

Lire et créer des diagrammes mathématiques pour comprendre et appréhender la durabilité

Adeline Bardou

Received: January 2025 / Accepted: December 2025

Résumé structuré

Contexte : Depuis l'apparition de l'éducation à la durabilité (ED) dans les plans d'études nationaux ou régionaux la question s'est posée de la considérer comme une discipline à part entière, comme un contenu transversal à la charge de toutes les disciplines ou comme une façon de travailler les disciplines existantes. L'ED n'existant pas actuellement selon la première modalité en Suisse romande, le rapport de pratique présenté ici montre une possibilité de l'intégrer partiellement dans une discipline, les mathématiques.

Objectifs : Cette étude analyse les résultats de la transformation d'une séquence issue des moyens officiels de mathématiques en Suisse romande à propos de la lecture et de la réalisation de diagrammes mathématiques afin de contribuer à une éducation à la durabilité en intégrant l'esprit critique, la pensée complexe et systémique et des projections dans le futur.

Echantillon : La séquence a été testée dans 6 classes du secondaire 1 dans 4 établissements en Valais (Suisse) avec des élèves de 13-14 ans en 10^e année de scolarité (n = 113 élèves). Quatre classes (88 élèves) étaient de niveau pré-gymnasial et deux classes (25 élèves) de niveau pré-professionnel. La séquence (~10 périodes) a été réalisée par les six enseignants selon les indications d'un guide didactique et une certaine liberté leur a été laissée dans le choix des activités. Un questionnaire a été envoyé aux enseignants après la réalisation de la séquence en classe et des travaux d'élèves ont été collectés.

Méthodologie : La séquence est conçue en trois parties, mais le choix des activités réalisées ou le poids accordé à chacune est laissé au libre choix des enseignants. Après la séquence, ces derniers/ères répondent à un QCM¹ et collectent les travaux d'élèves réalisés dans la troisième partie. Les réponses du QCM sont traitées en termes de moyenne, médiane et variance, même si cette dernière n'est qu'indicative au vu du nombre de résultats (n=6).

Résultats : Les résultats montrent que les aspects mathématiques sont atteints, qu'il est possible de discuter certains aspects de durabilité et d'éducation à la durabilité dans ce cadre et que les élèves sont capables de se projeter dans l'avenir pour imaginer un futur possible et durable. L'esprit critique est développé.

Conclusions : Dans un but d'éducation à la durabilité, la transformation d'une séquence existante dans les ouvrages scolaires officiels montre qu'il est possible d'acquérir des savoirs pour la durabilité, pour penser le futur et de développer l'esprit critique tout en enseignant les progressions du plan d'études. Faire cela à partir de séquences existantes permet de ne pas ajouter du temps de réalisation dans l'horaire. Il apparaît que la transformation de méthodes et de moyens existants permet d'implémenter la durabilité et son éducation dans l'enseignement actuel.

Mots-clés : durabilité – diagrammes – mathématiques – esprit critique – futur

¹ QCM : Questionnaire à Choix Multiples

¹ CO des Lides / Sierre ✉ adeline.bardou@edu.vs.ch

Note introductive

Les concepts suivants sont utilisés dans le texte et résumés ici :

Développement durable : concept formulé comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la possibilité, pour les générations à venir, de pouvoir répondre à leurs propres besoins » (Brundtland, 1987). Ses trois piliers, économique, environnemental et social, sont mis sur pied d'égalité, sans hiérarchie. Il implique la notion de développement et de croissance.

Durabilité : état vers lequel tendre et se définit comme « un fonctionnement des sociétés humaines, en particulier dans leur relation à l'environnement naturel, qui assure leur stabilité à long terme, et rend possible l'épanouissement humain au travers des générations. Cela implique de maintenir l'impact des activités humaines dans les limites écologiques de la planète, tout en assurant les besoins fondamentaux de toutes et tous et en favorisant l'équité dans toutes ses dimensions. » (Centre de compétences en durabilité, 2025).

Durabilité faible : assume que les capitaux sociaux, économiques et environnementaux sont substituables et implique que les dommages environnementaux puissent être corrigés par des innovations technologiques ou des compensations financières.

Durabilité forte : définit que ces différents capitaux ne sont pas substituables et que certaines actions humaines entraînent donc des conséquences irréversibles sur l'environnement (Pelenc et al., 2015)

Objectifs de développement durable (ODD) : 17 objectifs établis par l'ONU², qui définissent 169 cibles à atteindre par tous les pays signataires d'ici 2030 pour éradiquer la pauvreté, protéger la planète et garantir la prospérité.

Théorie du Donut : modèle proposé en 2017 par l'économiste Kate Raworth qui combine des limites planétaires à ne pas dépasser avec des frontières sociales à atteindre pour assurer un avenir durable et garantir un espace de vie sûr et juste pour l'humanité (Raworth, 2017) (Fig.1).

Modèle du wedding cake : modèle proposé en 2016 par le Stockholm Resilience Center qui postule que l'environnement sert de base à l'existence de la société, qui elle-même permet le fonctionnement de l'économie (Stockholm Resilience Centre, 2016) (Fig.2). Il remodèle les trois piliers du développement durable dans une vision de durabilité forte.

1 Introduction

Le projet global de formation de l'élève présenté par le Plan d'Etudes Romand (PER, 2010a) est symbolisé par une flèche composée de trois axes : les domaines disciplinaires, la formation générale (FG) et les capacités transversales (CT), tendant tous ensemble à sa réalisation. L'éducation à la durabilité (ED) apparaît sous la dénomination d'Education en vue d'un Développement Durable (EDD)³ dans une des trois visées prioritaires de la formation générale qui est de « prendre conscience de la complexité et des interdépendances et développer une attitude responsable et active en vue d'un développement durable. » (PER, 2010c) et prend forme dans les progressions d'apprentissage de sa thématique « Interdépendances (sociales, économiques et environnementales) ». Parallèlement, l'axe des capacités transversales permet aussi de développer l'acquisition de compétences pour le XXI^e s. et pour la durabilité telles que définies par l'UNESCO⁴ (Mochizuki & Christodoulou, 2017).

La structure de ce plan d'études voudrait que la formation générale et les capacités transversales ne soient pas enseignées pour elles-mêmes mais mobilisées au travers de situations contextualisées. Certaines disciplines comme la géographie tiennent compte de la durabilité dans leur manuel mais peu l'intègrent formellement. Etant donné le découpage historique en disciplines de l'école suisse et son importance institutionnelle et ancrée dans la vision collective des enseignant-es, des élèves et des parents, la durabilité a de la peine à trouver sa place, même si « tous les domaines disciplinaires, ainsi que la formation générale, peuvent apporter leur contribution à l'EDD » comme le préconisent les propositions faites par le Guide EDD-PER (Gigon et al., 2019) ou par le guide à l'attention des enseignant-es du canton de Vaud « Education à la durabilité et PER : Eclairages et points d'appui » (DFJC, 2021).

La pratique développée ici aimerait montrer que la durabilité peut s'insérer dans le curriculum existant comme une façon d'acquérir des compétences et des savoirs et non comme un ajout, ce qui est prôné comme souhaitable par l'UNESCO selon qui « l'intégration de l'EDD dans les matières principales est l'un des moyens les plus efficaces et efficaces d'atteindre la cible 4.7 des ODD⁵ » (Mochizuki & Christodoulou, 2017). Ces derniers, les Objectifs de Développement Durable (ODD), constituent une liste de 17 objectifs établis par l'ONU, qui fait partie de l'Agenda 2030 adopté en 2015. Ils définissent 169 cibles à atteindre par tous les pays signataires d'ici 2030 pour éradiquer la pauvreté,

² ONU : Organisation des Nations Unies

³ Pour une distinction entre ED et EDD, voir 2.2

⁴ UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

⁵ ODD : Objectifs de Développement Durable

protéger la planète et garantir la prospérité. L'ODD 4 notamment vise une éducation de qualité et la cible 4.7 est formulée ainsi : « D'ici à 2030, faire en sorte que tous les élèves acquièrent les connaissances et compétences nécessaires pour promouvoir le développement durable, notamment par l'éducation en faveur du développement et de modes de vie durables, des droits de l'homme, de l'égalité des sexes, de la promotion d'une culture de paix et de non-violence, de la citoyenneté mondiale et de l'appréciation de la diversité culturelle et de la contribution de la culture au développement durable. » (ONU, 2015)

Bien que de multiples pistes conceptuelles existent, peu de travaux offrent une implémentation pratique directement utilisable dans le quotidien par les enseignant-es. La séquence proposée ici consiste à transformer une séquence de mathématiques dont le but est de construire des savoir-faire, la lecture et la réalisation de diagrammes, en une séquence développant en plus des compétences ED comme l'esprit critique et en apportant des savoirs sur la durabilité. Elle ouvre le dialogue entre les sciences naturelles et les sciences humaines, montre un pas possible vers le décloisonnement des disciplines nécessaire à la pensée complexe selon Morin (1999, 2005) en traitant de questions de société.

2 Cadre théorique

2.1 ED et institution scolaire

Depuis l'établissement de la volonté d'inclure l'ED dans l'enseignement obligatoire, celle-ci a été déclinée sous plusieurs formes : de l'enseignement de notions d'écologie en vue de développer le respect de l'environnement par une meilleure connaissance de son fonctionnement, en passant par l'enseignement dans la nature pour affermir le lien avec l'environnement dans les années 1980 à l'enseignement d'écogestes (Curnier, 2017). Ces différentes modalités d'inclusion dans les curricula n'ont jamais permis à l'ED de trouver une place réellement efficiente. Confrontée à la multiplication d'« éducations à »⁶ qui se développent dès les années 1990-2000, l'ED vue comme un ensemble de compétences se situe alors dans l'enseignement de la Formation générale mais se trouve dès lors diluée au travers des disciplines et, à l'instar des autres « éducations à », peu réalisée dans la pratique. Défendue par l'ONU comme étant « la réponse du secteur de l'éducation de l'UNESCO aux défis urgents et dramatiques auxquels la planète est confrontée » (UNESCO, 2022), il serait maintenant souhaitable que l'ED « propose une transformation profonde de l'institution scolaire qui s'inscrit dans la tradition humaniste et émancipatrice » (Varcher, 2012) et qu'un nouveau modèle éducatif capable de correspondre à un nouveau paradigme adapté aux défis du XXI^e siècle soit défini.

2.2 Distinction entre développement durable et durabilité

Le **développement durable** est le concept formulé comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la possibilité, pour les générations à venir, de pouvoir répondre à leurs propres besoins » (Brundtland, 1987). Ses trois piliers, économique, environnemental et social sont mis sur pied d'égalité, sans hiérarchie. Il implique la notion de développement et de croissance.

La **durabilité**, elle, est un état vers lequel tendre et se définit comme « un fonctionnement des sociétés humaines, en particulier dans leur relation à l'environnement naturel, qui assure leur stabilité à long terme, et rend possible l'épanouissement humain au travers des générations. Cela implique de maintenir l'impact des activités humaines dans les limites écologiques de la planète, tout en assurant les besoins fondamentaux de toutes et tous et en favorisant l'équité dans toutes ses dimensions. » (Centre de compétences en durabilité, 2025). La croissance économique ayant un impact sur la consommation de ressources et des conséquences environnementales, la durabilité est modélisée actuellement par des approches multidimensionnelles qui permettent la hiérarchisation et l'arbitrage. Le modèle utilisé ici est celui de la théorie du Donut (Raworth, 2017), proposé en 2017 par l'économiste Kate Raworth qui combine des limites planétaires à ne pas dépasser avec des frontières sociales à atteindre pour assurer un avenir durable et garantir un espace de vie sûr et juste pour l'humanité (Fig.1).

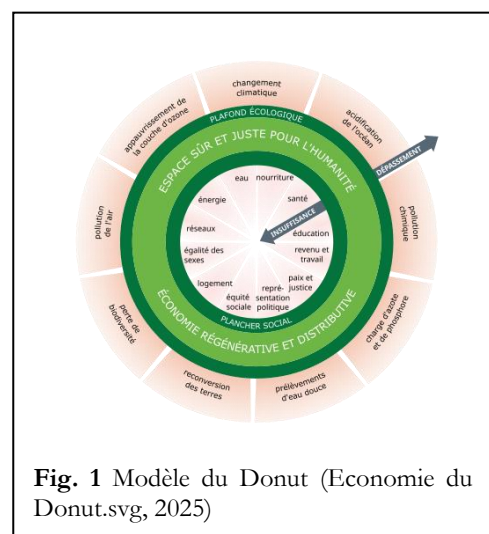


Fig. 1 Modèle du Donut (Economie du Donut.svg, 2025)

⁶ Educations à la santé, à l'économie, aux genres, ...

La durabilité se décline en durabilité faible et durabilité forte. La durabilité faible assume que les capitaux sociaux, économiques et environnementaux sont substituables et implique que les dommages environnementaux puissent être corrigés par des innovations technologiques ou des compensations financières. La durabilité forte définit d'une part que ces différents capitaux ne sont pas substituables et que certaines actions humaines entraînent donc des conséquences irréversibles sur l'environnement (Pelenc et al., 2015) et d'autre part que l'environnement sert de base à l'existence de la société, qui elle-même permet le fonctionnement de l'économie, selon le modèle du wedding cake (Stockholm Resilience Centre, 2025) (Fig.2).

Hors contexte scolaire, il est à noter que « indépendamment de ces réflexions scientifiques, les expressions « durabilité » et « développement durable » sont utilisées à ce jour de façon synonyme aux niveaux politique et juridique. » (Centre de compétences en durabilité, 2025)

Privilégiant l'approche scientifique dans le cadre scolaire, le concept de durabilité est choisi ici, d'où l'option de l'emploi de l'expression éducation à la durabilité, à l'instar de l'UNIL⁷ et de la HEP⁸ Vaud⁹. Le PER, la CIIP¹⁰ et éducation 21¹¹ utilisent le concept EDD, Education en vue d'un Développement Durable, qui dépasse l'acquisition de connaissances, intègre des valeurs et favorise l'investissement et l'action. L'Education au Développement durable est par contre considérée par certains comme limitée à l'acquisition de connaissances sur les problématiques et le concept (Pellaud, 2013), bien que l'UNESCO l'emploie comme ce qui « doit permettre à chacun d'acquérir les connaissances, compétences, attitudes et comportements nécessaires pour vivre d'une manière qui soit bonne pour l'environnement, l'économie et la société » en encourageant « à faire des choix intelligents et responsables pour créer un avenir meilleur pour tous. » (UNESCO, 2022).

2.3 Changement de paradigme

« Les modalités pédagogiques des *éducations à* doivent alors être adaptées à ces enjeux éducatifs, qui dépassent l'acquisition de connaissances et traitent de questions de société. » (Simonneaux, 2008). Faire entrer ces questions de société dans la classe nécessite parfois de s'opposer à certains enseignant-es ou savoirs établis, de considérer des interactions et d'intégrer des acteurs/trices et des enjeux aux perceptions différentes. Cela implique aussi de poser des questions auxquelles il n'existe pas de réponse unique ou optimale et qui engendrent incertitudes ou controverses. Ces compétences et les domaines qu'elles abordent nécessitent d'être enseignés ensemble, comme le présente Gutstein (Fig. 3). L'ED intègre ainsi les connaissances issues de la communauté, des savoirs établis et de la pensée critique. Chacune doit être traitée mais, plus important, doit être développée en lien avec chacune des autres. Cela représente donc « l'inverse d'une disciplinarisation des savoirs qui tend à rendre ces savoirs figés et neutres. » (Simonneaux, 2008) et nécessite de faire appel à la pensée complexe comme la définit Morin (2005).

2.4 Nécessité de l'interdisciplinarité

L'interdisciplinarité se trouvant freinée par les structures classiques de l'enseignement secondaire, la France a par exemple proposé que l'ED soit « généralisée sur les principes d'une intégration dans les enseignements existants (les programmes ne sont pas modifiés), du croisement des disciplines et de l'ouverture vers le débat et la collaboration avec des partenaires non scolaires. » (Circulaire du 8 juillet 2004, 2004) C'est le cas dans plusieurs pays européens puisque sur les 39 pays ou régions européennes concernés par le rapport Eurydice (European Commission, 2024), 41% considèrent la durabilité comme une valeur ou un objectif général de l'éducation, 74% la traitent comme un thème interdisciplinaire avec des instructions détaillées sur sa mise en place et 18% ne l'incluent pas dans leur curriculum de manière transversale. D'autre part, 36% intègrent les thèmes de durabilité par projets dans le programme d'études alors que 64% ne le font pas. Quelques pays ont mis en place un sujet propre à la durabilité dans leur programme scolaire comme le montre le tableau 1.

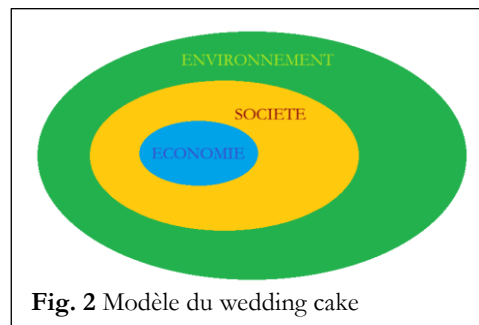


Fig. 2 Modèle du wedding cake

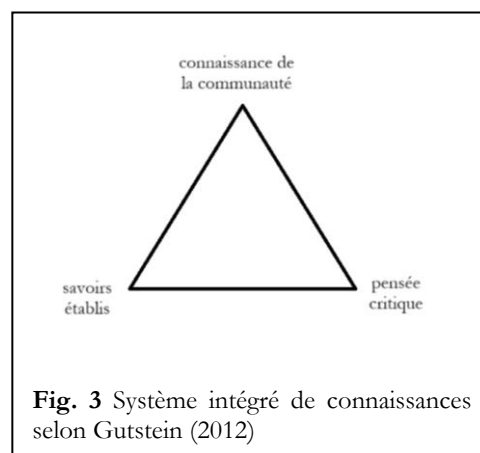


Fig. 3 Système intégré de connaissances selon Gutstein (2012)

⁷ UNIL : Université de Lausanne

⁸ HEP : Haute Ecole Pédagogique

⁹ Ce choix a une portée d'exemple et ne privilégie aucun des deux choix terminologiques comme modèle.

¹⁰ CIIP : Conférence intercantonale de l'instruction publique et de la culture de la Suisse romande et du Tessin

¹¹ Éducation21 : Centre national de compétences et de prestations pour l'Education en vue d'un Développement durable et agence spécialisée de la CDIP (Conférence des directrices et directeurs cantonaux de l'instruction publique).

Ce tableau montre que ce n'est une discipline obligatoire que dans un seul des neuf pays (Chypre) considérés, que cette discipline n'apparaît qu'au niveau secondaire (niveau ISCED¹² 2) et post-secondaire (niveaux ISCED 3 et 4) à l'exception de Chypre au niveau élémentaire (niveau ISCED 1) et que son titre l'assimile ou la restreint à l'étude de l'environnement dans 5 pays sur 9.

Tab.1 La durabilité comme une discipline spécifique (2022/2023) (European Commission, 2024)

Pays	Nom de la discipline (en anglais)	Niveau ISCED	Type d'enseignement
Chypre	Education for sustainable development	1	obligatoire
Espagne	Ecology and environmental sustainability	3,4	optionnel
Hongrie	Sustainability	3,4	optionnel
Islande	Creative sustainability	3,4	optionnel
Roumanie	Ecological education and environmental protection education	2,4	optionnel
Serbie	Education for sustainable development	3,4	optionnel
Slovénie	Environmental education	2,4	optionnel
	Study of the environment	3,4	optionnel
Suède	Sustainable society	3,4	obligatoire dans une spécialisation
Turquie	Environmental education and climate change	2,4	optionnel

Cependant, si « dans les textes officiels, l'éducation au développement durable envisage l'objet dans sa globalité et sa complexité », le risque subsiste que « pour trouver place dans les disciplines existantes, dotées de vulgate, il est désynchronisé, c'est-à-dire divisé en sous-thèmes différents qui ne sont plus liés explicitement entre eux. » (Considère & Tutiaux-Guillon, 2013) Pour essayer de donner une place efficiente à l'ED dans les institutions sous leur forme actuelle, l'ONU préconise cependant de l'intégrer dans les disciplines : « L'EDD doit se refléter dans les contenus que les enseignants doivent apporter et dans la pédagogie qu'ils/elles mettent en place. Une EDD intégrée dans les matières de base est une des manières les plus réaliste et efficace d'atteindre la cible 4.7 des ODD¹³. » (Mochizuki & Christodoulou, 2017). L'ED ne doit ainsi pas être une discipline scolaire en elle-même mais un sujet multidisciplinaire. Cela représente une « stratégie qui permet des possibilités de transformer le système éducatif de l'intérieur en ouvrant la voie à un curriculum interdisciplinaire, un apprentissage basé sur des problèmes et une approche institutionnelle globale. » (Mochizuki & Christodoulou, 2017)

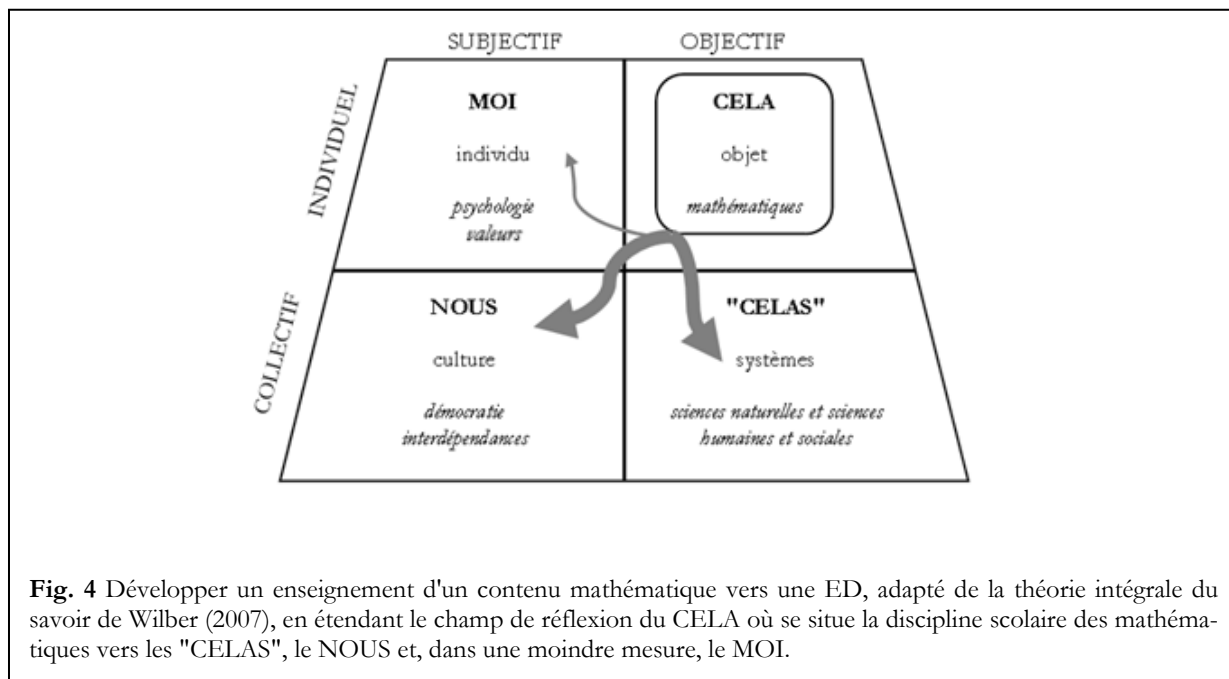
2.5 Rôle des mathématiques dans l'ED

Certaines disciplines prennent déjà en charge leur « part d'ED » car leurs contenus y tendent naturellement, comme les Sciences Humaines et Sociales (SHS, i.e. histoire et géographie) et les Sciences Naturelles (SN, i.e. biologie, physique, chimie). Des considérations précédentes découlent la question de savoir comment une discipline plus éloignée des contenus classiquement reliés aux thématiques de la durabilité comme les mathématiques peut elle aussi y contribuer. Il s'agit alors de développer son enseignement pour dépasser l'objet pur de cette discipline afin de l'intégrer dans une théorie intégrale du savoir comme peut la présenter Wilber (Fig. 4) (Phillips & Rejai, 2001).

¹² ISCED : International Standard Classification of Education (en français CITE, Classification Internationale Type de l'Éducation), système de classification des niveaux d'éducation de l'UNESCO, applicable à tous les pays.

¹³ ODD 4.7 D'ici à 2030, faire en sorte que tous les élèves acquièrent les connaissances et compétences nécessaires pour promouvoir le développement durable, notamment par l'éducation en faveur du développement et de modes de vie durables, des droits de l'homme, de l'égalité des sexes, de la promotion d'une culture de paix et de non-violence, de la citoyenneté mondiale et de l'appréciation de la diversité culturelle et de la contribution de la culture au développement durable.

A cela s'ajoute le fait que les mathématiques sont aussi un outil pour répondre à la complexité et faire des prédictions, ce qui peut être intéressant à montrer aux élèves, afin de dépasser leur vision limitée à l'emploi d'algorithmes utiles seulement pour modéliser une situation existante. L'UNESCO propose quatre outils et principes pour développer l'ED dans le curriculum mathématique, que ce travail propose d'utiliser comme lignes directrices : éviter la simplification, privilégier les contextes riches aux tâches simplifiées, développer la pensée critique et complexe et s'engager dans des problèmes réels (Mochizuki & Christodoulou, 2017).



2.6 Etat de la recherche

Vásquez et al. (2023) montrent que, si la recherche se préoccupe des liens entre l'enseignement des mathématiques et l'ED depuis peu, le nombre de publications (8 au maximum en 2020) reste faible en comparaison avec d'autres disciplines. Ils ajoutent que, si la majorité des études concerne le niveau primaire, peu se consacrent au niveau secondaire.

Li et Tsai (2022) confirment que « la durabilité et l'enseignement des mathématiques restent largement déconnectés dans les salles de classe », malgré les travaux antérieurs de Renert (2011) et Petocz et Reid (2003). Ces derniers soulignent que les élèves sont plus aidés à bien comprendre les problématiques de durabilité par des enseignant-es individuels qui « osent » mettre en œuvre ces idées que par l'efficacité des politiques institutionnelles.

Les publications consultées avancent en majorité une intégration possible, si ce n'est nécessaire, de l'ED dans l'enseignement des mathématiques, même si Su et al. (2023) concluent qu'elle « a connu des progrès limités ces derniers temps, ce qui entrave son application à grande échelle dans le contexte éducatif. ». Cependant, au-delà du caractère conceptuel qui met en avant les avantages de cette intégration, rares sont les exemples de mises en œuvre pratiques concrètes.

Cet article propose donc de présenter une manière de faire concrète qui vise à développer autant des savoirs propres aux problématiques de durabilité que des capacités et des savoir-être transformatifs.

3 Méthodologie

Des enseignant-es volontaires ont accepté de réaliser cette séquence et d'en évaluer la pertinence. Ils-elles ont reçu les documents suivants :

- Un guide pour l'enseignant-e
- Un fichier avec les exercices de la première partie pour les élèves
- Un corrigé des exercices, un fichier permettant la projection des diagrammes utilisés
- Un fichier .xls permettant d'adapter les diagrammes

La séquence propose de remplacer un apprentissage mathématique classique, celui de la lecture et réalisation de diagrammes, par une séquence¹⁴ d'environ 10 périodes qui se déroule en trois parties :

¹⁴ Voir Annexe 1.

1. Présenter des données ayant trait à la durabilité, réelles et concrètes, à la place de diagrammes « alibi » sans véritable valeur informative, en transformant neuf des douze exercices existants des Moyens d'Enseignement Romands (MER) de 10H pour conserver l'objectif mathématique en utilisant des données réelles liées aux limites planétaires et aux objectifs sociétaux. Le but est de construire des savoirs pour comprendre les systèmes (Herweg et al., 2017). Les données choisies sont issues de statistiques suisses (OFS¹⁵, OFE¹⁶) et internationales (diverses sources) ;
2. Accentuer la formation à l'esprit critique des élèves, par la définition d'aspects pouvant être abordés suivant leur niveau et par l'approfondissement de deux activités basées sur des exercices existants afin de développer spécifiquement cette capacité transversale ;
3. Profiter des données présentées pour développer une vision du futur en utilisant chaque occasion de questionner les élèves sur un futur possible, en utilisant des projections proposées par des chercheurs/euses et demander à l'élève de créer un futur possible en réalisant un poster avec des solutions qu'il-elle imagine pour un thème choisi. Le but de cette troisième partie est de mettre en place des savoirs pour transformer la société (savoirs des processus) et des savoirs pour penser le futur (savoirs des solutions) (Herweg et al., 2017).

Les lignes directrices de l'UNESCO (Mochizuki & Christodoulou, 2017) ont servi de cadre afin de modifier des moyens existants pour leur permettre d'intégrer l'ED : les exercices doivent s'insérer dans un contexte réel (ex : consommation d'eau potable), actuel (ex : sources d'énergie, GES¹⁷) et complexe (par ex : malnutrition, pollution de l'air), faire appel à des valeurs (ex : climatocéptisme), mettre à disposition des données réelles (ex : répartition des femmes au Parlement suisse) et concerner des activités humaines (par ex : changement d'affectation des terres), faire émerger des problématiques interdisciplinaires, permettre d'ouvrir le dialogue (ex : modes de déplacement). Il a été moins tenu compte d'autres indications comme la sensibilité à une possible marginalisation, l'accès possible aux problématiques, la collaboration, l'usage des technologies. Les principes de courage et de confiance sont aussi mis à l'épreuve dans la création d'un futur possible car l'élève doit imaginer s'impliquer dans ses choix.

3.1 L'échantillon

L'échantillon est constitué de six classes de 10H¹⁸ (13-14 ans) réparties dans quatre établissements du Valais central, deux situés dans des villes de plaine, un dans un village de plaine et un dans une vallée latérale. Cela représente 113 élèves, dont 56 filles et 57 garçons. Quatre classes (88 élèves) étaient de niveau pré-gymnasial et deux classes (25 élèves) de niveau pré-professionnel. Les six enseignant-es se sont porté(e)s volontaires pour réaliser la séquence et répondre à un questionnaire post-enseignement. Ils-elles ont enseigné en utilisant la séquence proposée, à la place des Moyens d'Enseignement Romands (MER), en fin d'année scolaire (mai-juin 2024).

3.2 Les données recueillies

Un questionnaire a été soumis aux enseignant-es après la réalisation de la séquence, avec quatre possibilités de réponses à cocher du type *Pas du tout (1) / Plutôt non (2) / Plutôt oui (3) / Tout à fait (4)* et la possibilité de formuler un commentaire pour certaines questions.

Les enseignant-es ont retourné des copies des travaux d'élèves (posters) réalisés dans la troisième partie (voir au point 3) ce qui a permis d'analyser de quelle manière les élèves sont capables de se projeter dans le futur, de faire des liens, d'utiliser des outils de pensée systémique et de proposer des solutions. Trente posters ont été analysés.

3.3 Les techniques d'analyse

Le questionnaire¹⁹ est divisé en trois sous-thèmes :

A. L'enseignant-e et la durabilité (4 items), afin de dresser un « portrait-robot » de la position de l'enseignant-e par rapport à la thématique de la durabilité ;

B. L'analyse de la séquence pour l'enseignant-e (9 items), qui interroge la clarté et l'efficacité des différents documents fournis aux enseignant-es ;

C. L'analyse de la séquence pour les élèves (21 items), qui questionne la stimulation des élèves, la clarté et le degré de difficulté de la séquence, l'atteinte des objectifs mathématiques et les potentialités d'amélioration des CT apportées par la séquence en termes d'esprit critique, de mise en liens, de pensée systémique et de projections dans le futur. Une appréciation qualitative des enseignant-es est demandée sur quelques aspects des travaux d'élèves : mise en liens de concepts, imagination d'un futur et proposition de solutions. La compréhension des concepts de durabilité est finalement questionnée : limites planétaires, objectifs sociétaux et ODD.

¹⁵ OFS : Office Fédéral de la Statistique (Confédération suisse)

¹⁶ OFE : Office Fédéral de l'Environnement (Confédération suisse)

¹⁷ GES : Gaz à Effet de Serre

¹⁸ 10H : 10^e année Harmos i.e. 10^e année de scolarité en Suisse romande (= niveau ISCED 2)

¹⁹ Voir Matériel supplémentaire

Malgré le nombre restreint de réponses ($n=6$), chaque item est analysé en termes de moyenne, médiane et variance. Un enseignant, spécialiste des mathématiques, a de plus analysé les documents de la séquence, sans la réaliser en classe, ce qui amène parfois une septième réponse dans les relevés de résultats.

Les travaux d'élèves sont utilisés afin d'illustrer et de corroborer les réponses des enseignant-es dans la partie C du questionnaire.

4 Résultats

4.1 Les enseignant-es et la durabilité

Les enseignant-es qui ont testé la séquence affirment avoir des connaissances en lien avec la durabilité et l'éducation à la durabilité plutôt bonnes à très bonnes ($n = 6/7$) ainsi qu'un intérêt plutôt marqué à fort ($n = 6/7$) pour ces sujets. Les informations fournies dans la séquence pour clarifier ces thèmes leur paraissent plutôt claires (moyenne = $3.3/4$). Un enseignant relève cependant que les informations fournies sur les concepts actuels (la théorie du Donut, les ODD, les limites planétaires, ...) lui ont montré qu'elles lui faisaient défaut.

Une grande majorité d'entre eux-elles intégrait déjà partiellement l'ED dans leur enseignement ($6/7$) : « chaque fois que l'occasion se présentait dans un exercice », en sciences naturelles, en sciences humaines et sociales, voire en sport ou en mathématiques, ou par des attitudes (photocopies, recyclage, moyens de transport lors de sorties extrascolaires, ...). Il est à relever que ces enseignant-es donnent pour la plupart aussi des cours de sciences naturelles ou de sciences humaines et sociales, disciplines « naturellement » liées à l'ED.

4.2 La vision de la séquence par les enseignant-es

Globalement satisfait-es par les documents didactiques fournis (indice de satisfaction de $3.3/4$) tels que les indications didactiques et les corrigés, les enseignant-es n'ont cependant que peu utilisé les moyens didactiques annexes tels que la présentation projetable avec les graphiques (médiane = « plutôt oui »), les étiquettes « Limites planétaires » et « Objectifs sociétaux », les liens avec la théorie du Donut (médiane = « plutôt non ») et l'extrait du Plan climat cantonal valaisan (médiane = « plutôt oui »).

La non-utilisation des moyens annexes est à relier avec l'appréciation du temps à disposition qui se révèle négative pour $2/3$ des enseignant-es. Ceux-ci ont utilisé plus ou moins d'heures que le quota proposé (10) mais l'un d'entre eux souligne que « les débats/discussions prennent énormément de temps ».

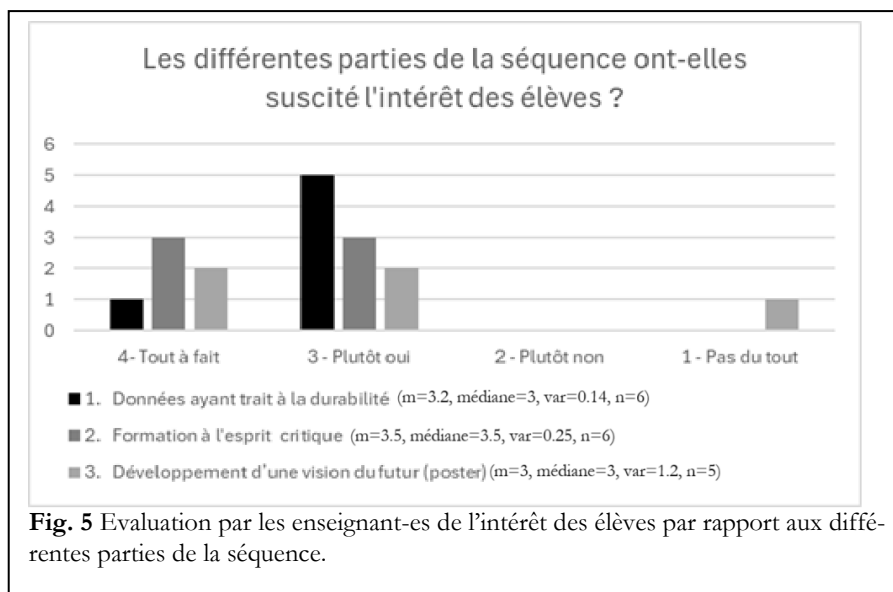
Les modalités de travail pour les élèves ont été jugées suffisamment diversifiées pour les élèves ($m=3.3/4$, médiane = $3/4$) ce qui est à relier avec l'intérêt et le plaisir de réalisation suscité chez les élèves (voir 5.3).

Par rapport à la problématique posée par cette recherche, la question « L'équilibre apprentissages mathématiques – aspects de durabilité est-il possible ? » montre un accord de la majorité des enseignant-es ($m=3.5/4$, médiane = $3.5/4$).

Les deux derniers résultats montrent que, du point de vue des enseignant-es, l'intégration des problématiques de durabilité dans la discipline des mathématiques est tout à fait réalisable sans porter préjudice à l'acquisition des contenus proprement disciplinaires, mais que cela demande cependant du temps. Un enseignant relève de plus que c'est « tout à fait possible, dans la mesure où les connaissances en durabilité de l'enseignant de math sont mises à jour ».

4.3 La réalisation de la séquence avec les élèves

La séquence propose d'intégrer trois aspects d'ED à l'apprentissage mathématique de lecture et de réalisation de diagrammes : des données réelles ayant trait à des problématiques de durabilité (voir 4.3.1), un développement de l'esprit critique (voir 4.3.2) et une vision du futur (voir 4.3.3). Ils donnent tous satisfaction aux enseignant-es en termes d'intérêt suscité chez les élèves comme le montre la Figure 5. Il est intéressant de constater que les résultats sont plus homogènes quand il s'agit de concepts plus facilement transposables didactiquement comme l'enseignement de données ayant trait à la durabilité ($var=0.14$) que lorsqu'il s'agit d'imaginer le futur ($var=1.2$). Les enseignant-es, comme les élèves, ont moins l'habitude de travailler dans ce sens. Il y aura donc matière à développer ces aspects dans la formation des enseignant-es pour y familiariser les élèves.



4.3.1 Données ayant trait à la durabilité

Les MER Mathématiques 9-10-11 (Corminboeuf et al., 2013) proposent douze exercices pour l'apprentissage de la lecture et de la réalisation de diagrammes. Neuf d'entre eux ont été modifiés pour conserver le même objectif d'apprentissage mathématique mais en utilisant des données réelles et dans certains cas proches des élèves. Trois exercices sont conservés tels quel car ils fournissent un autre apport culturel jugé intéressant (proportion des langues nationales en Suisse, calcul du prix d'un abonnement à partir d'un tableau de tarifs, superficies glacées relatives à la surface terrestre). Les corrigés sont fournis ainsi qu'un fichier projetable avec les graphiques. Cette transformation d'exercices a pour but d'apporter des savoirs pour comprendre les systèmes, selon Herweg et al. (2017), compétence jugée essentielle pour une ED efficiente selon l'UNESCO (Mochizuki & Christodoulou, 2017).

D'après l'appréciation des enseignant-es, ces exercices se sont révélés stimulants pour les élèves (indice de satisfaction $m = 3.2/4$, médiane = $3/4$, var = 0.16 pour $n=5$). Un enseignant ajoute que cet apport de données « est même très intéressant pour les élèves qui posaient des questions, apprenaient beaucoup de chose sur les gaz, les déplacements etc. Il y a du concret et du réel qui les a stimulés dans la branche de mathématiques ».

Cette partie peut rester très classique dans son enseignement car son but premier est l'acquisition de savoirs. Les autres compétences seront développées dans les deuxième et troisième parties de la séquence, qui favorisent mieux l'émancipation des élèves.

4.3.2 Formation à l'esprit critique

Des outils didactiques sont proposés pour former les élèves à poser un regard critique lorsqu'ils lisent des diagrammes, tels que : le projet Abradabab (Ninivert, 2025) de l'EPFL²⁰, Gapminder (Gapminder, 2023) et un exemple visuel de diagramme trompeur. Selon le niveau des élèves, différents points peuvent être abordés : axes du graphique (origines, limites, direction, espacement des marqueurs), pourcentages et valeurs absolues, forme graphique (effets de perspective en 3D, mauvaise estimation des surfaces circulaires), moyennes (dépendance aux valeurs extrêmes, médiane), taille des échantillons, notion de cadre de référence des données, ordres de grandeurs, incertitude et marge d'erreur, différence entre causalité et corrélation. Le but général, sans rentrer dans des considérations mathématiques hors de propos avec des élèves de cet âge, est de garder un regard critique et de se rappeler qu'un diagramme est parfois fabriqué pour appuyer un argument, donc perd potentiellement sa neutralité ou son objectivité.

Deux exercices des MER Mathématiques 10H ont été développés précisément dans le but de former à l'esprit critique selon la conception définie par éducation21 à savoir de développer « des idées indépendantes et une capacité de réflexion allant au-delà des expériences et des connaissances actuelles afin de concevoir des solutions innovantes » (Education 21, 2023) :

- le premier à propos des gaz à effet de serre en Suisse, pour cerner les avantages respectifs des diagrammes circulaires et des diagrammes en colonnes, distinguer une évolution de pourcentages et de valeurs nettes et appréhender l'importance du choix de la graduation des axes. Les élèves créent des diagrammes différents qui ont pour but de montrer des évolutions différentes des émissions de gaz à effet de serre à partir des mêmes données. Les enseignant-es se montrent satisfaits de cet exercice (indice de satisfaction $m = 3.2/4$, médiane = $3/4$, var = 0.47 pour $n=6$). Ce résultat se base sur la seule appréciation qualitative des enseignant-es.

²⁰ EPFL = Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

- le second à propos des moyens de locomotion utilisés en Suisse, pour mettre en pratique les connaissances acquises dans l'exercice précédent et discuter de la taille de l'échantillon (voir Annexe 4). Un diagramme est réalisé avec les données recueillies dans la classe et comparé ensuite au diagramme montrant les données à l'échelle nationale. Il est proposé de discuter des réalités géographiques locales et de choisir un mode de transport pour son propre futur afin d'engager personnellement l'élève dans un choix justifié. Seuls quatre enseignant-es ont réalisé cet exercice, jugeant qu'il développait tout à fait ($n=2$) ou plutôt ($n=2$) l'esprit critique des élèves.

Pour ces deux exercices, des étiquettes des neuf limites planétaires et des douze objectifs sociétaux selon la théorie du Donut sont proposées aux élèves pour qu'ils réalisent un schéma bilan avec celles qu'ils choisissent comme pertinentes en termes de causes ou conséquences des phénomènes concernés, dans le but de développer leur pensée complexe et de modifier leur rapport aux savoirs.

La réalisation du poster de la troisième partie de la séquence (voir 3) contribue également à la démarche réflexive que le PER définit comme ce qui « permet de prendre du recul sur les faits et les informations, tout autant que sur ses propres actions ; elle contribue au développement du sens critique. » (PER, 2010d). Dans son poster, l'élève peut « cerner la question, l'objet de la réflexion, cerner les enjeux de la réflexion, identifier les faits et en vérifier l'exactitude, explorer différentes options et points de vue [et] adopter une position » qui sont des descripteurs de l'élaboration d'une opinion personnelle définis par le PER (PER, 2010d).

Ces aspects de la séquence visent donc à développer diverses autres compétences nécessaires à l'ED selon l'UNESCO (Mochizuki & Christodoulou, 2017) : pensée critique, pensée complexe, changement de point de vue et réflexions sur les valeurs.

4.3.3 Développement d'une vision du futur

Comme les élèves d'aujourd'hui seront les adultes de demain, la séquence propose un prolongement pour développer une vision du futur dans une vision transformatrice, c'est-à-dire en pensant un nouveau paradigme et un nouveau modèle de société.

Chaque occasion de questionner les élèves sur un futur possible peut être utilisée : à quelle situation devrions-nous arriver ?, quelles solutions proposez-vous ?, quels moyens mettre en place pour y atteindre ce but ?. Les hypothèses avancées peuvent être analysées selon les aspects écologique, économique et social de la durabilité. Des diagrammes des situations passées sont présentés pour intégrer une approche historique.

Le travail de prévision des chercheurs/euses peut être présenté, ce qui permet aussi de montrer que les diagrammes, et les mathématiques dans un sens plus large, sont des outils de prévision et de projection. Les élèves sont invités à proposer des solutions pour parvenir à ces buts ainsi qu'à discuter des avantages, des inconvénients et de la faisabilité de ces solutions.

Pour terminer son travail, chaque élève est invité à choisir un thème parmi les neuf limites planétaires, les douze objectifs sociétaux de la théorie du Donut ou les dix-sept ODD de l'ONU, en fonction de ce qui a été présenté en classe. Pour ce thème, il/elle crée un poster avec un diagramme de la situation actuelle, un diagramme de la situation souhaitée à l'horizon 2030 / 2050 et les solutions qu'il/elle propose²¹. Pour les thèmes qui s'y prêtent, il est souhaitable de développer au niveau local. Pour certain-es élèves, une analyse des aspects écologiques, économiques et sociaux de leurs propositions est envisageable, en fonction de leur niveau, de leur intérêt ou de leur degré de proximité avec le thème.

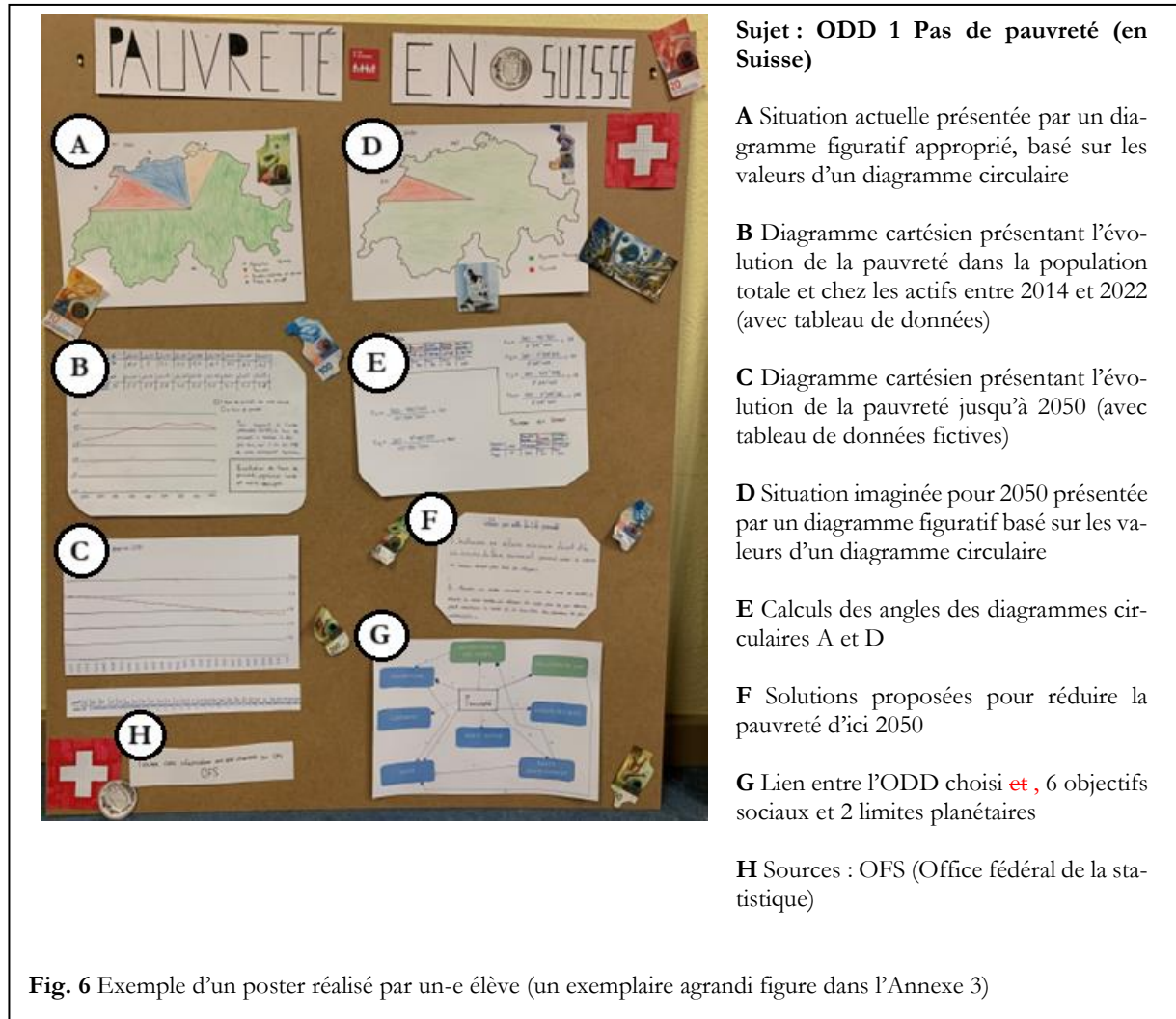
Seul-es trois enseignant-es ont eu le temps de faire réaliser ces posters. Deux sont tout à fait satisfait-es de la clarté des consignes et un-e plutôt non-satisfait-e. Les figures 6 et 7 montrent des exemples de réalisation et le relevé détaillé des réponses aux questions à propos des posters est présenté dans le tableau 2. Une sélection des 30 posters récoltés est disponible dans le Matériel supplémentaire.

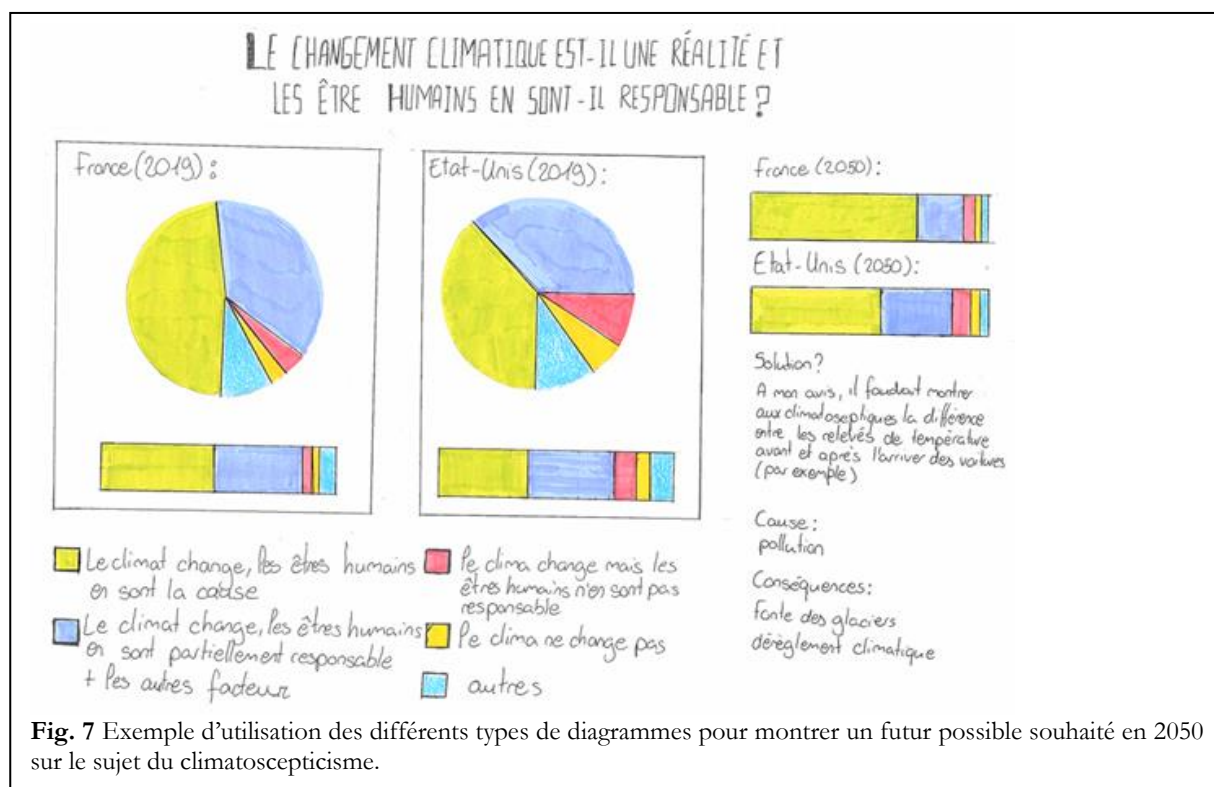
Tab.2 Relevé des réponses aux questions portant sur les posters « Vision du futur sur un thème de durabilité » réalisés par les élèves.

Question	n	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
Les diagrammes réalisés par les élèves dans leur poster sont-ils adéquats et bien réalisés ?	3		3		
Dans leur poster, les élèves ont-ils/elles réussi à faire des liens entre le thème choisi et d'autres ?	3		2	1	
Dans leur poster, les élèves ont-ils/elles imaginé un futur possible pour le thème traité ?	3		3		
Dans leur poster, les élèves ont-ils/elles réussi à imaginer des solutions pour le futur imaginé ?	3		3		

²¹ Voir les consignes dans l'Annexe 2

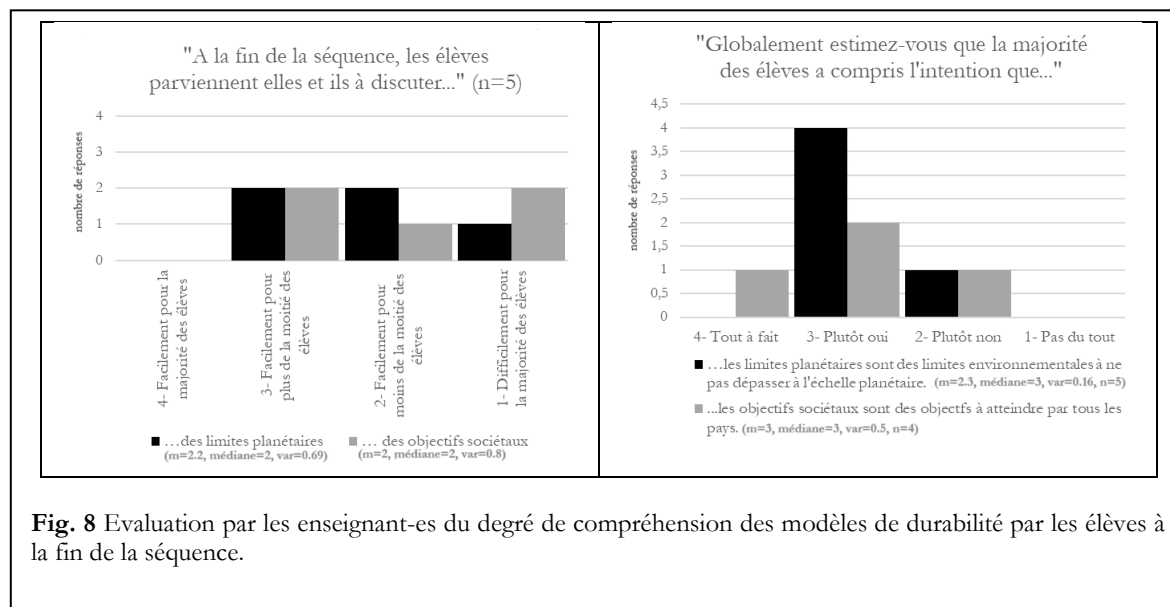
Il est intéressant de noter que les futurs possibles imaginés sont tous positifs. Ceci prend le contrepied d'études qui montrent le désespoir des adolescents face à la situation actuelle de la planète (Hickman et al., 2021). Les solutions ont toutes été jugées comme des « bonnes intentions » et aucune ne semblait ni « réalisable et concrète » ni « limitée à de simples écogestes ». Cela renforce donc l'intérêt de susciter la discussion pour différencier les vœux des solutions réalisables ainsi que de mettre en évidence les différentes contraintes inhérentes à tout projet. L'aspect utopique doit être mis en avant mais défini comme tel.





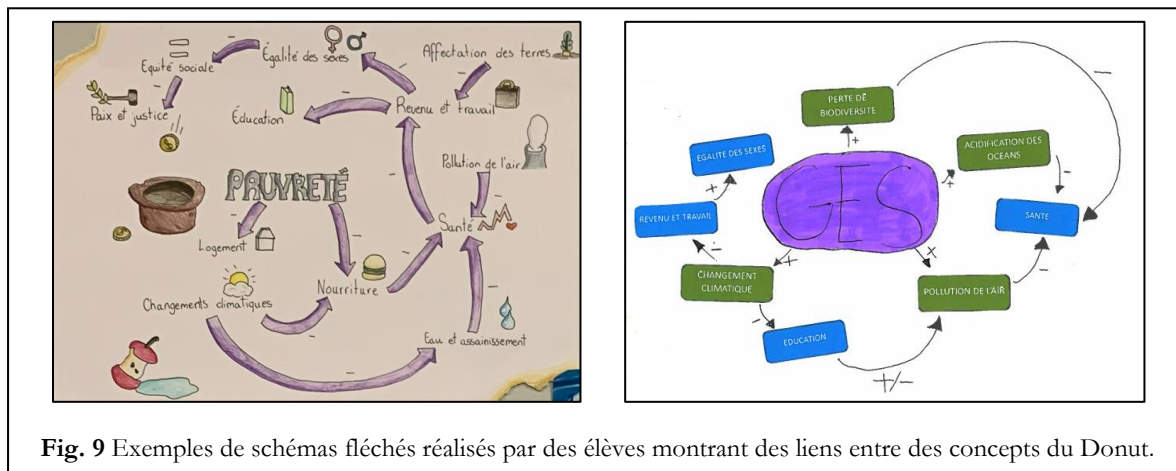
4.4 L'impact de l'intégration des aspects durabilité dans la séquence de mathématiques

Si la majorité des enseignant-es se montre en accord avec la possibilité de respecter l'équilibre entre les apprentissages mathématiques et les aspects de durabilité (voir 4.2) sans porter préjudice aux apprentissages mathématiques, l'évaluation de fin de séquence montre que les aspects de durabilité restent difficile d'accès pour les élèves. Les enseignant-es ont préféré présenter les thématiques de durabilité par le moyen des neuf limites planétaires et des douze objectifs sociétaux de la théorie du Donut que par les ODD. L'évaluation du degré de compréhension de ces modèles par les élèves est présentée dans la figure 8.



Les deux enseignant-es qui ont préféré utiliser les dix-sept ODD de l'ONU estiment que plus de la moitié des élèves arrivent plutôt facilement à en discuter et qu'ils ont plutôt compris l'intention d'atteinte de ces objectifs par tous les pays d'ici à 2030.

Une des capacités nécessaires à la compréhension de la durabilité est la pensée complexe, que certains élèves ont réussi à mobiliser, représentée par un schéma fléché comme le montre la figure 9. Si les relations exprimées par les flèches ne sont pas toujours correctes, la mise en lien des éléments et sa schématisation sont un premier pas dans l'apprentissage.



Ces résultats sont considérés comme plutôt positifs car les problématiques de durabilité sont complexes et ne peuvent évidemment pas être appréhendées en quelques heures. Si elles sont présentées et discutées dans l'enseignement des mathématiques comme dans d'autres enseignements, à titre de contenus transversaux, les concepts se construiront par étapes. Il faut rappeler que ces thématiques doivent être considérées comme un sujet interdisciplinaire (voir 2.4) et qu'il n'est pas attendu qu'une seule discipline permette d'en acquérir toutes les finalités.

5 Discussion et conclusion

5.1 Lire et créer des diagrammes mathématiques pour comprendre et appréhender la durabilité

Les activités réalisées dans la séquence proposée ont montré qu'il est possible d'intégrer les problématiques de durabilité dans l'enseignement d'une discipline comme les mathématiques.

Comme objectifs mathématiques, les apprentissages sont ceux prévus par le PER, c'est-à-dire « [la] lecture de données (*horaires, statistiques, ...*) et [l']interprétation de diagrammes » ainsi que la « réalisation de diagramme cartésien, en colonnes, [...] circulaire, en barre » et les attentes fondamentales visent à ce que les élèves soient capables d'« interpr[éter] correctement les données contenues dans un tableau ou un diagramme » et « repré[sente] une situation à l'aide d'un diagramme » (PER, 2010b). La figure 10 montre que ces objectifs sont majoritairement acquis (voir un exemple dans la figure 7). Seul le choix d'un diagramme adéquat n'est pas acquis de manière satisfaisante par les élèves mais ceci n'était pas un des buts recherchés et aucune activité d'enseignement ne permettait réellement de s'y exercer. Le poster réalisé en fin de séquence permet de se rendre compte si les élèves ont compris quel est le rôle de chaque type de diagramme.

Développer un esprit critique était un deuxième objectif visé, étant donné que cette capacité transversale est aussi reconnue comme un élément nécessaire à l'ED selon l'UNESCO (Mochizuki & Christodoulou, 2017).

Les enseignant-es jugent cet objectif entre « globalement » et « parfaitement atteint » (voir Fig.10), mais il n'en reste pas moins qu'une capacité telle que celle-ci nécessite un apprentissage transversal et vertical. Il ne peut clairement pas être atteint au travers d'une seule séquence, d'une durée aussi courte que celle-ci.

L'atteinte des objectifs d'ED, compris comme la connaissance des enjeux environnementaux et sociaux de la durabilité et la capacité de les discuter, auxquelles s'ajoute celle d'imaginer un futur possible, est jugée « partielle » à « globale » (voir Fig.10). De même que pour l'esprit critique, une seule séquence ne pourra pas, et ne devrait pas, traiter de la notion de durabilité dans son ensemble, mais plutôt y apporter sa contribution.

Les trois parties de la séquence (voir dans la méthodologie point 3) montrent que la durabilité peut être traitée en étant intégrée dans une discipline, même si celle-ci ne lui est pas « naturellement » liée. Les mathématiques apportent un regard propre sur les notions de durabilité par leur pouvoir de modéliser et prévoir. De même, les problématiques de la durabilité rendent les mathématiques plus concrets et plus proches de la réalité des élèves si les données numériques choisies sont adéquates.

Les exercices mathématiques avec des données choisies contribuent donc à faire comprendre ces problématiques. La réalisation du poster avec les diagrammes a permis ensuite aux élèves de s'inscrire dans les problématiques de durabilité en leur proposant d'imaginer un futur et de s'investir personnellement dans la proposition de solutions.

5.2 Contribution à l'état des connaissances

Il est montré ici que les mathématiques peuvent être enseignées en dépassant l'acquisition de connaissances spécifiques à la discipline et en traitant de questions de société. Alors que, à ce niveau d'enseignement, les élèves ont fortement intégré qu'il n'y a souvent qu'une seule réponse à un problème mathématique, faire entrer des questions de société comme la durabilité dans le cours de mathématiques peut montrer qu'il y a en fait souvent plus d'incertitudes ou de controverses que de réponses uniques. Le champ des intégrations de concepts est aussi à développer et les mathématiques offrent des outils de modélisation adéquats qui méritent d'être enseignés. Différents outils, autres que les diagrammes, peuvent d'ailleurs être mis au service de l'ED comme le montre la publication de l'UNESCO « Des maths pour agir : accompagner la prise de décision par la science » (Dhersin et al., 2023) ou le texte de Jenkins (Jenkins, 2015) : nombres (fractions, pourcentages, décimaux, ...), géométrie (position, propriétés des figures, solides, ...), mesures (aires, temps, ...), fonctions et algèbre, statistiques, ...

Si les mathématiques offrent des outils pour acquérir des notions sur la durabilité, on peut considérer que la durabilité permet aussi de mettre en évidence certaines caractéristiques de cette discipline et de dépasser son caractère uniquement scolaire en montrant qu'elle est un outil de compréhension commune entre les différentes sciences, de mesure du temps et de l'espace, de prédiction de l'inconnu, de compréhension des données via la statistique, de prise de décision et d'optimisation, ... Par rapport à la dimension planétaire des problématiques de durabilité, il est utile de relever l'universalité du langage mathématique, sa capacité à transcender les frontières culturelles, sa précision inégalée et, au regard des dimensions systémiques, son pouvoir d'abstraction et son rôle d'outil de communication entre les disciplines, traditionnellement la physique et la chimie, et aujourd'hui la biologie, l'économie, la sociologie, l'informatique, ... Si Eugene Wigner (1960) disait que la « déraisonnable efficacité des mathématiques dans les sciences de la

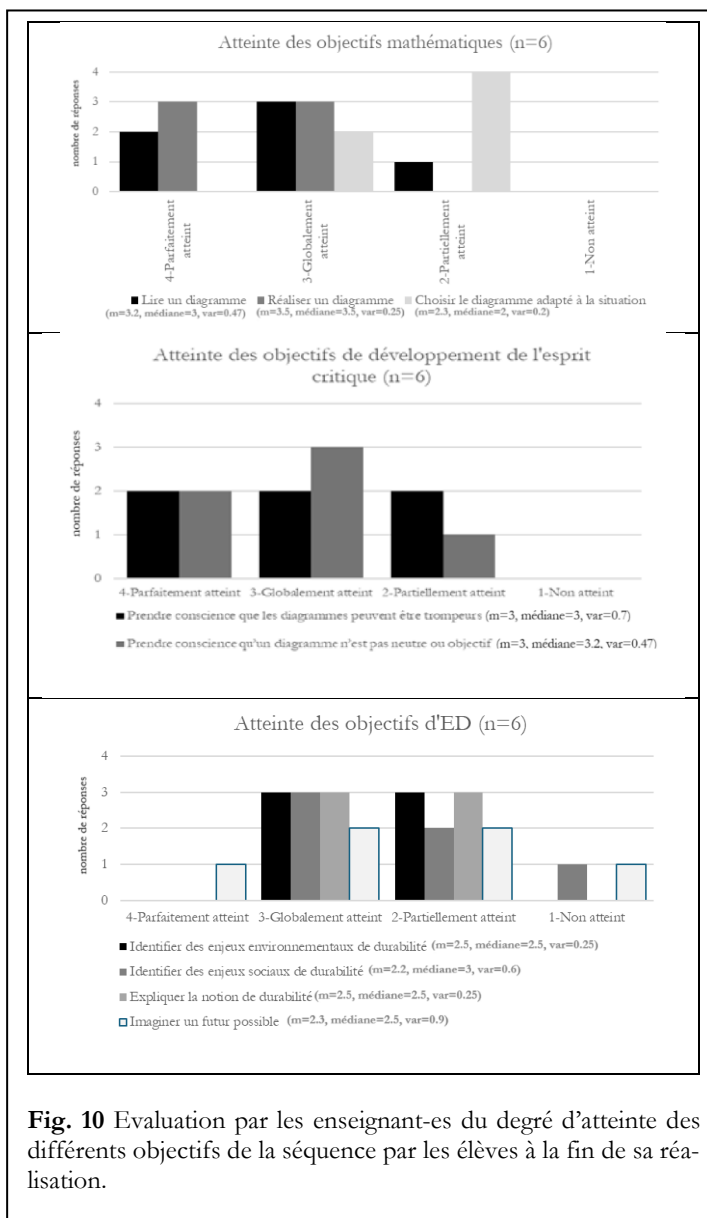


Fig. 10 Évaluation par les enseignant-es du degré d'atteinte des différents objectifs de la séquence par les élèves à la fin de sa réalisation.

nature est une chose presque mystérieuse », il est important que les élèves sachent aujourd’hui que « les mathématiques, avec leurs nombreuses applications techniques, sous-tendent désormais tous les domaines de notre vie. Avec les algorithmes, les mathématiques jouent un rôle clé dans l’intelligence artificielle et les bouleversements technologiques - et, alors que nous abordons des problèmes mondiaux tels que la pandémie de COVID-19 et le changement climatique, cela nous rappelle l’importance des mathématiques pour répondre aux défis de notre temps. » (Azoulay, 2021). Finalement, elles sont également motrices d’innovation et de créativité, nécessaires à l’imagination d’un futur viable partout et pour tous (Culot, 2022).

Ces développements de l’enseignement des mathématiques permettront donc de dépasser l’objet pur de cette discipline afin de l’intégrer dans une théorie intégrale du savoir qui concerne autant les mathématiques que les systèmes, les individus et la société comme le présente la Figure 4 et pourraient contribuer à promouvoir l’interdisciplinarité (voir 2.3 et 2.4). Cela nécessite cependant de sortir de la conception platonicienne des mathématiques qui veut que ses concepts soient autonomes et non issus du monde sensible et de montrer leurs liens avec la réalité. Introduire une réflexion sur les valeurs dans l’enseignement des mathématiques est aussi une direction qui permet d’intégrer la personnalité de l’élève dans les problématiques abordées.

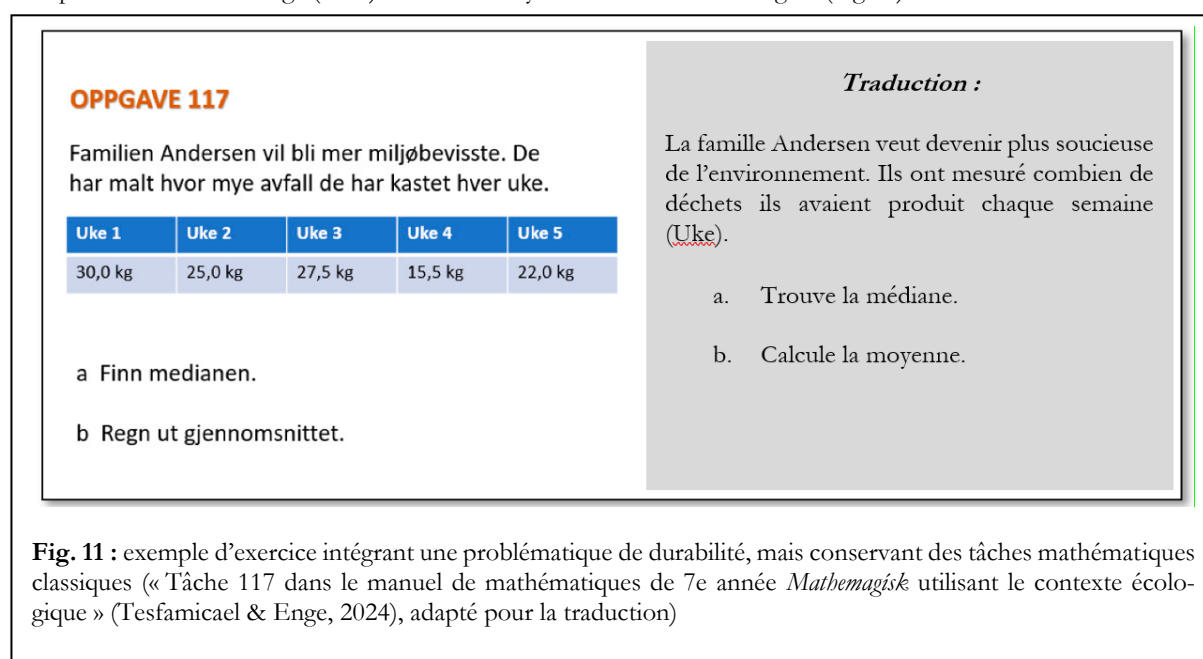
Les dimensions d’ED considérées dans les articles traitant de son lien avec les mathématiques sont en majorité des apprentissages de contenus (13/41), des environnements pédagogiques (14/41) et des résultats d’apprentissage (11/41), mais peu traitent de transformations sociales (3/41) selon Su et al. (2023). Ce dernier aspect mérite donc d’être considéré dans les dispositifs pratiques à mettre en place, ce que permet d’aborder la séquence de mathématiques proposée ici dans sa dernière partie, par la réalisation des posters.

5.3 Forces et limites de l’étude

La séquence proposée a permis d’introduire la durabilité dans l’enseignement, sans en faire une discipline propre, c’est-à-dire sans rajouter du contenu à évaluer et, dans une moindre mesure, sans rajouter de temps d’enseignement.

Selon l’appréciation des enseignant-es, elle a été réalisée avec plaisir par les élèves (indice de satisfaction de 3.5/4, médiane = 3.5/4, var = 0.25) et a suscité leur intérêt par rapport à la thématique (indice de satisfaction de 3.5/4, médiane = 3.5/4, var = 0.25). Il faut noter toutefois que les enseignant-es qui ont testé la séquence se sont portés volontaires, donc portaient forcément un intérêt pour la thématique et son application en classe.

Cette séquence est une proposition concrète de mise en pratique des différentes dimensions de l’ED dans une discipline. Elle veut dépasser le simple choix de contextes « durables » qui conservent les tâches disciplinaires classiques comme le font certains nouveaux moyens d’enseignement sous couvert d’intégrer la durabilité, ce que présentent par exemple Tesfamicael et Enge (2024) dans leur analyse du curriculum norvégien (Fig.11).



Comme le propose l’exercice à propos des moyens de locomotion modifié (voir 4.3.2 et Annexe 4), il est possible de dépasser l’apprentissage mathématique pour développer l’esprit critique, la pensée systémique, le lien avec les théories de durabilité (Donut, voir Fig.1) et permettre à l’élève de se projeter dans son propre futur en imaginant faire des choix.

La réalisation de posters dans la troisième partie de la séquence permet à l’élève de choisir une thématique et de s’y impliquer en se projetant vers son futur. L’apprentissage préalable de la réalisation de diagrammes lui permet normalement de se sentir à la hauteur de la tâche mathématique, ce qui complète ainsi les trois aspects de la théorie de l’autodétermination de Deci et Ryan : autonomie (la liberté du choix et la proposition de solutions), affiliation (lien

entre l'élève et son futur lié aux autres humains de la planète) et compétence (possibilité d'expression de ses apprentissages) (Deci & Ryan, 1996).

Le nombre restreint de classes testées ($n=6$) ainsi que le caractère local de cette recherche, limitée à une partie d'un canton suisse, empêche de faire des généralisations et condamne tout traitement statistique valable. La séquence créée peut cependant être améliorée et affinée au vu des remarques récoltées. Même si cette proposition visait à offrir un outil concret aux enseignant-es, la conception des activités doit in fine rester variable et adaptée aux différents contextes locaux. Si cela est possible en Suisse romande, cela est donc aussi possible ailleurs, moyennant une volonté de transformer concrètement les moyens d'enseignement.

Si l'équilibre apprentissages mathématiques – aspects de durabilité s'est révélé possible selon la majorité des enseignant-es (voir 4.2) et pas plus compliqué pour les élèves de niveau pré gymnasial, il s'avère que, pour les élèves de niveau pré professionnel, la séquence est jugée plus compliquée que s'ils avaient réalisé les exercices des MER. Cela pose la question des connaissances nécessaires à la compréhension des thématiques de durabilité, tant au niveau des savoirs que des savoir-faire pour la mise en lien de concepts dans une optique de développement de la pensée complexe. La différence entre les niveaux pré gymnasial et pré professionnel est aussi à prendre en compte dans l'ensemble des résultats puisqu'il est certainement plus aisé d'introduire la thématique de la durabilité avec des élèves de niveau pré gymnasial sans porter préjudice aux apprentissages mathématiques. Leur niveau de compréhension est aussi plus élevé, ce qu'on ne peut en revanche pas affirmer pour l'intérêt porté aux différents sujets traités. Par rapport aux résultats globaux, il faut rappeler qu'il y avait deux fois plus de classes de niveau pré gymnasial ($n=4$) que de classes de niveau pré professionnel ($n=2$) qui ont testé la séquence.

La sensibilisation à la durabilité est effective sans pour autant agir dans un sens de durabilité forte, qui rajouterait un niveau de complexité et qui nécessiterait donc du temps supplémentaire. Cette dernière problématique reste bien réelle puisque les remarques des enseignant-es montrent que, s'ils ont réalisé l'essentiel de la séquence, le temps leur a manqué pour « aller au fond des choses », les discussions et débats prenant effectivement du temps. La distinction entre durabilité faible et durabilité forte n'est d'ailleurs pas abordée, avant tout afin de ne pas compliquer la tâche des enseignant-es. Certains ont d'ailleurs mentionné que, malgré leur intérêt, certaines connaissances leur faisaient défaut.

En lien avec ce problème de temps, la séquence ne proposait pas particulièrement de pédagogie particulière, laissant les enseignant-es libres de leur manière de faire. Ceci implique que les pédagogies puissantes suggérées par Nolet (2015) n'ont pas forcément été mises en œuvre, comme par exemple l'apprentissage en petits groupes, par expérience, des enquêtes, même si elles auraient peut-être contribué à plus d'implications, de mise en liens et de collaboration dans les posters. L'aspect de formation des enseignant-es ne devra donc pas être négligé dans une future implémentation des problématiques de durabilité dans une discipline, tant au niveau des contenus (ODD, théorie du Donut, ...) que des pédagogies.

Concernant l'apprentissage de l'esprit critique, les activités proposées permettent aux élèves de progresser dans l'élaboration d'une opinion personnelle mais les aspects de remise en question et de décentration de soi définis par le PER sont moins abordés, même s'il est possible lors des discussions de « renoncer aux idées préconçues, [de] comparer son opinion à celles des autres, [de] faire place au doute et à l'ambiguïté, [de] reconnaître ses préjugés et [de] comparer son jugement à celui des autres [et] d'exploiter différentes opinions et points de vue possibles ou existants » (PER, 2010d). « Comparer les chemins, les procédures et les stratégies utilisées par d'autres » pourrait se réaliser si la séquence comportait un aspect didactique qui favorise plus la participation, ce qui est parfaitement envisageable mais dont la faible part constitue aussi un point faible de cette séquence.

Finalement, il est évident qu'une telle séquence, du fait de la courte durée de sa réalisation et son caractère limité à une seule classe, ne remet pas en cause le paradigme de l'enseignement actuel dans l'institution (voir 2.2) ni d'ailleurs celui de la modernité, car « la confrontation du système économique productiviste aux limites planétaires, ainsi que les inégalités croissantes qu'il produit, nécessite de sortir du paradigme moderne pour repenser l'organisation sociale en général et l'institution scolaire en particulier » (Curnier, 2017).

5.4 Implications sur la recherche future et les pratiques en classe

Cette recherche basée sur la pratique a montré qu'il était possible de commencer à faire comprendre les problématiques de durabilité dans une discipline telle que les mathématiques, mais aussi de contribuer à faire vivre cette discipline comme signifiante dans la réalité actuelle du monde.

Différents principes pédagogiques et didactiques de l'ED ont été appliqués ici comme un apprentissage basé sur des données scientifiques, une prise en compte de différentes dimensions (sociale, économique, environnementale, spatiale, historique, culturelle, ... selon les thèmes traités), un enseignement centré sur l'élève (données locales, choix personnalisés du thème du poster, ...), la possibilité de questionnement sur les valeurs, le développement d'un futur et de pistes de solutions envisageables ou souhaitées. Certains autres principes n'ont pas pu être pris en compte comme la participation, l'apprentissage par la découverte, la pluralité des positions, les questions de genre, ... Il est donc essentiel que la durabilité soit un champ pris en charge par plusieurs disciplines et traitée de manière pluridisciplinaire ou mieux, interdisciplinaire. Si cette pratique s'étend à plusieurs champs d'enseignement, ces thématiques pourront être mieux

comprises et la mise en liens se fera plus facilement. Cependant le développement de la pensée complexe, ainsi que de l'esprit critique devra aussi faire l'objet d'une prise en charge reconsidérée par les différents enseignements.

Il importe donc que les recherches futures portent sur une véritable implémentation des capacités transversales dans la réalité de l'enseignement ainsi que sur une mise en pratique de l'interdisciplinarité. Ces deux aspects nécessitent des compétences du personnel enseignant pour l'intégration des capacités transversales dans leur pratique, mais aussi des outils à leur fournir pour une création explicite de liens, même entre disciplines qui ne sont pas celles propres à l'enseignant-e individuel-le. Une petite majorité des instituts de formation pédagogiques suisses le propose déjà aux enseignant-es en formation initiale ou en formation continue et cela mériterait d'être encore développé. La recherche doit aussi montrer comment faire acquérir cela aux enseignant-es en formation, même lorsqu'ils/elles sont issu-es de spécialisations universitaires diverses.

Intégrer l'ED dans une discipline, puis dans une autre, est donc un premier pas réalisable sur le chemin d'un enseignement interdisciplinaire, qui seul permettra de comprendre des thématiques complexes comme la durabilité.

Le pas supplémentaire sera de réfléchir à une révision de la structure disciplinaire de l'institution scolaire face à la réalité des problématiques environnementales et sociétales du monde actuel.

Annexes

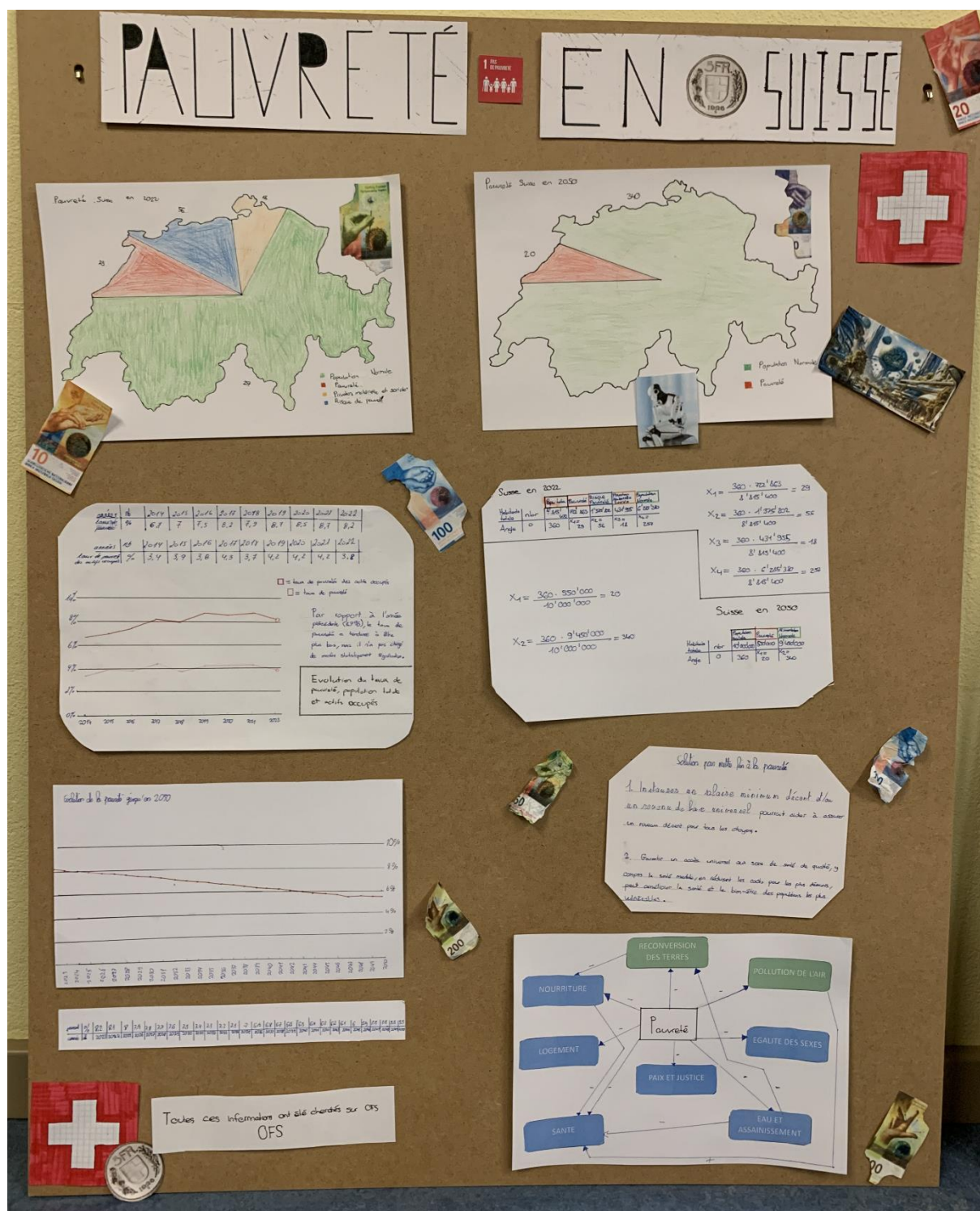
Annexe 1 : Synopsis de la séquence

Objectifs d'apprentissage	L'élève sera capable de : - lire et interpréter des diagrammes de différents types - réaliser des diagrammes cartésiens, en colonnes et circulaires - poser un regard critique sur des diagrammes (axes, valeurs ou %, taille des échantillons, intention, sources, ...) - faire des liens entre des concepts et les schématiser - imaginer des solutions et des futurs possibles par rapport à des questions de durabilité - comprendre l'utilité des diagrammes dans un usage de modélisation mathématique pour le futur
Enjeu(x) de durabilité abordés	ODD ¹ (PPT 3), limites planétaires et plancher social (thème précis en fonction des choix des élèves)
Compétences travaillées	- ED ² : analyse systémique, anticipation, réflexion critique, transdisciplinarité - Capacités transversales (PER) : pensée créatrice, communication, démarche réflexive
Déroulement	~10 périodes
Matériel des élèves	Mathématiques 9-10-11, Livre et Fichier 10H Fiches adaptées pour les exercices (fichier élève) Matériel de géométrie Stylos de couleurs Calculatrice
Matériel de l'enseignant	Corrigés et diagrammes supplémentaires à fournir aux élèves (fichier corrigé, PPT et fichier Excel) Feuilles A3 Etiquettes « Limites planétaires » et « Objectifs sociétaux » Plan climat cantonal valaisan

Annexe 2 : Consignes pour la réalisation du poster

1. Tu as choisi un des 17 ODD.
2. Tu présentes la situation actuelle par le diagramme le plus approprié.
3. Tu fais le lien sur un schéma entre l'ODD choisi et 3-4 autres (cause - conséquence).
4. Tu imagines la situation en 2050, que tu présentes par le diagramme le plus adapté.
5. Quelles solutions proposes-tu pour arriver à ce but en 2050 ?

Annexe 3 : Exemple de poster



Annexe 4 : exemple de l'exercice FA 95 modifié

Fichier élève

FA 95 : A pied, à vélo, en voiture

Les statistiques permettent d'établir quels sont les moyens de transport utilisés principalement par la population suisse.

Moyens de transport	2020
automobile	72%
bus et trams	3%
motocycles	1%
vélos	2%
à pied	5%
chemin de fer	12%
autres	5%

Source : OFS

- Représente la situation par un diagramme de ton choix.
- Pour une population active d'environ 6 millions d'habitants, combien de personnes de chaque catégorie cela représente-t-il ?
- Compare avec le diagramme fourni par ton enseignant-e pour 2005.

Indications didactiques pour l'enseignant-e**FA 95 : A pied, à vélo, en voiture** (voir fichier élève)

1° Réaliser un sondage dans la classe sur les moyens de transport des parents des élèves et réaliser un diagramme (alternative : l'enseignant-e réalise les diagrammes sur Excel avec les données de la classe pendant que les élèves effectuent la partie 2).

2° Réaliser l'exercice FA 95 selon la fiche.

3° Présenter tous les diagrammes et les comparaisons à la classe et faire critiquer les diagrammes réalisés de manière constructive. Discuter des avantages respectifs des diagrammes circulaires et en colonnes (les deux types sont fournis pour 2005 – PPT 24).

4° Comparer avec le diagramme réalisé avec les données de la classe. Discuter de la taille et du choix de l'échantillon en intégrant la réalité géographique de la classe.

5° Demander aux élèves de créer un schéma bilan des causes et des conséquences écologiques, économiques et sociales du choix du moyen de transport. Relier ensuite les étiquettes utilisées aux limites planétaires et aux objectifs sociétaux abordés dans l'exercice FA 93. L'enseignant-e peut leur demander où insérer ensuite quelques étiquettes supplémentaires (fichier élève ou Annexe 2 – PPT 35-36) qu'il juge pertinentes en fonction des connaissances des élèves.

6° Demander aux élèves de choisir le moyen de transport qu'ils utiliseront dans leur vie d'adultes et de justifier leur choix.

Remerciements

L'auteure remercie les huit enseignant-es qui ont accepté de réaliser cette séquence et de répondre au questionnaire, même si seuls sept ont pu le faire effectivement suite à un accident : Berclaz C., Bruttin D., Errante D., Jeandroz M., Juillard J., Piasenta G. et Teixeira J.

Les outils utilisés pour l'implémentation de l'ED dans l'enseignement ont été fournis par Nadia Lausset et Gaëlle Serquet dans le cadre du CAS de la Haute Ecole Pédagogique du canton de Vaud « Agir pour la durabilité en milieu scolaire ». L'auteure remercie ces deux personnes pour les réflexions et discussions autour de ce projet.

Matériel supplémentaire

Le questionnaire adressé aux enseignant-es ainsi qu'une sélection des 30 posters récoltés et analysés sont disponibles.

Références

- Azoulay, A. (2021). *Les maths pour un monde meilleur : la Journée internationale des mathématiques célébrée dans le monde entier le 14 mars*. UNESCO. <https://www.unesco.org/fr/articles/les-maths-pour-un-monde-meilleur-la-journee-internationale-des-mathematiques-celebree-dans-le-monde>, consulté le 1 juillet 2025.
- Brundtland, G.H. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Geneva, UN-Dokument A/42/427.
- Centre de compétences en durabilité (CCD) – UNIL. (2025). <https://www.unil.ch/unil/fr/home/menuinst/universite/organisation-universite/unites-et-services/centre-de-competence-en-durabilite.html>, consulté le 14 avril 2025.
- Circulaire du 8 juillet 2004. (2004). *Généralisation d'une éducation à l'environnement pour un développement durable (EEDD) – rentrée 2004*. Bulletin officiel n°28. Ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse. <https://www.education.gouv.fr/bo/2004/28/MENE0400752C.htm>
- Considère, S. et Tutiaux-Guillon, N. (2013). L'éducation au développement durable : entre « éducation à » et disciplines scolaires. *Recherches en didactiques*, 15(1), 111-133. <https://doi.org/10.3917/rdid.015.0111>.
- Corminboeuf, I., Lecoultré, C., Mante, M. & Odiet, D. (2013). *Mathématiques 10^e (livre élève et fichier élève)*. Loisirs et Pédagogie SA (LEP).
- Culot, A. (2022). *Les mathématiques multiplient les innovations*. CNRS Le Journal. <https://lejournel.cnrs.fr/nos-blogs/de-la-decouverte-a-linnovation/les-mathematiques-multiplient-les-innovations>, consulté le 1 juillet 2025.
- Curnier, D. (2017). Éducation et durabilité forte : considérations sur les fondements et les finalités de l'institution. *La Pensée écologique*, 1(1), 252-271. <https://doi.org/10.3917/lpe.001.0252>.
- Deci, E.L. & Ryan, R.M. (1996). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Plenum Press.
- DFJC, Cellule durabilité. (2021). *Éducation à la durabilité et PER : Eclairages et points d'appui*. https://dfjc-files.sos-ch-gva-2.exo.io/s3fs-public/2021-10/Guide-EducationDurabilitePER_VF.pdf
- Dhersin, J.-S., Kaper, H., Ndifon, W., Roberts, F., Rousseau, C. & Ziegler, G.M. (2023). *Des maths pour agir : accompagner la prise de décision par la science*. UNESCO.
- Economie du Donut.svg. (2025). *Wikimedia Commons*. https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Economie_du_Donut.svg&oldid=1054232848, consulté le 14 avril 2025.
- Education 21. (2023). *Compétences EDD*. Education21.ch. <https://www.education21.ch/fr/competences-edd>, consulté le 1 juillet 2025.
- European Commission: European Education and Culture Executive Agency, Parveva, T., Birch, P., Horváth, A., Piedrafita Tremosa, S., & Sigalas, E. (2024). *Learning for sustainability in Europe : building competences and supporting teachers and schools : Eurydice report*. Publications Office of the European Union. En ligne : <https://data.europa.eu/doi/10.2797/81397>
- Gapminder. (2023). *Gapminder: Unveiling the beauty of statistics for a fact based world view*. <https://www.gapminder.org/>, consulté le 14 avril 2025.
- Gigon, P., Jenny, S., Jilli, V. & Pache, A. (2019). *Guide EDD-PER Propositions de mise en œuvre en lien avec le PER*. Éducation21. https://www.education21.ch/sites/default/files/uploads/pdf_fr/edd/guide-edd-per/GUIDE%20EDD-PER_DEF.pdf
- Gutstein, E. (2012). Connecting Community, Critical, and Classical Knowledge in Teaching Mathematics for Social Justice. In: S. Mukhopadhyay, W.M. Roth, (Eds) *Alternative Forms of Knowing (in) Mathematics*. *New Directions in*

- Mathematics and Science Education*, vol 24. SensePublishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-921-3_15
- Herweg, K.G., Zimmermann, A.B., Lundsgaard-Hansen, L.M., Tribelhorn, T., Hammer, T., Tanner, R.P., Trechsel, L.J., Bieri, S. & Kläy, A. (2017). *Integrating Sustainable Development into higher education – Guidelines with in-depth modules for the University of Bern*. Bern: Foundations. https://www.bne.unibe.ch/unibe/portal/microsites/BNE/content/e497824/e504014/e1361436/e1361438/pane1361439/e1361441/online_2017_Guidelines_UniversityofBern_eng.pdf
- Hickman, C., Marks, E., Pihkala, P., Clayton, S., Lewandowski, R. E., Mayall, E. E., Wray, B., Mellor, C., & van Susteren, L. (2021). Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: A global survey. *The Lancet Planetary Health*, 5(12), 863–873. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(21\)00278-3](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(21)00278-3)
- Jenkins, K. (2015). How to Teach Education for Sustainability. In: N. Taylor, F. Quinn, C. Eames, (Eds) *Educating for Sustainability in Primary Schools*. SensePublishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-046-8_3
- Li, H. C., & Tsai, T. L. (2022). Education for sustainable development in mathematics education : what could it look like ? *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(9), 2532–2542. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1941361>
- Mochizuki, Y. & Christodoulou, E. (2017). *Textbooks for sustainable development a guide to embedding*. New Dehli: Mahatma Gandhi Institute of Education for Peace and Sustainable Development / UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000259932/PDF/259932eng.pdf.multi>
- Morin, E. (1999). *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*. UNESCO
- Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. Seuil.
- Ninivert. (2025). *GitHub – ninivert/abradatabra : BD de vulgarisation sur les graphiques et les données*. <https://github.com/ninivert/abradatabra>, consulté le 14 avril 2025.
- Nolet, V. (2015). *Educating for Sustainability: Principles and Practices for Teachers (1st ed.)*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315867052>
- ONU. (2015). *Objectifs de développement durable*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>, consulté le 14 avril 2025.
- Pelenc, J., Balet, J. & Dedeurwaerdere, T. (2015). *Weak versus Strong Sustainability*. ONU. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3265.2009>
- Pellaud, F. (2013). Enseigner le développement durable ou éduquer en vue d'un développement durable ? In S. Baumann, A. Schneider, & F. Bourqui (Leitung), *Bases didactiques pour l'éducation en vue d'un développement durable dans la formation des enseignant-e-s*. Consortium EDD de la COHEP, Zürich/Fribourg.
- PER. (2010a). *Plan d'études romand*. <https://portail.ciip.ch/per/domains>, consulté le 1 juillet 2025.
- PER. (2010b). *MSN 33 - Résoudre des problèmes numériques et algébriques*. <https://portail.ciip.ch/per/learning-objectives/51>, consulté le 8 octobre 2024.
- PER. (2010c). *Formation générale*. <https://portail.ciip.ch/per/domains/6>, consulté le 22 avril 2024.
- PER. (2010d). *Capacités transversales*. <https://portail.ciip.ch/per/transversal-capacities/11417>, consulté le 1 juillet 2025.
- Petocz, P. & Reid, A. (2003). What on earth is sustainability in mathematics education ? *New Zealand Journal of Mathematics* (32), 135-144.
- Phillips, K., & Rejai, M. (2001). Review of A Theory of Everything: An Integral Vision for Business, Politics, Science, and Spirituality, by K. Wilber. *Politics and the Life Sciences*, 20(2), 248–251. <https://www.jstor.org/stable/4236650>
- Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Random House Business Books.
- Renert, M. (2011). Mathematics for life : Sustainable mathematics education. *For the Learning of Mathematics* (31), 20-26. <https://doi.org/10.2307/41319547>
- Simonneaux, J. (2008). Durabilité, citoyenneté, environnement... des perspectives éducatives communes. *Pour*, 198(3), 114-121. <https://doi.org/10.3917/pour.198.0114>
- Stockholm Resilience Centre. (2016). The SDGs Wedding Cake. <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html>, consulté le 1 juillet 2025

- Su, C. S., Díaz-Levicoy, D., Vásquez, C., & Hsu, C. C. (2023). Sustainable Development Education for Training and Service Teachers Teaching Mathematics: A Systematic Review. *Sustainability*, 15(10), 8435. <https://doi.org/10.3390/su15108435>
- Tesfamichael, S. A., & Enge, O. (2024). Revitalizing Sustainability in Mathematics Education : The Case of the New Norwegian Curriculum. *Education Sciences*, 14(2), 174–174. <https://doi.org/10.3390/educsci14020174>
- UNESCO. (2022). *Education au développement durable*. <https://www.unesco.org/fr/sustainable-development/education>, consulté le 14 avril 2025.
- Varcher, P. (2012). *La « Qualité de l'éducation ». Une analyse du débat actuel et une réflexion prospective pour la période « post-2015 »*. Berne: Commission suisse pour l'UNESCO & Direction du développement et de la coopération (DDC).
- Vásquez, C., Alsina, Á., Seckel, M.-J., & García-Alonso, I. (2023). Integrating sustainability in mathematics education and statistics education: A systematic review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(11), em2357–em2357. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13809>
- Wigner, E.P. (1960). The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences. *Comm. Pure Appl. Math.*, 13: 1-14. <https://doi.org/10.1002/cpa.3160130102>