système 2 (critère C3). Seule la combinaison C1 = 1 – C3 = 1 est possible. Un effet de seuil similaire est également visible chez les élèves mobilisant uniquement leur système 1 lors de l'analyse de l'article 1 (**Annexe 8**)

Licence CC BY-NC-ND 3.0

En outre, dans le cas de notre étude, les comparaisons des niveaux de maîtrise du critère C3 pour les groupes tests et témoins et pour chaque article, n'ont pas permis la mise en évidence d'un impact du type d'article analysé sur les niveaux de maîtrise de C3. Ainsi, dans ces conditions, les différences de maîtrise du critère C3 entre les élèves analysant l'article 1 et 2, ne sont pas significatives. Si l'article 2 a bien un impact sur le critère C3, celui-ci est indirect et résulte plus de l'impact négatif de l'article 2 sur le critère C1 que d'un effet négatif de l'article 2 sur le critère C3 (**Figure 24**).

4.4. Bilan

Préalablement à l'analyse des résultats expérimentaux, plusieurs hypothèses ont été proposées afin d'anticiper l'impact de l'éducation explicite à l'esprit critique sur le niveau de maîtrise des élèves tests et témoins (Cf. 2.3. Résultats théoriques attendus).

Concernant l'article 1, plusieurs impacts de la pédagogie explicite étaient attendus :

- **Maîtrise du système 3**

Dans un premier temps, il était attendu qu'une majorité des élèves témoins ne basculent pas en système 2, entrainant ainsi un niveau de maîtrise de C2 et C3 relativement bas. Dans les conditions de cette étude, cette hypothèse est confirmée, puisque 62 % des élèves témoins n'ont pas basculé en système 2. En revanche, ce fut également le cas pour 41 % des élèves tests, ce qui est plus important qu'attendu. Pour autant, la pédagogie explicite de l'esprit critique impacte tout de même le niveau de maîtrise de C3, puisque 32 % des élèves tests présentent un bon niveau de maîtrise (niveau 4) contre seulement 4 % des élèves témoins. Si l'effet de la pédagogie explicite de l'esprit critique est plus limité qu'attendu, il est tout de même présent.

- **Maîtrise du système 2**

Bien que les élèves formant les groupes tests basculent en plus grande majorité en système 2, le niveau de maîtrise de C2 n'est pas impacté par l'enseignement d'une pédagogie de l'esprit critique dans cette étude. Les groupes tests et témoins présentent les mêmes niveaux de maîtrise du critère C2. Cette absence d'impact réfute l'hypothèse avancée selon laquelle la maîtrise du système 2 est accrue par un enseignement explicite de l'esprit critique. Cette absence d'impact positif est probablement liée à l'absence d'entrainement du système 2 des élèves tests.

- **Maîtrise du système 1**

Enfin, il était attendu que les différences de niveau de maîtrise du critère C1 entre les élèves tests et témoins soient faibles dans le cadre de l'analyse de l'article 1. Cette hypothèse est réfutée, car le niveau de maîtrise du critère C1 des élèves tests est significativement supérieur

Licence CC BY-NC-ND 3.0

à celui des témoins. En effet, 77 % des élèves tests présentent un très bon niveau de maîtrise du critère C1 contre seulement 38 % pour les élèves témoins. Bien que, les groupes témoins et tests présentent tous deux un niveau satisfaisant, les groupes tests ont un niveau de maîtrise supérieur, car ils ont appris à mobiliser un nombre d'heuristiques important et de manière pertinente.

De la même manière, plusieurs impacts de l'article 2 étaient attendus sur la capacité des élèves à analyser la fiabilité d'une information à caractère scientifique :

- **Impact de l'article 2**

L'hypothèse selon laquelle les élèves tests et les élèves témoins mobilisent dans les mêmes proportions un raisonnement analytique (système 2) est confirmée. En effet, 42 % des élèves témoins et des élèves tests mobilisent un raisonnement analytique dans le cadre de l'évaluation des informations à caractères scientifiques contenues dans l'article 2. En revanche, 58 % des élèves tests et témoins ne mobilisent aucun raisonnement analytique ce qui est bien plus important que prévu (maîtrise fragile). Ce pourcentage élevé peut s'expliquer par le choix de nombreux élèves de proposer une contre-argumentation aux propos de l'article plutôt que de mettre en évidence les défauts logiques des arguments adverses.

En conclusion, les hypothèses de départ envisagées lors de la construction des articles 1 et 2, sont en partie confirmées. La mise en place d'une éducation explicite à l'esprit critique permet bien d'augmenter significativement la capacité des élèves à basculer du système 1 au système 2 (Critère C3) et d'accroître leur niveau de maîtrise du système 1 (Critère C1). En revanche, elle ne permet pas d'améliorer la capacité des élèves à détecter des raisonnements fallacieux (C2).

Licence CC BY-NC-ND 3.0

5. Limites et perspectives de l'étude

- **Limites**

Compte tenu de la taille relativement réduite de notre échantillon (n=92), les résultats de notre étude sont indicatifs et ne peuvent être généralisés. Les interprétations proposées ci-dessus doivent donc être prises avec précaution. Utiliser les résultats de cette étude afin de proposer des affirmations générales relèverait de l'argument fallacieux (généralisation hâtive). De plus, les conclusions proposées sont valables dans le cadre de cette étude uniquement. Il est possible qu'avec une grille d'évaluation différente ou des articles différents, les résultats obtenus ne soient pas identiques.

Par ailleurs, indépendamment de la représentativité de notre échantillon et des résultats qui en découlent, il convient d'améliorer le protocole d'évaluation des élèves afin de limiter certains biais cognitifs, qui ont été mis en jeu dans le cadre de cette étude. En effet, plusieurs biais d'évaluation non quantifiables (marge d'erreur) sont intervenus dans le cadre de la notation des élèves composant l'échantillon d'étude. Ainsi, dans l'hypothèse où une étude similaire serait reproduite, il est préférable de suivre rigoureusement les deux règles suivantes afin de limiter les possibles biais d'évaluation :

> (1) L'évaluation du niveau de maîtrise de chaque critère doit se faire en aveugle en anonymisant les copies des élèves via un système de numérotation semblable à ceux utilisée dans le cadre des examens certificatifs. De cette manière, il est possible pour un même évaluateur, de réduire les différences de notations liées à des facteurs différents de ceux liés au contenu de la copie tel que le groupe d'appartenance de l'élève (test ou témoin, article 1 ou 2). En effet, dans le cas de cette étude, le correcteur a évalué les copies en sachant à quels groupes chaque copie appartenait. Cela a pu entrainer un biais d'évaluation.
> (2) Une double évaluation des copies (plusieurs correcteurs) doit être réalisée afin de permettre l'obtention de résultats objectifs reflétant de la manière la plus juste possible les capacités réelles des élèves. Dans le cas de cette étude, chaque copie élève a été évaluée par un seul correcteur, pouvant ainsi causer un biais d'évaluation.

Néanmoins, même s'il n'a pas été possible d'appliquer ces deux règles d'évaluation dans le cadre de ce mémoire d'initiation à la recherche, il est important de noter que si des biais d'évaluation sont présents, ils s'appliquent sur l'entièreté des copies élèves dans la mesure où il n'y a eu qu'un seul évaluateur. Les évaluations des niveaux de maîtrise peuvent donc être comparées.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

De plus, afin d'évaluer la propension des élèves tests et témoins à réaliser un biais de confirmation, il convient de comparer leurs niveaux de maîtrise des trois critères de la grille de compétences dans le cadre de l'analyse de trois autres types d'article :

(1) Un article dont les informations à caractère scientifique sont valides et vont dans le sens des croyances de l'élève.
(2) Un article dont les informations à caractère scientifique sont valides, mais ne vont pas dans le sens des croyances de l'élève.
(3) Un article dont les informations pseudoscientifiques sont invalides, mais vont dans le sens des croyances de l'élève.

Pour cela il convient d'identifier préalablement les croyances majoritaires des élèves pouvant faire l'objet de tels articles. De cette manière, il sera possible de vérifier si le raisonnement produit par les élèves est bien réalisé indépendamment de ses croyances initiales (suspension de jugement) ou si à l'inverse les élèves sont victimes d'un biais de confirmation.

Enfin, compte tenu du temps nécessaire au développement des supports de cette étude, aucune activité pré-test en condition témoin n'a pu être proposée à l'ensemble des élèves composant notre échantillon afin d'évaluer leur niveau de référence. Dès lors, l'hypothèse selon laquelle le niveau des élèves témoins analysant l'article 1 est représentatif du niveau moyen de tous les élèves de notre échantillon, a été proposée. Pour autant, rien ne permet de confirmer ou de réfuter cette hypothèse. La réalisation d'une activité pré-test aurait permis de connaître le niveau de base de chaque élève ; les différences entre les groupes tests et témoins auraient donc pu être attribués uniquement à l'enseignement explicite de l'esprit critique. Dans le contexte de notre étude, ces différences peuvent également résulter de la variation inter-individuelle du niveau des élèves.

- **Perspectives**

L'esprit critique est une compétence qui est mobilisée dans le cadre de plusieurs tâches cognitives. Cette étude s'est concentrée sur l'une d'elles : l'évaluation de la fiabilité d'une information à caractère scientifique. Ainsi, cette étude s'est focalisée sur la faculté des élèves à analyser une information plutôt que sur leur faculté à produire de l'information. Si la capacité d'un élève à détecter une information pseudoscientifique est corrélée à leur capacité à comprendre les critères de scientificité de la démarche scientifique ; il serait intéressant de déterminer de quelle manière cet apprentissage permet de modifier la faculté des élèves à respecter ces mêmes critères de scientificité dans le cadre de leur propre argumentation. En effet, à plusieurs reprises, des élèves maîtrisant de manière satisfaisante le critère C2 de la grille de compétence, n'étaient pas capables d'appliquer la même rigueur logique à leur propre argumentation (contre-argumentation des propos de l'auteur de l'article). Par exemple,

Licence CC BY-NC-ND 3.0

certains élèves accordaient autant de valeur à leurs représentations et perceptions personnelles qu'aux conclusions des scientifiques du GIEC (ex : « *le réchauffement climatique est une réalité dans la mesure où les hivers de mon enfance étaient plus froids qu'actuellement* »). Ce type de comportement témoigne de la difficulté des élèves à passer d'une attitude (ce que je pense : « pour être fiable une information doit être argumentée et logique ») à un comportement (ce que je fais : cette information est vraie, car »).

Par ailleurs, seules les capacités mises en jeu dans le cadre de l'évaluation d'une information à caractère scientifique ont été étudiées, au détriment de l'étude des savoir-être. Or, certains élèves présentant un niveau de maîtrise fragile des compétences C1 et C2, étaient par ailleurs capables de faire preuve d'une ouverture d'esprit face à des arguments remettant en cause leur croyance personnelle. Inversement, des élèves présentant un bon niveau de maîtrise des critères C2 et C1, présentaient un niveau d'adhésion quasi-dogmatique envers le savoir scientifique. Il serait donc intéressant de proposer, en complément de la grille de compétence produite dans le cadre de ce mémoire, un nouveau critère d'évaluation dont les indicateurs permettraient de prendre en compte ces attitudes dans le cadre de l'évaluation de la capacité de l'élève à faire preuve d'esprit critique.

Enfin, dans le cadre de cette étude, les séances d'éducation explicite à l'esprit critique ont fait intervenir un « apprentissage froid » mobilisant uniquement le système 2 des élèves. L'objectif était de permettre aux élèves de se focaliser sur la méthode plutôt que sur l'objet d'étude en inhibant l'intervention de leurs émotions (système 1). Or, les travaux de Houdé (2018), suggèrent qu'un apprentissage « chaud » – mobilisant les émotions – est plus efficace qu'un « apprentissage froid » afin d'améliorer la capacité des élèves à basculer de manière pertinente du système 1 au système 2 (système 3). Ainsi, il serait intéressant de comparer les conclusions de cette étude à celle d'une étude similaire effectuée, non pas dans le cadre de l'étude du réchauffement climatique, mais dans le cadre d'une question scientifique socialement vive (QSSV). En effet, au regard du degré d'adhésion des élèves à la théorie du réchauffement climatique, l'étude de cette théorie ne permet pas – dans le contexte de cette étude – de mobiliser les émotions des élèves.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Conclusion

L'objectif de ce mémoire d'initiation à la recherche était de déterminer si la mise en œuvre d'une éducation explicite à l'esprit critique permettait - en complément d'une étude de la démarche scientifique – d'augmenter significativement la capacité des élèves à évaluer la fiabilité d'une information à caractère scientifique. La comparaison des résultats obtenus par les élèves ayant suivi des séances d'éducation explicite à l'esprit critique avec les résultats obtenus par les élèves n'en ayant pas reçu, a permis de faire émerger la nécessité pour les enseignants d'aborder explicitement les processus cognitifs mis en jeu dans le cadre de l'évaluation d'une information à caractère scientifique. En effet, la compréhension de ces processus permettrait d'optimiser la capacité des élèves à distinguer la science de la pseudoscience. En abordant explicitement les processus cognitifs mis en jeu dans le cadre d'un raisonnement intuitif rapide, l'enseignant permet d'augmenter significativement : (1) La capacité des élèves à utiliser de manière pertinente les heuristiques de leur système 1. En effet, en transmettant aux élèves un ensemble de règles permettant d'optimiser les conclusions de leur raisonnement intuitif, un certain nombre d'entre eux les appliquent et présentent donc un degré de maîtrise supérieur à celui des élèves ne les ayant pas reçus. L'acquisition de cette capacité est essentielle dans la mesure où les élèves doivent – dans la majorité des cas – évaluer très rapidement la fiabilité des informations qu'ils reçoivent (ex : réseaux sociaux, internet). (2) La capacité des élèves à basculer d'un raisonnement intuitif (système 1) à un raisonnement analytique (système 2). En effet, en permettant aux élèves de comprendre les failles du raisonnement intuitif, ceux-ci comprennent que son utilisation aboutie à des conclusions subjectives. Dès lors, dans le cadre de l'analyse d'une information à caractère scientifique il est souvent nécessaire d'effectuer une analyse complémentaire plus poussée (système 2). L'acquisition de cette capacité est essentielle dans la mesure où les élèves doivent être capables d'identifier de manière pertinente les situations dans lesquelles le raisonnement intuitif est suffisant (analyse de la forme) des situations dans lesquelles il ne l'est pas (analyse du fond). Par ailleurs, l'analyse des résultats de cette étude montre également la nécessité de réaliser ce type d'éducation explicite le plus tôt possible dans la scolarité de l'élève. En effet, dans le cadre de cette étude, l'enseignement des règles de logique et des principaux arguments fallacieux n'a pas permis d'augmenter significativement la capacité des élèves à détecter ces erreurs de logique (système 2). Il apparaît ainsi qu'un nombre restreint de séances ne permet pas aux élèves de s'exercer suffisamment à détecter les arguments fallacieux pour pouvoir acquérir ce savoir-faire. Connaître la construction logique des raisonnements déductifs et inductifs ne suffit donc pas, il est également nécessaire pour l'élève de pratiquer et de s'exercer sur la durée.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Références bibliographiques

Benamram, B., 2014. L'inversion des pôles...la fin du Monde - Ep.14 - e-penser.

Blanquer, J.-M., 2019a. Programme d'enseignement scientifique de la classe de première de la voie générale, Code de l'éducation.

Blanquer, J.-M., 2019b. Programme de l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre de la classe de seconde générale et technologique.

Blanquet, E., 2014. La construction de critères de scientificité pour la démarche d'investigation : une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique à l'école primaire (thesis). Nice.

Brahic, A., 2013. Science et croyance : l'illusion du vrai et la certitude du faux. Raison Présente 188, 59–85. https://doi.org/10.3406/raipr.2013.4505

Broch, H., 2008. L'art du doute: Ou comment s'affranchir du prêt-à-penser. book-e-book.

Bronner, G., 2003. Chapitre premier. La logique des croyances, in: L'empire des croyances, Sociologies. Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp. 11–81.

Caverni, J.-P., Fabre, J.-M., Gonzalez, M., 1990. Cognitive Biases. Elsevier.

CNED, 2020. Ma classe à la maison - Lycée [WWW Document]. URL https://lycee.cned.fr/login/index.php (accessed 5.5.20).

CNRT, 2020. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales [WWW Document]. URL https://www.cnrtl.fr/ (accessed 5.1.20).

Danielli, J.F., Davson, H., 1935. A contribution to the theory of permeability of thin films. J. Cell. Comp. Physiol. 5, 495–508. https://doi.org/10.1002/jcp.1030050409

DCode, 2020. DCode.

Dyer, K.D., Hall, R.E., 2019. Effect of Critical Thinking Education on Epistemically Unwarranted Beliefs in College Students. Res. High. Educ. 60, 293–314. https://doi.org/10.1007/s11162-018-9513-3

Éduscol, 2018. Former l'esprit critique des élèves [WWW Document]. Éduscol. URL http://eduscol.education.fr/cid107295/appel-a-contributions-sur-l-esprit-critique.html (accessed 5.10.19).

George, C., 1997. Le raisonnement propositionnel, in: Polymorphisme du raisonnement humain, Psychologie et sciences de la pensée. Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp. 19–46.

Gérard, F.-M., 2010. Chapitre 15. L'évaluation des compétences à travers des situations complexes, in: La formation des enseignants en Europe, Pédagogies en développement. De Boeck Supérieur, Louvain-la-Neuve, pp. 231–241. https://doi.org/10.3917/dbu.baill.2010.01.0231

Gouvernement du Canada, 2020. Données [WWW Document]. Stat. Can. URL https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/type/donnees (accessed 5.1.20).

Hamblin, C.L., 1970. Fallacies, 1st edition. ed. Methuen, London.

Hansson, S.O., 2017. Science and Pseudo-Science, in: Zalta, E.N. (Ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Metaphysics Research Lab, Stanford University.

Houdé, O., 2018. Chapitre III. Inhiber pour raisonner : le Système 3 (exécutif), in: Que sais-je ? Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp. 72–109.

IFOP, 2019. Enquête complotisme 2019 : les grands enseignements.

Licence CC BY-NC-ND 3.0

IFOP, 2018. Le conspirationnisme dans l'opinion publique française.

INEAMM, 2018. il neige du plastique chez moi... et chez vous???

Kahneman, D., 2011. Système 1 / Système 2. Les deux vitesses de la pensée. Flammarion.

McCandles, D., n.d. Rhetological fallacies.

Michel, C., 2017a. Ep20 Les deux vitesses de la pensée, et le "Bullshitomètre."

Michel, C., 2017b. Ep19 Athéisme, Agnosticisme - Croire ou ne pas croire ?

Molvinger, K., 2017. La mise en oeuvre d'une démarche d'investigation à l'école élémentaire. Spirale - Rev. Rech. En Éducation.

Monvoisin, R., 2007. Pour une didactique de l'esprit critique. UNIVERSITÉ Grenoble 1 – Joseph Fourier.

Moutier, S., Houdé, O., 2003. Judgement under uncertainty and conjunction fallacy inhibition training. Think. Reason. - THINK Reason. 9, 185–201. https://doi.org/10.1080/13546780343000213

Ponzi, S., 2018. Les niveaux de preuve scientifique.

Sauvayre, R., 2012. Introduction, in: Croire à l'incroyable, Hors collection. Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp. 5–36.

Singer, S.J., Nicolson, G.L., 1972. The Fluid Mosaic Model of the Structure of Cell Membranes. Science 175, 720–731. https://doi.org/10.1126/science.175.4023.720

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Annexes

Annexe 1. Composition de l'échantillon d'étude 90
Annexe 1.1. Composition des groupes témoins 90
Annexe 1.2. Composition des groupes tests 91
Annexe 2. Grille d'évaluation par compétence 92
Annexe 3. Comparaison des résultats des élèves tests et témoins 93
Annexe 4. Comparaison des résultats des élèves analysant l'article 1 et 2 94
Annexe 5. Impact de la pédagogie explicite sur la moyenne et la médiane 95
Annexe 6. Impact de l'article 2 sur la moyenne et la médiane 96
Annexe 7. Degré d'adhésion des élèves à la théorie du réchauffement climatique 97
Annexe 8. Fréquence pour chaque binôme de niveaux de maîtrise pour chaque binôme de critère 98

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Annexe 1. Composition de l'échantillon d'étude

Annexe 1.1. Composition des groupes témoins

N°	**6** (groupe 1) 18 élèves (9S1 + 9S2)	**6** (groupe 2) 17 élèves (8S1 + 9S2)	**6** (groupe 1) 16 élèves (8S1 + 8S2)	**6** (groupe 2) 17 élèves (9S1 + 8S2)
1	Article n°2	Article 1	Article 1	Article n°2
2	Article 1	Article 1	Article n°2	Article n°2
3	Article 1	Article 1	Article n°2	Article 1
4	Article n°2	Article 1	Article 1	Article 1
5	Article n°2	Article 1	Article 1	Article 1
6	Article n°2	Article n°2	Article n°2	Article n°2
7	Article 1	Article n°2	Article n°2	Article n°2
8	Article n°2	Article 1	Article n°2	Article n°2
9	Article 1	Article n°2	Article 1	Article 1
10	Article 1	Article n°2	Article 1	Article 1
11	Article n°2	Article n°2	Article 1	Article 1
12	Article 1	Article 1	Article 1	Article 1
13	Article n°2	Article n°2	Article 1	Article 1
14	Article n°2	Article 1	Article n°2	Article 1
15	Article 1	Article n°2	Article n°2	Article n°2
16	Article 1	Article n°2	Article n°2	Article n°2
17	Article 1	Article n°2		Article n°2
18	Article n°2			

Article 1 Article n°2

Annexe 1.2. Composition des groupes tests

Numéro	**6** (groupe 1) 18 élèves (9S1 + 9S2)	**6** (groupe 2) 17 élèves (8S1 + 9S2)	**6** (groupe 1) 17 élèves (9S1 + 8S2)	**6** (groupe 2) 16 élèves (8S1 + 8S2)
1	Exclu	Article 1	Article 2	Article 1
2	Article 1	Article 1	Article 2	Article 1
3	Article 1	Article 2	Article 2	Exclu
4	Article 2	Article 2	Article 2	Exclu
5	Article 2	Article 2	Article 1	Article 1
6	Article 1	Article 1	Article 1	Article 1
7	Article 1	Article 1	Article 1	Article 2
8	Article 1	Article 2	Article 2	Article 2
9	Article 2	Article 1	Article 1	Article 2
10	Article 1	Article 2	Exclu	Article 2
11	Exclu	Article 2	Article 1	Article 2
12	Article 2	Article 2	Article 1	Article 1
13	Article 2	Article 2	Article 2	Article 2
14	Article 2	Article 2	Exclu	Article 2
15	Article 1	Article 1	Article 2	Article 1
16	Article 2	Article 1	Article 1	Article 1
17	Article 1	Article 1	Article 1	
18	Article 2			

Article 1 Article 2 Exclu (absent à la dernière séance)

Licence CC BY-NC-ND 3.0

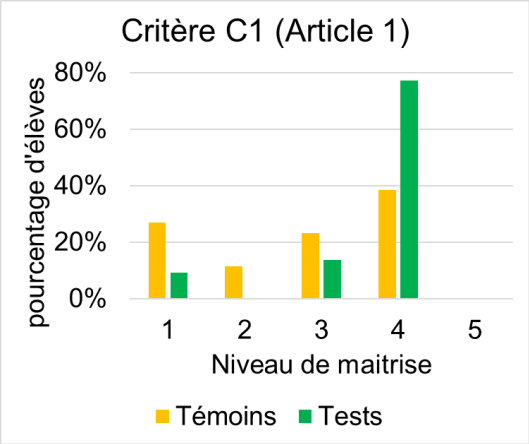
Annexe 2. Grille d'évaluation par compétence

Critères	Indicateurs détaillés					Autoévaluation	Évaluation
	Non acquis	**En cours d'acquisition**	**Presque acquis**	**Acquis**	**Expert**		
C1 Utilisation du Système 1 (Stratégies subjectives diminuant les chances de me tromper)	Pas de mobilisation d'heuristiques	Mobilisation de quelques heuristiques non pertinentes	Mobilisation de quelques heuristiques pertinentes et non pertinentes.	Mobilisation de plusieurs heuristiques pertinentes et non hiérarchisées.	Mobilisation de plusieurs heuristiques pertinentes et hiérarchisées		/5
C2 Utilisation du système 2 (Évaluation des preuves)	Pas de détection d'arguments fallacieux	Détection de quelques arguments fallacieux non pertinents	Détection de quelques arguments fallacieux pertinents	Détection de plusieurs arguments fallacieux pertinents et intégration non pertinente	Détection de plusieurs arguments fallacieux pertinents et Intégration pertinente		/5
C3 Utilisation du système 3 (Bascule de C1 à C3)	Pas de multiplicité des modes de raisonnement.	Multiplicité des modes de raisonnement sans distinction	Multiplicité des modes de raisonnement avec distinction non-pertinente	Multiplicité des modes de raisonnement avec distinction pertinente implicite	Multiplicité des modes de raisonnement avec distinction pertinente explicite		/5
TOTAL							/15

Non acquis	En cours d'acquisition	Presque acquis	Acquis	Expert
Niveau 1 (1 points)	**Niveau 2** (2 point)	**Niveau 3** (3 points)	**Niveau 4** (4 points)	**Niveau 5** (5 points)

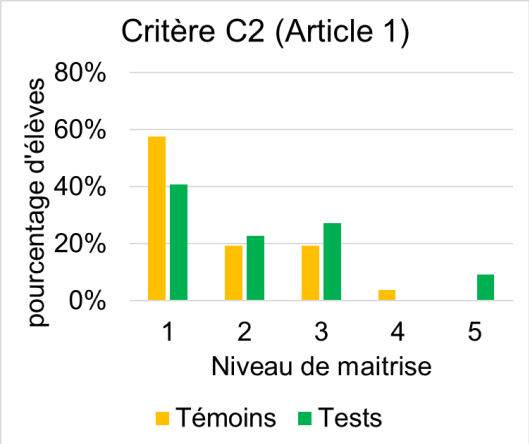
Licence CC BY-NC-ND 3.0

Annexe 3. Comparaison des résultats des élèves tests et témoins



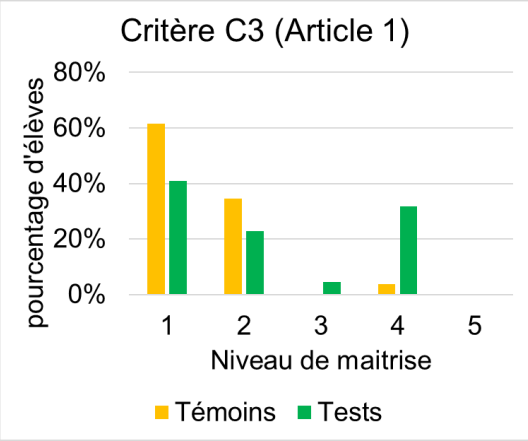
$\chi^2_{OBS} > \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 1



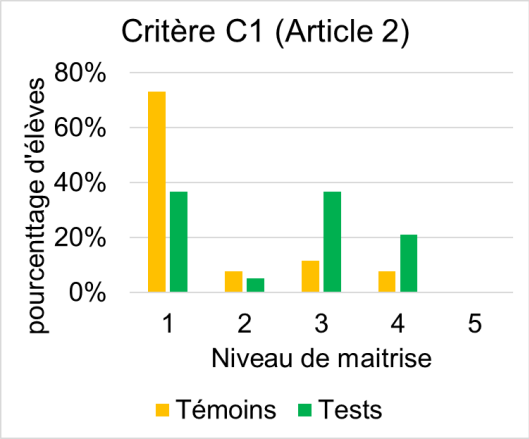
$\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 2



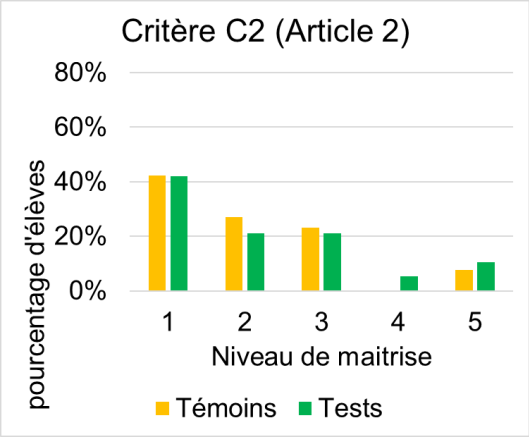
$\chi^2_{OBS} > \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 3



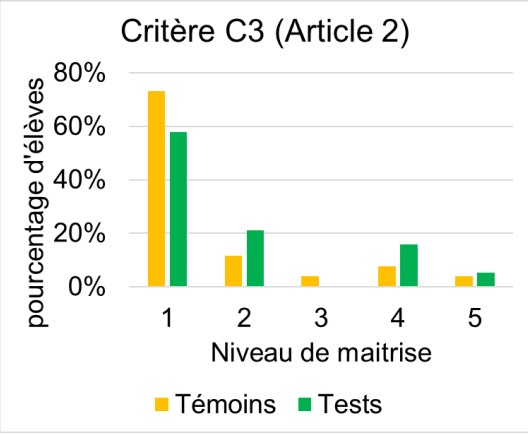
$\chi^2_{OBS} > \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 4



$\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 5

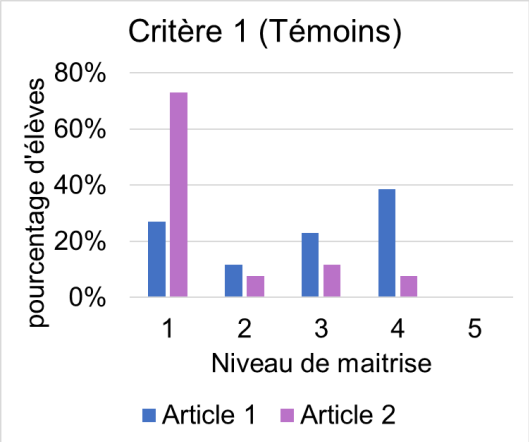


$\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 6

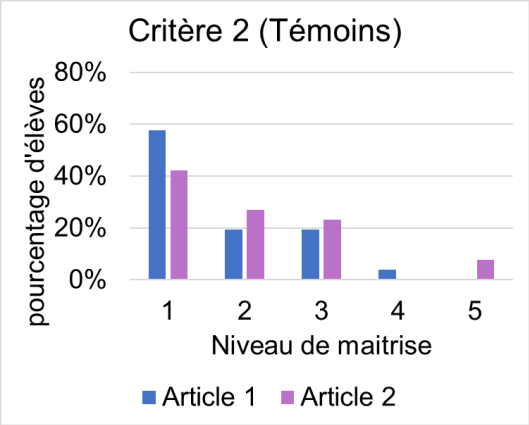
Licence CC BY-NC-ND 3.0

Annexe 4. Comparaison des résultats des élèves analysant l'article 1 et 2



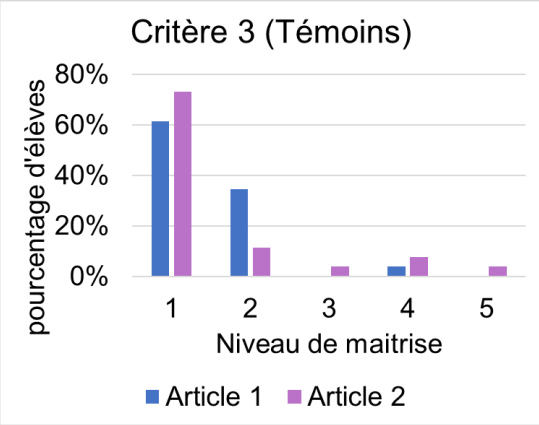
$\chi^2_{OBS} > \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 1



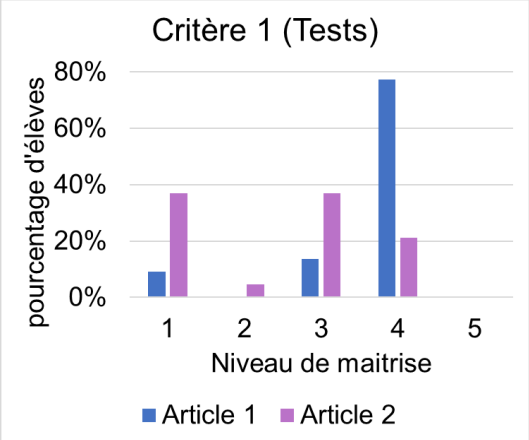
$\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 2



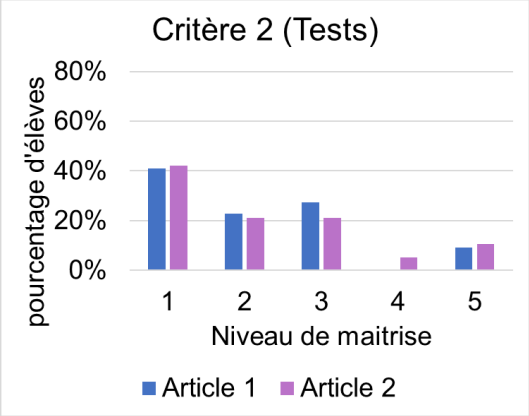
$\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 3



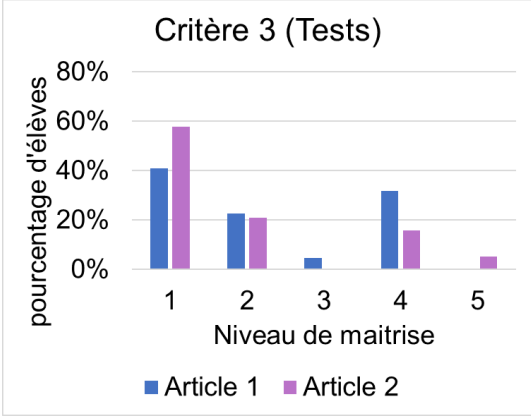
$\chi^2_{OBS} > \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 4



$\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 5



$\chi^2_{OBS} < \chi^2_{SEUIL}$

Graphique 6

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Annexe 5. Impact de la pédagogie explicite sur la moyenne et la médiane

		Article 1			Article 2		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
TÉMOIN	MOYENNE	2,73	1,69	1,46	1,54	2,04	1,58
	MEDIANE	3	1	1	1	2	1
TEST	MOYENNE	3,71	2,19	2,33	2,42	2	1,89
	MEDIANE	4	2	2	3	2	1
Δ MOYENNE (TEST - TEMOIN)		+0,98	+0,5	+0,46	+0,88	-0,04	+0,31
Δ MEDIANE (TEST - TEMOIN)		+1	+1	+1	+2	0	0

MOYENNE	indicateur
1	Trés faible
2	Faible
3	Moyenne
4	Bonne
5	Trés bonne

Licence CC BY-NC-ND 3.0

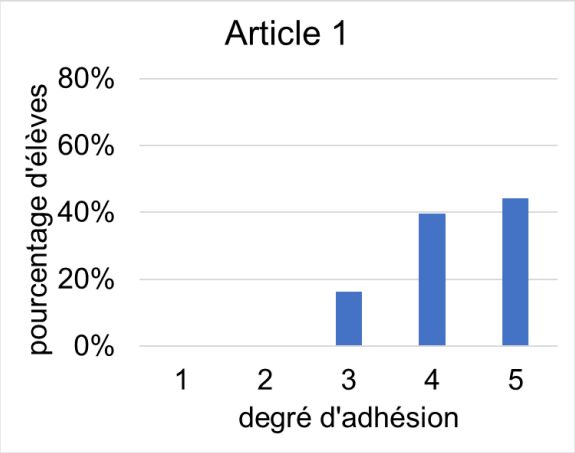
Annexe 6. Impact de l'article 2 sur la moyenne et la médiane

		TÉMOINS			TESTS		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
ARTICLE 1	MOYENNE	2,73	1,69	1,46	3,71	2,19	2,33
	MEDIANE	3	1	1	4	2	2
ARTICLE 2	MOYENNE	1,54	2,04	1,58	2,42	2	1,89
	MEDIANE	1	2	1	3	2	1
Δ MOYENNE (A2 – A1)		-1,19	+0,35	+0,12	-1,29	-0,19	-0,44
Δ MEDIANE (A2 – A1)		-2	+1	0	-1	0	-1

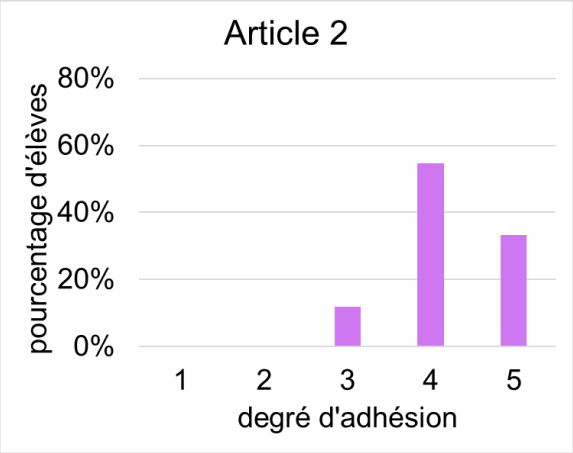
MOYENNE	indicateur
1	Trés faible
2	Faible
3	Moyenne
4	Bonne
5	Trés bonne

Licence CC BY-NC-ND 3.0

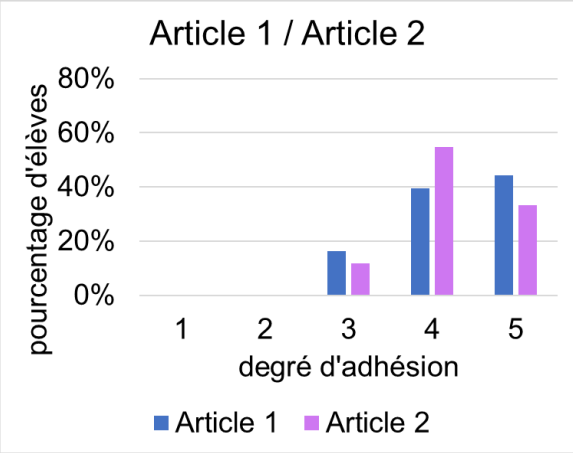
Annexe 7. Degré d'adhésion des élèves à la théorie du réchauffement climatique



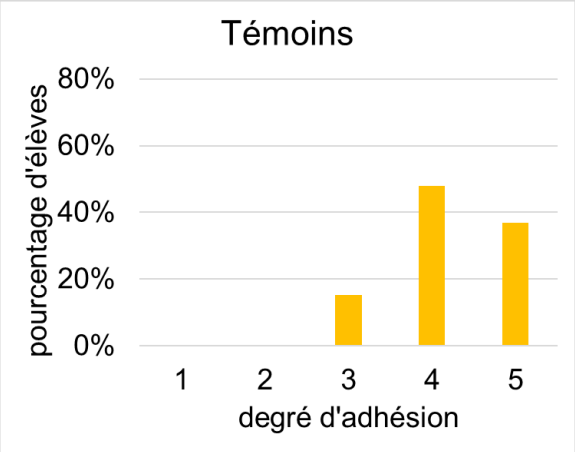
Graphique 1



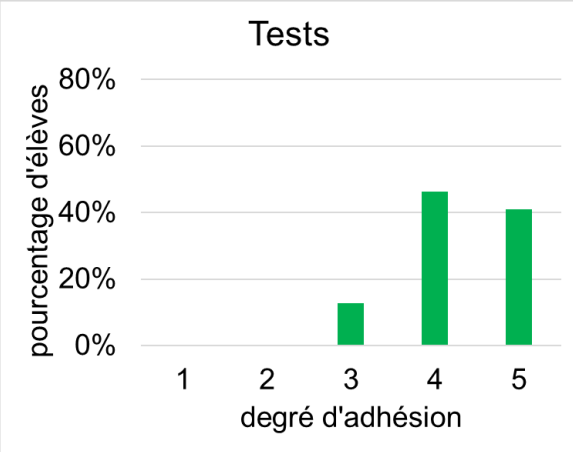
Graphique 2



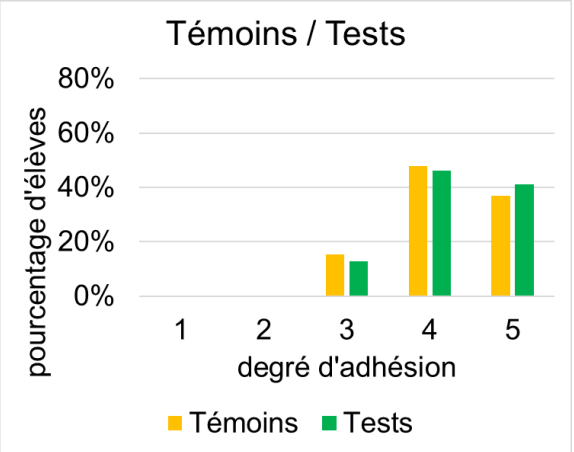
Graphique 3



Graphique 4



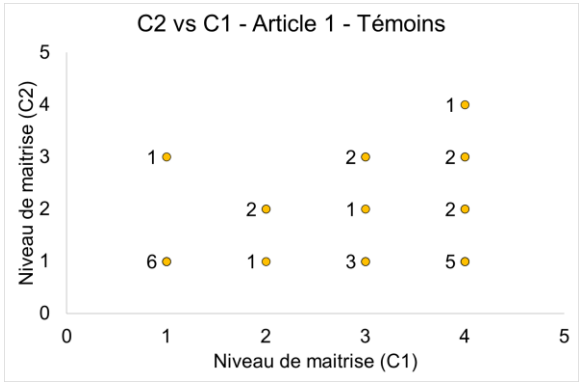
Graphique 5



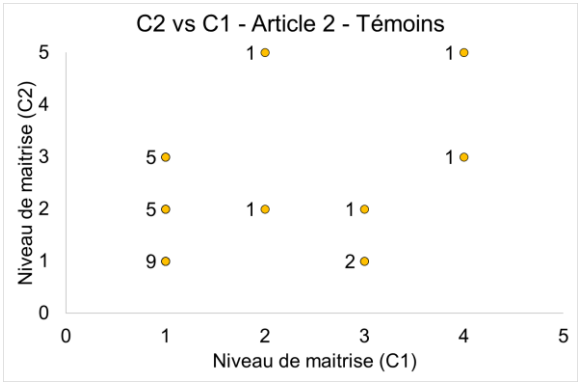
Graphique 6

Licence CC BY-NC-ND 3.0

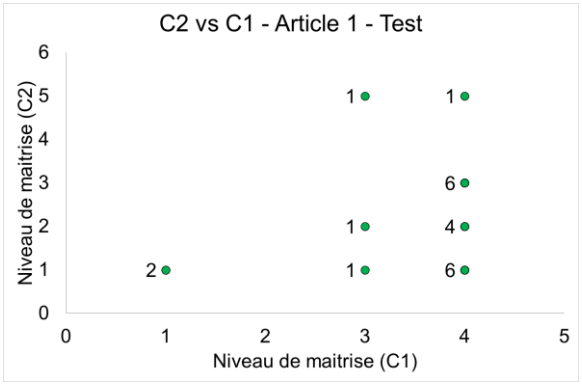
Annexe 8. Fréquence pour chaque binôme de niveaux de maîtrise pour chaque binôme de critère (Partie 1)



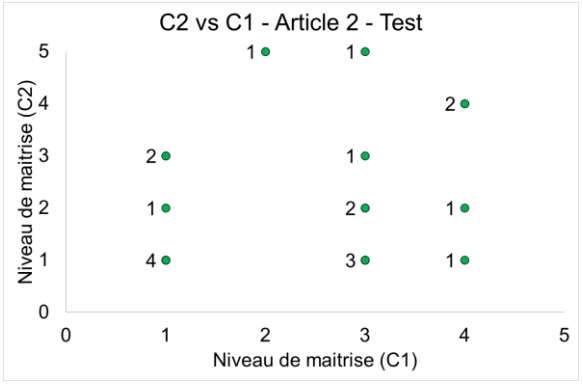
Graphique 1



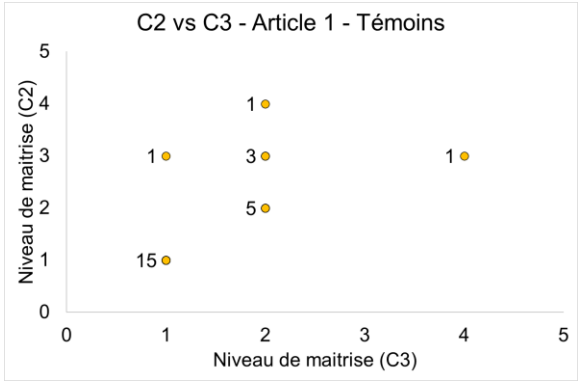
Graphique 2



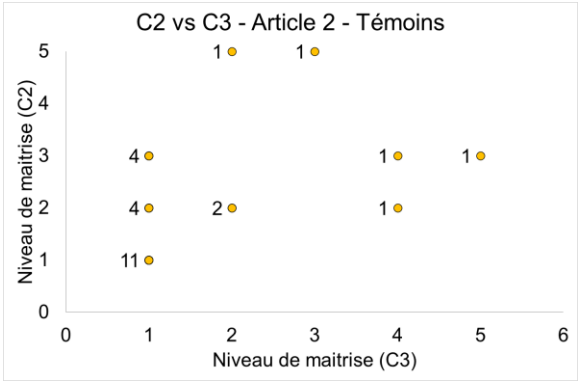
Graphique 3



Graphique 4



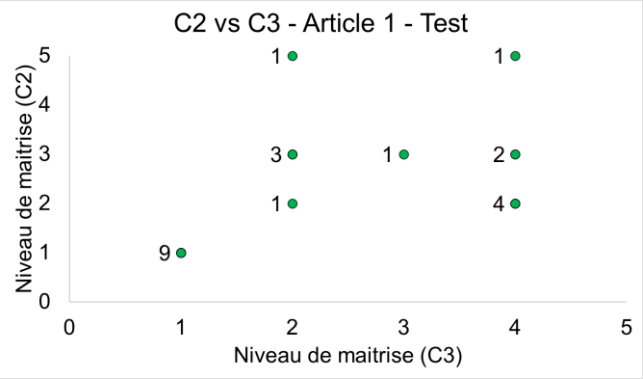
Graphique 5



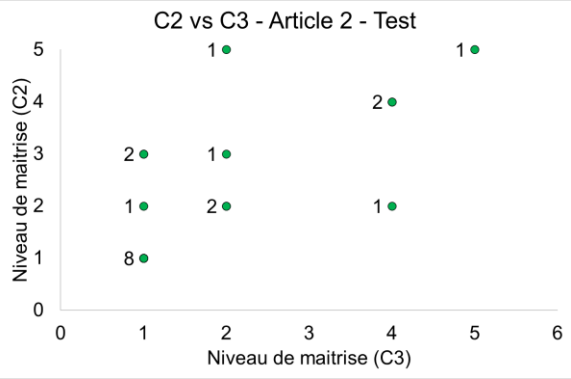
Graphique 6

Licence CC BY-NC-ND 3.0

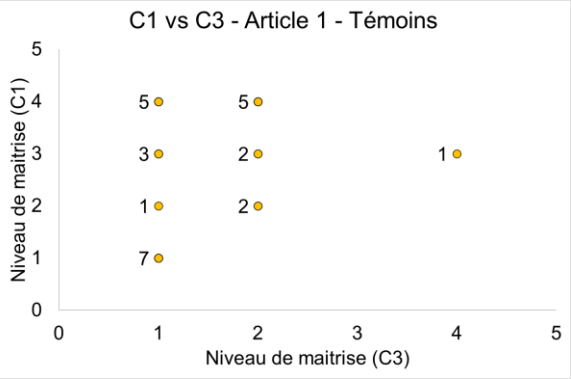
Fréquence pour chaque binôme de niveaux de maîtrise pour chaque binôme de critère (Partie 2)



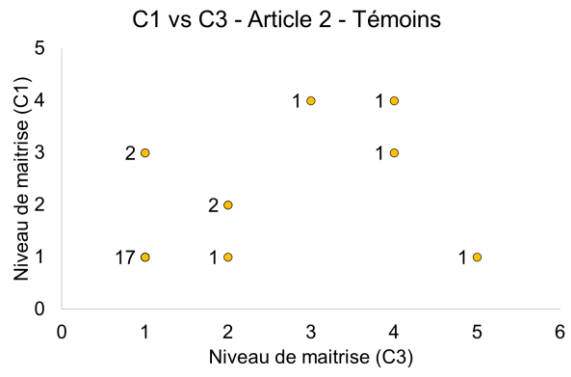
Graphique 7



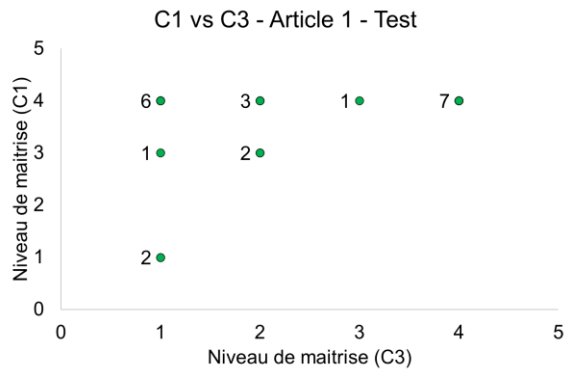
Graphique 8



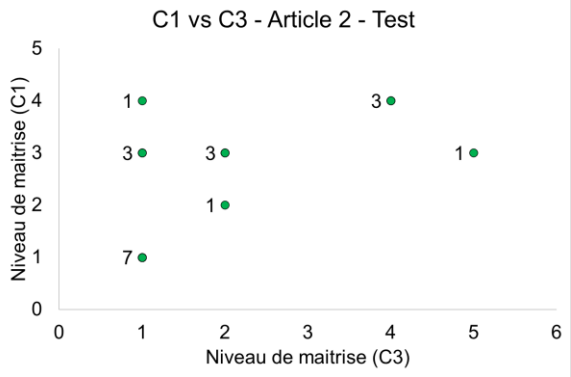
Graphique 9



Graphique 10



Graphique 11



Graphique 12

Licence CC BY-NC-ND 3.0

Impact d'une éducation explicite à l'esprit critique : exemple de l'évaluation d'une information à caractère scientifique en classe d'enseignement scientifique.

Le niveau d'éducation scientifique des élèves ne permet pas toujours de réduire leur degré d'adhésion aux théories pseudoscientifiques. Une étude comparative randomisée portant sur un échantillon de 92 élèves de lycée est réalisée afin de déterminer l'impact d'un enseignement explicite sur la capacité des élèves à distinguer la science de la pseudoscience. L'analyse des résultats démontre que les élèves ayant reçu un enseignement explicite des processus cognitifs mis en jeu dans le cadre de l'évaluation d'une information présentent un meilleur degré de maîtrise concernant l'utilisation des heuristiques du système 1 (+ 18,6 %) et la bascule du système 1 au système 2 (+ 9,2 %). De plus, en l'absence d'un entrainement suffisant, aucune différence n'est constatée concernant la capacité des élèves à détecter des arguments fallacieux (système 2). Enfin, si la forme de l'article impacte négativement la capacité des élèves à mobiliser leur système 1 (- 24,8 %), un phénomène de double inhibition entre la forme de l'article et l'enseignement explicite de l'esprit critique permet de limiter cet effet.

Mots-clés : pseudoscience, science, esprit critique, enseignement, métacognition

Impact of explicit critical thinking education: example of scientific nature information evaluation in a science education class.

Many studies show that the students' scientific education level does not always allow reducing their adherence to pseudoscientific theories. A randomized comparative study of a sample of 92 high school students is conducted in order to determine the impact of explicit teaching on the students' ability to distinguish science from pseudoscience. The results' analysis shows that students who have received explicit instruction about cognitive processes involved in the information evaluation exhibit a better degree of mastery regarding the use of heuristics (+18.6 %) and the switch from system 1 to system 2 (+ 9.2 %). Furthermore, in the absence of sufficient training, there is no difference in the students' ability to detect fallacious arguments (system 2). Finally, if the article's form negatively affects the ability of students to mobilize their system 1 (- 24.8 %), a double inhibition phenomenon between the article's form and the explicit teaching of critical thinking helps limit this effect.

Keywords: pseudoscience, science, critical thinking, education, metacognition