



HAL
open science

Utilisation du jeu dans les pratiques pédagogiques, apports et limites : application dans le cadre de l'enseignement de l'Histoire des Sciences

Mathieu Dalibard

► **To cite this version:**

Mathieu Dalibard. Utilisation du jeu dans les pratiques pédagogiques, apports et limites : application dans le cadre de l'enseignement de l'Histoire des Sciences. Sciences de l'Homme et Société. 2022. dumas-03941523

HAL Id: dumas-03941523

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03941523>

Submitted on 16 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MÉMOIRE DE MASTER 2

Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation

Mention second degré – Parcours SVT

UTILISATION DU JEU DANS LES PRATIQUES PÉDAGOGIQUES, APPORTS ET LIMITES

Application dans le cadre de l'enseignement de l'Histoire des Sciences

**Présenté et soutenu par :
Mathieu DALIBARD**

Année universitaire 2021-2022

Sous la direction de :
Pascal DURIS, Professeur des Universités

Jury :
Patrice ROBISSON, PRAG SVT
Pascal DURIS, Professeur des Universités

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le résultat d'un travail réalisé au cours de l'année, rendu possible grâce au concours de différentes personnes auxquels je voudrais témoigner ma reconnaissance.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de mémoire Monsieur Pascal Duris pour ses conseils et l'orientation qu'il m'a permis de donner à ce travail. Je le remercie pour ses conseils et les pistes de réflexions vers lesquels il m'a dirigé. Je tiens également à remercier Madame Claire Bouyre qui m'a guidé dans ma recherche bibliographique.

Je souhaite bien évidemment remercier Monsieur Patrice Robisson de m'avoir laissé le temps de la réflexion pour déterminer le sujet de ce travail de recherche ainsi que pour m'avoir accompagné dans la construction de ma pensée.

Je souhaite également remercier les formateurs, enseignants et collègues qui ont participé, directement ou indirectement, à la construction de ma pensée et au changement de mes pratiques d'enseignement. Parmi ces personnes, je veux particulièrement remercier ma tutrice terrain, Madame Carine Duvignac, pour ses conseils avisés qui m'ont appris. Je remercie également ma tutrice INSPE, Madame Nathalie Franc, avec laquelle les échanges ont toujours été constructifs. Ils m'ont permis de dépasser ma vision simplement disciplinaire de l'enseignement, donnant ainsi une autre dimension à mes analyses des situations d'enseignement.

Je remercie également la totalité de l'équipe de SVT du lycée Montesquieu de Bordeaux, mon établissement d'accueil, pour leur écoute et leur soutien. Il est difficile de penser que sans ce cadre favorable ma réflexion sur les pratiques d'enseignement aurait autant progressé.

Enfin, un grand merci aux professeurs stagiaires de ma promotion pour les nombreux échanges et leur accompagnement au cours de cette année.

Pour terminer je souhaite remercier ma famille et mon épouse qui m'ont accompagné dans mon changement de voie et dont le soutien indéfectible me permet de progresser chaque jour dans mes pratiques professionnelles.

TABLE DES MATIÈRES

PARAGRAPHE	PAGE
I – INTRODUCTION	4
1. CONSTAT INITIAL : DE LA PERTE D’INTÉRÈT DES ÉLÈVES.....	4
2. Y A-T-IL UN ÂGE POUR JOUER ?.....	5
3. JEUX ET MOTIVATION DANS UN CONTEXTE POST COVID.....	6
4. LE QUESTIONNEMENT INITIAL.....	8
II – CONTEXTE DE LA RECHERCHE	9
1. MOTIVATION ET NIVEAU SOCIAL DES ÉLÈVES.....	10
2. IMPACT DES COMPÉTENCES SOCIO-COMPORTEMENTALES SUR LA RÉUSSITE DES ÉLÈVES.....	10
3. ATTEINDRE LES OBJECTIFS DE L’ENSEIGNEMENT PAR LE JEU.....	11
4. LE QUESTIONNEMENT PROFESSIONNEL.....	12
III – CADRE THÉORIQUE DE LA RECHERCHE	13
1. LES APPORTS DES NEUROSCIENCES.....	13
Le circuit de la récompense et le rôle de la dopamine dans les processus d’apprentissages.....	13
Décharges de dopamine et activations des centres de la mémoire, le cerveau pendant les activités ludiques.....	14
L’importance de la répétition dans les processus de mémorisation.....	15
Le rôle du stress dans les processus de mémorisation.....	16
2. LA PLACE DE L’ERREUR DANS LES APPRENTISSAGES.....	16
3. REPRÉSENTATION DU JEU ET INTÉRÊT PÉDAGOGIQUE.....	18
Évolution de la place du jeu dans la société.....	18
Le jeu dans l’éducation.....	19
IV – PROBLÈME ET QUESTION DE RECHERCHE	21
V – MÉTHODOLOGIE	22
1. LES ACTIVITÉS PROPOSÉES.....	22
Présentation du jeu « <i>Timeline</i> » et analyse didactique.....	22
Le principe de la classe puzzle.....	25
2. L’ÉCHANTILLON ET LA COLLECTE DES DONNÉES.....	26
3. OUTILS MATHÉMATIQUES POUR LE TRAITEMENT DES DONNÉES.....	31
Comparaison des moyennes, distribution des notes et écarts types.....	31
Analyses en composante principale.....	32
VI – ANALYSE DES RÉSULTATS	33
1. RÉSULTATS DES TESTS <i>WOOCLAP</i>	33
Si l’on considère l’ensemble des notes.....	33
Dans le détail des notes.....	35
Résultats des Analyses en Composantes Principales.....	37
2. RÉSULTATS DES ÉVALUATIONS SOMMATIVES DE FIN DE CHAPITRES...	39
3. ÉVALUATION DE L’EXPÉRIENCE DES ÉLÈVES.....	41
Classer chronologiquement les notions.....	42

PARAGRAPHE	PAGE
Préférence sur la forme des activités.....	42
Intérêt des élèves pour l'activité.....	42
Influence de la forme des activités sur la compréhension.....	42
Les observations faites par le professeur.....	43
VII – DISCUSSION.....	45
1. ÉVOLUTION DE LA PLACE DE L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS LES PROGRAMMES DE SVT.....	45
2. COMPARAISON DES DEUX MÉTHODES.....	49
Concernant la transmission des savoirs.....	49
Concernant l'implication des élèves.....	51
3. APPRENDRE L'HISTOIRE DES SCIENCES PAR LE JEU.....	52
VIII – CONCLUSIONS.....	54
BIBLIOGRAPHIE.....	56
SITOGRAPHIE.....	63
LISTE DES FIGURES.....	64
ANNEXES.....	67
RÉSUMÉ ET MOTS CLÉS.....	106

I – INTRODUCTION

Une des joies du métier d'enseignant réside dans la transmission du savoir. Ayant choisi de nous spécialiser dans un domaine pour lequel nous avons, au cours des années, développé un intérêt, nous apprécions discuter, présenter des sujets qui nous passionnent. De ce fait il est toujours décevant pour l'enseignant quand, malgré le temps passé à la préparation d'une activité, les élèves ne sont pas investis dans le travail, peu intéressés par le sujet de la leçon du jour. **Comment alors impliquer des apprenants aux centres d'intérêts variés sur une activité traitant d'un sujet particulier ?**

1. CONSTAT INITIAL : DE LA PERTE D'INTÉRÊT DES ÉLÈVES

Avant de passer les concours de l'éducation nationale j'ai eu l'occasion d'enseigner, en tant que contractuel, à tous les niveaux du secondaire, de la sixième à la terminale ainsi qu'à des étudiants post-bac. Ces expériences m'ont permis de remarquer le désintérêt grandissant des élèves et la perte de motivation des élèves au cours de leurs cursus scolaire. Une discipline comme les Sciences de la Vie et de la Terre laissent la part belle aux travaux pratiques, et, alors qu'il est très facile de susciter l'intérêt des élèves de 6^{ème} avec de simples expériences de germinations de graines, les élèves aux plus hauts niveaux sont plus difficiles à mobiliser, même avec des démonstrations complexes. Je me suis alors penché sur des méthodes d'enseignement qui me permettraient de développer la motivation des apprenants.

Via un processus d'essais/erreurs je continue aujourd'hui de peaufiner mes pratiques éducatives. Il n'existe évidemment pas de formule qui, appliquée à n'importe quel public, permet de susciter l'intérêt et l'investissement d'un maximum d'élèves. La multiplicité des niveaux, des élèves, de leurs centres d'intérêts et de leurs histoires, rend l'exercice d'enseignement aussi difficile que stimulant. S'il n'existe pas de « recette miracle » quand il s'agit d'éducation, on peut mettre en évidence que certaines pratiques mobilisent davantage la concentration des élèves que d'autres. C'est dans l'optique d'améliorer mes pratiques éducatives que j'ai commencé à m'intéresser à la gamification (également appelée ludification), c'est-à-dire l'utilisation de mécanismes et de leviers empruntés aux jeux dans un contexte qui en est dépourvu à l'origine, ainsi qu'aux *serious games*, détournement de jeux

(définition : académie de Toulouse). **Peut-on tirer profit des jeux et de leurs mécaniques pour susciter l'intérêt des élèves ?**

2. Y-A-T'IL UN ÂGE POUR JOUER ?

Si les enseignements du cycle 3 donnent la part belle aux activités ludiques, à partir du cycle 4, les enseignements ont tendance à migrer vers des activités plus « sérieuses » où le jeu et ses composantes s'effacent progressivement. Bien que l'objectif de transmettre des connaissances reste le même au cours de l'ensemble du cursus on peut noter un changement dans la manière des enseignants d'approcher cette communication des savoirs.

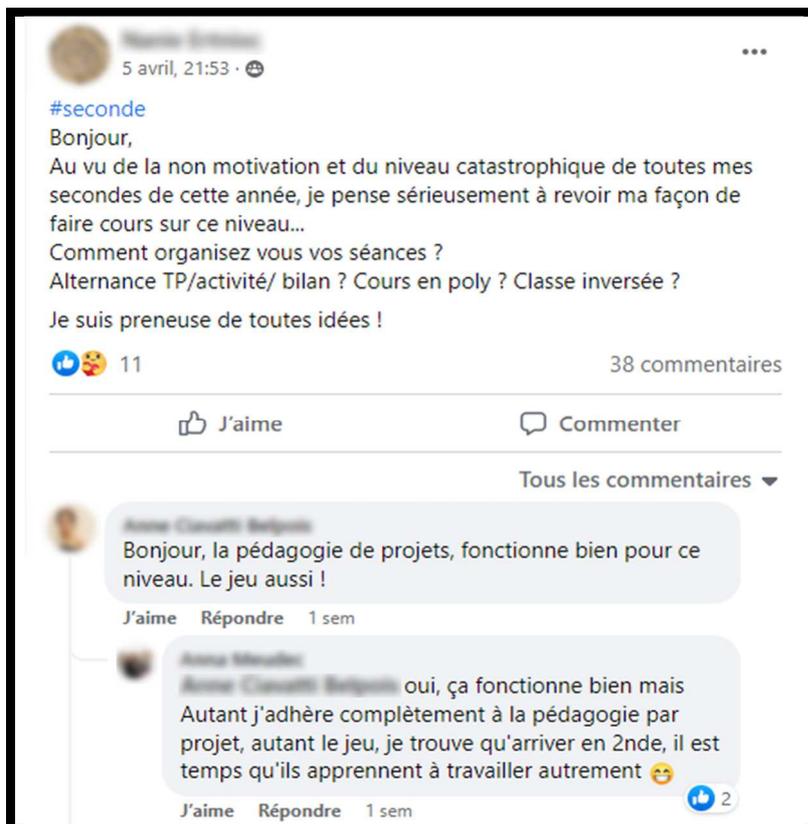


Figure 1 – Extrait de la page Facebook du groupe « SVT : partage, conseils, questions »

Ainsi à la question d'une enseignante en seconde sur une page Facebook dédiée (Fig. 1) à l'enseignement des SVT « *Au vu de la non motivation et du niveau catastrophique de toutes mes secondes de cette année, je pense sérieusement à revoir ma façon de faire cours sur ce niveau... Comment organisez-vous vos séances ?* », à la proposition d'une collègue de travailler

les chapitres en utilisant la pédagogie par projets et le jeu peut-on lire en réponse « *oui, ça fonctionne bien mais, autant j'adhère complètement à la pédagogie par projet, autant le jeu, je trouve qu'arriver en 2^{nde}, il est temps qu'ils apprennent à travailler autrement* ». S'il paraît hasardeux de généraliser une remarque isolée, prise sur une discussion internet, elle illustre cependant relativement bien ce que j'ai pu observer au cours des remplacements que j'ai eu l'opportunité d'effectuer aux niveaux collège et lycée. Les collègues de lycée étant généralement plus « *frileux* » à intégrer des éléments ludiques dans leurs activités.

Il serait intéressant d'étudier le parallèle entre la perte progressive de motivation des élèves et l'effacement des pratiques ludiques dans les enseignements entre le cycle 3 et le cycle terminal. Mais ce questionnement est trop large pour le cadre de ce mémoire et nous allons ici tenter de voir en quoi la pratique du jeu peut permettre de canaliser l'attention des élèves vers une tâche à but pédagogique. **La pratique du jeu avec des élèves plus âgée est-elle une stratégie d'enseignement viable ?**

3. JEUX ET MOTIVATION DANS UN CONTEXTE POST COVID

La pratique du jeu est loin d'être une activité anecdotique. Si l'on se base sur les données relatives à la pratique des jeux vidéo, catégorie d'activité ludique pour laquelle on dispose d'un maximum d'information, en 2021, rien qu'en France, 73% des français (soit environ 38 millions de personnes) ont joué, au moins occasionnellement (chiffres publiés dans un rapport par le Syndicat des Editeurs de logiciels et de Loisirs - SELL). Cette augmentation du nombre de joueurs en 2021 est évidemment à mettre en relation avec la pandémie de CoVid-19 et les confinements qui ont été imposés en conséquence. Cependant ces chiffres ne semblent pas baisser depuis la fin des confinements (Holtzer, 2021) et le jeu (vidéo) semble donc s'imposer dans notre quotidien. A même été démontré les bienfaits de cette pratique accentuée des jeux sur le bien-être des utilisateurs sur la stimulation cognitive, la sociabilisation, la réduction du stress et de l'anxiété (Barr & Copeland-Stewart, 2021) et le fait qu'il réduisait l'ennui et procurait de la joie (SELL, 2021). **Est-il possible d'exploiter ces bénéfices pour attiser la motivation des élèves ?**

Dans le domaine de l'éducation, ces derniers mois marqués par la crise du CoViD se sont traduits par de longues semaines de distanciel. Avec la rentrée 2021, et la reprise des cours en

présentiel, de nombreux professeurs observent une baisse de la motivation et de l'engagement de leurs élèves. Cette observation a été confirmée par une étude du EdWeek Research Center publiée en 2021 (Figure 2). De plus on observe une chute importante de la confiance des élèves en leurs capacités à réaliser certaines tâches proposées (Baudoin et al., 2020). Ce constat pousse actuellement de nombreux enseignant à revoir leurs pratiques pédagogiques afin de trouver de nouveaux moyens d'engager leurs élèves dans leurs processus d'apprentissages.

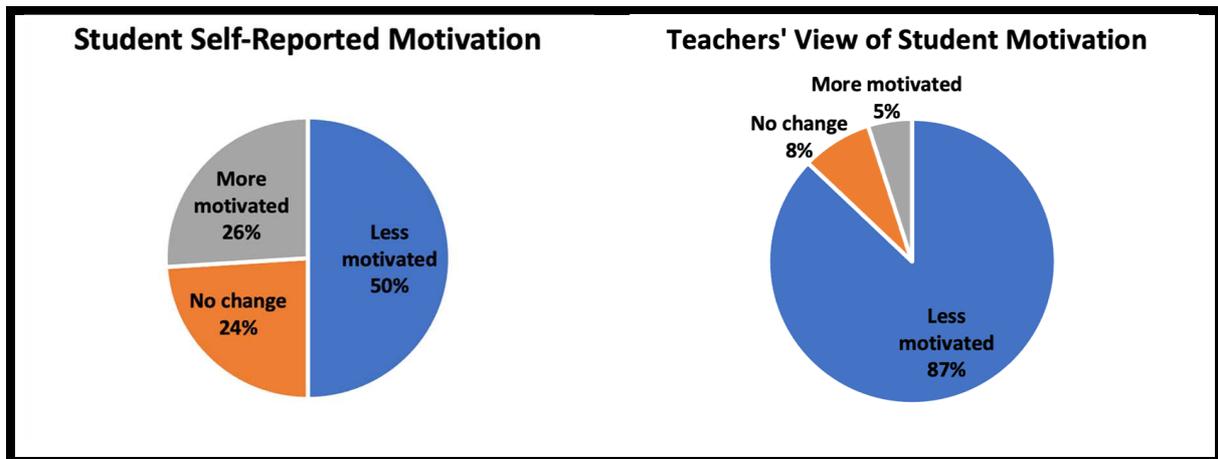


Figure 2 – Motivation des élèves estimée par les élèves et leurs professeurs (EdWeek Research Center (2021)

L'importance de la motivation dans les apprentissages est bien connue et la bibliographie sur le sujet ne manque pas (Astin, 1984 ; Bensimon, 2009 ; Galand, 2006 ; Kuh, 2007 et 2008 ; Sarrazin *et al.*, 2006 ; Trowler, 2010 parmi d'autres). Une étude récente sur 128 écoles concernant plus de 110 000 élèves a mis en évidence une corrélation forte entre l'engagement des élèves et leur réussite scolaire (Figure 3 ; Reckmeyer, 2009).

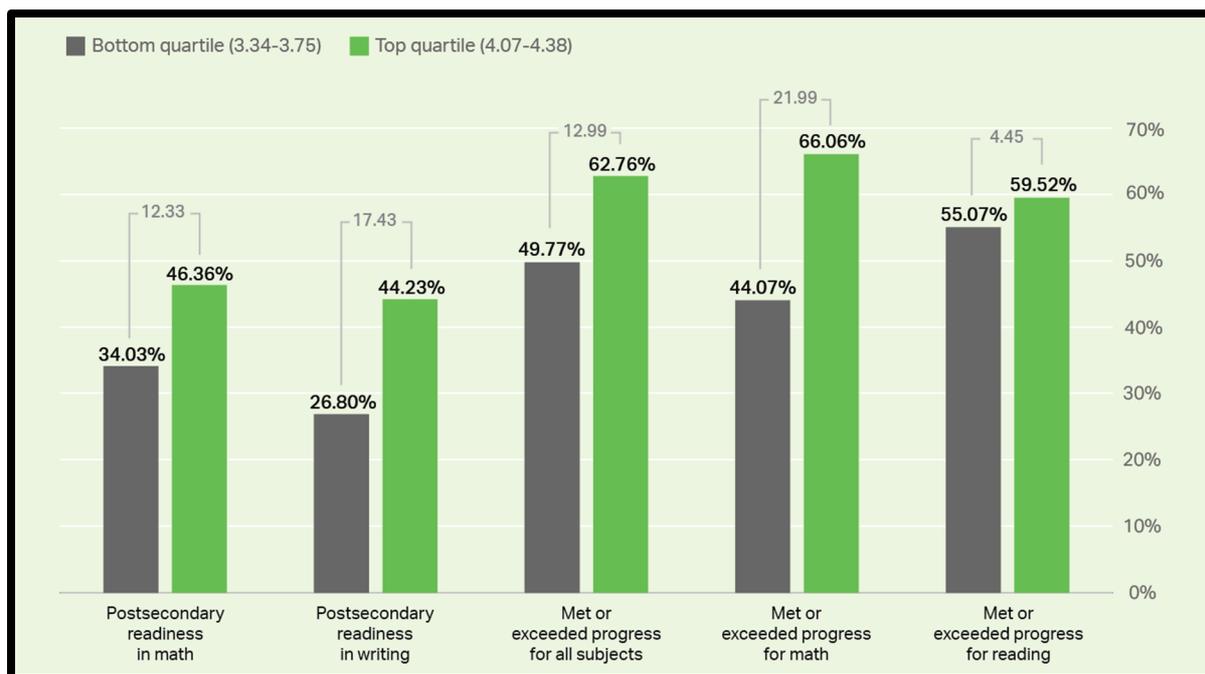


Figure 3 – Classement des élèves en quartiles selon leur engagement en cours, comparaison avec les résultats obtenus en mathématique, écriture, lecture et d’autres sujets (Reckmeyer, 2009)

Plus que jamais dans ce contexte de rentrée 2021 il semble donc nécessaire de trouver des façons de stimuler la motivation des élèves au travers d’activités engageantes pour leur assurer une bonne réussite scolaire et les activités ludiques offrent une piste intéressante à explorer.

4. LE QUESTIONNEMENT INITIAL

Au regard de toutes ces observations il semble alors dommage de se passer du jeu, activité qui (1) est plébiscitée par le public visé par les enseignements (En France, 98% des enfants français jouent aux jeux vidéo dont 2/3 tous les jours ou presque – SELL, 2021) et (2) qui a des vertus démontrées sur le bien-être et la motivation des pratiquants. Dans ce mémoire sera exploré l’intérêt de ludifier les pratiques pédagogiques de façon à renforcer la motivation, et donc l’implication, des élèves dans leurs apprentissages. On peut donc résumer la problématique initiale à la question suivante : **Comment exploiter les bénéfices des pratiques ludiques dans le cadre de l’activité d’enseignement et en particulier renforcer la motivation des élèves ? Y a-t-il des limites à la pratique des jeux à visée pédagogique ?**

II – CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Si booster la motivation des élèves face aux enseignements et ainsi améliorer leur implication vis-à-vis de leurs apprentissages est un objectif noble en soi, elle peut permettre d'atteindre un autre but : réduire l'inégalité des chances. Ce n'est pas un secret : l'école française est foncièrement inégalitaire. Depuis le rapport PISA (Programme for International Student Assessment) de 2012 la France (PISA 2012), mauvaise élève, est montrée du doigt comme facteur du creusement des inégalités sociales. Les données présentées dans le rapport de 2015 sont, à ce titre, révélatrices :

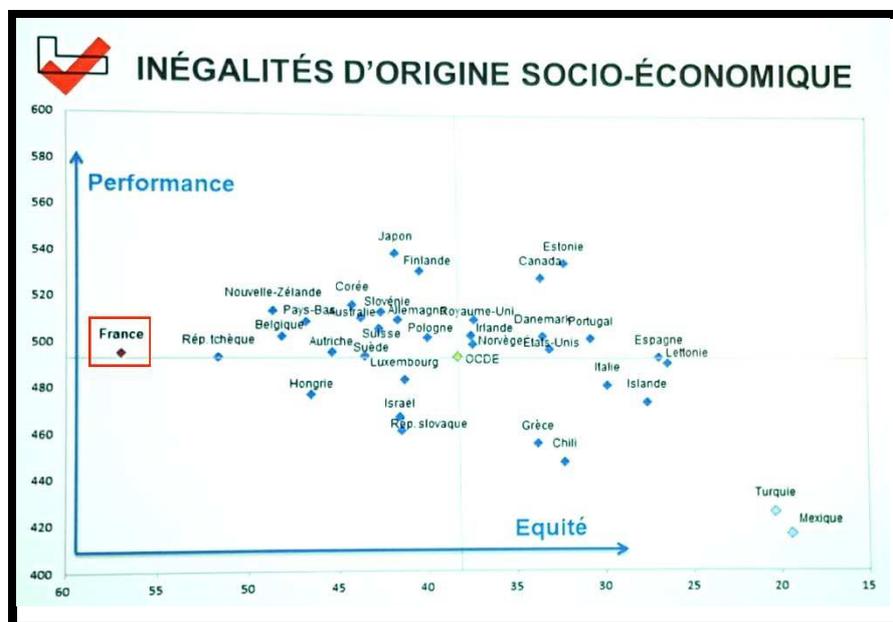
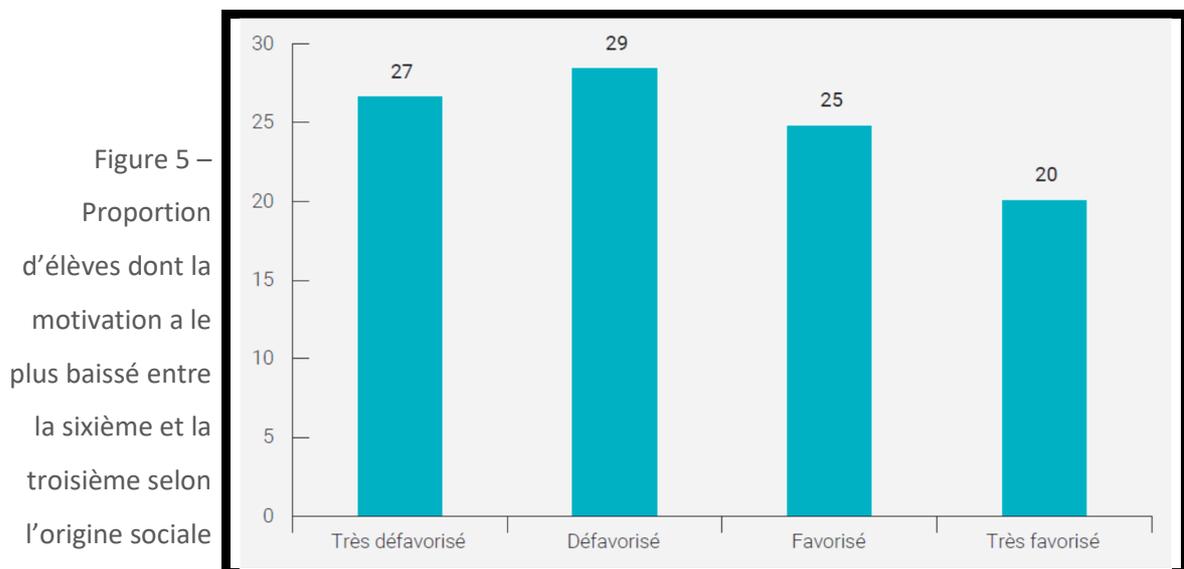


Figure 4 – Ecart de score associé à la variation d'une unité de l'indice socio-économique et culturel (PISA, 2015)

Parmi les pays de l'OCDE, pour ce qui est de l'équité entre les apprenants au sein du système éducatif, la France se classe dernière. Si des efforts ont été faits pour tenter d'endiguer le creusement des écarts entre élèves venant de milieux sociaux différents (la création des zones d'éducation prioritaires par exemple), il reste une marge de progression importante puisque, si ces inégalités ne se creusent plus, elles restent stables à un niveau élevé (article de M. Piquemal pour libération du 03/12/2019). **Peut-on alors utiliser le bienfait des activités ludiques et les compétences développées par leurs pratiques comme l'un des leviers que l'on pourrait actionner afin de réduire ces écarts entre élèves ?**

1. MOTIVATION ET NIVEAU SOCIAL DES ÉLÈVES

Le lien entre le milieu social d'origine des apprenants et leur motivation à s'investir dans leurs apprentissages est connu depuis longtemps (Levy-Leboyer & Pineau, 1980), mais au vu des résultats français au classement PISA de ces dernières années, des efforts ont été entrepris pour identifier des moyens d'améliorer notre système éducatif. Cela passe par une analyse en profondeur des actions éducatives entreprises, de leurs résultats et des facteurs à l'œuvre. Une étude réalisée en 2019 par Tristan Augereau et Linda Ben-Ali réalisée sur un échantillon de 35 000 élèves de collèges met en évidence que la perte de motivation et du sentiment d'efficacité observé au cours du collège est, pour partie, socialement déterminée. Les apprenants issus de milieux socialement défavorisés enregistrant une perte plus importante de leur engagement dans les apprentissages (Figure 5).



Au regard de ces résultats il semble intéressant de travailler sur la motivation des apprenants, paramètre qui pourrait permettre d'impliquer l'ensemble du groupe classe, indépendamment des milieux sociaux d'appartenance des élèves.

2. IMPACT DES COMPÉTENCES SOCIO-COMPORTEMENTALES SUR LA RÉUSSITE DES ÉLÈVES

Parmi les compétences socio-comportementales mises en avant pour expliquer la réussite professionnelle des élèves, apparaît la motivation au même titre que d'autres qualités

développées dans le cadre d'activités de jeu (persévérance, auto-discipline, confiance et coopération...) (Rapport du Grenelle de l'éducation 2020, Algan *et al.* 2021). Même si l'école n'est pas le seul vecteur à incriminer quand on regarde les problèmes de mobilité sociale au sein de notre pays (Troger, 2020), le système scolaire a néanmoins une responsabilité dans ce processus. Il incombe donc au professeur de veiller à développer chez ses élèves, des compétences socio-professionnelles, afin de leur ouvrir la voie vers une future carrière professionnelle épanouissante.

Il a été démontré que le développement de compétences psychosociales clés avait un impact positif sur les résultats scolaires des élèves, leurs comportements à l'école ainsi que sur leurs aspirations professionnelles (Huillery *et al.*, 2020). Le rapport de l'OCDE (2016) montre que les individus dont les niveaux de compétences sociales et affectives sont plus élevées tirent meilleur parti de nouveaux investissements dans leurs apprentissages. Les jeux sont alors cités dans les apports directs pour renforcer ces capacités. De même, parmi les pistes proposées par Christophe Marsollier (2021) pour renforcer les compétences socio-émotionnelles on retrouve des jeux et des activités ludiques, utilisant des méthodes pédagogiques de renforcement positif, où les réussites sont valorisées. Ces pratiques menant à une amélioration des apprentissages.

3. ATTEINDRE LES OBJECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT PAR LE JEU

L'article L111-1 du code de l'éducation précise que le service public de l'éducation nationale se doit de contribuer à l'égalité de « *contribuer à l'égalité des chances et à lutter contre les inégalités sociales et territoriales en matière de réussite scolaire et éducative* ». De plus, l'enseignement se doit de « permettre la poursuite d'études, la construction d'un avenir personnel et professionnel et préparer à l'exercice de la citoyenneté » (Article L122-1-1 du code de l'éducation). Il m'apparaît important, en tant qu'enseignant visant l'épanouissement de mes élèves, de développer chez eux les compétences nécessaires à leur vie de futur professionnel et de futur citoyen (en plus bien entendu des connaissances relatives à mon champ disciplinaire). Pour ce faire, et dans un souci de respect d'équité, il semble nécessaire de viser une mobilisation importante des élèves et un mode d'organisation des activités réalisées en classe qui permet de travailler un maximum de compétences socio-

comportementales qu'ils pourront exploiter à l'avenir. Dans leur ouvrage *Le développement cognitif par le jeu*, Rémi Samier et Sylvie Jacques énumèrent les bienfaits liés à la pratique des jeux depuis la petite enfance jusqu'à l'âge adulte. Nombre de ces bénéfices (augmentation du lien social, renforcement de la motivation...) semblent être compatibles avec les missions posées par l'Education Nationale (Articles L121-1, L121-4-1 entre autres, v. Code de l'éducation) et/ou développer des compétences permettant d'atteindre ces objectifs (amélioration de la mémorisation à long terme, prise en compte positive de l'échec...).

Ainsi les pratiques ludiques ne s'opposent pas aux missions portées par le code de l'éducation et semblent même en accord sur certains points avec ce dernier puisqu'elles permettent le développement chez les élèves de compétences utiles pour leur avenir personnel et professionnel. **Quel est, de ce, fait l'apport de la ludification des pratiques éducatives ?**

4. LE QUESTIONNEMENT PROFESSIONNEL

Accompagner l'ensemble des élèves dans leurs apprentissages est l'une des missions principales de l'éducation nationale. Pour ce faire, jouer sur la motivation des élèves apparaît comme l'un des leviers que le professeur peut actionner. Accentuer l'implication des élèves dans leurs enseignements permet, au-delà d'une amélioration des résultats des apprenants investis, de gommer en partie les inégalités liées aux origines variées des élèves si l'on réussit à motiver l'ensemble d'un groupe classe. Les activités ludiques semblent être, à cette fin, un outil efficace, en plus de permettre une meilleure transmission des savoirs. De plus, les compétences développées par le jeu (persévérance, confiance, coopération, respect des règles...) apparaissent comme bénéfiques aux élèves, pour leur scolarité ainsi que dans leur future vie professionnelle. **On peut alors se poser la question : le jeu, comme outil pédagogique, répond-il aux attendus de l'activité d'enseignement ?**

III – CADRE THÉORIQUE DE LA RECHERCHE

Ce mémoire vise à explorer l'intérêt des pratiques ludiques dans le cadre des enseignements. Afin de pouvoir exploiter les résultats de l'expérimentation réalisée pour ce travail, il est nécessaire de faire un panorama des travaux effectués précédemment autour des thématiques abordées ici.

1. LES APPORTS DES NEUROSCIENCES

Le circuit de la récompense et le rôle de la dopamine dans les processus d'apprentissages

Il y aurait beaucoup à dire sur la biologie du cerveau humain et sur les phénomènes neurologiques à l'origine du processus de mémorisation. Ce n'est cependant pas le but de ce mémoire et nous nous contenterons ici de ne présenter que quelques éléments relatifs au circuit de la récompense et à son importance dans les mécanismes d'apprentissage.

La découverte accidentelle du circuit de la récompense (Figure 6) par James Olds et Peter Milner à l'Université de Montréal en 1954 a permis de mettre en évidence l'importance de la dopamine dans les processus neurologiques responsables de la motivation (Bear *et al.*, 2015). Ainsi, il a été mis en évidence que l'activation des neurones dopaminergiques de certaines zones du cerveau (Aire tegmentale ventrale et substance noire principalement) conditionne le comportement des individus.

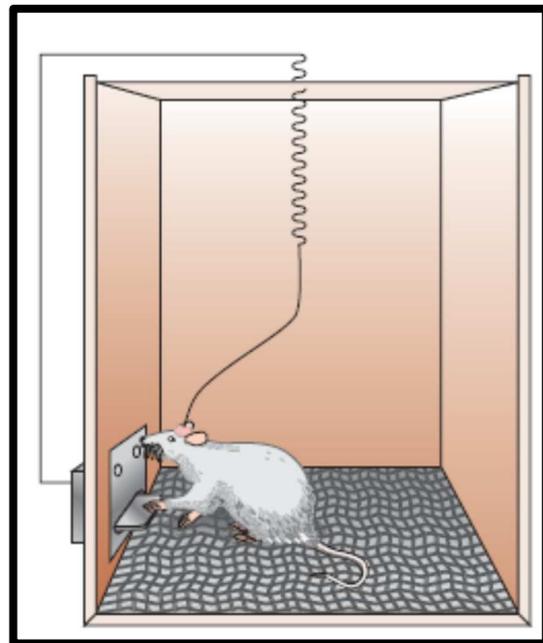


Figure 6 – Auto-stimulation d'un rat, quand le rat appuie sur le levier il reçoit une décharge électrique via une électrode placée dans l'aire septale du cerveau. Représentation des expériences d'Olds et de Milner qui ont permis la découverte du circuit de la récompense en 1954 (d'après Bear *et al.*, 2015)

Les travaux de Schultz *et al.* (1997) ont permis de mettre en évidence que la décharge de dopamine résultante d'une action variait en fonction (1) de la prédiction par l'individu du résultat attendu et (2) du résultat obtenu (Figure 7), ces paramètres définissant la « prédiction de la récompense ».

Cette anticipation de l'activation des neurones dopaminergiques intervient dans les processus d'apprentissages (Purves *et al.*, 2017). Les individus évaluent en permanence cette « prédiction de la récompense » et adaptent leur comportement de façon à maximiser leur chance de voir leurs actions gratifiées d'une décharge de dopamine. Dans un processus d'essais/erreurs, ce phénomène pousse les individus à adapter leurs réponses pour tendre vers le résultat optimal. De plus, l'activation du système de récompense et la décharge de dopamine associée participent à la création de nouvelles jonctions neuronales, qui contribuent à la mémorisation (Bao *et al.*, 2001; Kandel *et al.*, 2012).

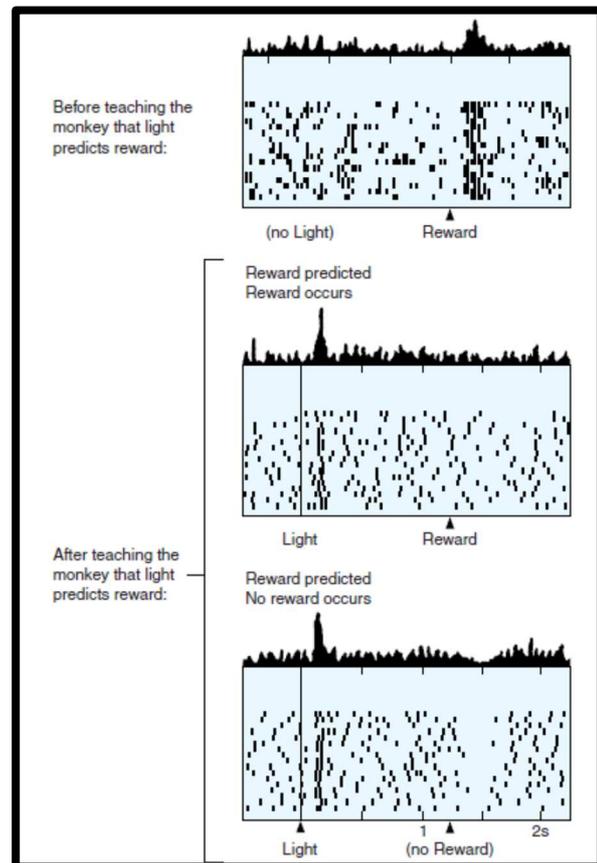


Figure 7 – Expériences de Schultz *et al.* (1997) rôle de l'anticipation dans la décharge de dopamine relative à la réception d'une récompense (d'après Bear *et al.*, 2015)

Décharges de dopamine et activations des centres de la mémoire, le cerveau pendant les activités ludiques

Notre cerveau est donc conditionné pour aimer les récompenses, le jeu nous gratifie (Collon, 2016). Il a été démontré que des décharges de dopamine peuvent être provoquées par certains comportements. La publication de Koeppe *et al.* (1998) met en évidence l'existence d'une corrélation entre la pratique d'une activité motrice orientée vers un but, dans le cadre

de l'étude, la pratique d'un jeu vidéo, et une libération de dopamine dans le striatum. Les doses de dopamine libérées sont équivalentes à celles que le cerveau produit lorsque ce que l'on mange une part de pizza ou une glace (Markey & Ferguson, 2017). En plus d'une décharge de dopamine, qui comme nous l'avons montré à un impact sur les processus de mémorisation, différents centres de la mémoire sont impliqués dans la pratique des jeux vidéo (Palau *et al.*, 2017). En prévoyant des activités d'enseignement de façon à détourner les capacités exploitées par les joueurs, il devient alors possible de favoriser la mémorisation chez les élèves (Howard-Jones *et al.*, 2011).

L'importance de la répétition dans les processus de mémorisation

Le rôle de la répétition dans la mémorisation a été démontré par de nombreuses études (Chabot *et al.*, 1976 ; Hintzman, 2010 ; entre autres). L'apprentissage fait intervenir la mémoire de travail dont le contenu est limité et rapidement effacé à court terme (Figure 8). Cette composante de la mémorisation est la porte d'entrée de la connaissance dans le cerveau et c'est via la répétition que ces connaissances peuvent être consolidées, et passer dans la mémoire à long terme (Bear *et al.*, 2015).

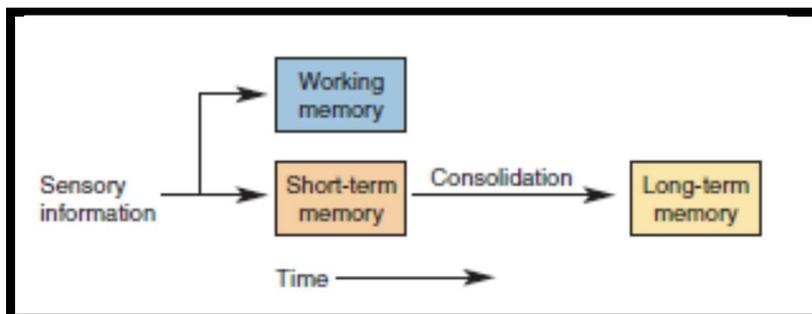


Figure 8 – Consolidation de la mémoire (d'après Bear *et al.*, 2015)

Le jeu mène naturellement à la répétition puisque la maîtrise des règles et des mécaniques des jeux se fait via un nécessaire processus d'essais/erreurs. Ainsi, un jeu à objectif pédagogique se devra d'être pensé de façon à intégrer dans ses mécaniques de jeu les compétences visées afin que, par répétition, elles soient intégrées par les élèves.

Le rôle du stress dans les processus de mémorisation

A petite dose, le stress provoque la sécrétion d'adrénaline qui provoque une augmentation du niveau de vigilance et d'attention (Purves *et al.*, 2017) favorable à la mémorisation. Un excès de stress à l'inverse entraîne la sécrétion de glucocorticoïdes qui, transportés au cerveau, vont interagir avec l'hippocampe, le centre de la mémoire instantanée, et bloquer la mémorisation (Bear *et al.*, 2015 ; Kandel *et al.*, 2012). Les émotions négatives, de manière générale, vont perturber l'attention et la mémorisation, indispensable à l'apprentissage (Castaignède, 2018). La perspective de la défaite (sans autre conséquence que le fait de ne pas être le vainqueur de la partie) offre aux joueurs une dose de stress suffisante pour favoriser la vigilance mais suffisamment limitée pour ne pas influencer négativement la mémorisation. Après tout, dans le cadre d'une activité ludique, la défaite est la seule représentation de l'échec, échec qui comme nous allons le voir à son importance dans les processus d'apprentissage.

2. LA PLACE DE L'ERREUR DANS LES APPRENTISSAGES

En 2017 le Youtubeur américain Mark Rober a lancé à ses abonnés un défi pour prouver que le codage informatique était à la portée de tous (<http://puzzle.prenda.co/main>).

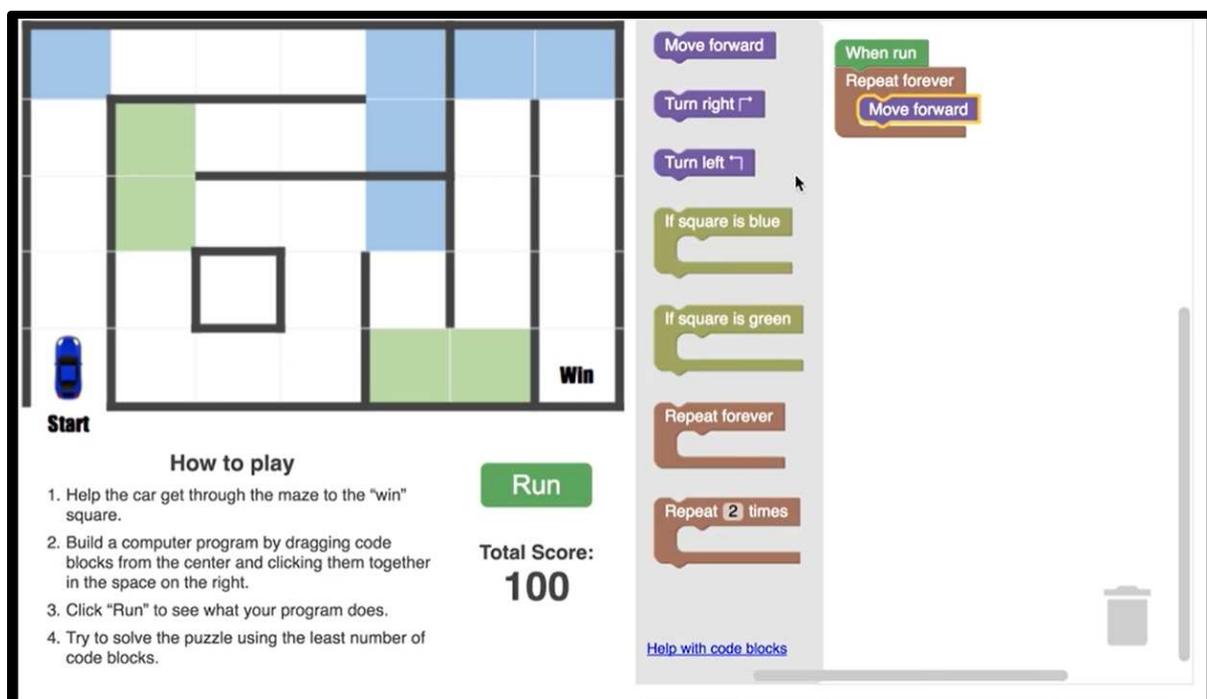


Figure 9 - Interface de l'application du Challenge « Anyone can code »

Nommé *The « anyone can code » challenge*, ce défi « tout le monde peut coder » se basait sur un petit programme, développé par M. Rober, et qui présentait une interface simple sous forme de puzzle où l'utilisateur devait assembler des commandes informatiques classiques telles que des instructions « si » et des boucles de répétition afin de déplacer à l'écran un véhicule, à travers un labyrinthe (Figure 9). Quand l'utilisateur pensait avoir la bonne réponse il cliquait sur le bouton « Run » (= Démarrer) et le véhicule se déplaçait alors en suivant les commandes entrées par l'utilisateur. Quelques 50 000 personnes ont participé à cette expérience dont le but affiché était de prouver que tout le monde pouvait apprendre le codage informatique.

En vérité cette expérience n'avait pas pour finalité de vérifier que tout le monde pouvait coder. L'application se déclinait en 2 versions, attribuées aléatoirement aux utilisateurs. Dans une des versions, un échec à réussir le puzzle n'avait aucune conséquence. L'utilisateur ne perdait aucun de ses points de départ et s'affichait juste à l'écran « *That didn't work. Please try again.* » (« *Ça n'a pas marché. Veuillez réessayer.* »). Dans l'autre version, une erreur dans la solution proposée par le joueur était sanctionnée par une perte de 5 points sur son total initial de 200 points. S'affichait alors à l'écran « *That didn't work. You lost 5 points. You now have 195 points. Please try again.* » (« *Ça n'a pas marché. Vous avez perdu 5 points. Vous avez maintenant 195 points. Veuillez réessayer.* »). Il est important de noter ici que ces points de perdus n'ont absolument aucune valeur et qu'il n'y a aucun jugement de valeur (autre que celui de l'utilisateur) associé à cette perte. Aucune conséquence à tomber sur l'une ou l'autre version apparemment donc, et pourtant... Les résultats obtenus par les 50 000 participants montrent des différences significatives entre les deux versions de l'application (Figure 10). Non seulement le taux de réussite des participants non-pénalisés par la perte de 5 points en cas d'erreur est supérieur, de 16%, à celui des participants pénalisés, mais leur nombre de tentatives pour résoudre le puzzle est plus de deux fois supérieur à celui des participants pénalisés par leurs erreurs qui, en moyenne, abandonnaient au bout de 5 essais.

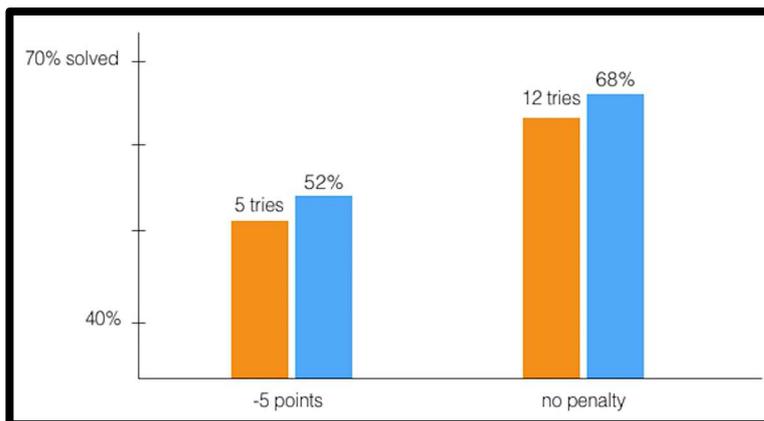


Figure 10 – Résultats du Challenge « Anyone can code » (En bleu les pourcentages de réussite des participants et en orange le nombre d'essais des participants pour les deux versions de l'application, avec ou sans pénalité de 5 points)

Ces résultats montrent l'impact négatif de la pénalisation de l'erreur dans les processus d'apprentissages. Chez les enfants en bas âge, le processus d'apprentissage est dominé par des processus d'essais/erreurs dans lesquels l'échec n'est pas sanctionné et où seules les réussites sont félicitées. Progressivement, au cours du cursus scolaire « traditionnel » (le terme « traditionnel » est ici utilisé pour faire la distinction avec des méthodes pédagogiques alternatives telles que la méthode Montessori), l'erreur est de plus en plus pénalisée, les programmes chargés laissant peu de temps à la construction d'un savoir basé sur des tentatives couronnées ou non de succès. Pourtant, de nombreuses personnes s'accordent sur la valeur de l'échec dans les processus d'apprentissage (Astolfi, 2014 ; Favre, 1995 ; De Vanissay *et al.*, 2012). Comment, dans ces conditions, bénéficier des effets bénéfiques de l'échec dans la construction d'un savoir tout en s'émancipant des effets néfastes sur la motivation des apprenants ? Se pose donc la question : **peut-on concevoir les processus d'apprentissage de façon à minimiser ce ressenti négatif de l'erreur par les élèves ?**

3. REPRÉSENTATION DU JEU ET INTÉRÊT PÉDAGOGIQUE

Évolution de la place du jeu dans la société

On oppose souvent le jeu, qui reste associé à l'enfance et est souvent synonyme de frivolité, au sérieux. Cette distinction rend difficile l'utilisation du jeu comme matériel pédagogique. A l'âge adulte le jeu est considéré comme une activité oisive voire une addiction (quand il s'agit de jeux vidéo) (Sanchez & Romero, 2020).

Cependant cette représentation puérile du jeu date des temps modernes. Chez les philosophes pré-modernes, cette opposition travail/jeu n'est pas si franche. Aristote

considérait que « *pour pouvoir travailler, il faut se délasser* » ce que permet le jeu. Planton et Quintilius soulignaient la contribution du jeu au développement moral et physique de l'enfant. D'ailleurs les racines des termes grecs « *paidia* » (jeu) et « *paideia* » (éducation) sont identiques et dans la Rome antique *Ludus* signifiait à la fois jeu (activité libre et spontanée) et travail scolaire (imposé et dirigé) (Sanchez & Romero, 2020). Plus tardivement viendra la pensée selon laquelle il est possible de détourner le jeu à des fins plus « sérieuses ». Erasme considérait par exemple qu'il était possible de capter l'intérêt de l'enfant pour le jeu en le mettant au service de l'éducation (Brougère, 1995).

Le changement de considération de la place du jeu vient avec le changement de la vision de l'enfant. Avec le développement de la psychologie, l'enfant passe de faible, innocent et sans raison à un adulte en construction. Les deux visions du jeu vont alors coexister menant à un discours brouillé. En français la polysémie du mot « *jeu* », désignant à la fois l'action et l'objet, participe à la confusion autour de la conception de cette notion (Brougère, 1995).

Cette opposition moderne entre le jeu et le sérieux complique la percée des pratiques éducatives ludiques. Le sociologue canadien Albert Brie annonçait « *Le jeu est l'occupation la plus sérieuse de l'enfant ; la plus frivole étant l'éducation* ». Cette vision du jeu restreint l'extension des activités ludiques à la petite enfance. Il est d'ailleurs à la base des pratiques éducatives promues par Pauline Kergomard, qui a inventé l'école maternelle, et qui disait : « *Le jeu c'est le travail de l'enfant, c'est son métier, c'est sa vie* ». Le jeu était cependant, jusqu'à il y a peu, banni de l'école élémentaire où le « *travail* » et le « *sérieux* » remplaçaient les activités ludiques proposées en maternelle. Il faudra attendre 1966 et les travaux de Piaget et Inhelder pour que le jeu soit de nouveau considéré dans les pratiques éducatives comme un élément nécessaire au développement cognitif des élèves.

Le jeu dans l'éducation

Limité à la petite enfance, l'utilisation du jeu en classe gagne progressivement du terrain et se décline en activités visant des élèves plus âgés. Deux options s'offrent au professeur souhaitant intégrer des éléments ludiques dans ses cours.

Les serious games correspondent à des jeux créés spécifiquement pour l'enseignement, où à des jeux préexistants, modifiés de façon à obtenir un matériel de travail à visée pédagogique

(Alvarez & Djaouti, 2012). Un serious game est donc un jeu avant tout, dans lequel des éléments relatifs à un savoir à enseigner ont été intégrés. Le but étant ici d'investir l'apprenant dans le jeu de façon à lui transmettre des connaissances « de façon détournée ». Les jeux sérieux apparaissent susceptibles de stimuler la motivation des élèves et de permettre de développer des savoirs dans le cadre de situations d'apprentissages complexes (et parfois plus authentiques) rendus plus accessibles par le jeu (Sanchez *et al.*, 2011). Le risque dans ce type d'activité est de voir l'aspect ludique l'emporter sur l'acquisition des connaissances. Il apparaît donc nécessaire ici de proposer aux élèves une phase de mise à distance du plaisir de jouer, afin que le joueur prenne une position d'apprenant (Alvarez *et al.*, 2017). L'utilisation des serious games montre une amélioration nette en termes d'implication des élèves mais l'impact sur d'apprentissage reste plus mitigé (Erhel & Jamet, 2011).

Une autre approche est la gamification. Yu-Kai Chou, l'un des fers de lance de la gamification, présente le procédé comme suit : « *la gamification est une technique de design qui place la motivation humaine au cœur du précédé* ». Dans un système gamifié, on va plutôt essayer de définir pourquoi l'utilisateur va faire telle ou telle action, ce qui le motive. Un système gamifié est donc un environnement motivant avant d'être un jeu. Ces dernières années, de nombreuses études ont démontré que l'utilisation de la gamification dans les pratiques éducatives était accompagnée d'une augmentation de l'engagement et de la motivation des apprenants ainsi qu'une amélioration de leurs résultats (Kalogiannakis *et al.*, 2021). L'implémentation de la gamification permet de développer la créativité, l'esprit critique, la collaboration et la communication des élèves (Kingsley & Grabner-Hagen, 2015).

Qu'importe la méthode utilisée (Serious Game ou gamification) ou les domaines (éducation, marketing, professionnel...) dans lesquels ces méthodes inspirées du jeu sont utilisées, les résultats semblent être variés (Alvarez, 2007 ; Landers *et al.*, 2018). L'intérêt de l'exploitation des jeux, notamment dans le cadre des apprentissages en classe, reste donc à explorer.

IV – PROBLÈME ET QUESTION DE RECHERCHE

Les composantes et les mécaniques du jeu semblent donc compatibles voire même particulièrement adaptées à l'enseignement. Mais les qualités des activités ludifiées par rapport à des activités « traditionnelles » s'appliquent-elles quel que soit la visée pédagogique des activités proposées aux apprenants ? Pour explorer cette question, a été proposée une activité ludifiée à des élèves de niveau première dans le cadre de l'enseignement scientifique. Afin de pouvoir analyser les résultats de ce type d'exercice, il faut pouvoir comparer les résultats. Le programme d'enseignement scientifique s'appuie sur une approche épistémologique et il a donc été possible de proposer aux élèves deux activités sur l'histoire des sciences, l'une ludifiée l'autre, plus classique, sous la forme d'une analyse de documents, afin de pouvoir comparer l'implication des élèves sur ces deux activités et d'analyser les résultats de leurs apprentissages sur les deux chapitres concernés : l'établissement de la théorie cellulaire et l'âge de la Terre. La problématique de ce mémoire est donc multiple :

- **Utiliser le jeu dans le cadre de pratiques pédagogiques à visée épistémologique augmente-t-il la motivation des élèves ?**
- **Les pratiques ludiques permettent-elles une meilleure assimilation des notions présentées en classe par les apprenants ?**
- **Quelles compétences sont développées par les élèves au cours des activités lorsque celle-ci est ludifiée ?**
- **Travailler l'histoire des sciences par le jeu est-il adapté aux objectifs pédagogiques visés ?**

V – MÉTHODOLOGIE

Comme discuté précédemment, dans un but de comparaison, deux activités ont été préparées pour tester l'intérêt d'une approche ludique dans l'enseignement de l'histoire des sciences (dans le cadre de l'enseignement scientifique au niveau première). La partie traitant de l'établissement de la théorie cellulaire (dans le Thème 1 – Une longue histoire de la matière) a été abordée sous la forme d'un jeu de carte de type *Timeline* tandis que celle concernant l'Histoire de l'âge de la Terre (Thème 3 – La Terre, un astre singulier) consistait en une analyse de documents plus classique travaillée en groupes, en classe puzzle.

1. LES ACTIVITÉS PROPOSÉES

Présentation du jeu « *Timeline* » et analyse didactique

Timeline est un jeu de carte dans lequel chaque joueur reçoit un même nombre de cartes représentant différentes découvertes ou inventions. Au verso de chaque carte est indiquée la date du fait historique représenté au recto. Une carte tirée au hasard dans la pioche est placée au centre de la table, face date visible. Elle constitue le point de départ d'une frise chronologique qui devra être complétée par les joueurs. Le joueur qui commence choisit une de ses cartes. S'il pense que l'événement représenté sur sa carte est antérieur à la carte initiale, il la place à gauche de celle-ci, sinon, il la place à droite (Figure 11).



Figure 11 – Exemple de partie du jeu *Timeline* : *Historical events*

La carte est alors retournée face date visible. Si le positionnement de la carte est correct, elle reste en place, sinon, le joueur défusse sa carte et en pioche une nouvelle. La partie continue dans le sens des aiguilles d'une montre. Plus il y a de cartes de placées, plus il devient difficile pour les joueurs d'estimer la position correcte des nouvelles cartes sans faire d'erreur. Le premier joueur qui se débarrasse de toutes ses cartes est déclaré vainqueur. *Timeline* est un jeu qui fait donc intervenir déduction et connaissances.

Le jeu peut être facilement détourné à des fins pédagogiques et peut être utilisé pour développer des compétences variées (« Détourner des jeux pour les utiliser en formation : *Timeline* et *Cardline* » www.sydologie.com):

- Faire découvrir et mémoriser des dates clés ou des événements
- Replacer dans l'ordre les étapes d'une procédure technique, d'une méthode, d'un processus...
- Créer un discours argumentaire en plaçant dans le bon ordre des arguments
- Travailler les notions d'échelles en triant, du plus grand au plus petit des éléments...

Ce type de jeu se prêtait particulièrement bien à la première partie du chapitre « Une structure complexe : la Cellule vivante » dans le thème : « Une longue histoire de la matière » du programme d'Enseignement Scientifique en classe de 1^{ère}. Il est demandé pour cette partie de présenter aux élèves les différentes étapes de l'établissement de la théorie cellulaire :

Savoirs	Savoir-faire
<p>La découverte de l'unité cellulaire est liée à l'invention du microscope.</p> <p>L'observation de structures semblables dans de très nombreux organismes a conduit à énoncer le concept général de cellule et à construire la théorie cellulaire.</p> <p>Plus récemment, l'invention du microscope électronique a permis l'exploration de l'intérieur de la cellule et la compréhension du lien entre échelle moléculaire et cellulaire.</p>	<p>Analyser et interpréter des documents historiques relatifs à la théorie cellulaire.</p> <p>Situer les ordres de grandeur : atome, molécule, organite, cellule, organisme.</p>

Figure 12 – Extrait du Bulletin Officiel pour l'Enseignement Scientifique au niveau première

Les règles du jeu original *Timeline* ont été modifiées pour s'adapter aux besoins de l'activité d'enseignement :

- Le choix a été fait de faire participer les joueurs en équipes, de façon à stimuler le développement d'argumentaires entre les joueurs quant au positionnement des cartes lors de la partie. Deux équipes composées de 3-4 joueurs s'affrontent le temps de la partie
- La version classique du jeu *Timeline* contient 55 cartes, soit 55 événements différents, un nombre beaucoup trop important pour traiter du thème présenté ici « l'établissement de la théorie cellulaire ». 20 cartes ont été produites pour l'activité en classe, les règles ont donc été adaptées : en cas d'erreur du placement d'une carte sur la frise, au lieu d'en piocher une nouvelle (ce qui est impossible puisque l'ensemble de la pioche est distribué en début de partie, soit 10 cartes par équipe), la carte est replacée sous la pioche de l'équipe et sera donc re-piochée, plus tard dans la partie.
- Les cartes représentant des avancées en matière de microscopie et celles représentant des étapes dans l'établissement d'un savoir scientifique ont été distinguées en utilisant un code couleur et des symboles différents (Figure 13). Cette distinction n'impactait en rien les règles du jeu, elle n'avait pour objectif que de faire prendre conscience aux élèves l'importance des avancées techniques dans le développement de la pensée scientifique.
- Toutes les cartes comprenaient des informations, permettant aux joueurs de déduire leur position sur la frise. Ces indices comprenaient des indications relatives à l'échelle des éléments observés ou au niveau de grossissement des techniques de microscopie ainsi que les avancées dans l'établissement de la théorie cellulaire.



Figure 13 – Recto de cartes du *Timeline* sur la théorie cellulaire

Le jeu a été conçu de manière à maximiser les interactions entre les joueurs et pousser les élèves à se concentrer sur les informations présentées sur les cartes afin de (1) développer l'argumentaire des élèves et (2) de leur faire assimiler les notions importantes de ce chapitre.

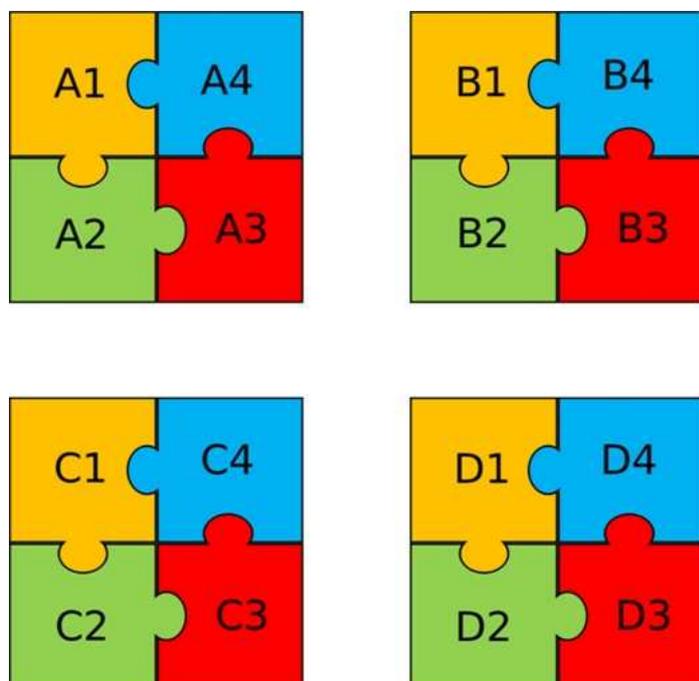
Le principe de la classe puzzle

A des fins de comparaison avec l'activité ludifiée, a été choisie une modalité d'activité permettant de mobiliser les mêmes compétences : travail en équipe, implication... La classe puzzle semblait être un mode de fonctionnement adapté. Traduction française de la méthode *Jigsaw* (Aronson, 1971), la classe puzzle met en œuvre deux éléments principaux (Darnon *et al.*, 2012) :

- La responsabilité individuelle : dans la première partie de la séance, chaque élève étudie une partie du contenu total, sa non-participation met donc en péril la réussite de l'ensemble du groupe
- L'interdépendance positive : le but final à atteindre, objectif de la deuxième partie de la séance, ne peut l'être que grâce à la coopération, car chacun a étudié une partie seulement du contenu nécessaire au travail commun.

Une séance travaillée sous la forme d'une classe puzzle est donc divisée en plusieurs temps. Les « *temps des apprentissages* » et le « *temps des experts* » (Chapuis *et al.*, 2021).

Dans la première partie de la séance les élèves sont répartis en groupes d'apprentissage (Figure 14). Ils découvrent l'objectif final de l'activité et se familiarisent avec une partie du matériel pédagogique (dans notre cas une palette de documents) spécifique de leur groupe et qui ne couvre pas l'intégralité du sujet.



Un temps est donc attribué à l'analyse de ces documents par les groupes d'apprenants, à la suite de quoi, ils deviennent des « experts ». Ces premiers groupes sont donc fractionnés et de nouveaux groupes d'experts sont assemblés (Figure 15). Au sein de ces nouveaux groupes, l'ensemble des documents est connu, fractionné entre les différents membres de ces nouveaux groupes.

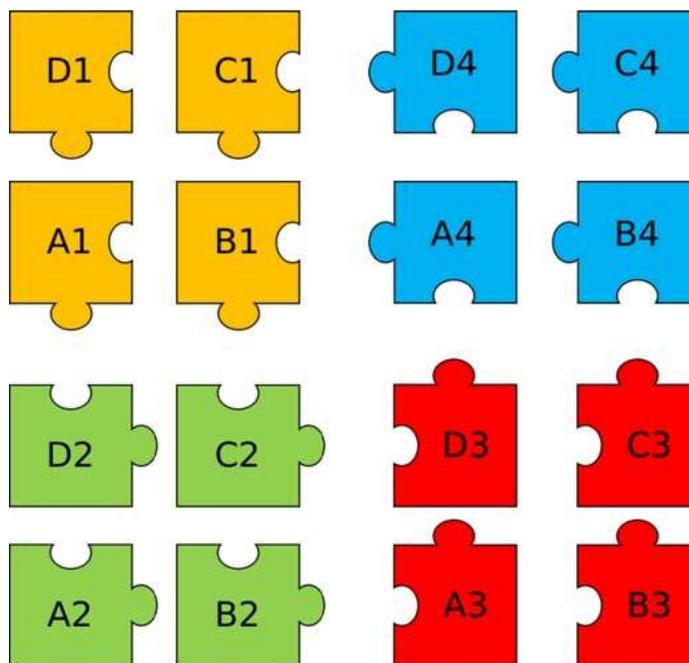


Figure 15 – Organisation de la classe en fin d'une activité travaillée en classe puzzle

Ce mode de fonctionnement nécessite une implication de l'ensemble des élèves durant la totalité de l'exercice et une bonne coopération au sein des groupes. Une phase de mise en commun, à la fin de la séance, peut être mise en place afin, pour le professeur, de vérifier que l'ensemble des connaissances/compétences qui devaient être abordés au cours de la séance l'a été par l'intégralité des groupes.

2. L'ÉCHANTILLON ET LA COLLECTE DES DONNÉES

Pour ce mémoire, ces activités ont été proposées à deux classes de niveau première dans le cadre de l'enseignement scientifique. Chaque classe étant constituée de 32 élèves c'est donc un total de 64 élèves (moins les quelques absences ponctuelles) qui a servi de groupe test à cette étude.

Afin d'évaluer l'apport des différentes approches sur la maîtrise des savoirs par les élèves, leurs connaissances sur les thèmes abordés, des tests sous la forme de QCM (Questionnaires à Choix Multiples) ont été effectués autour du travail effectué en autonomie par les apprenants en utilisant l'application *Wooclap*.

Concernant le chapitre sur la cellule et l'établissement de la théorie cellulaire, les questions posées ont été les suivantes :

1. La plus petite entité du vivant est : (1) *L'atome* ; (2) *La molécule* ; (3) *L'organite* ; (4) *La cellule*
2. Parmi ces propositions, lequel, ou lesquels de ces éléments est/sont constitué(s) d'une ou de plusieurs cellules ? : (1) *Les cristaux* ; (2) *Les bactéries* ; (3) *Les plantes* ; (4) *Les animaux*
3. Qu'est-ce que la génération spontanée ? : (1) *C'est l'apparition de cellules à partir d'autres cellules* ; (2) *C'est l'apparition de la vie à partir de matière organique, inorganique ou d'une combinaison des deux.*
4. Comment se forment les cellules ? : (1) *Toutes les cellules se forment par division cellulaire, à partir d'une cellule préexistante* ; (2) *Certaines cellules se forment par division cellulaire, d'autres se forment à partir d'éléments présents dans le milieu*
5. Quel outil a permis l'étude des cellules ? : (1) *Le télescope* ; (2) *Le stéthoscope* ; (3) *Le microscope* ; (4) *La loupe binoculaire*
6. Classer ces techniques de microscopie, du grossissement le plus faible au grossissement le plus important : (1) *Microscopie optique* ; (2) *Microscopie optique à transmission* ; (3) *Microscopie optique à balayage*

Pour ce qui est du chapitre sur l'âge de la Terre :

1. A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de : (1) *Quelques milliers d'années* ; (2) *Quelques dizaines de milliers d'années* ; (3) *Quelques centaines de milliers d'années* ; (4) *Quelques millions d'années*
2. Les premières approches utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontent au XVI^e siècle : (1) *Vrai* ; (2) *Faux*
3. L'histoire de l'âge de la Terre s'est construite : (1) *Sur des expériences et des observations géologiques* ; (2) *Sur des modèles mathématiques et des expériences* ; (3) *Sur des observations géologiques et des modèles mathématiques* ; (4) *Sur des modèles mathématiques, des expériences et des observations géologiques*

4. L'âge de la Terre : (1) Est connu depuis l'antiquité ; (2) A fait l'objet de travaux impliquant de nombreuses disciplines au cours des siècles ; (3) Est de 3 milliards d'années ; (4) A fait l'unanimité dès les premières estimations scientifiques
5. Le naturaliste Charles Darwin a estimé l'âge de la Terre à plusieurs centaines de millions d'années en s'appuyant sur : (1) Le refroidissement de boulets de canon ; (2) Un comptage de générations dans les textes bibliques ; (3) Un comptage de tortues aux îles Galapagos ; (4) La nécessité de considérer des échelles de temps très grandes pour comprendre l'évolution des espèces biologiques
6. Parmi les approches suivantes pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au XIXe siècle : (1) Le calcul du temps nécessaire à la formation des ensembles de roches sédimentaires ; (2) Le calcul du temps nécessaire au refroidissement de la Terre ; (3) Le calcul du temps nécessaire à l'obtention de rapports en isotopes du plomb mesurés dans des roches ; (4) Le calcul du temps nécessaire à l'obtention du taux de salinité des océans

Ces deux questionnaires ont été proposés aux élèves à deux reprises :

- Au début des chapitres concernés afin de servir d'évaluation diagnostique. Les élèves n'avaient alors ni accès à la réponse exacte à la question, ni accès aux réponses de leurs camarades afin de pas influencer leurs votes
- Quelques semaines après l'activité concernée, afin de tester la mémorisation sur le long terme des notions travaillées. Là encore, afin de ne pas orienter leurs votes, les choix des participants ne s'affichaient pas afin de ne pas influencer le scrutin. Les réponses exactes étaient cependant cette fois révélés une fois le vote terminé pour chaque question.

Il est important ici de noter qu'au vu des absences lors des séances ayant servi à la collecte de données pour cette étude et des contraintes matérielles (compatibilité des téléphones des élèves à l'application *Wooclap*, disponibilité de connexion, problème dans la prise en main de l'application...) l'ensemble des apprenants n'a pas pu participer à cette phase.

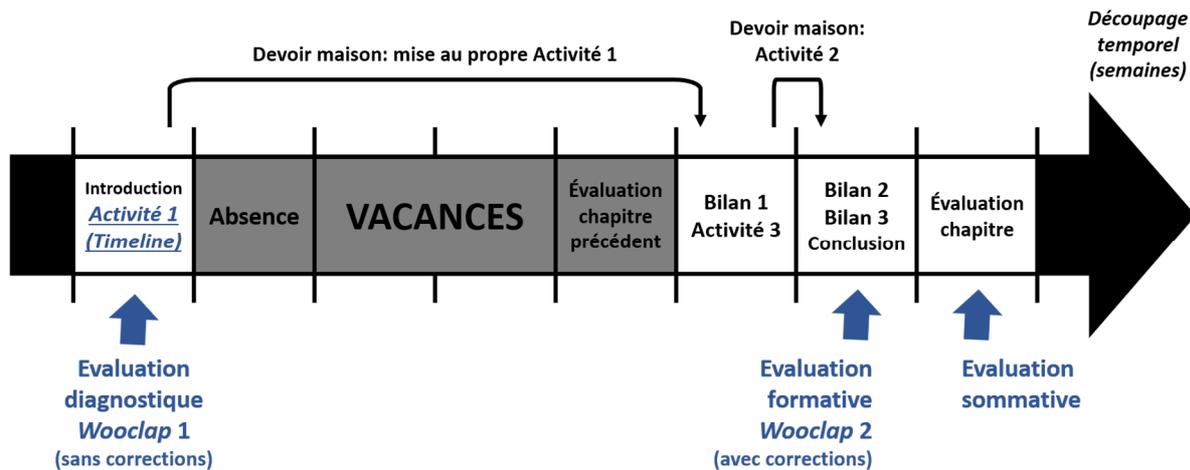


Figure 16 – Découpage temporel du chapitre « Une structure complexe : la cellule vivante »

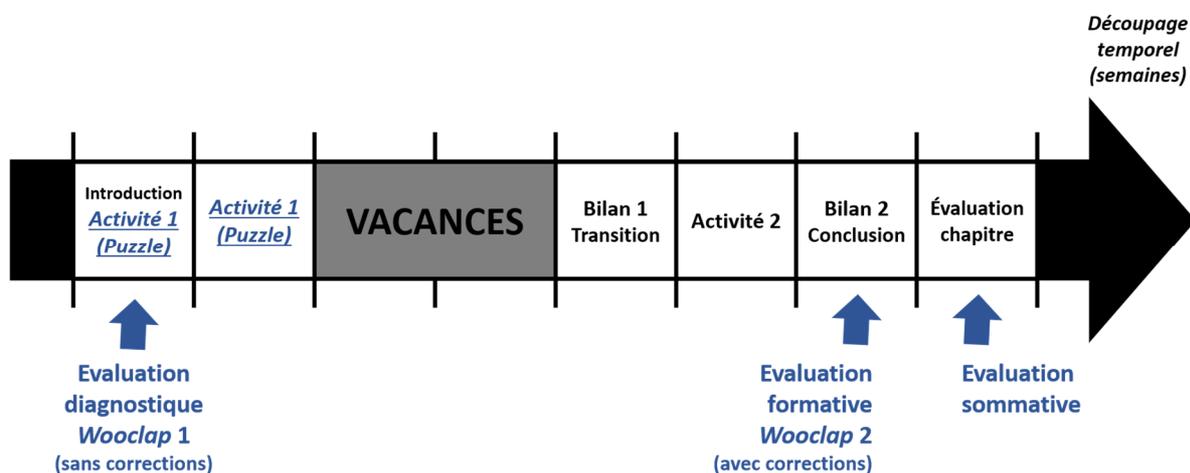


Figure 17 – Découpage temporel du chapitre « L'histoire de l'âge de la Terre »

Un premier biais apparaît ici inhérent aux contraintes liées à la programmation des séances de cours et au temps nécessaire à la mise en place des différentes activités (figures 16 et 17). Une partie de *Timeline* prend environ 15 minutes sans compter l'explication des règles, qui sont simples. L'intégralité de l'activité peut donc avoir lieu au cours d'une séance de cours (55 minutes). Pour ce qui est de la classe puzzle, le temps de présenter les consignes, organiser les groupes et laisser les élèves se familiariser avec les corpus documentaires la première séance est écoulee. Une deuxième séance est donc nécessaire pour la refonte des groupes et le temps d'échange des groupes d'experts. De plus, à l'échelle de la séquence, l'articulation avec les autres séquences, les vacances, les séances qui n'ont pas lieu pour cause d'absence... instaurent nécessairement d'autres disparités dont il faudra tenir compte au moment de l'analyse des données.

Pour compléter ce jeu de données, une série d'observations a été réalisée par le professeur. Aussi bien pour évaluer le comportement des élèves (engagement, appréhension de l'échec, stratégie de résolution...) que la compréhension des notions abordées (distinction entre technique et savoirs, utilisation des informations sur les cartes...). Le ressenti des élèves, concernant les deux modalités de travail, et les bénéfices tirés de ces différentes modalités, a également été exploré via quelques questions sous forme de QCMs auxquels les élèves avaient à répondre en ligne, via *Wooclap*. Ces questionnaires ont été complétés par les élèves après les différentes activités, en même temps que les évaluations formatives.

CHAPITRE SUR LA THÉORIE CELLULAIRE	CHAPITRE SUR L'ÂGE DE LA TERRE
Selon vous, arriver à la production d'une frise chronologique à partir de l'activité proposée était :	Selon vous, arriver à un classement chronologique des différentes méthodes utilisées pour estimer l'âge de la Terre à partir de l'activité proposée était :
Très facile Facile Difficile Très difficile	
Pour les chapitres concernant l'histoire des sciences et le développement du savoir scientifique vous préférez :	Pour les chapitres concernant l'histoire des sciences et le développement du savoir scientifique vous préférez :
Une activité sous forme de jeu Une étude de documents Une vidéo	
Si vous deviez évaluer votre intérêt pour cette activité Timeline sur la théorie cellulaire :	Si vous deviez évaluer votre intérêt pour cette activité d'analyse de documents sur l'estimation de l'âge de la Terre :
Très intéressé(e) Intéressé(e) Neutre Peu intéressé(e) Sans intérêt	
Selon vous la présentation des informations sous la forme d'un jeu vous a-t-elle permis de comprendre les notions présentées ?	Selon vous la présentation des informations sous la forme d'une analyse de documents vous a-t-elle permis de comprendre les notions présentées ?
Oui Non Je ne sais pas	

Tableau 1 – Questionnaires pour évaluer le ressenti des élèves par rapport aux activités proposées

Un lot de 4 questions a été proposé aux élèves de façon à évaluer la perception des élèves des deux types d'activités qui leurs ont été proposées. Bien que présentant de légères variations, les questions avaient été pensées de manière à évaluer les mêmes notions (Tableau 1).

La note donnée aux examens des deux chapitres concernés sera également évoquée dans ce mémoire puisqu'elle constitue une valeur chiffrée se voulant représentative de la compréhension du chapitre par l'apprenant. Toutefois, lors de l'interprétation de ces résultats il faudra garder en mémoire que (1) au regard des lacunes de certains élèves concernant une partie des notions abordées, la difficulté des chapitres était différente et (2) les modalités d'évaluation étaient distinctes. Cela introduit un deuxième biais dans les données qu'il faudra garder à l'esprit au moment de la discussion des résultats.

3. OUTILS MATHÉMATIQUES POUR LE TRAITEMENT DES DONNÉES

L'analyse statistique des données a été majoritairement réalisée avec le logiciel Excel. En revanche, les Analyses en Composantes Principales (ACPs) ont été faites avec le logiciel PAST (Hammer *et al.*, 2001).

Le jeu de données est parfois parcellaire (problème de connexion des téléphones en cours de session, non-réponse à certaines questions dans le temps imparti...), les données manquantes n'ont pas été extrapolées. L'intégralité des données a été exploitée dans le cadre de ce mémoire.

Comparaison des moyennes, distribution des notes et écarts types

Plusieurs jeux de données ont été analysés pour ce mémoire (résultats aux tests *Wooclap* avant et après les activités, résultats des évaluations sommatives).

Afin de comparer ces moyennes, a été utilisé le test de Student (également appelé *test t* ou *distribution t*; Gosset, 1908). L'objectif de ce test est de mesurer les différences entre les moyennes de deux groupes. On part ici d'une hypothèse nulle : les deux moyennes que l'on compare sont similaires. Si cette hypothèse est fautive, alors l'inférence est qu'il existe des différences entre ces moyennes qui peuvent être le fruit, ou non, du hasard. L'objectif du test

de Student est de vérifier l'influence de l'aléatoire dans les différences existant entre deux moyennes, pour ce faire, l'outil mathématique du test de Student fournit une « valeur p ». Cette valeur est le résultat qui permet de savoir si la différence entre les moyennes est statistiquement significative ou non. On considère généralement que si la valeur p est inférieure à 5% ($=0,05$), alors les deux moyennes sont significativement différentes. Ce test de Student a été fait sous Excel en utilisant la fonction *T.TEST* pour une distribution unilatérale de deux échantillons de variances différentes (hétéroscédastique). La distribution unilatérale permet de tester une différence de moyenne, en supposant un shift d'une des moyennes vers des valeurs plus élevées ou plus faibles.

Pour compléter les informations offertes par les tests de Student la répartition des notes au sein des moyennes a été analysée, couplée à l'écart type, ces données permettent d'étudier la dispersion des valeurs au sein de l'échantillon.

Analyses en composante principale

L'objectif d'une Analyse en Composante Principale (ou ACP) est de transformer des variables liées entre elles en variables décorrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables (nommées « *composantes principales* ») permettent de résumer l'information contenue dans un tableau de données en réduisant le nombre de variables. Cette analyse permet, via une représentation graphique adaptée, d'établir des ressemblances entre des jeux de données (ici entre des profils d'élèves).

Il s'agit d'une méthode exploratoire menant à la proposition d'hypothèses sur l'analyse des données. Les axes obtenus par ACP correspondent à des combinaisons de variables qui permettent d'expliquer les données. Dans un graphique de résultats d'ACP, sont projetés les valeurs obtenues pour deux de ces axes. Afin de pouvoir analyser ces résultats il est donc nécessaire (1) d'identifier le poids des différentes variables analysées (ici les différentes questions proposées aux élèves lors des tests *Wooclap*) qui définissent les axes et (2) d'observer la répartition des différents profils (les élèves) au sein du graphique obtenu. Il est parfois possible de relever des profils d'individus (marqués par des regroupements de données au sein de l'espace bidimensionnel défini par les axes du graphique) et d'attribuer à ces profils des variables explicatives (en fonction des axes utilisés).

VI – ANALYSE DES RÉSULTATS

L'ensemble des résultats obtenus et analysés pour ce mémoire sont fournis en annexe.

1. RÉSULTATS DES TESTS WOOLAP

Les réponses aux questionnaires proposés via l'application *Wooclap* fournissent une base de données conséquente. Ces tests ayant été réalisés en amont et en aval des activités, dont l'intérêt pédagogique était évalué dans le cadre de ce mémoire, il est possible d'effectuer des comparaisons.

Si l'on considère l'ensemble des notes

Les moyennes des tests *Wooclap* montrent une augmentation pour les deux chapitres considérés :

	MOYENNE (/6)	
	Avant l'activité	Après l'activité
Chapitre Théorie cellulaire	2,83333333	3,09615385
Chapitre Age de la Terre	2,93220339	3,86792453

Tableau 2 – Moyennes des notes (sur 6) obtenues par les élèves aux tests *Wooclap* réalisés avant et après les différentes activités

A noter que l'amélioration des résultats est plus significative sur le chapitre concernant l'établissement de l'âge de la Terre, où la partie *Histoire des sciences* a été traitée par analyse de documents et pour laquelle presque un point (sur 6) de moyenne a été gagné entre les deux tests. Cette augmentation est bien moindre pour ce qui est du chapitre sur la Théorie cellulaire, où l'aspect épistémologique du chapitre a été travaillé sous la forme d'un jeu de type *Timeline*. Les tests de Student réalisés pour ces deux jeux de données mènent à des valeurs de p de 0,12697 ($>0,05$ donc non significatif) pour les notes du chapitre sur la théorie cellulaire et de 0,00068 ($<0,05$ donc significatif) pour celles du chapitre sur l'âge de la Terre.

Au-delà de l'analyse des moyennes il est possible de s'intéresser à la répartition des notes. Si l'on s'intéresse à l'écart type :

	ECART TYPE	
	Avant l'activité	Après l'activité
Chapitre Théorie cellulaire	1,20803543	0,95506114
Chapitre Age de la Terre	1,58510749	1,4282552

Tableau 3 – Ecart types des notes obtenues par les élèves aux tests *Wooclap* réalisés avant et après les différentes activités

On peut observer que, dans les deux chapitres, la dispersion des résultats est plus importante pour le chapitre sur l'âge de la Terre que pour celui sur la théorie cellulaire et ce, avant et après avoir réalisé l'activité. On note dans les deux cas une diminution de l'écart type, une fois l'activité réalisée, et cette diminution est plus importante pour l'activité travaillée sous la forme d'un jeu. Cette modification de la répartition des notes peut facilement être mise en évidence graphiquement.

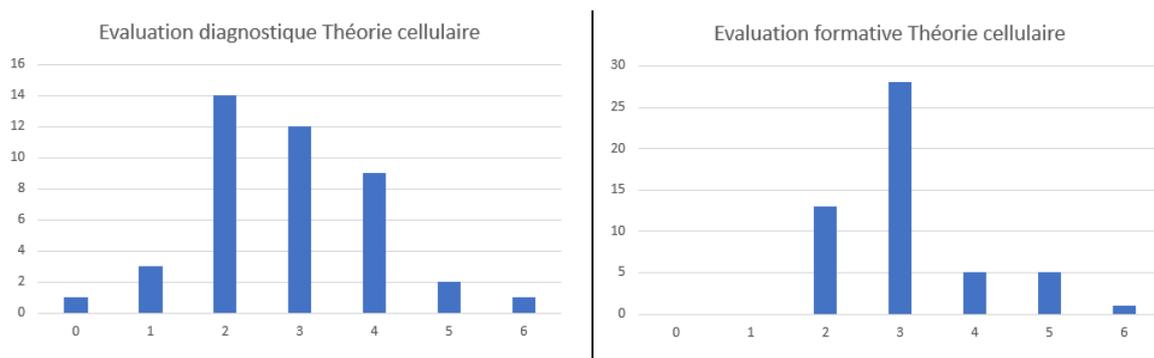


Figure 18 – Diagramme de répartition des notes obtenues aux tests *Wooclap* avant et après l'activité sous forme de jeux dans le cadre du chapitre sur l'établissement de la théorie cellulaire

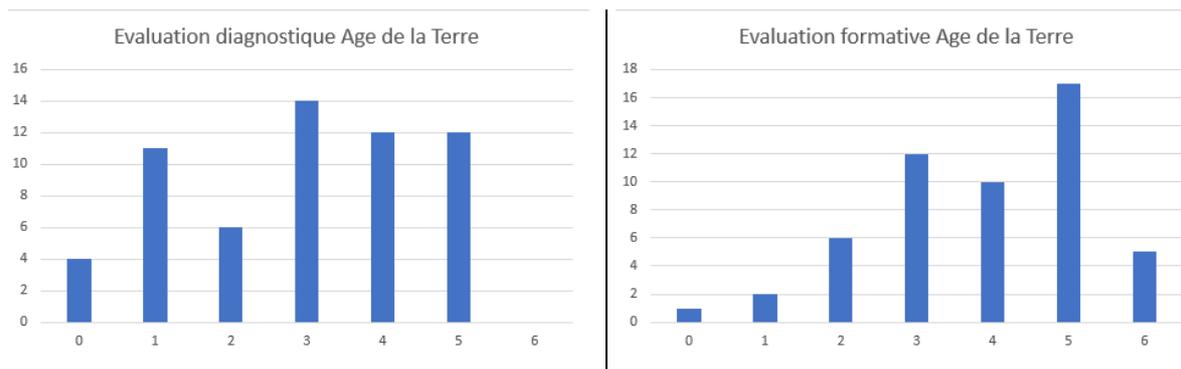


Figure 19 – Diagramme de répartition des notes obtenues aux tests *Woodclap* avant et après l’activité sous forme d’analyse de documents dans le cadre du chapitre sur l’établissement de l’âge de la Terre

Si l’on combine les informations extraites de ces deux analyses on peut résumer comme suit :

- Le travail du chapitre qui concernait l’établissement de la théorie cellulaire sous la forme de jeu n’a pas mené à une augmentation significative des notes mais plutôt à un resserrement de celles-ci autour de la moyenne (3/6).
- Le travail du chapitre sur l’âge de la Terre, travaillé sous la forme d’une analyse de documents a entraîné une augmentation des notes de d’ensemble des élèves ainsi qu’un resserrement des résultats autour de la note de 5/6.

Dans le détail des notes

Il est possible d’analyser les résultats des élèves aux différentes questions. Une représentation sous la forme d’histogrammes empilés 100% représentant les réponses correctes et incorrectes aux différentes évaluations (figures 20 et 21).

Les résultats apparaissent ici très mitigés avec quelques réussites, où certaines notions (3 sur 6) montrent une amélioration de la compréhension par les apprenants, mais pour d’autres, l’activité semble au contraire avoir introduit de la confusion dans l’esprit des élèves. C’est particulièrement le cas pour ce qui est du concept de génération spontanée et de l’origine des cellules. Deux notions pourtant proches mais pour lesquels on observe respectivement une baisse importante des résultats (de 59,52% de réponses correctes à 34,62%) et une amélioration des résultats (de 40,48% à 66,67%) après le travail sur l’activité.



Figure 20 – Réponses aux différentes questions des tests *Wooclap* avant et après l'activité ludifiée. Les résultats ont été ramenés à 100%. Afin de faciliter la lecture de ce graphique, les différentes questions ont été résumées aux notions concernées - La notion de cellule = La plus petite entité du vivant est ... - La pluricellularité = Parmi ces propositions, lequel, ou lesquels de ces éléments est/sont constitué(s) d'une ou de plusieurs cellules ? - La génération spontanée = Qu'est-ce que la génération spontanée ? - La formation des cellules = Comment se forment les cellules ? - Etude des cellules = Quel outil a permis l'étude des cellules ? - Microscopie = Classer ces techniques de microscopie, du grossissement le plus faible au grossissement le plus important ...

Pour ce qui est des résultats concernant la partie sur l'âge de la Terre, travaillée sous la forme d'une analyse de documents en classe puzzle, on observe une amélioration des résultats pour davantage des concepts travaillés (4 sur 6), notamment pour quelques notions nouvelles, jusque-là très abstraites pour les élèves (l'utilisation des isotopes radioactifs pour la datation absolue) où l'augmentation des réponses correctes est significative (passant de 6.38% à 42.55%). Quelques confusions sont néanmoins nées du travail de l'activité comme le montre la réponse à la question 5, sur l'estimation de l'âge de la Terre réalisée par Darwin. Cette approche était évoquée dans l'un des corpus documentaires, elle a semble-t-il pourtant été confondue avec d'autres méthodes de datation présentées dans les documents, d'où une diminution des réponses correctes pour cette question (passant de 84,78% à 62,5%).

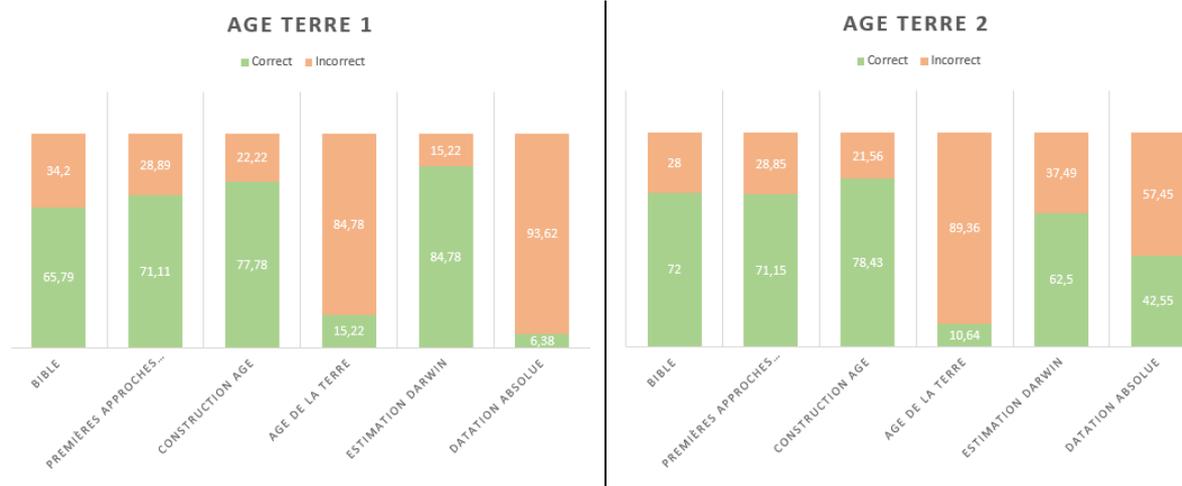


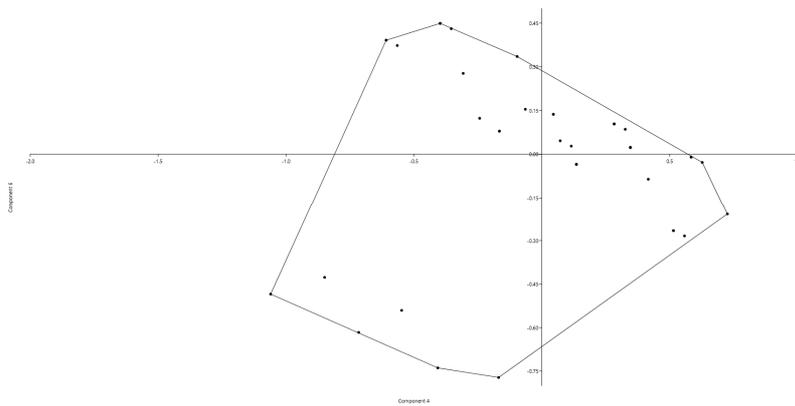
Figure 21 – Réponses aux différentes questions des tests *Wooclap* avant et après l'activité d'analyse de documents. Les résultats ont été ramenés à 100%. Afin de faciliter la lecture de ce graphique, les différentes questions ont été résumées aux notions concernées – La Bible = A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de ... - Les premières approches scientifiques = Les premières approches utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontent au XVI^e siècle ... - La construction de l'âge = L'histoire de l'âge de la Terre s'est construite ... - L'âge de la Terre ... - L'estimation de Darwin = Le naturaliste Charles Darwin a estimé l'âge de la Terre à plusieurs centaines de millions d'années en s'appuyant sur ... - La datation absolue = Parmi les approches suivantes pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au XIX^e siècle ...

Résultats des Analyses en Composantes Principales

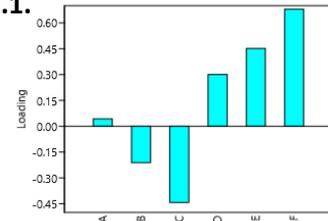
Les Analyses en Composantes Principales n'apportent que peu d'information complémentaires mais viennent confirmer certaines des observations précédemment réalisées (Figures 22 et 23).

Bien que non significatifs, les résultats d'ACPs sur les résultats obtenus lors des évaluations *Wooclap* tendent vers une diminution de la dispersion des points (et donc des notes) après le travail des notions de cours via les différentes activités. Un point qui avait déjà été mis en évidence par l'étude des écart-types ainsi que de la répartition des notes.

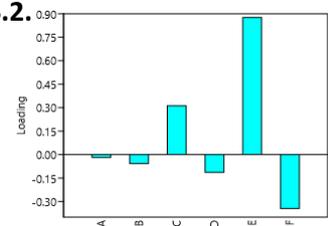
A.



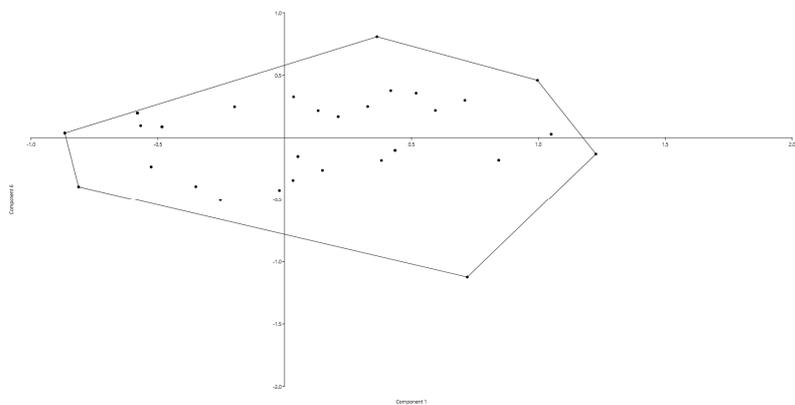
B.1.



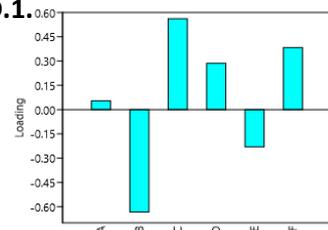
B.2.



C.



D.1.



D.2.

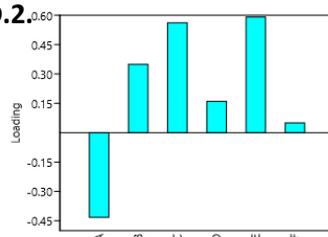


Figure 22 – Résultats d'ACP effectuées sur les résultats obtenus aux évaluations *Wooclap* avant (**A.**) et après (**C.**) l'activité pour le chapitre sur l'établissement de la théorie cellulaire. Le poids de chaque variable dans la constitution des axes est donné en **C. (1. et 2.)** et en **D. (1. et 2.)**. Les variables (A, B, C, D, E et F) correspondent aux différentes questions posées lors de l'évaluation *Wooclap*. Les axes ont été sélectionnés de manière à pondérer de façon similaire les différentes variables (avec un focus sur les questions relatives à l'histoire des sciences) et ainsi permettre une comparaison des résultats.

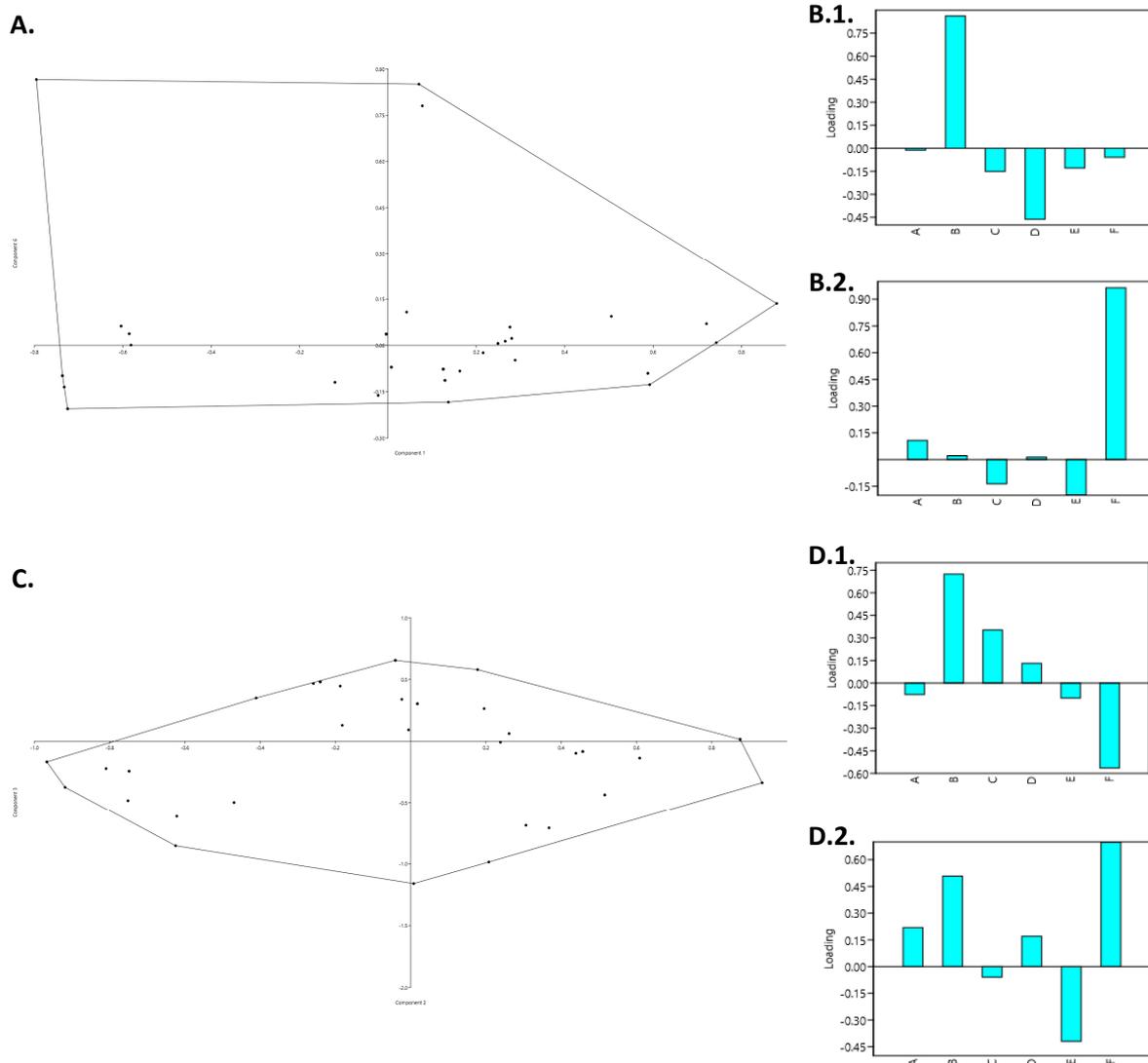


Figure 23 – Résultats d’ACP effectuées sur les résultats obtenus aux évaluations *Wooclap* avant (A.) et après (C.) l’activité pour le chapitre sur l’âge de la Terre. Le poids de chaque variable dans la constitution des axes est donné en C. (1. et 2.) et en D. (1. et 2.). Les variables (A, B, C, D, E et F) correspondent aux différentes questions posées lors de l’évaluation *Wooclap*. Les axes ont été sélectionnés de manière à pondérer de façon similaire les différentes variables (avec un focus sur les questions relatives à l’histoire des sciences) et ainsi permettre une comparaison des résultats.

2. RÉSULTATS DES ÉVALUATIONS SOMMATIVES DE FIN DE CHAPITRES

Dans un souci d’exhaustivité, je fais le choix de présenter ici les résultats obtenus aux évaluations finales de chacun des chapitres concernés par ce mémoire. Il faut bien garder à l’esprit que les modalités d’évaluation de chaque chapitre étaient très différentes et que la comparaison de ces résultats est donc à faire prudemment.

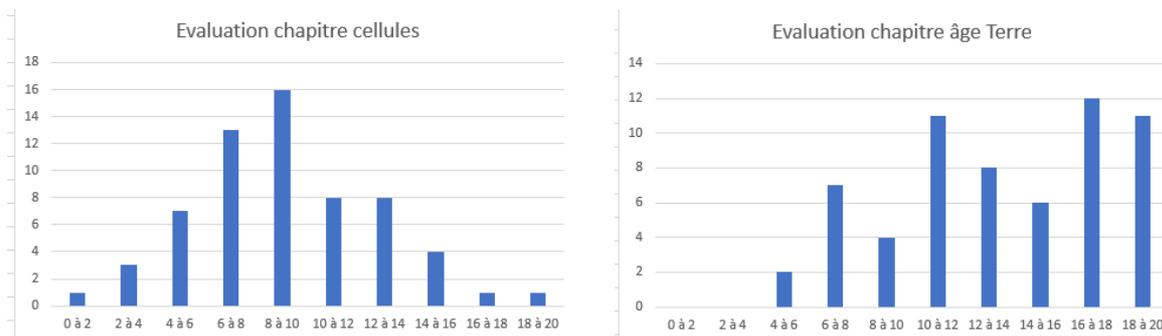


Figure 23 – Diagramme de répartition des notes obtenues aux évaluations de fins de chapitres

On observe que les notes obtenues au chapitre sur l’âge de la Terre sont largement supérieures à celles obtenues sur celui concernant l’établissement de la théorie cellulaire où la majorité des notes obtenues tournent autour de 10. Ces observations sont confirmées par les calculs des moyennes et des écarts-types :

	Moyenne	Ecart-type
Chapitre Théorie cellulaire	9,20634921	3,79822212
Chapitre Age de la Terre	13,3790323	4,22005893

Tableau 4 – Moyennes et écarts-types obtenus aux évaluations sommatives terminales pour chacun des chapitres

Ces résultats sont probablement en grande partie à attribuer aux modalités d’évaluations des différents chapitres ce qui introduit inévitablement un biais. Le chapitre traitant de l’établissement de la théorie cellulaire a été évalué sous la forme d’une analyse de documents, non pas focalisée sur l’aspect histoire des sciences mais sur la membrane plasmique : un type d’exercice peu apprécié des élèves doublé d’une notion complexe. Le chapitre sur l’âge de la Terre quant à lui a été évalué via une dissertation devant présenter l’établissement d’un savoir scientifique. Ce type d’exercice est généralement apprécié et pour lesquelles moins de réflexion et plus de récitation est généralement fourni par les élèves. Il est important de garder ces différences à l’esprit pour interpréter ces résultats.

3. ÉVALUATION DE L'EXPÉRIENCE DES ÉLÈVES

Le ressenti des élèves a été investigué en utilisant deux méthodes :

- Une interrogation directe des élèves, en utilisant l'outil *Wooclap*, associé aux tests servant d'évaluations formatives
- Des observations réalisées en classe pendant les activités élèves par le professeur.

Le petit questionnaire rempli par les élèves permet d'avoir une vision de l'appréhension des deux modalités de travail par les élèves. A noter que, dans la chronologie de la progression annuelle du programme d'enseignement scientifique, la partie sur la cellule et l'établissement de la théorie cellulaire (avec l'activité ludifiée) a été réalisée en classe avant celle sur l'âge de la Terre (travaillée sous la forme d'une étude de documents). Les questions posées aux élèves afin d'estimer leur ressenti étant sensiblement les mêmes à chaque fois il apparaît intéressant de comparer l'évolution de certaines réponses au cours de l'année.

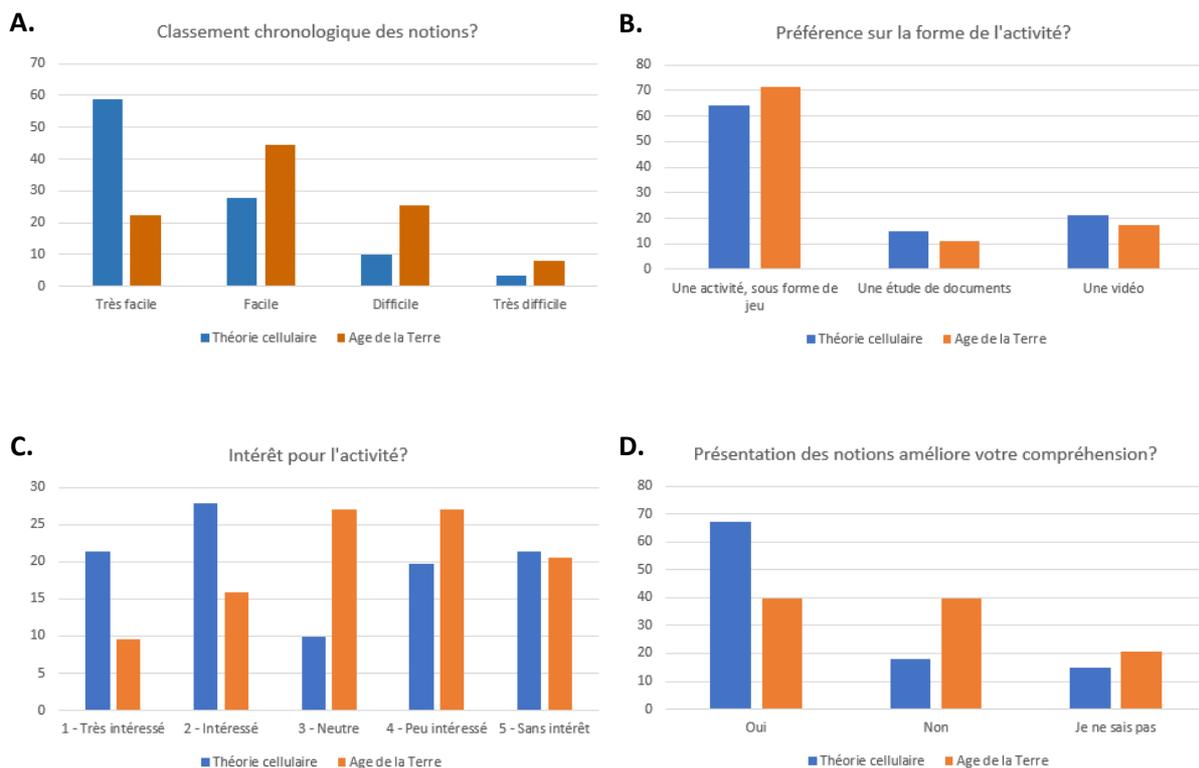


Figure 24 - Diagramme des réponses aux tests *Wooclap* sur le ressenti des élèves, en fonction des différents types d'activités, concernant **A.** La production d'un classement chronologique des notions ; **B.** Leur préférence pour traiter un chapitre sur l'histoire des sciences ; **C.** L'intérêt des élèves pour les activités proposées ; **D.** Leur compréhension des notions présentées en fonction de la modalité de travail proposée.

Classer chronologiquement les notions

A la question « *Selon vous, arriver à un classement chronologique des différents éléments à partir de l'activité proposée était :* » les élèves éprouvent davantage de facilité à établir une chronologie des événements à partir de l'activité ludifiée (où les dates étaient clairement présentées) qu'à partir de l'analyse de documents (où les dates correspondant aux différentes découvertes/avancées étaient à rechercher dans les documents).

Préférence sur la forme des activités

A la question « *Pour les chapitres concernant l'histoire des sciences et le développement du savoir scientifique quel type d'activité préférez-vous ?* », l'activité sous forme de jeu arrive largement en tête. Vient ensuite le format de capsule vidéo puis l'analyse de documents, plus classique, peu plébiscitée par les apprenants. Il est intéressant de noter que les résultats évoluent quelque peu au cours du temps. Ainsi, le travail sous la forme d'un jeu semble gagner davantage de faveurs auprès des élèves après comparaison avec l'analyse de documents (au détriment des deux autres modalités proposées).

Intérêt des élèves pour l'activité

Si l'intérêt porté par les élèves à l'analyse de documents est majoritairement faible, les résultats sont beaucoup plus clivants en ce qui concerne l'activité sous forme de jeu (ce qui est étrange quand on se réfère aux résultats de la préférence des élèves). L'activité sous forme de jeu ne laisse en tout cas pas les élèves indifférents puisque le résultat minimal est obtenu pour la réponse « *Neutre* ».

Influence de la forme des activités sur la compréhension

Les résultats sont ici très variables entre les deux modalités. Les résultats pour l'analyse de documents ne permettent pas de dégager une tendance puisqu'autant d'élèves pensent que cette modalité améliore leur compréhension que d'élèves qui estiment que ce n'est pas le cas. Les résultats sont beaucoup plus nets pour ce qui est de l'activité ludifiée puisque la très grande majorité des apprenants estiment que ce type permet un meilleur apprentissage. Un

résultat contradictoire aux notes obtenues aux différentes évaluations formatives ou sommatives.

Les observations faites par le professeur

Au cours de la mise en œuvre des différentes activités, des observations ont pu être effectuées en classe concernant le comportement des élèves, leur appréhension des activités...

- **Concernant l'implication des élèves** : les élèves semblent plus impliqués dans l'activité ludique que dans l'analyse de documents pour laquelle la mise au travail est lente et chaotique. Une fois lancés dans leur partie de *Timeline*, les élèves sont concentrés sur la tâche à accomplir. Lors de l'activité sous forme de classe puzzle il est nécessaire de passer dans les rangs afin de remobiliser les élèves, car la mise au travail peut être compliquée.
- **Concernant le fonctionnement des groupes/équipes** : Dans le format classe puzzle, le travail de groupe, quand il n'est pas dysfonctionnel (mésentente dans le groupe, travail d'un nombre limité d'élève...) est généralement asymétrique, avec une quantité variable de travail fourni par les différents membres du groupe. Dans un travail sous forme de jeu, même si quelques individualités peuvent émerger, la place de chaque joueur dans l'équipe est mieux respectée et les échanges sont nombreux et généralement bidirectionnels. Des conflits peuvent néanmoins apparaître lorsqu'un élève s'octroie le rôle de « *leader* » et que ses décisions ne sont pas en accord avec le reste de ses coéquipiers.
- **Concernant l'appréhension de l'échec** : La difficulté d'une analyse de document s'avère importante pour certains élèves avec des lacunes et ces derniers préfèrent généralement ne pas s'investir dans l'activité. Dans le cadre d'un jeu, les apprenants ne considèrent pas l'échec comme un écueil ou un recul dans leur progression. Aucun sentiment négatif n'émerge d'un échec au cours de la partie (et rarement d'une défaite, sauf pour les élèves les plus compétitifs). Une déception est très vite passée (en raison du rythme rapide de la partie) et les quelques moqueries des camarades renforcent au contraire la compétition.

- **Concernant la compréhension des notions présentées dans le matériel pédagogique :** Réussir l'analyse de documents nécessite une concentration importante et une lecture attentive des documents proposés. Dans le cadre d'une partie de jeu de type *Timeline* si certains joueurs se reposent sur la chance pour avancer dans la partie, la plupart des équipes tentent d'exploiter les quelques informations présentées sur les cartes afin de progresser dans le jeu. Cela mène à des discussions et des argumentations entre les élèves afin de trouver le placement idéal de chaque carte.
- **Concernant l'autonomie des groupes :** Comme le jeu suscite l'intérêt des élèves, ces derniers sont attentifs lors de la présentation des règles et, une fois lancés, travaillent facilement en autonomie. Dans le cadre d'un travail sous la forme d'une analyse de documents, la place du professeur se doit d'être plus proéminente. Il est nécessaire de circuler dans la classe afin de rappeler les consignes, d'orienter les élèves dans leur réflexion et de lever d'éventuels points de blocages.

VII – DISCUSSION

Les résultats aux différents tests (diagnostiques, formatifs et sommatifs) associés aux ressentis des élèves ainsi qu'aux observations effectuées en classe permettent d'évaluer les avantages et les inconvénients des deux modalités pédagogiques. Un focus sera apporté aux intérêts de ces deux méthodes dans le cadre de l'enseignement de l'Histoire des sciences. Il apparaît donc important, avant toute chose de vérifier la cohérence de ces deux modes de fonctionnement au regard des programmes.

1. ÉVOLUTION DE LA PLACE DE L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS LES PROGRAMMES DE SVT

Si les modalités pédagogiques des deux activités analysées pour ce mémoire sont différentes, les thèmes travaillés sont relatifs à l'histoire des sciences. De ce fait, il semble intéressant de regarder la cohérence de ces activités au regard des programmes officiels de SVT. Si l'on examine l'évolution du traitement de l'histoire des sciences dans les derniers programmes (de 1999 à 2019) on observe un changement dans la présentation de ces notions.

Dans le programme de première publié en 2000, pour la partie sur la tectonique des plaques on peut lire :

« La tectonique des plaques et les modèles de la structure et de la dynamique interne de la Terre fournissent un cadre de réflexion qui s'enrichit et évolue au fur et à mesure de l'accumulation des données. La démarche des scientifiques vise en permanence à enrichir les modèles de Terre, à les critiquer et donc à les faire évoluer pour parfaire la description du fonctionnement et de l'évolution de la planète qui est un système complexe. »

- Extrait du programme de SVT de première S (2000)

Si cet extrait traduit la progressivité de la construction savoir scientifique, dans la pratique, sont précisés les points historiques que le professeur doit présenter aux élèves :

« Les fondements de la tectonique des plaques (Wegener et la dérive des continents, Vine et Matthews) : lecture critique de documents historiques. »

- Extrait du programme de SVT de première S (2000)

Ainsi, la construction de la théorie de la tectonique des plaques dans ce programme, si elle n'est pas complètement réduite à une succession d'étapes clés, peut néanmoins confondre les élèves et les mener à penser que le savoir scientifique se résume à quelques « grandes découvertes ». Les programmes suivants donnent des précisions quant à la façon d'aborder l'histoire des sciences avec les élèves, ici un extrait du programme de seconde :

« La pratique de démarches historiques

L'approche historique d'une question scientifique peut être une manière originale de construire une démarche d'investigation. L'histoire de l'élaboration d'une connaissance scientifique, celle de sa modification au cours du temps, sont des moyens utiles pour comprendre la nature de la connaissance scientifique et son mode de construction, avec ses avancées et éventuelles régressions. Il conviendra de veiller à ce que cette approche ne conduise pas à la simple évocation d'une succession événementielle et à ne pas caricaturer cette histoire au point de donner une fausse idée de la démonstration scientifique : si certains arguments ont une importance historique majeure, il est rare qu'un seul d'entre eux suffise à entraîner une évolution décisive des connaissances scientifiques ; de même, il serait vain de prétendre faire « réinventer » par les élèves, en une ou deux séances, ce qui a nécessité le travail de plusieurs générations de chercheurs. »

- Extrait du programme de SVT de seconde (2010)

La partie sur la tectonique des plaques, présentée en première scientifique, est bien plus développée dans ce nouveau programme et utilisée pour présenter aux élèves la construction d'un savoir scientifique :

« La tectonique des plaques : l'histoire d'un modèle

Les grandes lignes de la tectonique des plaques ont été présentées au collège. Il s'agit, en s'appuyant sur une démarche historique, de comprendre comment ce modèle a peu à peu été construit au cours de l'histoire des sciences et de le compléter. On se limite à quelques étapes significatives de l'histoire de ce modèle.

L'exemple de la tectonique des plaques donne l'occasion de comprendre la notion de modèle scientifique et son mode d'élaboration. Il s'agit d'une construction intellectuelle hypothétique et modifiable. Au cours du temps, la communauté scientifique l'affine et le précise en le confrontant en permanence au réel. Il a une valeur prédictive et c'est souvent l'une de ces

prédictions qui conduit à la recherche d'un fait nouveau qui, suivant qu'il est ou non découvert, conduit à étayer ou modifier le modèle. La solidité du modèle est peu à peu acquise par l'accumulation d'observations en accord avec lui. Les progrès techniques accompagnent le perfectionnement du modèle tout autant que les débats et controverses.

NB - À partir de l'exemple de la tectonique des plaques, les élèves seront conduits à comprendre quelques caractéristiques du mode de construction des théories scientifiques. »

- Extrait du programme de SVT de première Scientifique

L'accent est ici mis sur la progressivité de la construction du savoir avec, plutôt que des étapes clés, un fractionnement, l'établissement du modèle de la tectonique des plaques est divisé en période de temps, au cours desquelles des avancées significatives ont été réalisées :

- *La naissance de l'idée*
- *L'interprétation actuelle des différences d'altitude moyennes entre les continents et les océans*
- *L'hypothèse d'une expansion océanique et sa confrontation à des constats nouveaux*
- *Le concept de lithosphère et d'asthénosphère*
- *Un premier modèle global : une lithosphère découpée en plaques rigides*
- *Le renforcement du modèle par son efficacité prédictive*
- *L'évolution du modèle : le renouvellement de la lithosphère océanique*

- Extrait du programme de SVT de première Scientifique

Dans les programmes de 2019, la démarche historique n'est plus qu'évoquée dans les programmes des Sciences de la Vie et de la Terre, on retrouve cependant cette idée de progressivité dans les programmes d'enseignement scientifique :

« Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration

Le savoir scientifique résulte d'une construction rationnelle. Il se distingue d'une croyance ou d'une opinion. Il s'appuie sur l'analyse de faits extraits de la réalité complexe ou produits au cours d'expériences. Il cherche à expliquer la réalité par des causes matérielles.

Le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective jalonnée d'échanges d'arguments, de controverses parfois vives. C'est lentement qu'une certitude raisonnable s'installe et se précise, au gré de la prise en compte de faits nouveaux, souvent en lien avec les progrès techniques. Ce long travail intellectuel met en jeu l'énoncé d'hypothèses dont on tire des conséquences selon un processus logique. Ces modalités sont d'ailleurs en partie variables selon les disciplines concernées.

Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit donc, en permanence, d'associer l'acquisition de quelques savoirs et savoir-faire exigibles à la compréhension de leur nature et de leur construction »

- Extrait du programme d'Enseignement Scientifique de Première

Ainsi au cours de l'évolution des programmes, la présentation de la démarche historique a donc changé passant d'un fractionnement en grandes découvertes à un continuum de progrès. Comment les activités proposées se situent-elles au regard de ces évolutions ?

L'analyse de document classique permet aux élèves de se plonger dans une étape de la construction d'un savoir. Dans la deuxième partie de l'activité, travaillée sous la forme d'une classe mosaïque, les élèves sont amenés à comparer différentes étapes et les placer dans un ordre chronologique. Ce travail est censé leur permettre, par l'intermédiaire d'échanges entre les différents groupes, de découvrir la progressivité de l'établissement du savoir scientifique. Il n'est néanmoins pas possible de multiplier à l'infini les supports pour conserver un nombre restreint de groupes et donc contraindre le temps d'échange à la limite de temps imposée par une séance de cours. De ce fait, ce mode de fonctionnement peut réduire, dans la pensée des élèves du moins, la construction d'un savoir à de grandes découvertes, masquant l'importance des polémiques apparues « en chemin ». Il ne semble donc pas être le choix le mieux adapté pour répondre aux exigences des nouveaux programmes.

A l'inverse, l'utilisation du jeu *Timeline* pour travailler l'histoire des sciences, n'impose pas de limites au nombre d'étapes, de personnages, de découvertes intellectuelles ou de progrès techniques à intégrer. Les argumentations entre joueurs (/élèves) ont pour objectif de « mimer » les polémiques ayant pu naître au cours de l'établissement d'un savoir scientifique. La frise finale, obtenue par l'ensemble des élèves, traduit davantage la progressivité de la

construction d'un savoir et semble, en ce sens, davantage en accord avec les programmes les plus récents.

Il convient néanmoins de vérifier si ces hypothèses se traduisent dans les résultats obtenus par les élèves. Que reste-t-il aux élèves des processus épistémologiques de production du savoir ?

2. COMPARAISON DES DEUX MÉTHODES

Dans un souci de pouvoir comparer, et donc analyser, les résultats de la pratique du jeu en classe, il était nécessaire de choisir un type d'activité permettant de travailler un maximum de compétences en commun avec celle de l'activité ludifiée. Travailler sous la forme d'une classe puzzle permet de viser certains de ces facteurs :

- La motivation : la dépendance du travail de chaque élève pour la réussite de l'ensemble du groupe entraîne un investissement plus important des élèves (par rapport à une activité classique seuls, ou en binômes, où leur faible (voire non-) participation n'impacte que peu de camarades (voire aucun en cas de travail individuel).
- L'analyse des documents : Bien que limitées dans le cadre du jeu *Timeline*, les cartes renferment des informations qui, comparées à celle offertes par la frise en construction au centre de la table permet d'estimer la position chronologique de chaque élément. Une phase d'analyse est donc nécessaire dans les deux approches.
- Le travail en groupes : Equipes ou groupes, les deux modalités ont pour objectif de favoriser les échanges et les interactions entre les élèves

Ces points en commun permettent de tirer des conclusions à partir des résultats obtenus dans l'application de ces deux modes de fonctionnement.

Concernant la transmission des savoirs

Les résultats semblent ici donner l'avantage à l'analyse de documents « classique » par rapport à une activité de type jeu. En effet, si l'on se réfère aux différentes évaluations la progression des notes des élèves est systématiquement supérieure dans le cadre du chapitre concernant l'histoire de l'âge de la Terre, travaillé en classe puzzle, via des corpus

documentaires à analyser. Il est néanmoins nécessaire de garder à l'esprit que de nombreux biais peuvent impacter ces résultats :

- Le temps nécessaire à la mise en place des différentes activités est différent. Si 15 minutes suffisent pour mener à son terme une partie de *Timeline* (un total de 25 minutes est nécessaire pour expliquer les règles/consignes et permettre aux différentes équipes/groupes de compléter un jeu), la mise en place de la classe puzzle est bien plus chronophage. S'il est nécessaire de laisser un temps pour l'organisation de la classe en groupes/équipes dans les deux modalités, la refonte des groupes et les nécessaires temps d'analyse/d'échange inhérents à ce mode de fonctionnement requièrent davantage de temps de classe. De ce fait, le temps au cours duquel les élèves manipulent le matériel pédagogique est très supérieur dans le cadre de l'activité en classe puzzle que pour l'activité correspondant à une partie de *Timeline*.
- Les résultats des évaluations sommatives, bien que très clivants, ne peuvent être attribués uniquement aux modalités de travail des différentes notions. En effet les types d'évaluations proposées étaient très différents. De ce fait si les difficultés notionnelles étaient d'un niveau équivalent, les attendus de l'exercice (analyse argumentée de documents ou dissertation) présentaient des points de divergences importants qui ont pu influencer les résultats finaux. En effet la dissertation, proposée dans le cadre de l'évaluation formative du chapitre sur l'âge de la Terre, est généralement un exercice apprécié des élèves. Les productions finales laissent souvent la place à la récitation, au détriment de la réflexion (qui est pourtant un attendu), qui permet aux élèves de récupérer des points (malgré des barèmes de correction volontairement peu cléments envers le « par cœur »).

Il est intéressant ici de commenter le ressenti des élèves sur leur appréhension des différentes notions en fonction des modalités proposées. Les réponses à la question « *Selon vous la présentation des informations sous la forme [...] vous a-t-elle permis de comprendre les notions présentées ?* » vont à l'encontre des résultats obtenus aux évaluations formatives et sommatives. En effet, les élèves considèrent majoritairement que la présentation des notions sous la forme d'un jeu améliore leur appréhension des notions travaillées. Ces conclusions sont beaucoup plus mitigées dans le cadre de l'activité proposée sous la forme d'une analyse de documents pour laquelle les résultats chiffrés ont pourtant été bien supérieurs. Le jeu a

donc introduit ici un biais cognitif dans l'esprit des élèves, leur donnant l'impression que leur maîtrise perçue des notions présentées était supérieure à leur maîtrise réelle. Cette tension entre jeu et apprentissage avait été évoqué par Alvarez *et al.* (2017) et par Tricot (2017). Ainsi, si des effets positifs sur les apprentissages (Girard *et al.*, 2012) peuvent, dans certains contextes, être enregistrés, les résultats sont très variables d'une situation à une autre (Hamari *et al.*, 2014) et les résultats positifs apparaissent aussi nombreux que les négatifs (Kalogiannakis *et al.*, 2021). L'analyse réalisée dans le cadre de ce mémoire ne permet pas de trancher cette question.

Concernant l'implication des élèves

Les résultats sont ici bien moins discutables. Les observations réalisées en classe montrent que la ludification d'une activité, ici l'utilisation d'un jeu sérieux de type *Timeline*, mène à une implication plus forte de élèves. Ces derniers sont plus attentifs lors de la présentation des consignes (des règles) et montrent un engagement plus actif dans le travail (la partie). Une fois lancés, les élèves peuvent davantage travailler en autonomie dans le cadre d'une activité ludifiée, nécessitant un investissement moindre du professeur. Ces observations sont confirmées par les réponses données par les élèves concernant leur ressenti. Dans l'ensemble, les élèves plébiscitent l'activité de type jeu par rapport à l'activité « classique ». Il a été démontré que la motivation des élèves permettait, dans certaines conditions, d'accroître la mémorisation des élèves et donc de faciliter les apprentissages (Tricot, 2017). L'intérêt des élèves apparaît comme une condition nécessaire à l'enseignement mais non suffisante (Hidi & Renninger, 2006) et d'autres leviers se doivent d'être utilisés.

Le travail en groupe, entraînant de nombreuses interactions entre apprenants, apparaît comme l'un de ces leviers. Favoriser les échanges permet de gommer les différences de niveaux grâce aux débats entre élèves (Tricot, 2017). Sur ce point, l'organisation des groupes (des équipes) semble plus fonctionnelle dans l'activité sous forme de jeu (Alvarez *et al.*, 2007) avec des rôles plus égalitaires des membres et une discussion poussée entre les élèves.

Un autre avantage est la non-conséquence de l'échec qui joue un rôle important dans l'implication des élèves. Pour de nombreux élèves, la peur de l'échec peut constituer un blocage aux apprentissages (Martin, 2012). Celle-ci est importante chez les élèves français

(OECD, 2020). Le jeu apparaît donc comme un levier à activer pour diminuer l'influence de cette source de stress et favoriser l'apprentissage (Whiting *et al.*, 2021). Cependant, à faible dose, comme par exemple dans le cadre d'une partie de jeu, cette faible dose de stress peut mener à une mémorisation plus importante (Vogel & Schwabe, 2016).

Ces différents points (motivation plus importante, non-conséquence de l'échec, groupes fonctionnels) à l'avantage de l'activité ludifiée, mènent à une implication plus poussée des élèves dans le travail qui leur est proposé.

3. APPRENDRE L'HISTOIRE DES SCIENCES PAR LE JEU

L'intérêt d'aborder les sciences sous un prisme épistémologique a été démontré par de nombreux auteurs (Matthews, 1994 ; Hulin, 1996 ; Allchin, 1997). Dans les matières scientifiques, les nouveaux programmes mettent en avant la construction de séquences pédagogiques à caractères historiques de façon à promouvoir les sciences en les présentant sous un angle attractif (Solbes & Traver, 2003 ; Maurines & Beaufils, 2011). Or la compatibilité de l'épistémologie et de la pratique des sciences en enseignement a été questionnée (Pelissier *et al.*, 2007). Cette pratique vient avec des contraintes (Höttecke & Silva, 2011), notamment temporelles (Maurines & Beaufils, 2011). Dietmar Höttecke (2011) pointe notamment l'aspect trop livresque et peu engageant que la présentation dans le cadre d'une classe de l'Histoire des Sciences prend dans certains cours. Certains des aspects négatifs présentés par ces auteurs peuvent être contrés par une activité ludifiée, les sciences représentant un terreau fertile à l'imagination de jeux (Jolin, 2019). Les aspects positifs d'une utilisation de la gamification dans le cadre de l'apprentissage de la pensée historique a d'ailleurs été mis en évidence auprès d'élèves de primaire (Martínez-Hita, 2021).

Dans le cadre des activités proposées pour ce mémoire, si l'on tient compte du ressenti des élèves concernant l'aspect chronologique (la question « Selon vous, arriver à un classement chronologique des notions [...] à partir de l'activité proposée était : ...»), l'activité ludifiée a la faveur des apprenants. Ces derniers estimant qu'il est plus aisé d'arriver à un classement chronologique des notions par le jeu, *Timeline* étant plus direct sur ce point que l'analyse de documents. L'évaluation sommative sur le chapitre concernant l'âge de la Terre montre effectivement que la chronologie des découvertes est plus floue dans l'esprit des élèves (et ce

malgré les bons résultats obtenus qui portaient plus sur les étapes de la construction d'un savoir scientifique qui eux ont été bien compris, notamment les notions de polémique/consensus).

Ainsi, si l'activité ludifiée présente certes des avantages, il reste des points à travailler, notamment le développement du debriefing après l'activité (Alvarez *et al.*, 2017, Bonnier *et al.*, 2020). Cela permettra, à l'avenir, de faire ressortir les étapes menant à la construction d'un savoir scientifique et d'insister sur des points qui, bien qu'inhérent à la partie (la naissance de polémiques, l'arrivée à un consensus...) ne sont pas forcément identifiés par les élèves. La production finale est également à revoir, la simple réalisation d'une frise chronologique s'avère trop peu détaillée pour permettre aux élèves d'appréhender la complexité du processus de l'établissement d'une théorie scientifique. Cette frise devrait donc être accompagnée d'éléments supplémentaires afin de permettre de combler cette lacune.

VIII – CONCLUSIONS

Le travail effectué dans le cadre de ce mémoire a permis de mettre en évidence différents points qui me permettront d'améliorer ma pratique à l'avenir.

L'utilisation de jeux présente d'indéniables qualités pédagogiques. Le principal intérêt concerne l'engagement des élèves : La ludification permettant de booster la motivation des élèves. La méthode ludique favorise également les interactions entre élèves, nombreuses au cours d'une partie, et permet de travailler, outre l'oral, l'argumentation. En effet les apprenants sont amenés à défendre leurs opinions, en se basant sur les informations à leur disposition. Les échanges observés sont cordiaux et l'atmosphère de travail est globalement très positive. De plus, l'échec (ou la défaite) est beaucoup mieux accepté par les élèves. De précédentes études ont montrées que ces paramètres influençaient favorablement la mémorisation.

Il est cependant nécessaire de ne pas perdre de vue l'objectif pédagogique visé. Les résultats obtenus en termes d'apprentissages étaient systématiquement inférieurs à ceux travaillés avec une méthode plus traditionnelle, ici une étude de documents. Il apparaît donc nécessaire d'intégrer ces activités ludifiées au sein d'une séance pédagogique dédiée afin de permettre la construction des différentes notions visées.

Les thèmes abordés dans le cadre de ce mémoire ont été travaillés via une démarche épistémologique. L'évolution de l'approche de l'histoire des sciences dans les derniers programmes insiste sur le fait de ne pas se limiter à ne présenter que quelques éléments clés mais de montrer la progressivité de l'établissement d'un savoir scientifique. Sur ce point, le jeu *Timeline*, proposé aux élèves dans le cadre du chapitre sur la théorie cellulaire, semble être une option intéressante, permettant de multiplier à loisir les éléments que l'on souhaite intégrer à la production finale.

Bien que largement perfectible l'expérience s'avère dans l'ensemble positive. L'intégration du jeu à la séquence pédagogique se devra d'être plus réfléchi à l'avenir de façon à permettre la transmission aux élèves des notions visées. Dans le travail présenté pour ce mémoire, la place de l'activité dans la séquence n'a pas été suffisamment anticipée. De ce fait beaucoup d'élèves n'y ont vu qu'un « jeu pour un jeu » et non pas une activité d'enseignement. Des

efforts devront être fait à l'avenir pour présenter aux apprenants, en amont de l'activité, les points qui doivent être relevés au cours du jeu.

BIBLIOGRAPHIE

- Académie de Toulouse (2021). La ludification d'un contenu pédagogique, un nouveau mode d'apprentissage. [https://disciplines.ac-toulouse.fr/documentation/la-ludification-d-un-contenu-pedagogique-un-nouveau-mode-d-apprentissage#:~:text=La%20%22ludification%22%20\(ou%20%22,utiliser%20certains%20de%20ces%20rouages.](https://disciplines.ac-toulouse.fr/documentation/la-ludification-d-un-contenu-pedagogique-un-nouveau-mode-d-apprentissage#:~:text=La%20%22ludification%22%20(ou%20%22,utiliser%20certains%20de%20ces%20rouages.)
- Algan, Y., Dehaene, S., Huillery, E., Pasquinielli, E., Ramus, F. (2021). Quels professeurs au XXI^e siècle ? Rapport de synthèse rédigé à la suite du colloque scientifique « *Quels professeurs au XXI^e siècle* » organisé le 1^{er} décembre 2020 dans le cadre de l'éducation. Conseil scientifique de l'éducation nationale.
- Allchin, D. (1997). The power of history as a tool for teaching science. In A. Dally, T. Nielsen & F. Rieß (Eds.), *Geschichte und Theorie der Naturwissenschaften im Unterricht. Ein Weg zur naturwissenschaftlich-technischen Alphabetisierung? Reihe Loccumer Protokolle*, 53(96), 70–98.
- Alvarez, J. (2007). Du Jeu vidéo au Serious game : approches culturelle, pragmatique et formelle. *Multimédia. Université de Toulouse*.
- Alvarez, J., Djaouti, D. (2012). Introduction au Serious Game. *Editions Questions Théoriques. Collection Lecture > Play*.
- Alvarez, J., Djaouti, D., Rampnoux, O. (2017). Apprendre avec les serious games ? *Editions Réseau Canopé. Collection Eclairer*.
- Aronson, E. (1971). The jigsaw strategy. *San Diego, academic press*.
- Astin, A.W. (1984). Student involvement: A developmental theory for higher education. *Journal of College Student Development*, 25, 297-308.
- Astolfi, J.-P. (2014). L'erreur, un outil pour enseigner. *ESF éditeur, Issy-les-Moulineaux*.
- Augereau, T., Ben-Ali, L. (2019). La motivation et le sentiment d'efficacité des élèves baissent de façon socialement différenciée au cours du collège. *Note d'information de la Direction de l'Évaluation, de la Prospective et de la Performance*, 19.02.
- Baudoin, N., Delisse, S., Coertjens, L., Galand, B., Crépin, F., Baye, A., Lafontaine, D. (2020). Le bien-être et la motivation des élèves en période de (dé)confinement. *Fédération Wallonie-Bruxelles/Communauté française de Belgique*.

- Bao S, Chan V, Merzenich M. (2001). Cortical remodelling induced by activity of ventral tegmental dopamine neurons. *Nature*, 412, 79–83.
- Barr, M., Copeland-Stewart, A. (2021). Playing video Games During the COVID-19 Pandemic and Effects on Players' Well-Being. *Games and Culture*, 17(1), 122-139. <https://doi.org/10.1177/15554120211017036>.
- Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2015). Neuroscience : Exploring the Brain, Fourth Edition. *Jones Bartlett Learning*.
- Bensimon, E.M. (2009). « Foreword » in Student Engagement. Higher Education, eds. S.R. Harper & S.J. Quaye, *Routledge, New York & Oxon*, XXI-XXVI.
- Bulletin Officiel HS n°7 du 31 août 2000.
- Bulletin Officiel spécial n°4 du 29 avril 2010.
- Bulletin Officiel spécial n°9 du 30 septembre 2010.
- Bulletin Officiel spécial n°1 du 22 janvier 2019.
- Bonnier, K. E., Andersen, R., Johnsen H. M. (2020). Lessons Learned from Implementing a Serious Game in Higher Education – A Student and Trainer Perspective. *In Games and Learning Alliance, 9th International Conference, GALA 2020, Laval, France, December 9-10, 2020 Proceedings*, 24-33.
- Brougère, G. (1995). Jeu et éducation. *Paris : L'Harmattan*.
- Castaignède, F. (2018). Demain, l'école – Un tour du monde des meilleures pratiques. *Editions Les Pérégrines*.
- Chabot, R. J., Miller, T. J., Juola, J. F. (1976). The relationship between repetition and depth of processing. *Memory & Cognition*, 4(6), 677-682.
- Chapuis, S., Piolti-Lamorthe C., André, J., Roubin, S., Madi, S. (2021). Qu'est-ce qu'une classe puzzle ? *Mis en ligne le 16 mai 2021 par Mathieu Hibou*. <https://maths.enseigne.ac-lyon.fr/spip/spip.php?article756>
- Code de l'éducation : Chapitre 1^{er} : Dispositions générales.
- Code de l'éducation : Titre II : Objectifs et missions du service public de l'enseignement (Articles L121-1 à L124-20).
- Collon, A. (2016). La puissance de la gamification. *Edition Atlande*.
- Darnon, C., Buchs, C, Desbar, D. (2012). The jigsaw technique and self-efficacy of vocational training students : a practice report. *European Journal of Psychology of Education*, 27(3), 439-449. doi : 10.1007/s10212-011-0091-4.

- De Vanssay, S. ; Lozac'h, A. (2012). L'erreur pour apprendre. *Cahiers pédagogiques*, 494.
- Erhel, S., Jamet, E. (2012). Comprendre les effets des Serious Game Éducatifs sur l'apprentissage et la motivation. In G. Dang Nguyen & P. Créach (Eds.) *Le numérique en société*, L'Harmattan, 241-256.
- Favre D. (1995). Conception de l'erreur et rupture épistémologique. *Revue française de pédagogie*, 111, 85-94.
- Galand, B. (2006). La motivation en situation d'apprentissage : les apports de la psychologie de l'éducation. *Revue française de pédagogie*, 155, 5-8. doi : <https://doi.org/10.4000/rfp.59>.
- Girard, C., Escalle, J., Magnan, A. (2012). Serious games as new educational tools: how effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 207-219.
- Gosset « Student », W. S. (1908). The probable error of a mean. *Biometrika*, 6(1), 1-25. doi:10.1093/biomet/6.1.1. hdl:10338.dmlcz/143545. JSTOR 2331554.
- Hamari, J., Koivisto, J., Sarsa, H. (2014). Does Gamification Work ? – A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. *47th Hawaii International Conference on System Sciences*, 3025-3034, doi: 10.1109/HICSS.2014.377.
- Hammer, Ø, Harper, D. A. T., Ryan, P. D. (2001). PAST : Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1).
- Hidi, S., Renninger, K. A. (2006). The Four-Phase Model of Interest Development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4.
- Hintzman, D. L. (2010). How does repetition affect memory? Evidence from judgments of recency. *Memory & Cognition*, 38 (1), 102-115.
- Holtzer, J. (2021). Jeux vidéo : le nombre de joueurs a explosé en France en 2021. *Europe 1*, le 23 novembre 2021. <https://www.europe1.fr/culture/jeux-video-le-nombre-de-joueurs-a-explose-en-france-en-2021-4078688#:~:text=au%20premier%20abord,-,Selon%20les%20chiffres%20publi%C3%A9s%20dans%20un%20rapport%20par%20le%20Syndicat,la%20bonne%20surprise%20de%202021.>

- Howard-Jones, P. A., Demetriou, S., Bogacz, R., Yoo, J. H., & Leonards, U. (2011). "Toward a science of learning games": Erratum. *Mind, Brain, and Education*, 5(2), 104 p. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2011.01116.x>.
- Huillery, E., Bouguen, A., Charpentier, A., Algan, Y., Chevalier, C. (2020). The Role of Mindset in Education : A Large-Scale Field Experiment in Disadvantaged Schools. *Center for Open Science*. 62 p. doi: 10.31219/osf.io/zs9aq.
- Hulin, N. (1996). Histoire des sciences et enseignement scientifique. Quels rapports ? Un bilan XIXe-XXe siècles. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 90(786).
- Jolin, D. (2019). The board games turning science into playtime. *The Guardian*, 20/04/19. <https://www.theguardian.com/science/2019/apr/20/board-games-turning-science-into-playtime>.
- Kalogiannakis, M., Papadakis, S., Zourmpakis, A.I. (2021). Gamification in Science Education. A systematic Review of the Literature. *Education Sciences*, 11(22), 1-36. <https://doi.org/10.3390/educsci11010022>.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T., M., Siegelbaum, S. A., Hudspeth, A. J. (2012). Principles of Neural Science, Fifth Edition. *McGraw-Hill Medical*.
- Kingsley, T. L., Grabner-Hagen, M. M. (2015). Gamification, Questing to integrate content knowledge, literacy, and 21st-century learning. *Journal of adolescent & adult literacy*, 59(1), 51-61.
- Koeppe, M. J., Gunn, R. N., Lawrence, A. D., Cunningham, V. J., Dagher, A., Jones, T., Brooks, D. J., Bench, C. J., Grasby, P. M. (1998). Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, 393, 266-268.
- Kuh, G.D. (2007). How to Help Students Achieve. *Chronicle of Higher Education*, 53(41), 1-12.
- Kuh, G.D. (2008). Diagnosing why some students don't succeed. *The Chronicle of Higher Education*, 55(16).
- Landers, R., N., Auer, E., M., Collmus, A. B., Armstrong, M. B. (2018). Gamification Science, Its History and Future : Definitions and a Research Agenda. *Simulation & Gaming*, 1-23. doi: 10.1177/1046878118774385.
- Levy-Leboyer, C., Pineau, C. (1980). Inégalité sociale et motivations scolaires. *Enfance*, 3, 135-156.

- Markey, P. M., Fergusson, C. J. (2017). Moral combat : Why the war on violent video games is wrong. *Benbella Brooks*.
- Marsollier, C. (2021). Le renforcement des compétences socio-émotionnelles, un nouveau champ didactique et pédagogique. *Présentation du 27 octobre 2021. Académie de la Réunion*. https://pedagogie.ac-reunion.fr/fileadmin/ANNEXES-ACADEMIQUES/03-PEDAGOGIE/THEMATIQUES-TRANSVERSALES/INNOVATION-EXPERIMENTATION-CARDIE/Doc_diffusion/Semaineinnov/C._Marsollier_Comp._psychosociales.pdf
- Martin, A.J. (2012). Fear of failure in learning. In *N.M. Seel (Ed.). Encyclopedia of the Sciences of Learning*. New-York : Springer.
- Martínez-Hita, M., Gómez-Carrasco, C.J., Miralles-Martínez, P. (2021). The effects of a gamified project based on historical thinking on the academic performance of primary school children. *Humanities & Social Sciences Communications*, 8(122). <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00796-9>
- Matthews, M. R. (1994). Science teaching. *The role of history and philosophy of science*. New York, London: Routledge.
- Maurines, L. Beaufils, D. (2011). Un enjeu de l’histoire des sciences dans l’enseignement : l’image de la nature des sciences et de l’activité scientifique. *Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies*, 3, 271-305. <https://doi.org/10.4000/rdst.444>.
- OCDE (2016). Les compétences au service du progrès social : Le pouvoir des compétences socio-affectives. *Éditions OCDE, Paris*. 148 p. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264256491-fr>.
- OECD (2020). Students’ self-efficacy and fear of failure. In *PISA 2018 Results (Volume III): What School Life Means for Students’ Lives*, OECD Publishing, Paris. doi: <https://doi.org/10.1787/2f9d3124-en>.
- Palaus, M., Marron, E. M., Viejo-Sobera, R., Redolar-Ripoll, D. (2017). Neural basis of video gaming : A systematic review. *Frontiers of Human Neuroscience*, 11.
- Pelissier, L., Venturini, P., Calmettes, B. (2007). L’épistémologie souhaitable et l’épistémologie implicite dans l’enseignement de la physique. De l’étude sur l’enseignement en seconde à la démarche d’investigation au collège. In *Actes des 3ièmes journées nationales inter-IUFM sur la recherche et la formation des*

enseignants en Epistémologie et Histoire des Sciences et des Techniques, (ReForHST)
Caen 31 mai au 1 juin, 8-13.

- Piaget, J., & Inhelder, B (1966). *La psychologie de l'enfant. Paris: Presses universitaires de France.*
- Piquemal, M. (2019). Au rapport – Pisa : les inégalités entre élèves restent très élevées, mais stables. *Libération, 03/12/2019.*
https://www.liberation.fr/france/2019/12/03/pisa-les-inegalites-entre-eleves-restent-tres-elevees-mais-stables_1766933/.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., Mooney, R. D. Platt, M. L., White, L. E. (2017). *Neuroscience, Sixth Edition. Oxford University Press.*
- Rapport PISA (2012). *Results : Excellence Through Equity : Giving Every Student the Chance to Succeed (Volume II).*
- Rapport PISA (2015). *Volume I: Excellence and Equity in Education.*
- Reckmeyer, M. (2019). Focus on student engagement for better academic outcomes. Gallup. <https://www.gallup.com/education/267521/focus-student-engagement-better-academic-outcomes.aspx>.
- Samier, R., Jacques, S. (2021). *Le développement cognitif par le jeu. Editions Tom Pousse, collection Les Tutos.*
- Sanchez, É., Ney, M. & Labat, J.-M. (2011). Jeux sérieux et pédagogie universitaire : de la conception à l'évaluation des apprentissages. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire / International Journal of Technologies in Higher Education, 8(1-2), 48–57.* <https://doi.org/10.7202/1005783ar>
- Sanchez, E., Romero, M. (2020). *Apprendre en jouant. Mythes et réalités, Retz Eds.*
- Sarrazin, P., Tessier, D., Trouilloud, D. (2006). Climat motivationnel instauré par l'enseignant et implication des élèves en classe : l'état des recherches. *Revue française de pédagogie, 147-177.* doi : <https://doi.org/10.4000/rfp.463>.
- Schultz, W., P. Dayan and P. R. Montague (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science, 1593–1599.*
- Solbes, J., Traver, M. (2003). Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry. *Science & Education, 12, 703-717.*

- Sydologie (2014). Détourner des jeux pour les utiliser en formation : *Timeline* et *Cardline*. <http://sydologie.com/2014/04/detourner-des-jeux-existants-pour-les-utiliser-en-formation-timeline-et-cardline/>
- Syndicat des Editeurs de Logiciels de Loisir (2021). L'essentiel du jeu vidéo – Les français et le jeu vidéo. Novembre 2021.
- Tricot, A. (2017). L'innovation pédagogique. *Retz. Mythes et réalités*.
- Troger, V. (2020). L'école n'est pas seule responsable de la panne de l'ascenseur social. *Le Monde du 07/01/20*.
https://www.lemonde.fr/societe/article/2020/01/07/l-ecole-n-est-pas-seule-responsable-de-la-panne-de-l-ascenseur-social_6025007_3224.html.
- Trowler (2010). Student engagement literature review. *The higher education academy*.
- Vogel, S., Schwabe, L. (2016). Learning and memory under stress : implications for the classroom. *Npj Science of Learning*, 1, 16011; doi:10.1038/npscilearn.2016.11.
- Whiting, S. B., Wass, S. V., Green, S., & Thomas, M. (2021). Stress and Learning in Pupils: Neuroscience Evidence and its Relevance for Teachers. *Mind, brain and education : the official journal of the International Mind, Brain, and Education Society*, 15(2), 177–188. <https://doi.org/10.1111/mbe.12282>.

SITOGRAPHIE

- The Super Mario Effect- Tricking Your Brain into Learning More |Mark Rober| TEDxPenn (<https://www.youtube.com/watch?v=9vJRopau0g0>)

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 – Extrait de la page *Facebook* du groupe « *SVT : partage, conseils, questions* » **5**
- Figure 2 – Motivation des élèves estimée par les élèves et leurs professeurs (EdWeek Research Center (2021) **7**
- Figure 3 – Classement des élèves en quartiles selon leur engagement en cours, comparaison avec les résultats obtenus en mathématique, écriture, lecture et d'autres sujets (Reckmeyer, 2009) **8**
- Figure 4 – Ecart de score associé à la variation d'une unité de l'indice socio-économique et culturel (PISA, 2015) **9**
- Figure 5 – Proportion d'élèves dont la motivation a le plus baissé entre la sixième et la troisième selon l'origine sociale **10**
- Figure 6 – Auto-stimulation d'un rat, quand le rat appuis sur le levier il reçoit une décharge électrique via une électrode placée dans l'aire septale du cerveau. Représentation des expériences d'Olds et de Milner qui ont permis la découverte du circuit de la récompense en 1954 (d'après Bear *et al.*, 2015) **13**
- Figure 7 – Expériences de Schultz *et al.* (1997) rôle de l'anticipation dans la décharge de dopamine relative à la réception d'une récompense (d'après Bear *et al.*, 2015) **14**
- Figure 8 – Consolidation de la mémoire (d'après Bear *et al.*, 2015) **15**
- Figure 9 - Interface de l'application du Challenge « *Anyone can code* » **16**
- Figure 10 – Résultats du Challenge « *Anyone can code* » (En bleu les pourcentages de réussite des participants et en orange le nombre d'essais des participants pour les deux versions de l'application, avec ou sans pénalité de 5 points) **18**
- Figure 11 – Exemple de partie du jeu *Timeline : Historical events* **22**
- Figure 12 – Extrait du Bulletin Officiel pour l'Enseignement Scientifique au niveau première **23**
- Figure 13 – Recto de cartes du *Timeline* sur la théorie cellulaire **24**
- Figure 14 – Organisation de la classe en début d'une activité travaillée en classe puzzle **25**
- Figure 15 – Organisation de la classe en fin d'une activité travaillée en classe puzzle **26**

- Figure 16 – Découpage temporel du chapitre « *Une structure complexe : la cellule vivante* » **29**
- Figure 17 – Découpage temporel du chapitre « *L'histoire de l'âge de la Terre* » **29**
- Figure 18 – Diagramme de répartition des notes obtenues aux tests *Wooclap* avant et après l'activité sous forme de jeux dans le cadre du chapitre sur l'établissement de la théorie cellulaire **34**
- Figure 19 – Diagramme de répartition des notes obtenues aux tests *Wooclap* avant et après l'activité sous forme d'analyse de documents dans le cadre du chapitre sur l'établissement de l'âge de la Terre **35**
- Figure 20 – Réponses aux différentes questions des tests *Wooclap* avant et après l'activité ludifiée. Les résultats ont été ramenés à 100%. Afin de faciliter la lecture de ce graphique, les différentes questions ont été résumées ont notions concernées - La notion de cellule = La plus petite entité du vivant est ... - La pluricellularité = Parmi ces propositions, lequel, ou lesquels de ces éléments est/sont constitué(s) d'une ou de plusieurs cellules ? - La génération spontanée = Qu'est-ce que la génération spontanée ? - La formation des cellules = Comment se forment les cellules ? - Etude des cellules = Quel outil a permis l'étude des cellules ? - Microscopie = Classer ces techniques de microscopie, du grossissement le plus faible au grossissement le plus important ... **36**
- Figure 21 – Réponses aux différentes questions des tests *Wooclap* avant et après l'activité d'analyse de documents. Les résultats ont été ramenés à 100%. Afin de faciliter la lecture de ce graphique, les différentes questions ont été résumées ont notions concernées – La Bible = A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de ... - Les premières approches scientifiques = Les premières approches utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontent au XVe siècle ... - La construction de l'âge = L'histoire de l'âge de la Terre s'est construite ... - L'âge de la Terre ... - L'estimation de Darwin = Le naturaliste Charles Darwin a estimé l'âge de la Terre à plusieurs centaines de millions d'années en s'appuyant sur ... - La datation absolue = Parmi les approches suivantes pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au XIXe siècle ... **37**
- Figure 22 – Résultats d'ACP effectuées sur les résultats obtenus aux évaluations *Wooclap* avant (**A.**) et après (**C.**) l'activité pour le chapitre sur l'établissement de la

théorie cellulaire. Le poids de chaque variable dans la constitution des axes est donné en **C. (1. et 2.)** et en **D. (1. et 2.)**. Les variables (A, B, C, D, E et F) correspondent aux différentes questions posées lors de l'évaluation *Wooclap*. Les axes ont été sélectionnés de manière à pondérer de façon similaire les différentes variables (avec un focus sur les questions relatives à l'histoire des sciences) et ainsi permettre une comparaison des résultats. **38**

- Figure 23 – Résultats d'ACP effectués sur les résultats obtenus aux évaluations *Wooclap* avant (**A.**) et après (**C.**) l'activité pour le chapitre sur l'âge de la Terre. Le poids de chaque variable dans la constitution des axes est donné en **C. (1. et 2.)** et en **D. (1. et 2.)**. Les variables (A, B, C, D, E et F) correspondent aux différentes questions posées lors de l'évaluation *Wooclap*. Les axes ont été sélectionnés de manière à pondérer de façon similaire les différentes variables (avec un focus sur les questions relatives à l'histoire des sciences) et ainsi permettre une comparaison des résultats. **39**
- Figure 23 – Diagramme de répartition des notes obtenues aux évaluations de fins de chapitres **40**
- Figure 24 - Diagramme des réponses aux tests *Wooclap* sur le ressenti des élèves, en fonction des différents types d'activités, concernant **A.** La production d'un classement chronologique des notions ; **B.** Leur préférence pour traiter un chapitre sur l'histoire des sciences ; **C.** L'intérêt des élèves pour les activités proposées ; **D.** Leur compréhension des notions présentées en fonction de la modalité de travail proposée. **41**
- Tableau 1 – Questionnaires pour évaluer le ressenti des élèves par rapport aux activités proposées. **30**
- Tableau 2 – Moyennes des notes (sur 6) obtenues par les élèves aux tests *Wooclap* réalisés avant et après les différentes activités. **33**
- Tableau 3 – Ecart-types des notes obtenus par les élèves aux tests *Wooclap* réalisés avant et après les différentes activités. **34**
- Tableau 4 – Moyennes et écart-types obtenus aux évaluations sommatives terminales pour chacun des chapitres. **40**

ANNEXE 1 – ACTIVITES PROPOSEES AUX ELEVES

Chapitre 2	Une structure complexe : la cellule
 Activité 1 : Les grandes étapes de l'établissement de la théorie cellulaire	
<p>Mise en situation :</p> <p>La théorie cellulaire est admise par la communauté scientifique depuis la fin du XIX^e siècle. Elle repose sur 3 principes :</p> <ol style="list-style-type: none">1. Tous les organismes sont composés de 1 ou plusieurs cellules2. La cellule est l'unité de base de la structure et de l'organisation des organismes3. Toutes les cellules proviennent de cellules préexistantes <p>L'établissement de cette théorie a été rendue possible grâce au développement de la microscopie.</p> <p><i>Comment les observations en microscopie ont-elles permis d'établir la théorie cellulaire ?</i></p>	
<p>Consignes : Etablir la chronologie des étapes, dans la construction du savoir scientifique et technique, ayant menées à l'établissement de la théorie cellulaire.</p> <p>Votre objectif (prise de notes individuelle) : Repérer les avancées technologiques (représentées par le symbole ), les étapes du développement de la pensée scientifique (représentées par le symbole ) et les dates de ces événements.</p> <p>Deux équipes vont s'affronter dans une partie du jeu Timeline (v. règles ci-dessous).</p> <p>A la fin de la partie, prendre une photo de la frise chronologique complétée, la refaire au propre sur le cahier pour le prochain cours (penser à mettre un titre et des couleurs)</p> <p>COMPÉTENCES TRAVAILLÉES</p> <p>- Raisonner, argumenter, conclure en exerçant des démarches scientifiques et un sens critique – Distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion et ce qui constitue un savoir scientifique</p>	
<p>Règles du jeu : Timeline – Version Théorie cellulaire</p> <ul style="list-style-type: none">❖ Mise en place : On constitue des équipes de 3-4 joueurs qui s'affrontent en duel. Les cartes sont distribuées face date cachée de manière équitable aux deux équipes. L'équipe du plus jeune prend la première carte du tas, regarde la date et la positionne sur la table (face date visible). C'est l'autre équipe qui commencera la partie.❖ Déroulement de la partie : Chacun leur tour, un joueur de chaque équipe tire la première carte de son tas et doit la placer sur la frise. Après avoir placé la carte, le joueur en révèle la date au verso. Si la carte a été placée correctement avec la date dans l'ordre chronologique avec toutes les autres cartes de la table, la carte reste en place ; Sinon il replace la carte en dessous de son tas.❖ Fin de partie : La première équipe qui n'a plus de cartes a gagné.❖ UNE FOIS LA PARTIE FINIE : Placer les cartes restantes de l'équipe perdante au bon endroit Prendre une photo A la maison : refaire la frise au propre	
<p>Sources :</p> <ul style="list-style-type: none">• « Jeu de la théorie cellulaire » par Alexandra Scandella• SCIENCE the definitive visual guide aux DK Editions• Manuel d'enseignement Scientifique – Le livret scolaire• Vidéo : <i>The wacky history of cell theory</i> – Lauren Royal-Woods par TED-Ed (https://tinyurl.com/hryncpxu)• Vidéo : <i>Microbiologie Histoire 1 DECOUVERTE DES MICROORGANISMES</i> par Bacterio Video (https://tinyurl.com/3xet8umf)• Images libres de droits	

 <p>LOUIS PASTEUR Réfute la théorie de la génération spontanée</p>	 <p>MICROSCOPE OPTIQUE DE ZACHARIAS JANSEN Premier modèle de microscope</p>	 <p>ROBERT HOOKE Observation et définition des « Cellules » (40 µm)</p>	 <p>MATTHIAS JAKOB SCHLEIDEN Toutes les plantes sont composées de cellules</p>	 <p>THEODOR SCHWANN Tous les animaux sont composés de cellules</p>
 <p>ANTON VAN LEEUWENHOEK Observe des microorganismes (2 µm)</p>	 <p>MICROSCOPE OPTIQUE DE VAN LEEUWENHOEK Grossit jusqu'à 200 fois</p>	 <p>ARISTOTE Bases de la théorie de la génération spontanée</p>	 <p>FELIX ARCHIMEDE POUCHET Théorie de l'ovulation spontanée</p>	 <p>FRANCESCO REDI Première étape vers la réfutation de la génération spontanée</p>
 <p>1839 THEODOR SCHWANN Tous les animaux sont composés de cellules</p>	 <p>1838 MATTHIAS JAKOB SCHLEIDEN Toutes les plantes sont composées de cellules</p>	 <p>1665 ROBERT HOOKE Observation et définition des « Cellules » (40 µm)</p>	 <p>1605 MICROSCOPE OPTIQUE DE ZACHARIAS JANSEN Premier modèle de microscope</p>	 <p>1862 LOUIS PASTEUR Réfute la théorie de la génération spontanée</p>
 <p>1668 FRANCESCO REDI Première étape vers la réfutation de la génération spontanée</p>	 <p>1845 FELIX ARCHIMEDE POUCHET Théorie de l'ovulation spontanée</p>	 <p>-330 ARISTOTE Bases de la théorie de la génération spontanée</p>	 <p>1671 MICROSCOPE OPTIQUE DE VAN LEEUWENHOEK Grossit jusqu'à 200 fois</p>	 <p>1674 ANTON VAN LEEUWENHOEK Observe des microorganismes (2 µm)</p>



RUDOLF VIRCHOW
La division cellulaire est à l'origine de nouvelles cellules



MICROSCOPE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION
Grossissement jusqu'à 5 000 000 X



ROBERT REMAK
La division cellulaire est à l'origine de nouvelles cellules



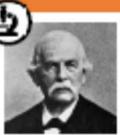
PATRICK FORTEPPE
Toutes les lignées cellulaires descendent d'un ancêtre commun



MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE
Grossissement jusqu'à 100 000 X



ROBERT BROWN
Observation de noyaux de cellules végétales (5 µm)



RICHARD ALTMANN
Observation de mitochondries (2 µm)



WILHELM HOFMEISTER
Observation de chromosomes (2 µm)



WALTHER FLEMMING
Découverte des étapes de la division cellulaire



KAUSCHE, PFANKUCH et RUSKA
Observation du virus de la mosaïque du tabac (0,3 µm)



1937
MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE
Grossissement jusqu'à 100 000 X



1996
PATRICK FORTEPPE
Toutes les lignées cellulaires descendent d'un ancêtre commun



1852
ROBERT REMAK
La division cellulaire est à l'origine de nouvelles cellules



1931
MICROSCOPE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION
Grossissement jusqu'à 5 000 000 X



1855
RUDOLF VIRCHOW
La division cellulaire est à l'origine de nouvelles cellules



1939
KAUSCHE, PFANKUCH et RUSKA
Observation du virus de la mosaïque du tabac (0,3 µm)



1878
WALTHER FLEMMING
Découverte des étapes de la division cellulaire



1848
WILHELM HOFMEISTER
Observation de chromosomes (2 µm)



1890
RICHARD ALTMANN
Observation de mitochondries (2 µm)



1831
ROBERT BROWN
Observation de noyaux de cellules végétales (5 µm)

Mise en situation :

La question de l'âge de la Terre c'est très vite posé aux humains, les premiers écrits concernant ce sujet datent de l'antiquité. Au XVI^e siècle, il était communément admis que la Terre s'était formée environ 4000 ans avant notre ère, une valeur issue des récits bibliques. Au cours des deux siècles suivants, des savants tentèrent de déterminer cet âge de façon scientifique.

Quelles approches ont été utilisées pour les premières estimations de l'âge de la Terre ?

Consignes : Travail en groupe - À partir des documents attribués, expliquez la méthode de datation de la Terre. Chaque groupe présentera :

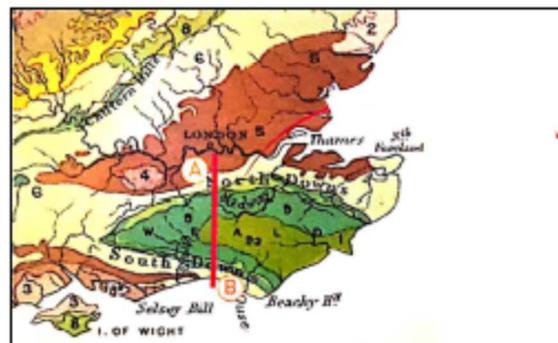
- Le principe de la méthode et la date à laquelle cette méthode de datation a été utilisée
- Si possible, une valeur de l'âge de la Terre calculée ou estimée à partir des données proposées
- Les sources d'erreurs, d'incertitudes et/ou les polémiques suscitées

DOSSIER 6 – Une estimation du temps nécessaire à l'érosion des roches

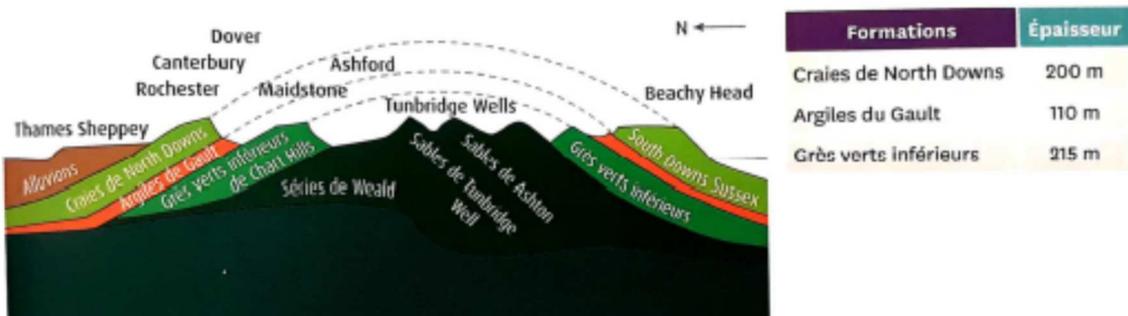
Document 1 : Géologie de la région des collines de Weald



A. Panorama de la vallée de Weald



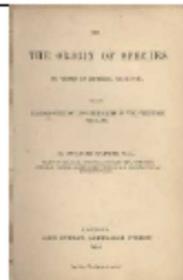
B. Extrait de la carte géologique de Grande-Bretagne



D'après le Manuel d'Enseignement Scientifique – Editions Bordas et Belin Education, Lewebpedagogique.com

Document 2 : Estimation des périodes de temps impliquées dans les processus évolutifs

Dans la première édition de son ouvrage, Darwin prend l'exemple de la vallée du Weald, en Grande-Bretagne. Pour lui, cette vallée large de 35 km a forcément été creusée par l'érosion marine dans un massif rocheux qui mesurait initialement plusieurs centaines de mètres de hauteur. Il tente alors un calcul de la durée nécessaire à ce creusement. Il estime que la vitesse de recul des falaises côtières aurait été de 0.46 pouce par siècle. (1 pouce = 2,54 cm)



D'après le Manuel d'Enseignement Scientifique – Editions Bordas

Activité 1 : L'âge de la Terre, un sujet de controverses scientifiques

Mise en situation :

La question de l'âge de la Terre c'est très vite posé aux humains, les premiers écrits concernant ce sujet datent de l'antiquité. Au XVI^e siècle, il était communément admis que la Terre s'était formée environ 4000 ans avant notre ère, une valeur issue des récits bibliques. Au cours des deux siècles suivants, des savants tentèrent de déterminer cet âge de façon scientifique.

Quelles approches ont été utilisées pour les premières estimations de l'âge de la Terre ?

Consignes : Travail en groupe - Expliquez la méthode de datation de la Terre présentée dans les documents proposés. Vous présenterez ensuite aux autres groupes de la classe:

- Le principe de la méthode et la date à laquelle cette méthode de datation a été utilisée
- Si possible, une valeur de l'âge de la Terre calculée ou estimée à partir des données proposées
- Les sources d'erreurs, d'incertitudes et/ou les polémiques suscitées

DOSSIER 3 – Une datation par l'étude des fossiles

Document 1 : L'émergence de la notion d'évolution des espèces

La découverte de nombreux fossiles de dinosaures (le mot apparaît en 1841) va obliger les scientifiques à s'interroger sur la disparition des espèces et à contredire les interprétations littérales de la Bible et des croyances en un Univers éternel et fixe.

En France, Georges Cuvier (1769-1832) est partisan de la fixité des espèces. Pour lui, les espèces animales sont créées telles quelles ; certaines disparaissent, à la faveur de catastrophes (déluges, séismes, etc...), et d'autres espèces les remplacent par migration. Au contraire, Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) défend la théorie transformiste : il voit, dans les fossiles de mollusques qu'il étudie, les traces d'une lente transformation expliquant l'émergence des espèces. Charles Darwin (1809-1882) théorise l'évolution des espèces sur les bases posées par Lamarck : les espèces actuelles sont le fruit d'une lente évolution d'espèces ancestrales, dont le mécanisme est la sélection naturelle. Pour que des variations minimales à l'échelle d'une génération puissent peu à peu donner naissance à une nouvelle espèce, il est nécessaire que les temps géologiques soient extrêmement grands (plusieurs centaines de millions d'années).

Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique – Le livre scolaire

Document 2 : La Sélection naturelle, lent moteur de l'évolution du vivant

« Ces lentes et progressives transformations nous échappent jusqu'à ce que, dans le cours des âges, la main du temps les ait marquées de son empreinte, et alors nous nous rendons si peu compte des longues périodes géologiques écoulées, que nous nous contentons de dire que les formes vivantes sont aujourd'hui différentes de ce qu'elles étaient autrefois. »

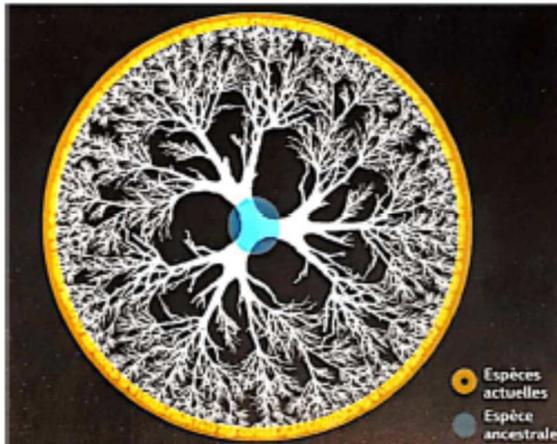
D'après Charles Darwin, The Origin of Species [L'Origine des espèces], 1859

Document 3 : Fossiles d'ammonites dans une couche géologique

Les fossiles observés dans les couches géologiques sont relativement homogènes : ces espèces n'ont donc pas évolué durant les millions d'années nécessaires à la sédimentation de la couche. Or, puisqu'une évolution a eu lieu, c'est que des millions d'années sont petits à l'échelle des temps géologiques. C'est la preuve pour Darwin que la Terre est plus âgée qu'on ne le pense.

Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique – Le livre scolaire

Document 4 : Représentation actuelle de la parenté de tous les êtres vivants



Une très longue durée s'est écoulée entre la première espèce ancestrale et toutes les espèces vivantes actuelles qui en descendent.

Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique
– Editions Nathan

Document 5 : L'opposition entre Darwin et Kelvin

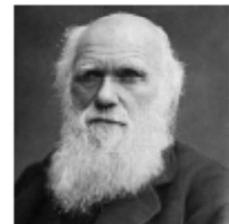
Darwin ne donne pas de chiffre dans son estimation de la l'âge de la terre. Cependant les durées nécessaires à l'évolution des espèces selon sa théorie de la sélection naturelle ne sont pas compatibles avec l'âge de la Terre déduit par le physicien William Thompson (devenu Lord Kelvin) à partir de calculs basés sur le refroidissement de la Terre depuis sa formation. Darwin en conclut que les estimations de Kelvin sont inexactes :

« *Thompson's view of the recent age of the world have been for some time one of my sorest troubles.* »

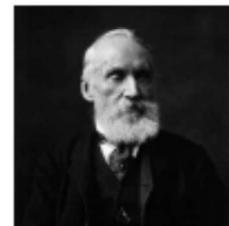
Lettre au naturaliste Alfred R. Wallace, 14 avril 1869

« *The brevity of the world troubles me, on account of the pre-silurian creatures which must have lived in numbers during endless ages, else my views would be wrong, which is impossible.* »

Lettre à son fils George H. Darwin, 9 décembre 1868



Charles Darwin (1809-1882)



William Thompson
(1775-1833)

Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique – Belin Education

Mise en situation :

La question de l'âge de la Terre c'est très vite posé aux humains, les premiers écrits concernant ce sujet datent de l'antiquité. Au XVI^e siècle, il était communément admis que la Terre s'était formée environ 4000 ans avant notre ère, une valeur issue des récits bibliques. Au cours des deux siècles suivants, des savants tentèrent de déterminer cet âge de façon scientifique.

Quelles approches ont été utilisées pour les premières estimations de l'âge de la Terre ?

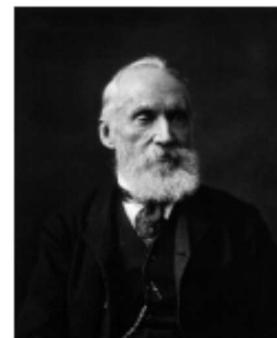
Consignes : Travail en groupe - Expliquez la méthode de datation de la Terre présentée dans les documents proposés. Vous présenterez ensuite aux autres groupes de la classe:

- Le principe de la méthode et la date à laquelle cette méthode de datation a été utilisée
- Si possible, une valeur de l'âge de la Terre calculée ou estimée à partir des données proposées
- Les sources d'erreurs, d'incertitudes et/ou les polémiques suscitées

DOSSIER 2 – Modélisation mathématique du refroidissement de la Terre par Kelvin

Document 1 : Kelvin améliore les hypothèses du comte Buffon

En 1863, William Thomson, qui deviendra Lord Kelvin, reprend l'hypothèse de Buffon : la Terre était très chaude lors de sa formation et c'est progressivement refroidi, sa température a donc diminué au cours du temps. Buffon s'est intéressé au refroidissement de boulets de canons pour estimer la vitesse de refroidissement de la Terre, Kelvin utilise l'outil mathématique. Il se base sur l'équation de la chaleur de Fourier, qui permet de prendre en compte l'évolution du gradient de température (le refroidissement étant de plus en plus lent avec la profondeur). La méthode de calcul de Kelvin ne peut s'appliquer qu'à une Terre rigide, à l'intérieure de laquelle la chaleur est transportée par conduction, c'est-à-dire de proche en proche.

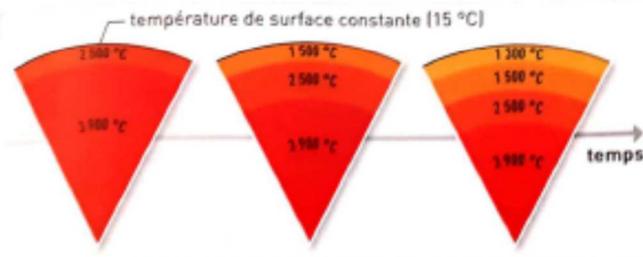


Lord Kelvin (1824-1907)

D'après Manuel d'Enseignement Scientifique – Le livre scolaire et Editions Nathan

Document 2 : Représentation simplifiée du modèle de Kelvin

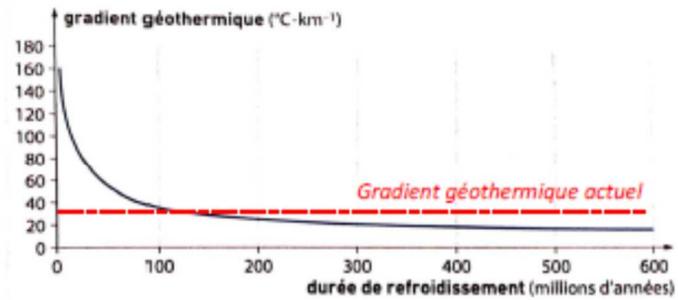
Par des observations dans les mines, on sait que la température augmente de 3°C tous les 100 mètres au fur et à mesure que l'on s'enfonce sous la surface ; ce taux est appelé gradient géothermique. Kelvin considère que ce gradient devait être plus élevé quand la Terre était plus âgée, et qu'il a donc diminué au cours du temps pour atteindre sa valeur actuelle.



Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique – Bordas Editeur

Document 3 : Résultats des modélisations mathématiques de Kelvin

Kelvin établit un modèle mathématique pour décrire la diminution du gradient géothermique en fonction du temps. Dans ce modèle, la sphère terrestre se trouve initialement à 3900°C. La surface refroidit rapidement jusqu'à une température de 15°C, puis reste à une température constante.



D'après le Manuel d'Enseignement Scientifique – Bordas Editeur

Document 4 : La convection, un mode de transfert de chaleur efficace

Dans le cas des fluides et des matériaux ductiles, le transport thermique d'énergie s'accompagne d'un mouvement de matière. Ce mode de transfert thermique beaucoup plus efficace que la conduction, se nomme convection. Dès 1895, John Perry (1850-1920), ingénieur britannique et disciple de Kelvin, fait l'hypothèse que l'énergie intérieure de la Terre est transportée par convection à l'intérieur des couches terrestres profondes.

D'après le Manuel d'Enseignement Scientifique – Editions Nathan

Mise en situation :

La question de l'âge de la Terre c'est très vite posé aux humains, les premiers écrits concernant ce sujet datent de l'antiquité. Au XVI^e siècle, il était communément admis que la Terre s'était formée environ 4000 ans avant notre ère, une valeur issue des récits bibliques. Au cours des deux siècles suivants, des savants tentèrent de déterminer cet âge de façon scientifique.

Quelles approches ont été utilisées pour les premières estimations de l'âge de la Terre ?

Consignes : Travail en groupe - Expliquez la méthode de datation de la Terre présentée dans les documents proposés. Vous présenterez ensuite aux autres groupes de la classe:

- Le principe de la méthode et la date à laquelle cette méthode de datation a été utilisée
- Si possible, une valeur de l'âge de la Terre calculée ou estimée à partir des données proposées
- Les sources d'erreurs, d'incertitudes et/ou les polémiques suscitées

DOSSIER 1 – Les expériences de Buffon

Document 1 : L'approche de Buffon : une datation par refroidissement de sphères

Le mathématicien, biologiste et philosophe Georges Louis-Leclerc, comte de Buffon, est le premier à expérimenter afin de proposer un âge pour la Terre. Vers 1770, il part du constat que la température augmente en profondeur (d'après l'observation de mines) pour émettre l'hypothèse que la Terre était à l'origine une boule de roches en fusion, qui refroidit sans cesse depuis sa formation. A partir d'une publication de Newton sur la propagation de la chaleur, il élabore un protocole rigoureux afin d'estimer l'âge de la Terre. Entre 1749 et 1789 *L'Histoire naturelle*, Buffon écrit une vaste encyclopédie où il expose ses idées sur l'histoire de la Terre.



Buffon (1753-1788)

Dans une expérience devenue célèbre, il chauffe au rouge dix boulets de tailles différentes. Buffon, qui ne dispose pas de thermomètre adéquat, note ensuite la durée nécessaire pour que les boulets incandescents puissent de nouveau être touchés sans se brûler.

D'après Manuel d'Enseignement Scientifique – Le livre scolaire et Bordas éditeur

Document 2 : Le protocole expérimental de Buffon

J'ai fait faire dix boulets de fer forgé [chauffés jusqu'à incandescence] : le premier d'un demi-pouce de diamètre ; le second d'un pouce ; le troisième d'un pouce et demi [et ainsi de suite procédant par augmentation d'un demi-pouce jusqu'au dixième boulet de 5 pouces].

Avant de rapporter les expériences, j'observerai :

1. Qu'on a laissé refroidir les boulets dans une cave où le thermomètre était à peu près à dix degrés au-dessus de la congélation ; et c'est ce degré que je prends ici pour celui de la température actuelle de la Terre.
2. J'ai cherché à saisir deux instants dans le refroidissement : le premier où les boulets ont cessé de brûler, c'est-à-dire le moment où on pouvait les toucher et les tenir avec la main pendant une seconde sans se brûler ; le second temps de ce refroidissement est celui où les boulets se sont trouvés refroidis jusqu'au point de la température actuelle, c'est-à-dire à dix degrés au-dessus de la congélation. Et pour connaître le moment de ce refroidissement jusqu'à la température actuelle, on s'est servi d'autres boulets de comparaison de même matière et de même diamètre qui n'avaient pas été chauffés et que l'on touchait en même temps que ceux qui avaient été chauffés.

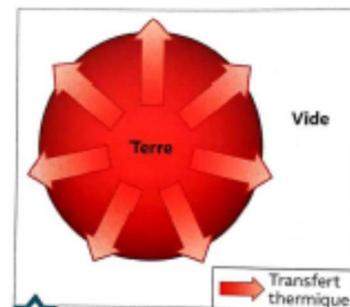
D'après son œuvre encyclopédique Histoire naturelle, générale et particulière en 36 volumes publiés de 1749 à 1804 (les 8 derniers sont posthumes).

1 pouce = 2,7070 cm

Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique – Edition Nathan



Les expériences de Buffon



Le postulat de Buffon

Document 3 : Les résultats de l'expérience de Buffon

Le but des expériences de Buffon était d'établir une relation entre le diamètre du boulet et le temps de refroidissement et, enfin, d'extrapoler cette relation pour une boule dont le diamètre serait celui de la Terre (13 000 km, soit 941 461 920 demi-pouces).

Diamètre du boulet (en demi-pouces)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps du premier refroidissement (en minutes)	12	35,5	58	80	102	127	156	182	205	232
Temps du second refroidissement (en minutes)	39	93	145	196	248	308	356	415	466	522

Résultats obtenus par Buffon

Buffon observe que plus le boulet est de grand diamètre, plus son refroidissement est lent. Si l'on représente ces mesures dans un graphique, on remarque que les points s'alignent sur une droite. L'équation de la droite est de la forme $Y = aX + b$, où Y représente la durée de refroidissement du boulet, et X son diamètre.

D'après Manuel d'Enseignement Scientifique – Belin Éducation et Bordas éditeur

Mise en situation :

La question de l'âge de la Terre c'est très vite posé aux humains, les premiers écrits concernant ce sujet datent de l'antiquité. Au XVI^e siècle, il était communément admis que la Terre s'était formée environ 4000 ans avant notre ère, une valeur issue des récits bibliques. Au cours des deux siècles suivants, des savants tentèrent de déterminer cet âge de façon scientifique.

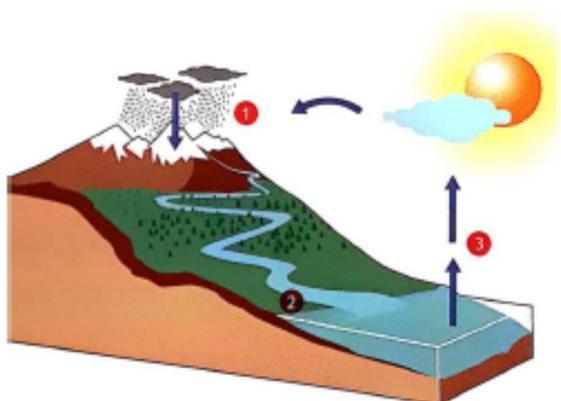
Quelles approches ont été utilisées pour les premières estimations de l'âge de la Terre ?

Consignes : Travail en groupe - Expliquez la méthode de datation de la Terre présentée dans les documents proposés. Vous présenterez ensuite aux autres groupes de la classe:

- Le principe de la méthode et la date à laquelle cette méthode de datation a été utilisée
- Si possible, une valeur de l'âge de la Terre calculée ou estimée à partir des données proposées
- Les sources d'erreurs, d'incertitudes et/ou les polémiques suscitées

DOSSIER 5 – Une datation par l'évolution de la salinité des océans

Document 1 : L'apport de sel par les rivières et la méthode de Halley



- 1 Ruissellement de l'eau de pluie sur la montagne
- 2 Arrivée du fleuve à l'océan
- 3 Évaporation de l'eau

L'eau de ruissellement se charge de sels minéraux (1), les apporte à l'océan (2), d'où elle s'évapore (3).



Edmond Halley
(1656-1742)

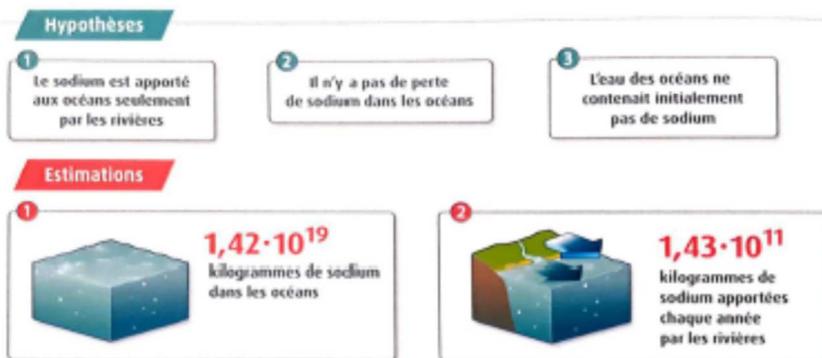
Edmond Halley explique que la salinité de la mer a été apportée par l'eau des rivières. L'eau « douce » des rivières contient en réalité quelques sels provenant des roches qu'elle érode.

Elle fournit continuellement ces sels à l'océan qui, en permanence, évapore de l'eau douce ; le bilan est donc simple : l'eau de l'océan se charge petit à petit en sels des rivières. Ainsi, en estimant la quantité de sels des océans et le débit total de l'apport des fleuves, on peut déduire la durée nécessaire à leur apport.

Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique – Le livre scolaire

Document 2 : Calcul de l'âge de la Terre par le sel de mer

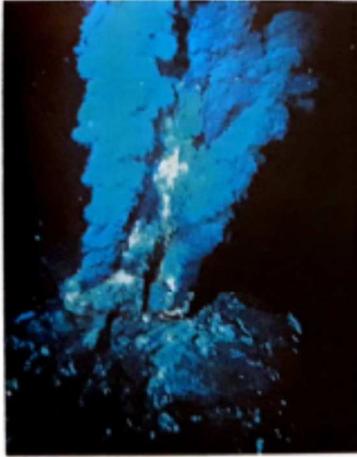
Les travaux de Halley furent exploités par John Joly (1857-1933). Il estime l'âge de la Terre à partir des données présentées ci-contre. Ce modèle est simple mais erroné : il y a des processus de perte de sels (vents, dépôts, etc...) que Joly ne prend pas en compte.



D'après Manuel d'Enseignement Scientifique – Le livre scolaire et Belin Education

Document 3 : Les sources chaudes

Au niveau des dorsales océaniques, des sources chaudes évacuent la chaleur du magma sous-jacent. L'eau pénètre dans la croûte océanique par un réseau de fissures, se réchauffe, puis ressort sous la forme de panaches chargés d'éléments minéraux (a). La composition chimique de cette eau a été déterminée et comparée à celle de l'eau de mer entrant dans la croûte (b).



a Une source chaude sous-marine.

Élément chimique	Eau de mer entrant dans la croûte (en ppm)	Eau sortant de la croûte (en ppm)
Cl	19 500	17 300
Na	10 500	9931
Mg	1290	0
Ca	400	860
K	380	975
Si	3	600

ppm : partie par million ; 1 ppm = 1 mg/kg

b Composition chimique de l'eau de mer avant et après son passage dans les fissures de la croûte.

Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique – Bordas Editeur

Mise en situation :

La question de l'âge de la Terre c'est très vite posé aux humains, les premiers écrits concernant ce sujet datent de l'antiquité. Au XVI^e siècle, il était communément admis que la Terre s'était formée environ 4000 ans avant notre ère, une valeur issue des récits bibliques. Au cours des deux siècles suivants, des savants tentèrent de déterminer cet âge de façon scientifique.

Quelles approches ont été utilisées pour les premières estimations de l'âge de la Terre ?

Consignes : Travail en groupe - Expliquez la méthode de datation de la Terre présentée dans les documents proposés. Vous présenterez ensuite aux autres groupes de la classe:

- Le principe de la méthode et la date à laquelle cette méthode de datation a été utilisée
- Si possible, une valeur de l'âge de la Terre calculée ou estimée à partir des données proposées
- Les sources d'erreurs, d'incertitudes et/ou les polémiques suscitées

DOSSIER 4 – Une estimation du temps nécessaire à la formation des roches

Document 1 : la méthode stratigraphique

A partir de la fin du XVII^e siècle, l'étude des dépôts sédimentaires, appelée stratigraphie, prend son essor. L'âge de la Terre va être estimé par mesure de l'épaisseur des strates de sédiments, en utilisant la proportionnalité : s'il faut 100 ans pour qu'un millimètre de sédiments se dépose, alors il faut 100 000 ans pour former une couche d'un mètre. Cette méthode est discutable, car les sédiments ne se déposent pas de manière homogène dans le temps ni dans l'espace.

D'après le Manuel d'Enseignement Scientifique – Le livre scolaire

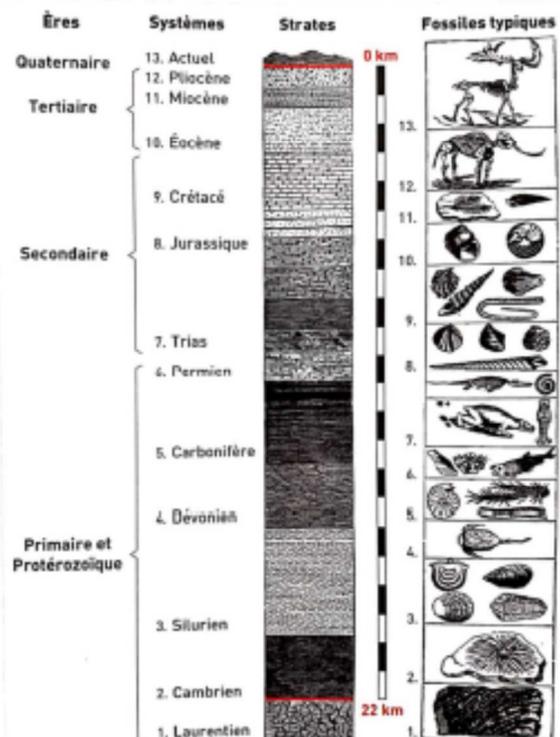
Document 2 : Formations sédimentaires et fossiles associés

Charles Lyell, ami proche de Darwin, est le premier à avoir l'idée d'identifier les strates sédimentaires en fonction de leur contenu en fossiles, et à les nommer.



Charles Lyell (1797-1875)

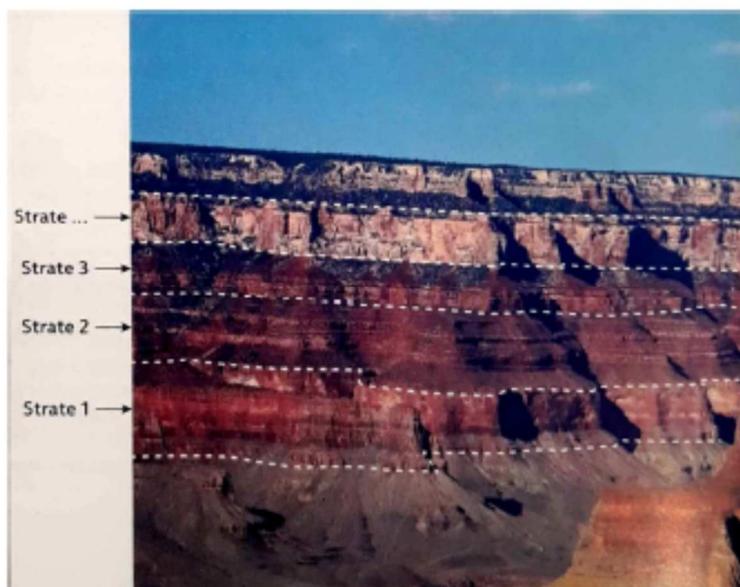
Sur ce principe, William Smith, géologue britannique, décrit le cumul théorique de ces strates sur 22 km d'épaisseur, avec leurs fossiles caractéristiques (v. ci-contre).



D'après le Manuel d'Enseignement Scientifique – Bordas Editeur

Les formations sédimentaires de Grande-Bretagne et leurs fossiles caractéristiques (document de 1888)

Document 3 : La superposition des couches géologiques



Paysage du Grand Canyon, Arizona, Etats-Unis

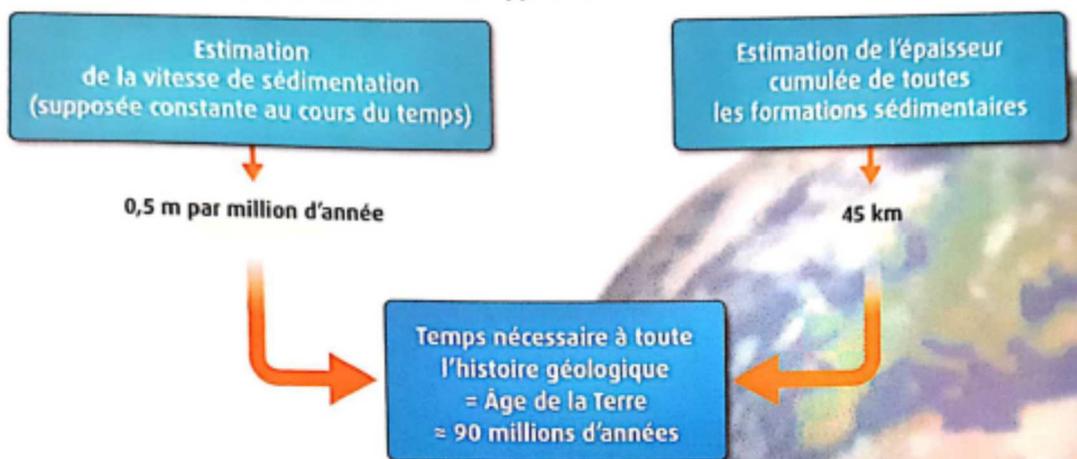
Ces falaises pouvant atteindre 1600 mètres de hauteur sont constituées d'empilements de roches sédimentaires, nommées « strates ». Ces structures se sont formées par des dépôts successifs de sédiments (la strate 1 s'est déposée avant la strate 2, etc...).

Extrait du Manuel d'Enseignement Scientifique – Editions Nathan

Document 4 : Approches fondées sur l'étude des dépôts sédimentaires

Au XIXe siècle, de nombreux géologues mesurent les vitesses de dépôt de sédiments charriés par de grands fleuves comme le Mississippi et le Pô afin d'estimer l'âge des strates sédimentaires.

Données prises en compte par d'Albert de Lapparent :



Données prises en compte par d'autres géologues pour leurs estimations :

Auteur	John Phillips	Archibald Geike	Warren Upham	William Sollas
Date	1860	1892	1893	1900 1909
Épaisseur cumulée des formations sédimentaires (en km)	22	30	80	81 102
Vitesse de sédimentation (en mètres par million d'année)	0,23	0,4	0,8	3,1 1,27

D'après le Manuel d'Enseignement Scientifique – Bordas Editeur et Belin Education

ANNEXE 2 – EVALUATIONS DE FIN DE CHAPITRES

NOM :	PRENOM :	CLASSE	Note finale
			/ 20

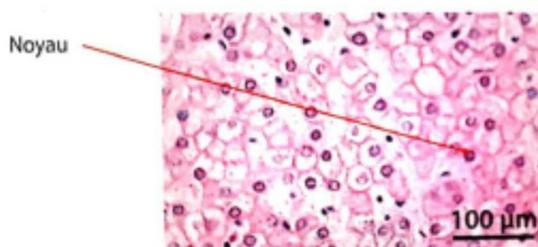
Evaluation des connaissances – Chapitre 2 – La cellule – SUJET A	
ATTENTION ! LE SUJET EST À RENDRE AVEC VOTRE COPIE	
<i>Durée 40 min – Vous pouvez faire les exercices dans l'ordre de votre choix. Bon courage</i>	
La propreté et l'orthographe seront évalués :	/ 1

Enoncé	Notation
1- QCM, choisir la proposition correcte	/ 4

Le principe n'étant pas relatif à la théorie cellulaire est :	<i>Toute cellule provient d'une autre cellule</i>	<i>Toutes les cellules ont la même structure</i>	<i>Tous les organismes vivants sont constitués au minimum d'une cellule</i>	<i>Les cellules sont les plus petites entités vivantes</i>
Les premières observations de cellules :	<i>Ont été effectuées au XIV^e siècle</i>	<i>Ont permis de proposer que tout organisme vivant est constitué de cellules</i>	<i>Sont liées à certaines avancées technologiques</i>	<i>Sont liées à la réfutation de la théorie de la féderation spontanée</i>
La membrane plasmique :	<i>Présente une épaisseur de 7 µm</i>	<i>Est constituée de lipides et de protéines en couches superposées</i>	<i>Est constituée d'une mosaïque de lipides et de glucides</i>	<i>Est présente autour de toutes les cellules vivantes</i>
Les molécules de la membrane plasmique :	<i>Regroupent leurs parties hydrophiles au cœur de la bicouche lipidique</i>	<i>Regroupent leurs parties hydrophobes au cœur de la bicouche lipidique</i>	<i>Regroupent leurs parties lipophiles sur la partie extérieure de la membrane plasmique</i>	<i>Regroupent leurs parties lipophobes sur la partie intérieure de la membrane plasmique</i>

2- Calcul de la taille d'un organeite

/ 4



Observation en microscopie optique (x1000)

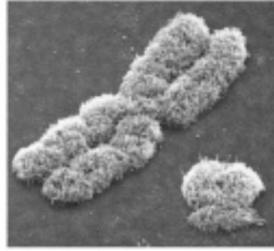
Le noyau est un organeite. A partir de l'image ci-contre, calculez la taille du noyau. Vous détaillerez vos calculs.

3- Ordres de grandeur d'observation d'un organisme

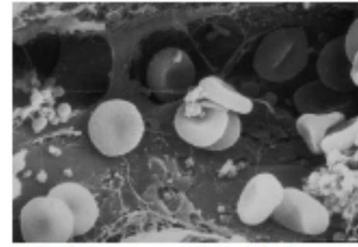
/ 5



Rouge gorge



Paire de chromosomes



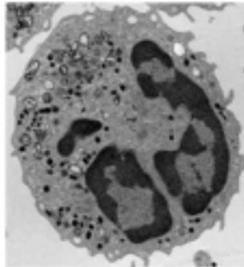
Veinule contenant des globules rouges et blancs

- Préciser la technique d'observation utilisée pour chacune des photographies (MO, MEB, MET, appareil photo standard)

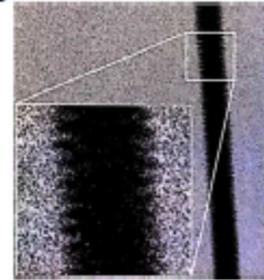
- Associer chaque élément avec sa catégorie et sa taille parmi les propositions suivantes :

> catégories : molécules ; organites ; cellules ; tissus ; organismes

> taille : 2 nm ; 1 μm ; 10 μm ; 110 μm ; 12 cm



Neutrophile (globule blanc)



Double hélice d'ADN

4- Structure des mitochondries

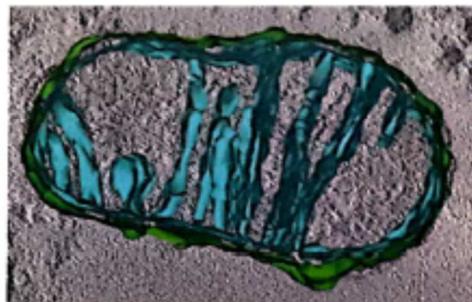
/ 6

Les mitochondries sont des organites dans lesquels se réalise la respiration cellulaire. La composition chimique des membranes qui délimitent les mitochondries du cytoplasme de la cellule est analysée et comparée à celle de la membrane plasmique des globules rouges (cellules eucaryotes) et à celle d'une bactérie (*E. coli*). Le cytoplasme et l'intérieur des mitochondries sont des milieux aqueux (= qui contient de l'eau).

En vous appuyant sur l'analyse des documents, complétée par vos connaissances, répondez aux questions proposées. Vos réponses pourront être accompagnées de schémas.



Mitochondrie non colorée



La membrane mitochondriale externe est colorée en vert ; la membrane mitochondriale interne et ses replis sont colorés en bleu.

Observation de mitochondries au microscope électronique (images reconstituées par ordinateur)

Analyse chimique comparative des membranes

	Globule rouge	Mitochondrie	<i>E. coli</i>
Rapports lipides/protéines (en masse)	1/3	1/3	1/3
Phospholipides (en % de la quantité de lipides)	74	95	100
Stérols* (en % de la quantité de lipides)	25	5	0

* Les stérols sont une classe de lipides contenant le cholestérol

- a- Expliquer comment le milieu intérieur des mitochondries est séparé du reste du cytoplasme.

- b- Expliquer comment, grâce aux caractéristiques de certaines molécules, une cellule ou un organe peut être isolé du reste de son milieu.

- c- D'après la théorie endosymbiotique, les mitochondries proviennent d'une bactérie « ingérée » par une cellule eucaryote. Indiquer l'/les argument(s) ayant(s) conduit à l'élaboration de cette théorie.

NOM :	PRENOM :	CLASSE	Note finale
			/ 20

Evaluation des connaissances – Chapitre 3 – L’Histoire de l’âge de la Terre – SUJET A	
ATTENTION ! LE SUJET EST À RENDRE AVEC VOTRE COPIE	
<i>Durée 40 min – Vous pouvez faire les exercices dans l’ordre de votre choix. Bon courage</i>	
<i>La propreté, l’orthographe et la qualité du français seront évalués :</i>	/ 1

Enoncé	Notation
1- QCM, choisir la proposition correcte	/ 5

Comment évaluer l’âge de la Terre avec les dépôts sédimentaires ?	<i>Par observation des traces de paléocourants</i>	<i>En évaluant leur épaisseur</i>	<i>En comptant le nombre de strates</i>	
La première méthode expérimentale d’estimation de l’âge de la Terre s’est appuyée sur :	<i>Des fioles d’eau de mer</i>	<i>Des boulets de canon en fusion</i>	<i>Des roches stratifiées</i>	
Au cours du temps, la quantité d’éléments radioactifs pères :	<i>Diminue</i>	<i>Augmente</i>	<i>Reste stable</i>	
Les météorites que l’on a pu dater se sont formées :	<i>Avant la formation de la Terre</i>	<i>En même temps que la Terre</i>	<i>Bien après la formation de la Terre</i>	
L’âge de la Terre est d’environ :	<i>4,55 milliards d’années</i>	<i>4,55 millions d’années</i>	<i>300 milliards d’années</i>	<i>4000 ans</i>

2- Classer les arguments ayant permis d’affiner l’âge de la Terre dans l’ordre chronologique	/ 4
---	------------

- a. Le naturaliste français Georges Buffon modélise le refroidissement de la Terre
- b. Le géochimiste Clair Patterson utilise les rapports isotopiques dans une météorite
- c. L’archevêque James Ussher interprète les textes de la Bible
- d. John Joly détermine l’âge de la Terre à partir de la mesure de la salinité des océans

3- Question de synthèse	/ 10
--------------------------------	-------------

En vous appuyant sur l’exemple de l’âge de la Terre, vous montrerez comment la science construit et perfectionne peu à peu sa compréhension de la Nature en exploitant des faits nouveaux apparus successivement. Votre réponse prendra la forme d’un texte argumenté.

ANNEXE 3 – RESULTATS WOOC LAP EVALUATION 1 – CHAPITRE CELLULE

Elève	La plus petite entité du vivant est:		Parmi ces propositions, lequel, ou lesquelles de ces éléments, est/sont constitué(s) d'une ou de plusieurs cellules :		Qu'est-ce que la génération spontanée?		Comment se forment les cellules?		Quel outil a permis l'étude des cellules?		Classer ces techniques de microscopie, du grossissement le plus faible au grossissement le plus important		Total
1	X	0	X	0	V	1	X	0	X	0	X	0	1
2	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	X	0	2
3	X	0	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	4
4	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	2
5	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	2
6	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	2
7	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	4
8	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	4
9	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	2
10	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	4
11	X	0	X	0	X	0	X	0	V	1	X	0	1
12	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
13	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	3
14	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	4
15	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
16	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	3
17	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	2
18	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	3
19	X	0	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	2
20	X	0	X	0	X	0	X	0	V	1	X	0	1
21	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	2
22	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	5
23	X	0	V	1	V	1	X	0	V	1	X	0	3
24	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	/		4
25	V	1	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	4
26	X	0	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	2
27	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	3
28	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	2
29	X	0	V	1	V	1	X	0	V	1	X	0	3
30	X	0	V	1	V	1	X	0	X	0	X	0	2
31	V	1	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	3
32	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	2
33	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	X	0	4
34	V	1	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	4
35	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
36	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	2
37	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	3
38	X	0	X	0	X	0	X	0	X	0	X	0	0
39	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	2
40	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	3
41	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	6
42	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	5
43	/		/		/		/		/		X	0	0
Moyenne	18.6%		70.93%		58.14%		39.53%		83.72%		34.88%		2,80488

La plus petite entité du vivant est :			
Choix	Nombre de votes	%	
L'atome	29	69,05	80,95
La molécule	2	4,76	
L'organite	3	7,14	
La cellule	8	19,05	19,05
		100	
Parmi ces propositions, lequel, ou lesquelles de ces éléments, est/sont constitué(s) d'une ou de plusieurs cellules ?			
Choix	Nombre de votes	%	
Les cristaux	15	35,71	
Les bactéries	23	54,76	
Les plantes	36	85,71	
Les animaux	36	85,71	
	Nombre de votes	%	
Nombre de participants qui ont répondu correctement (excl. les réponses manquantes)	18	42,86	57,14
Qu'est-ce que la génération spontanée ?			
Choix	Nombre de votes	%	
C'est l'apparition de cellules à partir d'autres cellules	17	40,48	
C'est l'apparition de la vie à partir de matière organique, inorganique ou d'une combinaison des deux	25	59,52	
		100	
Comment se forment les cellules ?			
Choix	Nombre de votes	%	
Toutes les cellules se forment par division cellulaire, à partir d'une cellule préexistante	17	40,48	
Certaines cellules se forment par division cellulaire, d'autres se forment à partir d'éléments présents dans le milieu	25	59,52	
		100	

Quel outil a permis l'étude des cellules ?			
Choix	Nombre de votes	%	
Le télescope	1	2,38	
Le stéthoscope	2	4,76	
Le microscope	36	85,71	85,71
La loupe binoculaire	3	7,14	14,28
		99,99	
Classer ces techniques de microscopie, du grossissement le plus faible au grossissement le plus important		%	
Choix correct	15	35,71	38,46
Choix incorrect	24	57,14	61,54
Non répondu	3	7,14	
	42	100,00	
		Correct	Incorrect
<i>La plus petite entité du vivant est:</i>	Notion cellule	19,05	80,95
<i>Parmi ces propositions, lequel, ou lesquelles de ces éléments, est/sont constitué(s) d'une ou de plusieurs cellules :</i>	Pluricellularité	42,86	57,14
<i>Qu'est-ce que la génération spontanée ?</i>	Génération spontanée	59,52	40,48
<i>Comment se forment les cellules ?</i>	Formation cellule	40,48	59,52
<i>Quel outil a permis l'étude des cellules ?</i>	Etude cellule	85,71	14,28
<i>Classer ces techniques de microscopie, du grossissement le plus faible au grossissement le plus important</i>	Microscopie	38,46	61,54

ANNEXE 4 – RESULTATS WOOC LAP EVALUATION 2 – CHAPITRE CELLULE

Élève	La plus petite entité du vivant est :		Fermi sur préparations, lequel, au lieu de quel de ces éléments, artéant constitué(s) d'un ou de plusieurs cellules :		Du fait de ce que la génétique peut-on les ?		Comment se forment les cellules ?		Quel outil a permis l'étude des cellules ?		Classer ces techniques de microscopie, de grandissement le plus faible au grandissement le plus important		Total
1	X	0	V	1	X	0	X	0	X	0	V	1	2
2	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	4
3	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	X	0	2
4	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	2
5	X	0	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	2
6	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	2
7	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	X	0	2
8	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	2
9	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	4
10	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	3
11	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	2
12	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	6
13	V	1	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	3
14	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
15	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	4
16	V	1	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	3
17	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	2
18	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
19	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
20	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	3
21	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	V	1	3
22	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
23	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	3
24	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	X	0	3
25	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	3
26	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
27	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	5
28	V	1	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	3
29	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	5
30	X	0	X	0	V	1	/	/	V	1	X	0	2
31	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	4
32	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	3
33	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	X	0	2
34	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	3
35	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	4
36	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	5
37	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
38	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	2
39	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	3
40	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	2
41	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	3
42	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	3
43	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	5
44	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	V	1	3
45	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
46	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	3
47	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
48	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	3
49	X	0	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	3
50	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	3
51	X	0	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	3
52	/	/	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	3
53	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0
54	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0
Moyenne	22.22%		84.26%		33.33%		62.96%		75.93%		44.44%		

La plus petite entité du vivant est :			
Choix	Nombre de votes	%	
L'atome	34	66,67	76,47
La molécule	3	5,88	
L'organite	2	3,92	
La cellule	12	23,53	23,53
		100	

<i>Parmi ces propositions, lequel, ou lesquelles de ces éléments, est/sont constitué(s) d'une ou de plusieurs cellules ?</i>			
Choix	Nombre de votes	%	
Les cristaux	8	15,38	
Les bactéries	43	82,69	
Les plantes	48	92,31	
Les animaux	47	90,38	
	Nombre de votes	%	
Nombre de participants qui ont répondu correctement (excl. les réponses manquantes)	32	61,54	38,46
<i>Qu'est-ce que la génération spontanée ?</i>			
Choix	Nombre de votes	%	
C'est l'apparition de cellules à partir d'autres cellules	34	65,38	
C'est l'apparition de la vie à partir de matière organique, inorganique ou d'une combinaison des deux	18	34,62	
		100	
<i>Comment se forment les cellules ?</i>			
Choix	Nombre de votes	%	
Toutes les cellules se forment par division cellulaire, à partir d'une cellule préexistante	34	66,67	
Certaines cellules se forment par division cellulaire, d'autres se forment à partir d'éléments présents dans le milieu	17	33,33	
		100	

Quel outil a permis l'étude des cellules ?			
Choix	Nombre de votes	%	
Le télescope	0	0	
Le stéthoscope	1	1,92	
Le microscope	41	78,85	78,85
La loupe binoculaire	10	19,23	21,15
		100	
Classer ces techniques de microscopie, du grossissement le plus faible au grossissement le plus important			
		%	
Choix correct	24	35,29	46,15
Choix incorrect	28	41,18	53,85
Non répondu	16	23,53	
	68	100,00	
		Correct	Incorrect
<i>La plus petite entité du vivant est :</i>	Notion cellule	23,53	76,47
<i>Parmi ces propositions, lequel, ou lesquelles de ces éléments, est/sont constitué(s) d'une ou de plusieurs cellules :</i>	Pluricellularité	61,54	38,46
<i>Qu'est-ce que la génération spontanée ?</i>	Génération spontanée	34,62	65,38
<i>Comment se forment les cellules ?</i>	Formation cellule	66,67	33,33
<i>Quel outil a permis l'étude des cellules ?</i>	Etude cellule	78,85	21,15
<i>Classer ces techniques de microscopie, du grossissement le plus faible au grossissement le plus important</i>	Microscopie	46,15	53,85

ANNEXE 5 – RESULTATS WOOC LAP EVALUATION 1 – CHAPITRE TERRE

Elève	A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de :			Les premières approches littérales des croyants protestants pour déterminer l'âge de la Terre sont les suivantes :				L'âge de la Terre				Le naturaliste Charles Darwin a rejeté l'âge de la Terre à plusieurs occasions de millions d'années et a proposé au :		Parmi les approches actuelles pour donner un âge à la Terre, indiquez laquelle n'a pas été proposée en 1830 :		Total
	X	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
1	X	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0
2	X	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0
3	X	0	V	1	X	0	X	0	X	0	X	0	X	0	X	1
4	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	5
5	/	/	/	/	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	/	3
6	X	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0
7	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
8	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
9	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
10	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
11	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	X	0	X	0	X	3
12	X	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0
13	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
14	X	0	/	/	V	1	/	/	/	/	/	X	0	/	/	1
15	X	0	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
16	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
17	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	X	0	X	3
18	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
19	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	5
20	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
21	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
22	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
23	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	5
24	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	5
25	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	5
26	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	5
27	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
28	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
29	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
30	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
31	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	5
32	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	5
33	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
34	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	5
35	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	5
36	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	X	0	X	0	X	4
37	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
38	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	5
39	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	X	0	X	0	X	4
40	/	/	V	1	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2
41	/	/	V	1	/	/	/	/	V	1	V	1	X	0	X	3
42	/	/	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
43	/	/	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
44	/	/	V	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
45	/	/	X	0	V	1	V	1	X	0	X	0	X	0	X	2
46	/	/	V	1	X	0	X	0	V	1	X	0	X	0	X	2
47	/	/	V	1	V	1	X	0	X	0	X	0	X	0	X	2
48	/	/	V	1	V	1	X	0	V	1	X	0	X	0	X	3
49	/	/	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
50	/	/	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
51	/	/	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
52	/	/	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	2
53	/	/	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	4
54	/	/	X	0	V	1	V	1	X	0	X	0	X	0	X	2
55	/	/	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
56	/	/	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	5
57	/	/	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
58	/	/	/	/	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	3
59	/	/	/	/	/	/	/	/	V	1	X	0	X	0	X	1
60	/	/	/	/	/	/	/	/	X	0	X	0	X	0	X	0
Moyenne	41,67%		53,33%		58,33%		65%		65%		5%					

A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de :			
Choix	Nombre de votes	%	
Quelques milliers d'années	25	65,79	65,79
Quelques dizaines de milliers d'années	8	21,05	34,2
Quelques centaines de milliers d'années	2	5,26	
Quelques millions d'années	3	7,89	
		99,99	

Les premières approches utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontent au XVe siècle :			
Choix	Nombre de votes	%	
Vrai	13	28,89	
Faux	32	71,11	
		100	
L'histoire de l'âge de la Terre s'est construite :			
Choix	Nombre de votes	%	
Sur des expériences et des observations géologiques	7	15,56	22,22
Sur des modèles mathématiques et des expériences	1	2,22	
Sur des observations géologiques et des modèles mathématiques	2	4,44	
Sur des modèles mathématiques, des expériences et des observations géologiques	35	77,78	77,78
		100	
L'âge de la Terre :			
Choix	Nombre de votes	%	
Est connu depuis l'Antiquité	4	8,7	
A fait l'objet de travaux impliquant de nombreuses disciplines au cours des siècles	39	84,78	84,78
Est de 3 milliards d'années	2	4,35	15,22
A fait l'unanimité dès les premières estimations scientifiques	1	2,17	
		100	
Le naturaliste Charles Darwin a estimé l'âge de la Terre à plusieurs centaines de millions d'années en s'appuyant sur :			
Choix	Nombre de votes	%	
Le refroidissement de boulets de canon	3	6,52	
Un comptage de générations dans des textes bibliques	2	4,35	
Un comptage de tortues aux îles Galapagos	2	4,35	15,22

La nécessité de considérer des échelles de temps très grandes pour comprendre l'évolution des espèces biologiques	39	84,78	84,78
		100	
<i>Parmi les approches suivantes pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au XIXe siècle :</i>			
Choix	Nombre de votes	%	
Le calcul du temps nécessaire à la formation des ensembles de roches sédimentaires	27	57,45	
Le calcul du temps nécessaire au refroidissement de la Terre	14	29,79	93,62
Le calcul du temps nécessaire à l'obtention de rapports en isotopes du plomb mesurés dans des roches	3	6,38	6,38
Le calcul du temps nécessaire à l'obtention du taux de salinité des océans	3	6,38	
		100	
		Correct	Incorrect
<i>A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de :</i>	Bible	65,79	34,2
<i>Les premières approches utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontent au XVe siècle :</i>	Premières approches scientifiques	71,11	28,89
<i>L'histoire de l'âge de la Terre s'est construite :</i>	Construction Age	77,78	22,22
<i>L'âge de la Terre:</i>	Age de la Terre	15,22	84,78
<i>Le naturaliste Charles Darwin a estimé l'âge de la Terre à plusieurs centaines de millions d'années en s'appuyant sur :</i>	Estimation Darwin	84,78	15,22
<i>Parmi les approches suivantes pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au XIXe siècle :</i>	Datation absolue	6,38	93,62

ANNEXE 6 – RESULTATS WOCLAP EVALUATION 2 – CHAPITRE TERRE

Elève	A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de:		utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontant au 19 ^e siècle:		Les habitants de l'âge de la Terre ont construit:		L'âge de la Terre:		Le naturaliste Charles Darwin a estimé l'âge de la Terre à plusieurs centaines de millions d'années en s'appuyant sur:		Formuler un aperçu suivant pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au 18 ^e siècle:		Total
	V	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V	X	
1	V	1	V	1	/	/	/	/	/	/	V	1	3
2	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
3	X	0	X	0	X	0	V	1	/	/	X	0	1
4	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
5	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	5
6	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	5
7	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	3
8	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	6
9	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	4
10	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	6
11	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	6
12	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	5
13	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
14	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
15	/	/	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	3
16	X	0	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	5
17	X	0	X	0	X	0	X	0	/	/	/	/	0
18	V	1	V	1	V	1	/	/	V	1	X	0	4
19	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
20	/	/	X	0	V	1	V	1	X	0	V	1	3
21	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	5
22	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	X	0	4
23	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	3
24	X	0	V	1	V	1	/	/	/	/	/	/	2
25	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	4
26	V	1	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	4
27	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	X	0	2
28	V	1	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	3
29	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	X	0	2
30	V	1	X	0	V	1	X	0	V	1	/	/	3
31	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	4
32	V	1	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	4
33	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	5
34	V	1	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	4
35	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	6
36	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	6
37	V	1	V	1	V	1	/	/	/	/	/	/	3
38	X	0	X	0	X	0	V	1	X	0	V	1	2
39	X	0	V	1	X	0	V	1	X	0	X	0	2
40	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	3
41	X	0	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	3
42	X	0	V	1	V	1	V	1	X	0	X	0	3
43	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
44	V	1	X	0	V	1	/	/	V	1	/	/	3
45	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	5
46	V	1	V	1	V	1	/	/	V	1	V	1	5
47	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	V	1	5
48	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
49	V	1	V	1	V	1	V	1	V	1	X	0	5
50	V	1	X	0	V	1	V	1	X	0	V	1	4
51	X	0	/	/	V	1	V	1	X	0	X	0	2
52	V	1	V	1	X	0	V	1	X	0	V	1	4
53	/	/	V	1	/	/	X	0	/	/	/	/	1
54	/	/	/	/	/	/	/	/	X	0	/	/	0
Moyenne	66.67%		68.52%		74.07%		77.78%		55.56%		37.04%		

A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de:			
Choix	Nombre de votes	%	
Quelques milliers d'années	36	72	72
Quelques dizaines de milliers d'années	11	22	28
Quelques centaines de milliers d'années	2	4	
Quelques millions d'années	1	2	
		100	

Les premières approches utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontent au XVe siècle :			
Choix	Nombre de votes	%	
Vrai	15	28,85	
Faux	37	71,15	
		100	
L'histoire de l'âge de la Terre s'est construite :			
Choix	Nombre de votes	%	
Sur des expériences et des observations géologiques	2	3,92	
Sur des modèles mathématiques et des expériences	6	11,76	
Sur des observations géologiques et des modèles mathématiques	3	5,88	21,56
Sur des modèles mathématiques, des expériences et des observations géologiques	40	78,43	78,43
		99,99	
L'âge de la Terre :			
Choix	Nombre de votes	%	
Est connu depuis l'Antiquité	0	0	
A fait l'objet de travaux impliquant de nombreuses disciplines au cours des siècles	42	89,36	89,36
Est de 3 milliards d'années	5	10,64	10,64
A fait l'unanimité dès les premières estimations scientifiques	0	0	
		100	
Le naturaliste Charles Darwin a estimé l'âge de la Terre à plusieurs centaines de millions d'années en s'appuyant sur :			
Choix	Nombre de votes	%	
Le refroidissement de boulets de canon	13	27,08	
Un comptage de générations dans des textes bibliques	1	2,08	
Un comptage de tortues aux îles Galapagos	4	8,33	37,49

La nécessité de considérer des échelles de temps très grandes pour comprendre l'évolution des espèces biologiques	30	62,5	62,5
		99,99	
<i>Parmi les approches suivantes pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au XIXe siècle :</i>			
Choix	Nombre de votes	%	
Le calcul du temps nécessaire à la formation des ensembles de roches sédimentaires	10	21,28	
Le calcul du temps nécessaire au refroidissement de la Terre	11	23,4	57,45
Le calcul du temps nécessaire à l'obtention de rapports en isotopes du plomb mesurés dans des roches	20	42,55	42,55
Le calcul du temps nécessaire à l'obtention du taux de salinité des océans	6	12,77	
		100	
		Correct	Incorrect
<i>A la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de :</i>	Bible	72	28
<i>Les premières approches utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontent au XVe siècle :</i>	Premières approches scientifiques	71,15	28,85
<i>L'histoire de l'âge de la Terre s'est construite :</i>	Construction Age	78,43	21,56
<i>L'âge de la Terre :</i>	Age de la Terre	10,64	89,36
<i>Le naturaliste Charles Darwin a estimé l'âge de la Terre à plusieurs centaines de millions d'années en s'appuyant sur :</i>	Estimation Darwin	62,5	37,49
<i>Parmi les approches suivantes pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au XIXe siècle :</i>	Datation absolue	42,55	57,45

ANNEXE 7 – RESENTI DES ELEVES

Théorie cellulaire		
Selon vous, arriver à la production d'une frise chronologique à partir de l'activité proposée était :		
Choix	Nombre de votes	%
Très facile	36	59,016393
Facile	17	27,868852
Difficile	6	9,8360656
Très difficile	2	3,2786885
	61	100
Pour les chapitres concernant l'histoire des sciences et le développement du savoir scientifique vous préférez :		
Choix	Nombre de votes	%
Ce type d'activité, sous forme de jeu	39	63,934426
Une étude de documents	9	14,754098
Une vidéo	13	21,311475
	61	100
Si vous deviez évaluer votre intérêt pour cette activité Timeline sur la théorie cellulaire :		
Choix	Nombre de votes	%
1 - Très intéressé	13	21,311475
2 - Intéressé	17	27,868852
3 - Neutre	6	9,8360656
4 - Peu intéressé	12	19,672131
5 - Sans intérêt	13	21,311475
	61	100
Selon vous la présentation des informations sous la forme d'un jeu vous a-t-elle permis de comprendre les notions présentées ?		
Choix	Nombre de votes	%
Oui	41	67,213115
Non	11	18,032787
Je ne sais pas	9	14,754098
	61	100

Age de la Terre		
Selon vous, arriver à un classement chronologique des différentes méthodes utilisées pour estimer l'âge de la Terre à partir de l'activité proposée était :		
Choix	Nombre de votes	%
Très facile	14	22,222222
Facile	28	44,444444
Difficile	16	25,396825
Très difficile	5	7,9365079
	63	100
Pour les chapitres concernant l'histoire des sciences et le développement du savoir scientifique vous préférez :		
Choix	Nombre de votes	%
Une activité, sous forme de jeu	45	71,428571
Une étude de documents	7	11,111111
Une vidéo	11	17,460317
	63	100
Si vous deviez évaluer votre intérêt pour cette activité d'analyse de documents sur l'estimation de l'âge de la Terre :		
Choix	Nombre de votes	%
1 - Très intéressé	6	9,5238095
2 - Intéressé	10	15,873016
3 - Neutre	17	26,984127
4 - Peu intéressé	17	26,984127
5 - Sans intérêt	13	20,634921
	63	100
Selon vous la présentation des informations sous la forme d'une analyse de documents vous a-t-elle permis de comprendre les notions présentées ?		
Choix	Nombre de votes	%
Oui	25	39,68254
Non	25	39,68254
Je ne sais pas	13	20,634921
	63	100

ANNEXE 8 – NOTES OBTENUES AUX EVALUATIONS SOMMATIVES

	Evaluation chapitre cristaux	Evaluation chapitre cellules	Evaluation chapitre âge Terre
<i>Elève</i>	<i>/20</i>	<i>/20</i>	<i>/20</i>
1	6,0	6,25	16,00
2	6,0		
3	9,5	3,50	11,00
4	17,0	12,50	19,00
5	10,5	3,25	13,00
6	16,0	9,50	15,50
7	10,5	12,75	11,50
8	20,0	9,00	13,50
9	12,5	11,25	17,50
10	8,0	5,25	12,50
11	10,5	10,25	7,00
12	13,0	8,75	18,00
13	14,0	7,25	10,50
14	15,0	10,00	15,00
15	8,5	8,75	17,50
16	6,0	7,25	10,00
17	11,5	0,00	9,50
18	11,0	9,00	10,00
19	12,0	6,50	5,00
20	13,0	7,25	6,00
21	15,0	7,00	12,00
22	10,0	7,50	11,50
23	14,0	9,75	17,50
24	15,0	5,75	12,50
25	10,0	6,25	14,50
26	12,5	8,50	7,50
27	20,0	17,25	17,00
28	3,0	6,25	8,50
29	11,0	8,75	15,50
30	11,5	8,00	18,50
31	13,0	8,25	10,00
32	17,0	7,25	7,50
33	14,5	12,00	19,00
34	13,5	13,00	18,00
35	10,5	7,75	11,50
36	13,0	9,00	13,00
37	14,0	14,00	14,00
38	12,0	4,50	17,00
39	11,5	8,50	16,00

40	12,0	11,75	7,50
41	8,5	6,75	10,00
42	13,0	11,50	16,50
43	12,0	10,75	6,50
44	14,0	7,00	16,50
45	18,0	20,00	18,00
46	10,0	8,75	9,00
47	19,5	15,00	18,00
48	10,5	3,50	18,00
49	18,5	10,00	19,00
50	15,0	15,50	13,50
51	16,0	18,00	20,00
52	10,0	14,75	13,00
53	13,0	12,75	15,00
54	14,0	4,00	16,00
55	18,5	12,75	16,50
56	17,5	9,75	17,50
57	13,0	10,50	18,00
58	4,0	4,25	6,00
59	14,0	8,00	
60	17,0	5,75	10,50
61	11,5	13,25	11,50
62	10,5	5,75	9,00
63	19,5	12,75	19,50
64	13,0	9,75	5,50
Moyenne	12,7	9,2	13,4
Ecart type	3,725581876	3,798222123	4,220058934

ANNEXE 9 – EXTRAITS DES PROGRAMMES TRAITANT DE L'HISTOIRE DES SCIENCES

1999-2001	Seconde	Pas évoqué dans le programme
	Première	<p>Spécialité :</p> <p>La tectonique des plaques et les modèles de la structure et de la dynamique interne de la Terre fournissent un cadre de réflexion qui s'enrichit et évolue au fur et à mesure de l'accumulation des données. La démarche des scientifiques vise en permanence à enrichir les modèles de Terre, à les critiquer et donc à les faire évoluer pour parfaire la description du fonctionnement et de l'évolution de la planète qui est un système complexe.</p> <p>Les fondements de la tectonique des plaques (Wegener et la dérive des continents, Vine et Matthews) : lecture critique de documents historiques.</p> <p>L-ES : Pas évoqué dans le programme</p>
	Terminale	<p>Spécialité Thème 2 - Des débuts de la génétique aux enjeux actuels des biotechnologies.</p> <p>Les débuts de la génétique : les travaux de Mendel (1870).</p> <p>La théorie chromosomique de l'hérédité.</p> <p>La redécouverte des lois de Mendel et les découvertes dans le domaine de la cytologie à la fin du XIXe siècle conduisent à l'émission de la théorie chromosomique de l'hérédité (1903) par deux cytologistes et à l'invention du mot gène.</p> <p>Les travaux de l'équipe de Morgan sur la drosophile entre 1910 et 1920 corroborent la théorie chromosomique à partir de données expérimentales.</p> <p>Cette théorie, qui contient les notions d'hérédité liée au sexe, de liaison génique et de recombinaison, permet d'expliquer certains cas particuliers qui échappent aux lois de Mendel.</p> <p>Cette théorie a permis d'établir en 1920 les premières cartes génétiques et la notion de gène (unité de fonction, de recombinaison, de mutation).</p> <p>L'avènement de la biologie moléculaire : une nouvelle rupture les modalités de l'expression génétique, notions déjà étudiées dans les programmes de seconde et de première, doivent être replacées dans une perspective historique. Elles ne sont pas au programme en tant que telles.</p>
2010	Seconde	La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant. Il s'agit de montrer – dans le cadre des domaines propres aux sciences de la vie et de la Terre – que la science construit, à partir de méthodes d'argumentation rigoureuses

		<p>fondées sur l'observation du monde, une explication cohérente de son état, de son fonctionnement et de son histoire.</p> <p>La pratique de démarches historiques.</p> <p>L'approche historique d'une question scientifique peut être une manière originale de construire une démarche d'investigation. L'histoire de l'élaboration d'une connaissance scientifique, celle de sa modification au cours du temps, sont des moyens utiles pour comprendre la nature de la connaissance scientifique et son mode de construction, avec ses avancées et éventuelles régressions. Il conviendra de veiller à ce que cette approche ne conduise pas à la simple évocation d'une succession événementielle et à ne pas caricaturer cette histoire au point de donner une fausse idée de la démonstration scientifique : si certains arguments ont une importance historique majeure, il est rare qu'un seul d'entre eux suffise à entraîner une évolution décisive des connaissances scientifiques ; de même, il serait vain de prétendre faire « réinventer » par les élèves, en une ou deux séances, ce qui a nécessité le travail de plusieurs générations de chercheurs.</p>
Première		<p>Spécialité</p> <p>La tectonique des plaques : l'histoire d'un modèle.</p> <p>Les grandes lignes de la tectonique des plaques ont été présentées au collège. Il s'agit, en s'appuyant sur une démarche historique, de comprendre comment ce modèle a peu à peu été construit au cours de l'histoire des sciences et de le compléter. On se limite à quelques étapes significatives de l'histoire de ce modèle.</p> <p>L'exemple de la tectonique des plaques donne l'occasion de comprendre la notion de modèle scientifique et son mode d'élaboration. Il s'agit d'une construction intellectuelle hypothétique et modifiable. Au cours du temps, la communauté scientifique l'affine et le précise en le confrontant en permanence au réel. Il a une valeur prédictive et c'est souvent l'une de ces prédictions qui conduit à la recherche d'un fait nouveau qui, suivant qu'il est ou non découvert, conduit à étayer ou modifier le modèle. La solidité du modèle est peu à peu acquise par l'accumulation d'observations en accord avec lui. Les progrès techniques accompagnent le perfectionnement du modèle tout autant que les débats et controverses.</p> <p>NB - À partir de l'exemple de la tectonique des plaques, les élèves seront conduits à comprendre quelques caractéristiques du mode de construction des théories scientifiques.</p> <p>La naissance de l'idée</p>

		<p>Au début du XXème siècle, les premières idées évoquant la mobilité horizontale s'appuient sur quelques constatations : ...</p> <p>L'interprétation actuelle des différences d'altitude moyennes entre les continents et les océans</p> <p>Les études sismiques et pétrographiques permettent de caractériser et de limiter deux grands types de croûtes terrestres : ...</p> <p>L'hypothèse d'une expansion océanique et sa confrontation à des constats nouveaux.</p> <p>Au début des années 1960, les découvertes de la topographie océanique et des variations du flux thermique permettent d'imaginer une expansion océanique par accréation de matériau remontant à l'axe des dorsales, conséquence d'une convection profonde. ...</p> <p>Un premier modèle global : une lithosphère découpée en plaques rigides.</p> <p>À la fin des années soixante, la géométrie des failles transformantes océaniques permet de proposer un modèle en plaques rigides. Des travaux complémentaires parachèvent l'établissement de la théorie de la tectonique des plaques en montrant que les mouvements divergents (dorsales), décrochants (failles transformantes) et convergents (zones de subduction) sont cohérents avec ce modèle géométrique. ...</p> <p>Le renforcement du modèle par son efficacité prédictive programme de forages sous-marins JOIDES.</p> <p>L-ES : Pas évoqué dans le programme.</p>
	Terminale	<p>La pratique de démarches historiques</p> <p>L'approche historique d'une question scientifique peut être une manière originale de construire une démarche d'investigation. L'histoire de l'élaboration d'une connaissance scientifique, celle de sa modification au cours du temps, sont des moyens utiles pour comprendre la nature de la connaissance scientifique et son mode de construction, avec ses avancées et éventuelles régressions. Il conviendra de veiller à ce que cette approche ne conduise pas à la simple évocation d'une succession événementielle et à ne pas caricaturer cette histoire au point de donner une fausse idée de la démonstration scientifique : si certains arguments ont une importance historique majeure, il est rare qu'un seul d'entre eux suffise à entraîner une évolution décisive des connaissances scientifiques ; de même, il serait vain de prétendre faire « réinventer » par les élèves, en une ou deux séances, ce qui a nécessité le travail de plusieurs générations de chercheurs.</p>
2019	Seconde SVT	Démarche historique évoquée dans capacités.
	Première SVT	Démarche historique évoquée dans capacités.

Terminale SVT	<p>Ces projets peuvent adopter des approches variées, par exemple l'approfondissement d'un concept scientifique (par une approche bibliographique ou expérimentale, par un travail historique sur l'émergence de ce concept...).</p> <p>Étudier des expériences historiques mettant en évidence la transformation bactérienne.</p> <p>Étudier et/ou réaliser les expériences historiques sur l'action de l'auxine dans la croissance racinaire ou caulinaire</p> <p>...</p> <p>Réaliser un protocole expérimental en se fondant sur une démarche historique (par exemple expérience dite du foie lavé).</p>
Première et Terminale enseignement scientifique	<p>☒ Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration</p> <p>Le savoir scientifique résulte d'une construction rationnelle. Il se distingue d'une croyance ou d'une opinion. Il s'appuie sur l'analyse de faits extraits de la réalité complexe ou produits au cours d'expériences. Il cherche à expliquer la réalité par des causes matérielles.</p> <p>Le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective jalonnée d'échanges d'arguments, de controverses parfois vives. C'est lentement qu'une certitude raisonnable s'installe et se précise, au gré de la prise en compte de faits nouveaux, souvent en lien avec les progrès techniques. Ce long travail intellectuel met en jeu l'énoncé d'hypothèses dont on tire des conséquences selon un processus logique. Ces modalités sont d'ailleurs en partie variables selon les disciplines concernées.</p> <p>Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit donc, en permanence, d'associer l'acquisition de quelques savoirs et savoir-faire exigibles à la compréhension de leur nature et de leur construction</p> <p>☒ Une place importante pour l'histoire raisonnée des sciences</p> <p>L'une des manières de comprendre comment se construit le savoir scientifique est de retracer le cheminement effectif de sa construction au cours de l'histoire des sciences. Il ne s'agit pas de donner à l'élève l'illusion qu'il trouve en quelques minutes ce qui a demandé le travail de nombreuses générations de chercheurs, mais plutôt, en se focalisant sur un petit nombre d'étapes bien choisies de l'histoire des sciences, de faire comprendre le rôle clé joué par certaines découvertes. Le rôle prépondérant joué parfois par tel ou tel chercheur sera souligné. Ce sera aussi l'occasion de montrer que l'histoire du savoir scientifique est une aventure humaine. Des controverses, parfois dramatiques, agitent la communauté scientifique. Ainsi, peu à peu, le savoir progresse et se précise.</p>

		Histoire, enjeux, débats ==> pour chaque chapitre, quelques notions/ noms clés
--	--	--