

SOMMAIRE

Liste des figures.....	
Liste des Tables.....	
1. Introduction.....	
2. Problématique.....	
3. Cadre conceptuel.....	
3.1 Le jeu	10
3.1.1 Les « jeux-sérieux »	10
3.1.2 Le jeu dans le musée	10
3.2 Le musée	11
3.2.1 le cadre muséal en général	11
3.2.2 Le musée et les adolescents	12
3.3 L'Anthropocène	13
3.3.1 Dimension naturelle de l' Anthropocène	13
3.3.2. Dimension humaine de l' Anthropocène	15
3.3.3 L' Anthropocène et le Plan d' Étude Romand (PER)	16
3.3.4 L' Anthropocène système complexe	17
3.4 La complexité	19
3.4.1 La complexité en tant que notion épistémologique	19
3.4.2 Les différentes postures épistémiques	22
3.4.3 Évolution de la perception de la complexité avec l' âge	24
4. Analyses à priori	
4.1 Le jeu Pearl Arbor	26
4.1.1 Le projet PLAY	26
4.1.2 Description du jeu	27
4.1.3 La complexité dans le jeu	28
4.2 Le public cible : les adolescents	30
4.3 Le musée de la nature de Sion	31
4.4 Analyse des questionnaires utilisés dans l'étude	32
4.4.1 Analyse à priori du questionnaire utilisé avant le jeu	33
4.4.2 Analyse à priori du questionnaire utilisé après le jeu	35
4.4.3 Analyse différentielle des questionnaires	35
5. Analyse des questionnaires	
5.1 Généralités	38
5.1.1 Élèves de 9CO	38
5.1.2 Élèves de 11VP et de 3e année du Collège	39
5.1.3 Analyse du taux de réponse exprimées (9CO)	39
5.2 Caractérisation de la posture épistémique des élèves avant le jeu	41
5.2.1 Analyse de la posture épistémique des 9CO avant le jeu	41
5.2.2 Analyse de la posture épistémique d' élèves plus âgés	44
5.2.4 Comparaison des postures épistémiques en fonction de l' âge	46
5.3 Caractérisation de la posture épistémique des élèves de 9CO après le jeu	47
5.3.1 Les visites	47
5.3.2 Analyse des scores au second questionnaire (après le jeu)	48
5.3.3 Analyse différentielle des réponses aux deux questionnaires	50

SOMMAIRE (suite)

6. Discussion	51
7. Conclusion	54
Références	55
ANNEXES	62
ANNEXE I : Résultat du test statistique de l' analyse inter-classes.....	62
ANNEXE II: Questionnaire sur le développement de la posture intellectuelle.....	63
ANNEXE III : Questionnaire à remplir AVANT la visite du musée de la Nature de Sion	64
ANNEXE IV : Questionnaire à remplir APRÈS la visite du musée de la Nature de Sion.	65
ANNEXE V : Énigmes pour la phase 2 du jeu (état actuel)	66
ANNEXE VI : Proposition de questions complémentaires pour le jeu Pearl Arbor	67
ANNEXE VII : Rapport général - Questionnaire pré-musée	70
ANNEXE VIII : Rapport général - Questionnaire post-musée	74

Liste des figures

Illustration 1 : Un musée, tel qu' il peut être perçu par les adolescents.....	12
Illustration 2 : Couverture de l' album "Anthropocene" du groupe Veneto	13
Illustration 3 : Judith Beltezer "From The Anthropocene #2"	15
Illustration 4 : L' hypothèse Gaïa selon l' architecte Salvador Martinez	18
Illustration 5 : Carte de l'Internet en 2015 vue par les artistes de The Opte Project	19
Illustration 6 : Le doute accompagne le changement d'épistémologie personnelle	21
Illustration 7 : La salle dédiée au 20 ^e siècle au musée de la Nature (Sion).	31
Illustration 8 : Taux de réponse pour les deux questionnaires	39
Illustration 9 : Score des élèves de 9CO au premier questionnaire	41
Illustration 10 : Comparaison des postures épistémiques des trois classes de 9CO	43
Illustration 11 : Score des élèves de 11VP au premier questionnaire	44
Illustration 12 : Score des élèves de 3 ^e Collège au premier questionnaire.....	45
Illustration 13 : Évolution des différentes postures épistémiques en fonction de l'âge	46
Illustration 14 : Années d' études des parents	47
Illustration 15 : Score au second questionnaire.....	48
Illustration 16 : Comparaison entre les deux questionnaires.....	50
Illustration 17 : Comparaison inter-questionnaire	51

Liste des Tables

Table 1 : Correspondances de différentes postures épistémologique1	22
Table 2 : Synthèse du modèle épistémique de Perry + pensée complexe.....	23
Table 3 : Synthèse des questions et des questionnaires.....	37
Table 4 : Codage et taux de réponse aux deux questionnaires	40
Table 5 : Moyennes des scores (premier questionnaire, avant la visite au musée).....	43
Table 6 : Synthèse de l' évolution des postures épistémiques avec l' âge et le niveau.....	47
Table 7 : Moyennes des scores (second questionnaire, après la visite du musée).....	49

1. Introduction

Ce projet se propose d'explorer l'évolution de la perception de la complexité¹ chez des élèves de première année de Collège (9^e année), à la suite de la pratique d'un jeu épistémique (Sanchez, 2013). Le jeu Pearl Arbor a été développé spécifiquement pour le Musée de la Nature de Sion (VS) et propose aux visiteurs une découverte ludique des relations Homme-Nature à travers les siècles. Cette relation, de plus en plus complexe, conduit à une nouvelle notion, l'Anthropocène. Ce concept est issu du constat de modifications globales, complexes et irréversibles du système terrestre par les activités humaines, et traverse largement les différentes disciplines scientifiques et sociales. Le jeu épistémique permet non seulement de favoriser la dévolution² des élèves dans l'activité, mais également d'enregistrer toutes les actions des joueurs sur leur tablette tactile. Notre étude semi-quantitative, basée sur des questions posées aux élèves avant et après leur « visite jouée » au musée nous permet d'explorer l'épistémologie personnelle des élèves, c'est-à-dire la façon dont ils perçoivent la nature de la connaissance et son éventuelle évolution à la suite d'une expérience didactique et ludique. Nous complétons cette analyse par une étude des postures épistémiques d'élèves plus âgés, pour appréhender l'évolution avec l'âge et les années de scolarité. Cette possible évolution des postures épistémiques des élèves avec l'âge pourra également modifier leur perception de la visite d'un musée. Nous définissons tout d'abord la problématique abordée dans la section suivante, avant de fixer le cadre conceptuel de cette étude dans la section 3. L'analyse à priori des éléments concrets de ce travail est détaillée dans la section 4. Nous abordons ensuite les résultats quantitatifs de cette analyse (section 5) que nous discutons (sections 6).

2. Problématique

Dans le cadre de ce travail, nous souhaitons observer l'évolution de la perception de la complexité chez des élèves d'environ 12 ans, qui viennent d'intégrer le cycle d'orientation. Pour ce faire, nous souhaitons mettre cette évolution en relation avec la pratique d'un jeu épistémique numérique (au sens de Sanchez, 2013) dans le cadre d'un musée (musée de la Nature, à Sion, VS). Ce musée présente une vision interdisciplinaire³ des très nombreuses et complexes relations entre l'Humain et la Nature. Cette vision sert de support à l'apprentissage

1 Dans ce travail, le terme de complexité est pris au sens de Morin (1990 ; 2005) suivant l' étymologie « *complexus* » (« ce qui est tissé ensemble »). Voir la section 3.4 pour plus de détails).

2 " *Acte par lequel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité d'une situation d'apprentissage ou d'un problème, et accepte lui-même les conséquences de ce transfert*" (Brousseau, 2011)

3 Selon Fourez et al. (Fourez, Maingain, & Dufour, 2002)

de la notion de complexité, et servira de support d'étude. Pour comparer avec des adolescents plus âgés, nous examinons également la posture épistémique d'élèves vaudois de 11VP (15 ans) et valaisans de 3^e année du Collège (16-17 ans).

L'hypothèse que nous souhaitons tester est la suivante : **le jeu Pearl Arbor permet-il de faire évoluer la posture épistémique des élèves vers une perception plus fine de la complexité ?**

Dans un premier temps, nous souhaitons définir les postures épistémiques privilégiées des élèves selon le modèle de Perry (1981) modifié. Nous souhaitons ensuite mieux cerner les différents niveaux de compréhension, voire de perception, de la pensée complexe des élèves en fonction de leur âge. Ces postures liées à la pensée complexe n'ont pas été théorisées par Perry, puisque le développement de la compréhension de la complexité comme une posture épistémique est très récent.

Dans un deuxième temps, nous souhaitons analyser l'évolution de la posture épistémique des élèves qui ont interagi dans le musée avec le jeu Pearl Arbor. Ce jeu se décompose en trois phases (voir section 4.1.2) qui permettent, sans l'aide de l'enseignant, de tirer des conclusions individuelles au sujet de la relation Homme-Nature, et du tissage complexe de ses différentes composantes. Nous souhaitons enfin mettre la pratique de ce jeu épistémique en relation avec différents indicateurs de perception de la complexité (questionnaires), basés sur les stades de développement épistémique personnel de Perry (1981).

3. Cadre conceptuel

Ce cadre conceptuel développe les quatre concepts-clés qui soutiennent ce travail : le jeu, le musée, l'Anthropocène et la complexité.

3.1 Le jeu

3.1.1 Les « jeux-sérieux »

D'une manière très générale, un « jeu sérieux » est un jeu conçu à d'autres fins que le divertissement pur. Le but de ces jeux peut être pédagogique (c'est le cas étudié ici), mais également à visée scientifique (jeu de science collaborative), d'entraînement (militaire ou civil) ou encore publicitaire. Sanchez & Emin-Martinez (2014) utilisent le terme de *jeu épistémique numérique* pour proposer un « modèle théorique issu de la Théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998; Gonçalves, 2013) », c'est-à-dire pour formaliser le terme nébuleux de « serious game », et surtout pour « prendre en compte l'expérience vécue par le joueur plutôt que l'artefact utilisé pour jouer. » (*ibid*). En d'autres termes, selon Sanchez & Emin-Martinez, le jeu doit être considéré en tant que pratique ludique plutôt qu'en tant qu'objet, qu'il soit numérique ou analogique. Un jeu vidéo peut en effet présenter l'un des deux types de *gameplay* (« jouabilité ») :

1) Le jeu peut être *game-based* (« basé sur le jeu en tant qu'objet »), ce qui signifie que les objectifs du jeu sont déclarés a priori. Ces buts sont utilisés comme référence pour évaluer la performance du joueur, afin de juger s'il a gagné ou perdu, ou pour lui donner un score objectif.

2) Le jeu peut également être *play-based* (« basé sur le jeu en tant que pratique »), c'est-à-dire que le joueur doit se mettre en jeu sans objectif déclaré à atteindre. Il est par conséquent impossible d'évaluer formellement la performance du joueur.

3.1.2 Le jeu dans le musée

Les avancées technologiques en termes de portabilité, de connectivité et de puissance permettent de porter depuis une dizaine d'années les jeux numériques dans le monde réel (Montola, Stenros, & Waern, 2009). Les jeux peuvent être conçus pour être joués dans tous les espaces publics. Le terme anglophone consacré est *pervasive games*, c'est-à-dire « jeux envahissants ». L'espace muséal, comme les centres commerciaux, les cinémas ou les parcs d'attractions, permet également aux visiteurs de jouer *dans* et *avec* le musée. L'un des objectifs des musées étant culturel et didactique (voir section 3.2), le but d'un jeu dans un musée sera

de favoriser la transmission d'informations aux visiteurs. Si les musées présentent fréquemment des jeux en tant qu'objets d'exposition (par exemple le Musée Suisse du Jeu à la Tour-de-Peilz)⁴, nous n'avons pas trouvé de sources académiques qui décrivent l'implémentation d'un jeu dans le musée à des fins didactiques.

3.2 Le musée

3.2.1 le cadre muséal en général

Selon Myriam Vallet (Vallet, 2014), « *Un musée est une institution permanente sans but lucratif au service de la société et de son développement ouverte au public, qui acquiert, conserve, étudie, expose et transmet le patrimoine matériel et immatériel de l'humanité et de son environnement à des fins d'études, d'éducation et de délectation* ».

Cette définition concentre différents éléments qui concernent directement ou indirectement la présente étude. Tout d'abord, l'institution est dite permanente, ce qui signifie pour l'enseignant qu'il peut prévoir de s'y rendre longtemps à l'avance, et régulièrement au cours des années. Il peut également ne pas s'y rendre, car il sait qu'il pourra y aller plus tard. Ensuite, l'aspect financier (« *sans but lucratif* ») permet d'imaginer avoir des prix d'entrée modestes, et surtout de ne pas avoir à se soucier d'enrichir des institutions dont les ambitions seraient contraires à la mission de service public de l'École. En effet, tout comme l'École, le musée est « *au service de la société* ». Ensuite, le musée a pour vocation la *transmission* de patrimoine qui concerne les Hommes et leur environnement. C'est également là un but similaire à certains buts de l'École, et le but éducatif du musée est certainement pertinent pour les enseignants et leurs élèves.

Notre sujet d'étude apparaît ici explicitement sous les mots « *[son] patrimoine matériel et immatériel* », c'est-à-dire les liens complexes entre l'humanité et son environnement. Enfin, l'aspect ludique (« *délectation* ») souligne le fait que l'on visite un musée (également) pour le plaisir. Ce plaisir, couplé à l'aspect éducatif se retrouve dans la composante « *Entertain* » (divertir) du jeu Pearl Arbor tel qu'il sera implémenté au sein du Musée de la nature de Sion. Cette composante vise à modifier la relation entre les adolescents et le musée en faisant le lien entre le plaisir à jouer et le plaisir à visiter un musée.

⁴ <http://museedujeu.ch/fr/>

3.2.2 Le musée et les adolescents

Les adolescents ne sont pas réputés être de grands visiteurs de musées. Si près de 40 % des élèves du secondaire annonçaient avoir visité un musée l'année précédente en 1999 (Lemerise, 1999) et en 2012 (Ministère de la culture et de la communication, 2012), ces visites comptabilisent à la fois les visites « libres » (effectuées dans le cadre familial ou personnel) et les visites scolaires. On se doute qu'une forte proportion concerne des visites scolaires, et ne représente donc pas l'attrait « naturel » des adolescents pour le cadre muséal. Lemerise (1999) note également que les jeunes adolescents fréquentent un peu plus les musées que les 15-17 ans, et que les adolescents issus de « parents scolarisés » sont plus présents que les autres. Dans son rapport statistique, l'Association des Musées suisses (Association des musées Suisses, 2012) ne différencie pas les enfants des adolescents, pas plus que le nombre de visites libres. On y apprend néanmoins que 22 % des visiteurs des musées suisses sont des enfants ou des adolescents. Ce chiffre est confirmé par Timbart (2013), qui mentionne également que les adolescents fréquentent assidûment les musées « *souvent indépendamment de [leur] volonté* ».

Dans une étude menée auprès de professionnels des musées, Timbart note également que ces professionnels « *ressentent une grande difficulté à attirer et à retenir les adolescents au musée* » (Timbart, 2007). L'explication privilégiée est le sentiment que le musée est un monde d'adultes, qui ne se soucie pas des préoccupations des adolescents. Pour les adolescents, le musée représente une certaine valeur, principalement liée au passé, qu'ils ne rejettent pas. Par contre, ils semblent nombreux à se sentir perdus dans un musée, considérant qu'ils ne possèdent pas le bagage culturel indispensable à la fréquentation de ces lieux (Timbart, 2013). Les professionnels estiment que les adolescents attendent des activités stimulantes et actives, là où le musée propose de la réflexion et une certaine passivité.

Ce constat est partagé par les jeunes, qui attendent d'un musée à la fois la mise en scène d'éléments quotidiens, et des expériences pratiques qui leur permettent d'être actifs dans la construction de leurs savoirs (Leblanc, 1993). D'une manière générale, le musée n'est pas perçu de manière positive, car trop calme et non vivant



Illustration 1: Un musée, tel qu'il peut être perçu par les adolescents: un lieu calme et froid, très différent de la réalité quotidienne. Musée des Beaux-Arts de Caen.

(Illustration 1, p. 12), et représentant certaines contraintes (comme être obligé d'y aller et devoir se comporter d'une manière particulière). Lemerise (1999) a déterminé les facteurs-clés qui favorisent la présence des adolescents dans les musées : leur localisation géographique, la catégorie socioprofessionnelle des parents, les thèmes d'expositions associés à leur culture, et une publicité adaptée pour favoriser les visites libres.

3.3 L'Anthropocène

Cette section définit l'Anthropocène, et explore ses dimensions naturelles et humaines, avant d'aborder ses liens avec l'École romande, pour enfin examiner plus en détails sa composante systémique et complexe. Si cette notion n'est pas explicitement présente dans le musée (sauf dans la dernière salle), la relation Homme-Nature au cours du temps peut être analysée sous l'angle de cette puissante notion, qui est bien plus qu'une période géologique : nous pensons que l'Anthropocène (qu'il soit exprimé en tant que tel, ou non) fournit



Illustration 2: Couverture de l'album "Anthropocene" du groupe Veneto (Altrockproduction, 2017)

un cadre de pensée cohérent à l'analyse des relations Homme-Nature (dont l'illustration 2 est un exemple parmi d'autre). De plus, l'Anthropocène en tant que période ou marqueur géologique découle directement de l'histoire de la relation Homme-Nature, et de l'histoire de l'exploitation par l'Homme des ressources minérales, végétales et animales, ainsi que des rejets associés à cette exploitation. Dans le cadre du présent travail, l'Anthropocène est compris comme la complexité (y compris historique) de la relation Homme-Nature qui conduit au présent tel qu'il est.

3.3.1 Dimension naturelle de l'Anthropocène

Le mot « Anthropocène » est constitué de l'assemblage du préfixe « *anthropos* » (humain, en grec) et de « *cène* » (récent). Une mention de « *l'ère anthropozoïque* » est évoquée par le géologue italien Antonio Stoppani [1924-1891] quand il évoque "*une nouvelle force tellurique qui peut être comparée aux plus grandes forces terrestres par sa puissance et son universalité*" [notre trad., cité par Crutzen & Stoermer (2000)]. L'Anthropocène est une notion qui s'est développée progressivement au cours du 20^e siècle et qui apparaît nettement

dans les années 1980, puis qui a été explicitée et popularisée au tournant du siècle, entre autres par Paul Crutzen⁵ (Crutzen, 2006) qui en donne sa signification actuelle : selon lui, l'impact des activités humaines est suffisamment important sur le globe pour constituer une nouvelle ère géologique. Le concept est maintenant bien théorisé (Ehlers & Krafft, 2006) et deux journaux *peer reviewed* sont exclusivement consacrés à ce thème: "*Anthropocene*" chez Elsevier et *The Anthropocene Review* chez SAGE publishing.

Géologiquement, l'anthropocène est une époque qui daterait du début d'un impact humain important sur la géologie et les écosystèmes terrestres. Le changement climatique global, observé depuis la fin du 19^e siècle en lien avec le cycle du carbone et les révolutions industrielles, en est l'une des composantes fondamentales (Mann et al., 2009). La composante anthropogénique indiscutable de ces changements climatiques (IPCC, 2014) est en lien avec d'autres marqueurs qui ont également été considérés. Ils sont d'ordre biologique, comme l'effondrement de la biodiversité (Butchart et al., 2010), stratigraphique⁶ (Waters et al., 2016)), et même géomorphologique (Brown et al., 2013). Ces différents indicateurs ont été mentionnés ou pris en compte dans la définition de cette période. Néanmoins, ni l'existence d'une période géologique précise et distincte de l'Holocène⁷, ni même une date de début de cette période n'a été acceptée par la communauté scientifique, bien qu'un groupe de travail de l'union internationale de stratigraphie ait fait des recommandations en ce sens au Congrès géologique international du 29 août 2016⁸.

Différentes dates ont été proposées pour définir le début de l'Anthropocène : les indices atmosphériques (température et composition chimique) suggèrent que cette période a pu débuter au cours de la révolution industrielle du 18^e siècle (Steffen, Crutzen, & McNeill, 2007; Zalasiewicz et al., 2008). Certains suggèrent que la révolution agricole du Néolithique constitue le vrai début de la modification profonde et irréversible de la Terre par les Hommes (Glikson, 2013). La date du 16 juillet 1945 (date du premier essai nucléaire qui a significativement modifié la signature en éléments radioactifs de toute l'atmosphère) a également été proposée pour une deuxième période de l'anthropocène (la « Grande Accélération », (Steffen et al., 2007). Les dates significatives des impacts de l'Homme sur son milieu variant très fortement d'une région à une autre, certains auteurs suggèrent que la date puisse être variable en fonction de la géographie, des cultures et des environnements.

|5 Paul Krutzer est un climatologue néerlandais, colauréat du prix Nobel de chimie en 1995.

|6 C' est-à-direlié aux enregistrements sédimentaires, fossiles et géochimiques.

|7 L' Holocène est la période géologique la plus récente, toujours actuelle, qui commence il y a 11 700 ans.

|8 <https://quaternary.stratigraphy.org/workinggroups/anthropocene/>

Quoi qu'il en soit, cette discussion dépasse largement le cadre de ce travail, qui utilise la complexité des liens Homme-Nature comme sujet épistémique⁹. Ce qui compte ici, c'est que l'Histoire de la relation Homme-Nature conduite à une modification complexe et imprévisible du « système Terre », l'Anthropocène.

3.3.2. Dimension humaine de l'Anthropocène

L'Anthropocène, par sa nature même, se situe aux frontières de toutes les disciplines scientifiques, qu'elles soient sciences naturelles ou humaines. De plus, le tissage dense des concepts, des connaissances et des humains qui forge cette notion constitue à notre sens un excellent exemple de phénomène complexe, c'est-à-dire non-prédictible parce que non linéaire et de nature profondément systémique (Illustration 3). L'urgence humaine qui en découle, c'est-à-dire la course contre la montre engagée dans la lutte contre le réchauffement climatique, l'effondrement de la biodiversité, ou l'acidification des océans¹⁰, renforce encore cette complexité.

Le concept d'Anthropocène peut s'étudier selon des liens socio-naturels (Bowden, 2017), c'est-à-dire par le biais des liens de causalité entre Nature et Société. En particulier, l'Anthropocène questionne la relation de notre Humanité à la Nature, mais également la relation entre l'idéologie du profit d'une partie de l'Humanité (par opposition à *l'autre* partie de cette Humanité).

De plus, des questionnements moraux, financiers, politiques, sociologiques et philosophiques traversent le concept d'Anthropocène. Bowden (2017) souligne que l'approche théorique entre Nature et Société doit « *accorder plus d'attention aux questions de temporalité et de*

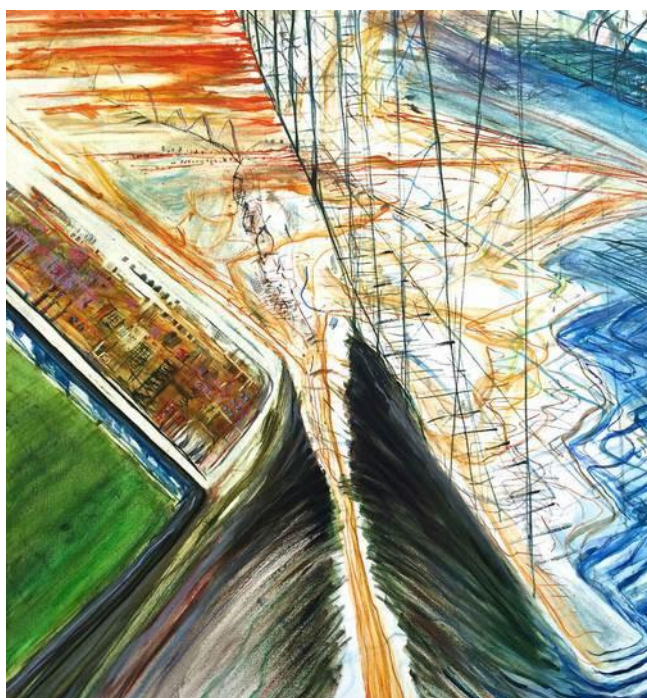


Illustration 3: Judith Beltezer "From The Anthropocene #2", 2014, huile sur toile, 40" x 40". Cette artiste présente une série de 11 toiles intitulées « Anthropocene » et « Path of Desire » qui symbolisent des réseaux urbains, des industries et des lifelines qui débordent et semblent manger de petites parcelles rurales aménagées et bien rangées.

⁹ Piaget définit le sujet épistémique comme « les structures d'actions ou de pensée communes à tous les sujets d'un même niveau de développement » (Piaget, 1967).

¹⁰ Liste malheureusement très loin d'être exhaustive...

complexité” et que la prise en compte de “ces facteurs [...] re-conceptualise la relation entre la nature et la société en tant qu’assemblage socio-naturel complexe et en évolution” et fonde une sociologie de l’environnement pour l’Anthropocène.

Ces liens socio-naturels peuvent constituer le socle qui peut être construit au sein de l’École au sujet de l’Anthropocène, dans le cadre relativement strict du Plan d’Étude Romand.

3.3.3L’Anthropocène et le Plan d’Étude Romand (PER)

Le terme « Anthropocène » n’est pas présent dans le PER. Néanmoins, la nature complexe inter-reliant des éléments naturels, sociologiques et psychologiques, est présente implicitement dans de nombreuses sections du PER. Cela est particulièrement le cas dans les domaines MSN (Mathématiques et Sciences Naturelles) et en particulier MSN 35 (« *Modéliser des phénomènes naturels, techniques, sociaux...* », « MSN 36 (« *phénomènes naturels et techniques* ») et MSN 38 (« *Analyser l’organisation du vivant et en tirer des conséquences pour la pérennité de la vie* »). Au niveau des thématiques abordées, l’énergie (MSN 36), la prévention environnementale (MSN 37), ainsi que les écosystèmes (MSN 38) sont en lien direct avec le concept d’Anthropocène.

La Formation Générale du PER comprend également de nombreuses thématiques en lien direct ou indirect avec l’Anthropocène, qui doivent toutes être abordées en mobilisant les Capacités Transversales du PER (et en particulier « *démarche réflexive* »¹¹ et « *collaboration* »¹²). Ainsi, la Formation Générale comporte cinq axes, dont trois sont en lien plus ou moins fort avec l’Anthropocène : “*santé et bien être*”, “*vivre ensemble et exercice de la démocratie*” et surtout “*interdépendances sociales économiques et environnementales*”.

- **FG32 (“santé et bien-être”)** : Le lien n’est pas direct, mais la dimension environnementale de la santé passe nécessairement par une compréhension globale des enjeux (polluants, agents pathogènes, etc.).
- **FG34 et FG35 (“vivre ensemble et exercice de la démocratie”)** : L’enjeu démocratique, c’est-à-dire la possibilité de faire des choix qui impliquent un *bien commun* plutôt que l’intérêt personnel impose une certaine intelligence de la complexité.

11 Extrait pertinent du PER : « *Il s’agit pour l’élève, dans des situations diverses, de cerner l’objet et les enjeux de la réflexion, d’explorer différentes options et points de vue, de faire une place au doute et à l’ambiguïté, d’explorer différentes opinions et points de vue possibles ou existants.* »

12 Extrait pertinent du PER : « *Il s’agit pour l’élève, dans des situations diverses, de manifester une ouverture à la diversité culturelle et ethnique, d’entendre et prendre en compte des divergences, de juger de la qualité et de la pertinence de ses actions, de percevoir l’influence du regard des autres, de réagir aux faits, aux situations ou aux événements, et d’adapter son comportement* ».

- **FG36 “interdépendances sociales économiques et environnementales”** : Cette composante de la Formation Générale touche de très près la notion d’Anthropocène et de complexité. En effet, on peut lire sur le site du PER¹³ « *Au cycle 3, cette thématique comporte deux objectifs, l'un portant sur l'Environnement, l'autre sur la Complexité et l'interdépendance, le second se voulant un prolongement du premier* ». Plus largement, les thèmes qui doivent être abordés au cours du cycle 3 doivent mettre en évidence « *les interdépendances sociales, économiques, politiques et environnementales d'enjeux mondiaux liés, entre autres, au développement durable (eau, changement climatique, énergie, santé, migration, alimentation, répartition des ressources, déséquilibre Nord-Sud...)* ainsi que « *la manière dont les États traitent ces problématiques liées aux rapports entre les hommes et à l'environnement (naturel et social)* ». On le voit, cette composante du PER travaille sur la complexité et sur l’Anthropocène.

3.3.4L’Anthropocène système complexe

La perception d’un « écosystème mondial » date des années 1950, quand les premières simulations informatiques de la dynamique des systèmes ont été publiées (Forrester, 1971). Peu de temps après, on observe l’émergence de l’hypothèse Gaïa par Lovelock (Lovelock, 1972), qui propose que les organismes vivants interagissent sur terre avec leur environnement inorganique pour former un système symbiotique complexe autorégulé (Illustration 4 p. 18). Cette vision (toujours présente et toujours controversée) ne se superpose pas à la notion d’Anthropocène, puisqu’elle décrit la Terre comme un système (voir même un organisme) autorégulé, alors que l’Anthropocène ancre l’impact de l’homme dans l’enregistrement géologique, c’est-à-dire dans le temps, de façon définitive. Néanmoins, les deux concepts indiquent la dimension systémique et globale des phénomènes naturels et humains qui se produisant à la surface de la Terre.

¹³ <https://www.plandetudes.ch/web/guest/fg/cg3/>

Le concept d' Anthropocène représente en outre une double rupture radicale : à la fois de l' évolution de l' histoire géologique, mais également de l' idée que l' on se faisait de l' impact de l' Homme sur les écosystèmes terrestres. La présence de ces effets non-linéaires (ici dans la réalité et dans la projection que l' on se fait de cette réalité), est l' une des caractéristiques principales des systèmes complexes. Nous pensons donc que l' Anthropocène, qu' il soit explicitement mentionné (comme c' est le cas dans la dernière salle du Musée) ou implicitement utilisé (comme c' est le cas dans toutes les salles du Musée, dans le PER, ou plus généralement dans les travaux concernant le développement durable¹⁴) est un objet didactique de premier ordre. En conséquence, il nous semble judicieux de vouloir utiliser ce concept dans un musée et de le mettre en scène pour permettre aux visiteurs de ce musée de le découvrir ou mieux le conceptualiser afin d' en comprendre les grandes lignes. De plus, il est possible (et nous pensons souhaitable) de mettre en avant sa nature fondamentalement complexe pour aider les visiteurs à apprivoiser la pensée complexe.

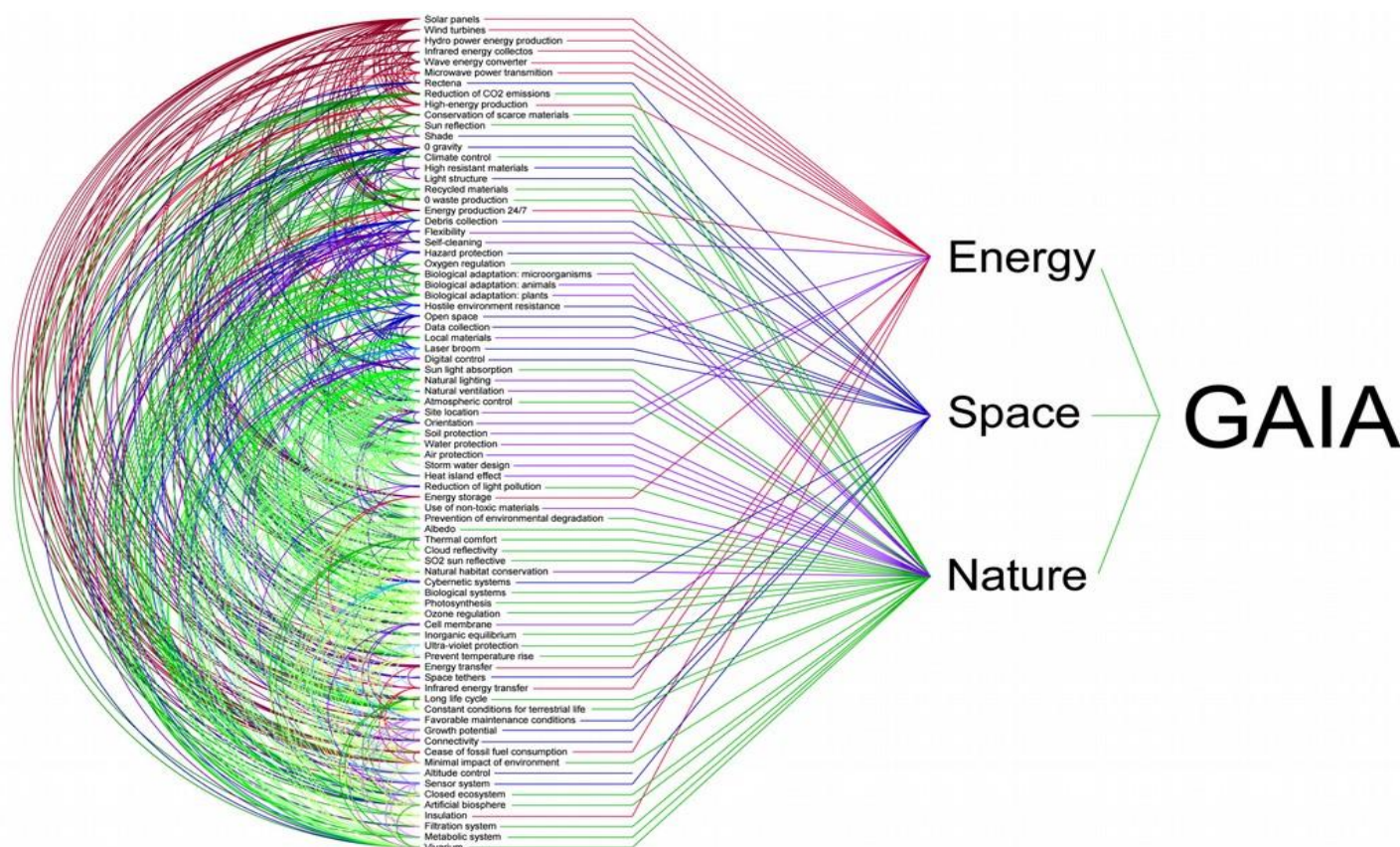


Illustration 4: L'hypothèse Gaïa selon l'architecte Salvador Martinez, illustrant une partie des liens entre les activités humaines et la Nature (Institute for advanced architecture of Catalonia). (<http://www.iaacblog.com/programs/gaia-salvador-martinez/>)

¹⁴ Pour rappel, le développement durable demande d' assurer les ressources nécessaires pour la population actuelle sans hypothéquer celles des générations à venir, en s' appuyant sur trois piliers (économie, social et environnement). Les interactions entre ces trois piliers sont le plus souvent mentionnées, mais sans que la composante systémique qui les lie ne soit généralement explicite.

3.4 La complexité

3.4.1 La complexité en tant que notion épistémologique

Selon Edgar Morin (Morin, 2005), « *Nous sommes encore aveugles au problème de la complexité. [...] Or cet aveuglement fait partie de notre barbarie. Il nous fait comprendre que nous sommes toujours dans l'ère barbare des idées. Nous sommes toujours dans la préhistoire de l'esprit humain. Seule la pensée complexe nous permettrait de civiliser notre connaissance* ». La pensée complexe, telle que théorisée par Morin n'a pas encore pleinement pénétré les sciences, et encore moins la perception du monde que s'en fait le grand public. En effet, complexe n'est pas synonyme de « compliqué », ce dernier mot signifie en effet qu'un processus, un concept, un objet ou un problème est difficile à maîtriser parce qu'il est composé de nombreux éléments assemblés, qu'il faut isoler pour pouvoir le comprendre. A l'inverse, « complexe » signifie que nous ne maîtrisons pas le processus, le concept, l'objet ou le problème, parce que nous ne connaissons pas éléments qui le constituent et/ou les liens existant entre eux.

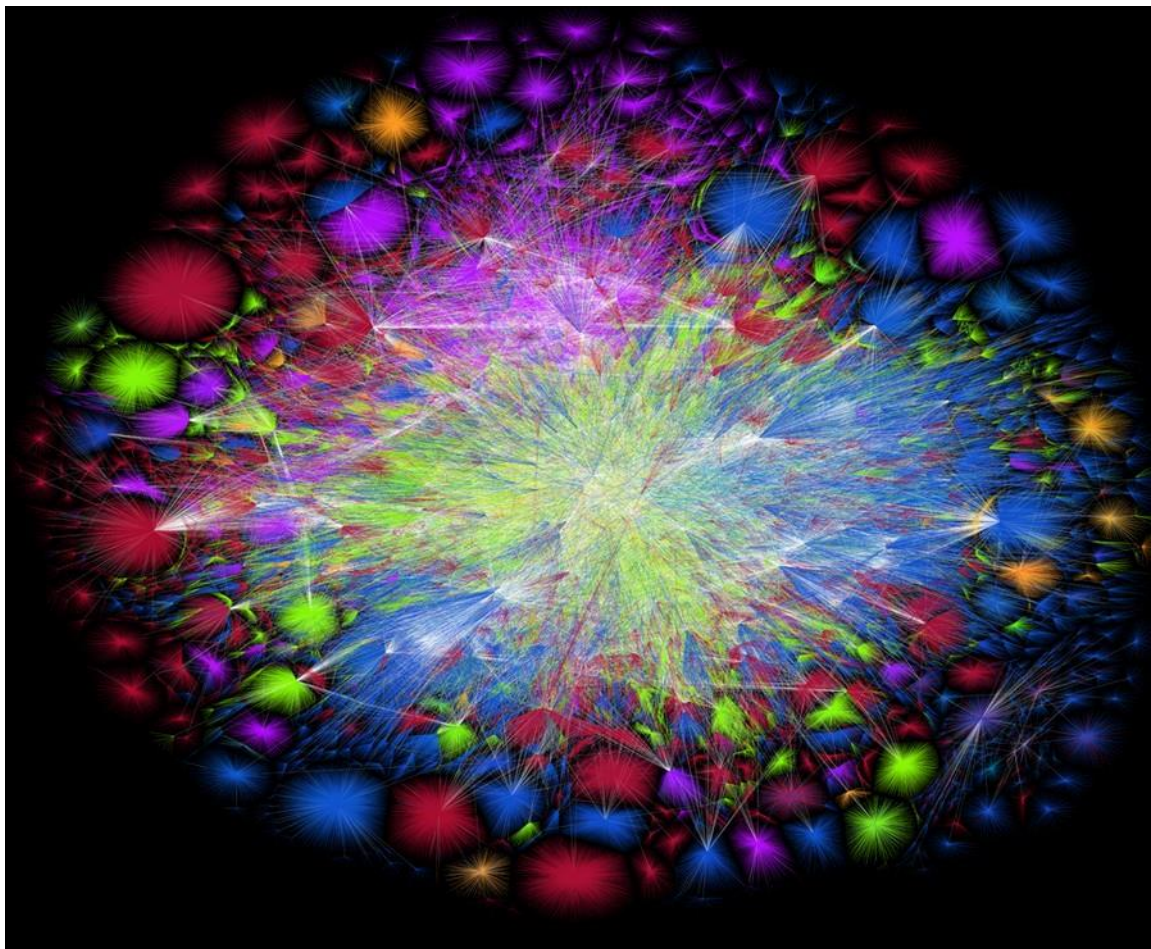


Illustration 5: Carte de l'Internet en 2015 vue par les artistes de The Opte Project.
<http://www.opte.org/the-internet/>

La science simplifie pour comprendre, comme l'avait déjà découvert Bachelard (« *il n'y a pas de simple, uniquement du simplifié* », Bachelard, 1968)¹⁵. Il est plus facile cependant de définir ce que *n'est pas* le complexe : en effet, le concept est autoréférentiel, en ce sens que sa définition est elle-même complexe (Laurent, 2011). La complexité se retrouve dans les systèmes qui comportent de nombreuses composantes, des interactions et rétroactions nombreuses, des effets non-linéaires et des effets de seuil. Cela provoque une imprévisibilité des relations cause-conséquence, même si l'on connaît les règles qui régissent l'évolution du système. On rencontre cette complexité en sociologie, en économie, en science (écologie, médecine, physique), et dans les réseaux urbains, ou encore l'Internet (Illustration 5, p. 19). Morin a également cerné les limites de cette pensée complexe : « *Une pensée complexe ne saurait être une pensée complète. Elle ne saurait éliminer les incertitudes. Mais elle permettrait de les affronter.* » (Morin, 2016).

La complexité doit être comprise « *dans une perspective systémique, il relève de savoirs pluridisciplinaires, inter-reliés, parfois contradictoires et n'offrant aucune solution simple pouvant être déduite de l'application de ses principes.* » (Kramar, 2012). Donnadieu et Karsky (2002) identifient quant à eux quatre caractéristiques qui définissent la complexité :

- Flou et imprécision: ne se laisse pas maîtriser facilement.
- Aléas et instabilité: en perpétuelle désorganisation – réorganisation.
- Ambiguïté: comportements incompréhensibles et différents selon les circonstances.
- Incertitude et imprévisibilité : absence de régularité dans l'évolution.

On peut également ajouter le fait qu'un système complexe ne peut pas être simulé (Rosen, 1977), qu'il existe des *seuils* (Von Neumann, Burks, & others, 1966) et que cela implique l'*émergence* de nouvelles propriétés, non déductibles des propriétés initiales (Atlan, Fogelman-Soulie, Salomon, & Weisbuch, 1981). De plus, les différents éléments du système complexe interagissent entre eux (*interactivité* et *rétroactions*, Laurent, 2011) et il n'y a pas de continuité entre le simple et le complexe (Rosen, 1977).

Dans le cadre éducatif, la pensée complexe semble être une attitude appropriée pour les éducateurs et les chercheurs en éducation (Davis, Sumara, & Luce-Kaple, 2000). La pensée complexe offre une alternative puissante aux approches linéaires et réductionnistes de la

15 Et Bachelard d'ajouter : « *Non seulement Descartes croit à l'existence d'éléments absolus dans le monde objectif, mais encore il pense que ces éléments absolus sont connus dans leur totalité et directement. [...] Rien de plus anticartésien que la lente modification spirituelle qu'imposent les approximations successives de l'expérience, surtout quand les approximations plus poussées révèlent des richesses organiques méconnues par l'information première. C'est le cas [...] pour la conception einsteinienne dont la richesse et la valeur complexe font soudain apparaître la pauvreté de la conception newtonienne.* » (Bachelard, 1968)

recherche qui dominent les sciences depuis des centaines d'années et la recherche en éducation depuis plus d'un siècle. Elle a attiré l'attention de nombreux chercheurs dont les études dépassent les frontières disciplinaires traditionnelles pour étudier des problèmes comme le fonctionnement cérébral, la nature de la conscience, de l'intelligence, ou des fonctionnements sociaux. La recherche sur la complexité postule qu'il existe une similitude profonde entre ces différents phénomènes, qui peuvent donc être tous appréhendés selon la même optique. Cette optique complexe est bien résumée par cette phrase : « *Alors qu'un savoir fragmentaire et dispersé nous rend de plus en plus aveugles à nos problèmes fondamentaux, l'intelligence de la complexité devient un besoin vital pour nos personnes, nos cultures, nos sociétés* » (Le Moigne & Morin, 2007).

Néanmoins, le passage à une pensée complexe ne se fait pas facilement : Bendixen (2002) introduit le concept de *doute épistémique* (Illustration6) pour singulariser la dimension personnelle et affective qui accompagne le changement d'épistémologie d'un individu lorsqu'il découvre la complexité et le caractère évolutif de la connaissance (Kramar, 2012). En effet, les croyances épistémiques sont les convictions intimes d'un individu à propos de ce que sont la vérité et la connaissance. Ce changement de croyance vers une posture plus ouverte à la complexité s'accompagne d'un doute profond lié à la nature imprévisible et mouvante de la complexité, que Bendixen qualifie d'*expérience tumultueuse*, que chaque individu résout avec une stratégie propre (Bendixen, 2002). Ce doute épistémique doit être pris en compte dans un cadre éducatif, quand les enseignants demandent aux élèves, années après années, de remettre en cause leurs certitudes épistémiques vers toujours plus de complexité.

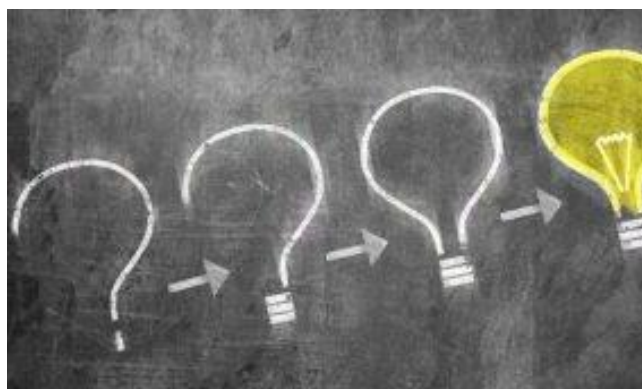


Illustration6: Le doute accompagne le changement d'épistémologie personnelle.

3.4.2 Les différentes postures épistémiques

La posture épistémique représente l'état, à un moment donné, des croyances d'un individu au sujet de la connaissance, des savoirs et de la vérité. Perry (1970), sur la base des travaux de Piaget (1967) a construit un modèle de développement épistémique qui rend compte des postures des élèves au cours de leur scolarité face à la connaissance. Cette épistémologie personnelle est définie par l'état de la compréhension individuelle de la connaissance et de la vérité (Hofer, 2004; Hofer & Pintrich, 1997; Sandoval, 2005). Certains auteurs ont opté pour une définition plus large, comprenant les processus d'apprentissage (Elby, 2001; Hammer, 1994; Schommer-Aikins, 2004). Ce rôle « subtil, mais critique » de la posture épistémique dans l'apprentissage est également souligné par Schommer (1994). À la suite de Perry, de nombreux autres modèles épistémiques ont été développés (Table 1): par exemple, Belenky *et al.* se sont penchés sur le développement épistémique des femmes, pour faire contrepoids aux travaux de Perry, exclusivement construits sur des hommes (Belenky, Clinchy, Goldberger, & Tarule, 1986). Baxter-Magolda (Baxter-Magolda, 1992) propose également différentes dimensions du développement épistémique qui aboutissent à quatre postures épistémiques : 1. Absolue (les connaissances sont détenues par l'enseignant, infaillible); 2. Transitoire (la connaissance est incertaine et les tenants du savoir sont vulnérables) ; 3. Indépendante (le savoir des étudiants vaut celui des enseignants) ; 4. Contextuelle (l'élève construit ses connaissances en fonction du contexte). Notons que ce dernier stade, qui doit s'adapter au contexte se rapproche de ce que nous cherchons à définir ici, c'est-à-dire la relation épistémique à la complexité. Le travail de Boyes & Chandler (1992) propose également quatre stades, dont les deux premiers sont un stade réaliste (« réalisme naïf » et « réalisme »), le troisième une posture épistémique alternant entre dogmatisme et scepticisme, et un quatrième (« relativisme post-sceptique »).

(Perry, 1981)	(Belenky et al., 1986)	(Baxter-Magolda, 1992)	(Kuhn, 1991)	(Boyes & Chandler, 1992)
Dualisme	Position silencieuse	Absolute	Réaliste	Réalisme naïf
Multiplicité	Connaissance reçue	Transitoire	Absolutiste	Réalisme
Relativisme	Subjectivisme	Indépendante	Multiple	Dogmatisme / scepticisme
Engagement personnel	Connaissance procédurale	Contextuelle	Évaluative	Relativisme post-sceptique
	Connaissance construite			

Table1: Correspondances approximatives entre les stades de développement épistémologique selon les auteurs (d'après les synthèses de Hofer & Pintrich, 1997; Schommer, 1994; Therriault, 2008; Zhu & Cox, 2015). La colonne en vert représente la base sur laquelle la présente étude est construite, détaillée dans la Table 2 page suivante.

Table2 : Synthèse du modèle épistémique de Perry (1970 ; 1981) en relation avec notre questionnaire et la catégorie « pensée complexe » introduite par ce travail dans le cadre épistémologique de la littérature. Nous avons choisi de ne pas étudier la posture de « l'engagement personnel » de Perry (en gris), et de la remplacer par des items concernant la pensée complexe.

Catégorie		Position		# dans notre questionnaire
Dualisme	Les réponses ne peuvent être que "vrai" ou "faux", les connaissances sont gravées dans le marbre	i. <i>Dualité de base</i>	Tous les problèmes ont une solution, donc la tâche de l'élève est d'apprendre.	Question 1 à 5
		ii. <i>Dualité complète</i>	Certaines disciplines montrent des désaccords, d'autres sont en plein accord. La tâche de l'élève est d'apprendre les bonnes solutions et d'ignorer les autres.	
Multiplicité et connaissance subjective	Il existe des réponses contradictoires. La tâche des élèves est de se faire confiance pour suivre leur voie	iii. <i>Multiplicité précoce</i>	Il existe deux types de problèmes, ceux dont les solutions sont connues, et ceux dont les solutions ne sont pas encore connues. La tâche de l'élève est d'apprendre comment trouver les bonnes solutions.	Questions 6 à 10
		iv. <i>Multiplicité tardive</i>	La plupart des problèmes ont des solutions qui ne sont pas encore connues. Par conséquent, tout le monde a le droit à sa propre opinion, ou alors certains problèmes sont insolubles, donc la solution choisie importe peu.	
Relativisme	Il existe des méthodes de raisonnement propre à chaque champ disciplinaire.	v. relativisme contextuel	Toutes les solutions proposées sont rationnelles, mais certaines sont meilleures que d'autres en fonction du contexte. La tâche de l'élève est d'apprendre à évaluer ces solutions.	Questions 11 à 15
		vi. pré-responsabilisation	L'élève perçoit la nécessité de faire des choix et de s'engager vers une solution.	
Engagement personnel	La responsabilité personnelle signe le passage d'une posture intellectuelle à une posture morale	vii. à viii (ou ix)	L'élève s'engage dans des solutions personnelles et fait des choix, en se basant sur les connaissances acquises par des tiers et son expérience personnelle. Ses engagements impliquent une responsabilité personnelle. Enfin, l'étudiant réalise que ses choix et ses engagements évoluent en permanence au cours du temps. ¹⁶	
Pensée complexe	Percevoir la nature et les implications des phénomènes complexes	Stade ix de Perry ?	Voir texte	Questions 16 à 20

Selon Perry (1981) les élèves évoluent en suivant neuf positions concernant leur posture intellectuelle et morale. Ces neuf positions sont regroupées en quatre grandes catégories que nous testons dans ce travail par quatre séries de cinq questions¹⁷. Ces catégories sont synthétisées dans la Table 2 ci-dessus.

¹⁶ « ...*aknowledge commitments as an ongoing, complex, and evolving process* » (Perry, 1968)

¹⁷ Les numéros des questions donnés dans cette section correspondent à la numérotation du questionnaire remplis par les élèves avant la visite du musée (ci-après abrégé en « questionnaire pré-musée », voir Table 3 p. 37).

La maîtrise de la complexité évolue au cours de la vie pour atteindre un pic de performance à 25 ans¹⁸, qui décroît ensuite doucement jusqu'à 60 ans (Gauvrit, Zenil, Soler-Toscano, Delahaye, & Brugger, 2017). De plus, ces auteurs proposent que cette capacité spécifique soit bien corrélée avec les capacités cognitives de haut niveau, et proposent donc que le développement du cortex préfrontal joue un rôle fondamental dans la perception de la complexité (*ibid.*). Or le développement du cortex préfrontal continue tardivement pendant l'adolescence (Blakemore & Choudhury, 2006), ce qui suggère un lien entre la capacité à maîtriser des éléments complexes et l'âge de l'élève, dont dépend le développement cérébral. Ce lien entre la posture épistémique et l'âge a de longue date été observé, sans que la perception de la complexité ne soit invoquée. Dans le présent travail, nous avons fait le choix de ne pas étudier l'engagement personnel des élèves (stades vii à ix de Perry), et d'analyser à la place les postures de pensée complexe) pour explorer plus en détail la posture épistémique qui permet à l'élève de percevoir la nature et les implications des phénomènes complexes. C'est ce que nous testons dans les questions 16 à 20 de notre questionnaire « pré-musée ».

3.4.3 Evolution de la perception de la complexité avec l'âge

À la suite de Piaget (1936), de nombreux auteurs ont proposé une évolution psychologique en « stades » successifs des enfants. Par exemple, Bruner (1996) décrit trois grandes étapes de représentations mentales chez l'enfant (que l'on retrouve comme mode de fonctionnement cognitif chez l'adulte), tout d'abord basées sur l'action, puis sur les objets, puis enfin les symboles. Dans ce cadre-là, la représentation de la complexité pourrait être une quatrième étape qui se développerait sur la pensée symbolique (« raisonnements hypothético-déductif et combinatoire » de Piaget). Cette étape se renforcerait chez l'adolescent puis chez l'adulte, en lien avec l'expérience vécue de la complexité, et serait autorisée par un développement cérébral de plus en plus complet en allant vers l'âge adulte. Néanmoins, cette vision d'un développement des enfants inéluctablement « en marches d'escalier » est remise partiellement en question (Siegler, 2001): ces étapes sont-elles liées à un âge précis et doivent-elles survenir dans un ordre précis ? Comment surviennent ces changements et quels en sont les mécanismes ? De plus, les différents modèles de posture épistémiques ne sont pas forcément compatibles, et le développement intellectuel dans un système n'implique pas nécessairement un niveau de développement comparable dans un autre modèle. Par exemple, les théories de Piaget et de Perry sont mal corrélées, ce qui suggère qu'elles abordent différents aspects du développement cognitif (Perry Bruce *et al.*, 1986). Dans le cas de la pensée complexe, ces questions sont d'autant plus criantes qu'il n'existe à notre connaissance

¹⁸Dans cette étude, la maîtrise de la complexité est mesurée par la capacité à fournir une suite de nombres aléatoires.

pas de littérature qui documente l'évolution de la perception (ou de la compréhension) de la pensée complexe en fonction de l'âge, du niveau d'étude ou du milieu social (ou de tout autre facteur). De telles études conduiraient à intégrer la complexité dans les modèles de développement épistémique.

En tant qu'enseignants, nous travaillons le plus souvent avec des causalités uniques (« c'est juste *parce que...* »), et il est pour l'instant difficile de comprendre l'évolution des processus cognitifs entre le jeune enfant rassuré par cette causalité unique et « *l'adulte angoissé par les causalités multiples* » (Cyrulnik, 2011). Les capacités d'abstraction croissantes avec l'âge, décrites par les pédagogues (Barth, 2013), les psychologues (Rozencwajg, 2007) et les neuroscientifiques (Dumontheil, 2014)), sont indispensables, mais insuffisantes, à la conception d'une pensée complexe. Est-ce là dire que les enfants et les adolescents sont incapables de pensée complexe ? Certainement pas : certaines tâches quotidiennes complexes, comme reconnaître des visages ou interpréter des interactions sociales sont effectuées par de très jeunes enfants (Bayet, Pascalis, & Gentaz, 2014).

Néanmoins, nous pouvons suivre Fabienne Serina-Karsky quand elle affirme que « *c'est par l'éducation, quand elle s'attache à tisser ensemble les différents éléments qui constituent un tout, que l'on peut entrer dans la dimension globale de la connaissance qui fait sens. C'est par elle également que l'on peut apprendre à reconnaître l'erreur et l'illusion, à intégrer l'incertitude. Autant de notions complexes nécessaires à appréhender, dès le plus jeune âge, pour avancer ensemble sur le chemin de l'éducation* » (Serina-Karsky, 2017).

Cette construction se poursuivra pendant toute la scolarité, et probablement toute la vie ; la pensée complexe est sans doute le sommet de la pyramide intellectuelle que construisent les enfants, les adolescents et les adultes au cours de leur éducation et de leur formation.

4. Analyses à priori

Cette partie analyse à priori les trois éléments principaux de ce travail (le jeu Pearl Arbor, les adolescents et le musée de la Nature de Sion), ainsi que les questionnaires qui nous permettront de quantifier les postures épistémiques des élèves en fonction de leur âge et de leur visite du musée.

4.1 Le jeu Pearl Arbor

4.1.1 Le projet PLAY

Le projet PLAY (*Playing for learning, an economic approach to human behavior*) est porté par le laboratoire d'innovation pédagogique de l'Université de Fribourg (Eric Sanchez), en partenariat avec la Haute École Pédagogique du Valais (HEP-VS, Sylvia Müller) et le Musée de la Nature, Sion (Nicolas Kramar). Il s'agit de comprendre comment un jeu "didactique" modifie les comportements des joueurs, et les amène à *développer des interactions épistémiques*. Le jeu "Pearl Arbor" qui est examiné dans la présente étude a été conçu par des étudiants en Master de l'architecture de l'information de l'École Normale Supérieure de Lyon. Il est destiné à des adolescents (12-15 ans) et a pour ambition d'amener les visiteurs à mieux comprendre les relations complexes entre la Nature et l'Homme (voir section 4.1 et 4.3).

La collaboration entre l'Université de Fribourg, la HEP Valais et le musée de la Nature doit permettre d'aborder la question des usages du jeu pour des élèves de niveau secondaire 1 et secondaire 2. Les travaux qui sont conduits dans le cadre de cette étude visent à :

- a) Conduire une analyse à priori du jeu, en termes de contenu et de jouabilité ;
- b) Analyser les usages du jeu de manière à caractériser le comportement des joueurs (engagement, stratégies mises en œuvre) ;
- c) En apprécier les effets en termes d'apprentissage et en particulier à caractériser le développement épistémique des joueurs ;**
- d) Formuler des recommandations pour les concepteurs du jeu et les enseignants qui souhaiteraient l'adopter ;
- e) De manière plus générale, proposer un cadre conceptuel sur la question des usages du jeu en contexte éducatif.

Dans le cadre de ce travail, nous développons le point c), c'est-à-dire l'appréciation des « effets en termes d'apprentissage » en se focalisant principalement sur la posture épistémique face à la pensée complexe.

4.1.2 Description du jeu

Le jeu Pearl Arbor¹⁹ se décompose en trois phases distinctes, qui peuvent être éclairées par des critères « 3E »: Enroll [*enrôler*], Entertain [*divertir*], Educate [*éduquer*]. Le but du jeu est de faire gagner des points à l'Arbre de Vie. Cet arbre, situé dans l'entrée du musée accueille les élèves. La première partie du jeu consiste à photographier les animaux naturalisés avec une tablette tactile (c'est-à-dire les « chasser » ou les « apprivoiser ») pour gagner des points. Le jeu est conçu pour que cette « chasse » qui fait gagner des points aux joueurs, fasse perdre des points à l'Arbre de Vie, qui peut finir par mourir. Cette première partie permet les « 3E » (Enroll, Entertain, Educate). Les joueurs doivent alors changer de stratégie, répondre à des questions (voir annexe IV) pour faire revivre leur arbre de vie (Enroll & Educate). Entre les deux parties, ainsi qu'à la fin du jeu, les animateurs du musée procèdent à un débriefing pour analyser la compréhension des élèves sur le déroulement du jeu (« pourquoi l'arbre de vie est-il mort ? ») et sur le fonctionnement des élèves en groupes. En effet, les tablettes tactiles communiquent entre elles, et les actions individuelles entrent en interactions pour créer une dynamique collective. La troisième partie, facultative et qui n'a pas été observée consiste en un débriefing par l'enseignant, au musée ou en classe. Nous pensons que cette phase est indispensable pour que l'objectif éducatif soit atteint aussi complètement que possible. Le jeu représente ici une situation a-didactique, c'est-à-dire que la situation est didactique au regard de l'enseignant, mais n'est pas perçue comme didactique par l'élève. Les savoirs ne sont pas exposés directement, et l'élève se comporte comme si la situation n'était pas didactique : il doit prendre lui-même des décisions, engager des stratégies, et évaluer leur efficacité (Brousseau, 2011). Pour que cette situation a-didactique fonctionne comme telle, les élèves doivent totalement ignorer ce déroulement pour qu'il produise son effet didactique et épistémologique (un changement des connaissances et de la représentation de ces connaissances). Concrètement, la visite du musée avec le jeu, d'une durée approximative de 90 minutes, se déroule comme suit :

- Accueil (15')
 - Consignes
 - Distribution des tablettes tactiles
 - Description sommaire du jeu
 - Description sommaire du musée
- 1^{ère} partie du jeu. (20')

¹⁹Lien vers le cahier des charges du jeu :
<https://drive.google.com/drive/folders/0Bxzu6Sbzq6tUOWhYS2JsSIF1dFk>

- Les élèves doivent exploiter (chasser et / ou domestiquer = photographier avec la tablette) les animaux.
- L'arbre de vie finit par mourir (partiellement ou totalement).
- Premier débriefing avec les élèves et l'animateur du musée
- 2^e partie du jeu (30')
 - Réponses aux questions
- Second débriefing (15') avec l'animateur, puis éventuellement en classe sur une durée plus longue

4.1.3 La complexité dans le jeu

Comme dans le jeu CLIM@CTION traité par Kramar (2012), le jeu Pearl Arbor a pour objectif de faire *“expérimenter la complexité d'une situation relevant de savoirs multiples, ouverte et sans solution simple où la résolution d'un problème passe par la collaboration, la confrontation et la négociation...”*. La notion de complexité tient dans le *“sans solution simple”*. Il est possible de voir cette complexité comme une série de poupées russes emboîtées : les phénomènes naturels d'interactions systémiques sont représentés par un jeu qui présente lui-même sa propre complexité quand il est joué par un groupe d'élèves²⁰, et chaque élève modifie (ou non) sa posture épistémique en fonction de phénomènes sociaux, cognitifs, physiologiques qui interagissent également de manière complexe. Il existe donc (au moins) trois niveaux de complexité, reliés par deux transpositions épistémologiques et didactiques.

Dans le jeu, les élèves sont dans un premier temps amenés à photographier (« capturer ») différents animaux à l'aide de leur tablette. Ils ne le savent pas, mais chaque capture leur fait perdre des points, ce qui les amène inévitablement à perdre la première manche. Cette première partie pose différentes questions :

Tout d'abord, quelle est la pertinence d'un jeu (ou d'une partie de jeu) dans lequel les joueurs perdent forcément ? Bien entendu, la défaite doit ici conduire le joueur à une prise de conscience et à une modification de son comportement. Néanmoins, cela pose potentiellement deux problèmes. Le premier est lié au fait qu'il n'est pas possible de jouer deux parties : dès que l'on sait que l'on perd (partiellement ou totalement) la première partie, le jeu (en tant que jeu, c'est-à-dire en tant qu'activité ludique) perd une bonne partie de son sens. C'est cela qui rend également obligatoire une mise en scène « secrète » dans les établissements scolaires, pour que les élèves ne divulguent pas à leurs camarades cet aspect important du jeu, au risque de saboter complètement l'expérience didactique. Néanmoins, le groupe suivant pourrait

²⁰ Même si le jeu paraît simple dans ses règles et sa structure...

choisir d'aller plus vite dans cette première partie pour tenter de sauver l'Arbre de Vie. Le second problème est directement lié à la notion de complexité : en effet, comme nous l'avons abordé à la section 3.4, la complexité tient en différentes caractéristiques cardinales (flou et imprécision, aléas et instabilité, ambiguïté, incertitude et imprévisibilité). Or l'aspect inéluctable, très stable et prévisible de la défaite lors de la première partie du jeu entre en contradiction flagrante avec ces caractéristiques de la complexité. Plus grave, la capture d'un animal (pour le manger ?) est sans ambiguïté liée à une action négative, ce qui est une négation de la complexité et de la richesse des interactions historiques entre l'Humain et l'Animal. Comment les élèves se positionnent-ils historiquement ? Sont-ils des chasseurs-cueilleurs paléolithiques ou des chasseurs modernes ? Comment les élèves font-ils le lien entre la viande et l'animal ?

Face à cette défaite lors de la première partie du jeu, les joueurs sont amenés à amender leur « mauvais » comportement prédateur en regagnant des points grâce à des questions pour lesquelles ils peuvent trouver les réponses dans le Musée. Malheureusement, les (seulement six) questions de connaissances utilisées actuellement sont extrêmement simples et factuelles, et ne font appel qu'au premier niveau de la taxonomie de Bloom (voir annexe IV). De plus, elles sont présentées sous forme de QCM. Ceci facilite l'évaluation par l'algorithme du jeu, mais le questionnaire doit être très soigneusement réalisé pour favoriser le développement d'une pensée construite chez l'élève. De plus, ces questions ne permettent aucunement aux enfants de prendre conscience de la subtilité des interactions entre l'Homme et l'Animal, sans même parler de la complexité des liens entre les différents éléments présentés dans le musée. Plus précisément, trois de ces six questions sont purement anecdotiques, dans le sens qu'elles ne permettent pas à un élève d'en tirer d'autres conséquences que le simple fait évoqué dans la question²¹. Une question invite les élèves à se placer dans l'esprit d'un gendarme du 19^e siècle en demandant « *Au 19^e siècle, des primes sont offertes pour exterminer certaines espèces jugées nuisibles. En 1850, un gendarme recevait 41 Fr. comme salaire mensuel. À cette même époque, quelle était la prime offerte pour tuer un ours ?* » (réponse : trois salaires mensuels). Si cette anecdote montre une forte volonté des pouvoirs publics de l'époque d'exterminer les ours, nous ne sommes pas certains que les élèves constateront autre chose que tuer un ours rapportait 120 CHF. Une autre question interroge les élèves sur la notion de corridor faunistique (« *Quels types de liaisons constituent des corridors favorables à la faune ?* »). Cette question est probablement la seule qui ait une pertinence pour faire évoluer les postures épistémiques des élèves. Malheureusement, les réponses (« les montagnes et les plans d'eau ») sont factuelles et ne sont pas développées. Enfin, une question (très ouverte) interroge directement

²¹ Ces questions sont les suivantes « *Qui sont les parents du mulet ?* », « *Quelle plante exotique envahissante, introduite par l'homme, produit une toxine qui provoque de fortes brûlures sur la peau ?* », « *Au néolithique, quels sont les animaux domestiqués les plus nombreux, en Valais ?* »

les élèves sur la notion d'Anthropocène²². Outre le fait que deux réponses sont attendues, que cela n'est pas mentionné, et qu'une des deux réponses « juste » est factuellement fausse²³, cette question et les réponses proposées sont complètement déconnectées du niveau taxonomique général de ce questionnaire (« *L'Anthropocène inscrit notre présent dans l'histoire de la terre* »). Il est difficile d'imaginer ce que les élèves peuvent comprendre de cette affirmation, présentée comme l'une des réponses possibles au sujet de l'Anthropocène. De plus, la déconnexion complète entre les questions posées et l'objectif ludique du jeu (sauver l'Arbre de Vie) est probablement une importante lacune pour la réalisation de l'objectif didactique, à savoir l'évolution de la posture épistémique des élèves. Ces questions, dans l'état actuel, ne permettent certainement pas une telle évolution.

4.2 Le public-cible : les adolescents

Cette section vise à évaluer à priori si les adolescents accepteront de jouer au jeu proposé. Cela pourrait être le cas si l'une et/ou l'autre des deux hypothèses suivantes est vérifiée : l'une considère la possibilité que certains élèves n'entrent pas dans le jeu pour des raisons éthiques : en effet, la première action du jeu consiste à tirer (virtuellement) sur des animaux. L'autre hypothèse considère que les adolescents sont tous des « gamers », des joueurs invétérés qui passent leur temps sur les consoles ou à jouer en réseaux, et qu'ils n'auront aucun mal à entrer dans le jeu. La contre-hypothèse directe considère que ces grands joueurs n'auront aucun intérêt à jouer à un jeu qui pourrait être perçu comme ridiculement simple. Ces deux hypothèses peuvent se réduire en une seule : certains joueurs ne voudront peut-être pas jouer.

Si la première hypothèse (un enfant sensible à la condition animale refuse d'agir, ou agit avec beaucoup de réticence) avait été plausible dans le cas d'un jeu très réaliste, il est peu probable que ce soit le cas avec le jeu tel qu'il est implémenté à l'heure actuelle. Malgré le fait que les dernières statistiques montrent que 7 % des Romands ne consomment jamais de viande (2 % sont végétaliens, 5 % végétariens), et que cette proportion soit en hausse²⁴, il nous

22 « Qu' est ce qui caractérise l' Anthropocène ? » (Réponses possibles : A : Pour la première fois de l' histoire de la terre, des changements environnementaux sont induits par une espèce vivante. B : Pour la première fois de l' histoire de la terre, cette dernière subit des changements environnementaux.

C : L' anthropocène inscrit notre présent dans l' histoire de la Terre.

23 Nous donnons ici deux contre-exemples de changements environnementaux induits par une espèce vivante, autre que les Hommes : 1) Les symbioses algues-champignons ont permis la création d' une atmosphère riche en oxygène au Précambrien. 2) La prédominance des graminées a accéléré l' absorption de CO₂ depuis l' Oligocène, et surtout au Miocène, conduisant à des changements environnementaux majeurs.

24 Sondage Swissveg du 26.01 au 18.02.2017 avec 1296 personnes sondées (CAWI ad hoc) en Suisse alémanique et Suisse romande âgées de 15 à 74 ans. L'intervalle de confiance est de +/- 2,8 % (à 50 %). https://www.swissveg.ch/sondage_veg?language=#1

semble peu probable que cela pose un réel problème à l'échelle d'une classe entière. Néanmoins, nous ne pouvons pas exclure que quelques élèves soient réticents. Ils seront alors probablement satisfaits de constater que tous leurs camarades « chasseurs » perdent la partie d'autant plus vite qu'ils ont la gâchette facile...

La seconde hypothèse est beaucoup plus probable : face à l'habitude qu'ont un grand nombre d'adolescents²⁵ de jouer à de très nombreux jeux très réalistes, il est possible que le graphisme et le gameplay de Pearl Arbor soient considérés comme datés, enfantins ou inintéressants. Cela pourrait provoquer, chez certains élèves peu intéressés et / ou critiques vis-à-vis de l'École un refus de jouer, ou un mode de jeu complètement dépassionné, juste « pour voir comment ça fait », mais sans implication émotionnelle ludique, indispensable dans une expérience de « serious game ». Cette hypothèse n'a pas été vérifiée à posteriori par l'expérience de trois classes, et la reconnaissance automatique des animaux photographiés a bien fonctionné. Le graphisme reste à améliorer, mais n'a pas empêché le jeu.

4.3 Le musée de la nature de Sion

Fondé en 1829, et situé au cœur de la vieille ville de Sion, le Musée de la nature du Valais, à Sion se veut une « *institution de référence pour le patrimoine naturel du Valais* » en présentant, comme tout bon musée naturaliste, des collections de faunes, de flores et de minéraux locaux (plus de 200'000 spécimens). Mais ce musée met également en avant son approche originale et souhaite stimuler la réflexion des visiteurs dans son exposition permanente « l'Homme et la Nature en Valais ». Le but pour le visiteur est d'évoluer librement dans les différentes salles qui ont pour décors les différents milieux naturels valaisans. Les relations entre l'Homme et la Nature au cours de l'histoire sont plus suggérées qu'explicitées. La mise en scène souhaite interroger « *les relations que l'homme a tissées avec son environnement, des origines à nos jours* »²⁶ et « *a pour*



Illustration 7: La salle dédiée au 20^e siècle au musée de la Nature (Sion): les animaux sauvages sont symboliquement séparés du public par une haute barrière métallique.

²⁵ En 2015, 91 % des 15-18 ans jouaient à des jeux vidéo en France, dont plus de la moitié (52 %) jouent régulièrement (au moins deux fois par semaine) ou quotidiennement (source S.E.L.L., <http://www.sell.fr/news/le-marche-du-jeu-video-renoue-avec-une-croissance-deux-chiffres>). Il est probable que les statistiques suisses donnent des chiffres comparables, mais n'ont pas été trouvés.

²⁶ <https://www.musees-valais.ch/musee-de-la-nature/presentation.html>

ambition d'amener le visiteur à s'interroger sur la qualité de son environnement, sur l'occupation du territoire et l'exploitation des ressources naturelles »²⁷. Les salles sont donc organisées chronologiquement, depuis la préhistoire et tournées vers l'avenir. Par exemple, des barrières métalliques (Illustration 7 p. 31) sont présentes entre les visiteurs et les animaux présentés dès la deuxième salle (néolithique). Ces barrières sont de plus en plus rapprochées au fil des salles, et la dernière salle propose une issue optimiste en ouvrant ces barrières. C'est cette exposition qui fait l'objet de la pratique ludique décrite et analysée dans le présent travail.

4.4 Analyse des questionnaires utilisés dans l'étude

Les deux questionnaires élaborés visent à déterminer si la pratique du jeu Pearl Arbor favorise le développement de l'épistémologie personnelle des élèves, en particulier au sujet de la complexité. L'analyse statistique utilise la pratique du jeu comme la variable indépendante et l'épistémologie personnelle de l'élève comme la variable dépendante. Ils ont été modifiés du questionnaire de Kramar (2012), basé sur les postures épistémiques de Perry (1968) mis en forme dans les études de Bédard *et al.*, et Lison *et al.* et Bédard *et al.*, destiné aux étudiants en médecine de l'Université canadienne de Sherbrook (Bédard, Lison, Dalle, & Boutin, 2010; Lison, Bédard, & Côté, 2011). Le questionnaire dans sa forme initiale (Annexe II) ayant été conçu initialement pour des étudiants universitaires, certaines affirmations étaient formulées de manière trop compliquée, un important travail de simplification a donc été entrepris pour maximiser les chances de compréhension par les élèves : différentes versions des questionnaires ont été testées auprès d'élèves de l'École Secondaire de Montreux-Ouest (VD) pour recueillir leurs opinions et suggestions quant aux formulations. Les 43 élèves (de la 9^e à la 11^e) ayant participé individuellement ou en petit groupe à ce travail d'amélioration des questionnaires n'ont pas participé à l'étude proprement dite, et les données recueillies ne font pas partie des données analysées dans la présente étude.

Cette étude se base donc sur deux questionnaires²⁸ distincts : le premier (Annexe II) vise à déterminer le niveau épistémique des élèves, et en particulier leur niveau de maîtrise des phénomènes complexes. Ce questionnaire a été soumis à 63 élèves de 9CO, à 22 élèves de 11VP²⁹ et à 22 élèves de troisième année du Collège de l'Abbaye de St-Maurice (VS). Le second questionnaire (Annexe III) est destiné aux élèves qui viennent de visiter le musée, et qui ont déjà rempli le premier questionnaire, afin de pouvoir étudier un changement entre les deux questionnaires. 55 élèves de 9CO ont répondu à ce second questionnaire.

²⁷ibid

²⁸ Nous utilisons ici le terme de « questionnaire » pour des raisons de simplicité, bien que les élèves devaient donner leur degré d' accord à des phrases affirmatives.

²⁹ « Voie Prégymnasiale » du canton de Vaud, c' est-à-dire les élèves d' un bon niveau scolaire, qui se destinent majoritairement au Gymnase.

Les différentes questions et leur utilisation dans les différentes parties de l'étude est synthétisée dans la Table 3 (p. 37), et les résultats bruts sont présentés en annexe VI et VII.

4.4.1 Analyse à priori du questionnaire utilisé avant le jeu

Dans ce questionnaire (voir annexe III), trois des quatre postures épistémiques de Perry (Dualisme – Subjectivisme – Relativisme), ainsi qu'une quatrième posture (Pensée complexe) sont interrogées par cinq affirmations (quatre à la forme affirmative, une à la forme négative). De plus, nous avons ajouté quatre questions simples sur l'âge et le niveau des élèves, ainsi que sur le niveau d'étude de leurs parents (questions 21 à 24). Pour toutes les affirmations, les élèves doivent indiquer leur degré d'accord, codé sur quatre possibilités allant de tout à fait d'accord (score = 5) à pas du tout d'accord (score = 1) avec les nuances plutôt d'accord (score = 4) et plutôt pas d'accord (score = 2). Le choix « ne sait pas / sans avis » a été offert (score = 3, enlevé avant toute analyse quantitative).

Ce questionnaire a été mis en forme et soumis aux élèves sous forme électronique grâce à TypeForm³⁰, ce qui a permis un export facile dans un tableur pour l'analyse³¹ (section 5.2 et annexe VII).

Ce questionnaire a été rempli par 63 élèves de trois classes de 9CO avant leur visite du musée, et qui ont répondu également à un second questionnaire largement similaire (voir section 4.4.2) après leur visite. Pour affiner notre connaissance du niveau épistémique des élèves en fonction de leur âge nous avons choisi d'interroger 22 élèves de 11^e VP de l'École Secondaire de Montreux-Ouest (VD) et 22 élèves d'une classe de 3^e année de Gymnase (Collège de St-Maurice, VS). Ces élèves n'ont pas visité le musée et n'ont pas répondu au second questionnaire.

Le choix de remplacer la posture de Perry « engagement personnel » pour examiner un cinquième champ dédié à la pensée complexe (voir section 3.4.2) a permis d'ajouter cinq affirmations additionnelles (numéro 16 à 20), tout en conservant un questionnaire suffisamment succinct. Ces questions ont été construites en se basant sur les quatre caractéristiques de la pensée complexe³² définies par Donnadieu et Karsky (2002). Ces affirmations sont les suivantes :

• « **Je pense que s'il est possible de prévoir la météo 3 jours à l'avance, il est 10 fois plus compliqué de prévoir la météo 30 jours à l'avance** ». Cette question a pour but

³⁰ Pour voir le questionnaire en ligne : <https://profchampagnac.typeform.com/to/r1XTbr>

³¹ Les enseignant·e·s concerné·e·s avaient également à disposition un document identique en .pdf pour impression et travail sur feuille papier. Ce choix n' a pas été fait.

³² Pour rappel : 1) Flou et imprécision, 2) Aléas et instabilité, 3) Ambiguïté et 4) Imprévisibilité.

d'explorer de manière frontale les connaissances des systèmes complexes par les élèves. En effet, la météorologie est l'un des champs disciplinaires pour lesquels la prévision à court terme est très difficilement extrapolable à long terme. Nous avons donc utilisé un codage inverse pour cette affirmation.

- « **Je pense que tous les problèmes vont pouvoir être facilement résolus à l'avenir grâce à l'intelligence artificielle** ». Cette question, comme la précédente, interroge les élèves sur leur perception de ce qu'est un « problème ». Malheureusement, la notion d'intelligence artificielle est floue et tentaculaire, et les réponses des élèves (voir section 5) suggèrent qu'ils l'ont comprise de différente manière, et que cette question devrait être remplacée par une autre, plus générale et plus pertinente. Comme pour la question précédente, nous avons utilisé un codage inverse.

- « **Je pense qu'il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre** ». Cette question est beaucoup plus directe et interroge réellement les élèves sur leur perception de la complexité. Par définition, un problème complexe n'est pas découparable en une somme de problèmes simples. Les réponses à cette question (comme aux deux suivantes) donnent probablement une image assez fiable de la perception de la complexité chez les élèves. Si les élèves sont d'accord avec cette affirmation, cela montre qu'ils maîtrisent mal la pensée complexe ; nous avons donc utilisé un codage inverse pour cette affirmation.

- « **Je pense qu'il existe des problèmes qui n'ont pas de solution simple** ». Comme la question précédente, le simple fait qu'un individu perçoive le fait que certains problèmes n'ont pas de solution simple est un bon indicateur du fait qu'il a une bonne perception de la réalité complexe.

- **Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes** ». L'imprévisibilité des relations entre causes et conséquences est également l'un des marqueurs de la complexité. Comme la question précédente, répondre positivement à cette question revient à admettre cette imprévisibilité, et donc la notion de complexité.

4.4.2 Analyse à priori du questionnaire utilisé après le jeu

Ce questionnaire est largement identique au premier questionnaire, puisque 19 questions (sur 29 au total) se retrouvent dans les deux questionnaires. Pour limiter la taille du questionnaire, seulement quatre des cinq affirmations par groupe épistémique du premier questionnaire ont été maintenues dans ce second questionnaire (voir synthèse dans la Table 3 p. 37). Cinq affirmations additionnelles ont été ajoutées au début de ce second questionnaire pour évaluer la perception des élèves de leur visite du musée. Ces nouvelles affirmations sont les suivantes :

- « **Dans le musée de la Nature de Sion, j'ai appris des choses que j'ignorais** ».

Cette question permet un retour réflexif des élèves sur leurs apprentissages lors de la visite du musée.

- « **Je pense que le Musée de la Nature de Sion présente les choses de manière simple** ». Cette question permet aux élèves de donner leur avis sur le niveau épistémique du musée en général et d'en tirer des conséquences pratiques quant à l'approche de la complexité au sein du musée. Notons que l'utilisation de « les choses » n'est pas heureux dans cette question, qui a pu être interprétée de diverses façons en fonction de ce que les élèves ont placé dans cette catégorie...

- « **Dans le musée de la Nature de Sion, le fait de jouer au jeu « Pearl Arbor » m'a permis de mieux comprendre les choses** ». Cette question permet un retour réflexif des élèves sur leurs apprentissages lors de la pratique du jeu au sein du musée.

- « **J'estime que les questions du jeu « Pearl Arbor » (le jeu qui est dans le musée) sont trop compliquées** ». Comme la troisième question, celle-ci permet aux élèves de donner leur avis sur le niveau épistémique des questions du jeu et d'en tirer des conséquences pratiques pour savoir si le but de ce jeu quant à la complexité peut être atteint par ces questions.

- « **Le musée de la Nature de Sion m'a permis de mieux comprendre les liens complexes entre la Nature et l'Homme** ». Cette question a pour but de demander explicitement aux élèves de faire le lien entre le musée et la complexité.

4.4.3 Analyse différentielle des questionnaires

A. Analyse de la posture épistémique en fonction de l'âge.

Cette analyse se basera sur la comparaison statistique entre les questionnaires (« pré-musée) remplis par les élèves de 9CO (âge médian de 12 ans), les élèves de 11VP (âge médian de 15 ans) et les élèves de troisième année de Collège (âge médian de 16.5 ans).

Cette première analyse permettra de valider la pertinence de notre questionnaire en testant la cohérence des réponses individuelles et de leurs effets statistiques. Nous devrions observer un changement notable de la posture épistémique des élèves en fonction de leur âge, et en particulier des scores plus élevés pour les postures épistémiques de haut niveau avec l'âge croissant.

B : Analyse de la posture épistémique en fonction de la visite du musée.

Nous déterminerons ensuite si notre hypothèse de départ³³ est validée par ce travail de recherche, en comparant statistiquement la posture épistémique des élèves de 9CO avant et après le jeu. Une analyse différentielle sur toutes les questions³⁴ présentes dans les deux questionnaires (soit au total 14 questions, 2 du champ B, et 4 des champs C, D et E, voir Table 3 p. 37) permettra de vérifier la validité de notre hypothèse. Cette analyse est donc le cœur de ce travail de recherche. Il s'agira de déterminer si les réponses avant et après la visite du musée sont statistiquement différentes, et si elles le sont, quelle est l'importance et la nature de ces différences. Pour chaque question et chaque champ de chaque questionnaire, la médiane, la moyenne et l'écart-type des réponses seront calculés et comparés.

³³ Pour rappel : « Le jeu Pearl Arbor permet-elle de faire évoluer la posture épistémique des élèves vers une perception plus fine de la complexité ? »

³⁴ Sauf bien entendu pour les questions du champ F (âge, scolarité, etc.)

Table3 : Synthèse des questions et des questionnaires. Les chiffres des colonnes de droite correspondent à la numérotation du 1^{er}, du 2nd et de la comparaison inter-questionnaire. La troisième colonne est grisée dans le cas de questions à codage inverse

Niveau épistémique et code	Question	Questionnaire 1	Questionnaire 2	Analyse différentielle
Questions générales sur le musée (A)	Dans le musée de la Nature de Sion, j' ai appris des choses que j' ignorais.		1	
	Je pense que le Musée de la Nature de Sion présente les choses de manière simple.		2	
	Dans le musée de la Nature de Sion, le fait de jouer au jeu « Pearl Arbor » m' a permis de mieux comprendre les choses.		3	
	J' estime que les questions du jeu « Pearl Arbor » (le jeu qui est dans le musée) sont trop compliquées.		4	
	Le musée de la Nature de Sion m' a permis de mieux comprendre les liens complexes entre la Nature et l' Homme.		5	
Dualisme (B)	Lors d' un exercice en classe, je dois toujours trouver la bonne solution.	1		
	Lors de la résolution d' un problème en classe, je cherche à trouver la bonne réponse.	2		
	Chaque problème comporte une seule bonne solution.	3	6	1
	Je crois qu' il y a toujours une seule bonne réponse pour tous les problèmes.	4	7	2
Subjectivisme (C)	Je ne crois pas qu' il y a toujours une seule bonne solution pour tous les problèmes.	5		
	Quand je suis en train d' apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue.	6	8	3
	Je pense qu' il est important que les élèves participent à la solution	7	9	4
	quand ils sont en train d' apprendre.			
	Il n' est pas nécessaire que je donne mon point de vue quand je suis en train d' apprendre quelque chose.	8		
Relativisme (D)	Quand je suis en train d' apprendre quelque chose de nouveau, je dois aussi apprendre à penser par moi-même.	9	10	5
	Je trouve important d' avoir une opinion sur les indices que l' on me propose pour résoudre un problème.	10	11	6
	Je crois que les solutions à un problème peuvent être différentes selon les situations.	11	12	7
	Je dois prendre en compte différentes informations avant de prendre une décision.	12	13	8
	Si possible, je dois avoir plusieurs informations différentes avant de répondre à un problème.	13	14	9
	Je n' ai pas besoin de prendre en compte différentes sources d' information avant de prendre une décision.	14		
Pensée complexe (E)	Je dois évaluer toutes les solutions possibles face à un problème.	15	15	10
	Je pense que s'il est possible de prévoir la météo 3 jours à l'avance, il est 10 fois plus compliqué de prévoir la météo 30 jours à l' avance.	16		
	Je pense que tous les problèmes vont pouvoir être facilement résolus à l'avenir grâce à l'intelligence artificielle.	17	16	11
	Je pense qu' il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre.	18	17	12
	Je pense qu' il existe des problèmes qui n' ont pas de solution simple.	19	18	13
Divers (F)	Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes.	20	19	14
	Quel est ton âge ?	21	20	
	Quelle est ma classe / mon niveau ?	22	21	
	Combien d'années ma maman a-t-elle étudié après l'école obligatoire ?	23	22	
	Combien d'années mon papa a-t-il étudié après l'école obligatoire ?	24	23	

5. Analyse des questionnaires

5.1 Généralités

Les questionnaires ont été analysés en ligne par les outils d'analyse de Typeform et hors ligne par des outils de traitement statistiques simples (logiciel Calc / Openoffice). L'intégralité des réponses individuelles se trouve en annexe VII et VIII. La présente analyse étudie les réponses des élèves principalement à l'aide des valeurs médianes, des moyennes et des écarts-types de l'ensemble de la population des élèves. Les scores ont été débarrassés des valeurs codant « je ne sais pas » (score = 3). Toutes les moyennes sont données avec leur écart-type (1σ). Pour rappel, les items du questionnaire sont classés en cinq catégories pour le premier questionnaire et en six catégories pour le second questionnaire. Pour chaque affirmation proposée, les scores moyens seront très hauts (proche de 5) si les élèves sont majoritairement d'accord avec celle-ci, et proches de 1 s'ils sont majoritairement en désaccord. Dans le cas des items formulés sous la forme négative, ou soutenant des concepts inverse à la posture étudiée³⁵, le codage est inversé, et un fort désaccord à ces affirmations est codé 5. De la même manière, les scores moyens pour chaque posture seront proches de 5 si les élèves sont majoritairement dans cette posture. À l'inverse, si la moyenne des scores pour une posture est faible, cela signifie que les élèves ne sont majoritairement pas dans cette posture épistémique.

5.1.1 Élèves de 9CO

Les élèves qui ont répondu à ces questionnaires ont tous entre 11 et 13 ans (moyenne = 12.2 ± 0.8 ans, âge médian = 12 ans) et sont scolarisés dans trois classes de 9CO dans un Collège valaisan. Les questionnaires ont été complétés en 8'52" pour le premier (les 6, 10 et 13 novembre 2017) et en 4'53" pour le second (les 13 et 23 novembre et le 04 décembre 2017). Les questions portant sur le niveau d'étude des deux parents (nombre d'années d'étude après l'école obligatoire) montre un niveau moyen de 3.4 ± 3 ans et 4 ± 3.3 ans pour les deux questionnaires.

³⁵ Par exemple, l'affirmation #« Je pense qu'il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre » cherche à estimer le degré de pensée complexe. Si les élèves répondent par l'affirmative (score brut = 5), cela montre qu'ils maîtrisent mal la pensée complexe. Le codage est donc inversé (score corrigé = 1).

5.1.2 Élèves de 11VP et de 3^e année du Collège

Afin de mieux comprendre comment évoluent les postures épistémiques en fonction de l'âge, et pour estimer a posteriori la validité de notre modèle (Perry modifié), nous avons proposé ce questionnaire à 22 élèves de 11VP (âge moyen de 14.9 ± 0.5 ans, âge médian = 15 ans) et à 22 élèves de troisième année au Collège de l'Abbaye de St-Maurice (âge moyen de 16.6 ± 0.7 ans, âge médian = 16.5 ans). Les questionnaires ont été remplis par les élèves de Troisième Collège en 6'44" \pm 1'59" les 08 et 14 mars 2018. Les élèves de 11VP ayant rempli leurs questionnaires sur papier (le 12 mars 2018), aucun temps n'est disponible pour cette classe.

5.1.3 Analyse du taux de réponses exprimées (9CO)

Cette analyse des réponses (autres que « ne sait pas » aux questions³⁶) pour chaque item vise à comprendre si le questionnaire a pu donner aux élèves de 9CO la capacité et l'envie de répondre au questionnaire. En effet, la proportion d'élèves qui répondent donne une indication sur le degré de familiarité qu'ils ont avec les concepts énoncés.

Ainsi, le taux de réponses pour chaque item (Illustration 8 et Table 4 p. 40) varie pour le premier questionnaire de 59 % à 92 % (moyenne = $82 \pm 9.7\%$). Le taux de réponses par élève ne sera pas analysé en détail, mais varie entre 52 % et 100 % des questions (moyenne = $82 \pm 13\%$) pour le premier questionnaire et entre 47.4 % et 100 % des questions (moyenne = $78.6 \pm 15\%$) pour le second questionnaire. Malgré le fait

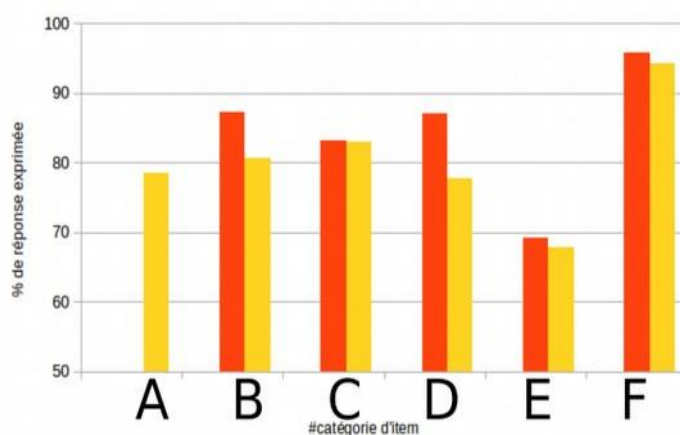


Illustration 8: Taux de réponse pour les deux questionnaires pour les 6 catégories d'items (élèves de 9CO, voir texte et Table 4 pour détails)

que les questionnaires et les populations soient légèrement différents on remarque un plus faible taux de réponses pour le deuxième questionnaire. Celui-ci a été rempli en moitié moins de temps que le premier, probablement parce que les élèves avaient pris l'habitude de cette forme de questionnaire lors de la première série de réponses. Nous pouvons également constater que les questions portant sur la pensée complexe (champ E) ont obtenu un faible

³⁶Nous considérons ici les réponses exprimées (autres que « je ne sais pas », codage = 3). Ces réponses « je ne sais pas » ont été supprimées des calculs (code = NODATA).

taux de réponses (moins de 70 % pour les deux questionnaires). Les taux de réponses des élèves de 11VP et 3^e Collège étant dans les deux cas proches de 100 %, aucune analyse plus poussée n'a été conduite.

L'analyse par catégorie (voir table 4 et illustration 8) montre que les élèves ont répondu assez largement à tous les types d'items (questions ou affirmations). Les élèves ont répondu à près de 80 % aux questions très simples de la catégorie « A » (les questions sur le musée du second questionnaire). Les questions de la catégorie B (dualisme) ont des taux de réponses très hauts (surtout lors du premier questionnaire). Les questions de la catégorie C (pluralisme) ont obtenu des taux de réponses identiques pour les deux questionnaires. Les questions de la catégorie D (subjectivisme) montrent comme la catégorie B un taux de réponses d'environ 10 % plus faible lors du second questionnaire que lors du premier). Les questions de la catégorie E, portant sur la complexité ont obtenu un taux de réponses similaire (presque 70 %, largement inférieur aux autres catégories) pour les deux questionnaires. Enfin, les questions de la catégorie F (âge, niveau d'étude des parents, classe et temps de réponse³⁷) obtiennent un taux de réponses proche de 100 %. Il est à noter que le taux de réponses individuelles aux questions n'est corrélé ni au temps mis pour répondre aux questionnaires ni au niveau d'étude moyen des parents (ni au niveau d'étude du plus diplômé des parents). Au dire des enseignants d'ailleurs, la plupart des élèves ne connaissaient pas cette information.

Table4 : Codage et taux de réponse aux deux questionnaires (questionnaire 1 avant la visite au musée, questionnaire 2 après la visite au musée des élèves des trois classes de 9CO).

Catégorie items	Code catégorie	Nombre de questions (questionnaire 1)	Taux de réponses Q1	Nombre de questions (questionnaire 2)	Taux de réponses Q2
« musées »	A	0	N/A	5	78.5 %
Dualisme	B	5	87.8 %	3	80.6 %
Pluralisme	C	5	83.2 %	4	83 %
Subjectivisme	D	5	87 %	4	77.7 %
Pensée complexe	E	5	69.2 %	4	67.7 %
Divers (âge, éducation.)	F	5	95.9 %	5	94.2 %
Total		25	84.5 ± 10.6%	25	83 ± 11.8

³⁷Il est à noter que le temps de réponses est une variable automatiquement générée par le questionnaire en ligne, son taux de réponses est donc forcément de 100 %.

5.2 Caractérisation de la posture épistémique des élèves avant le jeu

5.2.1 Analyse de la posture épistémique des 9CO avant le jeu

La posture épistémique des élèves de 9CO fait l'objet à la fois de l'analyse longitudinale (évolution de la posture de ces élèves après la visite du musée) et transversale (comparaison avec des élèves plus âgés). Une bonne définition des composantes de cette posture est donc particulièrement cruciale. Nous présentons dans cette section les résultats et leur analyse (Table 5 et illustration 8), ainsi qu'une analyse inter-classe qui permettra de valider à posteriori la robustesse de nos questionnaires, ainsi que le choix de traiter les trois classes comme une seule population homogène (illustration 9). Il est important de noter que les différentes postures étudiées ne sont pas des stades successifs et exclusifs, mais des capacités à se représenter la connaissance en fonction des développements personnels et cognitifs des élèves.

A. Analyse des scores (9CO, illustration 9, Table 5 p. 43)

Les affirmations correspondantes au **stade dualiste (B)** (# 1 à 5) ont recueilli des scores relativement faibles³⁸ (sauf la question 2 : « Lors de la résolution d'un problème en classe, je cherche à trouver la bonne réponse », qui a recueilli un fort score de 4.6 ± 0.7). Cela suggère qu'une partie importante des élèves a quitté le stade dualiste (par exemple, le score le plus faible est obtenu pour la question « chaque problème comporte une seule bonne solution »), mais qu'ils restent néanmoins très attachés à une vision très linéaire des questionnements épistémiques. Notons que certaines de ces questions (par exemple, la question 2, mentionnée ci-dessus) reflètent peut-être mal le stade dualiste,

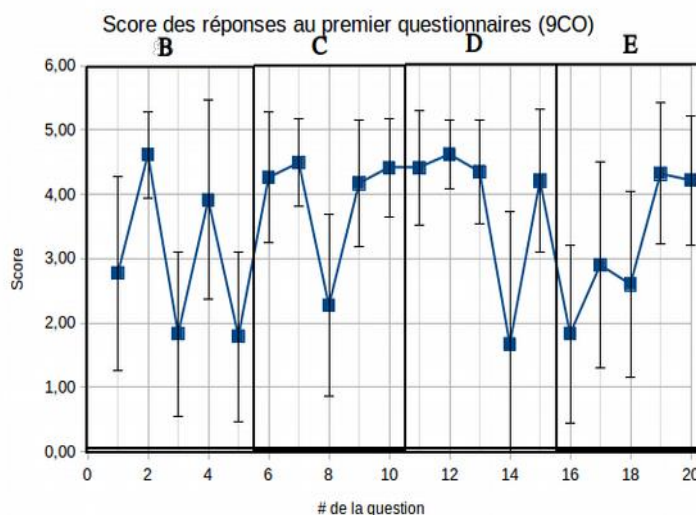


Illustration 9: Scores aux réponses des élèves de 9CO aux questions du premier questionnaire, avant la visite du musée. Questions 1 à 5: dualisme (B). Questions 6 à 10 : Pluralisme (C). Questions 11 à 15 : subjectivisme (D). Questions 16 à 20 : « complexivisme ». Voir le texte pour plus de détails.

³⁸ Pour rappel, les scores forts dénotent un accord marqué avec l'affirmation proposée (sauf dans le cas de codage inverse).

dans le sens où un élève peut avoir quitté le stade dualiste, mais cherche néanmoins à trouver la « bonne réponse » si le problème l'exige.

Les scores pour les affirmations correspondant aux stades **C et D (pluraliste et subjectiviste)** sont très hauts, avec des écarts-types moyens à faibles (réponses assez groupées). Néanmoins, les deux seules questions posées à la forme négative (# 8 et #14 « *Il n'est pas nécessaire que je donne mon point de vue quand je suis en train d'apprendre quelque chose* » et « *Je n'ai pas besoin de prendre en compte différentes sources d'information avant de prendre une décision* ») obtiennent des scores très faibles associés à un écart-type particulièrement haut (respectivement 2.27 ± 1.41 et 1.67 ± 2.06). Ces deux résultats contrastent avec les résultats aux affirmations similaires, posées à la forme affirmative (« *Quand je suis en train d'apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue* » et « *Si possible, je dois avoir plusieurs informations différentes avant de répondre à un problème* »). Ce contraste marqué est probablement le signe que ces questions n'ont pas été comprises par une partie des élèves, qui n'ont pas perçu le sens de la tournure négative. Il est intéressant de noter que ce biais est largement moins marqué dans les questionnaires remplis par les élèves plus âgés (l'affirmation #8 ressort toujours, mais la #14 n'apparaît plus aberrante). Mis à part cet artefact lié à une mauvaise formulation de notre part³⁹, les affirmations selon lesquelles « *il est important que les élèves participent à la solution quand ils sont en train d'apprendre* » et « *Je dois prendre en compte différentes informations avant de prendre une décision* » montrent des scores très élevés associés à des écarts-types généralement inférieurs à (ou proches de) l'unité. Cela suggère que les élèves qui ont répondu au questionnaire se placent dans leur grande majorité dans cette posture épistémique. Il peut donc exister pour eux des réponses contradictoires, ainsi que des méthodes de raisonnement propres à chaque champ disciplinaire. Les élèves sont conscients de leur rôle dans leurs apprentissages, ils savent que les sources d'information peuvent varier et qu'il est souhaitable de les multiplier.

Les scores pour le « **stade** » **E, relatif à la pensée complexe** s'échelonnent entre 1.83 et 4.32, avec de forts écarts-types (toujours supérieurs à 1). Cela suggère qu'un certain nombre d'élèves est capable d'une certaine forme de pensée complexe (ou en tout cas de percevoir le fait que les choses ne sont pas toujours linéaires et facilement réductibles). Ainsi, les questions « *Je pense qu'il existe des problèmes qui n'ont pas de solution simple* » et « *Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes* », typiques d'une pensée complexe, obtiennent des scores élevés (supérieurs à 4) avec des réponses relativement bien groupées (écarts-types proche de 1). Les questions concernant la

³⁹ Dans l'hypothèse où ce questionnaire devait être soumis à de nouvelles classes, il serait judicieux de remplacer ces questions qui provoquent un biais de compréhension par d'autres, plus directes.

météo et l'intelligence artificielle nous apparaissent à posteriori intéressantes d'un point de vue scientifique et éthique, mais reflètent peut-être mal la posture personnelle des élèves face aux phénomènes complexes.

Table5: Moyennes et écarts-types des scores correspondant aux réponses au premier questionnaire (avant la visite au musée). Les chiffres en gras correspondent aux moyennes générales par catégories (B à E).

Moyenne	stdev	#	Question ou affirmation (premier questionnaire)
2,77	1,51	1	Lors d'un exercice en classe, je dois toujours trouver la bonne solution.
4,61	0,67	2	Lors de la résolution d'un problème en classe, je cherche à trouver la bonne réponse
1,83	1,28	3	Chaque problème comporte une seule bonne solution
3,91	1,55	4	Je ne crois pas qu'il y a toujours une seule bonne solution à tout problème (codage inverse)
1,79	1,32	5	Je crois qu'il y a toujours une seule bonne réponse pour tous les problèmes.
2,98		B	
4,26	1,02	6	Quand je suis en train d'apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue
4,49	0,68	7	Je pense qu'il est important que les élèves participent à la solution quand ils sont en train d'apprendre.
2,27	1,41	8	Dans les différentes situations d'apprentissage, il n'est pas nécessaire que je donne mon point de vue (codage inverse)
4,17	0,98	9	Quand je suis en train d'apprendre quelque chose de nouveau, je dois aussi apprendre à penser par moi-même
4,41	0,77	10	Je trouve important d'avoir une opinion sur les indices que l'on me propose pour résoudre un problème
3,92		C	
4,41	0,90	11	Je crois que les solutions à un problème peuvent être différentes selon les situations.
4,62	0,53	12	Je dois prendre en compte différentes informations avant de prendre une décision.
4,35	0,81	13	Si possible, je dois avoir plusieurs informations différentes avant de répondre à un problème
1,67	2,06	14	Je n'ai pas besoin de prendre en compte différentes sources d'information avant de prendre une décision (codage inverse)
4,21	1,10	15	Je dois évaluer toutes les solutions possibles face à un problème
3,85		D	
1,83	1,38	16	Je pense que s'il est possible de prévoir la météo 3 jours à l'avance il est 10 fois plus compliqué de prévoir la météo 30 jours à l'avance
2,90	1,60	17	Je pense que tous les problèmes vont pouvoir être facilement résolus à l'avenir grâce à l'intelligence artificielle.
2,60	1,44	18	Je pense qu'il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre.
4,32	1,10	19	Je pense qu'il existe des problèmes qui n'ont pas de solution simple.
4,22	1,00	20	Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes.
3,17		E	
12,22	0,49	21	Quel est ton âge ?
		22	Quelle est ma classe / mon niveau ? Par exemple: 9VG, 11VP, etc.
3,34	2,95	23	Combien d'années ma maman a-t-elle étudié après l'école obligatoire ?
4,30	3,48	24	Combien d'années mon papa a-t-elle étudié après l'école obligatoire ?
08:52	03:33		Durée
77,78	11,85		% réponse non nulle

B. Comparaison entre les trois classes de 9CO

Les trois classes ayant visité le musée ont été comparées pour éventuellement détecter des différences statistiquement significatives. Le graphique ci-dessous (Illustration 10) illustre cette similitude, les trois classes étudiées montrant des différences de scores moyens pour les quatre postures épistémiques analysées identiques largement inférieures aux écarts-types. De plus,

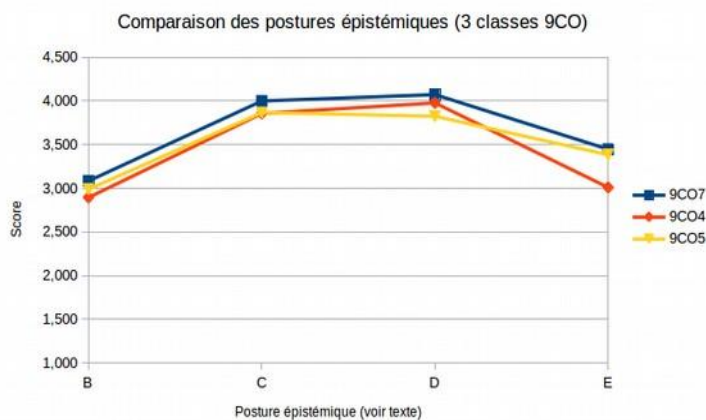


Illustration 10: Comparaison graphique des postures épistémiques des trois classes de 9CO avant la visite du musée.

l'analyse statistique des séries par le test de Friedman montre que les différences entre les trois séries ne sont pas significatives (valeur $p = 0.43$). On peut donc en conclure que les trois classes sont significativement homogènes quant à leurs réponses aux questionnaires, et peuvent donc être analysées comme une seule population.

5.2.2 Analyse de la posture épistémique d'élèves plus âgés

Il nous a semblé intéressant de proposer ce questionnaire à deux classes de niveau supérieur pour étudier les réponses des élèves au même questionnaire. Cette analyse n'a pas directement pour objectif de valider ou d'invalider notre hypothèse de départ, mais permet d'explorer plus en détail notre questionnaire et les réponses d'élèves de niveaux différents.

A. Élèves de 11VP (15 ans)

La posture épistémique des 11VP a été étudiée de façon analogue à celle des 9CO (à ceci près que les questionnaires ont été remplis à la main par les élèves, puis sous forme électronique sous Typeform par nos soins). L'illustration 11 montre que le **stade dualiste (B)** est **largement dépassé**, sauf pour la question #2 (« *lors de la résolution d'un problème en*

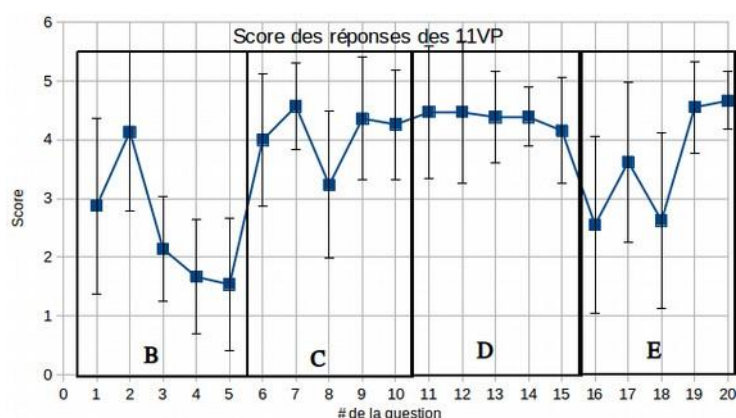


Illustration 11: Scores aux réponses par les élèves de 11VP aux questions du premier (et seul) questionnaire. Questions 1 à 5: dualisme (B). Question 6 à 10 : Pluralisme (C). Question 11 à 15 : subjectivisme (D). Question 16 à 20 : « pensée complexe ». Voir le texte pour plus de détails.

classe, je cherche à trouver la bonne réponse »). Cette question interroger en effet très peu la posture dualiste en elle-même puisque si un problème demande une bonne réponse, il est parfaitement rationnel de la chercher (tout en étant conscient que si le problème était posé dans un autre cadre, la ou les réponses pourraient être différentes).

Comme chez les 9CO, les scores aux affirmations correspondant aux stades **C et D (pluraliste et subjectiviste)** sont très hauts, avec des écarts-types moyens à faibles (réponses assez groupées). Néanmoins, une des deux questions posées à la forme négative (# 8 « *Il n'est pas nécessaire que je donne mon point de vue quand je suis en train d'apprendre quelque chose* ») obtient un score faible associé avec un écart-type particulièrement haut, ce qui suggère que la question a été mal comprise par une partie des élèves.

Les scores pour les affirmations concernant la **pensée complexe (E)** sont assez hauts, en particulier pour les deux questions les plus générales (#19 « *Je pense qu'il existe des*

problèmes qui n'ont pas de solution simple » et #20 « Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes »), avec des scores de 4.55 ± 0.78 et 4.66 ± 0.49 . Les faibles écarts-types montrent que les réponses des élèves sont très homogènes pour ces deux questions.

B.Élèves de 3^e Collège (16.5 ans, illustration 12)

La posture épistémique des élèves de troisième année du Collège a été étudiée de façon analogue à celle des 9CO et des 11 VP.

Le stade dualiste (B) est largement dépassé, sauf pour la question #2 (« lors de la résolution d'un problème en classe, je cherche à trouver la bonne réponse »). Comme mentionné ci-dessus, cette affirmation est à notre avis peu apte à identifier une posture dualiste.

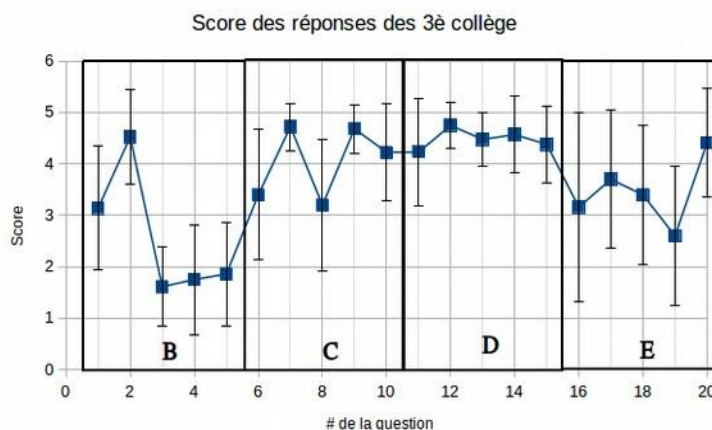


Illustration 12: Scores aux réponses par les élèves de 3^e Collège aux questions du premier (et seul) questionnaire. Questions 1 à 5: dualisme (B). Questions 6 à 10 : Pluralisme (C). Questions 11 à 15 : subjectivisme (D). Questions 16 à 20 : «Pensée complexe». Voir texte pour plus de détails.

Comme chez les 9CO, les scores aux affirmations correspondant aux stades **C et D (pluraliste et subjectiviste)** sont très hauts, avec des écarts-types moyens à faibles (réponses assez groupées). Comme pour les 11VP, une des deux questions posées à la forme négative (# 8 « Il n'est pas nécessaire que je donne mon point de vue quand je suis en train d'apprendre quelque chose ») obtient un score très faible associé avec un fort écart-type, ce qui suggère que la question a été mal comprise par une partie des élèves.

Les scores pour les affirmations concernant la **pensée complexe (E)** sont assez hauts, en particulier pour les deux questions les plus générales (#19 « Je pense qu'il existe des problèmes qui n'ont pas de solution simple » et #20 « Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes ») avec des scores de 4.41 ± 0.50 et 4.59 ± 0.67 . Les faibles écarts-types montrent également que les réponses des élèves sont très homogènes pour ces deux questions.

5.2.4 Comparaison des postures épistémiques en fonction de l'âge

Pour effectuer cette analyse transversale, nous avons calculé la valeur moyenne des réponses aux cinq questions de chaque champ didactique pour les 9CO (12 ans), les 11VP (15 ans) et les 3^e collège (16.5 ans). Il est à noter que la faible différence d'âge entre les 11VP et les 3^e Collège masque partiellement une différence importante liée à

l'enseignement post-obligatoire: si dans les deux cas les élèves sont les meilleurs de leur classe d'âge, les élèves de 3^e collège ont une autonomie et une maturité très supérieures. La Table 6 (page suivante) et l'illustration 13 présentent une synthèse de ces résultats. **La posture dualiste (B)** montre des scores moyens plus élevés pour les élèves jeunes de 9CO (score moyen de 3), et des scores plus faibles et identiques (scores de 2.5) pour les élèves plus âgés. Le rôle de la compréhension des questions dans les scores moyens obtenus suggère que cette différence ne reflète pas forcément un réel changement de posture épistémique, mais peut être plus simplement une meilleure compréhension des questions. En effet, les scores moyens sont pour les trois classes d'âges très semblables (2.7) si la seule affirmation à formulation négative (item #4) est supprimé du calcul.

Les scores de la **posture subjectiviste (C)** sont sensiblement identiques (scores proches de 4 pour les trois populations). Les deux postures suivantes (**relativistes, D**, et surtout **pensée complexe, E**) montrent une nette augmentation graduelle avec le niveau scolaire l'âge, plus nette pour la pensée complexe. Ce dernier point nous semble être le plus significatif de cette étude avec une augmentation de +0.9 points pour 4.5 ans d'âge médian. L'annexe I présente l'analyse statistique de ces différences entre les classes, conduite sur chaque question indépendamment.

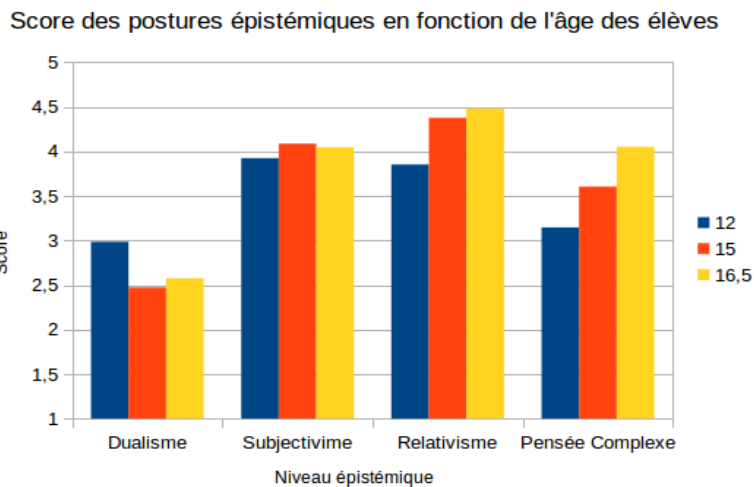


Illustration 13: Evolution des scores aux différentes postures épistémiques étudiées en fonction de l'âge et de la classe.

Table6 : Synthèse de l'évolution des postures épistémiques avec l'âge et le niveau scolaire des élèves.

Âge médian des élèves	Écart type de l'âge	Dualisme (B)	Subjectivisme (C)	Relativisme (D)	Pensée complexe (E)
12	0.5 ans	2.98	3.92	3.85	3.15
15	0.5 ans	2.47	4.09	4.38	3.60
16.5	0.7 ans	2.58	4.05	4.48	4.05

Cette analyse permet de mettre en évidence des différences significatives entre les classes, mais il ne nous est pas possible de discriminer les effets relatifs de l'âge, du niveau scolaire ou du milieu social des élèves dans ces résultats. En effet, les élèves de 11VP et de 3^e collège font

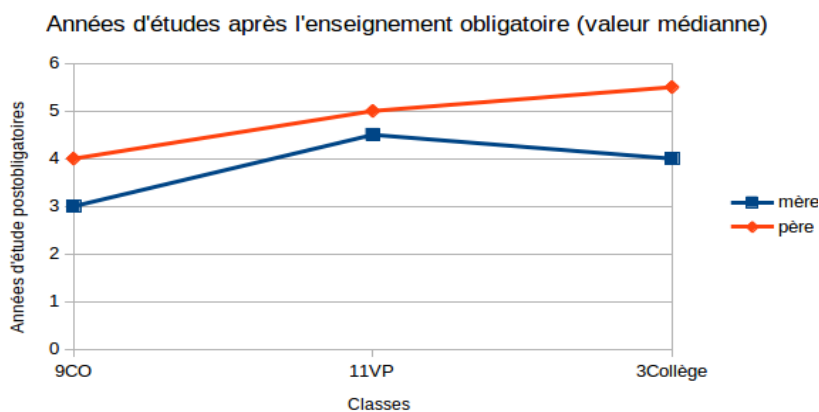


Illustration 14: Années d'études après l'enseignement obligatoire (valeur médiane) pour les mères (en bleu) et les pères (en rouge) des élèves ayant répondu au questionnaire.

partie des élèves ayant des capacités cognitives et un goût pour l'apprentissage plus marqué. De plus, le milieu social, indiqué sommairement par la durée moyenne d'étude des parents est notablement différent (Illustration 14): la durée médiane des études est en effet de 3 ans (mère) et 4 ans (père) ans pour les parents d'élèves de 9CO valaisan, de 4.5 ans et 5 ans pour les parents de 11VP vaudois et de 4 et 5.5 ans pour les parents valaisans d'élèves de troisième année du collège. Une étude plus poussée intégrant plus d'élèves d'âge et de niveau différents serait nécessaire pour affiner ces résultats préliminaires.

5.3 Caractérisation de la posture épistémique des élèves de 9CO après le jeu

5.3.1 Les visites

Trois classes de 9CO ont visité le musée en novembre 2017. Au total, 55 élèves ont visité le musée et ont répondu à un second questionnaire après cette visite. La première classe a visité le musée en présence du directeur du musée, mais sans animateur et sans explications. La deuxième classe a visité le musée en présence d'une animatrice, qui a donné des

explications. La troisième classe a également visité le musée en présence de l'animatrice qui a fourni des explications, et des explications complémentaires ont été fournies par l'enseignante, ce qui n'a pas été le cas des deux autres classes. Ces trois classes ont testé la visite du musée en conditions réelles, c'est-à-dire en pratiquant le jeu tel qu'implémenté à la date de la visite.

5.3.2 Analyse des scores au second questionnaire (après le jeu)⁴⁰

L'analyse des scores du second questionnaire a été conduite comme celle du premier questionnaire. Comme analysé dans la section 4.4.2, ce second questionnaire diffère légèrement du premier. En particulier, il intègre cinq questions directement liées à la **visite du musée (champ A)**. Ces questions n'ont pas pour objectif d'éclairer la posture épistémique des élèves, mais simplement d'avoir un retour global sur leur expérience du jeu dans le musée. Ainsi, les scores aux questionnaires (Illustration 15

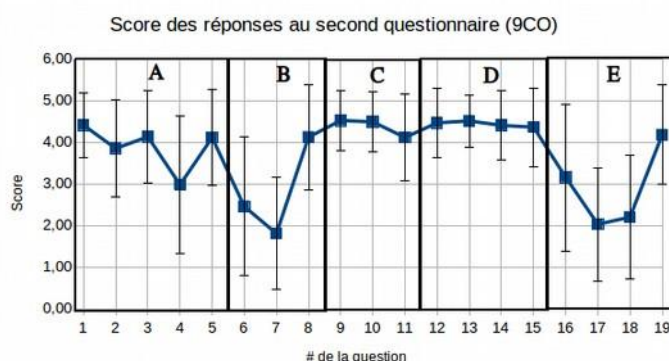


Illustration 15: Scores aux réponses aux questions du second questionnaire. Questions 1 à 5: le musée (A). Questions 6 à 8 : dualisme (B). Questions 9 à 11 : Pluralisme (C). Questions 12 à 15 : subjectivisme (D). Questions 15 à 19 : «Pensée complexe». D'une manière générale, on remarque que les scores variables au sein des catégories A, B et E sont associés à des écarts-types hauts. Au contraire, les scores très hauts des catégories C et D sont associés à des écarts-types faibles (réponses très homogènes).

et Table 7 p. 49) nous apprennent que les élèves ont dans leur grande majorité appris lors de leur visite des choses qu'ils ignoraient (question #1, score = 4.41 ± 0.79) et dans une moindre mesure que le musée présente les choses de manière simple (question #2, score = 3.85 ± 1.17). De la même manière, les élèves reconnaissent presque unanimement que le jeu leur a permis de « mieux comprendre les choses »⁴¹ (question #3, score 4.13 ± 1.12). Les questions de la deuxième partie du jeu ont été perçues majoritairement comme n'étant pas trop compliquées (score = 2.98 ± 1.64), bien qu'une partie des élèves aient indiqué le score de 1 (« pas du tout d'accord ») à l'affirmation de la question #4 (« *J'estime que les questions du jeu « Pearl Arbor » (le jeu qui est dans le musée) sont trop compliquées* ») ; cette variabilité dans les réponses est visible dans l'écart-type très fort (1.64). Enfin, les élèves sont majoritairement d'accord avec l'affirmation « *Le musée de la Nature de Sion m'a permis de mieux comprendre les liens complexes entre la Nature et l'Homme* » (score = 4.11 ± 1.15). Bien entendu, nous

⁴⁰<https://profchampagnac.typeform.com/to/znHaem>

⁴¹ Cette question aurait probablement mérité une formulation moins équivoque...

n'avons pas d'indicateur pour vérifier cette auto-évaluation subjective de la part des élèves. Globalement, les élèves considèrent majoritairement que jouer à Pearl Arbor a amélioré leur compréhension des liens entre la Nature et l'Homme. Ils semblent également avoir ressenti une certaine simplicité dans le musée, et pensent que la visite leur a apportée de l'aide quant à leur compréhension des phénomènes abordés.

Les scores moyens des champs B, C, D et E ne diffèrent pas significativement des scores obtenus lors du premier questionnaire. Néanmoins, nous analysons formellement leurs petites différences dans la section suivante.

Moyenne	Stdev	#	Question ou affirmation (second questionnaire)
4,41	0,79	1	Dans le musée de la Nature de Sion, j'ai appris des choses que j'ignorais.
3,85	1,17	2	Je pense que le Musée de la Nature de Sion présente les choses de manière simple.
4,13	1,12	3	Dans le musée de la Nature de Sion, le fait de jouer au jeu « Pearl Harbor » m'a permis de mieux comprendre les choses.
2,98	1,64	4	J'estime que les questions du jeu « Pearl Harbor » (le jeu qui est dans le musée) sont trop compliquées.
4,11	1,15	5	Le musée de la Nature de Sion m'a permis de mieux comprendre les liens complexes entre la Nature et l'Homme.
3,90		A	
2,46	1,67	6	Chaque problème comporte une seule bonne solution
1,80	1,35	7	Je crois qu'il y a toujours une seule bonne réponse pour tous les problèmes.
4,12	1,27	8	Quand je suis en train d'apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue
2,79		B	
4,52	0,72	9	Je pense qu'il est important que les élèves participent à la solution quand ils sont en train d'apprendre.
4,49	0,71	10	Quand je suis en train d'apprendre quelque chose de nouveau, je dois aussi apprendre à penser par moi-même
4,11	1,04	11	Je trouve important d'avoir une opinion sur les indices que l'on me propose pour résoudre un problème
4,38		C	
4,47	0,83	12	Je crois que les solutions à un problème peuvent être différentes selon les situations.
4,51	0,63	13	Je dois prendre en compte différentes informations avant de prendre une décision.
4,40	0,83	14	Si possible, je dois avoir plusieurs informations différentes avant de répondre à un problème
4,36	0,94	15	Je dois évaluer toutes les solutions possibles face à un problème
4,44		D	
3,16	1,76	16	Je pense que tous les problèmes vont pouvoir être facilement résolus à l'avenir grâce à l'intelligence artificielle.
2,03	1,36	17	Je pense qu'il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre.
3,80	1,49	18	Je pense qu'il existe des problèmes qui n'ont pas de solution simple.
4,18	1,19	19	Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes.
3,29		E	
12,26	0,52	20	Quel est ton âge ?
		21	Quelle est ma classe / mon niveau ? Par exemple: 9VG, 11VP, etc.
4,04	3,10	22	Combien d'années ma maman a-t-elle étudié après l'école obligatoire ?
4,76	3,51	23	Combien d'années mon papa a-t-elle étudié après l'école obligatoire ?
04:53	01:35		Durée
83,03	11,84		%réponse nulle

Table7: Moyennes et écarts-types des scores correspondant aux réponses au second questionnaire (après la visite au musée). Le code couleur a été arbitrairement défini comme suit, pour faciliter la lecture: Les chiffres en gras correspondent aux moyennes générale par catégories (A à E)

5.3.3 Analyse différentielle des réponses aux deux questionnaires

Cette comparaison longitudinale doit nous permettre de valider ou d'invalidier notre hypothèse de départ concernant le changement éventuel de posture épistémique à la suite de la visite du musée et de la pratique du jeu Pearl Arbor. Cette comparaison porte sur les 14 questions que l'on retrouve dans les deux questionnaires (voir Table 3 p. 37).

Les scores pour toutes les questions des champs A (musée) à E (pensée complexe) ont été représentés ensemble (Illustrations 16 et 17 page suivante) La comparaison globale des scores souligne tout d'abord la grande similitude des scores entre les deux questionnaires, qui sont en général très proches (variation de moins de 12 % dans 12 questions sur 14, moyenne des variations absolues de 7 %).

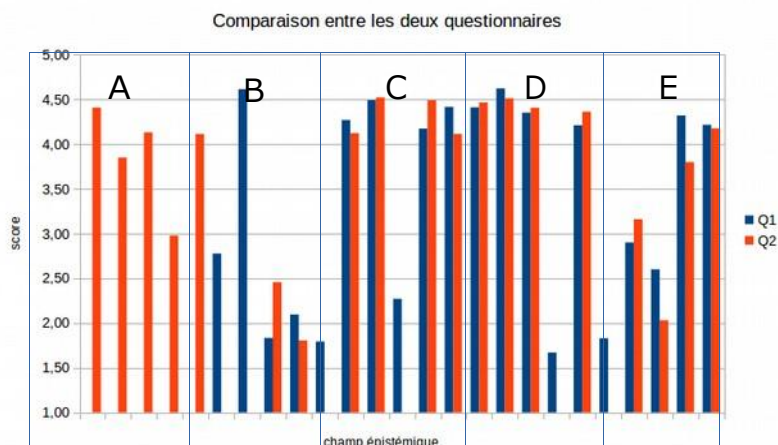


Illustration 16: Comparaison entre les deux questionnaires (bleu, premier questionnaire, rouge second questionnaire).

Pour conserver un questionnaire suffisamment concis, nous avons fait le choix de supprimer certaines questions dans ce second questionnaire. Malheureusement, ce choix initial empêche de faire une comparaison globale de l'évolution de chaque posture épistémique. En effet, les questions supprimées présentent pour la plupart des scores très différents de la moyenne pour chaque posture, puisque notre choix s'est porté sur les questions avec une formulation négative. Or nous avons vu dans les sections 5.2.2 et 5.3.2 que ces formulations n'ont pas permis à certains élèves d'en saisir le sens ; les scores moyens ne sont donc pas représentatifs de la posture épistémique, mais (en tout cas partiellement) de la manière dont ces questions ont été comprises.

Une analyse plus fine (Illustration 16), permet de remarquer que le sens de variation des scores (positif ou négatif) n'est pas systématique en fonction des différentes catégories d'items. Il est donc très difficile de tirer des conséquences générales inter-questionnaires sur ces résultats, et donc de répondre positivement à l'hypothèse qui structure ce travail. Néanmoins, nos résultats montrent assez nettement la « structure épistémique » des élèves de 9CO qui ont répondu à ces questionnaires : les élèves semblent être largement dans des postures pluralistes et subjectivistes. La posture dualiste semble assez largement dépassée, et la posture de la pensée complexe en cours de construction.

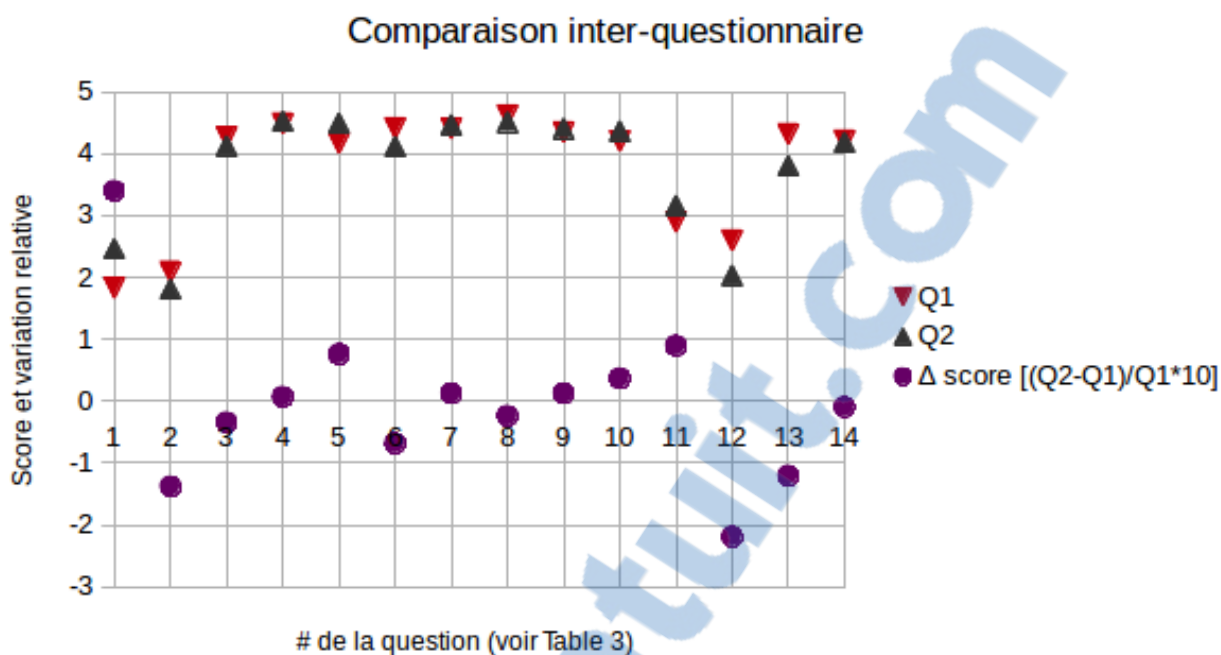


Illustration 17: Comparaison inter-questionnaire. Triangles rouges: scores au premier questionnaire. Triangles noirs: scores au second questionnaire. Cercles violets: différence relative entre les deux (exprimée en dixièmes de % pour des raisons d'échelle). Ces cercles violets ne montrent aucune tendance particulière qui impliquerait un changement de posture épistémique des élèves pendant la visite du musée. Cette absence de tendance démontre que notre hypothèse de départ ne peut pas être validée par notre étude. La numérotation des questions est spécifiée dans la Table 3 (p. 37).

6. Discussion

Notre analyse du jeu Pearl Arbor et de l'évolution des postures épistémiques des élèves-joueurs ne peut pas nous conduire à valider l'hypothèse testée dans le présent travail : il ne nous a pas été possible de montrer que la pratique de ce jeu fait évoluer la posture épistémique des élèves, que ce soit spécifiquement au sujet de la complexité, comme tous les autres stades épistémiques. Nous proposons ici quelques pistes de réflexion.

A. Limites de notre étude

Tout d'abord, nous nous sommes penché sur un nombre restreint d'élèves (une soixantaine) qui ont rempli un premier questionnaire, visité le musée, puis rempli un second questionnaire. Cet échantillon est relativement faible et ne permet pas d'analyses quantitatives fiables. De plus, seule une partie des questions (14) était présente dans les deux questionnaires ; nous souhaitons en effet garder des questionnaires relativement courts et faciles à faire passer aux élèves. Les durées beaucoup plus courtes qu'ont mis les élèves pour répondre au second questionnaire, en dépit d'un nombre comparable de questions nous suggère, à posteriori, qu'il aurait été possible d'inclure toutes les questions du premier questionnaire, et d'ajouter celles liées à la visite du musée sans que le temps mis pour

répondre soit trop long. Cela aurait pu permettre une analyse plus fine qui aurait pu mettre en évidence une réalité plus subtile que nous n'avons pas pu détecter. Il est à noter que les résultats de Kramar (2012) basés sur un questionnaire similaire avant et après un jeu ne permettent pas non plus de valider son hypothèse de départ, le changement de posture épistémique au cours du jeu.

B. Rythme des changements de posture épistémique

Le changement de posture épistémique passe par une phase de doute (Bendixen & Rule, 2010) et accompagne sur le long terme l'évolution psychologique des adolescents. La construction d'une telle posture est nécessairement une évolution personnelle lente, et les changements de croyance sur la nature de la connaissance sont des expériences intenses de conflit cognitif que chaque individu résout (ou non) selon ses capacités et sa propre personnalité. Un tel changement de posture doit donc mûrir à la fois avec le développement cognitif des adolescents, liés aux changements physiologiques (développement du cortex préfrontal), à l'augmentation de leur expérience personnelle et de leurs connaissances, et donc avec le temps. Dès lors, il n'est pas surprenant que l'évolution épistémique liée à une simple visite d'un musée, aussi bien conçue soit-elle, ne puisse pas être détectée par un simple questionnaire.

C. Structure didactique du jeu et du musée

Si la visite du musée ne s'est pas traduite par un changement de posture épistémique assez significatif pour être identifié par notre étude, c'est peut être également parce que la visite du musée, ainsi que le jeu tel qu'il est actuellement implémenté dans le musée, n'est pas apte à provoquer un changement épistémique significatif. Ce peut être parce que la démarche subtile de la muséographie développée pour sensibiliser aux relations entre l'Homme et la Nature (structure chronologique, rôle symbolique des barrières métalliques, salle finale dévolue à l'Anthropocène...) n'est pas pleinement intelligible par des jeunes de 12 ans⁴². Ce peut être également parce que certains points du jeu, au contraire, sont trop simples et linéaires, et ne permettent pas l'émergence d'une pensée complexe au sein du musée. Nous pensons en effet que le jeu Pearl Arbor, tel qu'il est actuellement présenté, n'est adapté ni au public cible, ni aux objectifs affichés. En effet, le jeu nous semble beaucoup trop simple dans sa structure (défaite inéluctable au stade 1, récupération de points de vie au stade 2 par un simple QCM). De plus, les questions du stade 2 devraient être largement revues pour :

- Être beaucoup plus nombreuses.

⁴² Nous avons au début de ce projet envisagé de faire visiter le musée à des adolescents plus âgés (gymnasiens), qui auraient peut-être mieux compris les tenants et aboutissants de la démarche muséale, et du jeu associé. Cela n'a pas été fait pour des raisons de temps et de logistique.

- Être de niveau taxonomique croissant (garder les questions purement anecdotiques et ajouter des questions plus subtiles).
- Utiliser un vocabulaire adapté aux tranches d'âge visées, tant dans l'énoncé des questions que dans la formulation des réponses possibles.
- Permettre une remise en cause des idées initiales (questionnement et évolution de la posture épistémique).

Nous proposons à l'annexe VI une série de dix questions complémentaires que nous pensons pertinentes pour cette deuxième étape du jeu, même si les réponses ne se trouvent pas directement dans le musée actuellement.

D. Changement de la posture épistémique avec l'âge

La non validation de notre hypothèse de départ (qu'elle soit liée à un manque de sensibilité de notre instrumentation ou à une absence de changement épistémique) ne nous a pas empêché de mettre en évidence de manière claire les différences de postures épistémiques des élèves d'âge et de niveau d'étude⁴³ croissants, avec une diminution nette de la posture dualiste entre 12 et 15 ans, une stagnation de la posture subjectiviste, et une augmentation des postures relativistes et de la pensée complexe entre 12 et 16.5 ans. Ce résultat demanderait à être confirmé par une étude plus ambitieuse, qui intégrerait plus d'élèves de milieux sociaux, d'âge et de niveau scolaire différents, et qui utiliserait un questionnaire plus performant et des entretiens individuels ce qui permettrait d'obtenir des interprétations beaucoup plus fines. Cette étude, si elle intégrait la pensée complexe dans ses différentes postures épistémologiques serait à notre connaissance la première à le faire.

E. Rôle des adultes autour des élèves

Les adultes qui entourent les élèves lors de leur visite au musée ont un rôle probablement très important sur la pratique du jeu et sur la manière dont les élèves perçoivent le jeu et le musée, donc sur leur expérience personnelle. Cela inclus les enseignants bien sur (qui peuvent aider les élèves, ou au contraire les laisser se débrouiller), le personnel du musée (médiateurs scientifique, directeur, etc.). Ces rôles, ainsi que la relation pédagogique qu'ils peuvent avoir avec les élèves avant, pendant et après la visite, modifie sans aucun doute l'effet didactique, et donc l'éventuelle évolution de posture épistémique des élèves. Il serait intéressant de proposer aux enseignants des questionnaires similaires (identiques, ou modifié spécifiquement) pour examiner leur expérience de la visite du musée et leurs propres changement épistémiques.

⁴³ Et probablement de milieu social, bien que nous n'ayons pas d'indicateurs plus précis que les niveaux de scolarité des parents.

7. Conclusion

Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence un changement de posture épistémique à la suite de la visite du musée et de la pratique du jeu Pearl Arbor. Nous ne pouvons pas exclure qu'un changement épistémique mineur (dans son amplitude, ou touchant peu d'élèves) n'ait pas pu être détecté par notre étude, de faible sensibilité. Mais cette absence de changement épistémique est possiblement liée à des problèmes liés au jeu et au musée, mais également au rythme naturel d'évolution des adolescents. En effet, nous avons pu mettre en évidence une nette évolution des postures épistémiques entre les élèves de différentes classes et d'âge hétérogène : nous observons une diminution de l'importance de la posture dualiste, une stagnation de la posture subjectiviste et une assez forte augmentation des postures relativistes et liées à la pensée complexe.

Nous pensons que le jeu tel qu'il est implémenté dans le musée n'est pas à même de faire évoluer la posture épistémique des élèves vers une perception accrue des phénomènes complexes. En particulier, nous estimons que la vision chronologique de l'organisation muséographique, la simplicité des questions pendant le jeu et l'absence de mise en situation des phénomènes complexes qui conduisent à l'Anthropocène tel que présenté dans la dernière salle du musée permettent mal aux élèves d'effectuer ce changement épistémique.

Références

- Association des musées Suisses. (2012). *Fréquentation des musées en Suisse. Rapport Statistique 2011*. Consulté à l' adresse
http://www.museums.ch/assets/files/dossiers_f/Publikationen/Museumsbesuche%20in%20der%20Schweiz%202011%20F.pdf
- Atlan, H., Fogelman-Soulie, F., Salomon, J., & Weisbuch, G. (1981). Random boolean networks. *Cybernetics and Systems*, 12(1-2), 103-121.
<https://doi.org/10.1080/01969728108927667>
- Bachelard, G. (1968). *Le nouvel esprit scientifique* (Paris). Paris: Les Presses universitaires de France. Consulté à l' adresse
<http://sociol.chez.com/socio/autob/bachelardnouvelesprit.htm>
- Barth, B.-M. (2013). *L'apprentissage de l'abstraction*. Montréal: Retz. Consulté à l' adresse
<http://extranet.editis.com/it-yonixweb/images/322/art/doc/7/7173715ef8313337373136323530353032363738.pdf>
- Baxter-Magolda, M. B. (1992). *Knowing and reasoning in college: Gender-related patterns in students' intellectual development* (Jossey-Bass). San Francisco.
- Bayet, L., Pascalis, O., & Gentaz, É. (2014). The development of emotional facial expression discrimination by infants in the first year of life. *Annee Psychologique*, 114(03), 469-500. <https://doi.org/10.4074/S0003503314003030>
- Bédard, D., Lison, C., Dalle, D., & Boutin, N. (2010). Predictors of student' s engagement and persistence in an innovative pbl curriculum : applications for engineering education.
- Belenky, M. F., Clinchy, B. M., Goldberger, N. R., & Tarule, J. M. (1986). *Women's ways of knowing: The development of self, voice, and mind*. New York, NY, US: Basic Books.
- Bendixen, L. D. (2002). A process model of epistemic belief change. In *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. (p. 191-208). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Bendixen, L. D., & Rule, D. C. (2010). An Integrative Approach to Personal Epistemology: A Guiding Model. *Educational Psychologist*, 39(1), 69-80.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep3901_7

- Blakemore, S., & Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(3 - 4), 296-312. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01611.x>
- Bowden, G. (2017). An Environmental Sociology for the Anthropocene: Environmental Sociology. *Canadian Review of Sociology/Revue Canadienne de Sociologie*, 54(1), 48-68. <https://doi.org/10.1111/cars.12138>
- Boyes, M. C., & Chandler, M. (1992). Cognitive development, epistemic doubt, and identity formation in adolescence. *Journal of Youth and Adolescence*, 21(3), 277-304. <https://doi.org/doi:10.1007/BF01537019>
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques* (Érudit). Consulté à l' adresse <http://www.erudit.org/fr/revues/rse/2000-v26-n2-rse367/000137ar/>
- Brousseau, G. (2011). La théorie des situations didactiques en mathématiques. *Éducation et didactique*, 5(1), 101-104. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1005>
- Brown, A. G., Tooth, S., Chiverrell, R. C., Rose, J., Thomas, D. S. G., Wainwright, J., ... Downs, P. (2013). The Anthropocene: is there a geomorphological case? *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 431-434. <https://doi.org/10.1002/esp.3368>
- Bruner, J. (1996). *L'éducation, entrée dans la culture; Les problèmes de l'école à la lumière de la psychologie culturelle* (Retz). Paris.
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., ... Watson, R. (2010). Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science*, 328(5982), 1164. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Crutzen, P. J. (2006). The " Anthropocene" . In P. D. E. Ehlers & D. T. Krafft (Éd.), *Earth System Science in the Anthropocene* (p. 13-18). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-26590-2_3
- Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2000). The " Anthropocene" . *Global Change, NewsLetter*, p. 17-18.
- Cyrułnik, B. (2011). Rien n' est plus simple qu' une pensée complexe, Nothing is simpler than a complex thought. *Hermès, La Revue*, (60), 39-42.

- Davis, B., Sumara, D., & Luce-Kaple, R. (2000). *Engaging Minds. Learning and teaching in a Complex World* (Routledge). New York.
- Donnadieu, G., & Karsky, M. (2002). *La systémique: penser et agir dans la complexité. Des concepts aux applications en entreprise, management, économie, écologie, biologie, psychologie, sociologie, ethnologie,...* (Liaison).
- Dumontheil, I. (2014). Development of abstract thinking during childhood and adolescence: The role of rostral lateral prefrontal cortex. *Developmental Cognitive Neuroscience, 10*, 57-76. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.07.009>
- Ehlers, E., & Krafft, T. (2006). *Earth System Science in the Anthropocene*. Springer Berlin Heidelberg.
- Elby, A. (2001). Helping physics students how to learn. *American Journal of Physics, 69*(7), S54-S64.
- Forrester, J. (1971). *World Dynamics* (Cambridge, Mass., Weight-Allen Press. [Trad. fr.: Dynamique mondiale, Lyon, Presses universitaires de Lyon, 1975].).
- Fourez, G., Maingain, A., & Dufour, B. (2002). *Approches didactiques de l'interdisciplinarité*. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur. Consulté à l'adresse <http://www.cairn.info/approches-didactiques-de-l-interdisciplinarite--9782804138394.htm>
- Gauvrit, N., Zenil, H., Soler-Toscano, F., Delahaye, J.-P., & Brugger, P. (2017). Human behavioral complexity peaks at age 25. *PLOS Computational Biology, 13*(4), e1005408. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005408>
- Glikson, A. (2013). Fire and human evolution: The deep-time blueprints of the Anthropocene. *Anthropocene, 3*, 89-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2014.02.002>
- Gonçalves, C. (2013). *Appropriation & Authenticity - A didactical study on students' learning experience while playing a serious game in epidemiology* (Thèse de doctorat). University of Grenoble, Grenoble.
- Hammer, D. M. (1994). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction, 12*(2), 151-183.

- Hofer, B. K. (2004). Introduction: Paradigmatic Approaches to Personal Epistemology. *Educational Psychologist*, 39(1), 1-3. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3901_1
- Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67(1), 88-140.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Synthesis Report.)* (p. 151). Geneva, Switzerland: IPCC. Consulté à l' adresse <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Kramar, N. (2012). *Apport d'un jeu sérieux pour l'instauration d'un nouveau rapport au savoir du point de vue épistémologique : cas du jeu Clim@ction* (Mémoire de Master 2 Histoire, Philosophie, Didactique des Sciences, spécialité recherche). Lyon 1.
- Kuhn, D. (1991). *The skill of argument*. Cambridge University Press.
- Laurent, N. (2011). Qu' est ce que la complexité ? *Revue de questions Scientifiques*, p. 253-272.
- Le Moigne, J.-L., & Morin, E. (2007). *Intelligence de la complexité: Epistémologie et pragmatique - Colloque de Cerisy* (Edition de l' Aube). Consulté à l' adresse (http://www.intelligence-complexite.org/fr/bibliotheque/bibliotheque-du-ric/ouvrage/intelligence-de-la-complexite-epistemologie-et-pragmatique.html?tx_mcxapc_pi1%5Baction%5D=ouvrageDetail&cHash=a28544351a6b745213addc0971f517ef)
- Leblanc, S. (1993). Lost youth: museums, teens, and the Youthalive! project. *Museum News*, p. 44-54.
- Lemerise, T. (1999). Les adolescents au musée : enfin des chiffres ! *Publics et Musées*, p. 9-29.
- Lison, C., Bédard, D., & Côté, D. J. (2011). Développement de la posture épistémique d' étudiants universitaires. Étude dans un programme innovant de premier cycle en médecine. Présenté à Actes du 6e Colloque Questions de Pédagogies dans l' Enseignement Supérieur (QPES), Anger, France.
- Lovelock, J. (1972). Gaia as seen through the atmosphere. *Atmospheric Environment*, p. 579-580.

- Mann, M. E., Zhang, Z., Rutherford, S., Bradley, R. S., Hughes, M. K., Shindell, D., ... Ni, F. (2009). Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326(5957), 1256. <https://doi.org/10.1126/science.1177303>
- Marx, A., Backes, C., Meese, E., Lenhof, H. P., & Keller, A. (2016). EDISON-WMW: Exact Dynamic Programming Solution of the Wilcoxon-Mann-Whitney Test. *Genomics Proteomics Bioinformatics*, 14(1), 55-61.
- Ministère de la culture et de la communication. (2012). *Statistiques de la culture; chiffres-clés* (La documentation française). Consulté à l' adresse <http://www.culture.gouv.fr/Thematiques/Etudes-et-statistiques/Publications/Collections-d-ouvrages/Chiffres-cles-statistiques-de-la-culture/Chiffres-cles-2012>
- Montola, M., Stenros, J., & Waern, A. (2009). *Pervasive Games: Theory and Design*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Morin, E. (1990). *Science avec conscience* (Nouv. éd). Paris: Seuil.
- Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe* (Seuil). Paris.
- Morin, E. (2016). Introduction à la pensée complexe. Présenté à Congrès mondial pour la pensée complexe: Les défis d' un monde globalisé, Paris: UNESCO. Consulté à l' adresse <https://www.reseau-canope.fr/congres-mondial-pour-la-pensee-complexe/pensee-complexe.htm>
- Perry Bruce, Donovan Michael P., Kelsey Linda J., Paterson John, Statkiewicz Walter, & Allen Robert D. (1986). Two schemes of intellectual development: A comparison of development as defined by william perry and jean piaget. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(1), 73-83. <https://doi.org/10.1002/tea.3660230109>
- Perry, W. G. (1968). *Patterns of Development in Thought and Values of Students in a Liberal Arts College: A Validation of a Scheme* (Cambridge, MA: Bureau of Study Counsel). Harvard.
- Perry, W. G. (1970). *Forms of intellectual and ethical development in the college years: A scheme*. New York, NY, US: Holt, Rinehart and Winston.
- Perry, W. G. (1981). Cognitive and Ethical Growth: The Making of Meaning. In *The Modern American College*. San Francisco: Jossey-Bass.

- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. (Delachaux et Niestlé). Consulté à l'adresse http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/JP36_NdI_tdm.pdf
- Piaget, J. (1967). *Logique et connaissances scientifiques* (Gallimard). Paris. Consulté à l'adresse <http://www.gallimard.fr/Catalogue/GALLIMARD/Encyclopedie-de-la-Pleiade/Logique-et-connaissance-scientifique>
- Rosen, R. (1977). Complexity as a system property. *International Journal of General Systems*, 3(4), 227-232. <https://doi.org/10.1080/03081077708934768>
- Rozencajg, P. (2007). Cognitive process development as measured by an adapted version of Wechsler's Similarities test. *Learning and Individual Differences*, 17(4), 298-306. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.07.001>
- Sanchez, E., & Emin-Martinez, V. (2014). Ils jouent, mais quel jeu jouent-ils ? Du jeu sérieux au jeu épistémique. Béziers, France. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01162265>
- Sandoval, I. W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- Schommer, M. (1994). Synthesizing epistemological belief research: Tentative understandings and provocative confusions. *Educational Psychology Review*, 6(4), 293-319. <https://doi.org/10.1007/BF02213418>
- Schommer-Aikins, M. (2004). Explaining the Epistemological Belief System: Introducing the Embedded Systemic Model and Coordinated Research Approach. *Educational Psychologist*, 39(1), 19-29.
- Serina-Karsky, F. (2017). Vers l'éducation complexe. Consulté 30 mars 2018, à l'adresse https://ecolesnouvelles.hypotheses.org/608#_ftn1
- Siegler, R. S. (2001). À chaque âge son mode de pensée ? *Sciences Humaines*, 120 "L'enfant. De la psychologie à l'éducation". Consulté à l'adresse https://www.scienceshumaines.com/a-chaque-age-son-mode-de-pensee_fr_1742.html
- Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *AMBIO: A Journal of the Human*

Environment, 36(8), 614-621. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2)

- Therriault, G. (2008). *Posture épistémologiques que développent des étudiants des profils sciences et technologiques et univers social au cours de leur formation initiale à l'enseignement secondaire: une analyse de leurs croyances et de leurs rapports aux savoirs* (Thèse de doctorat en éducation). Université du Québec à Montréal. Consulté à l'adresse <https://archipel.uqam.ca/1311/1/D1697.pdf>
- Timbart, N. (2007). *Les adolescents et les musées : état des lieux et perspective*. Muséum national d'histoire naturelle, Paris.
- Timbart, N. (2013). Les adolescents et les musées. *Cahiers de l'action*, 38(1), 21-31.
- Vallet, M. (2014). Les relations Ecole-Musée. ICOM – cours de base en muséologie Journée 17 – médiation culturelle.
- Von Neumann, J., Burks, A. W., & others. (1966). Theory of self-reproducing automata. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(1), 3–14.
- Waters, C. N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Poirier, C., Galuszka, A., ... Wolfe, A. P. (2016). The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351(6269). <https://doi.org/10.1126/science.aad2622>
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Smith, A., Barry, T. L., Coe, A. L., Bown, P. R., ... Stone, P. (2008). Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today*, 18(2), 4–8. <https://doi.org/10.1130/GSAT01802A.1>
- Zhu, J., & Cox, M. F. (2015). Epistemological Development Profiles of Chinese Engineering Doctoral Students in U.S. Institutions: An Application of Perry's Theory. *Journal of Engineering Education*, 104(3), 345-362. <https://doi.org/10.1002/jee.20080>

ANNEXES

ANNEXE I : Résultat du test statistique de l'analyse inter-classes.

Le test statistique utilisé (test de Wilcoxon-Mann-Whitney, Marx, Backes, Meese, Lenhof, & Keller, 2016) indique si la différence de scores entre deux populations (ici, les résultats au premier questionnaire pour les différentes classes) est significative. L'hypothèse nulle de ce test considère qu'il est tout aussi probable que une valeur sélectionnée au hasard dans un premier échantillon sera différente à une valeur sélectionnée au hasard dans un second échantillon. Ce test a été utilisé car notre échantillon des scores ne présente pas de distribution normale.

Chaque question est considérée individuellement, et les cases du tableau en jaune indiquent que l'hypothèse nulle est rejetée ($p < 0.05$), donc que les populations sont significativement différentes. On remarque qu'il n'y a pas de différence significative entre les élèves de 11VP et les élèves de 3^e Collège.

Posture épistémique	# Question (premier questionnaire)	9CO → 11VP	11VP → 3 Collège	9CO → 3 Collège
Dualiste (B)	Question 1			
	Question 2			
	Question 3			
	Question 4 ⁴⁴			
	Question 5			
Subjectiviste (C)	Question 6 ⁴⁵			
	Question 7			
	Question 8 ⁴⁶			
	Question 9			
Relativiste (D)	Question 10			
	Question 11			
	Question 12			
	Question 13			
	Question 14 ⁴⁷			
Pensée complexe (E)	Question 15			
	Question 16 ⁴⁸			
	Question 17			
	Question 18 ⁴⁹			
	Question 19			
	Question 20			

44 « Je ne crois pas qu' il y a toujours une seule bonne solution à tout problème » (codage inverse)

45 « Quand je suis en train d' apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue »

46 « Dans les différentes situations d' apprentissage, il n' est pas nécessaire que je donne mon point de vue » (codage inverse).

47 « Je n' ai pas besoin de prendre en compte différentes sources d' information avant de prendre une décision » (codage inverse).

48 « Je pense que s' il est possible de prévoir la météo 3 jours à l'avance il est 10 fois plus compliqué de prévoir la météo 30 jours à l'avance. » (codage inverse).

49 « Je pense qu' il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre » (codage inverse).

ANNEXE II: Questionnaire sur le développement de la posture intellectuelle

Ce questionnaire est celui de Kramar (2012), d'après Bédard et al. (2010) Lison et al. (2011), selon le modèle épistémique de Perry (1981). Chaque item est évalué selon une échelle allant de "Tout à fait d'accord", "Plutôt d'accord", "Plutôt pas d'accord", "Pas du tout d'accord" et "Ne sait pas". Ce questionnaire constitue la base sur laquelle nos questionnaires ont été rédigés.

Dualisme

- Je dois trouver LA bonne solution à un problème
- Lors de la résolution d'un problème en classe, je cherche à trouver la bonne réponse
- Chaque problème comporte une seule bonne solution
- Je ne crois pas qu'il y a toujours une seule bonne solution à tout problème (codage : échelle inversée)
- Je crois qu'à un problème, il y a toujours une seule bonne réponse

Subjectivisme

- Dans toute situation d'apprentissage, il est important que je donne mon point de vue
- Dans toute situation d'apprentissage, je trouve qu'il est important que les étudiants participent à la solution
- Dans les différentes situations d'apprentissage, il n'est pas nécessaire que je donne mon point de vue (codage : échelle inversée)
- Dans une situation d'apprentissage, je dois apprendre à penser par moi-même
- Je trouve important d'avoir une opinion sur les références que l'on me propose

Relativisme

- Je crois que les solutions à un problème peuvent différer selon le contexte
- Je dois prendre en compte différentes sources d'information avant de prendre une décision
- Je dois consulter plusieurs sources avant de répondre à un problème
- Je dois évaluer toutes les solutions possibles face à un problème
- Je n'ai pas besoin de prendre en compte différentes sources d'information avant de prendre une décision (codage : échelle inversée)

ANNEXE III : Questionnaire à remplir AVANT la visite du musée de la Nature de Sion

Bonjour ! Tu vas répondre à un questionnaire sur tes façons d'apprendre des choses.

Pour toutes les questions, tu as le choix sur une échelle de 1 à 5.

1: pas du tout d'accord.

2: pas trop d'accord

4: plutôt d'accord

5: Tout à fait d'accord

3: ne sait pas, ou dépend de la situation⁵⁰.

ATTENTION: Il n'y a pas de réponse "juste" ou "fausse", tu dois simplement donner ton avis.

1. Lors d'un exercice en classe, je dois toujours trouver la bonne solution.
2. Lors de la résolution d'un problème en classe, je cherche à trouver la bonne réponse.
3. Chaque problème comporte une seule bonne solution.
4. Je ne crois pas qu'il y a toujours une seule bonne solution pour tous les problèmes.
5. Je crois qu'il y a toujours une seule bonne réponse pour tous les problèmes.
6. Quand je suis en train d'apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue.
7. Je pense qu'il est important que les élèves participent à la solution quand ils sont en train d'apprendre.
8. Il n'est pas nécessaire que je donne mon point de vue quand je suis en train d'apprendre quelque chose.
9. Quand je suis en train d'apprendre quelque chose de nouveau, je dois aussi apprendre à penser par moi-même.
10. Je trouve important d'avoir une opinion sur les indices que l'on me propose pour résoudre un problème.
11. Je crois que les solutions à un problème peuvent être différentes selon les situations.
12. Je dois prendre en compte différentes informations avant de prendre une décision.
13. Si possible, je dois avoir plusieurs informations différentes avant de répondre à un problème.
14. Je n'ai pas besoin de prendre en compte différentes sources d'information avant de prendre une décision.
15. Je dois évaluer toutes les solutions possibles face à un problème.
16. Je pense que s'il est possible de prévoir la météo 3 jours à l'avance il est 10 fois plus compliqué de prévoir la météo 30 jours à l'avance.
17. Je pense que tous les problèmes vont pouvoir être facilement résolus à l'avenir grâce à l'intelligence artificielle.
18. Je pense qu'il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre.
19. Je pense qu'il existe des problèmes qui n'ont pas de solution simple.
20. Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes.
21. Quel est ton âge ?
22. Quelle est ma classe / mon niveau ? (Par exemple: 9VG, 11VP, etc.).....
23. Combien d'années ma maman a-t-elle étudié après l'école obligatoire ?.....
24. Combien d'années mon papa a-t-il étudié après l'école obligatoire ?.....

⁵⁰ Le choix « ne sait pas, ou dépend de la situation » a été assigné au codage 3. Cela a été choisi pour des raisons techniques lié au site web utilisé, mais également pour des raisons psychologiques. Nous pensons que l'indécision, l'absence de connaissance ou le choix de ne pas faire de choix doit se situer entre les choix « positifs » (« tout à fait d'accord » et « plutôt d'accord ») et les choix négatifs (« plutôt pas d'accord » et « pas du tout d'accord »). Si le codage avait été de -2 à +2, il aurait été naturel d'assigner le zéro à l'absence de choix.

ANNEXE IV : Questionnaire à remplir APRÈS la visite du musée de la Nature de Sion.

ATTENTION: Certaines questions sont nouvelles, d'autres questions sont les mêmes que celles auxquelles tu as déjà répondu avant la visite du musée. Il est important de répondre quand même à **toutes** les questions.

Pour tes réponses, indique si tu es d'accord ou pas, sur une échelle de 1 à 5.

1: pas du tout d'accord.

2: pas trop d'accord

4: plutôt d'accord

5: Tout à fait d'accord

3: ne sait pas, ou dépend de la situation⁵¹.

ATTENTION: Il n'y a pas de réponse "juste" ou "fausse", tu dois simplement donner ton avis.

1. Dans le musée de la Nature de Sion, j'ai appris des choses que j'ignorais.
2. Je pense que le Musée de la Nature de Sion présente les choses de manière simple.
3. Dans le musée de la Nature de Sion, le fait de jouer au jeu « Pearl Arbor » m'a permis de mieux comprendre les choses.
4. J'estime que les questions du jeu « Pearl Arbor » (le jeu qui est dans le musée) sont trop compliquées.
5. Le musée de la Nature de Sion m'a permis de mieux comprendre les liens complexes entre la Nature et l'Homme.
6. Chaque problème comporte une seule bonne solution.
7. Je crois qu'il y a toujours une seule bonne réponse pour tous les problèmes.
8. Quand je suis en train d'apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue.
9. Je pense qu'il est important que les élèves participent à la solution quand ils sont en train d'apprendre.
10. Quand je suis en train d'apprendre quelque chose de nouveau, je dois aussi apprendre à penser par moi-même.
11. Je trouve important d'avoir une opinion sur les indices que l'on me propose pour résoudre un problème.
12. Je crois que les solutions à un problème peuvent être différentes selon les situations.
13. Je dois prendre en compte différentes informations avant de prendre une décision.
14. Si possible, je dois avoir plusieurs informations différentes avant de répondre à un problème.
15. Je dois évaluer toutes les solutions possibles face à un problème.
16. Je pense que tous les problèmes vont pouvoir être facilement résolus à l'avenir grâce à l'intelligence artificielle.
17. Je pense qu'il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre.

|⁵¹ Voir note de pied de page #40 (page précédente). |

ANNEXE V : Énigmes pour la phase 2 du jeu (état actuel)

1. Qui sont les parents du mulet ?
 - La mule et le mulet
 - Le cheval et l'ânesse
 - L'âne et la jument

2. Au XIX^e siècle, des primes sont offertes pour exterminer certaines espèces jugées nuisibles. En 1850, un gendarme recevait 41 Fr. comme salaire mensuel. A cette même époque, quelle était la prime offerte pour tuer un ours ?
 - La moitié d'un salaire d'un gendarme (20.-)
 - Environ 1 fois le salaire d'un gendarme (41.-)
 - Environ 3 fois le salaire d'un gendarme (120.-)

3. Quelle plante exotique envahissante, introduite par l'homme, produit une toxine qui provoque de fortes brûlures sur la peau ?
 - La berce laineuse
 - La berce du Caucase
 - La berce commune

4. Quels types de liaisons constituent des corridors favorables à la faune ?
 - Les chaînes de montagne
 - Les plans d'eau (étangs, lacs, marais...)
 - les barrages hydrauliques

5. Qu'est ce qui caractérise l'Anthropocène ?
 - Pour la première fois de l'histoire de la terre, des changements environnementaux sont induits par une espèce vivante.
 - Pour la première fois de l'histoire de la terre, cette dernière subit des changements environnementaux.
 - L'anthropocène inscrit notre présent dans l'histoire de la Terre.

6. Au néolithique, quels sont les animaux domestiqués les plus nombreux, en Valais ?
 - les moutons
 - les chèvres
 - les vaches

ANNEXE VI : Proposition de questions complémentaires pour le jeu Pearl Arbor

Cette annexe regroupe une série de propositions de questions visant à étoffer les questions utilisées lors de la seconde phase du jeu (annexe IV). Ces questions survolent différents aspects de la relation Homme-Nature, abordés explicitement ou implicitement dans le musée. Les réponses sont sourcées vers des documents (articles de presse généraliste ou spécialisée, vidéos...) utilisables en classe ou dans le musée), qui complètent une courte explication des phénomènes mis en jeu. Une partie de ces questions ne trouve pas directement ses réponses dans le musée. Les élèves pourraient utiliser la connexion internet des tablettes pour accéder à un site spécifique qui regrouperait tous les articles utilisables. Les articles Wikipédia des différents thèmes abordés pourraient également être une ressource utilisable.

1. Le néolithique est une période pendant laquelle...

- Les Hommes ont commencé l'élevage d'animaux.
- Les Hommes ont commencé à se sédentariser (à former des villages).
- Les Hommes ont commencé à utiliser des outils

La révolution néolithique concerne la domestication des animaux, la culture de céréales qui ont conduit à la sédentarisation d' une partie de la population mondiale. Un documentaire « c' est pas sorcier » sur le sujet: <https://www.youtube.com/watch?v=p1UKVXA25EM>

2. L'humanité a depuis longtemps modifié la Nature. Depuis quand le gaz carbonique issu des activités humaines a-t-il augmenté dans l'atmosphère ?

- Le Néolithique (env. 8000 av. J.C → 3000 av. J.C).
- Le Moyen Âge (env. 500 → 1500 après J.C)
- La Révolution Industrielle (env. 1800 → 1900 après J.C)

L'augmentation du CO₂ atmosphérique est lié à l'utilisation des ressources fossiles (charbon et pétrole principalement) qui est devenue très importante depuis la première révolution industrielle (env. 1850), et encore plus depuis le milieu du 20^e siècle.

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/dossiers/d000122-le-changement-climatique/le-rechauffement-climatique>

3. L'Anthropocène est une époque géologique marquée par les effets importants de l'humanité sur la Nature. Quel effet N'EST PAS observé actuellement ?

- Le réchauffement climatique.
- La baisse du niveau des océans
- L'acidification des océans.
- La disparition de nombreuses espèces végétales et animales.

Le réchauffement du climat global provoque une hausse générale du niveau marin provoquée par la fonte des calottes polaires (Groenland principalement), ainsi que par la dilatation d' une partie de l' eau liée à l' augmentation de sa température. <http://www.lemonde.fr/planete/video/2018/02/20/l->

[elevation-du-niveau-des-oceans-s-accelere-selon-des-donnees-obtenues-par-satellite_5259854_3244.html](http://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse.html)

4. Quel sera l'impact du changement climatique sur les réserves en eau en suisse dans les 100 prochaines années ?

- Aucun, nous aurons toujours bien assez d'eau bien répartie au cours de l'année.
- La quantité d'eau restera à peu près la même, mais très mal répartie au cours de l'année (sécheresses et inondations).
- Une aridification de tout le pays.

D' une manière générale, les été seront plus chauds et plus secs en Suisse, et les autres saisons plus douces, avec des risques plus importants de très forts cumuls de pluie.

<http://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse.html>

5. Dans combien de temps auront disparu 90 % des glaciers de Suisse Centrale ?

- dans 70 ans (vers 2090).
- dans 100 ans (vers 2120).
- dans 300 ans (vers 2320)

L' augmentation des températures provoque une hausse de l' altitude pour laquelle le bilan de masse est nul (autant de dépôt de neige en hiver que de fonte en été). Si cette altitude monte au-dessus de l' altitude des montagnes qui nourrissent le glacier, celui-ci disparaît. Cette situation est anticipée pour la fin du 21^e siècle pour la Suisse Centrale <https://www.rts.ch/info/sciences-tech/environnement/8976316-une-etude-predit-la-disparition-des-glaciers-en-suisse-centrale-d-ici-2090.html>

6. En 30 ans, la population des insectes en Allemagne a...

- augmenté de 10 % ?
- diminué de 25 % ?
- diminué de 80 % ?

Une étude publiée cette année démontre que la population totale d' insectes s' est effondrée en Allemagne en 30 ans. Les chercheurs pensent qu' une telle diminution est liée aux pesticides utilisés dans l' agriculture. La situation en France et en Suisse semble identique. Cela pose de gros problèmes pour l' ensemble de la chaîne alimentaire. <https://www.nouvelobs.com/planete/20171019.OBS6199/alarmant-plus-de-75-des-insectes-volants-auraient-disparu-en-europe-depuis-1990.html>

7. L'accident nucléaire de Tchernobyl (ex URSS, 1986) a soulevé une grande quantité de matière radioactive. Cette matière a été retrouvée...

- dans tout l'hémisphère nord, même proche du pôle nord ?
- dans toute l'Asie ?
- en Ukraine seulement ?

Les dépôts radioactifs (principalement du Cesium 137) ont été retrouvés dans tous les milieux d' une grande partie de l' Europe et de l' Asie (lacs, forêts, champs, villes, etc.). Cette contamination est à l' origine de nombreux cancers dans toute la zone affectée, qu' il est très difficile de dénombrer. <https://www.monde-diplomatique.fr/cartes/europetcherno2000>

8. Dans quelle proportion la production de viande de porc a-t-elle augmenté depuis 1950 ?

- +50 % ?
- elle a doublé ?
- elle a été multipliée par 5 ?

La production de viande à l' échelle mondiale a énormément augmenté depuis la moitié du 20^e siècle. Cette production entraîne de nombreux problème sanitaires (maladies des animaux et des humains), environnementaux (pollution des nappes phréatiques p. ex.) et écologiques (production importante de céréales, augmentation de la production de gaz à effet de serre (gaz carbonique et méthane).

<http://www.vegetik.org/pdf/consommation%20de%20viande%20un%20lourd%20tribu%20environnemental%20crioc.pdf> (page 4)

9. Le Valais contribue à la production énergétique hydraulique suisse à hauteur de...

- 10 % ?
- 30 % ?
- 50 % ?

Grâce à cinq barrages majeurs (Dixence, Emosson, Mauvoisin, Mattmarsee et Moiry) et quelques autres de moindre importance, le Valais produit environ 1/3 de l' hydroélectricité suisse. Cette énergie a l' avantage d' être très facilement modulable (on peut la produire quand la demande est la plus forte et le prix du marché le plus haut), mais sa production dépend des conditions climatiques présentes et futures.

<https://www.vs.ch/web/sefh/energie-hydroelectrique>

10. Dans une salle du musée, il y a un ours brun. Il n'y a plus d'ours en Valais depuis 1856.

- Tant mieux, ils mangeaient les moutons et faisaient peur aux enfants.
- Ce n'est pas grave, il en reste dans les Grisons et en Slovénie.
- C'est un problème, parce que ces grands prédateurs équilibraient les écosystèmes

Les grands carnivores (ours, loups, lynx...) sont au sommet de la chaîne alimentaire et assurent un rôle fondamental pour le bon fonctionnement des écosystèmes en régulant le nombre de leurs proies naturelles. En l' absence de ces prédateurs, la surabondance des proies (le plus souvent herbivores) peut conduire à de grave déséquilibres à large échelle. <https://www.ferus.fr/actualite/l-importance-ecologique-des-grands-predateurs-sur-nos-ecosystemes>

ANNEXE VII : Rapport général - Questionnaire pré-musée.

NOTE :

1. Les résultats présentés ici sont les résultats bruts.
2. Les questions en codage inverse sont indiqués par un astérisque *.
3. Les résultats sont présentés sous la forme score / nombre / pourcentage

1. Lors d'un exercice en classe, je dois toujours trouver la bonne solution.

2 18 / 29%

1 15 / 24%

4 15 / 24%

5 10 / 16%

3 5 / 8%

2. Lors de la résolution d' un problème en classe, je cherche à trouver la bonne réponse.

5 40 / 63%

4 13 / 21%

3 9 / 14%

2 1 / 2%

3. Chaque problème comporte une seule bonne solution.

1 32 / 51%

2 12 / 19%

3 10 / 16%

4 5 / 8%

5 4 / 6%

4. Je ne crois pas qu' il y a toujours une seule bonne solution pour tous les problèmes.

* 5 31 / 49%

3 10 / 16%

1 8 / 13%

4 8 / 13%

2 6 / 10%

5. Je crois qu'il y a toujours une seule bonne réponse pour tous les problèmes.

1 31 / 49%

2 13 / 21%

3 11 / 17%

4 5 / 8%

5 3 / 5%

6. Quand je suis en train d'apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue.

5 26 / 41%

4 21 / 33%

3 11 / 17%

2 3 / 5%

1 2 / 3%

7. Je pense qu' il est important que les élèves participent à la solution quand ils sont en train d'apprendre.

5 32 / 51%

4 23 / 37%

3 6 / 10%

2 2 / 3%

8. Il n' est pas nécessaire que je donne mon point de vue quand je suis en train d'apprendre quelque chose. *

1 18 / 29%

2 17 / 27%

3 16 / 25%

4 6 / 10%

5 6 / 10%

9. Quand je suis en train d'apprendre quelque chose de nouveau, je dois aussi apprendre à penser par moi-même.

5 26 / 41%

4 19 / 30%

3 11 / 17%

2 4 / 6%

1 3 / 5%

10. Je trouve important d' avoir une opinion sur les indices que l' on me propose pour résoudre un problème.

5 28 / 44%

4 22 / 35%

3 10 / 16%

2 3 / 5%

11. Je crois que les solutions à un problème peuvent être différentes selon les situations. 5 34 / 54%

4 17 / 27%

3 7 / 11%

2 4 / 6%

1 1 / 2%

12. Je dois prendre en compte différentes informations avant de prendre une décision.

5 34 / 54%

4 18 / 29%

3 11 / 17%

13. Si possible, je dois avoir plusieurs informations différentes avant de répondre à un problème.

4 27 / 43%

5 27 / 43%

3 6 / 10%

2 2 / 3%

1 1 / 2%

14. Je n' ai pas besoin de prendre en compte différentes sources d' information avant de prendre une décision. *

1 27 / 43%

2 18 / 29%

3 14 / 22%

5 3 / 5%

4 1 / 2%

15. Je dois évaluer toutes les solutions possibles face à un problème.

5 28 / 44%

4 24 / 38%

3 5 / 8%

1 4 / 6%

2 2 / 3%

16. Je pense que s'il est possible de prévoir la météo 3 jours à l'avance il est 10 fois plus compliqué de prévoir la météo 30 jours à l'avance. *

5 28 / 44%

4 15 / 24%

3 14 / 22%

1 6 / 10%

17. Je pense que tous les problèmes vont pouvoir être facilement résolus à l'avenir grâce à l'intelligence artificielle. *

3 20 / 32%

5 13 / 21%

4 11 / 17%

1 10 / 16%

2 9 / 14%

18. Je pense qu'il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre. *

3 26 / 41%

4 14 / 22%

5 12 / 19%

2 9 / 14%

1 2 / 3%

19. Je pense qu'il existe des problèmes qui n'ont pas de solution simple.

5 30 / 49%

4 14 / 23%

3 11 / 18%

2 4 / 7%

1 2 / 3%

20. Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes.

3 26 / 41%

5 17 / 27%

4 16 / 25%

2 3 / 5%

1 1 / 2%

21. Combien d'années ma maman a-t-elle étudié après l'école obligatoire ?
56 sur 63 personnes ont répondu à cette question (Moyenne: 3.34)

0 15 / 27%

3 9 / 16%

2 7 / 13%

5 6 / 11%

4 5 / 9%

6 3 / 5%

7 3 / 5%

9 3 / 5%

1 2 / 4%

10 2 / 4%

8 1 / 2%

22. Combien d'années mon papa a-t-il étudié après l'école obligatoire ?
57 sur 63 personnes ont répondu à cette question (Moyenne 4.30)

0 13 / 23%

3 12 / 21%

10 11 / 19%

4 6 / 11%

5 5 / 9%

6 5 / 9%

2 2 / 4%

1 1 / 2%

7 1 / 2%

8 1 / 2%

ANNEXE VIII : Rapport général - Questionnaire post-musée.

NOTE :

1. Les résultats présentés ici sont les résultats bruts.
2. Les questions en codage inverse sont indiqués par un astérisque *.
3. Les résultats sont présentés sous la forme score / nombre / pourcentage

1. Dans le musée de la Nature de Sion, j' ai appris des choses que j' ignorais. 5 27 / 49%

4 20 / 36%

3 5 / 9%

2 3 / 5%

2. Je pense que le Musée de la Nature de Sion présente les choses de manière simple.

4 20 / 36%

3 15 / 27%

5 12 / 22%

2 6 / 11%

1 2 / 4%

3. Dans le musée de la Nature de Sion, le fait de jouer au jeu « Pearl Arbor » m' a permis de mieux comprendre les choses.

3 17 / 31%

5 17 / 31%

4 16 / 29%

2 3 / 5%

1 2 / 4%

4. J' estime que les questions du jeu « Pearl Arbor » (le jeu qui est dans le musée) sont trop compliquées.

1 14 / 25%

4 13 / 24%

5 11 / 20%

3 9 / 16%

2 8 / 15%

5. Le musée de la Nature de Sion m' a permis de mieux comprendre les liens complexes entre la Nature et l' Homme.

4 21 / 38%

5 19 / 35%

3 10 / 18%

1 4 / 7%

2 1 / 2%

6. Chaque problème comporte une seule bonne solution.

1 20 / 36%

2 11 / 20%

5 11 / 20%

3 9 / 16%

4 4 / 7%

7. Je crois qu'il y a toujours une seule bonne réponse pour tous les problèmes.

1 27 / 49%

3 14 / 25%

2 6 / 11%

4 5 / 9%

5 3 / 5%

8. Quand je suis en train d'apprendre quelque chose, il est important que je donne mon point de vue

5 27 / 49%

4 13 / 24%

2 6 / 11%

3 6 / 11%

1 3 / 5%

9. Je pense qu' il est important que les élèves participent à la solution quand ils sont en train d'apprendre.

5 27 / 49%

4 18 / 33%

3 9 / 16%

1 1 / 2%

10. Quand je suis en train d'apprendre quelque chose de nouveau, je dois aussi apprendre à penser par moi-même.

5 28 / 51%

4 19 / 35%

3 6 / 11%

2 2 / 4%

11. Je trouve important d' avoir une opinion sur les indices que l' on me propose pour résoudre un problème. 4 22 / 40%

5 17 / 31%

3 11 / 20%

2 3 / 5%

1 2 / 4%

12. Je crois que les solutions à un problème peuvent être différentes selon les situations. 5

25 / 45%

4 16 / 29%

3 12 / 22%

1 1 / 2%

2 1 / 2%

13. Je dois prendre en compte différentes informations avant de prendre une décision.

5 24 / 44%

4 18 / 33%

3 12 / 22%

2 1 / 2%

14. Si possible, je dois avoir plusieurs informations différentes avant de répondre à un problème

5 22 / 40%

4 18 / 33%

3 13 / 24%

1 1 / 2%

2 1 / 2%

15. Je dois évaluer toutes les solutions possibles face à un problème

5 26 / 47%

4 17 / 31%

3 8 / 15%

2 3 / 5%

1 1 / 2%

16. Je pense que tous les problèmes vont pouvoir être facilement résolus à l'avenir grâce à l'intelligence artificielle.

3 16 / 30%

1 15 / 28%

5 11 / 20%

4 7 / 13%

2 5 / 9%

17. Je pense qu'il est possible de découper tous les problèmes en problèmes simples pour pouvoir les résoudre.

3 18 / 33%

5 17 / 31%

4 12 / 22%

1 4 / 7%

2 3 / 6%

18. Je pense qu'il existe des problèmes qui n'ont pas de solution simple.

5 19 / 35%

4 16 / 30%

3 9 / 17%

1 8 / 15%

2 2 / 4%

19. Je pense que des causes identiques peuvent parfois provoquer des conséquences différentes.

3 20 / 37%

5 18 / 33%

4 11 / 20%

2 3 / 6%

1 2 / 4%