



HAL
open science

Silva Numerica : une ressource pour une progressivité de l'apprentissage de la forêt du collège à la formation professionnelle ?

Jean-François Métral, Fanny Chrétien, Dominique Guidoni-Stoltz

► To cite this version:

Jean-François Métral, Fanny Chrétien, Dominique Guidoni-Stoltz. Silva Numerica : une ressource pour une progressivité de l'apprentissage de la forêt du collège à la formation professionnelle ? : Rapport sur l'expérimentation didactique d'usage de Silva Numerica conduite au lycée et au collège. Institut Agro Dijon. 2022. hal-03898947

HAL Id: hal-03898947

<https://institut-agro-dijon.hal.science/hal-03898947>

Submitted on 14 Dec 2022

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

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



Projet Silva Numerica

Silva Numerica : une ressource pour une progressivité de l'apprentissage de la forêt du collège à la formation professionnelle ?

Rapport sur l'expérimentation didactique d'usage de Silva Numerica conduite au lycée et au collège

Jean-François Métral

Fanny Chretien

Dominique Guidoni-Stoltz

Unité de recherche Formation et apprentissages professionnels,

L'Institut Agro Dijon

Octobre 2022



Résumé

L'une des ambitions du projet Silva Numerica est de produire un EVE utile, utilisable et acceptable visant l'apprentissage de la forêt et de sa gestion durable à différents niveaux de formation : de la 6ème à la formation professionnelle post-bac.

Dans cette perspective, l'examen des conceptualisations des professionnels de la sylviculture relatives à la gestion de la forêt dans une perspective de développement durable, associée à celle des référentiels de formation et à une analyse bibliographique, ont montré que plusieurs concepts relatifs aux processus bioécologiques sont centraux dans la compréhension de la dynamique d'une forêt. Ceux-ci pourraient faire l'objet d'une "progressivité" de leur apprentissage du collège, au lycée (filière technologique STAV) et jusqu'en formation professionnelle (BTS Gestion Forestière).

Sur cette base, une expérimentation didactique a été élaborée avec des enseignants du collège et du lycée afin d'examiner le potentiel qu'aurait l'usage de Silva Numerica pour contribuer à un apprentissage de tels concepts « transversaux ». Elle a consisté à comparer les apprentissages des concepts de milieu, de concurrence et/ou de biodiversité, pour des élèves de 4ème et de 1ère STAV, participant à des séances d'enseignement mobilisant ou non Silva Numerica, animées par un enseignant ou dans le cadre d'un scénario d'autoformation.

Les résultats montrent des conceptualisations très limitées des processus bioécologiques des milieux de vie forestiers, en particulier des processus associés à la croissance des arbres en population (au collège) et à la dynamique des populations d'arbres en forêt. Ces conceptualisations sont associées à des obstacles épistémiques à l'apprentissage chez une grande partie des élèves du collège dont certains perdurent chez une partie des élèves du lycée qui ont intégré la filière Science et Technologie de l'Agronomie et du Vivant.

Les scénarii d'enseignement élaborés autour de l'usage de Silva Numerica, en autoformation ou associés à des synthèses et apports conceptuels par un enseignant, ne permettent pas une plus-value en termes d'apprentissage au regard d'autres type de scénarii (autoformation écrite ; utilisation d'une vidéo) engagés dans l'expérimentation. Plusieurs hypothèses sont évoquées pour comprendre ces résultats. La principale concerne les caractéristiques des scénarii testés : scénarii insuffisamment déstabilisateurs des conceptualisations des élèves ; une durée d'enseignement/apprentissage trop réduite ; scénarii mobilisant trop peu la simulation de l'évolution de la forêt. Une expérimentation pourrait porter sur des séquences d'enseignement intégrant davantage de séances, dont tout ou partie seraient conçues autour d'usages variés de Silva Numerica et en particulier de simulations d'évolution de la forêt. A ces caractéristiques des scénarii, s'ajoutent un manque de complexité des milieux simulés (caractéristiques des sols, des climats, ...) et un manque de perceptibilité des caractéristiques des différents milieux simulés. Cette dernière rend plus laborieuse l'établissement de relations entre les observations qu'ils réalisent et des interprétations des processus et facteurs qui en sont à l'origine.

Sommaire

Table des matières

Résumé.....	2
Sommaire	3
Introduction.....	6
Réalisation de l'expérimentation conduite en classe de 1 ^{ère}	10
Réalisation de l'expérimentation n°1 de janvier 2020	10
Réalisation de l'expérimentation n°2 de novembre 2020	11
Résultats de l'expérimentation n°2 conduite en classe de 1 ^{ère}	12
Comparaison des scores de conceptualisation des élèves dans les différents groupes expérimentaux	12
Comparaisons des scores de conceptualisation pour le concept de milieu selon les groupes expérimentaux	12
Comparaisons des scores de conceptualisation pour le concept de concurrence selon les groupes expérimentaux	13
Recherche d'explication concernant les différences de scores selon les groupes	14
Analyse des évolutions des conceptualisations des élèves concernant les concepts de milieu et de concurrence suite à un enseignement selon différentes modalités pédagogiques	14
Score global d'évolution des conceptualisations	15
Analyse des évolutions des représentations des élèves concernant le concept de milieu selon les modalités utilisées.....	16
Analyse de l'évolution des conceptualisations des élèves suite aux situations d'enseignement de l'expérimentation	18
Analyse des conceptualisations des élèves concernant le concept de milieu	19
Type de conceptualisation du milieu.....	19
Formes langagières concernant la conceptualisation du milieu	20
Objets mis en relation dans la conceptualisation du milieu et propriétés de ces objets.....	21
Concepts relationnels entre les objets dans la conceptualisation du milieu	26
Synthèse des résultats concernant les conceptualisations relatives au concept de milieu chez les élèves	32
Analyse des conceptualisations des élèves concernant le concept de concurrence	35
Type de conceptualisation de la concurrence.....	35
Formes langagières concernant la conceptualisation de la concurrence	36
Objets mis en relation dans les phénomènes de concurrence entre végétaux	38
Concepts relationnels entre les objets dans les phénomènes de concurrence	40

Synthèse des résultats concernant les conceptualisations relatives au concept de concurrence chez les élèves.....	43
Discussion de l'étude globale en classe de 1ère	47
Présentation de l'étude réalisée en classe de 4 ^{ème}	48
Déroulement de l'expérimentation.....	48
Analyse des évolutions des représentations des élèves concernant le concept de milieu selon les modalités utilisées.....	50
Analyse des conceptualisations des élèves concernant le concept de milieu et de leurs évolutions suite à un enseignement selon différentes modalités pédagogiques.....	51
Comparaison des conceptualisations des élèves en fonction des groupes expérimentaux	51
Formes langagières concernant la conceptualisation du milieu	51
Objets mis en relation dans la conceptualisation du milieu et propriétés de ces objets.....	52
Concepts relationnels entre les objets dans la conceptualisation du milieu	53
Synthèse des résultats concernant les conceptualisations relatives au concept de milieu chez les élèves	54
Discussion de l'étude globale en classe de 4ème	54
Discussion globale des résultats de l'expérimentation	56
Hypothèses d'interprétation des résultats	56
Sur le plan méthodologique	59
Bibliographie.....	61
Liste des figures.....	63
Liste des tableaux	64
Annexe 1 : Identification des concepts/modèles traversant tout le curriculum de l'enseignement de la forêt.....	66
Identification des principaux concepts employés par les experts lors du séminaire scientifique, de ceux retrouvés dans les référentiels et une analyse bibliographique sur la forêt	66
Identification des concepts « transversaux à différents niveaux d'enseignement » lors du séminaire pédagogique avec les enseignants et formateurs.....	67
Quelques indices pour choisir les concepts à examiner : analyse des principaux concepts retrouvés dans les situations d'enseignement-apprentissage observées en formation professionnelle.....	68
Choix des concepts transversaux aux différents niveaux de formation et pouvant faire l'objet de l'expérimentation	69
Quelques hypothèses sur des obstacles potentiels à l'apprentissage de la forêt	69
Les concepts relationnels : de potentiels obstacles à l'apprentissage de la forêt	70
Choix des objectifs-obstacles pouvant faire l'objet d'une expérimentation à partir des travaux en didactique de la biologie.	71
Annexe 2 : Présentation des caractéristiques de l'expérimentation n°1.....	82

Caractéristiques des 4 sous-groupes d'élèves constitués pour l'expérimentation n°1	82
Caractérisation des situations vécues par les élèves des 4 groupes lors de l'expérimentation n°1.	83
Annexe 3 : Co-construction de l'expérimentation n°2 avec les enseignants	85
Sur l'apprentissage/la compréhension de quelle(s) conceptualisation(s) centrer l'expérimentation ?	85
Avec quelle(s) type(s) de tâche(s) confiées aux élèves, intégrant l'EVE ?.....	85
Elaboration du protocole d'expérimentation	85
Méthodologie et outils de recueil de données	86
Méthodologie d'analyse des données	87
Codage des réponses.....	87
Caractérisation des évolutions des conceptualisations	88
Annexe 4 : Protocole de l'expérimentation n°2 au lycée	91
Groupes de l'expérimentation et scénarii d'enseignement associés	91
Organisation du passage de l'expérimentation :	92
Contenus à aborder lors de la mise en communs des réponses, les synthèses et les moments d'apports au cours de l'expérimentation (sur la base du film ou du travail avec Silva Numerica)...	92
Guide de l'activité visionnage d'un documentaire sur la forêt	95
Guide de l'activité avec EVE pour les groupes EVE cours Magistral et EVE Feed-back.....	97
Questionnaire de pré et post-test.....	102
Synopsis du déroulement de l'expérimentation lycée _ automne 2020	106
Synopsis Groupe 1 (vidéo) : (6 novembre 2020)	106
Synopsis du Groupe 2 (EVE sans apport de l'enseignant) : (6 novembre 2020)	107
Synopsis du Groupe 3 (EVE et cours magistral) : (10 novembre 2020)	109
Synopsis du Groupe 4 (EVE avec feed back enseignant) (10 novembre 2020).	112
Annexe 5 : Protocole de l'expérimentation au collège	119
Groupes de l'expérimentation et scénarii d'enseignement associés	119
Quelques contenus concernant l'expérimentation de Silva Numerica au collège	119
Guide de l'activité sur papier réalisée par les élèves du groupe « Ecrit »	120
Guide de l'activité avec EVE pour les groupes EVE cours Magistral et EVE Feed-back.....	131
Questionnaire des pré et post-test	137

Introduction

L'une des ambitions du projet Silva Numerica est de produire un EVE, utilisable et acceptable et utile pour l'apprentissage de la forêt et de sa gestion à différents niveaux de formation (de la 6ème à la formation professionnelle post-bac).

La co-conception de l'EVE a été alimentée selon trois voies en parallèle. D'une part, l'équipe de recherche FoAP a réalisé une analyse du travail de professionnels de la forêt (sylviculteurs en particulier) et une analyse de séances de formation de futurs sylviculteurs, permettant de donner des spécifications aux développeurs concernant les entités et simulations à implémenter dans l'EVE (voir livrable n°1). Ces spécifications ont été complétées par les formateurs et enseignants de la formation professionnelle qui ont transmis des éléments pour la modélisation du développement des arbres en peuplement selon le type de parcelles forestières et co-construit des scénarios professionnels, ainsi que des scénarios pédagogiques d'usage de la ressource Silva Numerica.

D'autre part, dans une perspective de psychologie cognitive, l'équipe de recherche du LEAD¹ s'est focalisée sur l'incidence de la présentation des informations à l'écran pour développer des modules de formation spécifiques au collège.

Enfin, les formateurs et enseignants ont écrit des scénarios pédagogiques visant des apprentissages ciblés à chacun des différents niveaux, en collaboration avec l'ingénieur technico-pédagogique (collège, lycée,) et avec l'équipe FOAP (formation professionnelle).

Sur le plan pragmatique, l'objectif de cette expérimentation didactique était d'inverser la logique de conception : à partir du prototype d'EVE développé (donc des simulations et entités qui y avaient été implémentées), ou moyennant des évolutions limitées, qu'est-ce qu'il serait possible de faire apprendre aux différents niveaux, qui n'ait pas encore été envisagé (donc en dehors des scénarios déjà construits) ?

S'y ajoutait l'objectif d'examiner s'il était possible de définir quelques objets d'apprentissage qui seraient transversaux aux différents niveaux de formation auxquels l'EVE s'adresse.

De fait, l'une des caractéristiques de la compréhension de la forêt et de sa gestion est qu'elle implique de « *raisonner sur des abstractions. (...) [Mais] La croissance d'un végétal n'est pas un objet visible et palpable. C'est une abstraction qu'il faut construire en pensée. (...). Pour agir avec et sur ces phénomènes et objets, pour anticiper et envisager causes et conséquences, il faut construire, en pensée, des modèles de ces objets et phénomènes, des évolutions et des états, des relations entre conditions et effets...»*. (Mayen, 2014, p. 20-21).

On sait par ailleurs, que l'enseignement/apprentissage de concepts complexes liés au vivant, son unité et sa diversité ne va pas sans poser de nombreuses questions comme le précisent Gallezot et dell'Angelo-Sauvage (2018) : « quels contenus retenir ? Selon quelle progressivité ? Quelles contributions des disciplines scolaires à la prise en charge des dimensions socio-scientifiques ? Quelles contributions d'une approche interdisciplinaire ? Quelles formations pour les enseignants ? »

¹ Laboratoire d'Etude de l'Apprentissage et du Développement de l'Université de Bourgogne Franche-Comté.

L'analyse du travail conduite auprès des professionnels de la sylviculture (voir schématisation conceptuelle Figure 1 ci-dessous tirée de Guidoni-Stoltz, 2020), vient confirmer l'affirmation de Schütz (1990, p.3) pour qui « La sylviculture se fonde sur une parfaite connaissance de l'écologie forestière qui s'appuie elle-même sur la parfaite connaissance des organismes qui la composent et sur leur interdépendance ». Pour lui, il s'agit d'une « discipline d'application de l'écologie forestière ». Le sylviculteur compétent se serait donc approprié les conceptualisations des entités et processus bioécologiques (voir notamment les concepts entourés en rouge sur le schéma) à l'œuvre dans la forêt, dont ceux de l'écologie : il les maîtrise en acte et les a « pragmatisés » (Munöz, 2003 ; Pastré 2005 ; 2008). Connaissant par exemple les caractéristiques autécologiques d'un arbre, il est donc capable de déterminer s'il est adapté au milieu (« en station »), d'envisager sa croissance en fonction de la concurrence et de la lumière, etc.

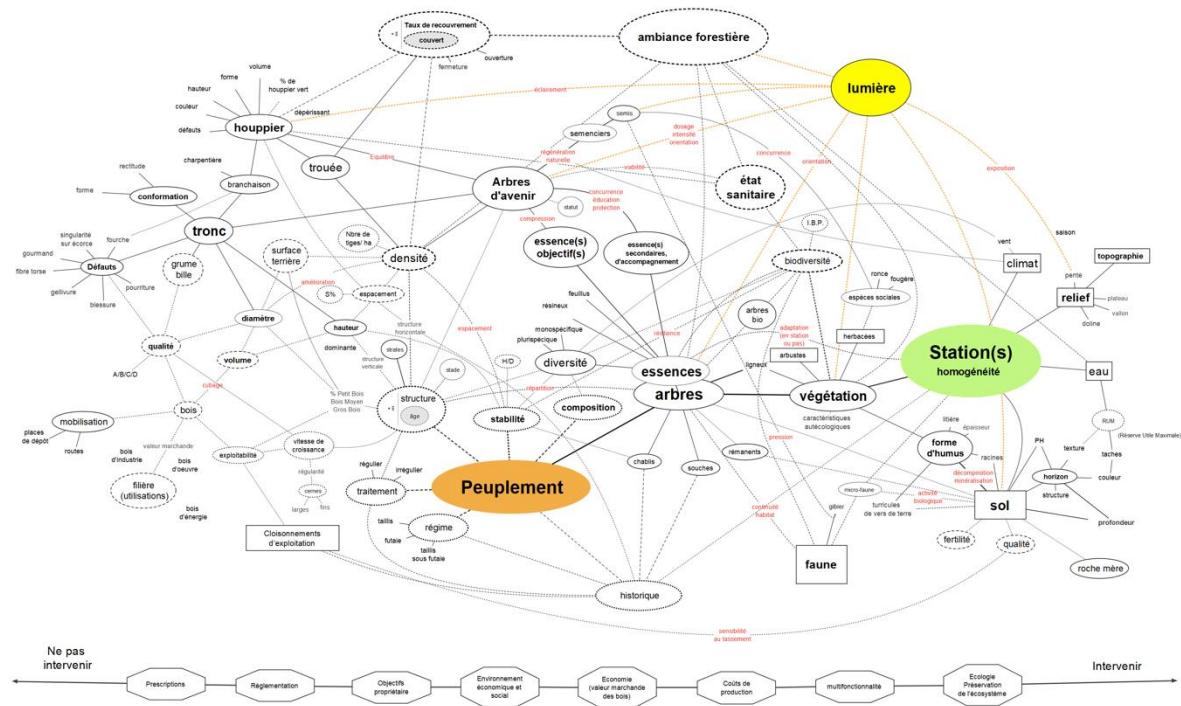


Figure 1 : Structure conceptuelle du diagnostic de parcelle forestière (tiré de (Guidoni-Stoltz, 2020)

Or, l'enseignement/apprentissage des entités et processus bioécologiques constituant ?'écosystème forestier – dont ceux implémentés dans l'EVE- démarre au collège comme le montrent les travaux que nous avons conduits avec les enseignants (voir annexe Tableau 36 p. 68). Leur maîtrise passerait donc par différents niveaux de conceptualisation (Carion et al., 2008, p. 87) **au fil de leur enseignement/apprentissage du collège au lycée jusqu'à l'enseignement professionnel, permettant d'adopter une perspective curriculaire.**

Autrement dit, à tous les niveaux, y compris chez les futurs professionnels, l'apprentissage de la forêt et des raisonnements afférents à son fonctionnement et ses évolutions s'appuierait sur celui de conceptualisations relatives **aux entités et processus bioécologiques**. Il pourrait donc y avoir une forme de progressivité (Lebeaume, 1999) des apprentissages de ces conceptualisations qui pourraient être intéressante à reconstituer pour dépasser l'idée d'une approche par niveau (collège/lycée/formation adulte). En lien avec cette progressivité, des difficultés d'apprentissage des concepts et modèles à un niveau donné pourraient être en lien avec les représentations construites par les apprenants à un autre niveau. En effet, les recherches en didactiques des

sciences, et en particulier en didactique des sciences de la vie et de la terre, ont montré qu'il existe des obstacles² à l'apprentissage de plusieurs concepts de la biologie (voir plus loin) :

- Des obstacles épistémiques : liés aux représentations/conceptions préalables des apprenants ;
- Des obstacles didactiques : liés à la manière dont ils sont enseignés (Brousseau, 1978).

Dès lors, il devient intéressant d'adopter une approche didactique curriculaire (Lebeaume, 1999; Martinand, 2012, 2014) de l'enseignement/apprentissage de la forêt, afin d'identifier quelques conceptualisations fondamentales pour la compréhension de la forêt et de sa gestion susceptibles de constituer des obstacles récurrents à l'apprentissage, et d'examiner comment l'EVE pourraient intervenir comme outil au service de la progressivité de leur apprentissage.

Sur le plan de la recherche, la question que nous souhaitons examiner est donc celle de l'apprentissage de ces concepts et modèles relatifs aux entités et processus bioécologiques, aux différents niveaux d'utilisation envisagée de l'EVE, et des obstacles à ces apprentissages, afin d'envisager à quelles conditions l'utilisation de Silva Numerica pourrait contribuer au dépassement de ces obstacles.

Pour cela, nous avons engagé un travail ayant plusieurs objectifs :

1/ Identifier des concepts et/ou modèles enseignés/appris à plusieurs reprises dans le curriculum des enseignements ayant à voir avec l'écosystème forestier et sa gestion, de la 6ème au BTS en passant par la formation des adultes. Pour cela, nous avons :

- Ciblé les conceptualisations relatives aux processus bioécologiques centrales dans les raisonnements (des professionnels) pour les situations de gestion sylvicole, à partir de l'analyse de l'activité des professionnels ;
- Analysé leurs places dans les enseignements du collège au BTS et en formation professionnelle continue, à partir d'un examen des référentiels (programmes scolaires et référentiels de formation) et d'entretiens avec les enseignants à ces différents niveaux.

2/ Parmi ces concepts/modèles, nous avons cherché à identifier quelques-uns d'entre eux, pouvant constituer des obstacles conceptuels à l'apprentissage de la forêt, à sa représentation forestière et donc à sa gestion. Nous nous sommes appuyés sur des travaux en didactiques, en particulier des SVT, et des entretiens avec les enseignants et formateurs à ces différents niveaux ;

Nous décrivons en annexe ce travail préalable à la mise en place de l'expérimentation : identification des concepts/modèles de la biologie-écologie forestières enseignés/appris à plusieurs reprises dans le curriculum ; identification des « objectifs-obstacle » (Martinand, 1981) parmi ces concepts et du choix réalisé en vue de l'expérimentation.

² Pour mémoire, un obstacle épistémique remplit les conditions suivantes (Duroux, 1983 dans Rolland 1996, p. 75-76) :

- Il s'agit « d'une connaissance, une conception, pas une difficulté ou un manque de connaissance.
- Cette connaissance produit des réponses adaptées dans un certain contexte, fréquemment rencontré. Mais elle engendre des réponses fausses hors de ce contexte. Une réponse correcte et universelle exige un point de vue notablement différent.
- De plus, cette connaissance résiste aux contradictions auxquelles elle est confrontée et à l'établissement d'une connaissance meilleure. Il ne suffit pas de posséder une meilleure connaissance pour que la précédente disparaisse. Il est donc indispensable de l'identifier et d'incorporer son rejet dans le nouveau savoir.
- Après la prise de conscience de son inexactitude, elle continue à se manifester de façon intempestive et opiniâtre.»

De cette étude préalable, nous avons retenu les concepts de milieu et de concurrence, pour leur caractère complexe mais aussi parce que leur apprentissage est central et transversal (à différents niveaux de la scolarité et de la formation professionnelle).

Nous avons alors construit une expérimentation permettant d'examiner la plus-value potentielle de l'utilisation de l'EVE pour l'enseignement/ apprentissage de ces processus bioécologiques aux niveaux de la classe de 1^{ère} au Lycée et de la classe de 4^{ème} au collège.

Dans ce document, nous présentons tout d'abord en détail l'expérimentation réalisée en classe de première et ses résultats quant à la plus-value éventuelle de différentes modalités d'usage de l'EVE Silva Numerica pour l'apprentissage des concepts de milieu et de concurrence. Nous présentons ensuite une synthèse de l'expérimentation conduite en classe de 4^{ème} et de ses résultats quant à la plus-value éventuelle de différentes modalités d'usage de l'EVE Silva Numerica pour l'apprentissage du concept de milieu. Nous ne présentons pas ici les résultats de l'étude concernant l'apprentissage du concept de biodiversité réalisée par Océane Provillard, étudiante en Master Ingénierie de la Formation Professionnelle et Ergonomie, qui ont fait l'objet d'un document spécifique (mémoire de fin d'études de Master).

Réalisation de l'expérimentation conduite en classe de 1^{ère}

La réalisation de l'expérimentation visant à tester la plus-value éventuelle de différentes modalités d'usage de l'EVE Silva Numerica pour l'apprentissage des concepts de milieu et de concurrence avec des classes de 1^{ère} a été réalisée en deux temps.

Réalisation de l'expérimentation n°1 de janvier 2020

Une première expérimentation concernant l'usage de l'EVE par des élèves de deux classes de 1^{ère} Sciences et Technologie de l'Agronomie et du Vivant (STAV) a été réalisée au mois de Janvier 2020 en utilisant une première version de l'EVE (voir Annexe 3 sur la présentation de l'expérimentation). Elle visait en particulier à étudier la plus-value de l'usage de l'EVE en termes de motivation des élèves. Elle fait l'objet d'un rapport spécifique, séparé du présent rapport.

Cette première expérimentation reposait sur la comparaison entre les résultats des élèves après

- Une séance fondée sur l'utilisation de la ressource Silva Numerica associée à des tâches consistant à répondre à des questions et à élaborer des synthèses ;
- Une séance fondée sur l'utilisation d'une ressource audio-visuelle sur le thème de la forêt (documentaire « c'est pas sorcier »), associée à des tâches consistant à répondre à des questions et faire des synthèses.

L'enseignant (ou les enseignants) présents était invités, en fin de séance à réaliser une mise en commun des réponses apportées par les élèves aux questions et une courte synthèse sur ce que cela leur avait permis de comprendre concernant les notions de concurrence et de milieu.

Cette expérimentation nous a permis de tester un scénario possible d'usage de l'EVE en classe. Celui-ci était fondé sur des tâches de dénombrement, de mesures des caractéristiques des arbres de différentes espèces présentes à différents endroits de la parcelle et dans différents milieux, d'observation de la croissance de ces différentes espèces après des coupes rases dans ces différentes zones. Ces tâches étaient associées à un guidage par un questionnaire favorisant des comparaisons des informations recueillies afin d'en inférer des relations entre le développement des arbres des différentes espèces, d'un côté, les caractéristiques de chaque milieu et les phénomènes de concurrence de l'autre. Ce scénario s'est avéré trop long à réaliser et certaines des tâches un peu fastidieuses pour les élèves. De plus, les élèves ont fait face à un certain nombre de bugs de l'EVE, encore sous forme de prototype. Enfin, les enseignants n'étant pas encore familiers de l'usage pédagogique de l'EVE ont eu des interventions différentes dans chacun des groupes de l'expérimentation.

Néanmoins, nous avons pu proposer aux élèves une première version de deux questionnaires de pré et post-test différents visant à étudier l'évolution de leur conceptualisation. Or à l'usage, une partie des questions s'est révélée trop difficiles ou ambiguës pour les élèves (notamment en raison de l'usage de schémas ou dessins d'illustration peu clairs pour eux). De plus, l'utilisation de deux questionnaires légèrement différents pour le pré et le post-test, bien qu'ils portent sur les mêmes dimensions des conceptualisations examinées, nous a posé des difficultés d'analyse et d'interprétation concernant l'évolution de ces conceptualisations des élèves.

Nous avons alors jugé que ces conditions n'étaient pas favorables à une analyse rigoureuse des résultats en termes d'évolution des conceptualisations des élèves et avons choisi de ne pas interpréter les données recueillies. Cependant, nous nous sommes appuyés sur ces constats pour modifier le protocole d'expérimentation, repenser différents scénarios d'usage de l'EVE avec les enseignants, et concevoir un unique

questionnaire pour les pré et post-test en modifiant voire remplaçant plusieurs des questions initiales. Ce dernier est disponible en annexe 4.

Réalisation de l'expérimentation n°2 de novembre 2020

Le tableau ci-dessous décrit les caractéristiques de l'expérimentation réalisées auprès de 2 classes de 1^{ère} Sciences et Technologique de l'Aménagement et du Vivant (STAV). Les principes de construction de ce protocole, de répartition des élèves dans les groupes et les méthodes de recueil et d'analyse des données sont présentées en détails dans les annexes 2 et 4 (p. 82 et 91). Un synopsis détaillé du déroulement réel des différentes séances d'expérimentation est présenté en annexe 4.

	Pré-test (45 min) 16 octobre	Prise en main de l'EVE (30 min)	Activité avec l'EVE (1h15 à 1h30)	Post-test (45 min) 4 décembre
<i>Groupe témoin « vidéo » 6 novembre 2020</i>	14 élèves	Non	Non (vidéo + questions)	13 élèves
<i>Groupe EVE sans apport d'un enseignant 6 novembre 2020</i>	13 élèves	Oui	Sans scénario, avec une consigne générale, sans intervention de l'enseignant	9 élèves
<i>Groupe EVE et cours magistral 10 novembre 2020</i>	13 élèves	Oui	Avec scénario, dont questions à répondre. Cours magistral de l'enseignant en fin de séance sur les concepts de milieu et compétition	13 élèves
<i>Groupe EVE et feed- back enseignant 10 novembre 2020</i>	13 élèves	Oui	Avec scénario, dont questions à répondre. Intervention de l'enseignant pour mise en commun des réponses aux questions, synthèses des éléments sur milieu et compétition	13 élèves

Tableau 1 : Description synthétique du protocole de réalisation de l'expérimentation réalisée avec deux classes de 1^{ère} STAV.

Du fait des élèves absents pour le pré-test ou le post-test, **le nombre de répondants est différent (53 vs 48) et certains élèves n'ont répondu qu'à l'un des deux tests. Notons aussi que l'une des élèves du groupe 3 n'a répondu à aucune des questions visant les phénomènes de concurrence lors du pré-test (population pré-test concurrence = 52)**. Dès lors, d'une part, pour analyser les conceptualisations, des élèves, nous avons conservé tous les questionnaires remplis et affichons les résultats en % des élèves ayant répondu au test afin de rendre plus facilement comparables les pré et post-test).

D'autre part, pour analyser les évolutions des conceptualisations entre pré et post-test, nous n'avons considéré que les élèves présents aux deux tests. Le tableau ci-dessous détaille la population concernée par l'analyse des évolutions. Nous distinguons aussi les élèves en fonctions des spécialités du Bac STAV qu'ils suivent : spécialité production ou aménagement, dont nous avons fait en sorte que la proportion soit homogène entre les différents groupes expérimentaux..

	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral	Groupe EVE et feed-back	Total
Spécialité production	10	8	9	9	36
Spécialité aménagement	2	1	3	3	9
Population totale	12	9	12	12	45

Tableau 2 : Population prise en considération dans l'analyse de l'évolution des conceptualisations relatives au concept de milieu et de concurrence.

Résultats de l'expérimentation n°2 conduite en classe de 1ère

La présentation de nos résultats est organisée en deux parties. Dans la première, nous présentons les résultats globaux d'évolution des conceptualisations relative aux concepts de milieu et de concurrence entre le pré et le post test et leurs relations éventuelles avec les différentes modalités pédagogiques déployées dans les différents groupes expérimentaux. A ce propos, **nous rappelons qu'il convient d'être prudent dans l'interprétation des résultats chiffrés concernant les évolutions : d'une part, du fait les choix toujours discutables faits dans la construction des indicateurs et dans l'attribution de valeurs ; d'autre part, au regard des populations très réduites dans chacun des groupes. Ces données numériques n'ont donc pas pour finalité d'aboutir à une quelconque généralisation, mais de fournir des indices supplémentaires pour étayer nos interprétations.**

Dans la deuxième partie, de manière à comprendre comment les évolutions observées pourraient être interprétées, nous réalisons une analyse plus précise des caractéristiques des représentations des élèves concernant les concepts de milieu puis de concurrence, tels qu'ils apparaissent dans leurs réponses aux questions du pré-test et du le post-test. Comme indiqué plus haut, les analyses relatives aux conceptualisations du concept de milieu s'appuient sur des travaux des didactiques préexistants qui sont présentés en annexe 1 (p. 66 et en particulier p. 73). En l'absence de tels travaux préalables, celles relatives aux phénomènes de concurrence s'appuie sur une revue de bibliographie concernant ce concept qui est présentée également en annexe 1 (voir p. 79). C'est donc l'étude des réponses des élèves au pré et au post-test qui constitue une analyse épistémique des conceptualisations des élèves de première STAV relative à ce concept.

Comparaison des scores de conceptualisation des élèves dans les différents groupes expérimentaux

Afin de vérifier l'absence de biais majeurs, nous avons tout d'abord vérifié l'homogénéité des scores cumulés aux réponses relatives aux conceptualisations des concepts de milieu et de concurrence pour les différents groupes expérimentaux. Il s'agit notamment de voir dans quelle mesure des facteurs ne relevant pas des différences de modalités pédagogiques proposées auraient pu intervenir dans les scores de conceptualisation et dans leurs évolutions.

Comparaisons des scores de conceptualisation pour le concept de milieu selon les groupes expérimentaux

Le tableau ci-dessous montre des différences significatives dans la moyenne du score cumulé aux questions relatives à la conceptualisation du concept de milieu entre les différents groupes.

Groupe	Moyenne Eff.		Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
	1- Groupe vidéo	41.71	14		
2- Groupe sans apports	50.85	13	+ TS (0.93%)		
3- Groupe EVE et cours magistral	43.69	13	NS (52.90%)	- S (1.88%)	
4 - Groupe EVE et feed-back	42.54	13	NS (85.79%)	PS (8.01%)	NS (79.52%)

Tableau 3 et Figure 2 : Pré-test « conceptualisation du concept de milieu : **Comparaison des moyennes des scores cumulés** pour chacun des 4 groupes expérimentaux

Pour le score cumulé caractérisant l'élaboration du concept de milieu, le groupe 2 se détache lors de ce pré-test, en particulier par rapport aux groupes 1 et 3. La différence porte essentiellement sur :

- Le nombre de processus décrits (Réponses effectives : 52 Non-réponse(s) : 1 Taux de réponse : 98,1% p-value = 0,03 ; Fisher = 3,32 - La relation est significative)
- Les effets des relations arbre-milieu
- Les composantes du milieu citées comme variant dans l'espace géographique de la forêt.

Il n'y a pas de différence significative entre les groupes quant à la précision dans la description des processus, qui reste à un niveau descriptif ou vague.

Cette différence entre le groupe 2 et les autres groupes est retrouvée lors du post-test.

Groupe	Moyenne Eff.		Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
	1-Groupe vidéo	45.17	12		
2- Groupe sans apports	51.22	9	PS (9.44%)		
3- Groupe EVE et cours magistral	39.92	12	NS (23.39%)	- TS (0.28%)	
4- Groupe EVE et feed-back	42.50	12	NS (50.09%)	- TS (0.38%)	NS (49.22%)

Tableau 4 : **Post-test - Comparaison des moyennes des scores cumulés** concernant la conceptualisation du concept de milieu pour chacun des 4 groupes expérimentaux

Toutefois, comme nous le verrons plus bas, ces différences de scores de conceptualisation du milieu entre les groupes au pré et au post-test ne sont pas corrélées avec des différences concernant l'évolution des scores de conceptualisations dans ces différents groupes.

Comparaisons des scores de conceptualisation pour le concept de concurrence selon les groupes expérimentaux

Les tableaux 12 et 13 ci-dessous montre également des différences significatives dans la moyenne des scores cumulés de conceptualisation pour le concept de concurrence lors du pré-test (groupe 4 significativement plus élevé que groupe 1) et lors du post-test (score du groupe 2 significativement plus élevé que celui des groupes 3 et 4).

Groupe	Moyenne	Eff.	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
Groupe vidéo	14.5	12			
Groupe sans apports	17.2	9	NS (18.05%)		
Groupe EVE et cours magistral	16.1	12	NS (35.71%)	NS (57.75%)	
Groupe EVE et feed-back	18.3	12	+ S (1.93%)	NS (57.18%)	NS (17.22%)

Groupe	Moyenne	Eff.	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
Groupe vidéo	18.4	12			
Groupe sans apports	21.1	9	NS (16.60%)		
Groupe EVE et cours magistral	16.5	12	NS (35.01%)	- S (3.76%)	
Groupe EVE et feed-back	16.1	12	NS (24.32%)	- S (2.01%)	NS (84.35%)

Tableau 5 et Tableau 6: **Comparaison des moyennes des scores cumulés** concernant la conceptualisation du concept de concurrence pour chacun des 4 groupes expérimentaux lors du pré-test (en haut) et du post-test (en bas).

Recherche d'explication concernant les différences de scores selon les groupes

Les différences observées concernent donc des groupes différents pour le concept de concurrence et celui de milieu lors du pré-test. Elles concernent des groupes identiques pour le post-test. Nous avons voulu déterminer si ces différences pourraient être associées aux différences de composition des groupes.

Composition des groupes en termes spécialités

L'analyse ne montre pas de différence significative dans la composition des groupes en termes de nombre d'élèves des différentes spécialités.

Relations entre composition des groupes et scores de conceptualisation

De plus, l'analyse des réponses au pré-test et au post-test ne montre pas de différences significatives en termes de moyenne des scores cumulés de conceptualisation relative au concept de milieu et à celui de concurrence en fonction de la spécialité suivie par les élèves (aménagement ou paysage).

Elle ne montre d'ailleurs aucune différence significative entre les élèves des différentes spécialités pour tous les items analysés dans la suite de ce document.

A ce stade, nous n'avons donc pas d'explication quant à cet écart mais il sera important d'en tenir compte dans nos analyses. Etant donné le faible effectif dans chaque groupe, il pourrait être lié à la constitution des groupes : présence d'un ou quelques élèves ayant des scores particulièrement faibles ou au contraire élevés. Pour le concept de milieu, c'est par exemple le cas lors du pré-test où 3 élèves du groupe 1 ont des scores très faibles (entre 26 et 34) et 2 dans le groupe 3 (scores 30 et 36), alors que le score minimal est de 41 pour un seul élève dans le groupe 2. Lors du post-test, on retrouve trois scores très faibles dans le groupe 3 (Entre 21 et 30) ainsi que dans le groupe 4 (30 et 33), là où le score minimal du groupe 2 est de 56. De même pour le concept de concurrence, nous observons que, lors du pré-test, 4 élèves du groupe 1 ont des scores très faibles (entre 10 et 12) alors que le score minimal est de 12 pour un seul élève dans le groupe 4. Ce constat invite par ailleurs à tenir compte et à analyser la variabilité des évolutions des élèves à un niveau individuel et pas seulement au niveau de la moyenne des groupes.

Analyse des évolutions des conceptualisations des élèves concernant les concepts de milieu et de concurrence suite à un enseignement selon différentes modalités pédagogiques

Score global d'évolution des conceptualisations

Lorsque l'on cumule pour chaque élève les scores d'évolution des conceptualisations du milieu et de la concurrence, on note **une relation significative entre ce score et le groupe**.

Groupe	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral	Groupe EVE et feed-back	Total
Evolution score conceptualisation global					
Moyenne	6,58	4,56	-3,83	-5,75	0,11
Ecart-type	10,5	9,9	9,78	12,14	11,63
Médiane	4	8	-1	-7,5	1
Min ; Max	-9 ; 26	-12 ; 19	-19 ; 8	-22 ; 17	-22 ; 26
Somme	79	41	-46	-69	5
Effectif	12	9	12	12	45

Tableau 7 : Conceptualisation du milieu et des phénomènes de concurrence : évolution moyenne du score global des élèves entre le pré et le post-test en fonction du groupe expérimental.

Groupe	Moyenne	Eff.	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
Groupe vidéo	6.58	12	-	-	-
Groupe sans apports	4.56	9	NS (65.88%)	-	-
Groupe EVE et cours magistral	-3.83	12	- S (1.97%)	PS (6.80%)	-
Groupe EVE et feed-back	-5.75	12	- S (1.43%)	PS (5.16%)	NS (67.44%)

Tableau 8 : Conceptualisation du milieu et des phénomènes de concurrence : comparaison des moyennes de l'évolution du score global des élèves entre les différents groupes expérimentaux

Les groupes « vidéo » et « EVE sans apports » ont un score d'évolution positif, là où les groupes « EVE cours magistral » et « EVE Feed-back » ont un score négatif. La différence entre les moyennes des groupes est significative en particulier le groupe « vidéo » et les groupes « EVE cours magistral » et « EVE Feed-back », et peu significative entre le groupe « EVE sans apports » et ces mêmes groupes « EVE cours magistral » et « EVE Feed-back ».

Ces moyennes reflètent le fait que :

- dans les groupes « vidéo » et « EVE sans apports » plusieurs élèves ont un score d'évolution fort, supérieur à 1 écart-type à la moyenne (respectivement 5 et 4 élèves) et peu ont un score inférieur à 1 écart-type à la moyenne (1 dans chaque groupe).
- Le constat est inverse pour les groupes « EVE cours magistral » (1 score fort et 4 scores faibles) et le groupe « EVE Feed-back » (2 scores forts pour 6 faibles).

Comme nous l'avons vu, les évolutions négatives concernent **surtout le concept de milieu** (moyenne : -1,2 ; moyenne : +1,35 concernant concurrence).

Comme précédemment cette différence n'est **pas liée au score au pré-test**.

Une autre hypothèse pourrait donc être un effet de « classe » lors de l'expérimentation ou lors de la passation du post-test. En effet les groupe « vidéo » et « EVE sans apports » correspondent à une première classe, et les groupes « EVE cours magistral » et « EVE Feed-back » à une deuxième classe. Mais, les élèves des deux classes ont tous passé le pré et le post-test le même jour, entre 3,5 semaines et 4 semaines après l'expérimentation. Celle-ci a eu lieu un mardi pour les groupes « vidéo » et « EVE sans apports » et un mardi pour les groupes « EVE cours magistral » et « EVE Feed-back ».

De plus, même si le groupe « EVE sans apports » semble présenter un niveau de motivation interne plus élevé, cette différence est peu significative et les résultats ne montrent pas de corrélation entre ce niveau et les scores au pré et post-test et leurs évolutions.

Enfin, une dernière hypothèse pourrait résider dans les différences de scénario didactique entre les groupes. Les synopsis en annexe montrent que les scénarios effectifs ne sont pas équivalents. Les liens entre processus et représentation numériques sont plus ou moins explicites (création de malentendus possibles concernant) ; la durée des tâches centrées sur l'apprentissage des concepts visés est différente.

Analyse des évolutions des représentations des élèves concernant le concept de milieu selon les modalités utilisées

Dans ce paragraphe, nous cherchons à déterminer si les différentes modalités d'enseignement du concept de milieu selon les groupes se traduisent par des différences dans l'évolution de leurs scores de conceptualisations. Tout d'abord une comparaison des moyennes montre qu'il n'y a **pas de différence significative du score de conceptualisation relative au milieu entre pré et post-test**, à un niveau global (pré-test = 45,5 et post-test = 44,3), comme pour chacun des groupes. Quelles que soient les différentes modalités utilisées pour l'enseignement du concept de milieu (**type de scénario et de ressource mobilisée**), **elles ne permettent donc pas une progression importante**.

D'une manière globale, la corrélation entre les évolutions moyennes du score concernant la conceptualisation du milieu et le groupe est **peu significative** (p -value = 0,13 ; Fisher = 2,13). Cependant, **l'évolution moyenne du groupe 1 est nettement positive** alors que celle des groupes 3 et 4 est nettement négative. De fait, une comparaison une à une des moyennes des différents groupes montre **une différence significative entre les groupes 1 et 3 et peu significative entre les groupes 1 et le groupe 4**. Cette différence porte essentiellement sur la précision dans les processus décrits et le nombre d'erreurs commises dans les réponses aux questions. Dans une moindre mesure, elle concerne le nombre de concepts utilisés pour désigner les processus relatifs au milieu, mais aussi le nombre de composants et facteurs du milieu considérés, ainsi que la nature des différents effets de ces facteurs sur les arbres et les espèces présentes.

Groupe	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral	Groupe EVE et feed-back	Global
Evolution du Score					
Moyenne	2,67	0,67	-4,25	-3,58	-1,24
Ecart-type	6,89	6,24	8,19	9,24	8,12
Médiane	1,5	2	-3	-5	-2
Min – Max	-6 – 17	-14 - 6	-17 - 9	-17 - 15	-17 – 17
Nombre d'élèves dont la progression est > à 1 ET par rapport à la moyenne globale	4	0	1	2	-
Nombre d'élèves dont la régression est > à 1 ET par rapport à la moyenne globale	0	1	2	3	

Tableau 9 : Conceptualisation du milieu : comparaison de l'évolution moyenne du score global des élèves des différents groupes à la moyenne des scores.

Groupe	Moyenne	Eff.	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
Groupe vidéo	2.67	12			
Groupe sans apports	0.67	9	NS (50.20%)		
Groupe EVE et cours magistral	-4.25	12	- S (3.57%)	NS (15.01%)	
Groupe EVE et feed-back	-3.58	12	PS (7.37%)	NS (24.95%)	NS (85.34%)

Tableau 10 : Conceptualisation du milieu : comparaison de l'évolution moyenne du score global des élèves entre les différents groupes expérimentaux

La différence n'est **pas due à un niveau initial supérieur des élèves de l'un des groupes**. En effet, nous ne notons pas de différence significative dans le score au pré-test entre les groupes 1 et 3. De plus, il n'y a **pas de corrélation entre le score global au pré-test et l'évolution de ce score global** lors du post-test (**Corrélation = -0,30**). Toutefois, on peut penser que si le score du **groupe 2 évolue peu cela peut être en lien avec un score au pré-test élevé** (significativement supérieur à ceux des groupes 1 et 3) qui ne permet pas une évolution importante.

Il n'y a **pas d'effet de la spécialité** que ce soit sur le score au prétest ou sur l'évolution.

On peut s'interroger **sur l'incidence de la motivation interne (MI) pour la séance proposée, sur cette évolution**. En effet, le score moyen de MI est significativement supérieur dans le groupe 2 à ceux des autres groupes (Tableau 11).

Groupe	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral	Groupe EVE et feed-back	Global
Score de Motivation Interne					
Moyenne	4,87	5,55	4,23	4,92	4,85
Ecart-type	1,65	0,56	1,14	0,85	1,19
Médiane	5,4	5,2	4	5	5,1
Min – Max	1,4 - 7	4,9 - 6,4	2 - 5,8	3,3 - 6,2	1,4 - 7

Tableau 11 : Score de motivation interne des élèves en fonction du groupe expérimental.

Cependant, la corrélation entre MI et évolution du score global reste peu significative (Corrélation = 0,41). Il n'y a par contre pas de corrélation entre les scores de motivation externe, d'amotivation ou d'intérêt déclaré pour le thème de la forêt et l'évolution du score.

Autrement dit, pour l'apprentissage du concept de milieu, quelle que soit la modalité, **l'évolution des conceptualisations observée reste limitée**. Il semble cependant que **la modalité du groupe « vidéo » a été plus favorable à la progression des élèves que celle du groupe « EVE Cours magistral » et, dans une moindre mesure, que celle du groupe « EVE feed-back »**. Les résultats montrent donc **que le scénario d'apprentissage du concept de milieu fondé sur cette vidéo, associé à un guidage à travers des questions et des synthèses de l'enseignant faites à partir des réponses serait plus favorable à l'évolution des conceptualisations** que les scénarios proposant un usage de l'EVE associé à un cours magistral ou à des synthèses de l'enseignant faites à partir des réponses. Ce scénario « vidéo » permet notamment une progression dans la précision des processus en jeu (dont les composants, facteurs et effets) et de leur désignation langagière. L'usage de l'EVE en autonomie et avec un scénario limité à une consigne générale et deux questions globales sur les concepts de milieu et de concurrence (groupe 2) ne semble pas permettre d'évolution significative des conceptualisations.

Nous reviendrons dans la discussion globale sur l'interprétation que nous pouvons faire de ces résultats en termes de scénario d'enseignement.

Toutefois, il faut relativiser cette conclusion. En effet, le Tableau 9 montre que l'écart-type de l'évolution des scores dans chacun des groupes est important et que l'on trouve à la fois des élèves qui progressent de manière importante dans chaque groupe et des élèves qui régressent.

Les données recueillies par questionnaire ne nous permettent pas d'aller au-delà dans l'interprétation des évolutions.

Remarque : plusieurs élèves présentent des scores de conceptualisation qui régressent entre le pré et le post-test. Une première hypothèse consiste à interpréter cette régression comme résultant d'un désinvestissement dans la réalisation du post-test lié au fait qu'ils ont déjà répondu aux mêmes questions lors du pré-test. Mais si nous suivons les hypothèses d'Astolfi et Peterfalvi (1993), nous pourrions aussi envisager que la déstabilisation des conceptualisations des élèves suite aux situations proposées conduirait à une régression temporaire de leurs conceptualisations avant reconceptualisation à un niveau « supérieur ». Un nouveau post-test situé plus à distance des situations expérimentales aurait permis de vérifier cette hypothèse.

Analyse de l'évolution des conceptualisations des élèves suite aux situations d'enseignement de l'expérimentation

Dans ce paragraphe, nous cherchons à déterminer si les différentes modalités d'enseignement du concept de concurrence selon les groupes se traduisent par des différences dans l'évolution de leurs scores de conceptualisation relatif à ce concept entre le pré et le post-test.

Groupe	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral	Groupe EVE et feed-back	Global
Evolution du Score					
Moyenne	3,75	3,89	0,58	-2	1,4
Ecart-type	4,71	5,62	4,36	4,61	5,24
Médiane	3	3	0	-3	1
Min ; Max	-4 ; 11	-5 ; 13	-7 ; 7	-8 ; 8	-8 ; 13
Nombre d'élèves dont la progression est > à 1 ET par rapport à la moyenne globale	5	3	2	1	-
Nombre d'élèves dont la régression est > à 1 ET par rapport à la moyenne globale	1	1	2	4	-

Tableau 12 : Conceptualisation des phénomènes de concurrence : comparaison de l'évolution moyenne du score global des élèves des différents groupes à la moyenne des scores

Groupe	Moyenne	Eff.	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
Groupe vidéo	3.92	12			
Groupe sans apports	3.89	9	NS (99.05%)		
Groupe EVE et cours magistral	0.42	12	PS (8.17%)	PS (12.98%)	
Groupe EVE et feed-back	-2.17	12	- TS (0.56%)	- S (1.51%)	NS (18.33%)

Tableau 13 : Conceptualisation des phénomènes de concurrence : comparaison de l'évolution moyenne du score global des élèves entre les différents groupes expérimentaux

D'une manière globale, l'évolution des moyennes des scores de conceptualisation relative à l'ensemble des dimensions de la concurrence prises en compte dans les tests est **significativement différente entre les groupes**. Comme dans le cas du concept de milieu, les groupes « vidéo » et « sans apports » progressent, alors que celui du groupe « EVE et feed back » régresse fortement (celui du groupe 3 restant plus ou moins stable). La différence

est **particulièrement significative entre les groupes « vidéo » et « EVE et feed back » et entre les groupes « sans apports » et « EVE feed back »**. Elle est en lien avec une augmentation particulièrement importante de la moyenne des scores dans les groupes « vidéo » (de 14,5 à 18,4) et « EVE sans apport » (de 17,2 à 21,1) associée à une baisse forte dans le groupe « EVE feed back » (de 18,3 à 16,1).

Entre les **groupes « vidéo » et « EVE feed-back »**, la différence d'évolution porte sur **le type de conceptualisation, le nombre de facteurs de la concurrence qui sont considérés et l'effet des relations de concurrence** (chacune de ces dimensions ne produisant pas une évolution significative à elle seule).

Pour les **groupes « sans apports » et « EVE feed back »**, cette différence d'évolution porte surtout sur **le nombre de facteurs et de processus** liés à la concurrence qui sont décrits.

Comme le montrent les deux dernières lignes du tableau 14, au regard du faible effectif dans chaque groupe, les évolutions observées ne sont pas attribuables à une forte évolution des scores d'un nombre réduit d'élèves dans chaque groupe (pas de différences significatives entre les groupes concernant la répartition du nombre d'élèves ayant eu une progression ou une régression forte).

L'analyse ne montre qu'une relation peu significative entre le score au prétest et l'évolution du score global de conceptualisation : l'évolution n'est donc pas corrélée au niveau initial des élèves. Cette différence ne semble pas non plus attribuable à la spécialité du bac suivie (aménagement ou production) puisque la corrélation n'est pas significative.

Comme pour le concept de milieu, on peut s'interroger **sur l'incidence sur cette évolution de la motivation interne (MI) pour la séance proposée, puisque le groupe « sans apport »** présente un score de MI moyen significativement supérieur au groupe « EVE cours magistral » (même si elle est peu significativement différente avec le groupe « EVE Feed-back »). Cependant, au niveau de l'ensemble de la population, la corrélation entre MI et évolution du score global n'est pas significative (Corrélation = 0,28). Elle ne l'est pas non plus avec les scores de motivation externe, d'amotivation ou d'intérêt déclaré pour le thème de la forêt.

Autrement dit, pour l'apprentissage du concept de concurrence, il semble que **les scénarii des groupes « vidéo » et « EVE sans apport » (dans une moindre mesure) soit plus favorable à la progression des élèves que celle du groupe « EVE feed-back »**.

Toutefois, il faut relativiser cette conclusion. En effet, le tableau 14 montre que l'écart-type de l'évolution des scores dans chacun des groupes est important et que l'on trouve à la fois des élèves qui progressent de manière importante dans chaque groupe et des élèves qui régressent.

Analyse des conceptualisations des élèves concernant le concept de milieu

Afin d'affiner la compréhension des évolutions observées dans les conceptualisations des élèves, nous avons caractérisé de manière plus précise les conceptualisations relatives au milieu et aux phénomènes de concurrence qui apparaissent dans les réponses des élèves.

Type de conceptualisation du milieu

Au regard des types de conceptualisations élaborées par les didacticiens, et comme ceux-ci l'ont déjà noté, il est intéressant de constater que l'on retrouve différents types de conceptualisations chez le même élève, en fonction des questions/situations sur lesquelles il lui est demandé de réfléchir. Ainsi une représentation de type « milieu- facteur » cohabite fréquemment avec une représentation de type « milieu-harmonie ». On retrouve la première lorsqu'il s'agit d'interpréter l'observation de différences de populations d'arbres dans divers lieux (ex : pourquoi n'observe-t-on pas de chêne en dessus de 1200 m d'altitude ?). On retrouve une représentation du type « harmonie » lorsqu'il s'agit d'envisager l'évolution dans le temps de ces populations (ex : lorsqu'un chemin n'est pas entretenu que se passe-t-il ? « *La nature reprend ses droits* »). Ce constat rejoint l'idée que des

conceptualisations vont se construire chez les élèves en amont ou en parallèle aux connaissances scientifiques qu'ils vont acquérir en classe et coexister avec elles (Tiberghien, 2003).

La Figure 3 montre que la conceptualisation la plus fréquente est de type « milieu-facteur »³ (peut-être en lien avec la forme de certaines des questions posées). On peut aussi noter qu'une part importante des élèves (environ 70%) semble avoir une conceptualisation de type « biorelatif » pour laquelle le milieu est fonction des caractéristiques des arbres. Toutefois, ce constat est à nuancer. En effet, nous retrouvons ce type de conceptualisation dans les réponses de certains élèves au QCM dans lequel ils ont à choisir entre différentes propositions de définition du milieu pour un arbre. Pour une part de ces élèves, les questions ouvertes tendent à montrer qu'ils ne mobilisent pas une telle conceptualisation biorelatif du milieu, mais davantage une conceptualisation de type « facteurs » : la notion de besoins spécifiques de l'espèce (voire de l'arbre) ne semble pas ou mal construite chez beaucoup d'entre eux (voir plus loin).

Le type de représentations retrouvé évolue très peu entre le pré-test et le post-test.

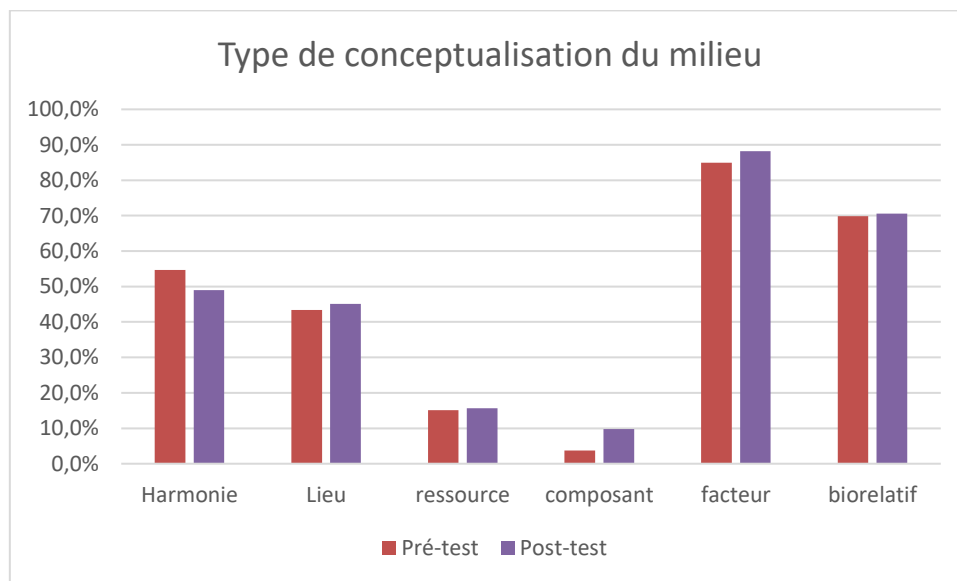


Figure 3 : Type de conceptualisation du milieu retrouvée dans les réponses des élèves au pré-test et au post-test (en % du nombre d'élèves dont la conceptualisation correspond à un type donné)

Formes langagières concernant la conceptualisation du milieu

Concernant les termes utilisés par les élèves pour désigner le milieu, la figure 4 permet de remarquer que seuls 30% des élèves utilisent le mot « milieu ». On peut ajouter que 11 élèves (21%) n'utilisent aucun terme pour désigner le milieu. Le nombre moyen de concepts utilisés pour désigner le milieu se situe entre 1 et 2 (1,4 en moyenne).

D'autres termes sont employés par quelques élèves : endroit (36%) ; conditions (15%) ; environnement (11%), montrant que le milieu est d'abord envisagé comme synonyme de lieu ou de conditions. Ceci alors qu'un seul élève utilise le concept de biotope et aucun celui de biocénose. Enfin, pour quelques élèves, il y a une forme de confusion entre les concepts désignant le milieu et le concept de biodiversité.

³ Rappel : conceptualisation « milieu-facteur » : Le milieu se définit par un certain nombre de facteurs (les "facteurs du milieu"), en relation les uns avec les autres. L'action de ces facteurs explique la présence/absence des divers êtres vivants et leur répartition. On peut parler d'une conception MILIEU-FACTEURS INTERDEPENDANTS dès lors que les facteurs ne sont plus considérés comme agissant de façon isolée mais que leur action est conçue en interaction les uns avec les autres : comme une résultante plutôt que comme une addition.

Lors du post-test, les termes utilisés évoluent peu. Cependant, l'usage du terme de milieu diminue de plus de la moitié – en particulier dans les groupes 1 et 2 - ce qui peut paraître surprenant au regard des objectifs des séances données à vivre aux élèves.

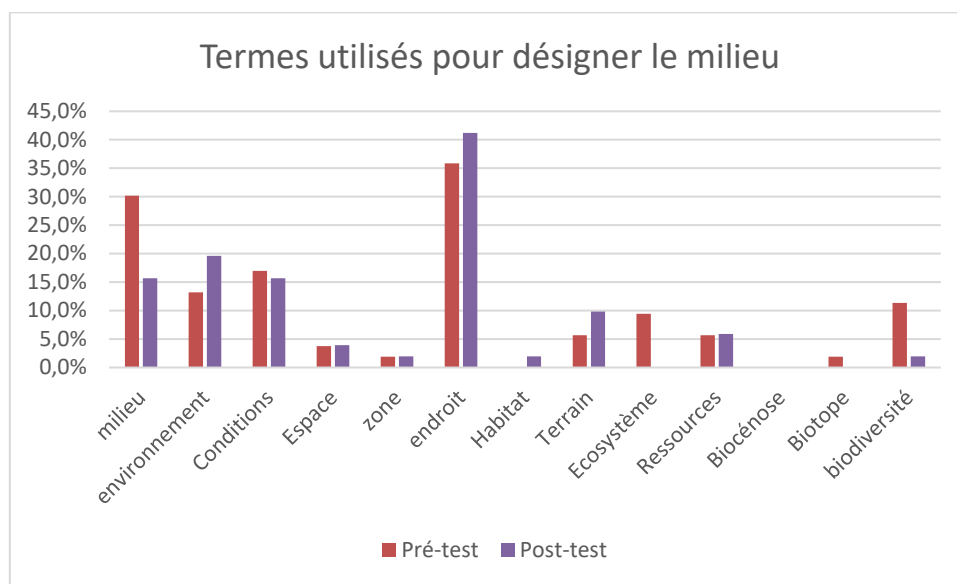


Figure 4 : Formes langagières utilisées pour désigner le milieu dans les réponses des élèves au pré-test et au post-test (en % du nombre d'élèves qui citent un terme donné)

Objets mis en relation dans la conceptualisation du milieu et propriétés de ces objets

Composants du milieu cités par les élèves

En moyenne, les élèves citent 11 composants du milieu (min = 7, max = 15), auxquelles ils associent au total 12 à 14 propriétés (Les sols étant la composante pour laquelle ils diversifient le plus les propriétés, et, dans une moindre mesure le climat). Il n'y a pas de différence significative selon les spécialités suivies. Ce nombre évolue peu lors du post-test (moy = 10,6 ; min = 8, max = 14).

Le graphique ci-dessous (figure 5) reprend les composants fondamentaux du milieu au regard du développement des arbres cités par les élèves en réponse à ce qui est nécessaire à un arbre pour se développer. L'eau et le sol sont cités par une immense majorité des élèves, ainsi que la lumière, la température (ou la chaleur⁴) dans une moindre mesure (respectivement 87% et 74%). Mais 3 autres composants fondamentales sont beaucoup moins citées : les minéraux – ou parfois les engrais (55% au pré-test et 49% au post-test), et surtout l'oxygène et le gaz carbonique (environ 20% des élèves citent l'un ou l'autre, et 10% citent les deux). **Ces résultats sont proches de ceux retrouvés par M. Gaulon dans son étude des représentations des élèves de collège concernant la photosynthèse** (Gaulon, 2018). D'un côté, il est possible que cela soit en lien avec le fait que ces composantes ne varient pas (en termes de quantité, de composition ou de besoin) dans le milieu ou qu'elles soient non visibles. Toutefois, plusieurs élèves attribuent l'absence d'arbre en altitude à une diminution de la teneur en oxygène ou en CO₂ (ce qui peut être une marque d'une représentation anthropomorphe de l'arbre comme nous le verrons plus loin) . De l'autre, **il est possible de mettre aussi cela en relation avec la conceptualisation erronée quant aux processus de « nutrition » des arbres par photosynthèse** (voir nos conclusions plus loin).

⁴ Remarque : à ce niveau les élèves ne distinguent pas le concept de chaleur de celui de température (la mesure de la chaleur).

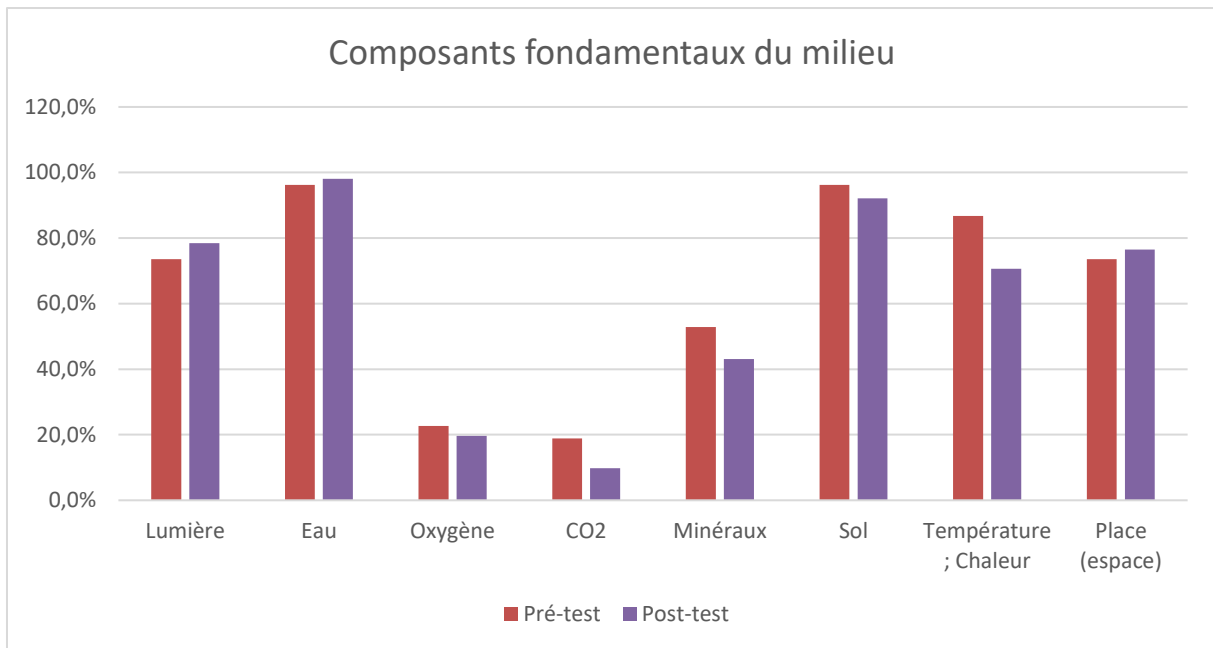


Figure 5 : Composants fondamentaux du milieu nécessaires au développement des arbres cités par les élèves lors du pré-test et du post-test (en % du nombre d'élèves qui citent composante fondamentale donnée)

Enfin, outre ces composants fondamentaux, d'autres composants du milieu interviennent dans le développement des arbres (sur la vitesse de croissance, la survie, la forme, la taille, les espèces en présence, etc.) et/ou sont influencés par la présence des arbres et leur développement. Lorsque ces composants fondamentaux ne sont pas cités, ils sont parfois intégrés dans des composants plus globaux. Par exemple, la température et l'eau peuvent être intégrées dans le concept de climat. Par ailleurs, les élèves ne citent pas toujours le composant fondamental, mais la forme qu'il prend dans le milieu. Ainsi l'eau est citée à travers la pluie, les précipitations, l'hygrométrie, l'humidité des sols. Le graphique ci-dessous récapitule l'ensemble des composants retrouvés dans les réponses des élèves. Il montre que ces composants varient peu entre le pré et le post-test.

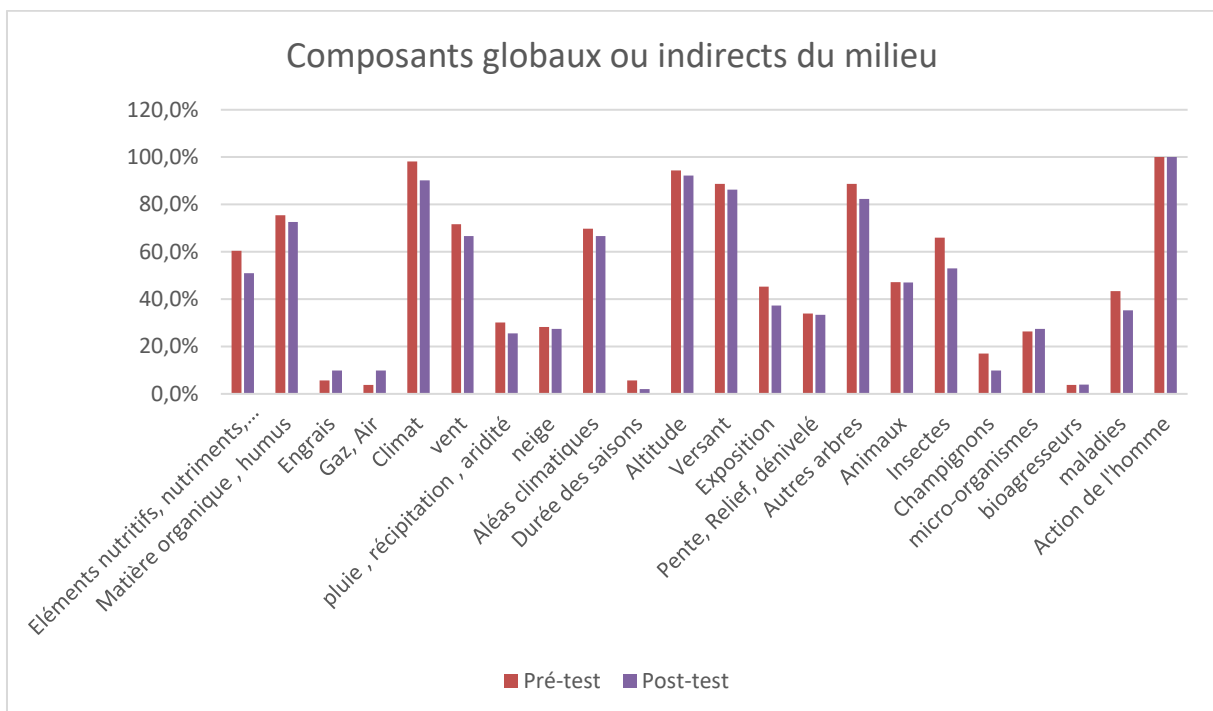


Figure 6 : Composants du milieu qui jouent un rôle dans le développement des arbres tels que cités par les élèves lors du pré-test et du post-test (en % du nombre d'élèves qui citent une composante donnée)

Le premier constat est que tous les élèves ont intégré les effets des actions de l'homme comme composant du milieu intervenant dans le développement ou la survie des arbres. A tel point que pour interpréter des observations (comme la diminution du nombre d'arbres dans le temps), plusieurs élèves pointent en premier lieu voire uniquement l'action de l'homme (coupe ; pollution) ou les aléas, sans citer les phénomènes et processus naturels (morts de l'arbre par concurrence ou vieillissement).

Le second est que, là encore, rares sont les élèves qui intègrent l'air ou les gaz dans les éléments du milieu à considérer.

En ce qui concerne les éléments nutritifs, une grande majorité des élèves cite la matière organique ou l'humus (75%), dont la moitié ne cite que l'humus et pas les minéraux. Autrement dit, pour environ 38% des élèves, il semble que les arbres utilisent directement la matière organique du sol pour leur développement. Ce nombre est même de 65% lors du post-test. **Cela correspond d'ailleurs avec la faible proportion d'élèves qui font référence au processus de minéralisation de la matière organique.**

Le climat est largement cité et décliné dans différentes composantes : le vent, la neige, la pluie, les aléas climatiques. Concernant le vent et la neige, une partie des élèves connaît leurs effets potentiels sur la forme des arbres.

La plupart des élèves ont conceptualisé l'effet de l'altitude et du versant sur le développement des arbres et les espèces en présences (94%). Cependant ils ne l'attribuent pas tous à un effet du climat différent en altitude (chaleur, précipitations) et encore moins aux caractéristiques différentes du sol (profondeur moindre, type de sol, etc.). Sept d'entre eux (13%) attribue cet effet à une diminution du taux d'oxygène et 3 (6%) à une augmentation du taux de CO₂, **correspondant à une vision anthropomorphique du développement de l'arbre.** Ce nombre diminue lors du post-test (4 pour l'O₂ et 0 pour le CO₂).

En lien avec le climat (chaleur, durée et intensité d'ensoleillement), très rares sont les élèves qui associent à l'altitude l'idée d'un effet de la durée des saisons ou plus exactement de la durée de la période propice au développement des arbres.

La pente (relief ou dénivelé) est citée comme un composant du milieu par 33% des élèves. Mais très peu précisent qu'elle agit sur l'épaisseur et la stabilité du sol et donc sur la stabilité d'ancrage de l'arbre ; ainsi que sur l'eau disponible (écoulement de l'eau).

Les composantes de la biocénose sont peu évoquées. Les élèves parlent surtout des insectes (66%) et de leur rôle dans la décomposition des arbres et de la matière organique et dans la structuration du sol. Les champignons (17%) et les micro-organismes (26%) sont moins cités. Les animaux sont essentiellement cités à travers les oiseaux (qui participent à la dégradation des arbres morts), les vers de terre (pour la décomposition de la matière organique et la structuration des sols). Mais peu d'élèves les évoquent dans leur rôle potentiel de bio-agresseur pour l'arbre.

Enfin, les maladies (43%) regroupent indistinctement un ensemble de composants du milieu pouvant affecter le développement ou la survie des arbres.

Propriétés des composants cités

Pour ces différents composants, les élèves vont leur attribuer des propriétés que synthétise le tableau ci-dessous. En moyenne, les élèves évoquent 13 propriétés (entre 7 et 20) de ces différents composants (au total, 42 propriétés différentes apparaissent).

Composantes	Propriétés	Nombre d'élèves qui citent une propriété	% du nombre d'élèves
Arbres	Taille	42	79%
	Vitesse de croissance	12	23%
	Système racinaire	10	19%
	Age	36	68%
	Robustesse	4	8%
	Espace aérien et dans le sol	35	66%
Espèce	Besoins	23	43%
	Vitesse de croissance	29	55%
	Résistance / Tolérance /Robustesse (chaleur, froid, ombre)	20	38%
	Production de substance inhibitrice	5	9%
Eau	Quantité	35	66%
	Disponible	5	9%
	Accessible	1	2%
Lumière	Quantité / Luminosité	49	92%
	Exposition	21	40%
	Durée ensoleillement	1	2%
Minéraux	Quantité	16	30%
	Type	6	11%
Sol	Composition (minéraux, matière organique ; « fertilité » ; « qualité »)	32	60%
	Type	26	49%
	Texture, structure	36	68%
	Caractéristiques chimiques (acidité, pH, etc.)	7	13%
	Profondeur/Epaisseur	11	21%
	Humidité	15	28%
	Rétention d'eau	1	2%
	Stabilité	1	2%
	Pente	19	36%
	Climat	Température moyenne	4
Température minimale		1	2%
Précipitations / pluie / intempéries		14	26%
Hygrométrie		4	8%
Neige		2	4%
Vent		29	55%
Aléas climatique	Foudre	2	4%
	Gel	2	4%
	Tempête	2	4%
	Feu	1	2%
	Grêle	1	2%
	Sécheresse	11	21%
Biocénose	Bioagresseurs	6	11%
	Destructeur/ravageur	2	4%
Action de l'homme	Bucheronnage (entretien, coupe, plantation, etc.)	37	70%
	Passage	37	70%
	Piétinement	19	36%
	Pollution	14	26%

Tableau 14 : Propriétés attribuées par les élèves aux différents composants du milieu qu'ils citent dans leurs réponses

L'âge, la taille de l'arbre et l'espace aérien dont il dispose sont les propriétés les plus utilisées. Quelques élèves parlent des caractéristiques de son système racinaire en lien avec l'accès aux nutriments et à l'eau ou avec la stabilité de l'arbre. Cependant, ce sont principalement ses caractéristiques aériennes qui semblent conceptualisées. Ainsi, la place disponible dans le sol pour les racines ne figure presque jamais dans les réponses des élèves.

	Pré-test		Post test	
	Nombre d'élèves	% des élèves	Nombre d'élèves	% des élèves
<i>Non prise en compte des caractéristiques de l'espèce ou de l'arbre</i>	5	9,4%	3	5,9%
<i>Prise en compte des caractéristiques de l'espèce</i>	32	60,4%	32	62,7%
<i>Prise en compte des caractéristiques spécifique à chaque arbre</i>	16	30,2%	16	31,4%
Total	53		51	

Tableau 15 : Prise en considération des caractéristiques spécifiques à l'espèce et à chaque arbre considéré dans les réponses des élèves

La grande majorité lui attribuent une vitesse de croissance spécifique. 4 élèves font référence à une « robustesse » spécifique. Cela montre qu'ils intègrent l'idée que chaque arbre d'une même espèce a des caractéristiques propres, même si un seul élève les relie à des caractéristiques génétiques. Cependant 9% (5 élèves) considèrent que tous les arbres d'une même espèce poussent à la même vitesse.

Le concept d'espèce (dont on peut penser qu'il n'est pas encore maîtrisé par tous) est associé à des besoins et une vitesse de croissance spécifiques, ainsi qu'à des caractéristiques de résistance et tolérance à divers facteurs. De manière globale, une majorité d'élèves prend en compte les caractéristiques spécifiques des différentes espèces dans ses explications. Mais il n'y a que **30% d'entre eux qui intègrent le fait que chaque arbre a des caractéristiques spécifiques** (autécologie des arbres).

L'eau est abordée en termes de quantité, mais peu fréquemment quant à sa disponibilité ou son accessibilité dans le sol.

De même, **la lumière** est pensée en quantité à un instant t (luminosité/intensité lumineuse, exposition), mais pas en termes de durée d'exposition.

Les minéraux, moins convoqués, sont envisagés de manière globale, parfois sous le terme d'engrais. Mais ils sont rarement spécifiés quant aux différents types de minéraux indispensables. Quelques élèves précisent cependant l'importance de l'azote, du phosphore et du potassium et un seul parle du calcium.

Le sol est le composant du milieu qui est caractérisé avec le plus de propriétés (9). Ce sont sa structure (à travers le « tassement » ou « l'aération » du sol) et sa composition (type et quantité de minéraux, de matière organique) que l'on retrouve le plus dans les réponses des élèves. Le type de sol (rocheux, argileux, sableux, etc.) apparaît chez presque la moitié d'entre eux (avec plus ou moins de précision). Il est intéressant de noter que la profondeur, l'humidité et les caractéristiques chimiques (pH, acidité, salinité) sont peu évoquées.

Le climat est décomposé en ses sous composants, mais souvent peu caractérisé. Ainsi, si beaucoup d'élèves parlent de la température (ou de la chaleur), très peu convoquent les notions de température minimale, aucun de température maximale, ou encore d'empan de température. Ces notions sont abordées indirectement via les aléas climatiques associés : sécheresse, gel, ou tempête (pour ce qui est de l'intensité du vent). Quelques-uns parlent des précipitations ou de l'hygrométrie. Mais aucun ne parle de jour d'ensoleillement ou de durée des saisons, etc. par exemple.

Si plusieurs **composants de la biocénose** sont évoqués, aucun ne se voit attribuer de propriétés ou de caractéristiques si ce n'est les appellations, « bioagresseur », « ravageur » ou « destructeur ». Leur densité ou leur nombre n'est jamais évoqué.

Enfin, les effets des **actions de l'homme** sont déclinés en lien avec les images et situations proposées. Ils sont surtout associés à la fréquence de passage (à pied ou engins) qui entraîne le tassement du sol et le piétinement des jeunes pousses. Beaucoup d'élèves parlent des actions de bucheronnage, d'entretiens des chemins, de plantation. Quelques élèves font référence à la pollution. **En définitive, le réchauffement climatique est peu convoqué pour expliquer les situations proposées.**

Concepts relationnels entre les objets dans la conceptualisation du milieu

Concept relationnel : désignation et conceptualisation des processus bioécologiques

En moyenne, lors du pré-test, les élèves **décrivent 4 processus** relatifs au milieu (entre 0 et 9), mais n'en **nomment que 3** (entre 0 et 7). 1 seul élève ne nomme aucun processus. Au total, l'ensemble des élèves fait référence à 17 processus.

Les termes les plus utilisés sont ceux de **décomposition** (70% des élèves), de **développement** (ou souvent de « croissance ») des arbres et de **besoins**. **D'une part, en creux, cela montre que 30 à 50% des élèves ne semblent pas être en mesure de nommer ces processus que pourtant une partie d'entre eux décrit.** Autrement dit, de manière fréquente **ils parlent de processus sans les nommer**. Ainsi plusieurs processus semblent conceptualisés mais sans être nommés : par exemple l'érosion ou l'acidification des sols, le grainage, la fructification, la concurrence, l'allélopathie. **D'autre part, nous verrons que la capacité à nommer tel ou tel processus ne signifie pas que sa conceptualisation soit très élaborée ni exacte.**

Le terme de **minéralisation** est rarement utilisé, tout comme ceux d'érosion et d'acidification des sols (uniquement dans le post-test). Des concepts écologiques comme celui de dispersion (des graines), d'ensemencement (naturel) ou de colonisation (par les plantes) sont eux-aussi très peu utilisés. Ils apparaissent toutefois davantage dans le post-test. Il y a souvent des formes **d'anthropomorphisme** dans l'usage des termes : les arbres « grandissent », se « nourrissent ».

A l'inverse, **certains processus sont nommés** (bien que de manière peu fréquente), mais **leur conceptualisation semble très restreinte** car ils ne sont jamais ni décrits, ni invoqués comme cause ou conséquence de ce que les élèves observent ou décrivent dans les situations proposées : photosynthèse ; minéralisation.

Il semble aussi y avoir une relative confusion concernant les processus de décomposition, humification, dégradation, pourrissement voire destruction.

D'une manière globale, il y a peu d'évolutions entre le pré et le post test, mais on note une légère diminution de l'usage du terme développement.

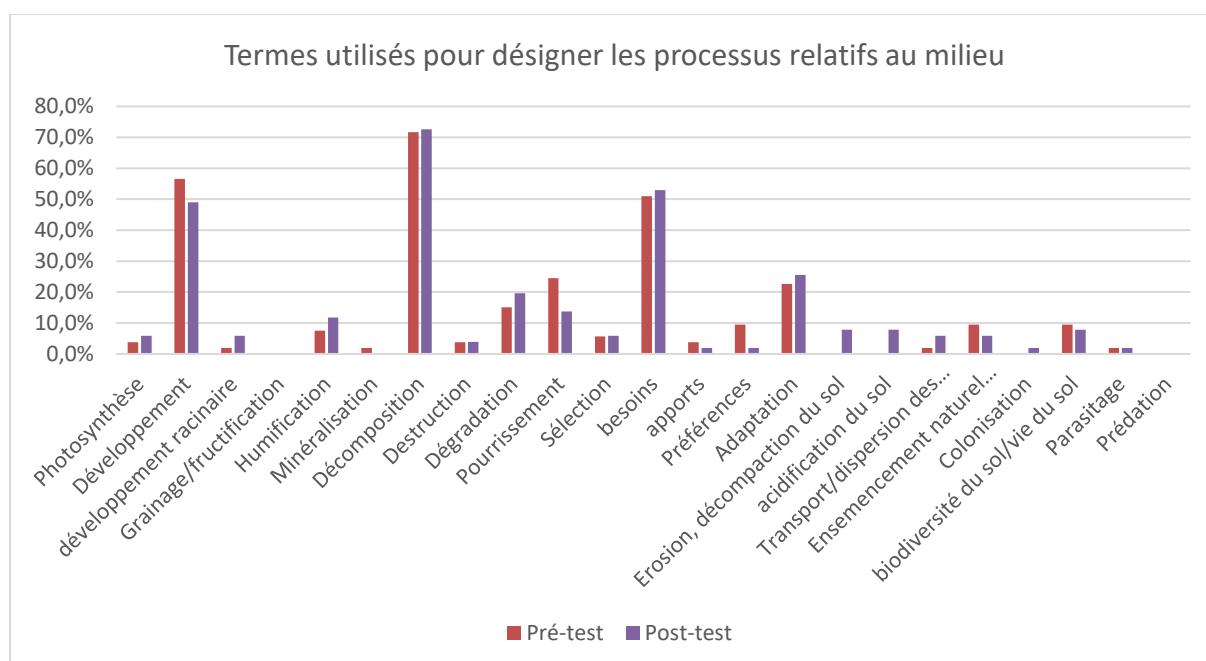


Figure 7 : Termes utilisés par les élèves pour la désignation et la conceptualisation des processus bioécologiques lors des pré-test et post-test (en % du nombre d'élèves qui utilisent un terme donné)

Précision de la description des processus

La précision dans la description faite par les élèves des processus à l'origine des situations proposées dans le questionnaire est dans l'ensemble **assez faible**. L'immense majorité se contentent de décrire ce que l'on peut observer sans en expliquer les causes, ou de manière très vague, même quand des explications leurs sont demandées. Quelques rares élèves proposent des explications plus précises basées sur les processus biologiques, biochimiques ou écologiques.

Il n'y a pas de différence entre les groupes quant à la précision dans la description des processus. Il n'y a pas non plus d'évolution significative entre le pré et le post-test.

Précision description des processus	Pré-test	Post-test
<i>non décrit</i>	0	0
<i>Descriptif</i>	37	31
<i>Vague</i>	12	17
<i>Assez précis</i>	3	3
<i>Précis</i>	1	0
Total	53	51

Tableau 16 : Niveaux de précision dans la description faite par les élèves des processus à l'origine des situations proposées dans le questionnaire (nombre d'élève par niveau)

De ce point de vue, les réponses des élèves aux questions ouvertes confirment **que les conceptualisations de certains processus fondamentaux sont peu élaborées, voire erronées.**

C'est le cas des processus permettant le **développement des arbres**. Ainsi, seuls deux élèves au pré-test (3 au post-test) font référence à la photosynthèse. Pour tous les autres, la nutrition semble se faire uniquement par les racines et par absorption de matière organique du sol. Il y a de ce point de vue des confusions quant aux rôles relatifs de la photosynthèse et de la respiration chez les végétaux. Il y a aussi des erreurs de type **anthropomorphique** quant à l'incidence de la variation de la quantité d'oxygène ou de gaz carbonique sur la survie des arbres : 8 élèves expliquent que l'absence d'arbres en altitude est due à une teneur en oxygène insuffisante et 3 à une teneur en gaz carbonique insuffisante.

Un élève semble même penser que la respiration se fait principalement par les racines : « *Les insectes et les vers de terre vont dans la première couche du sol pour décomposer la matière organique morte. Ensuite, ils vont dans l'humus puis dans le sol pour l'aérer et permettre aux arbres d'avoir de l'air par les racines* »

Une autre confusion concerne la place de la chaleur dans le fonctionnement des arbres. Si 87% des élèves en font un composant du milieu fondamental pour le développement des arbres, 4 d'entre eux expliquent que si les arbres ont des branches davantage rabattues en altitude, c'est pour se protéger du froid (isolation) ou conserver leur chaleur. Autrement dit, **ils pensent l'arbre comme un homéotherme ayant développé des stratégies pour conserver sa chaleur.**

Le **concept de besoin** (spécifique et différenciant entre espèces voire arbre) **apparaît comme peu ou mal construit** chez beaucoup d'élèves. On retrouve très souvent dans les réponses des formes telles que « tous les arbres ont besoin d'eau, de minéraux », « certaines espèces ont besoin de plus d'eau » (avec usage du groupe verbal « avoir besoin »). Mais très peu d'élèves vont jusqu'à dire que les différentes espèces ont des besoins différents pour tel ou tel élément, ou qu'ils en ont besoin dans des quantités différentes (usage du nom « besoin »). Si 12 élèves au pré-test et 13 au post-test associent la différence entre espèces à leur adaptation à tel ou tel type d'environnement (humide/sec ; chaud/froid ; type de sol ; etc.), ils la relient parfois à des tolérances à une des valeurs importantes de tel facteur (tolérance à des températures élevées par exemple), mais quasiment jamais à des « besoins » spécifiques. On peut aussi noter que le concept de besoin est parfois associé à l'environnement et non à l'arbre : « les besoins ne sont pas les mêmes selon les régions » ; « Un des

deux arbres consomme les besoins de l'autre ». En d'autres termes, ils n'ont majoritairement pas compris que les espèces ont des exigences différentes vis-à-vis des facteurs du milieu (autécologie).

La **conceptualisation de la décomposition** de la matière organique **se limite à sa transformation en « humus »**, que beaucoup d'élèves considèrent comme ce qui va servir à l'arbre pour son développement. Cette transformation est décrite de manière sommaire à travers quelques exemples d'organismes qui y jouent un rôle (insectes le plus souvent, oiseaux, rongeurs, vers de terre et, plus rarement, les micro-organismes), et parfois de conditions climatique (la pluie). Mais il n'y a aucune référence à la manière dont ces organismes contribuent à cette transformation. Les processus de **minéralisation** sont très rarement cités et encore moins décrits (un seul élève).

Les autres processus d'évolution des sols sont peu convoqués : érosion ou décompaction ; acidification ; etc.

D'une manière générale, les **processus relatifs aux relations directes entre les êtres vivants sont rarement décrits** et nommés. Ainsi, dans les explications de ce qui peut causer la mort d'un arbre, seuls 2 élèves font référence au parasitage des arbres par d'autres végétaux (1 seul nommant le concept de parasite) ; aucun ne fait référence à la prédation des végétaux par les animaux.

Les réponses des élèves font très peu appel aux processus écologiques de la colonisation du milieu, tels que le transport/la dispersion des graines, l'ensemencement naturel, la succession des [espèces pionnières] (voir les concepts des cours d'écologie).

Erreur dans les processus

Le nombre d'erreurs dans les processus (dont réponses au QCM) est en moyenne de 2,7, mais peut aller jusqu'à 7. Les erreurs les plus courantes concernent les phénomènes de concurrence, mais aussi l'évolution des espèces présentes dans une forêt, ainsi que la compréhension de leur répartition dans l'espace (voir plus loin

Il est plus important dans le groupe 1 et moins important dans le groupe 4 (Réponses effectives : 52 Non-réponse(s) : 1 Taux de réponse : 98,1% p-value = 0,02 ; Fisher = 3,62 (La relation est significative)

Relation arbres-milieu et effet de ces relations

Comme le montrent les Figure 8 et Figure 9, Les réponses des élèves dévoilent qu'ils ont **tous intégré une conceptualisation plurivoque des relations du milieu vers l'arbre**, le milieu étant envisagé **comme un ensemble de facteurs** intervenant sur le(s) arbre(s) (voir les résultats concernant les types de conceptualisation des élèves). Mais peu considèrent les relations de l'arbre vers le milieu et encore moins les processus de rétroactions.

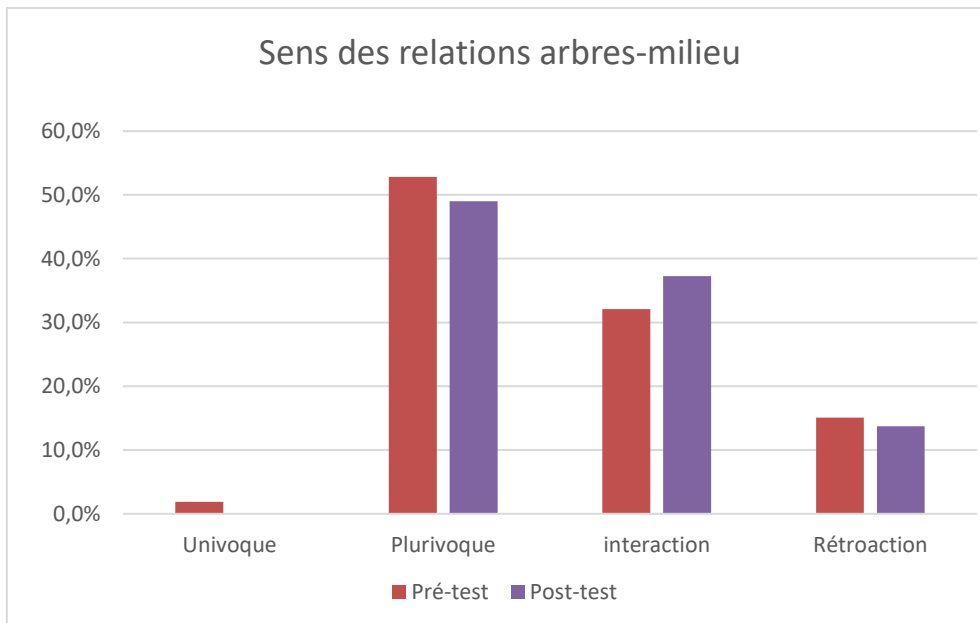


Figure 8 : Sens des relations entre un arbre et son milieu qui apparaissent dans les réponses des élèves lors des pré-test et post-test (en % du nombre d'élèves dont les réponses montrent la conceptualisation d'un sens de relation donné).

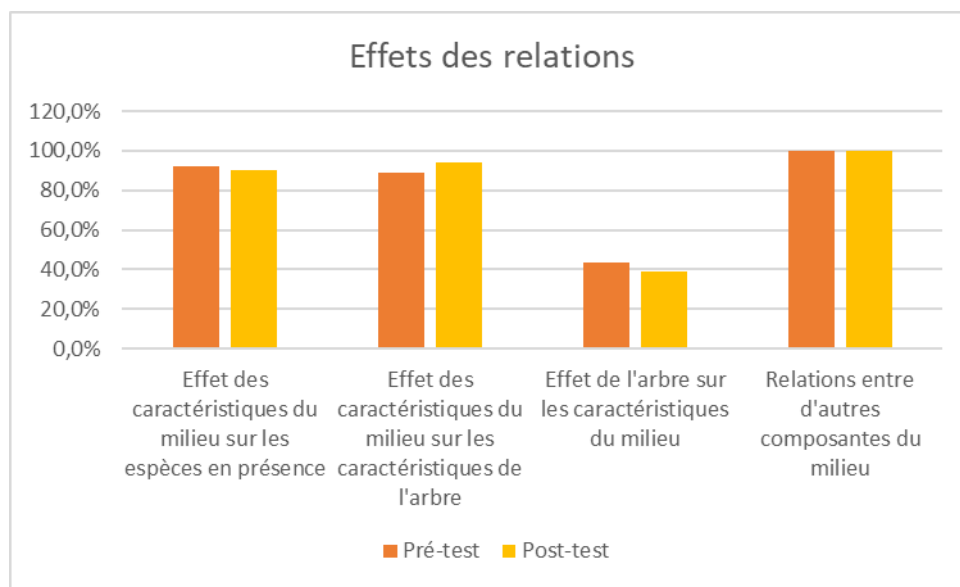


Figure 9 : Effets des relations entre un arbre et son milieu qui apparaissent dans les réponses des élèves lors des pré-test et post-test (en % du nombre d'élèves qui citent un effet donné).

Pour une grande partie des élèves le milieu a un effet sur la survie de l'arbre, sur sa forme et sur les espèces en présence à un endroit donné. Il y a d'ailleurs quelques erreurs récurrentes ou ponctuelles comme le fait de lier la forme du branchage des épicéas en altitude

- au froid (6 élèves), afin de se protéger du froid (isolation) ou conserver leur chaleur (cf. conception de l'arbre comme un homéotherme) ;
- à la pente (moins d'espace pour pousser 5 élèves)
- ou au manque d'oxygène en altitude (1 élève).

En ce qui concerne l'effet de la pente, il est possible que cela soit lié à la figure présentée dans la question 10, sur laquelle les branches de l'épicéa semblent s'arrêter à l'endroit où elles rejoignent le sol (cf. figure ci-dessous).

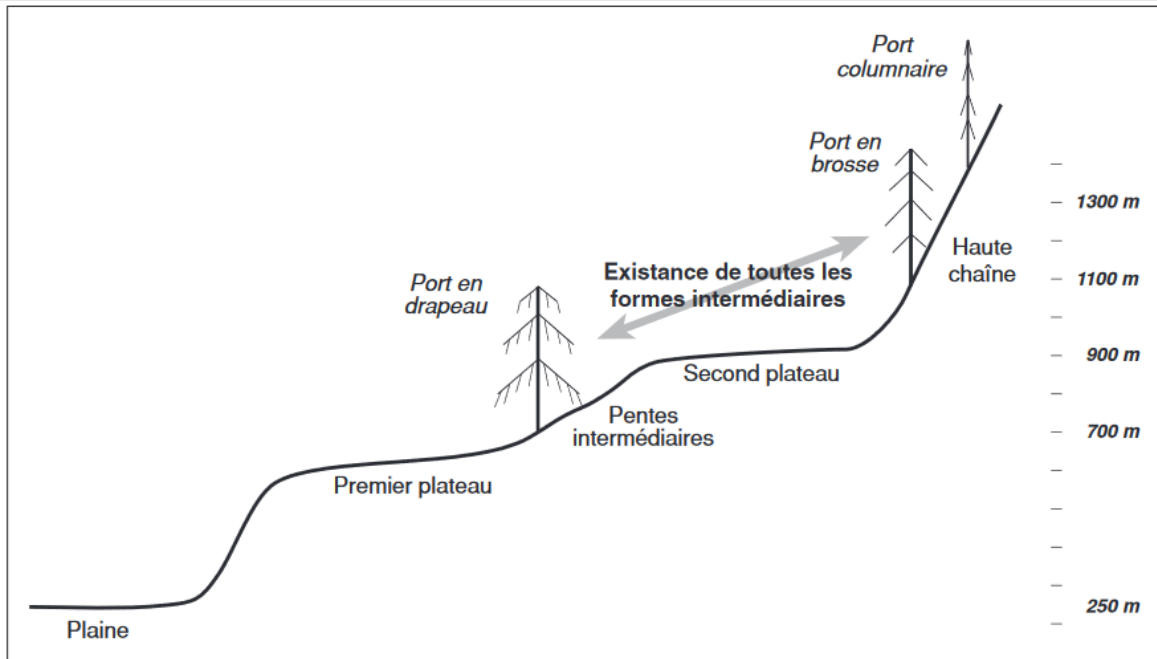


Figure 10 : Figure présentée dans le questionnaire des pré et post-test pour tester leur conceptualisation de l'effet de la neige sur la forme de l'arbre

Seule la moitié d'entre eux conceptualise la relation inverse de l'arbre vers son milieu. A travers nos questions, les élèves parlent de l'effet d'un arbre sur la lumière, l'eau, les nutriments disponibles pour les autres arbres. Quelques-uns décrivent l'acidification des sols liée aux aiguilles du pin. Enfin, 5 élèves au pré-test (7 au post-test) connaissent le phénomène de production par une espèce d'une substance toxique ou inhibitrice pour d'autres espèces, même si aucun n'est en mesure de le nommer (allélopathie). Enfin, seuls 15% d'entre eux conceptualisent les processus de rétroaction entre l'arbre le milieu.

Variation du milieu

D'un côté, les réponses aux questions ouvertes tendent à montrer que l'immense majorité des élèves semble avoir intégré **la variation spatiale du milieu aux différentes échelles considérées** : 94 % à l'échelle locale d'une forêt et 96% à une échelle plus globale tel qu'un pays ; 93 % en fonction de l'altitude et 89% en fonction du versant. En creux, ces réponses, comme celles au QCM, donnent à voir qu'une partie des élèves l'envisagent comme uniforme (4 à 6%).

Dans les réponses, les **variations à l'échelle globale** portent principalement sur **le climat** (chaleur, précipitation, hygrométrie, température minimale, vent). Elles sont **moins souvent associées à des variations des caractéristiques des sols**. Elles ne sont jamais associées à des variations de durée d'ensoleillement.

A **l'échelle locale d'une forêt**, on note une inversion : les variations portent essentiellement **sur les caractéristiques des sols** (composition et « fertilité »), de l'eau et de manière moindre à des dimensions (micro) climatiques. Elles portent aussi sur des variations de **luminosité** (en lien avec la densité d'arbres présents).

En ce qui concerne **les variations liées à l'altitude**, sans surprise, les élèves citent le plus souvent des variations d'ordre **climatique** (chaleur/température). Ils sont moins nombreux à décrire des variations des sols (types et profondeur), et encore moins de l'eau disponible (en lien avec les sols et la pente qui favorisent l'écoulement). D'un versant à l'autre, c'est aussi le climat qui est le plus souvent invoqué (chaleur/température). Selon les élèves, la différence d'« exposition au soleil » semble alors associée soit à une différence de chaleur (température), soit à une différence de quantité de lumière reçue.

La conceptualisation des **évolutions dans le temps des composantes du milieu est plus limitée comme le montre la Figure 11.**

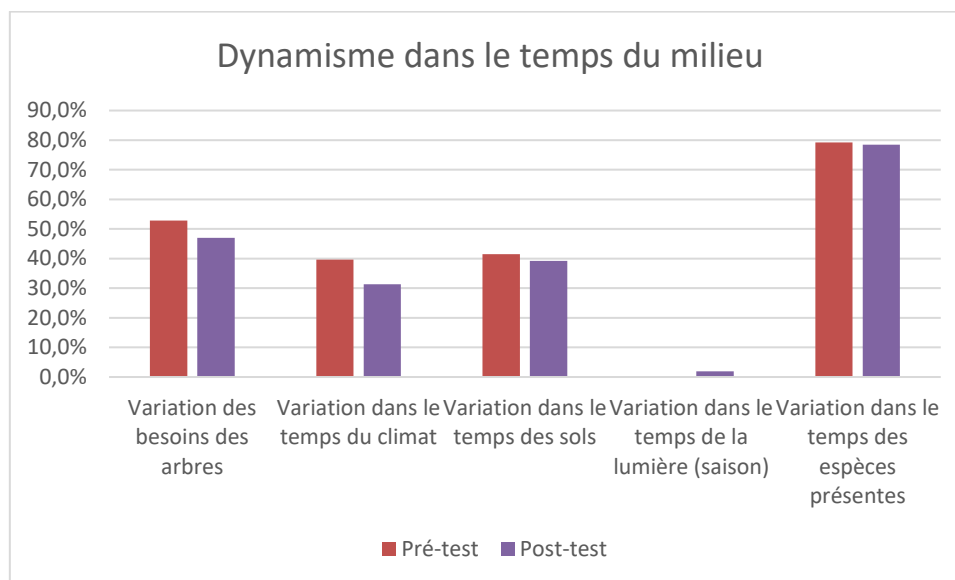


Figure 11 : Dynamisme de l'évolution de différentes composantes du milieu au cours du temps tel qu'il apparaît dans les réponses des élèves aux questions du pré et du post-test (en % du nombre d'élèves pour chaque composante).

Ainsi, **seuls 40% des élèves font référence aux évolutions du climat et/ou des sols** dans leurs réponses. Concernant le climat, il s'agit essentiellement d'une appréhension globale du changement climatique d'origine anthropique. Pour les sols, si quelques-uns font référence aux phénomènes d'acidification par certaines espèces d'arbres, très peu parlent de l'érosion des sols ou des phénomènes de décompaction (suite à un tassement par l'homme ou ses engins). Il est important de noter qu'aucun n'intègre les variations annuelles saisonnières de luminosité.

Environ 79% des élèves ont acquis l'idée que les espèces d'arbres présents dans une forêt évoluent dans le temps. En creux, pour **21%, une forêt est donc envisagée comme « immuable » dans le temps en termes d'espèces présentes** (peut-être en lien avec l'idée d'une stabilité lorsqu'elle a atteint un climax). D'ailleurs, pour 21% d'entre eux au pré-test et 20% au post-test, les espèces d'arbres présentes ne changent pas quand la forêt repousse après un incendie, montrant qu'ils ne se sont pas approprié les enseignements d'écologie concernant la colonisation des milieux.

47% des élèves ne semblent pas avoir assimilé le fait que les besoins quantitatifs de chaque arbre changent au fil de son développement. Et lorsque c'est le cas, plusieurs pensent que ces besoins diminuent en quantité avec son vieillissement (là encore, on peut faire l'hypothèse d'une représentation anthropomorphique du développement de l'arbre).

Synthèse des résultats concernant les conceptualisations relatives au concept de milieu chez les élèves

Le Tableau 17 ci-dessous synthétise les résultats que nous obtenons concernant les différentes dimensions des conceptualisations des élèves relatives au concept de milieu de vie. Comme le montrent les commentaires, ces **résultats sont cohérents avec un ensemble d'autres travaux conduits en didactique concernant les conceptions du vivant et du milieu de vie chez des élèves de collège et lycée**. Cela vient étayer la robustesse de nos propres résultats. Nous reprenons ces résultats dans la discussion globale de l'expérimentation.

Résultats	Commentaires et éléments d'interprétation
<p>Différents types de conceptualisations coexistent</p> <p>La représentation de type « Milieu-Facteurs » domine</p> <p>Ils ont tous intégré une conceptualisation de relations du milieu vers l'arbre, le milieu étant envisagé comme un ensemble de facteurs. Mais, seule la moitié d'entre eux conceptualise la relation inverse de l'arbre vers son milieu. Seuls 15% d'entre eux conceptualisent les processus de rétroaction entre l'arbre et le milieu.</p>	<p>Pour une majorité d'élèves, il semble que le milieu reste associé à « un ensemble de facteurs, de « circonstances » qui influencent les êtres vivants et s'imposent à eux - conception dans laquelle le vivant est conçu passivement, subissant les contraintes du milieu et s'impose à eux » et moins comme une relation où l'arbre prélève dans ce milieu ce qui correspond à ses besoins propres et transforme le milieu par son évolution et ses actions.</p> <p>Il s'agit donc d'une conceptualisation de type analytique (Drouin & Astolfi, 1986), avec une objectivation des caractéristiques du milieu, qui joue un rôle actif sur le vivant. Elle ne s'appuie pas sur des concepts tels que ceux de régulation ou de rétroaction et ne relève donc pas d'une approche systémique du milieu.</p> <p>Lorsque l'élève est face à une incompréhension il peut avoir tendance à revenir à une conception en termes d'harmonie (Drouin et Astolfi, 1986).</p>
<p>Le concept de besoin (spécifique et différenciant entre espèces voire entre arbres) apparaît comme peu ou mal construit chez beaucoup d'élèves</p>	<p>Cela peut constituer un obstacle à une conceptualisation biorelative du milieu.</p>
<p>Le concept de milieu est peu utilisé ; peu de concepts-mots pour désigner le milieu (les principaux : endroit ; conditions ; environnement)</p>	<p>Le faible emploi du concept de milieu ou même d'autres concepts pour désigner ce qui relève du milieu pourrait être relié au fait que celui-ci serait rarement nommé et reste implicite dans l'enseignement, comme le constatent les didacticiens. On peut penser que le concept de « milieu » étant convoqué pour travailler d'autres concepts, il ne fait pas l'objet d'une définition explicite dans l'enseignement scolaire qui laisse aux élèves le soin de construire une représentation claire (Par exemple, « l'influence du milieu sur la survie des individus »).</p>
<p>Beaucoup de composants/facteurs globaux sont cités (climat ; engrais ; nutriments ; etc.), parfois à la place des facteurs fondamentaux correspondant (eau, température, minéraux, etc.)</p> <p>Le climat est décomposé en ses sous composants, mais souvent peu caractérisé (très peu convoquent les notions de température minimale, aucun de température maximale, ou encore d'empan de température)</p>	<p>L'usage de nombreux concepts globaux ne facilitent pas la compréhension de leur relation avec le développement des arbres qui implique de les décomposer en facteurs fondamentaux et de revenir aux besoins spécifiques à chaque espèce si ce n'est à chaque arbre. Ceci d'autant que ces différentes composantes peuvent être en interrelation. Exemple : le climat recouvre de multiples composantes en interrelation (T° min/max/moy ; précipitation ; vent ; aléas climatiques ; neige ; variation de l'ensoleillement ; ...)</p>
<p>Les gaz (O2/CO2) sont cités seulement par 20% des élèves et 10% citent les deux.</p> <p>Seuls deux élèves au pré-test (3 au post-test) font référence à la photosynthèse.</p> <p>Il y a des confusions</p> <p>Plusieurs élèves attribuent l'absence d'arbre en altitude à une diminution de la teneur en oxygène ou en CO2.</p>	<p>Ces résultats sont proches de ceux retrouvés par M. Gaulon dans son étude des représentations des élèves de collège concernant la photosynthèse (Gaulon, 2018).</p> <p>D'un côté, il est possible que cela soit en lien avec le fait que ces composantes (O2 et CO2) ne varient pas dans le milieu (en termes de quantité, de composition ou de besoin) et ne sont donc pas évoqués de manière explicite dans l'enseignement, et, dans notre cas, dans les différents scénarios proposés. Astolfi et Peterfalvi (1993) constate ainsi que le caractère non perceptible de l'air et des gaz conduit régulièrement à les oublier quand on cherche à comprendre et à interpréter divers phénomènes.</p> <p>Toutefois, d'un autre côté, il est possible de mettre aussi cela en relation avec la conceptualisation erronée et à des confusions quant aux rôles relatifs de la photosynthèse et de la respiration chez les végétaux que l'on retrouve dans d'autres études didactiques (voir ci-dessous).</p>
<p>La grande majorité des élèves cite la matière organique ou l'humus (75%) comme composant du sol, et seulement 50% citent les minéraux.</p> <p>La conceptualisation de la décomposition de la matière organique se limite à sa transformation en « humus », que beaucoup d'élèves considèrent comme ce qui va servir à l'arbre pour son développement. Les processus de minéralisation sont très rarement cités et encore moins décrits (un seul élève).</p> <p>Pour environ 38% des élèves, il semble que les arbres utilisent directement la matière organique du sol pour leur développement. Ce nombre est même de 65% lors du post-test.</p>	<p>Ces résultats rejoignent les constats réalisés dans plusieurs études didactiques (Astolfi & Peterfalvi, 1993; Bonnat et al., 2019; Rumelhard, 1985). D'une part, les élèves n'associent pas le dioxyde de carbone (gazeux) de l'air comme une source de carbone constitutive de la matière organique « solide » vivante. Pour eux, les végétaux se nourrissent des « fragments » issus de la décomposition des organismes, la minéralisation étant évacuée du cycle biologique de l'écosystème (Astolfi et Verrin, 1985 dans Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 110). D'autre part, ils confondent les métabolismes, la photosynthèse étant envisagée comme celui qui est utilisé par les plantes pour respirer (Bonnat et al., 2019)</p> <p>C'est pour une part ce que l'on retrouve aussi dans le travail de Gaulon (2018) concernant les représentations des élèves sur la croissance des arbres</p>

Résultats	Commentaires et éléments d'interprétation
<p>L'immense majorité se contentent de décrire ce que l'on peut observer sans en expliquer les causes, ou de manière très vague, même quand des explications leurs sont demandées. Quelques rares élèves proposent des explications plus précises basées sur les processus biologiques, biochimiques ou écologiques</p> <p>Les conceptualisations de certains processus fondamentaux sont peu élaborées, voire erronées</p> <p>On relève une relative confusion concernant les processus de décomposition, humification, dégradation, pourrissement voire destruction</p>	<p>Là encore, on rejoint les constats faits par les didacticiens d'une évacuation des processus physico-chimiques dans l'interprétation des phénomènes biologiques liées à la transformation de la matière et d'un « primat de la perception sur la conceptualisation » (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 110). Plus largement, il semble que les élèves ne se soient pas non plus approprié les processus écologiques tels que ceux liés à la colonisation d'un milieu par exemple.</p> <p>Cette conceptualisation limitée des processus pourrait expliquer des oublis ou mésinterprétations des effets de certains facteurs (O₂/CO₂ ; Minéraux).</p>
<p>30 à 50% des élèves ne semblent pas être en mesure de nommer ces processus que pourtant une partie d'entre eux décrit (de manière peu précise cependant) – ex : l'érosion ou l'acidification des sols, le grainage, la fructification, la concurrence, l'allélopathie.</p>	<p>La conceptualisation limitée des processus intègre aussi des formes langagières réduites pour désigner et questionner ces processus.</p>
<p>La conceptualisation des évolutions dans le temps des composantes du milieu est limitée</p>	<p>En lien avec le constat précédent, une interprétation possible est que la conceptualisation limitée des processus physico-chimiques en jeu limite la capacité des élèves à penser les évolutions du milieu et de ses composantes dans le temps ou à interpréter ce qu'ils en observent.</p>
<p>L'action de l'homme est prise en compte par tous les élèves</p> <p>Certains phénomènes rapportés dans les situations proposées sont attribués à l'action de l'homme alors qu'ils relèvent de processus bioécologiques</p>	<p>De même, la mésappropriation des processus bioécologiques conduit beaucoup d'élèves à interpréter des observations en premier lieu voire uniquement à l'action de l'homme en oubliant les phénomènes et processus naturels (ex : la diminution du nombre d'arbres dans le temps de l'évolution d'une forêt attribuée à des coupes)</p>
<p>Ce sont principalement les caractéristiques aériennes de l'arbre qui sont conceptualisées. Ainsi, la place disponible dans le sol pour les racines ne figure presque jamais dans les réponses des élèves.</p>	<p>On retrouve ici le primat de la perception dans les conceptualisations des élèves et la difficulté à intégrer tout ce qu'ils ne sont pas en mesure de percevoir directement (parce que non visible)</p>
<p>Des formes d'anthropomorphisme dans l'usage des termes : les arbres « grandissent », se « nourrissent »</p> <p>Des erreurs de type anthropomorphique quant à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'incidence de la variation de la quantité d'oxygène ou de gaz carbonique sur la survie des arbres - l'arbre envisagé comme un homéotherme ayant développé des stratégies pour conserver sa chaleur 	<p>Il existe encore des conceptions anthropomorphiques des relations constitutives du milieu d'un arbre, voire du développement de l'arbre lui-même en lien avec la non appropriation des processus biophysiques et bioécologiques spécifiques aux végétaux.</p>
<p>Le sol est le composant du milieu qui est caractérisé avec le plus de propriétés. Toutefois, la profondeur, l'humidité et les caractéristiques chimiques (pH, acidité, salinité) sont peu évoquées</p> <p>L'eau est abordée en termes de quantité et pas d'eau disponible</p> <p>La lumière est pensée en quantité à un instant t (luminosité/intensité lumineuse, exposition). La durée d'exposition n'est pas évoquée explicitement par les élèves dans leurs réponses.</p>	<p>Ces trois constats doivent attirer notre vigilance sur les contenus des enseignements. Quoiqu'il en soit, dans le cadre de cette expérimentation, ces propriétés n'ont pas été spécifiquement ciblées (sauf l'humidité du sol) du fait des caractéristiques de la forêt virtuelle qui n'intègre pas ces composantes et leurs effets sur le développement des arbres.</p> <p>L'absence d'évocation explicite de la durée d'exposition ne signifie pas nécessairement qu'elle n'est pas conceptualisée, mais qu'elle peut être intégrée dans une représentation globale concernant l'incidence de la lumière sur la croissance des arbres.</p>
<p>Les composantes de la biocénose sont peu évoquées. Elles apparaissent surtout dans leurs rôles dans la décomposition des végétaux (arbres) et de la matière organique et dans la structuration du sol. Le rôle des animaux en tant que bioagresseurs est quasi absent des réponses et leur densité ou leur nombre n'est jamais évoqué.</p>	<p>Là encore, ces conceptualisations doivent attirer notre attention sur l'enseignement et sur l'importance qu'y occupent les enseignements relatifs au sol, à la décomposition de la matière organique. De plus, les animaux étant absents de l'EVE, leurs rôles n'ont pas été travaillés de manière approfondie</p>

Tableau 17 : Synthèse des résultats concernant les conceptualisations des élèves de 1^{ère} STAV relatives au milieu de vie des arbres.

Analyse des conceptualisations des élèves concernant le concept de concurrence

Type de conceptualisation de la concurrence

Les réponses des élèves font apparaître plusieurs types de conceptualisations différentes des phénomènes de concurrence dans le monde végétal. La concurrence et ses effets seraient ainsi liés :

- à des facteurs limitants du milieu que les arbres se partagent, les ressources du milieu constituant un réservoir,
- au potentiel de chaque arbre à accéder aux ressources en fonction de ses caractéristiques intrinsèques ou au regard de celles des autres arbres ;
- plus rarement à l'action directe d'un arbre sur l'autre (allélopathie) voire d'un végétal sur l'arbre (parasitage).

La **représentation la plus répandue est celle d'un réservoir de ressource que les arbres se partagent** (idée de facteurs limitants) (pour 71 % des élèves). Pour 34,6% des élèves, ce partage est fonction des caractéristiques intrinsèque à chaque arbre (taille, système racinaire), notamment de sa capacité à accéder aux ressources (28,8%). Pour 48,1%, ces caractéristiques intrinsèques de l'arbre sont à mettre en regard de celle des autres arbres (taille supérieure, système racinaire plus étendu et plus profond), dont leur capacité à mieux capter les ressources que leurs concurrents (36,5%). Quelques élèves connaissent les phénomènes de concurrence directe via la production de substances toxiques (allélopathie – 9,6% des élèves). 2 élèves parlent du parasitage (envisagé avec un parasite de type insecte).

Il est intéressant de constater aussi que l'on peut retrouver **différents types de conceptualisation chez le même élève**, en fonction des questions/situations sur lesquelles il lui est demandé de réfléchir.

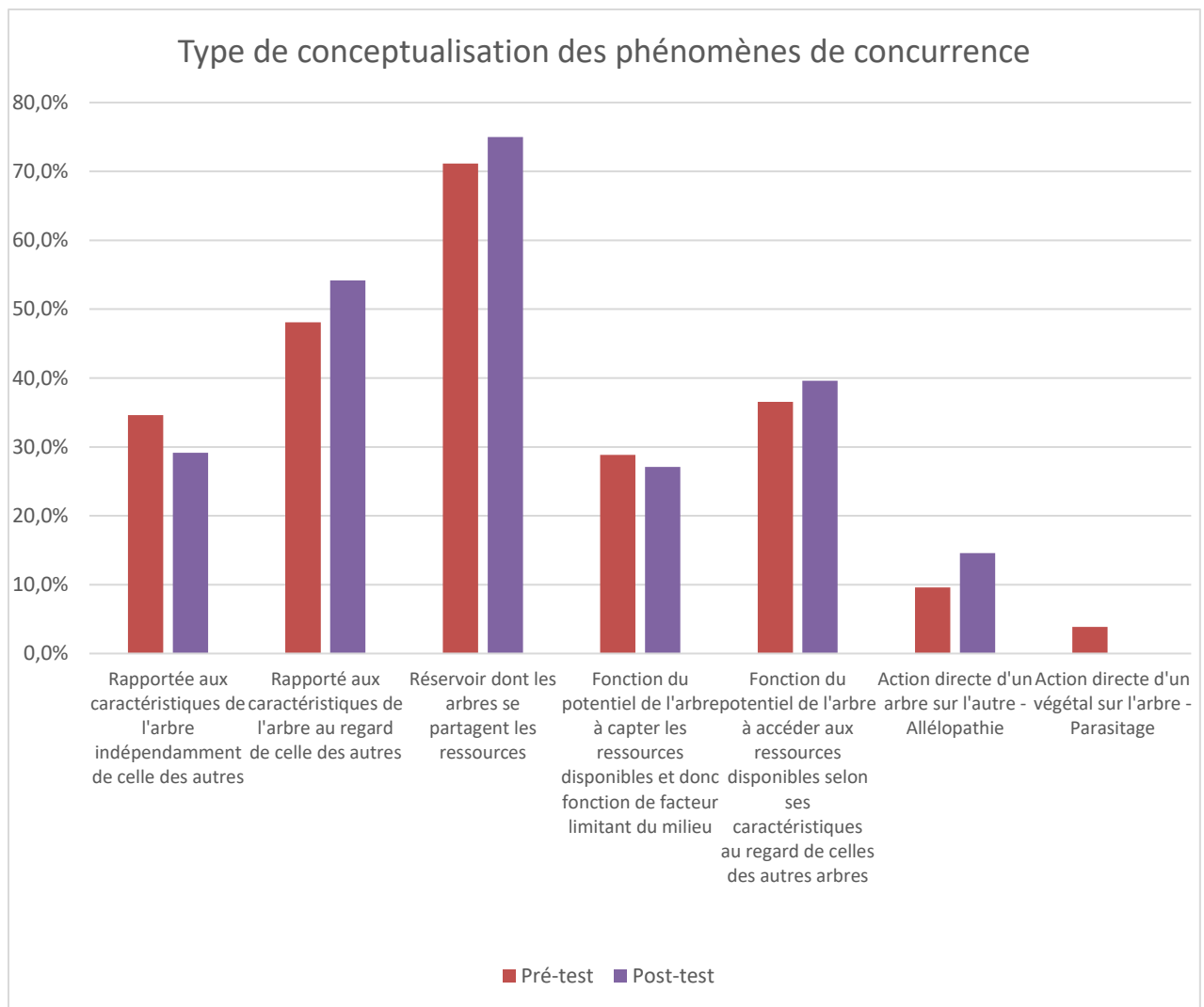


Figure 12 : Types de conceptualisation des phénomènes de concurrence retrouvés dans les réponses des élèves au pré-test et au post-test (en % du nombre d'élèves dont la conceptualisation relève de chaque type).

Formes langagières concernant la conceptualisation de la concurrence

Les formes langagières pour désigner les processus explicatifs de la concurrence sont très limitées.

Concernant les termes utilisés par les élèves pour désigner les phénomènes de concurrence, on peut tout d'abord remarquer que **seuls 11,5% des élèves utilisent le concept de compétition ou de concurrence**. On peut ajouter que **35 élèves (67,3%) n'utilisent aucun terme** pour désigner les phénomènes de concurrence lors du pré-test. Ce nombre ne varie pas lors du post-test (65%).

Les **termes les plus utilisés** correspondent à l'idée de **domination** : « **Pris le dessus** » (7 élèves) et « **domination** » (4 élèves).

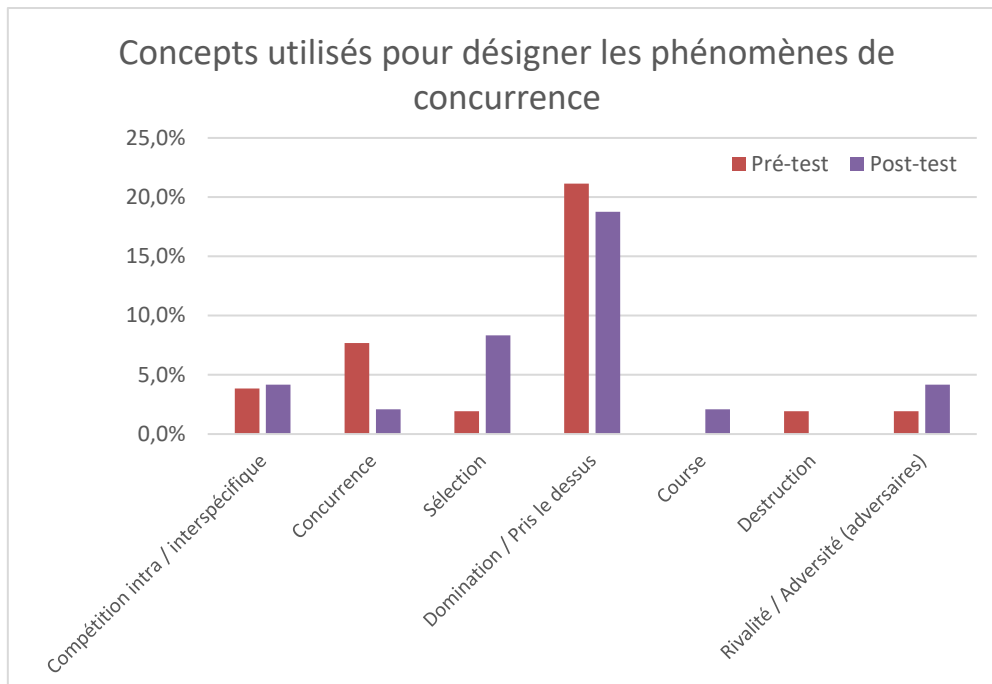


Figure 13 : Concepts utilisés par les élèves pour désigner les phénomènes de concurrence dans leurs réponses aux pré et post-test (en % du nombre d'élèves qui utilisent un concept donné).

Comme le montre le Tableau 18, le **nombre de termes utilisés pour désigner les processus** associés aux phénomènes de concurrence est restreint : il varie de 0 à 2 termes avec une moyenne de 0,9 lors du pré-test. Ceci alors que les élèves décrivent entre 1 et 5 processus (2,6 processus décrit en moyenne – cf. plus loin). Autrement dit, ils ne sont pas en capacité de nommer une grande partie des processus qu'ils connaissent par ailleurs.

	Nombre de processus nommés	
	Prétest	Posttest
Minimum	0	0
Maximum	2	3
Moyenne	0,9	0,8

Tableau 18 : Nombre de termes utilisés par les élèves pour désigner les phénomènes de concurrence dans leurs réponses au pré et post-test.

La Figure 14 montre que les termes les plus utilisés sont ceux de « **croissance** » et de « **développement** » (**aérien de l'arbre** (51,9% des élèves). 21,2% font référence à une « **préférence** » ou un « **besoin** » de l'arbre ou de l'espèce (en lien avec des caractéristiques propres à l'arbre). 9,6% parlent « **d'adaptation** » ou « **d'acclimatation** » de l'arbre à son milieu et 3,8% à une **sélection**. Un seul élève fait une référence explicite au processus de photosynthèse lors du post-test.

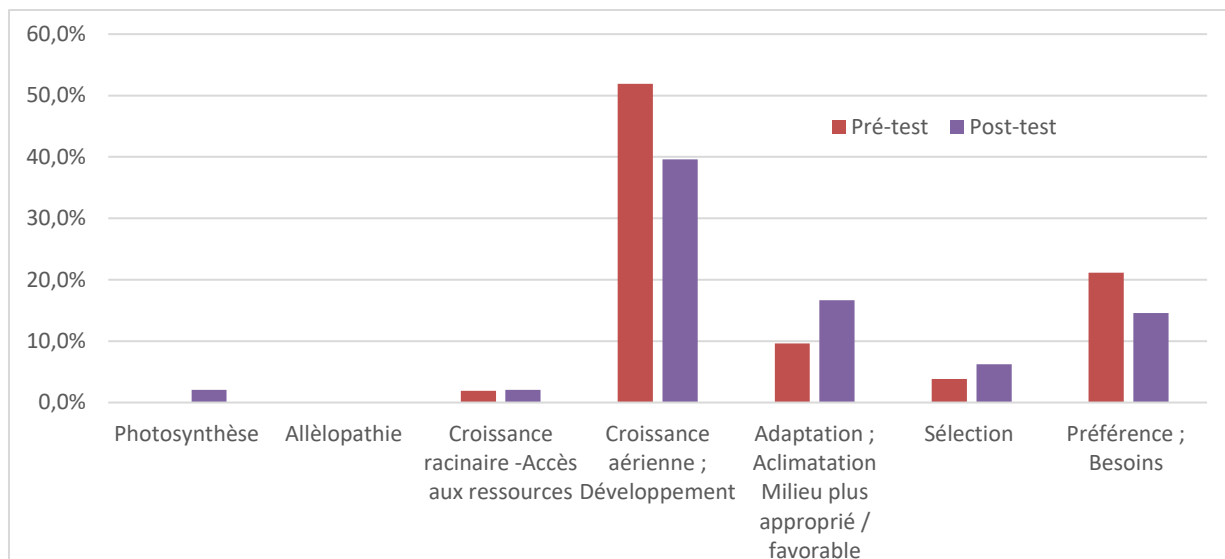


Figure 14 : Termes utilisés par les élèves pour désigner les processus associés aux phénomènes de concurrence dans leurs réponses aux pré et post-test (en % du nombre d'élèves qui utilisent un terme donné).

Objets mis en relation dans les phénomènes de concurrence entre végétaux

Types de ressources qui sont l'objet de concurrence

Sur les 4 types de ressource pour lesquelles les arbres peuvent se trouver en concurrence (lumière, eau, éléments nutritifs et espace physique), en moyenne, les élèves en citent 2,1 lors du pré-test et 2,3 lors du post-test. 1 seul élève cite les 4 ressources lors du pré-test et 2 lors du post-test. 12 élèves (23,1%) n'en citent qu'une seule (7, soit 14,6% lors du post-test).

86,5% des élèves parlent de la concurrence pour la lumière lors du pré-test (100% lors du post-test), et 67,3% pour la place (77,1% lors du post-test). Seuls 38,5% des élèves indiquent une concurrence pour les éléments nutritifs du sol (27,1% lors du post-test) et 17,3% une concurrence pour l'eau (22,9% lors du post-test).

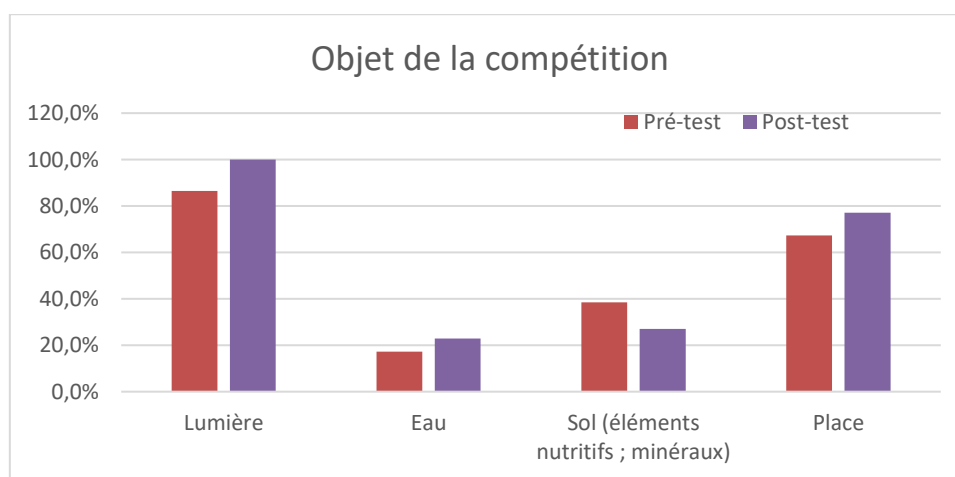


Figure 15 : Types de ressources objet d'une concurrence entre les végétaux dans les réponses au pré- et au post-test (en % du nombre d'élèves qui citent un objet donné).

Facteurs intervenant dans les processus à l'origine de la concurrence

Lorsque l'on s'intéresse aux facteurs de concurrence cités, leur nombre varie entre 0 et 5, avec une moyenne de 3 facteurs cités (sur 12 envisagés au total). Ce nombre augmente légèrement lors du post-test.

	Prétest	Posttest
Minimum	0	1
Maximum	5	6
Moyenne	3,1	3,5

Tableau 19 : Nombre de facteurs intervenant dans les processus de concurrence cités par les élèves dans leurs réponses aux pré et post-test.

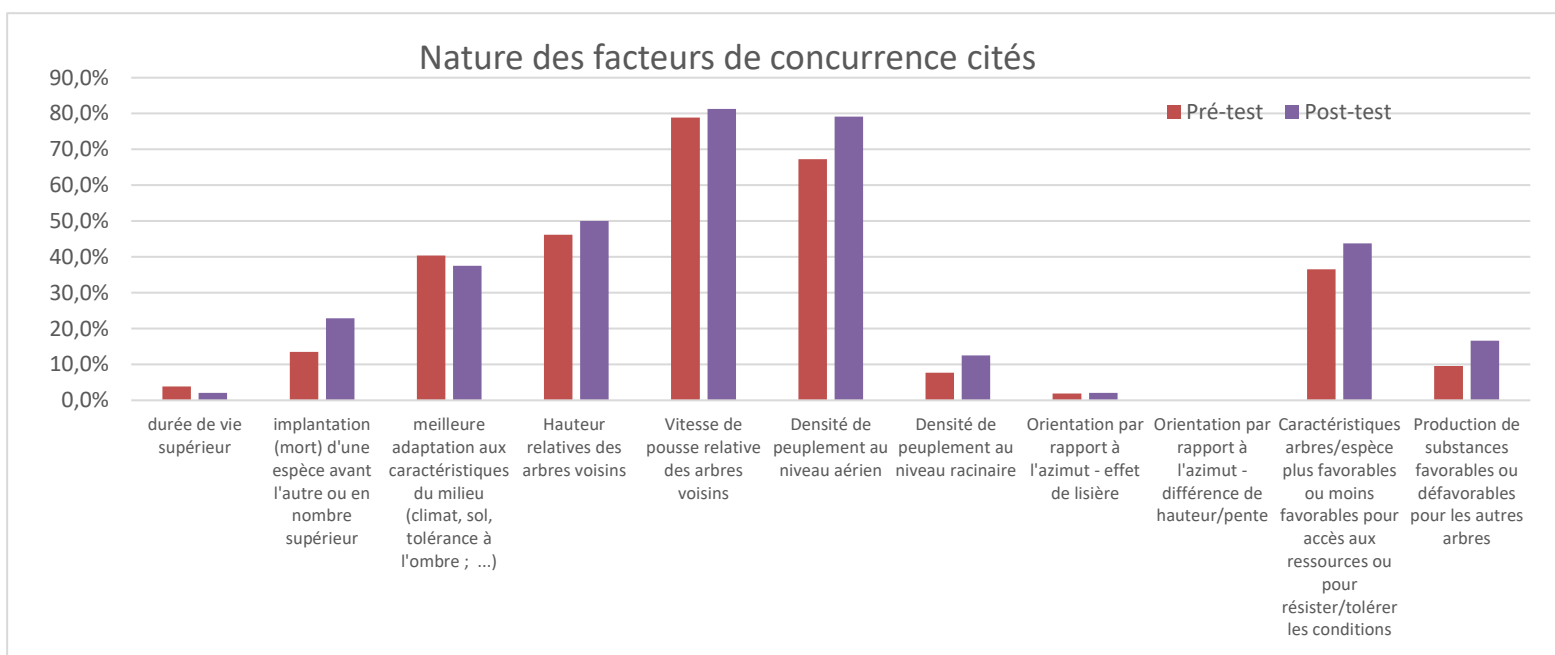


Figure 16 : Nature des facteurs intervenant dans les processus liés à la concurrence qui apparaissent dans les réponses aux pré et post-test des élèves (en % du nombre d'élèves qui citent un facteur donné).

Comme le montre la Figure 16, **78,8% des élèves font référence à la vitesse de croissance relative des arbres et 67,3% à la densité de peuplement (espace) au niveau aérien**. Nous pouvons rapprocher ce constat avec les objets de concurrence principaux qu'ils ont identifiés (**lumière, place**). D'autres facteurs sont cités par une grande partie des élèves : la **hauteur** relative des arbres (46,2%) ; une meilleure adaptation de l'arbre/l'espèce aux caractéristiques du milieu (40,4%) ; des caractéristiques de l'arbre plus favorables à l'accès aux ressources (36,5%). Plus **rare**s sont les élèves qui **conceptualisent des facteurs relatifs au sol** : occupation de l'espace au niveau racinaire (7,7%). Des élèves font référence à d'autres facteurs : implantation d'une des espèces avant l'autre (13,5%) ; durée de vie différente (3,8%). **9,6% connaissent les phénomènes d'allélopathie**. 1 seul élève fait référence à la position de l'arbre dans l'espace au regard des autres arbres (effet de lisière ou pente).

Lors du post-test, une comparaison une à une des moyennes de chacun des groupes montre que les élèves du groupe 2 citent davantage de facteurs intervenant dans la compétition que ceux des groupes 3 et 4.

Groupe	Moyenne	Eff.	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
Groupe vidéo	3.77	13			
Groupe sans apports	4.33	9	NS (33.25%)		
Groupe EVE et cours magistral	3.08	13	NS (16.93%)	- S (3.04%)	
Groupe EVE et feed-back	3.08	13	PS (12.28%)	- S (1.36%)	NS (100.00%)

Tableau 20 : comparaison des moyennes du nombre de facteurs intervenant dans les phénomènes de compétition en fonction des groupes lors du post-test.

Concepts relationnels entre les objets dans les phénomènes de concurrence

Désignation et conceptualisation des processus bioécologiques de la concurrence

En moyenne, lors du pré-test, les élèves décrivent 2,6 processus relatifs à la concurrence (entre 1 et 5). Toutefois, ils n'en nomment en moyenne que 0,8 (entre 0 et 2). Ce nombre varie peu lors du post-test (voir Tableau 21 et Tableau 22). Au total, l'ensemble des élèves fait référence à 9 processus.

	Prétest	Posttest
Minimum	0	0
Maximum	2	3
Moyenne	0,9	0,8

Tableau 21 : Nombre de processus relatifs à la concurrence nommés par les élèves dans leurs réponses aux pré et post-test.

	Prétest	Posttest
Minimum	1	1
Maximum	5	5
Moyenne	2,6	2,8

Tableau 22 : Nombre de processus relatifs à la concurrence décrit par les élèves dans leurs réponses aux pré et post-test.

Les élèves du groupe 2 citent et décrivent davantage de processus liés à la concurrence que les autres groupes même si la différence est peu significative.

Groupe	Moyenne	Eff.	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
Groupe vidéo	0.77	14			
Groupe sans apports	1.44	13	PS (14.00%)		
Groupe EVE et cours magistral	0.46	12	NS (30.67%)	PS (5.15%)	
Groupe EVE et feed-back	0.77	13	NS (100.00%)	PS (14.00%)	NS (30.67%)

Groupe	Moyenne	Eff.	Groupe vidéo	Groupe sans apports	Groupe EVE et cours magistral
Groupe vidéo	3.00	13			
Groupe sans apports	3.22	9	NS (61.66%)		
Groupe EVE et cours magistral	2.62	13	NS (42.53%)	PS (14.06%)	
Groupe EVE et feed-back	2.46	13	NS (28.13%)	PS (8.53%)	NS (72.11%)

Tableau 23 : Comparaison des moyennes du nombre de processus intervenant dans les phénomènes de concurrence en fonction des groupes lors du prétest (en haut) et du post-test en bas.

Comme nous l'avons déjà vu concernant les processus nommés, les principaux processus que les élèves décrivent sont ceux du développement de l'arbre (ou l'espèce) au regard de celui des autres arbres (espèces) : développement plus rapide en hauteur permettant à l'arbre d'atteindre une taille supérieure et d'accéder à la ressource lumineuse (71,2%) ; et/ou plus important en volume (du houppier principalement et des racines pour quelques élèves) permettant l'occupation de l'espace aérien ou dans le sol (68,8%).

Une partie des élèves décrivent des processus mettant en jeu les relations de l'arbre avec son milieu : 21,2% des élèves décrivent des processus liés à une meilleure adaptation de l'espèce (ou de l'arbre) au milieu au regard de ses concurrents. 11,5% des élèves décrivent des processus de sélection mettant en jeu les caractéristiques intrinsèques des arbres ou des espèces (telles que des différences liées à la robustesse individuelle ou spécifique). Seuls 9,6% des élèves font référence à des processus de concurrence directe de type allélopathie.

Enfin 28,8% associent les situations observées à des caractéristiques propres à l'arbre (ou à l'espèce) sans considération pour les autres arbres (ou espèces) présent(e)s. Pour ces derniers, la concurrence et les processus associés ne semblent donc pas conceptualisés de manière spécifique (distinctes d'autres processus).

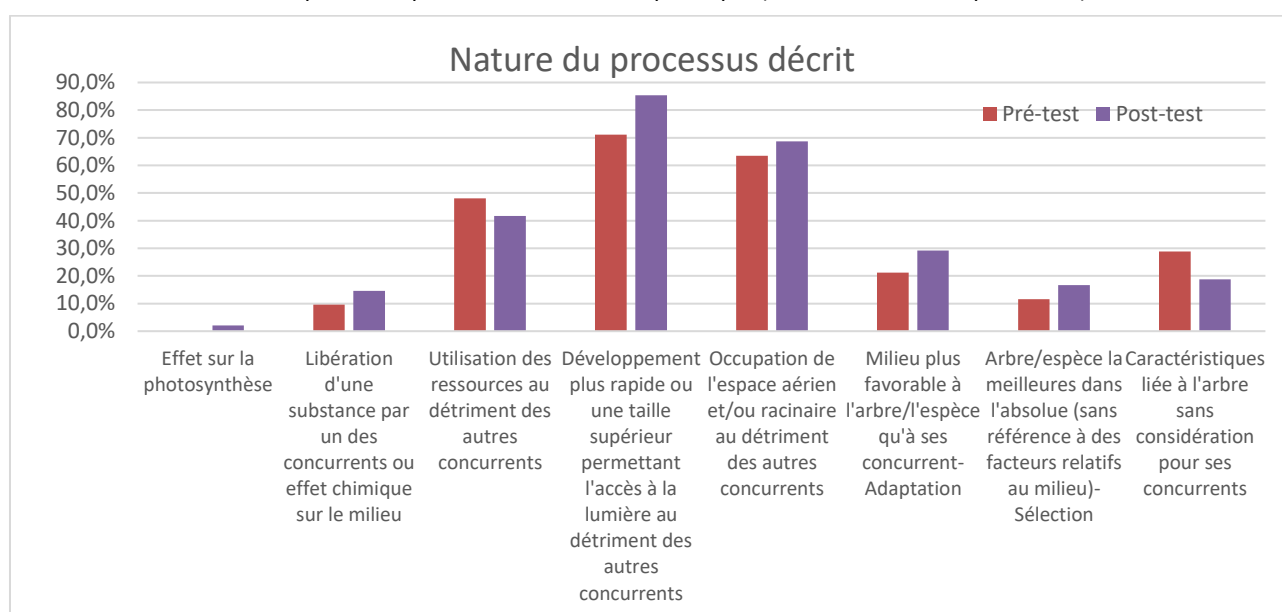


Figure 17 : Processus intervenant dans la concurrence qui font l'objet d'une description (sans forcément être nommés) dans les réponses des élèves aux pré et post-test (en % du nombre d'élèves qui décrivent ce processus).

Précision de l'explication des processus intervenant dans les phénomènes de concurrence

Le Tableau 24 page suivante montre que **la précision dans l'explication des processus** à l'origine des phénomènes de concurrence visibles dans les situations présentées dans les tests est **dans l'ensemble assez faible** au pré-test et au post-test. L'immense majorité des élèves (90%) se contentent de décrire ce qu'ils peuvent observer sans en expliquer les causes, ou de manière très vague pour un tout petit nombre d'élèves. Un seul élève fournit quelques explications plus détaillées.

Il n'y a pas de différence significative entre les groupes dans la précision de la description.

	Pré-test		Post-test	
<i>Descriptif</i>	47	90,4%	42	87,5%
<i>Vague</i>	4	7,7%	4	8,3%
<i>Assez précis</i>	0	0,0%	1	2,1%
<i>Précis</i>	1	1,9%	1	2,1%
<i>Total</i>	52	100,0%	48	100,0%

Tableau 24 : Nombre d'élèves selon le niveau de précision de leurs explications des processus intervenant dans les phénomènes de concurrence lors du pré et du post-test.

Le nombre d'erreurs dans les processus relatifs à la concurrence (dont les réponses au QCM) est en moyenne de 1,4, mais peut aller jusqu'à 4. Près de 77% des élèves font au moins une erreur. Ce % baisse lors du post-test (58,3%).

	Prétest	Posttest
<i>Minimum</i>	0	0
<i>Maximum</i>	4	4
<i>Moyenne</i>	1,4	1,0
<i>% élève ayant fait une erreur au moins</i>	76,9%	58,3%

Tableau 25 : Nombre d'erreurs faits par les élèves dans leurs explications des processus intervenant dans les phénomènes de concurrence lors du pré et du post-test.

Le Tableau 26 ci-dessous permet de constater que **l'erreur la plus courante** concerne les liens entre les phénomènes de concurrence et la colonisation d'un milieu par différentes espèces : les élèves ne semblent pas envisager que l'espèce la plus concurrentielle prendra progressivement le dessus en nombre d'individus survivants (Q12 - 55,8% des élèves au pré-test et 27,1% au post-test).

Un autre type d'erreur concerne la concurrence entre les strates pour l'eau (Q5 – 26,9%) et pour la lumière (Q8-19,2%). Plusieurs élèves (13,5%) n'envisagent pas d'effet des petits végétaux sur la germination des graines, en lien là encore avec la concurrence entre les végétaux des différentes strates (Q2).

Question	Enoncé	Pré-test	Post-test
Q2	Les herbes et petits arbustes peuvent gêner la croissance des graines des arbres (concurrence pour la lumière entre strates à la régénération)	7 (13,5%)	7 (14,6%)
Q3	Les arbres d'une espèce peuvent gêner la croissance des arbres d'une autre espèce (concurrence inter-espèce)	3 (5,8%)	1 (2,0%)
Q5	Dans une forêt âgée, il n'y a plus d'herbe au sol parce qu'elles n'ont pas d'eau pour pousser (concurrence eau entre les strates)	14 (26,9%)	14 (29,2%)
Q6	En poussant plus vite que leurs voisins, les hêtres leur font de l'ombre et les empêchent de pousser (concurrence relative à la vitesse de croissance)	6 (11,5%)	5 (10,4%)
Q8	Dans une forêt âgée, il n'y a plus d'herbes au sol parce qu'elles n'ont pas de lumière pour pousser (concurrence pour la lumière entre strates)	10 (19,2%)	8 (16,6%)
Q10	Les arbres d'une même espèce ne se gênent pas entre eux pour pousser (concurrence intra-espèce inexistante)	1 (1,9%)	0 (0%)
Q11	Après avoir coupé tous les arbres d'une forêt, si je replante 50 arbres, après 100 ans j'obtiens une forêt avec 50 arbres (mortalité)	1 (1,9%)	1 (2,0%)
Q12	Après avoir coupé tous les arbres d'une forêt, si je replante 50 chênes et 50 hêtres, après 100 ans j'obtiens une forêt avec presque uniquement des hêtres (concurrence inter-espèce avec une espèce plus concurrentielle)	29 (55,8%)	13 (27,1%)

Tableau 26 : Nombre d'élèves (et % d'élèves entre parenthèses) ayant fait une erreur dans la réponse à différentes questions relatives aux phénomènes de concurrence

Effets des phénomènes de concurrence

Les réponses des élèves montrent qu'ils ont en grande majorité intégré une conceptualisation des effets des phénomènes de concurrence sur : **la forme des arbres (86,5%) ; leur germination (86,5%) ; leur survie (78,8%) ; les espèces en présence (78,8%)**. Rares sont les élèves qui font référence à un effet sur la vitesse de croissance des arbres concurrencés (11,5%). Ces réponses évoluent peu lors du post-test.

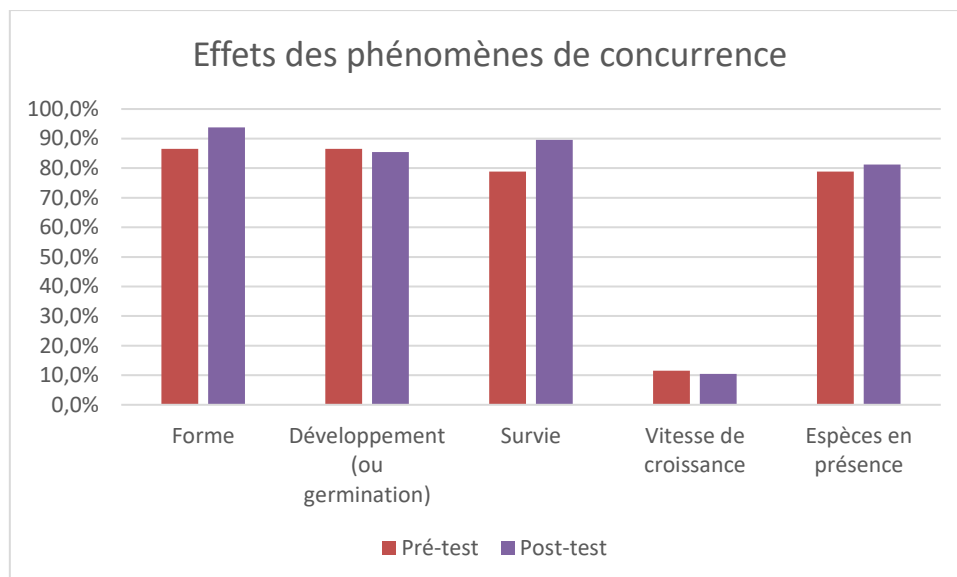


Figure 18 : Effets des phénomènes de concurrence évoqués dans les réponses des élèves lors du pré et du post-test (% d'élèves qui citent cet effet).

Variation de la concurrence dans l'espace et le temps

	Pré-test	Post-test
Concurrence absolue dans l'espace	65,4%	54,2%
Variation de la concurrence selon le stade de développement	3,8%	8,3%

Tableau 27 : % des élèves dont les réponses aux questions des pré et post-test montrent une conceptualisation des phénomènes de concurrence absolue versus relative aux caractéristiques du milieu et selon le stade de développement des végétaux concernés.

Les réponses aux questions ouvertes laissent penser que **la majorité des élèves n'ont pas intégré la variation spatiale de la concurrence entre deux espèces, c'est-à-dire en fonction des caractéristiques du milieu** : 65,4 % des élèves ne peuvent expliquer que les effets de concurrence entre deux espèces peuvent s'inverser selon les caractéristiques du milieu (voir Tableau 27).

Très peu d'élèves ont intégré l'idée d'une variation possible de la concurrence entre arbres (espèces) **en fonction de leur stade de développement**, c'est-à-dire que, par exemple, si les chênes sont implantés suffisamment avant les hêtres et bien développés, alors les hêtres ne les concurrenceront pas.

Synthèse des résultats concernant les conceptualisations relatives au concept de concurrence chez les élèves

Le Tableau 28 ci-dessous synthétise les résultats que nous obtenons concernant les différentes dimensions des conceptualisations des élèves relatives au concept concurrence.

Résultats	Commentaires et Eléments d'interprétation
<p>Différents types de conceptualisations de la concurrence coexistent.</p> <p>La représentation la plus répandue est celle d'un réservoir de ressources que les arbres se partagent (idée de facteurs limitants).</p> <p>Pour 48,1%, la concurrence est liée aux caractéristiques relatives des arbres, dont leur capacité à mieux capter les ressources que leurs concurrents (36,5%). A l'inverse, pour 34,6% des élèves, ce partage est fonction des caractéristiques intrinsèques à chaque arbre (taille, système racinaire), notamment de sa capacité à accéder aux ressources (28,8%).</p> <p>Quelques élèves connaissent les phénomènes de concurrence directe</p> <p>28,8% associent les situations observées à des caractéristiques propres à l'arbre (l'espèce) sans considération pour les autres arbres (espèces) présent(e)s</p>	<p>Pour la majorité des élèves, les conceptualisations des phénomènes de la concurrence peuvent être qualifiées de relationnelles, dans la mesure où elles considèrent que le partage des ressources du milieu entre les arbres est fonction de leurs caractéristiques relatives à celles des autres arbres. Au regard de la conception scientifique de la concurrence, aucun élève ne l'envisage cependant comme relevant d'un besoin moindre de l'un des concurrents quant à la ressource considérée. Elle n'est donc pas relativisée en fonction de la variabilité des besoins qualitatifs et quantitatifs de chaque arbre concernant les différentes ressources selon l'espèce ou selon l'âge de l'arbre (inter-espèces ou intra-espèce selon l'âge) en fonction du milieu. De plus, ces élèves ont construit la notion de facteur limitant (qui serait relatif en fonction des autres arbres/espèces présents).</p> <p>Cependant pour une part non négligeable des élèves (29%), les phénomènes de concurrence ne semblent pas faire l'objet d'une conceptualisation spécifique intégrant les relations des arbres entre eux.</p>
<p>Seuls 11,5% des élèves utilisent le concept de compétition ou de concurrence, là où 67,3% n'utilisent aucun terme pour désigner ces phénomènes</p> <p>Les termes les plus utilisés sont « Pris le dessus » (7 élèves) et « domination » (4 élèves).</p> <p>Le nombre de termes utilisés pour désigner les processus en jeu dans la concurrence est limité (0 à 2), alors qu'ils décrivent entre 1 et 5 processus</p>	<p>Le registre langagier relatif au concept de concurrence est très limité que ce soit concernant l'usage même du concept ou l'usage de notions pour désigner les processus associés. Le faible emploi du concept de concurrence au profit de termes qui semblent issus d'un vocabulaire plus familier tendrait à montrer que celui-ci est rarement nommé et reste implicite dans l'enseignement.</p> <p>L'emploi de termes tels que « domination » est cohérent avec la prise en considération des caractéristiques de l'arbre en dehors de toute considération explicite pour le milieu dans lequel les processus de concurrence sont considérés.</p>
<p>Le nombre de termes utilisés pour désigner les processus associés aux phénomènes de concurrence est restreint. En moyenne, lors du pré-test, les élèves décrivent 2,6 processus relatifs à la concurrence (entre 1 et 5). Toutefois, ils n'en nomment en moyenne que 0,8 (entre 0 et 2). Ce nombre varie peu lors du post-test. Au total, l'ensemble des élèves fait référence à 9 processus.</p> <p>Les principaux processus que les élèves nomment et décrivent sont ceux du développement de l'arbre (ou l'espèce) au regard de celui des autres arbres (espèces)</p> <p>21,2% font référence à une « préférence » ou un « besoin » de l'arbre ou de l'espèce (en lien avec des caractéristiques propres à l'arbre). 9,6% parlent de « d'adaptation » ou « d'acclimatation » de l'arbre à son milieu et 3,8% à une sélection. Un seul élève fait une référence explicite au processus de photosynthèse lors du post-test.</p> <p>9,6% des élèves font référence à des processus de concurrence directe</p>	<p>La conceptualisation des processus associés aux phénomènes de concurrence est limitée, sur le plan langagier de leur désignation.</p> <p>Les termes utilisés pour désigner les phénomènes de concurrence relèvent de 3 types de conceptualisations :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Celui de préférence (21,2%) orientent vers une fait référence uniquement aux caractéristiques intrinsèques aux arbres sans mise en regard avec des caractéristiques de l'arbre considéré avec celles des autres arbres de son milieu ; - celui d'adaptation (9,6%) oriente le regard préférentiellement vers la relation entre l'arbre et le milieu, sans mise en regard avec des caractéristiques de l'arbre considéré avec celles des autres arbres de son milieu ; - celui de sélection (3,8% des élèves) fait référence à une mise en regard des caractéristiques intrinsèques aux arbres considérés entre eux, sans intégrer les caractéristiques du milieu dans lequel ils se trouvent (concurrence absolue)
<p>La précision dans l'explication des processus à l'origine des phénomènes de concurrence perceptibles dans les situations présentées dans les tests est dans l'ensemble assez faible. L'immense majorité des élèves (90%) se contentent de décrire ce qu'ils peuvent observer sans en expliquer les causes.</p> <p>S'y ajoute un nombre d'erreurs non négligeable concernant ces processus</p> <p>En moyenne les élèves citent 2,2 ressources qui font l'objet d'une concurrence. Rares sont ceux qui citent les 4 que nous avons choisis (Lumière, eau, minéraux, espace de croissance).</p> <p>La concurrence pour l'eau est rarement citée (17,3%), et, dans une moindre mesure celle pour les éléments nutritifs du sol (38,5%)</p> <p>En moyenne 3 facteurs cités (sur 12 envisagés au total)</p>	<p>La conceptualisation des processus associés aux phénomènes de concurrence est également limitée sur le plan du nombre de processus connus et sur le plan de la précision avec laquelle ces processus sont connus, y compris en termes d'objets et de facteurs de la concurrence.</p> <p>Les principaux processus décrits relèvent de la croissance aérienne de l'arbre que ce soit en termes de taille, de forme ou de vitesse de croissance. Il se réfèrent donc essentiellement à la part observable des processus impliqués dans la concurrence. De manière cohérente avec ce premier constat, pour la majorité des élèves :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les objets de la concurrence entre les arbres se limitent à ceux qui sont observables : la lumière et l'espace aérien disponible ; - Les facteurs cités sont essentiellement ceux qui interviennent dans l'accès à la lumière ou l'occupation de l'espace.

Résultats	Commentaires et Eléments d'interprétation
<p>78,8% des élèves font référence à la vitesse de croissance relative des arbres et 67,3% à la densité de peuplement (espace) au niveau aérien</p> <p>Plus rares sont les élèves qui conceptualisent des facteurs relatifs au sol : occupation de l'espace au niveau racinaire (7,7%).</p>	<p>Nous retrouvons ici le constat de (Astolfi & Peterfalvi, 1993) de l'oubli des composants et des processus aperceptifs quand les élèves cherchent à comprendre et à interpréter divers phénomènes.</p> <p>La concurrence est pensée par rapport à ce qui est directement perceptible par l'élève. Elle l'est peu au regard des processus qui sont affectés par un accès moindre aux objets de la concurrence : la nutrition et la croissance de l'arbre à travers la photosynthèse, l'absorption d'eau et de minéraux.</p>
<p>Conceptualisation des effets des phénomènes de concurrence sur : la forme des arbres (86,5%) ; leur germination (86,5%) ; leur survie (78,8%) ; les espèces en présence (78,8%). Rares sont les élèves qui font référence à un effet sur la vitesse de croissance des arbres concurrencés (11,5%).</p>	<p>En lien avec ce défaut de conceptualisation des processus, les effets associés à la concurrence sont surtout ceux qui sont observables directement et perceptibles dans le temps (forme, développement, survie, espèces en présence. Pour une part des élèves.</p> <p>Il est important de noter que 20% des élèves n'envisagent pas les effets de la concurrence sur la survie des arbres et les espèces en présence.</p>
<p>La majorité des élèves n'a pas intégré la variation spatiale de la concurrence entre deux espèces, c'est-à-dire en fonction des caractéristiques du milieu.</p> <p>Très peu d'élèves ont intégré l'idée d'une variation possible de la concurrence entre arbres (espèces) en fonction de leur stade de développement.</p> <p>Dans le QCM, l'erreur la plus courante concerne les liens entre les phénomènes de concurrence et la colonisation d'un milieu par différentes espèces</p> <p>Un autre type d'erreur concerne la concurrence entre les strates pour l'eau et pour la lumière (Q2, Q5, Q8)</p>	<p>En cohérence avec les constats précédents, la concurrence semble envisagée comme absolue dans l'espace et dans le temps, et non comme relative aux caractéristiques du milieu considéré et de l'évolution des arbres. Ce constat est à mettre en relation avec nos résultats concernant la conceptualisation du milieu. Pour une part, cela pourrait être lié à une conceptualisation non dynamique concernant la survie et l'évolution des espèces dans le temps.</p> <p>Cela pose la question d'une conceptualisation d'un écosystème et de la compréhension des interactions et rétroactions de la dynamique écosystémique.</p>

Tableau 28 : Synthèse des résultats concernant les conceptualisations des élèves de 1^{ère} STAV relatives aux phénomènes de concurrence.

Ces résultats permettent de constater que le concept de concurrence est peu construit chez une grande partie des élèves que ce soit sur le registre langagier ou sur le registre du champ conceptuel associé.

Plusieurs niveaux de conceptualisation des phénomènes de concurrence indirecte apparaissent, associés à des obstacles différents. Nous en esquissons quelques caractéristiques dans le Tableau 29 ci-dessous.

Conceptualisation de la concurrence	Obstacle à dépasser	Conceptualisation non ou mal construite
Absence de conceptualisation des phénomènes de concurrence (intra et interspécifiques)	La croissance d'un arbre est fonction uniquement de ses caractéristiques intrinsèques et de leur adéquation aux caractéristiques du milieu , qui n'intègrent pas les autres arbres et végétaux (Relation arbre-milieu ; Concurrence = Adaptation, Préférence)	Croissance végétale Milieu : autres arbres et végétaux non intégrés
La concurrence est liée à des différences dans la « robustesse » des arbres (un arbre est plus « fort » qu'un autre)	Absence de prise en considération des caractéristiques du milieu dans les relations de concurrence (Relation arbre-arbre ; Concurrence = Domination, Sélection)	Milieu Concurrence
La concurrence est liée au partage des ressources du milieu entre les arbres, ressources qui sont en quantité limitée	Absence de prise en considération des besoins spécifiques à chaque arbre (ou espèces) au regard de celles des autres arbres (ou espèces). Les facteurs limitants sont différents selon les arbres. (Relation milieu-arbres)	Besoins (et notamment différence des besoins et de facteurs limitants selon les arbres) Milieu biorelatif Notion de niche écologique
La concurrence est liée au partage des ressources du milieu qui correspondent à des besoins communs avec d'autres arbres de la même espèce et des autres espèces	Absence de considération des caractéristiques spécifiques de chaque arbre qui favorisent ou limitent son accès aux ressources constituant ses facteurs limitants au regard de celles des autres arbres de son milieu (Relation arbreS-milieu)	Milieu biorelatif Concept d'arbres et d'espèce - variabilité génétique des arbres d'une espèce
La concurrence est liée aux caractéristiques relatives des arbres entre eux (ou avec d'autres êtres vivants) dont dépend leur accès aux ressources constituant des facteurs limitants qu'ils ont en commun	Absence de prise en considération des caractéristiques de variation du milieu dans les relations de concurrence (Relation arbre-arbreS-milieu)	Milieu : variation dans l'espace et dynamisme dans le temps)
La concurrence entre les arbres est la même quel que soit le milieu considéré	Absence de prise en compte des variations des caractéristiques du milieu dans les relations de concurrence entre les arbres (Relations ternaires arbres-milieu-arbres absolues dans l'espace)	Milieu (variation dans l'espace)
La concurrence entre les arbres n'évolue pas au cours du temps	Absence de prise en compte des variations des caractéristiques du milieu dans le temps et de leurs effets sur les relations de concurrence entre les arbres (Relations ternaires arbres-milieu-arbres absolues dans le temps)	Milieu (variation dans le temps)
	Absence de prise en considération des variations des caractéristiques des arbres selon leur stade de développement dans les relations de concurrence avec les autres arbres (Relations ternaires arbres-milieu-arbres absolues dans le développement de l'arbre)	Croissance des arbres (ex : variation des besoins selon les stades de développement)

Tableau 29 : Synthèse de différentes conceptualisations des phénomènes de concurrence et de quelques obstacles épistémiques associés.

Pour une part, ces obstacles **sont liés à conceptualisation très réduite des processus bioécologiques** à l'origine des phénomènes de concurrence : les processus de croissance de l'arbre, des besoins et facteurs limitants spécifiques à chaque espèce et arbres ; les processus associés au milieu.

Un autre obstacle retrouvé ici correspond à ce qui est décrit dans la littérature comme **l'obstacle « descriptif » (le primat de la perception sur la conceptualisation)** (Astolfi & Peterfalvi, 1993; Drouin & Astolfi, 1986), c'est-à-dire une difficulté des élèves à dépasser le niveau de l'observable et du perceptible dans leurs réponses et, de là, à envisager les relations entre les éléments et les explications de ces observations, notamment à travers les processus physico-chimiques et biologiques. Ainsi l'oubli de certains objets de la concurrence (les minéraux) ou de certains facteurs (le développement du système racinaire) peut être mis en lien avec le fait qu'ils ne sont pas directement observables.

Nous retrouvons donc **des constats pour un part similaire à nos résultats pour le concept de milieu.**

Discussion de l'étude globale en classe de 1ère

L'analyse des conceptualisations des élèves de 1^{ère} fait donc apparaître une conceptualisation très limitée des concepts de milieu ou de concurrence mais aussi des processus bioécologiques associés, que ce soit concernant les formes langagières qui permettent de représenter ces concepts, leurs propriétés et les situations associées, et concernant l'ensemble des invariants qui les constituent (objets et propriétés associées, relations).

Elle met à jour plusieurs obstacles épistémiques propres à ces concepts ou plus généraux (tels que le primat de la perception) dans la conceptualisation du vivant et des processus bioécologiques.

Ces constats tendent à confirmer notre hypothèse selon laquelle une partie des élèves ont des conceptualisations inadaptées des processus bioécologiques, concepts reliant les objets entre eux et leurs évolutions dans le temps et sur lesquelles repose la conceptualisation de l'évolution de l'écosystème forestier. Ces conceptualisations et les obstacles associés constituent donc une des pistes d'interprétation des résultats obtenus lors des expérimentations de différents scénarii d'usage de l'EVE Silva Numerica pour l'enseignement de ces concepts.

Les résultats des expérimentations en classe de 1^{ère} montrent que le scénario d'enseignement fondé sur **le visionnage d'une vidéo, associé à des questions et des synthèses de l'enseignant** faites à partir des réponses des élèves **serait plus favorable à l'évolution des conceptualisations** que des scénarios conçus pour un usage de l'EVE associé à un cours magistral ou à des synthèses des réponses des élèves associées à des apports par l'enseignant.

Une analyse didactique plus fine des scénarios et de leur mise en œuvre devient cruciale. En effet, le scénario « vidéo » permet notamment une progression dans la précision des descriptions des processus en jeu (dont les composants et facteurs intervenant, et les effets) et de leur désignation langagière pour ce qui concerne le milieu et une évolution du **type de conceptualisation de la concurrence** puisqu'il a été conçu autour de la narration du film.

Il est étonnant que l'usage de l'EVE en autonomie et avec un scénario limité à une consigne générale et deux questions globales sur les concepts de milieu et de concurrence (groupe 2) semble permettre des évolutions plus significatives des conceptualisations relatives à la concurrence (nombre de facteurs et de processus liés à la concurrence qui sont décrits) qu'à celle de milieu. Les résultats en psychologie cognitive montrent en effet l'importance du guidage de l'attention dans les apprentissages.

Sur cette base, plusieurs hypothèses sont possibles quant aux évolutions différentes des conceptualisations des élèves en lien avec les différents scénarii proposés et/ou les caractéristiques de l'EVE. Elles seront présentées dans la discussion générale de ce rapport.

Présentation de l'étude réalisée en classe de 4^{ème}

Déroulement de l'expérimentation

Pour des raisons d'équipement informatique insuffisant au collège, l'expérimentation s'est déroulée dans le lycée où a eu lieu l'expérimentation avec les classes de 1^{ère} STAV. Chacune des classes de 4^{ème} concernée est venue passer une demi-journée au lycée, à 4 jours d'intervalle (lundi / vendredi).

Le protocole de réalisation de l'expérimentation (modalités et scénarios) utilisés au collège a été différent de celui du lycée. Cette expérimentation ne comportant pas de volet d'étude sur la motivation des élèves, le choix a été fait de proposer une modalité fondée sur des activités à l'écrit (différentes ressources associées à des tâches d'observation, d'analyse et de synthèse – voir annexe 5) plus habituelles dans les enseignements du collège que l'usage d'une vidéo⁵.

Le Tableau 30 ci-dessous récapitule les différentes modalités testées lors de l'expérimentation.

	Contrôle	EVE sans aide	Ecrit	EVE avec aide	Global
Population totale au pré-test	10	11	11	11	43
Echantillon considéré pour l'analyse des évolutions	10	9	10	10	39

Tableau 30 : Modalités d'enseignement relatives au concept de milieu comparées dans l'expérimentation au collège et nombre d'élèves dans chacun des groupes expérimentaux correspondants

Les élèves du groupe contrôle ont réalisé une activité écrite élaborée par les enseignants portant sur les tiques et n'intégrant pas d'apports théoriques en lien avec le milieu de vie. Leurs enseignants du collège n'étaient pas présents lors de la réalisation de cette activité, ni les chercheurs : ils étaient encadrés par un enseignant du lycée. Celui-ci leur a expliqué les activités à réaliser. Ils ont ensuite réalisé une visite du lycée et bénéficié d'une présentation des filières d'enseignement du secteur forestier par cet enseignant du lycée.

Ceux du groupe « EVE sans aide » ont réalisé les activités de deux scénarii implémentés dans l'EVE Silva Numerica associés à la remise d'un document papier qu'ils avaient à compléter au fur et à mesure de leur avancée dans les scénarii (Annexe 5 Guide de l'activité avec EVE p.131). Ils ont eu au préalable une explication des fonctionnalités de l'EVE qu'ils avaient à utiliser par un enseignant du lycée (5 minutes). Au cours de la séance, les enseignants présents sont intervenus pour résoudre les problèmes techniques, compléter ces explications, éclaircir les consignes, tâches et questions des scénarii. Ils n'ont réalisé aucun apport en lien avec le concept de milieu et n'ont pas fait de synthèse et mise en commun des résultats entre les élèves.



⁵ Pour mémoire, cette modalité utilisant une vidéo avait été intégrée au lycée dans le cadre de l'étude de la motivation des élèves associée à l'usage de l'EVE Silva Numerica, afin de limiter l'effet de nouveauté de la ressource utilisée sur leur motivation (effet répertorié dans la bibliographie)

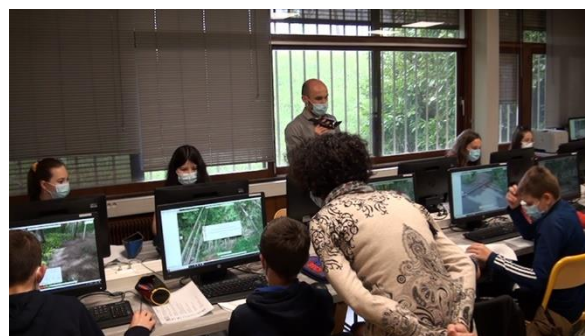
La séance a duré environ 1h35. Au cours de cette séance, quelques élèves ont rencontré des difficultés d'usage de l'EVE, notamment en oubliant de faire progresser l'avancée du scénario numérique et en restant centrés sur le document papier qui leur avait été remis. De plus, la plupart des élèves ont pu aller au bout de la réalisation du premier scénario consacré à l'étude du milieu, mais ils n'ont pas réalisé le deuxième scénario centré sur l'étude la biodiversité. Quelques élèves ont vu leur attention diminuer en fin de séance.

Les élèves du groupe « Ecrit » ont réalisé des activités écrites sur support papier (annexe 5 p. 120). Les tâches, consignes et questions posées, étaient des reprises de celles du document papier utilisé avec l'EVE (et des scénarii implémentés dans l'EVE). Le document intègre des apports conceptuels concernant le concept de milieu, identiques à ceux présents synthétisant les principaux points abordés par l'enseignant pour le groupe EVE avec Feed-back. Une étudiante de Master Ingénierie de la Formation et Ergonomie était présente pour répondre aux questions des élèves concernant leur compréhension des consignes et des tâches à réaliser, mais sans proposer d'explication en lien avec le concept de milieu.

Les élèves ont réalisé l'ensemble des activités en 1h environ, dans le calme. Une rapide observation des documents utilisés montre que leurs réponses aux questions sont très succinctes (certains n'ayant pas répondu à toutes les questions). Ils ont d'ailleurs expliqué en fin de séance n'avoir pas su « expliquer leurs idées à l'écrit ».

Les élèves du groupe « EVE avec aide » ont réalisé les activités de deux scénarii implémentés dans l'EVE Silva Numerica associé à la remise d'un document papier qu'ils avaient à compléter au fur et à mesure de leur avancée dans les scénarii (annexe 5 p.131). Ils ont eu au préalable une explication des fonctionnalités de l'EVE qu'ils avaient à utiliser par un enseignant du lycée (environ 5 minutes). Au cours de la séance, les enseignants présents sont intervenus pour compléter ces explications, éclaircir les consignes, tâches et questions des scénarii.

La séance a duré environ 1h45. Tous les élèves ont pu aller au bout de la réalisation du premier scénario consacré à l'étude du milieu, et commencer le deuxième scénario centré sur l'étude la biodiversité. Ils sont restés concentrés sur la réalisation de leurs activités tout au long de la séance. Après environ 1h (fin du 1^{er} scénario), leur enseignante de SVT a interrompu l'activité sur l'EVE pour réaliser une mise en commun des réponses apportées par les élèves aux différentes questions de la 1^{ère} partie, leur demandant de partager leurs interprétations quant aux observations qu'ils faisaient (durée d'environ 8 minutes - voir photos ci-dessous). Elle a procédé de même après 1h35 concernant les questions et observations faites par les élèves sur le début de la deuxième partie (durée 5 minutes environ). Elle a pu mettre en lien leurs réponses et les compléter avec des apports sur les concepts de milieu et de biodiversité conformément à ceux qui avaient été proposés (annexe 5 p. 119).



Analyse des évolutions des représentations des élèves concernant le concept de milieu selon les modalités utilisées

Nous avons voulu déterminer si les différents scénarii proposés avaient permis des évolutions des conceptualisations des élèves concernant le concept de milieu entre le pré et le post-test.

Pour analyser les données relatives aux évolutions, nous avons retiré de l'effectif les élèves qui n'ont pas réalisé le post-test, ou qui n'ont pas répondu à un grand nombre de questions du post-test (2 élèves du groupe « EVE sans aide », 1 élèves du groupe « Ecrit » et 1 du groupe « EVE avec aide »).

Tout d'abord une comparaison des moyennes de l'évolution globale du score de conceptualisation présentée dans les Tableau 31 et Tableau 32 ci-dessous montre qu'il n'y a **pas de différence significative entre le groupe contrôle (évolution = 3,9) et chacun des groupes correspondant aux différents scénarii** (bien que le l'évolution du score du groupe « Ecrit » (= 2,3) soit moindre que ceux des autres groupes). Il n'y a pas de différence significative lorsque l'on compare l'évolution pour le groupe contrôle (3,9) à celle de la globalité des élèves ayant suivi un scénario d'enseignement relatif au milieu (évolution moyenne = 3,1).

Groupe	Contrôle	EVE sans aide	Ecrit	EVE avec aide	Global
Evolution du Score					
Moyenne	3,9	3	2,3	3,9	3,28
Ecart-type	2,13	4,82	3,06	2,85	3,25
Médiane	4,5	1	2	3,5	4
Min – Max	-1 - 6	-4 - 9	-2 – 7	-1 – 9	-4 – 9
p-value = 0,66 ; Fisher = 0,55 (La relation n'est pas significative)					

Tableau 31 : Résultats de l'évolution moyenne du score global des élèves quant à la conceptualisation du milieu entre le pré et le post-test en fonction du groupe expérimental.

Groupe	Moyenne	Eff.	Contrôle	EVE sans aide	Ecrit
Contrôle	3.90	10			
EVE sans aide	3.00	9	NS (61.60%)		
Ecrit	2.30	10	NS (19.14%)	NS (70.70%)	
EVE avec Aide	3.90	10	NS (100.00%)	NS (62.22%)	NS (24.14%)

Tableau 32 : Comparaison des moyennes de l'évolution entre le pré et le post-test du score global des élèves quant à la conceptualisation du milieu entre les différents groupes expérimentaux

Ensuite, une analyse plus fine des évolutions concernant différentes composantes de la conceptualisation révèle qu'il n'y a une évolution significativement différente pour le groupe « EVE avec aide » concernant le nombre de composantes du milieu citées au regard du groupe contrôle (et pas des autres groupes – voir Tableau 33). Nous pouvons faire l'hypothèse que **le fait que les élèves du groupe « Ecrit » ne progressent pas de manière significative pourrait être lié à ce qu'ils n'ont pas lu avec attention et utilisé voire compris la synthèse écrite concernant le milieu et la biodiversité** qui figurait dans le document remis (cf. leur réponse très lacunaire et la durée réduite consacrée aux tâches).

Groupe	Moyenne	Eff.	Contrôle	EVE sans aide	Ecrit
Contrôle	0.10	10			
EVE sans aide	0.67	9	NS (30.28%)		
Ecrit	0.90	10	NS (18.14%)	NS (71.11%)	
EVE avec Aide	1.70	10	+ S (1.39%)	PS (12.01%)	NS (24.00%)

Tableau 33 : Comparaison des moyennes de l'évolution entre le pré et le post-test du score global des élèves quant aux composantes du milieu cités par les élèves entre les différents groupes expérimentaux

Enfin, malgré les différences de scores au pré-test enregistrées entre les élèves des groupes correspondant à chacune des deux classes, il n'y a pas de différence d'évolution entre les classes : les écarts de résultat au pré-test sont retrouvés au post-test. Il n'y a d'ailleurs **pas de corrélation entre le score global au pré-test et l'évolution de ce score global** lors du post-test (**Corrélation = -0,01**).

Analyse des conceptualisations des élèves concernant le concept de milieu et de leurs évolutions suite à un enseignement selon différentes modalités pédagogiques

Afin d'affiner notre compréhension des évolutions ci-dessus, nous réalisons une analyse globale des conceptualisations des élèves et de leur évolution entre le pré et le post-test, indépendamment de leur groupe expérimental d'appartenance.

Remarque : Les réponses aux questionnaires du pré et du post-test sont lacunaires et quelques élèves ne répondent pas à une grande partie des questions posées. Pour cette raison, nous proposons ici quelques éléments d'une interprétation surtout qualitative.

Comparaison des conceptualisations des élèves en fonction des groupes expérimentaux

Afin de vérifier l'absence de biais majeurs, nous avons tout d'abord vérifié l'homogénéité des scores cumulés de conceptualisation relative au concept de milieu pour les différents groupes expérimentaux. De fait, les scores relatifs à la conceptualisation du milieu sont significativement supérieurs pour les groupes 1 et 2, issus d'une première classe de 4^{ème}, à ceux des groupes 3 et 4 issus d'une autre classe, que ce soit au pré ou au post-test (voir Tableau 31 et Tableau 32). Les élèves de la classe 4^{ème} 1 ont donc des résultats qui montrent de plus grandes connaissances dans ce domaine que les élèves de la classe 4^{ème} 2.

PRE-TEST / Classe	Groupe	Moyenne	Eff.	Contrôle	EVE sans aide	Ecrit
4 ^{ème} 1	Contrôle	16.70	10			
	EVE sans aide	16.22	9	NS (78.07%)		
4 ^{ème} 2	Ecrit	11.70	10	- TS (0.44%)	- S (4.02%)	
	EVE avec Aide	13.10	10	- S (1.94%)	PS (12.32%)	NS (43.85%)

POST-TEST/ Classe	Groupe	Moyenne	Eff.	Contrôle	EVE sans aide	Ecrit
4 ^{ème} 1	Contrôle	20.60	10			
	EVE sans aide	19.22	9	NS (61.07%)		
4 ^{ème} 2	Ecrit	14.20	10	- TS (0.12%)	PS (8.12%)	
	EVE avec Aide	16.90	10	- S (3.38%)	NS (39.67%)	NS (16.33%)

Tableau 34 et Tableau 35: Conceptualisation du concept de milieu : **comparaison des moyennes des scores** pour chacun des 4 groupes expérimentaux lors du pré-test (en haut) et du post-test (en bas)

Formes langagières concernant la conceptualisation du milieu

Le nombre moyen de termes utilisés pour désigner le milieu est inférieur à 1 (0,74 en moyenne et au maximum 2). On peut ajouter que 18 élèves (42%) n'utilisent aucun terme pour désigner le milieu, nombre qui tombe à 12 (31%) lors du post-test avec un nombre moyen de concepts utilisés qui passe à 1,1 en moyenne (3 au maximum). On peut donc dire qu'ils utilisent un langage scientifiquement pauvre.

Seuls 2 élèves utilisent le concept de milieu lors du pré-test, mais on observe une progression avec l'utilisation du concept par 11 élèves lors du post-test. D'autres termes sont employés par quelques élèves : endroit (11) ; environnement (11), conditions (7), lieu de vie (3), terrain (2), zone (1).

Objets mis en relation dans la conceptualisation du milieu et propriétés de ces objets

Composants du milieu cités par les élèves

En moyenne, les élèves citent 4,7 composantes du milieu (min = 1, max = 8). Ce nombre augmente après l'expérimentation passant à 5,5 (min : 2, max 10). Ce sont en particulier l'eau, l'espace disponible, la température, et l'oxygène qui sont davantage cités.

La Figure 19 ci-dessous montre que l'eau est la composante la plus citée, par 90% des élèves (97,5% au post-test), devant l'action de l'homme (sous différentes formes – 90,7%) et la lumière (72%).

Mais il est important de noter que la « terre » (plus rarement nommée « sol ») n'est citée que par 55,8% des élèves. L'espace disponible (20,9%) et la chaleur (ou la température – 23,3%) sont peu cités et surtout, les minéraux et les gaz (oxygène et CO2) le sont très rarement.

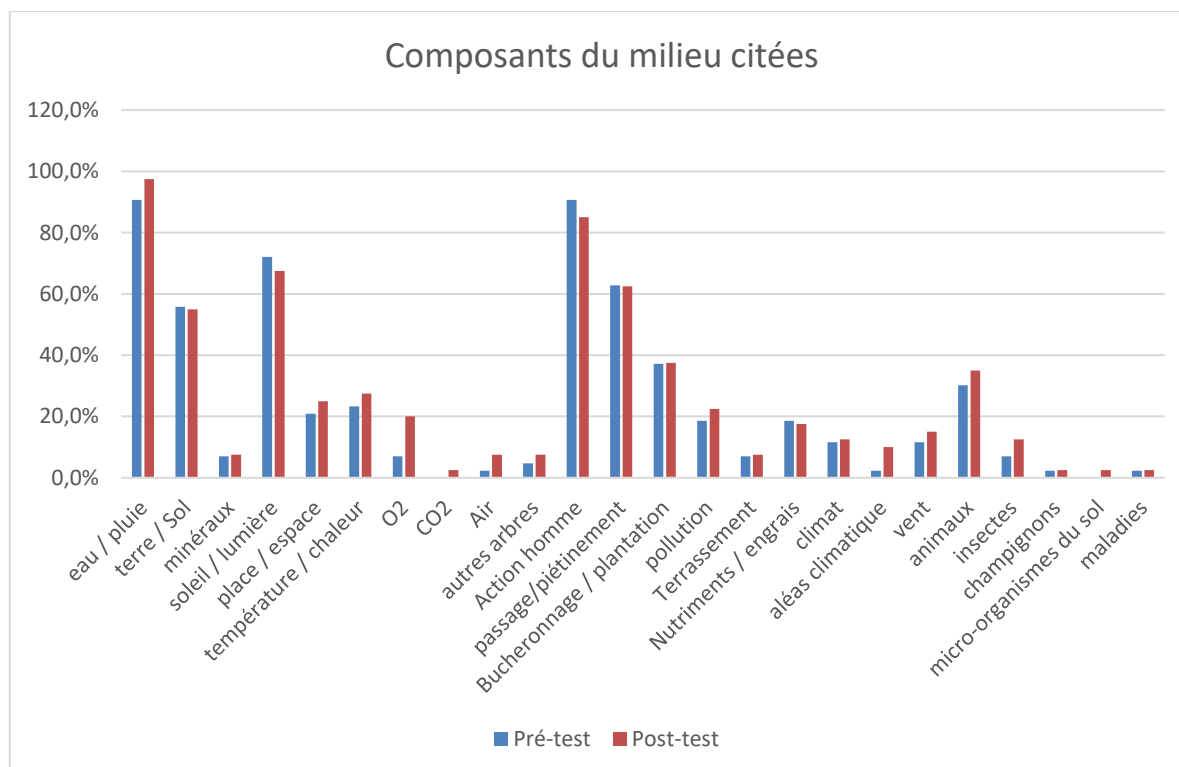


Figure 19 : Composantes du milieu qui sont citées par les élèves du collège dans leurs réponses aux pré et post-tests (en pourcentage du nombre d'élèves qui les citent).

Les propriétés associées à ces composantes sont très réduites (1,9 propriétés et moyenne au pré-test et 2,3 au post-test).

Le concept de sol semble en particulier mal construit. 22 élèves emploient le terme « terre » et seulement 2 celui de « sol » lors du pré-test (3 lors du post-test). Une interprétation possible à partir de quelques-unes des réponses serait que, pour eux, le sol est le support et la terre est sa composante « nutritive ». (ex. de réponse : « avoir une bonne terre sur le sol »). Il faut préciser à ce stade, que ni au cycle 3 ni au cycle 4, le concept de sol n'est enseigné en SVT et semble être laissé à l'appréciation des équipes pédagogiques (cf : « expliquer que la nutrition minérale implique la symbiose avec des micro-organismes du sol » dans les « idées clefs à mettre en œuvre dans son enseignement » sur le vivant et son évolution⁶).

⁶ <https://eduscol.education.fr/document/17695/download>

Concepts relationnels entre les objets dans la conceptualisation du milieu

Désignation et conceptualisation des processus bioécologiques

26% des élèves font référence à un processus lors du pré-test (43,6% lors du post test). Hormis des termes se rapportant à la croissance des arbres (« pousse », « développement », « grandissent »), les élèves nomment et décrivent très peu de processus relatifs au milieu (au maximum 2) : la reproduction (6 élèves), l'adaptation (3) et la décomposition (2).

Le processus de décomposition de la matière organique est cité par 2 élèves seulement (3 lors du post-test), mais n'est jamais décrit, si ce n'est l'étape dégradation des souches d'arbre par les insectes ou les oiseaux. Un élève utilise le terme de « pourrissement » et de « désintégration » dans la même phrase et un autre celui de « dissolution », qui correspondent à une dégradation physique sans intervention de processus (micro)biologiques. Cette conceptualisation quasi-inexistante peut être mise en lien avec celle du concept de sol rapportée au précédent paragraphe.

La germination des graines (5 élèves) et leur dissémination par le vent (2 élèves) sont parfois décrites sans être nommées. La dissémination sert alors de justification à l'observation de la répartition de différentes espèces d'arbres dans les différentes zones de la forêt.

Erreurs dans les processus

En moyenne, les élèves commettent 3,2 erreurs dans le pré-test concernant les processus qui sont interrogés (entre 1 et 5). Ce score n'évolue presque pas lors du post-test (3,5 erreurs, entre 0 et 8).

L'erreur la plus fréquente concerne le rôle de l'oxygène (et du CO₂) pour 91% des élèves : les végétaux ne poussent plus en altitude car il y a moins d'oxygène. Ce chiffre augmente même un peu lors du post-test, montrant que la séance n'a pas permis d'éclaircir ce rôle (ce qui n'était d'ailleurs pas visé explicitement). Au regard de cette réponse, de manière paradoxale, en apparence, peu d'élèves citent l'oxygène comme une composante du milieu nécessaire à la croissance d'un arbre.

Seuls 3 élèves utilisent le terme de besoins. Les réponses aux questions des tests montrent que cette idée de besoin est très mal conceptualisée par la plupart d'entre eux. Cela permet de comprendre les erreurs d'interprétation qu'ils font dans certaines situations présentées dans le test : la présence de différentes espèces d'arbres en différents lieux de la forêt ; la vitesse de croissance différente des arbres d'une espèce situés dans différents milieux.

25 élèves lors du pré-test (58,1%) et 22 lors du post-test (51,1%) ne conceptualisent pas ou mal les phénomènes de concurrence (pour la lumière) entre les arbres.

Relation arbres-milieu et effet de ces relations

Les réponses des élèves montrent qu'ils ont tous intégré une conceptualisation des relations du milieu vers l'arbre. Une moitié (49%) valide la relation inverse de l'arbre vers le milieu dans ses réponses au questionnaire du pré-test, proposition qui tombe à 31% lors du post-test.

4 élèves lors du pré-test (6 lors du post-test) utilisent le terme de « conditions » de la croissance, mais aucun le terme de « facteurs ».

Variation du milieu

Sur le plan écologique, le milieu est pensé comme évoluant dans le temps par 90% des élèves.

24% (30% lors du post-test) semblent l'envisager comme uniforme dans l'espace d'une forêt, ce qui contribue à des difficultés pour comprendre la répartition différenciée des espèces (non réponse à la question 3).

Enfin, la dynamique d'évolution des arbres et des différentes populations en forêt est mal conceptualisée : 39,5% des élèves lors du pré-test (37,2% lors du post-test) pensent que le nombre d'arbres d'une forêt est stable dans le temps ; 53,5% (46,5% lors du post-test) pensent les espèces d'arbres d'une forêt ne changent pas au cours du temps en l'absence d'intervention de l'homme.

Synthèse des résultats concernant les conceptualisations relatives au concept de milieu chez les élèves

D'une manière globale, les résultats révèlent une **conceptualisation très limitée du milieu**, que ce soit concernant les formes langagières qui permettent de représenter ce concept, ses propriétés et les situations associées, et concernant l'ensemble des invariants qui le constituent (objets et propriétés associées, relations).

Ils montrent que le milieu est **d'abord conceptualisé comme un milieu-lieu, assez uniforme dans l'espace**. Il est le plus souvent décomposable en plusieurs composantes (milieu-composant), qui restent souvent assez globales (la « terre » ; le « climat » ; le « soleil »). Celles-ci sont peu dissociées en facteurs fondamentaux que sont l'eau, la lumière, les minéraux, l'oxygène/le CO₂, la température et l'espace disponible. De fait, si ces composantes sont **envisagées comme des « conditions » de croissance**, pour la plupart des élèves elles ne vont pas jusqu'à être considérées comme des facteurs dont les variations de valeurs auraient une incidence sur la croissance ou la répartition des arbres dans l'espace.

Les différentes réponses des élèves aux questions nous conduisent à conclure que **c'est la conceptualisation de la croissance des arbres à un niveau individuel comme en population qui fait défaut chez beaucoup d'élèves**. Elles montrent que les élèves ne font pas le lien entre la croissance et les processus respiratoire et photosynthétique : méconnaissance des processus d'élaboration de la matière organique à partir du CO₂ de l'air, de la lumière et de l'eau via la photosynthèse ; confusion concernant le rôle des processus respiratoire et de l'oxygène. Concernant le rôle de l'oxygène, elles peuvent être interprétées comme l'adoption d'une perspective anthropomorphe. Elles donnent à voir une maîtrise très limitée du concept de besoins (et de tolérance) selon les espèces, qui ne leur permet pas d'interpréter les variations de la croissance des arbres d'une espèce selon le milieu. Une majorité ne connaît pas les phénomènes de concurrence.

A cela s'ajoute la quasi-absence de conceptualisation des processus de décomposition de la matière organique (décomposition, minéralisation) et de formation du sol (et de sa structure) chez la plupart des élèves.

D'une manière générale, nous pourrions dire que c'est le cycle de la matière que les élèves n'ont pas intégré : la production de la matière organique, les besoins des végétaux, les lieux de prélèvement et de stockage de la matière, la nutrition minérale et la photosynthèse, la décomposition de la matière organique puis sa minéralisation.

Discussion de l'étude globale en classe de 4ème

Nos résultats mettent en évidence des conceptualisations très limitées du concept de milieu et des processus bioécologiques associés. Comme dans le cas des lycéens, ces conclusions rejoignent celles des études réalisées en didactique de la biologie (voir Tableau 17 p. 34). En particulier, nous retrouvons l'évacuation des processus physico-chimiques dans l'interprétation des phénomènes biologiques liées à la transformation de la matière et un « primat de la perception sur la conceptualisation » (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 110). Ce dernier prend d'ailleurs une autre place dans les réponses des élèves de collège puisqu'il devient un argument d'explication des situations proposées.

Les différentes modalités utilisées dans cette expérimentation pour l'enseignement du concept de milieu (**type de scénario pédagogique et de ressource mobilisée**) ne permettent pas une progression significativement plus importante de ces conceptualisations que celle du groupe contrôle. La seule évolution significative concerne le nombre de composantes du milieu citées par les élèves du groupe « EVE avec aide ». Nous pouvons la mettre

en lien avec les apports de l'enseignant réalisés à l'oral dans ce groupe, sur la base des réponses apportées aux tâches avec l'EVE par les élèves.

Par ailleurs, l'observation d'une progression du score du groupe « contrôle » peut être interprétée comme un effet d'apprentissage liée à la réalisation des deux tests, associée à des échanges entre élèves – voire avec les enseignants – entre les deux tests.

L'évolution moindre du groupe « Ecrit » pourrait être associée à une faible attention portée à la synthèse écrite concernant le milieu et la biodiversité qui figurait dans le document remis, voire à sa compréhension et à un engagement moindre de plusieurs des élèves dans les activités proposées à ce groupe, comme le montre l'observation réalisée durant les séances de l'expérimentation.

Cependant, une autre étude conduite lors de l'expérimentation réalisée au collège semble montrer que l'usage de **l'EVE associé à des apports sur le concept de biodiversité** par un enseignant **permettrait des apprentissages** significativement plus **importants que dans le cas du scénario fondé sur des activités écrites** (voir mémoire de Master d'Océane Provillard). Deux hypothèses peuvent être faites à ce propos. La première est que les **apprentissages testés dans le cadre de cette seconde expérimentation portent sur l'acquisition de connaissances** relatives au concept de biodiversité (ex : définition du concept) correspondant directement aux savoirs « enseignés » au cours de la séance. Nous pouvons faire le parallèle avec la progression du nombre de composantes du milieu citées par les élèves dans le cas de l'expérimentation conduite sur le concept de milieu : ces composantes correspondent directement à des savoirs « enseignés » durant la séance. Autrement dit, pour la modalité « EVE + apports », la progression serait liée à une mémorisation de connaissances en lien avec les apports de l'enseignant plus qu'à l'usage de l'EVE. En regard, l'absence de progression plus global pour le concept de milieu serait liée à la difficulté des élèves à mobiliser ces connaissances pour interpréter les situations proposées dans le pré et le post-test. Cette hypothèse permettrait aussi d'expliquer les difficultés des élèves à utiliser leurs connaissances sur la biodiversité pour interpréter les évolutions dans le temps de la biodiversité en particulier en lien avec les actions de l'homme.

Une deuxième hypothèse est que les bénéfices de Silva Numerica seraient supérieurs dans le cas de l'apprentissage de concepts lorsque cet apprentissage a été visé de manière explicite dans la conception de l'environnement virtuel. **La transposition didactique des savoirs est alors prise en compte, numériquement dans la ressource** (présence d'éléments et de fonctionnalités permettant de travailler explicitement les concepts visés) **et pédagogiquement** (élaboration des scénarios intégrés dans la ressource par les enseignants). En effet, l'apprentissage de la biodiversité a fait l'objet de l'implémentation de ressources dédiées dans l'EVE, sous forme d'intégration d'éléments de biodiversité dans la forêt virtuelle associés à des fiches explicatives accessibles aux élèves (ex : intégration de différents types de micro-habitats au niveau des arbres) ainsi que l'intégration d'un indicateur de biodiversité dont il est possible de suivre l'évolution lors des simulations de développement de la forêt (l'IBP - indice de biodiversité potentiel qui matérialisent la biodiversité dans la parcelle sur la base de 6 indicateurs). A l'inverse, le concept de milieu n'a pas été spécifiquement visé dans la conception de l'EVE et n'a donc pas fait l'objet d'une transposition didactique et numérique spécifique, si ce n'est par l'implémentation de trois « zones » différant en particulier par les caractéristiques de leurs sols et par l'évolution de la croissance des végétaux en fonction de ces lieux.

Discussion globale des résultats de l'expérimentation

Que ce soit au collège en classe de 4^{ème} ou au lycée en classe de 1^{ère} STAV, les résultats de nos expérimentations mettent en lumière les conceptualisations des élèves quant aux concepts de milieu et de concurrence, ainsi que plusieurs obstacles épistémiques à leurs évolutions qui perdure entre le collège et le lycée sont susceptibles d'expliquer certaines des difficultés d'apprentissage rencontrées par des apprenants de la formation professionnelle forestière. Ces obstacles nécessitent d'être considérés dans le cadre didactique et pédagogique, intégrant les caractéristiques de l'EVE et/ou dans les séquences et scénarii d'apprentissage l'utilisant. Il s'agit de mettre en place des situations didactiques suffisamment antagonistes pour créer des conditions potentielles d'apprentissage, c'est-à-dire des conditions permettant le dépassement de ces obstacles.

Les expérimentations menées dans les conditions décrites permettent de conclure que, dans le cadre des scénarios pédagogiques et didactiques élaborés et testés, l'EVE Silva Numerica n'apporte pas de plus-value importante concernant l'évolution des conceptualisations relatives au milieu de vie des arbres et aux phénomènes de concurrence, que ce soit dans leur dimension langagière ou concernant les invariants associés et leurs relations. Il semble cependant que cette plus-value pourrait être variable selon les concepts visés (milieu versus concurrence), selon le type d'apprentissages visés (apprentissage de connaissances versus mobilisation de connaissance dans l'interprétation de situations), selon le type de scénarii (EVE en autoformation ou avec feed-back).

L'absence de mise en évidence d'effets des différents scénarii proposés ne doit donc pas être envisagée comme un échec de l'expérimentation et **ces résultats ne remettent pas en cause le potentiel d'apprentissage de l'outil numérique Silva Numerica**. Ils attirent au contraire notre attention sur un certain nombre de conditions pour qu'il apporte une plus-value. Ils confirment que la conception des scénarii ne peut se fonder uniquement sur le choix de concepts à enseigner et des diverses modalités pédagogiques pour le faire (médiations des enseignants et ressources mobilisées). Celle-ci doit intégrer une centration et un alignement (Biggs, 1996) explicite des activités, des ressources et discours de l'enseignant avec les objectifs d'apprentissages visés (ici les concepts de milieu et de concurrence). De plus, ces résultats mettent à jour des conceptualisations relatives aux processus bioécologiques et des obstacles épistémiques chez les élèves, ainsi que des obstacles didactiques liés à l'EVE lui-même, qui doivent être pris en compte dans les futurs scénarii d'enseignement mobilisant Silva Numerica. C'est le sens des hypothèses d'interprétation de nos résultats que nous proposons maintenant.

Hypothèses d'interprétation des résultats

Les scénarii d'enseignement proposés.

Tout d'abord, au regard des obstacles épistémiques concernant leurs conceptualisations du milieu des arbres et des processus de concurrence, une hypothèse est que les scénarii et milieux didactiques proposés n'étaient pas suffisamment antagonistes (Brousseau, 1998) au regard de leurs conceptions initiales, au sens où ils n'ont pas créé des conditions suffisamment déstabilisatrices des conceptualisations des élèves avant de proposer des conditions pour franchir certains des obstacles épistémiques recensés et en reconstruire une conceptualisation plus adaptée avant de l'automatiser (Astolfi & Peterfalvi, 1993) – tout au moins ceux qui étaient franchissables par les élèves et qui pouvaient faire l'objet d'objectifs au regard des caractéristiques de l'EVE (cf. plus loin). De ce fait, il se produirait une sorte d'évitement conceptuel de la part des élèves, en lien avec un « primat de la perception sur la conceptualisation » récurrent dans les résultats des études en didactiques des sciences.

L'obstacle principal serait en lien avec une conceptualisation et des obstacles épistémiques importants concernant la croissance des arbres (des végétaux en général) individuellement et en population ainsi que la dynamique d'évolution du milieu, mises à jour dans de nombreuses études didactiques (Astolfi & Peterfalvi, 1993; Bonnat et al., 2019; Coupaud et al., 2019; Drouin & Astolfi, 1986; Gandolfo, 2008; Goix, 1997). Il concerne en particulier le cycle de la matière (processus de production de matière organique par les végétaux via la

photosynthèse et rôles respectifs des processus de respiration et de photosynthèse ; besoins des végétaux et nutrition minérale ; processus de décomposition et minéralisation) et le rôle de différents facteurs dans ce cycle. Concernant la relation inverse de l'arbre vers le milieu, les scénarios portaient peu sur la comparaison de l'évolution spécifique de quelques arbres singuliers à un endroit donné de la parcelle, qui aurait permis d'insister sur le caractère biorelatif du milieu (Astolfi, 1987), c'est-à-dire variant selon les spécificités propres à chaque individu (arbre) à un moment donné. Or cela constitue un obstacle épistémique important dans l'apprentissage de ce concept. Pour faire évoluer les conceptualisations des élèves, il aurait été par exemple intéressant de concevoir des scénarios qui prennent en compte les différentes conceptualisations et qui montrent explicitement des différences de croissance et de survie des arbres dans différents milieux. Ainsi, la comparaison du nombre d'arbres morts sans intervention de l'homme sur une parcelle forestière et en fonction de la densité du peuplement peut permettre d'accéder à la conception « milieu-ressources » ; la comparaison du développement de la croissance d'arbres de deux essences différentes comme le chêne ou l'aulne dans des milieux différents peut aider à comprendre le concept de « milieu-facteur » mais aussi de « milieu biorelatif ».

Ensuite, on peut s'interroger concernant la plus-value en termes d'**opérations cognitives** des scénarii élaborés avec usage de l'EVE au regard des scénarii fondés sur des activités écrites et/ou utilisant une vidéo. En effet, les scénarii avec EVE ont été conçus essentiellement sur la base d'**observations/comparaisons** des populations d'arbres présentes dans les différentes zones faisant varier quelques facteurs abiotiques (sols différents selon les zones ; lumière incidente variant au fil du développement des arbres). Ils impliquaient des inventaires longs (et fastidieux) des espèces en présence. Ces activités de relevés ne constituaient pas des tâches cognitives en relation directe avec l'apprentissage visé des concepts de milieu et de concurrence. Elles ont par ailleurs limité le temps disponible pour réaliser des d'**observations/comparaisons** des évolutions à la suite de simulations après différentes coupes et sur des temps variés, tâches essentielles pour la compréhension des processus. En définitive, ces opérations sur papier, ne mobilisant pas les simulations, apparaissent relativement proches de celles mobilisées dans le scénario « écrit » au collège (avec l'avantage que les inventaires étaient déjà fournis dans des tableaux). Nous pouvons alors nous interroger sur la possibilité pour l'élève d'accéder à une forme de **modélisation et de décontextualisation** des relations entre les éléments du milieu ou des processus de la concurrence à partir de ces comparaisons dans les scénarii avec EVE, même aidés par les interventions de l'enseignant. Les activités et l'étaillage apporté apparaissent insuffisants pour permettre aux élèves de franchir l'« **obstacle descriptif** » (ne pas en rester à une description) et passer à une interprétation de leurs observations en termes de relations entre les éléments. D'autant que les modalités d'enseignement visant cette décontextualisation se sont limitées selon les scénarii à un apport magistral (oral ou écrit) ou à une mise en commun des réponses des élèves associées à leur mise en relation avec des apports conceptuels (à l'oral), sur une durée très réduite, sur une seule séance. S'y ajoute une caractéristique informatique de l'EVE : une impossibilité de retour en arrière après une simulation, qui empêche des allers retours avant / après simulation, qui pourraient faciliter les comparaisons.

Cela pourrait expliquer que le scénario fondé sur l'usage d'une vidéo s'avère plus favorable aux apprentissages **concernant les processus associés au milieu et à la concurrence (objets en relation, facteurs intervenant dans ces relations et effets des relations)**. Notre hypothèse est que **les contenus de la vidéo, les questions posées aux élèves et donc les synthèses faites par l'enseignant** abordent de manière plus directe les composants et leurs relations dans les processus liés au milieu et à la concurrence. Un alignement pédagogique (Biggs, 1996) a bien été opéré dans la conception du scénario (choix de la ressource, des tâches cognitives en lien avec l'objectif visé) avec un souci de progressivité et de complétude. Les différentes tâches, le discours et les aides de l'enseignant **orientent l'attention** des élèves vers ces processus et leur permettent de **voir leurs effets et d'entendre à plusieurs reprises l'explication de leurs causes et leur décomposition** en facteurs, **favorisant la mémorisation** : par le contenu de la vidéo, les questions posées et les synthèses et apports par l'enseignant.

Les caractéristiques des modèles implémentés dans l'EVE

La **non maîtrise des processus fondamentaux liés à la croissance des végétaux** (y compris concernant la constitution de matière organique) semble constituer un obstacle majeur à une conceptualisation du milieu et des processus de concurrence. Or, il est important de rappeler que l'EVE Silva Numerica n'a pas été développé de manière spécifique pour ces apprentissages.

Notre hypothèse de départ était que l'environnement numérique pouvait embarquer des modèles (implicites) relatifs au milieu et aux phénomènes de concurrence pour générer les simulations et qu'il devait être possible d'utiliser l'EVE pour enseigner et faire apprendre ces concepts, l'EVE devant apporter une plus-value liée à la simulation de l'évolution dans le temps suite à différentes actions. En l'état, les scénarios d'usage de cet EVE conçus et testés n'ont pas permis ces apprentissages, ou plus exactement ne les ont pas permis chez tous les élèves.

Comme nous l'avons expliqué plus haut, **une hypothèse serait que les bénéfices de Silva Numerica seraient supérieurs dans le cas où sa conception aurait été pensée de manière à faciliter le travail explicite d'un objet d'apprentissage donné**. Cela concerne d'une **part les ressources mises à disposition** des élèves pour travailler ce concept (ex : des ressources existent pour travailler la biodiversité mais pas le milieu ou la concurrence), les possibilités de faciliter les comparaisons par l'implémentation de fonctionnalités dédiées par exemple.

Mais cela concerne aussi **les modèles implémentés dans le générateur de la simulation** concernant les différents objets en présence et leurs relations. Ainsi, le concept de milieu est à envisager comme un ensemble d'interrelations réciproques entre le milieu et les arbres et autres êtres vivants en présence (et de rétroactions). Il est évident que les caractéristiques des modèles du milieu implémentés dans la simulation intègrent un nombre limité de relations du milieu vers l'arbre (modélisation limitée des caractéristiques des sols ; pas de modélisation de microclimats différents, de saisons, ...). Le facteur lumière y est prépondérant. De plus, l'EVE n'intègre pas l'interdépendance des facteurs intervenant sur l'arbre et leurs évolutions (lumière-température ; caractéristique du sol-eau-disponible ; etc.). L'action de l'arbre sur d'autres dimensions du milieu (sol, microclimat, faune, ...) n'est pas modélisée. Pour une part, l'EVE peut cependant être support d'un travail des relations de l'arbre vers le milieu ou des arbres entre eux. Mais cela se limite à l'effet des autres arbres sur la lumière disponible pour les autres végétaux.

Nous retrouvons ici **l'importance du travail de transposition numérique des objets et variables identifiées** comme essentielles sur le plan didactique mis en avant dans tous les travaux sur la conception d'environnements informatiques d'apprentissage (Balacheff, 1994b, 1994a). C'est ce travail qui joue un rôle essentiel pour le « domaine de validité épistémologique » de l'environnement d'apprentissage numérique, c'est-à-dire « le domaine de problèmes auquel l'environnement donne accès, les caractéristiques fonctionnelles et sémiotiques de l'interface, la cohérence interne et la tolérance du dispositif » (1994b, p. 21). Il implique que « les connaissances qui sont visées par la formation [aient] un caractère de nécessité pour traiter les situations proposées dans le simulateur. On est dans la droite ligne des travaux de Brousseau : "le jeu doit être tel que la connaissance apparaisse sous la forme choisie, comme la solution, ou comme le moyen d'établir la stratégie optimale" » (Vadcard, 2019, p. 88). Cela plaide pour une prise en compte des objets d'apprentissages dès la conception de l'EVE et va donc dans le sens de ce que préconisent les didacticiens, à savoir que des analyses préalables concernant les objets d'apprentissage et leur apprentissage par les élèves sont nécessaires à la conception d'un tel EVE. Faute de quoi, tout travail d'apprentissage de tels objets d'apprentissage non explicitement visés lors de la conception doit **faire l'objet de médiations importantes par l'enseignant** voire d'un enseignement sur la base d'autres ressources pour que les élèves puissent y accéder – par exemple pour comprendre les processus de décomposition à l'origine de la disparition des arbres tombés au sol. Or, dans le cas de Silva Numerica, ces analyses préalables ont concerné presque exclusivement les apprentissages professionnels.

Toutefois, l'enseignement de certains processus essentiels à une complexification des conceptualisations et raisonnements pourraient s'avérer impossible avec l'EVE en l'état. Ainsi, les scénarii créés pour l'expérimentation visaient, dans une certaine mesure, des raisonnements sur les populations favorables au passage d'une causalité linéaire simple à un raisonnement plus complexe fondé sur des interactions (Drouin et Astolfi, 1986, p. 97), et donc à une évolution des propriétés et des relations entre les objets constitutifs du milieu. Toutefois, les caractéristiques de l'EVE permettent difficilement d'aller vers un raisonnement plus complexe et plus systémique, par exemple en travaillant sur les rétroactions, en s'interrogeant sur l'évolution d'un milieu sous l'action du vivant (notamment du fait d'une prise en considération très limitée de l'incidence des arbres sur les caractéristiques du milieu, si ce n'est sur la luminosité) ou sur les interrelations entre les évolutions de différents facteurs du milieu. En allant plus loin, il est possible d'envisager que les modélisations du développement des arbres en population et du milieu implémentés dans la simulation pourrait générer d'**éventuels obstacles didactiques (c'est-à-dire générés par l'enseignement)** à un apprentissage donné (ici les relations de rétroaction) voire à la création d'obstacles à des apprentissages ultérieurs (par exemple des apprentissages concernant les diagnostics de parcelles forestières ou des anticipations des conséquences des actions de sylvicultures envisagées).

Pour terminer, nous souhaitons revenir sur la plus-value de l'usage de l'EVE liée à une meilleure appréhension des évolutions des arbres, des populations et du milieu dans le temps. Nos résultats concluent à une absence d'évolution importante des conceptualisations relatives au milieu et à la concurrence des élèves avec les différents scénarios d'usage de l'EVE expérimentés et au fait que la conceptualisation reste à un niveau descriptif des phénomènes observables. Ils confirment que si les processus biologiques et écologiques associés ne sont pas connus, ils ne peuvent être appropriés directement par les élèves dans l'usage de l'EVE (en l'état et avec les scénarios d'usage élaborés). Dès lors, si l'EVE permet de visualiser l'évolution dans le temps des arbres, après une éventuelle action humaine, sa plus-value quant à la compréhension des évolutions observées d'une forêt dans le temps et leurs origines implique un travail important d'enseignement des processus biologiques associés à d'autres moments et avec d'autres ressources, ainsi que des feed-back et des mises en lien par l'enseignant avec ces savoirs.

L'EVE étant **conçu essentiellement dans une perspective de réalisme suffisant** de la forêt et de son évolution au regard des actions de l'homme et **peu sur la base des obstacles didactiques** (si ce n'est concernant la possibilité d'observer les évolutions dans le temps) mais **pas sur la base des obstacles épistémiques** aux apprentissages visés, cela **déplace la réflexion pédagogique-didactique vers l'enseignant**, en termes de scénarisation d'usage de l'EVE, de feed-back autour de cet usage et d'inscription dans une progression qui intègre d'autres types de ressources et de modalités d'enseignement (Vadcard et al., 2021).

Sur le plan méthodologique

Ces résultats n'ont pas prétention à une quelconque généralisation concernant expérimentations du fait de plusieurs limites dans leur méthodologie.

D'une part, malgré les précautions expérimentales adoptées, les modalités de réalisation de cette expérimentation en **conditions écologiques introduisent des biais**. Nous pouvons citer par exemple le décalage entre les usages et difficultés prévus de l'EVE et ses usages réels. Ainsi, les groupes successifs utilisant l'EVE ont bénéficié des constats établis par les enseignants concernant certaines difficultés d'usage (ex : plusieurs élèves ne font pas avancer le scénario implémenté dans l'EVE tout en avançant dans le renseignement du document papier associé – les enseignants attireront l'attention des élèves du groupe suivant sur la nécessité d'avancer aussi dans le scénario numérique ; plusieurs élèves d'un groupe ont été perturbés par la présence d'un grillage virtuel les empêchant de se déplacer lorsqu'ils atteignent la limite de la parcelle – ce point sera spécifié aux élèves

du groupe suivant). De plus, plusieurs élèves n'ont pu aller au bout des scénarii imaginés, donnant à voir une programmation didactique inappropriée.

D'autre part, au regard des remarques précédentes, il serait intéressant de **tester les évolutions de conceptualisation produites par des scénarii conçus avec un antagonisme plus important** du milieu didactique, c'est-à-dire résistant aux interprétations des élèves, générant des problèmes, suscitant des étonnements, des questions, bref des conflits cognitifs. Cela permettrait de tester le potentiel qu'offre l'EVE de ce point de vue

Enfin, ces résultats sont limités du fait du **type de recueil de données choisis**. L'association d'un QCM de type « connaissances » à des questions ouvertes est intéressante. Elle permet de montrer comment des questions génériques de connaissances (relative à la définition du milieu ou de la concurrence) donne parfois des résultats contradictoires avec les questions plus ouvertes et situées (en référence à des cas). Toutefois, les difficultés de passage à l'écrit de nombreux élèves se traduit dans des réponses peu développées (cf. la remarque des élèves de 4^{ème} sur leurs difficultés à exprimer leurs idées à l'écrit), qui peuvent s'avérer difficiles à interpréter. Comme dans le cas de l'étude réalisée sur la motivation des élèves, il aurait été intéressant d'associer à ce recueil des entretiens avec quelques élèves pour les conduire à préciser et approfondir leurs réponses (par exemple des entretiens s'appuyant sur leurs réponses au post-test).

Bibliographie

- Astolfi, J.-P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141.
- Balacheff, N. (1994a). Didactique et intelligence artificielle. *Recherches en didactique des mathématiques*, 14(1-2), 9-42.
- Balacheff, N. (1994b). La transposition informatique, un nouveau problème pour la didactique. In M. Artigue, R. Gras, C. Laborde, & P. Tavinot, *Vingt ans de didactique des mathématiques en France* (p. 364-370). La Pensée Sauvage.
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher education*, 32(3), 347-364.
- Bonnat, C., Marzin-janvier, P., & Girault, I. (2019). Analyse des conceptions d'élèves sur le vivant, dans une situation de conception expérimentale avec un environnement informatique. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 20, 149-173. <https://doi.org/10.4000/rdst.2786>
- Chiron, T., Guidoni-Stoltz, D., & Mayen, P. (2019). Explorer l'activité de diagnostic d'une parcelle forestière par des apprenants forestiers pour favoriser l'apprentissage de gestion de situations dynamiques en lien avec le vivant. *Recherches en éducation*, 38, Art. 38. <https://doi.org/10.4000/ree.732>
- Coupaud, M., Castéra, J., Cheneval-Armand, H., Brandt-Pomares, P., & Delserieys, A. (2019). Développer un questionnaire pour étudier les conceptions de l'évolution du vivant d'élèves de collège : Entre cadres didactique et psychométrie. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 20, 27-59. <https://doi.org/10.4000/rdst.2641>
- Dajoz, R. (1974). *Dynamique des populations*. Masson et Cie.
- Develay, M., & Ginsburger-Vogel, Y. (1987). Population. *Aster*, 3, 19-71.
- Douady, R. (1983). Rapport enseignement apprentissage : Dialectique outil-objet, jeux de cadres. *Cahier de didactique des mathématiques*, 3.
- Douady, R. (1986). Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), 25-31.
- Dreyfus, P. (1999). *Diversité des approches fonctionnelles de la dynamique et de la production des peuplements : Intérêts pour la gestion sylvicole*. 2, 281-297.
- Drouin, A.-M., & Astolfi, J.-P. (1986). Milieu. *Aster*, 3, 73-109.
- Gallezot, M., & dell'Angelo-Sauvage, M. (2018). Vie, vivant, biodiversité : Quelles approches ? Quelles prises en charge scolaire ? *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 18. <https://doi.org/10.4000/rdst.1930>
- Gandolfo, G. (2008). Le concept de milieu dans les sciences du vivant. *Noesis*, 14, 237-247.
- Goix, M. (1997). Grandir : Oui mais comment ? *Aster*, 24, 141-170.
- Grace, J. B. (1990). On the relationship between Plant Traits and Competitive Ability. In J. B. Grace & D. Tilman (Éds.), *Perspective on plant competition* (p. 51-65). Academic Press Inc.
- Guidoni-Stoltz, D. (2020). L'œil du forestier, instrument et miroir de l'activité professionnelle. Une perspective de didactique professionnelle. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 14(14-3), Art. 14-3. <http://journals.openedition.org/rac/8371>
- Lindell, R. S., Peak, E., & Foster, T. M. (2007). Are they all created equal ? A comparison of different concept inventory development methodologies. *AIP conference proceedings 883*, 14-17. <https://doi.org/DOI : 10.1063/1.2508680>
- Mayen, P. (2014). Apprendre à travailler et à penser avec les êtres vivants. L'entrée par la didactique professionnelle. In P. Mayen & A. Lainé (Éds.), *Apprendre à travailler avec le vivant : Développement durable et didactique professionnelle* (p. 15-75). Éditions Raisons et passions.
- Peterfalvi, B., Rumelhard, G., & Vérin, A. (1987). Relations alimentaires. *Aster*, 3, 111-186.
- Prévost, P. (1997). *Le concept de régulation biologique et la formation professionnelle des agriculteurs : Études didactiques* [Thèse de doctorat, Lyon 1]. <http://www.theses.fr/1997LYO10028>
- Prévost, P. (2000). La régulation biologique un concept intégrateur de la connaissance agronomique. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 39, 27-38.
- Rumelhard, G. (1985). Quelques représentations à propos de la photosynthèse. *Aster*, 1, 37-66.

- Rumelhard, G. (1997). Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances scientifiques. *Aster*, 24, 13-35.
- Schütz, J.-P. (1990). *La sylviculture 1. Principes d'éducation des forêts*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Schütz, J.-P. (1997). *La sylviculture 2. La gestion des forêts irrégulières et mélangées*. Presses polytechniques et universitaires romande.
- Vadcard, L. (2019). *Vers une didactique des gestes techniques Enjeux pour la formation professionnelle en santé* [Habilitation à diriger des recherches]. Université de Bourgogne Franche-Comté.
- Vadcard, L., Dépret, C., & Markaki-Lothe, V. (2021). Simulation du travail en formation : Constructivisme, intentions didactiques et mannequins en maïeutique. *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE*, 62, Art. 62.
<https://doi.org/10.4000/edso.17400>
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2-3),133-170.

Liste des figures

Figure 1 : Structure conceptuelle du diagnostic de parcelle forestière (tiré de (Guidoni-Stoltz, 2020)	7
Tableau 3 et Figure 2 : Pré-test « conceptualisation du concept de milieu : Comparaison des moyennes des scores cumulés pour chacun des 4 groupes expérimentaux	13
Figure 3 : Type de conceptualisation du milieu retrouvée dans les réponses des élèves au pré-test et au post-test (en % du nombre d'élèves dont la conceptualisation correspond à un type donné)	20
Figure 4 : Formes langagières utilisées pour désigner le milieu dans les réponses des élèves au pré-test et au post-test (en % du nombre d'élèves qui citent un terme donné)	21
Figure 5 : Composants fondamentaux du milieu nécessaires au développement des arbres cités par les élèves lors du pré-test et du post-test (en % du nombre d'élèves qui citent composante fondamentale donnée)	22
Figure 6 : Composants du milieu qui jouent un rôle dans le développement des arbres tels que cités par les élèves lors du pré-test et du post-test (en % du nombre d'élèves qui citent une composante donnée).....	23
Figure 7 : Termes utilisés par les élèves pour la désignation et la conceptualisation des processus bioécologiques lors des pré-test et post-test (en % du nombre d'élèves qui utilisent un terme donné).....	26
Figure 8 : Sens des relations entre un arbre et son milieu qui apparaissent dans les réponses des élèves lors des pré-test et post-test (en % du nombre d'élèves dont les réponses montrent la conceptualisation d'un sens de relation donné).	29
Figure 9 : Effets des relations entre un arbre et son milieu qui apparaissent dans les réponses des élèves lors des pré-test et post-test (en % du nombre d'élèves qui citent un effet donné).	29
Figure 10 : Figure présentée dans le questionnaire des pré et post-test pour tester leur conceptualisation de l'effet de la neige sur la forme de l'arbre.....	30
Figure 11 : Dynamisme de l'évolution de différentes composantes du milieu au cours du temps tel qu'il apparaît dans les réponses des élèves aux questions du pré et du post-test (en % du nombre d'élèves pour chaque composante).	31
Figure 12 : Types de conceptualisation des phénomènes de concurrence retrouvés dans les réponses des élèves au pré-test et au post-test (en % du nombre d'élèves dont la conceptualisation relève de chaque type).	36
Figure 13 : Concepts utilisés par les élèves pour désigner les phénomènes de concurrence dans leurs réponses aux pré et post-test (en % du nombre d'élèves qui utilisent un concept donné).	37
Figure 14 : Termes utilisés par les élèves pour désigner les processus associés aux phénomènes de concurrence dans leurs réponses aux pré et post-test (en % du nombre d'élèves qui utilisent un terme donné).	38
Figure 15 : Types de ressources objet d'une concurrence entre les végétaux dans les réponses aux pré et au post-test (en % du nombre d'élèves qui citent un objet donné).	38
Figure 16 : Nature des facteurs intervenant dans les processus liés à la concurrence qui apparaissent dans les réponses aux pré et post-test des élèves (en % du nombre d'élèves qui citent un facteur donné).	39
Figure 17 : Processus intervenant dans la concurrence qui font l'objet d'une description (sans forcément être nommés) dans les réponses des élèves aux pré et post-test (en % du nombre d'élèves qui décrivent ce processus).	41
Figure 18 : Effets des phénomènes de concurrence évoqués dans les réponses des élèves lors du pré et du post-test (% d'élèves qui citent cet effet).	43
Figure 19 : Composantes du milieu qui sont citées par les élèves du collège dans leurs réponses aux pré et post-tests (en pourcentage du nombre d'élèves qui les citent).....	52
Figure 20 : Réseau conceptuel de l'écosystème forestier	66

Liste des tableaux

Tableau 1 : Description synthétique du protocole de réalisation de l'expérimentation réalisée avec deux classes de 1 ^{ère} STAV.....	11
Tableau 2 : Population prise en considération dans l'analyse de l'évolution des conceptualisations relatives au concept de milieu et de concurrence.....	12
Tableau 3 et Figure 2 : Pré-test « conceptualisation du concept de milieu : Comparaison des moyennes des scores cumulés pour chacun des 4 groupes expérimentaux	13
Tableau 4 : Post-test - Comparaison des moyennes des scores cumulés concernant la conceptualisation du concept de milieu pour chacun des 4 groupes expérimentaux	13
Tableau 5 et Tableau 6: Comparaison des moyennes des scores cumulés concernant la conceptualisation du concept de concurrence pour chacun des 4 groupes expérimentaux lors du pré-test (en haut) et du post-test (en bas).....	14
Tableau 7 : Conceptualisation du milieu et des phénomènes de concurrence : évolution moyenne du score global des élèves entre le pré et le post-test en fonction du groupe expérimental.....	15
Tableau 8 : Conceptualisation du milieu et des phénomènes de concurrence : comparaison des moyennes de l'évolution du score global des élèves entre les différents groupes expérimentaux.....	15
Tableau 9 : Conceptualisation du milieu : comparaison de l'évolution moyenne du score global des élèves des différents groupes à la moyenne des scores.....	16
Tableau 10 : Conceptualisation du milieu : comparaison de l'évolution moyenne du score global des élèves entre les différents groupes expérimentaux	17
Tableau 11 : Score de motivation interne des élèves en fonction du groupe expérimental.	17
Tableau 12 : Conceptualisation des phénomènes de concurrence : comparaison de l'évolution moyenne du score global des élèves des différents groupes à la moyenne des scores.....	18
Tableau 13 : Conceptualisation des phénomènes de concurrence : comparaison de l'évolution moyenne du score global des élèves entre les différents groupes expérimentaux	18
Tableau 14 : Propriétés attribuées par les élèves aux différents composants du milieu qu'ils citent dans leurs réponses.....	24
Tableau 15 : Prise en considération des caractéristiques spécifiques à l'espèce et à chaque arbre considéré dans les réponses des élèves.....	25
Tableau 16 : Niveaux de précision dans la description faite par les élèves des processus à l'origine des situations proposées dans le questionnaire (nombre d'élève par niveau)	27
Tableau 17 : Synthèse des résultats concernant les conceptualisations des élèves de 1 ^{ère} STAV relatives au milieu de vie des arbres.	34
Tableau 18 : Nombre de termes utilisés par les élèves pour désigner les phénomènes de concurrence dans leurs réponses au pré et post-test.	37
Tableau 19 : Nombre de facteurs intervenant dans les processus de concurrence cités par les élèves dans leurs réponses au pré et post-test.	39
Tableau 20 : comparaison des moyennes du nombre de facteurs intervenant dans les phénomènes de compétition en fonction des groupes lors du post-test.....	40
Tableau 21 : Nombre de processus relatifs à la concurrence nommés par les élèves dans leurs réponses au pré et post-test.....	40
Tableau 22 : Nombre de processus relatifs à la concurrence décrit par les élèves dans leurs réponses au pré et post-test.....	40
Tableau 23 : Comparaison des moyennes du nombre de processus intervenant dans les phénomènes de concurrence en fonction des groupes lors du prétest (en haut) et du post-test en bas.	40
Tableau 24 : Nombre d'élèves selon le niveau de précision de leurs explications des processus intervenant dans les phénomènes de concurrence lors du pré et du post-test.	42

Tableau 25 : Nombre d'erreurs faits par les élèves dans leurs explications des processus intervenant dans les phénomènes de concurrence lors du pré et du post-test.....	42
Tableau 26 : Nombre d'élèves (et % d'élèves entre parenthèses) ayant fait une erreur dans la réponse à différentes questions relatives aux phénomènes de concurrence	42
Tableau 27 : % des élèves dont les réponses aux questions des pré et post-test montrent une conceptualisation des phénomènes de concurrence absolue versus relative aux caractéristiques du milieu et selon le stade de développement des végétaux concernés.	43
Tableau 28 : Synthèse des résultats concernant les conceptualisations des élèves de 1 ^{ère} STAV relatives aux phénomènes de concurrence.	45
Tableau 29 : Synthèse de différentes conceptualisations des phénomènes de concurrence et de quelques obstacles épistémiques associés.....	46
Tableau 30 : Modalités d'enseignement relatives au concept de milieu comparées dans l'expérimentation au collège et nombre d'élèves dans chacun des groupes expérimentaux correspondants	48
Tableau 31 : Résultats de l'évolution moyenne du score global des élèves quant à la conceptualisation du milieu entre le pré et le post-test en fonction du groupe expérimental.	50
Tableau 32 : Comparaison des moyennes de l'évolution entre le pré et le post-test du score global des élèves quant à la conceptualisation du milieu entre les différents groupes expérimentaux	50
Tableau 33 : Comparaison des moyennes de l'évolution entre le pré et le post-test du score global des élèves quant aux composantes du milieu cités par les élèves entre les différents groupes expérimentaux	50
Tableau 34 et Tableau 35: Conceptualisation du concept de milieu : comparaison des moyennes des scores pour chacun des 4 groupes expérimentaux lors du pré-test (en haut) et du post-test (en bas).....	51
Tableau 36 : Concepts et modèles identifiés par les enseignants comme enjeux cruciaux d'apprentissage et/ou objets d'enseignement critiques aux différents niveaux de formation visés par l'EVE.	68
Tableau 37 : Différents niveaux de compréhension du concept de milieu (Drouin et Astolfi, 1986)	75
Tableau 38 : Modalités d'enseignement relative au concept de milieu comparées dans l'expérimentation au collège et nombre d'élèves dans chacun des groupes expérimentaux correspondants	119

Annexe 1 : Identification des concepts/modèles traversant tout le curriculum de l'enseignement de la forêt

Nous présentons de manière brève les résultats des analyses de différentes données avant d'expliquer la manière dont nous avons réalisé le choix des concepts qui ont servi pour la réalisation de l'expérimentation avec les élèves : analyse des concepts des experts de la forêt ; identification des concepts et modèles traversant les curricula de formation au collège et au lycée.

Identification des principaux concepts employés par les experts lors du séminaire scientifique, de ceux retrouvés dans les référentiels et une analyse bibliographique sur la forêt

Nous rappelons ici le résultat du travail d'analyse des enjeux, concepts et phénomènes mobilisés pour la compréhension d'un écosystème forestier à partir de divers types d'informations (séminaire scientifique, référentiels de formation et documents sur la forêt). En rouge, nous avons entouré les points du schéma où figurent des concepts et modèles correspondant à des entités et processus bioécologiques.

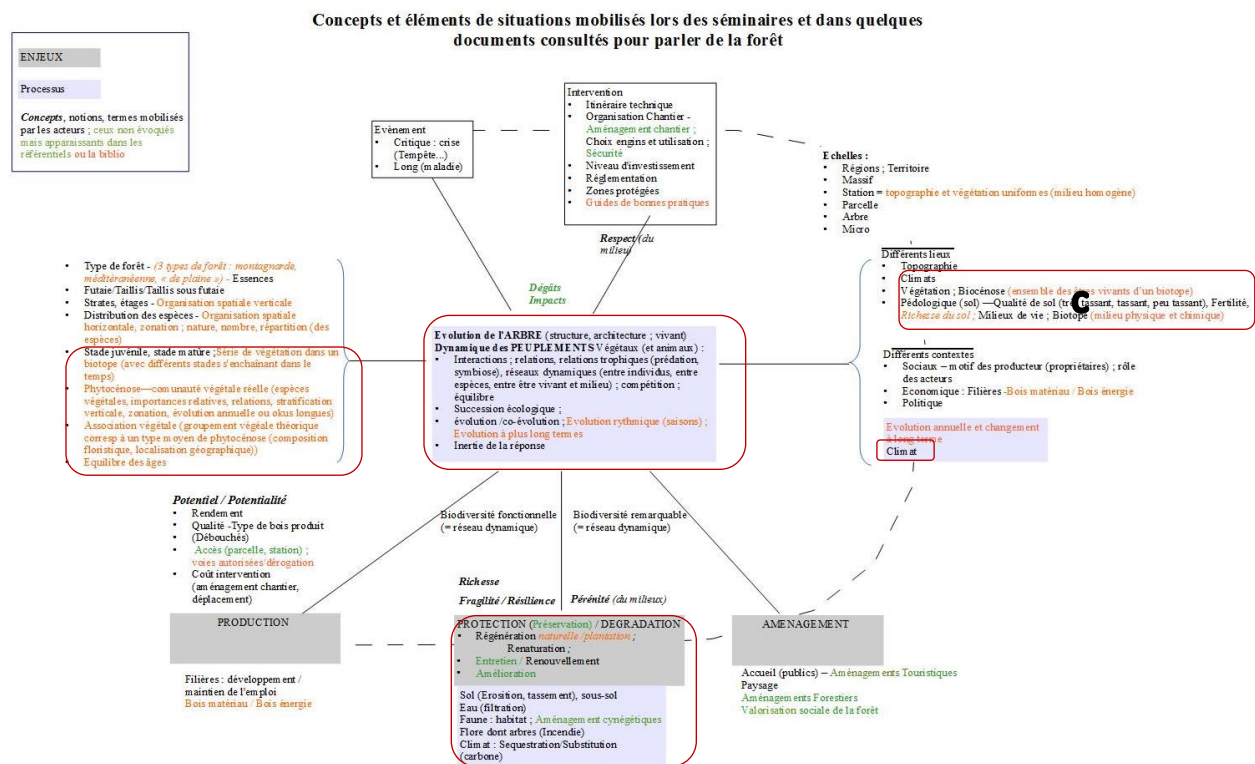


Figure 20 : Réseau conceptuel de l'écosystème forestier

Identification des concepts « transversaux à différents niveaux d'enseignement » lors du séminaire pédagogique avec les enseignants et formateurs

Lors du séminaire pédagogique, nous avons rencontré l'ensemble des enseignants et formateurs impliqués dans le projet (voir livrable n°1 page 17-26). Il s'agissait pour nous d'identifier ce qui s'enseigne/s'apprend dans les différents domaines, disciplines d'enseignement, formations, les concepts liés à l'écosystème forestier, les objets traités, les situations professionnelles significatives étudiées, les préoccupations, les obstacles à l'apprentissage, les difficultés rencontrées tout au long d'un cursus scolaire (du collège à la formation professionnelle).

L'analyse des échanges et productions issues de ce séminaire nous a permis de formaliser des concepts et modèles identifiés par les enseignants comme enjeux cruciaux d'apprentissage et/ou objets d'enseignement critiques, qui peuvent être difficiles à saisir, à apprendre que l'on retrouve à plusieurs niveaux dans l'enseignement. Le tableau ci-dessous présente ces éléments et les niveaux auxquels ils sont enseignés.

Concepts identifiés comme enjeu d'apprentissage et/ou objet d'enseignement critique par les enseignants et formateurs (entre parenthèse le nombre d'apparition du concept)⁷	Niveaux auxquels ce concept est enseigné
Ecosystème (13) ; richesse d'un écosystème ; Systèmes (agrosystème) (3)	Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF et GPN, Brevet Professionnel
Milieu(x) (12) humides (2), riches, acide, calcaires ; urbains, Ripisylve (milieu qui est à la fois entre l'eau et la terre), Tourbière (3) ; milieu de vie (2) ; caractéristiques des milieux ; (fonctionnement des) ; modification du milieu de vie Biotope (3)	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF et GPN
Station (5) ; (station forestière) ; secteur géographique ; Parcelle (4), Massif, Territoire (2) Relief (2), (La topo) Adret/ubac, altitude Climat (3), microclimat (3), changement climatique (1)	Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF et GPN, Brevet Professionnel
Sol (10) , Sous-sol ; Humus, qualité du sol ; Fertilité ; Tassement (3) (des sols)	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF et GPN, Brevet Professionnel
Peuplement (7) , santé des peuplements.	Collège, Bac pro GMNF, BTS GF
Évolution (5) d'un Ecosystème (positive, régressive, stable), à court terme, Variations des espèces et de l'environnement, évolution de la faune et de la flore ; Equilibre Stades ; Successions écologiques, Colonisation, Régénération (2) (naturelle) évolutions /modification dans les peuplements (2)	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF et GPN, Brevet Professionnel,
Impact(s) (6) sur les écosystèmes ; (Impact) faune sauvage ↔ forêt ; indices de pression sur la flore ; Influence de l'homme sur	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF et GPN, Brevet Professionnel
Relation/Interactions entre êtres vivants (6) (dépendance) ; Compétition ; Relation trophiques (symbiose, parasitisme) ; réseaux alimentaires (dans le sol)	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, Bac S, BTS GF
Relation/interactions milieu (paramètre physique) -êtres vivants (7)	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, BP, BTS GMNF et GPN
Biodiversité (6) (fonctionnelle ; des individus) (réseau dynamique)	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GPN
Chantier (6)	Bac pro GMNF, BTS GMNF, BTS GF, Brevet Professionnel
Essences (6) (pionnières) ; Espèces (5) parentés entre espèces, classification (caractères physiques) ; Espèce invasive	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF, BP

⁷ En gras figure le concept puis en caractère ordinaire différentes déclinaisons dans lesquelles il a été employé par les enseignants ou formateurs ou les concepts associés dans leur propos.

Etre vivant (6) Organisme vivant ; non vivant (2) Arbre (4), Fonctionnement arbre (2), (Arbres) qualités/défaut	Collège, Bac STAV, BTS GF
Sylviculture (s) (5)	Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF et GPN
Flore (3) / Faune (3) (remarquable, exploitée), microfaune ; Animaux (4) / végétal/végétaux (3), Plantes (3), ; Végétal – cycle de développement Biocénose (2)	Collège, Bac STAV, Bac pro GMNF, BTS GF et GPN

Tableau 36 : Concepts et modèles identifiés par les enseignants comme enjeux cruciaux d'apprentissage et/ou objets d'enseignement critiques aux différents niveaux de formation visés par l'EVE.

Au regard des nombreux concepts en présence, nous devons donc réaliser un choix quant à ceux dont nous allons expérimenter l'apprentissage avec l'EVE.

Quelques indices pour choisir les concepts à examiner : analyse des principaux concepts retrouvés dans les situations d'enseignement-apprentissage observées en formation professionnelle

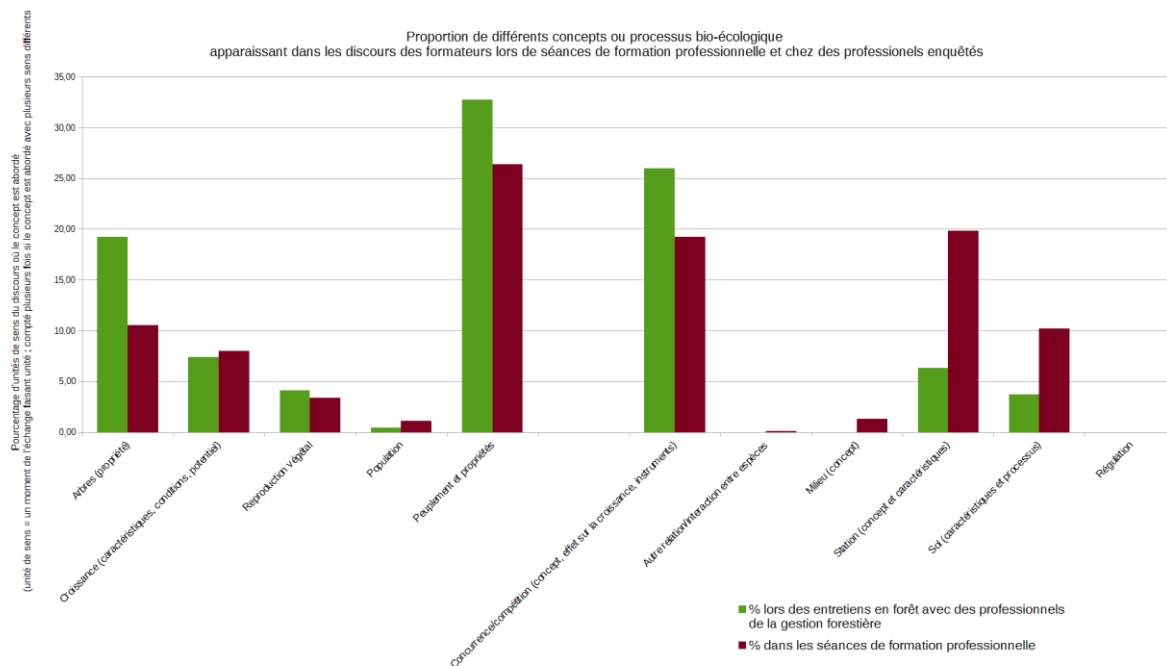
Afin de disposer de plusieurs types d'indicateurs pour choisir les concepts bioécologiques dont la compréhension/l'apprentissage sera le support de l'expérimentation avec l'EVE, nous avons « dénombré » les différents concepts apparaissant :

- d'une part, dans le discours des formateurs de la formation professionnelle au cours de séances de formation que nous avons observées (voir livrable n°1) ;
- d'autre part dans le discours des professionnels de la forêt enquêtés sur le terrain forestier.

Le dénombrement porte sur les unités de sens du discours où le concept est abordé, c'est-à-dire le nombre de moments de l'échange faisant unité où le concept est abordé⁸. Le nombre d'unités de sens pour un concept est alors rapporté au nombre total d'unités de sens définis dans les situations de formation ou dans l'entretien avec le professionnel.

Le graphique ci-dessous formalise les résultats pour des concepts bioécologiques identifiés comme transversaux aux différents niveaux de formation (voir paragraphe 1.2 ci-avant).

⁸ Dans une unité de sens, le même concept peut être cité à plusieurs reprises. Dans ce cas, il n'est compté qu'une seule fois, sauf dans le cas où il est abordé avec plusieurs sens différents dans la même unité de sens. Dans le dénombrement, nous ne tenons pas compte des interventions des apprenants lors des séances de formation ou des questions posées par les chercheurs au professionnel enquêté.



Nous pouvons remarquer que les concepts de peuplement et celui de concurrence sont les plus utilisés dans les situations examinées. S'y ajoutent les concepts de « station » et de « sol » dans les situations de formation professionnelle et d'« arbre » pour les entretiens avec les professionnels (en lien avec les nombreuses prises d'information qu'ils réalisent sur les arbres dans leur activité de diagnostic de parcelle). Enfin, la conceptualisation de la croissance des arbres, en termes de caractéristiques, de conditions et de potentiel est un élément important.

Choix des concepts transversaux aux différents niveaux de formation et pouvant faire l'objet de l'expérimentation

L'analyse globale de ces éléments semble indiquer que la conceptualisation qui sert de fondement à la compréhension de la forêt et de ses évolutions est celle de la croissance des différentes espèces d'arbres (conditions, vitesse, longévité, forme...), en particulier celle « des modes de croissance et développement des arbres en peuplements (M51) ». Elle recouvre elle-même une conceptualisation essentielle, celle des relations biologiques dans un espace donné :

- Celle des relations trophiques entre espèces différentes : processus de concurrence, mais aussi relations avantageuses telles que la symbiose ou le commensalisme ;
- Celle de « milieu », qu'englobe la notion de station forestière;

Afin de cibler les conceptualisations potentiellement porteuses d'obstacles à l'apprentissage, nous sommes intéressés aux travaux conduits en didactique de différentes disciplines.

Quelques hypothèses sur des obstacles potentiels à l'apprentissage de la forêt

Les recherches conduites en didactiques des mathématiques, dont les approches ont ensuite été élargies au champ de la formation professionnelle (didactique professionnelle), ainsi que quelques travaux en didactique de la biologie apportent des éléments intéressants concernant les conceptualisations susceptibles de constituer des obstacles aux apprentissages relatives à la forêt.

Les concepts relationnels : de potentiels obstacles à l'apprentissage de la forêt

Pour Vergnaud (1990), un concept est défini à la fois par :

- l'ensemble des classes de situations pour lesquelles il fait partie du champ conceptuel et donc qui lui donnent sens (la référence) ;
- l'ensemble des invariants avec lesquels il est en relation dans une classe de situations donnée pour fonder l'opérationnalité des schèmes pour cette classe de situations (le signifié) ;
- « l'ensemble des formes langagières et non langagières qui permettent de représenter symboliquement le concept, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement (le signifiant) » (Ibid., p. 146).

« Etudier le développement et le fonctionnement d'un concept, au cours de l'apprentissage ou lors de son utilisation c'est nécessairement considérer ces trois plans à la fois. » (p. 146).

Dans les champs conceptuels, il nous invite à distinguer des conceptualisations de type « argument » (objets, personnages, nombres...), des conceptualisations de type « fonction propositionnelle » qui peuvent être relatives à des propriétés (est « vigoureux » ; est « saphile » ; est « fertile », est « hygrophile » pour un sol...) ou des **relations** (ex : est en concurrence avec ; « croît plus vite que » ; ...). A cela s'ajoute les « théorèmes en acte » (des propositions tenues pour vraies dans l'action telles qu'« un arbre appartenant à une espèce héliophile finira par mourir s'il n'a pas accès à la lumière »). Les champs conceptuels correspondants aux classes de situations relatives à la forêt et sa gestion mettent donc en lien des concepts-objets, des concepts propriétés et des concepts relationnels.

Il explique que cette distinction est essentielle pour la didactique et notamment pour la transformation des concepts-objets en concepts-outils – car une information pertinente est exprimée en termes d'objets (argument), de propriétés et de relations (fonctions propositionnelles), et de théorème (proposition) (Vergnaud, 1990).

Or, la construction d'une « dialectique objet-outil » (Douady, 1983, 1986) dans les apprentissages des conceptualisations relatives à la forêt est une difficulté repérée :

- par les enseignants du collège (notamment dans « la compréhension des effets de l'homme sur son environnement ») ;
- par les enseignants de la formation professionnelle initiale et les formateurs de la formation continue (difficulté à conceptualiser les conséquences de ses actions ; difficultés à mettre en relation la description des situations observées en forêt et des « actions à déployer ».)

De plus, les conséquences des actions sur la forêt ne peuvent être appréhendées que sur la base des conceptualisations relatives aux relations (fonctions propositionnelles) et des théorèmes correspondants (proposition) : il est nécessaire d'avoir une représentation des processus affectés par les actions ou modifications, pour comprendre comment elles vont avoir un effet sur les objets et leurs propriétés (ce qui constitue le résultat de l'action).

Nous faisons l'hypothèse que, dans ce système, **les concepts relationnels qui relient les objets entre eux, correspondent (au moins pour une part) aux conceptualisations des processus bioécologiques. C'est le cas, par exemple, pour les concepts de « concurrence » ou de « relation trophique ».** De même **la conceptualisation de l'évolution du système repose sur des concepts relationnels qui mettent en relation un objet à un instant t1 avec ce même objet à un instant t2** – par exemple, le concept de « croissance » permet de mettre en relation l'arbre à un moment donné avec le même arbre 20 ans

plus tard ; le concept de « minéralisation » permet de mettre en relation certaines propriétés d'un sol entre t1 et t2.

Dès lors, des difficultés d'apprentissage de concepts relationnels, dont ceux relatifs à quelques-uns des processus bioécologiques de l'écosystème forestier, pourraient être à l'origine de difficultés dans la construction d'une « dialectique objet-outil » concernant les conséquences des actions de l'homme sur la forêt. Par ailleurs, un forestier qui ne maîtriserait pas les processus bioécologiques de l'écosystème forestier et construirait une représentation erronée de la forêt pourrait prendre des décisions d'action préjudiciables à l'écosystème.

Afin d'identifier, parmi ces concepts relationnels, ceux dont la conceptualisation est susceptible de faire obstacle à leur apprentissage, nous allons donc examiner les travaux conduits en didactique de la biologie.

Choix des objectifs-obstacles pouvant faire l'objet d'une expérimentation à partir des travaux en didactique de la biologie.

Nous avons identifié plus haut quelques concepts qui semblent essentiels dans la conceptualisation de la forêt et de sa gestion : les concepts d'arbre, de peuplement, de station et donc de milieu ; ceux de croissance des arbres et de concurrence.

Les trois premiers concepts sont, a priori, des concepts de type « argument », auxquels sont associés des concepts de type « propriété ». Les concepts de « croissance » et de « concurrence » apparaissent comme des concepts « relationnels ».

1/ Le concept de croissance

Quelques travaux en didactique de la biologie ont porté sur le concept de croissance et son apprentissage. Ils se centrent sur la croissance en tant que processus biochimiques et cellulaires, en référence « à la matière et à son implication dans les mécanismes » : « la croissance est assimilation (...) [et] multiplication cellulaire". » (Goix, 1997, 143)

Or, si ces processus sont intéressants dans la compréhension de l'évolution des individus au plan biologique, ils ne correspondent pas à ceux visés dans l'apprentissage de la forêt et de sa gestion, qui relèvent plutôt :

- des modélisations « descriptives » des évolutions de la structure des végétaux (pas uniquement de la masse et des dimensions -hauteur et diamètre, mais aussi de la « forme »)
- et des paramètres qui ont une incidence sur cette évolution et sa vitesse.

Il s'agit de pouvoir identifier les « **potentialités de croissance** et de qualité les meilleures » (Schutz 1990, p. 16) chez un individu arbre, ce qui suppose d'avoir un modèle de la croissance à partir de repères pris sur un individu à un moment donné. Cela intègre aussi l'idée de cycle de croissance annuel au regard des saisons.

Ici, la croissance est prise dans une acception écologique relative à la croissance des arbres en peuplement, en lien avec les phénomènes de compétition-concurrence (voir plus loin).

Pour les formateurs, les apprenants doivent construire une représentation à partir de la visualisation de différents arbres à différents stades dans différents milieux : « Les apprenants voient des peuplements à différents stades et après 3 ou 4 mois ils peuvent reconstituer le cycle à partir des

images des différents peuplements qu'ils ont rencontrés » (Une formatrice – 08/10/2018). Notons qu'en futaie irrégulière, cela semble plus compliqué car les différents stades sont imbriqués, la croissance des arbres d'une même espèce est différente car les caractéristiques du milieu sont très locales, d'où l'importance d'avoir une bonne représentation des processus de croissance.

2/ Les concepts de peuplement et de population

Une population est formée par l'ensemble des individus de la même espèce qui occupent un espace déterminé à un moment donné (Delevay & Ginsburger-Vogel, 1987). Ce concept permet « d'étudier comment chaque espèce, animale ou végétale, se répartit dans un milieu donné. Cette approche examine les facteurs qui permettent de comprendre le maintien, l'extension ou la disparition d'une espèce, l'ensemble de ses stratégies adaptatives... ». Il s'agit de tenter de comprendre la signification des structures spatiales d'une population (interactions individu/individu et individu/milieu) en tenant compte aussi de ses capacités de dispersion (Astolfi 1987).

Le peuplement vise un échelon intermédiaire entre population et écosystème (Astolfi 1987). Il est toujours plurispécifique, ce qui conduit à en décrire la richesse spécifique et la composition en termes d'espèces présentes : la diversité des espèces, leur organisation à un endroit donné et leur variation dans le temps. Ces variations sont en lien avec la concurrence entre elles liées à leurs caractéristiques spécifiques relatives (l'une au regard de l'autre) : facteurs de croissance, vitesse de croissance... et les relations/interaction éventuelles qu'elles entretiennent entre elles.

En sylviculture, l'acceptation du concept est réduite : « Par peuplement nous entendons donc une partie de forêt d'un seul tenant, d'une étendue d'au moins un demi hectare, qui se distingue des parties avoisinantes par l'âge, la composition en essence ou la structure, dont la surface est suffisamment étendue pour justifier un traitement sylvicole particulier à long terme. » (Schütz, 1990, p. 34). La gestion sylvicole est donc adaptée au type de peuplement dont les caractéristiques sont analysées par le forestier.

L'une des difficultés relatives à ces deux concepts est que, pour être compris, ils imposent de maîtriser la signification des notions d'espèce, d'espace, de milieu, à un moment donné et le fait que la population et le peuplement ont une dynamique dans le temps et dans l'espace (Delevay et Vogel, 1987, p. 24-25), notamment en regard des actions de l'homme ou des événements liés au changement climatique, aux catastrophes naturelles.

Dès lors, ce qui a fait l'objet de débats entre les écologistes porte sur les mécanismes de régulation des populations, en vue d'intégrer tous les éléments qui se conjuguent d'une manière extrêmement complexe dans leur fonctionnement : rôles respectifs et articulation des processus de compétition (intra et interspécifique), des facteurs du milieu (nourritures disponibles – facteurs limitants ; facteurs physiques) et de l'action des prédateurs, auxquels ils faut ajouter les dimensions génétiques des individus d'une population (Delevay et Vogel, 1987). Les études menées auprès des apprenants en formation professionnelle montrent d'ailleurs qu'ils ont, à certains niveaux, des difficultés à articuler les concepts liés au champ conceptuel du peuplement et à celui de la station (Chiron et al., 2019).

L'utilisation de ces concepts passe par la description des particularités des populations observées sur le terrain : notamment de leurs caractéristiques quantitatives (natalité, mortalité, durée de vie, densité...), de leurs variations dans le temps (variations saisonnières, pullulations, invasions brusques

ou cycliques, conditions de croissance...) avant d'envisager comment expliquer ce qui est décrit, en considérant les mécanismes de régulation intégrant les facteurs biotiques et les facteurs abiotiques⁹. Dès lors, l'un des obstacles relatifs à l'apprentissage de ces concepts est ce que Drouin et Astolfi (1986) nomment un « **obstacle descriptif** », c'est à dire le passage « d'un point de vue classificatoire statique pour rechercher des relations entre les éléments. C'est aussi ne plus se contenter d'un point de vue purement descriptif où aucun problème ne se pose pour, au contraire, rechercher des explications ou des causes. ». S'y ajoute la difficulté à leur faire percevoir les évolutions d'un peuplement, notamment en relation avec les actions humaines (voir ce que disent les formateurs). C'est ce que manifeste la difficulté, pour les futurs forestiers à passer d'un diagnostic d'état à un diagnostic des évolutions possibles.

L'apprentissage des concepts de peuplement (et de population) et **de leurs dynamiques implique l'appropriation des concepts de milieu et de concurrence.**

3/ Le concept de milieu

« L'évidence d'emploi de ce mot [milieu] tombe dès qu'on le creuse quelque peu. En d'autres termes, il y a toujours une conception - même implicite - du Milieu en écologie et il est possible, cas par cas, d'en faire ressortir l'aspect dominant pour peu que l'on se donne une grille d'analyse. L'idée de milieu est ainsi présente-absente, transversale aux raisonnements, constamment sollicitée comme une donnée évidente, mais finalement peu élaborée et souvent même assez naïve. » (Astolfi, 1987, p. 12). Elle est souvent utilisée « mais plus rarement définie avec précision, même dans les ouvrages scientifiques scolaires et universitaires » (Astolfi et Peterfalvi, 1993, p. 107-108).

Le concept de milieu et son apprentissage ont fait l'objet d'une étude didactique précise (Drouin et Astolfi, 1986, p. 75). Leur étude de l'histoire de ce concept montre comment une rupture épistémologique apparaît lorsque les scientifiques passent d'une compréhension du milieu :

- « *comme désignant un ensemble de facteurs, de "circonstances" qui influencent les êtres vivants et s'imposent à eux - conception dans laquelle le vivant est conçu passivement, subissant les contraintes du milieu ;*
- *à celle de milieu incluant les rapports de vivants à d'autres vivants : le concept de milieu se dégage alors d'une vision en termes d'« objet » existant par lui-même, pour devenir essentiellement un ensemble de relations réciproques. On quitte le terrain d'un déterminisme mécaniste où le Milieu serait simplement "subi", au profit d'une conception où le vivant garde une autonomie relative, et où doit s'insérer la complexité de rétroactions multiples. »*

C'est probablement ce passage à une conceptualisation « biorelative » du milieu (Astolfi, 1987), c'est-à-dire variant selon les spécificités propres à chaque individu (arbre) à un moment donné, qui constitue un obstacle épistémique important dans l'apprentissage de ce concept. En effet, la conséquence est que les caractéristiques qui définissent le milieu à un endroit et un moment donné sont celles qui ont

⁹ Facteurs biotiques : les interactions entre individus de la même espèce (comportements intraspécifiques comme le comportement territorial), les compétitions interspécifiques (entre espèces ayant la même niche écologique), les interactions prédateurs-proies (les parasites n'étant qu'un cas particulier de prédateurs).
Facteurs abiotiques : climatiques et édaphiques.

une incidence sur l'organisme considéré – ici tel arbre, à tel endroit, à tel moment et sa croissance (et non en relation avec ? toutes les caractéristiques du milieu). De plus cette acception du concept de milieu intègre aussi la bi-direction des relations milieu/arbre : le milieu (et ses caractéristiques) intervient sur l'arbre et sa croissance ; les caractéristiques de l'arbre (sa hauteur, son statut (dominant ou dominé) et donc l'ombre portée) et ses processus de croissance interviennent sur le milieu (exemple la croissance des racines sur les caractéristiques du sol). Le vivant et le milieu doivent être envisagés dans leurs relations réciproques car « le vivant crée son milieu autant qu'il s'y adapte. » (Rumelhard, 1997).

Dès lors, si l'on garde à l'esprit que, pour un individu, le milieu est constitué aussi des autres individus et que, pour une population, il est constitué aussi des autres populations, on peut avancer qu'en toute rigueur deux individus ne peuvent avoir le même milieu et deux populations non plus.

Enfin si l'on se souvient que le milieu n'est pas un « objet » ni un espace mais bien un ensemble de relations, on tiendra compte du fait que le milieu n'existe pas « en soi » mais par rapport à des vivants dont les capacités sensorielles, les besoins, concourent à le définir dans une configuration particulière.

Exemple : En futaie irrégulière, on raisonne sur l'effet du départ de l'arbre sur la structure ou sur la régénération (Schutz 1997), donc comment le milieu sera modifié. De plus l'effet n'est pas nécessairement situé immédiatement sous son couvert, mais peut être déporté – en tenant compte de son ombre portée et que c'est la lumière de l'après-midi qui est décisive pour le rajeunissement (126)

Il est alors possible de distinguer plusieurs niveaux ou points de vue de compréhension du concept (Drouin et Astolfi, 1986) de milieu qui, selon les cas, pourraient lui donner un sens proche de niche écologique, d'habitat, de station, de biotope ... (Voir tableau ci-dessous tiré de Drouin et Astolfi, 1986)

MILIEU-CHOSE ou MILIEU-LIEU	Le milieu est un lieu dans lequel se meuvent et vivent les êtres vivants. A ce niveau, le milieu apparaît comme un tout, non sécable en éléments distincts.
MILIEU-HARMONIE	Le milieu apparaît comme un système harmonieux dans lequel chaque chose est à sa place. Deux idées peuvent être sous-jacentes à cette conception : celle d'un "enracinement" (c'est l'idée aristotélicienne d'un "lieu propre" à chaque individu ou espèce) et celle d'un "équilibre" (lié à la bonne répartition spatiale).
MILIEU-RESSOURCES	Le milieu constitue un ensemble d'offres entre lesquelles les êtres vivants peuvent choisir, sans idée de contraintes internes de leur part. Ce choix dépendrait à la fois des "préférences" de chaque vivant et d'un minimum d'efforts à fournir. Ex : « vous êtes dans la fertilité très bonne parce qu'après ça a une incidence, plus la parcelle est riche plus elle va être susceptible de supporter un nombre d'arbres important »(Mémoire Vivien, BB, BTS GF, agent ONF, forêt de Cîteaux, p 142)
MILIEU-COMPOSANTS	Le milieu peut se décrire comme un ensemble de "composants" qui en constituent les "parties". Cette analyse qui évoque des analogies avec la composition de l'air, du sang ou du sol, n'implique pas l'idée que le milieu exerce une action sur les êtres vivants.
MILIEU-FACTEURS	Le milieu se définit par un certain nombre de facteurs (les "facteurs du milieu"), en relation les uns avec les autres. L'action de ces facteurs explique la

	<p>présence/absence des divers êtres vivants et leur répartition. On peut parler d'une conception MILIEU-FACTEURS INTERDEPENDANTS dès lors que les facteurs ne sont plus considérés comme agissant de façon isolée mais que leur action est conçue en interaction les uns avec les autres : comme une résultante plutôt que comme une addition.</p> <p>« M51 : c'est diagnostic forestier... c'est l'étude du milieu et le peuplement qui est dessus donc un peu le début ce que je fais en description de peuplement on se contente de dire on a telle essence ils poussent de telle façon etc. finalement c'est un peu dans le M51 quelque part en plus de ça faut rajouter toutes les caractéristiques stationnelles »</p> <p>20181008_SN_EA_entretien_Anne_Pollet_prepa_seance_peuplement_notes_DGS)</p>
MILIEU BIORELATIF et BIOCENTRE	<p>Le milieu n'est plus ici considéré isolément des êtres vivants, ni comme un espace, ni comme des ressources, ni comme un ensemble de "circonstances influentes". Il est "biorelatif", c'est-à-dire que chaque être vivant y prélève de façon spécifique et incomparable ce qui correspond à ses besoins propres.</p>

Tableau 37 : Différents niveaux de compréhension du concept de milieu (Drouin et Astolfi, 1986)

Ces conceptions du milieu font appel à une abstraction croissante (Drouin et Astolfi, 1986). « Le Milieu qui, au départ, était conçu comme une chose ou un lieu (avec les aspects matériels liés à cette conception), devient un ensemble de facteurs (ce que l'on peut moins bien se figurer de manière simple). Et l'abstraction devient maximale lorsqu'il faut se représenter l'existence simultanée de plusieurs milieux biorelatifs (un pour chaque espèce, voire pour chaque population) au sein d'un même Milieu-lieu » (p. 90-91) avec des changements d'échelle et une perspective dynamique. Le passage à l'abstrait paraît lié aux aspects suivants :

- passage de la globalité à l'analyse d'éléments de plus en plus fins ;
- passage de la chose à la relation entre des éléments, entre des grandeurs ;
- complexification de ces relations (passage d'une causalité simple à des interactions et des rétroactions nombreuses).

Un des obstacles à son apprentissage, « Obstacle holiste, [est] lié à la difficulté du passage à l'analyse. Le franchir, c'est ne plus considérer le milieu comme un tout insécable ou comme une chose (l'air, l'eau, la terre), mais devenir capable d'en analyser les composants ou les facteurs (température, humidité, acidité ...). Cela correspond à l'abandon d'un point de vue "chosiste" et statique, pour une perspective relationnelle plus abstraite. » (Astolfi et Peterfalvi, 1993, p. 107-108).

Notons que le terme de milieu porte aussi un obstacle « lexical » « lié à la polysémie du mot milieu. Le franchir, c'est accéder à la distinction entre un milieu géométrique (milieu-centre) et un milieu biologique (milieu objet). » (Astolfi et Peterfalvi, 1993, p. 107-108)

Obstacle verbal : Le dépasser, c'est admettre le polysémie du mot milieu, et distinguer le sens géométrique (milieu d'un segment) du sens écologique.

Obstacle holiste : Le dépasser, c'est ne plus considérer le milieu comme un "objet", comme un tout (holos, en grec) insécable, et prendre conscience de la nécessité d'une analyse en éléments : nécessité de l'inventaire, repérage d'éléments hétérogènes dans une apparence homogène.

Obstacle statique et descriptif : Le dépasser, c'est ne plus se contenter d'un point de vue classificatoire statique pour, au contraire, rechercher des relations entre les éléments. C'est aussi ne plus se contenter d'un point de vue purement descriptif où aucun problème ne se pose pour, au contraire, rechercher des explications ou des causes.

Obstacle de l'univocité des relations : Le dépasser, c'est être capable de percevoir la complexité des relations. C'est passer d'une causalité linéaire simple à des rétro-actions, à des interactions, ce qui suppose que l'on substitue aux raisonnements sur les individus, des raisonnements sur les populations. L'idée d'une addition de relations est remplacée par celle d'un système.

Obstacle tautologique : Le dépasser, c'est renoncer à penser que les choses sont ainsi parce qu'elles sont ainsi. C'est abandonner l'idée qu'un animal possède un lieu propre, un lieu naturel (au sens où Aristote emploie ce mot pour désigner le bas comme lieu naturel des corps pesants), ou qu'un animal "se trouve bien" grâce à un équilibre de la nature qui le comble, car cela revient en fait à évacuer tout problème scientifique.

Obstacle subjectiviste : Le dépasser, c'est ne plus concevoir une causalité intentionnelle et subjective (vue comme un choix de l'être vivant, comme une volonté) et rechercher au contraire des causes plus objectives, des déterminations externes liées aux facteurs de l'environnement.

Obstacle chosiste : Le dépasser, c'est comprendre que ce qui agit sur un vivant, ce ne sont pas seulement des "choses" (les conditions abiotiques du milieu) et que les autres êtres vivants peuvent également être conçus en termes de facteurs.

Obstacle de l'unicité des points de vue : Le dépasser, c'est comprendre que le milieu est relatif à chacun des vivants et perd ainsi son caractère matériel, substantiel. C'est comprendre que chaque espèce d'un lieu donné possède son milieu particulier, défini par l'ensemble des relations biotiques et abiotiques qu'il établit avec ce qui l'entoure. Si bien qu'en un même lieu, il peut y avoir plusieurs milieux.

Obstacle anthropomorphique : Le dépasser, ce n'est pas renoncer à centrer l'analyse sur l'animal, mais renoncer à le considérer comme doué d'une volonté, d'une liberté, d'un choix, voire d'un caprice ... et ceci au profit d'une forme de centration liée à l'analyse de ses besoins spécifiques et de son action sur ce qui l'entoure.

	1) IDENTIFICATION DES PROBLEMES	2) OPERATIONS INTELLECTUELLES	3) OBSTACLES
MILIEU LIEU (OBJET)	Caractériser un lieu géographique sous forme <ul style="list-style-type: none"> . d'inventaire . de délimitation . de mise en correspondance d'un individu, ou d'une population, ou d'une biocénose, avec un type de lieu 	<ul style="list-style-type: none"> . Discerner . Localiser . Orienter (au sens géographique) . Limiter 	<ul style="list-style-type: none"> . Milieu conçu comme insécable . Accent mis sur ce qui est immédiatement visible
MILIEU HARMONIE	Justifier la présence d'un vivant d'un vivant dans un lieu (idée d'utilité ou d'hostilité)	<ul style="list-style-type: none"> . Tantologie . Relation mal déterminée . Intuition . Dogmatisme 	<ul style="list-style-type: none"> . Non respect du principe de contradiction . Conviction tenant lieu de raisonnement . Métaphysique de l'équilibre
MILIEU RESSOURCES	Expliquer pourquoi on trouve toujours le même animal ou la même plante dans le même type d'endroit inventorié autour d'un vivant, ce qui attire sa présence. Idée de préférence	<ul style="list-style-type: none"> . Lien causal univoque du vivant vers le milieu 	<ul style="list-style-type: none"> . L'arbitraire d'un "choix" du vivant tient lieu de "cause" . Difficulté de faire apparaître l'idée de <u>loi</u>
MILIEU COMPOSANTS	Décrire, énumérer les éléments d'un milieu. Constaté une juxtaposition	<ul style="list-style-type: none"> . Enumérer . Décomposer en . Distinguer . Juxtaposer 	<ul style="list-style-type: none"> . Absence de question . Absence de lien entre les composants . Conception additive
MILIEU FACTEURS	Rechercher les conditions de la présence ou de l'absence d'un vivant dans un lieu. Idée de facteur limitant Idée de déterminations extérieures	<ul style="list-style-type: none"> . Lien causal univoque du milieu vers le vivant . Séparation des facteurs comme variables 	<ul style="list-style-type: none"> . Déterminisme naïf . Difficulté de voir l'action du vivant . Difficulté de considérer le vivant comme un facteur
MILIEU BIORELATIF	Etablir une différence dans l'exploitation des ressources par des êtres vivants différents se cotoyant dans un milieu : comment l'un exploite ce que l'autre rejette ou transforme. Comprendre les modifications d'un milieu.	<ul style="list-style-type: none"> . Lien causal réciproques causalité complexe . Réseaux . Analyse + synthèse . Idée de système . Points de vue multiples . Relativisation . Décentrement 	<ul style="list-style-type: none"> . Difficulté dépenser de façon systémique

4) ASPECT EXPLICATIF	5) OBJECTIFS-OBSTACLES	6) MOYENS POUR DEPASSER LES OBSTACLES
<ul style="list-style-type: none"> . Permet de discerner un milieu d'un autre 	<ul style="list-style-type: none"> . Passer de l'insécabilité à l'analyse. . Comparer . Inventorier pour mieux définir les limites 	<ul style="list-style-type: none"> Relevés Quadrats
<ul style="list-style-type: none"> . Intuition qu'il y aura une boucle à fermer . Intuition, mal définie, de relations entre le vivant et le milieu. . Vague idée d'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> . Cerner les contradictions . Montrer les insuffisances de la taupologie. . Introduire la notion de cause 	<ul style="list-style-type: none"> . Mettre en regard des arguments contradictoires
<ul style="list-style-type: none"> . Distinction de 2 pôles. vivant et milieu . Constitution d'éléments distincts . Lien entre ces éléments (intentionnel, arbitraire) . Approche intuitive d'habitat et de territoire 	<ul style="list-style-type: none"> . Déssubjectiviser la cause pour aboutir à l'idée de loi. 	<ul style="list-style-type: none"> . Partir de la description d'un lieu pour imaginer quel vivant on pourrait y trouver. . Etude de cartes pour faire apparaître des facteurs . Introduire la notion de régime alimentaire
<ul style="list-style-type: none"> . Analyse d'éléments . Constatation d'une coprésence. . Approche partielle de biotope 	<ul style="list-style-type: none"> . Comprendre les raisons d'une juxtaposition en dépassant le simple constat . Etablir des liens . Comparer des milieux différents 	<ul style="list-style-type: none"> . Comparer des milieux différents . S'interroger sur les compatibilités
<ul style="list-style-type: none"> . Idée d'une action du milieu sur le vivant . Idée de relations entre les facteurs 	<ul style="list-style-type: none"> . Faire apparaître l'idée d'actions réciproques pour faire apparaître que - le vivant modifie le milieu . Les facteurs sont interdépendants 	<ul style="list-style-type: none"> . S'interroger sur l'évolution d'un milieu pour faire apparaître les actions du vivant sur ce milieu . S'interroger sur l'apparition ou la disparition, d'une espèce dans un milieu
<ul style="list-style-type: none"> . Concept d'écosystème . Notion d'équilibre dynamique 		<ul style="list-style-type: none"> . Passer de l'individu à la population . Étudier plusieurs populations d'un même milieu. . Voir le milieu d'un point de vue dynamique (dimension temporelle).

4/ Les concepts de concurrence et de compétition

Si l'on se réfère au monde professionnel, ces concepts sont étroitement liés : « *En sylviculture, la compétition au sein des collectivités joue un rôle fondamental sur le développement* » (Schütz, 1990, p. 120). « *Dans un peuplement forestier, il existe une interdépendance étroite — et une certaine régulation— entre la croissance des arbres et les relations de compétition entre eux. La croissance tend à renforcer les relations de compétition par l'augmentation des dimensions et de l'encombrement des arbres et par un accroissement de leur demande par rapport aux ressources du milieu. En retour, la compétition tend le plus souvent (à l'exception des situations positives de coopération) à réduire la vitesse de croissance au disponible* » (Dreyfus, 1999).

Une recherche bibliographique ne nous a pas permis de trouver de travaux didactiques développés sur le concept de concurrence ou de compétition et son apprentissage. Seuls Peterfalvi, Rumelhard et Verin l'abordent brièvement dans un texte sur les relations alimentaires (Peterfalvi et al., 1987, p. 112) :

« *La compétition (...) concerne des espèces en concurrence pour l'exploitation d'une même ressource (habitat, nourriture...). Il y a deux cas : ou bien les compétiteurs agissent directement les uns sur les autres, par exemple en émettant des substances toxiques, ou à travers des comportements d'agression ; ou bien une espèce exploite plus efficacement une ressource, et réduit ainsi les disponibilités laissées à une autre, de manière indirecte (il peut s'agir alors d'une relation alimentaire indirecte).* ».

Le chercheur distingue donc une compétition directe lorsqu'une espèce affecte l'autre par sa seule présence et une compétition indirecte. La compétition directe (ou amensalisme) correspond à l'inhibition de la croissance d'une espèce ou de sa reproduction par une espèce inhibitrice qui rejette dans le milieu des produits de sécrétion plus ou moins toxiques. On la retrouve chez les végétaux qui produisent des substances toxiques pour d'autres espèces via les racines. Pour certains, la notion de compétition doit être réservée aux phénomènes de compétition indirecte, qui apparaissent lors de l'utilisation d'une même **ressource limitée** du milieu, telle que la nourriture, l'eau, etc. (Dajoz, 1974).

Dans le monde végétal, la concurrence indirecte concerne 4 types de ressources : l'espace, la lumière, l'eau et les minéraux. La compétition pour la lumière agirait sur un mode hiérarchique (ou encore asymétrique, unilatéral) : « *les plus gros gênent les plus petits, alors que les plus petits sont sans effet sur les plus gros* ». Pour la lumière, cet effet de la taille respective des arbres est à préciser par la position relative des arbres les uns par rapport aux autres par rapport à l'azimut (effet rideau) ou par rapport à la pente. S'y ajoutent le volume du houppier et la densité de surface foliaire (interception lumière). La compréhension et la pragmatisme de ces concepts est très importante pour la gestion de parcelles forestières selon l'objectif de traitement des peuplements.

Au contraire, la concurrence pour les ressources du sol serait plus symétrique (ou bilatérale) : les individus se partagent ces ressources proportionnellement à leur taille. Mais « *cette opposition est sans doute un peu caricaturale, notamment parce qu'elle néglige les phénomènes complexes de la consommation d'eau : différences éventuelles entre arbres pour la profondeur du système racinaire, différences entre pluies d'hiver rechargeant la réserve du sol et pluies d'été rapidement captées par les racines superficielles.* » (Dajoz, 1974). Concurrence (compétition) « ne signifie pas seulement différence de potentialité photosynthétique, en relation avec la lutte pour la lumière, mais aussi stratégies développées par les différentes espèces pour l'occupation de l'espace. La compétition peut

aussi s'exercer au niveau du système racinaire, pour l'utilisation des ressources nutritives et pour l'alimentation en eau. » (Schütz, 1997, p. 64).

Dans les différentes théories sur la compétition, un débat persiste entre une approche théorique qui prédit que le meilleur compétiteur sera celui qui aura la plus grande capacité à capter la ressource pour laquelle il est en compétition versus, ce sera celui qui a le moins de besoins pour la ressource considérée – La compréhension peut être **centrée sur le facteur ratios des ressources disponibles versus le niveau de conditions de stress** (Grace, 1990).

La compétition intra spécifique est fonction des caractéristiques génétiques et physiologiques, dont l'âge, des différents individus de l'espèce. Elle ne se manifeste qu'à partir d'une certaine densité de population (Dajoz, 1974). La densité a un effet aussi sur le développement du système racinaire – donc sur l'accès à l'eau. Dans une population forestière, la diminution du nombre d'arbres depuis le stade jeune est un effet de la compétition intraspécifique pour l'espace, l'eau et la lumière. Cette compétition peut aussi être organisée par le forestier pour le gainage des arbres et éviter que la lumière n'atteigne directement les troncs (création de branches basses et donc de nœuds).

La compétition interspécifique correspond à toute interaction défavorable entre deux espèces. Elle influence : la répartition géographique des espèces ; la divergence des caractères entre individus d'une même espèce ; l'évolution de la biocénose dans le temps, telle que la succession des espèces d'arbres dans le temps après un incendie est lié à des phénomènes de concurrence. Ainsi, dans une chênaie-hêtraie, du fait de leurs caractéristiques autécologiques, les hêtres gagneront toujours la compétition à la lumière contre des chênes. Il faut donc gérer leur quantité par le moyen d'éclaircies sélectives.

D'une manière générale, l'intensité de la compétition augmente avec la densité. Des expériences montrent que deux espèces peuvent cohabiter aboutissant à un équilibre stable en fonction de la densité relative des espèces (Grace, 1990)

Si un mélange d'arbres exacerbe le jeu d'interrelation, la compétition interspécifique est faible ou nulle dans les biocénoses climax¹⁰ à maturité élevée – un grand nombre d'espèces peuvent cohabiter (lié à la diversification des niches écologiques), alors qu'elle se manifeste surtout dans les milieux jeunes, à faible maturité. En effet, les effets de la compétition entre des individus sont fonction de leur milieu (Schütz 1990, p. 169). Le résultat de la compétition entre deux espèces ayant des niches écologiques se recouvrant partiellement peut être inversé sous l'action d'un prédateur ou d'un parasite non spécifique (Dajoz, 1974, p. 158).

Il faut donc ajouter que l'effet de la compétition entre des individus est fonction de leur milieu. Les peuplements supportent différemment la compétition selon les conditions stationnelles. Schütz explique ainsi que certaines stations supportent proportionnellement plus d'arbres que d'autres à développement en hauteur égal (Schütz 1990, p. 169).

Cependant, les phénomènes de concurrence ne doivent pas être appréhendés sous un angle négatif (ex : éliminer l'arbre qui fait concurrence). En effet, ils peuvent être mis à profit dans la gestion de la forêt. Ainsi, le forestier joue sur la densité donc la concurrence pour obtenir le développement en hauteur puis en diamètre qu'il souhaite (diminuer la densité au jeune âge pour permettre d'être dans des conditions de croissance optimale – lumière - mais pas trop pour qu'il continue de pousser en

¹⁰ Le climax désigne l'état final d'une succession écologique et l'état le plus stable dans les conditions existantes de terrain et climat (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Climax#D%C3%A9finitions>).

hauteur). Ce faisant ils « éduquent aussi la tige » au niveau de la forme du fût et de la branchaison : la concurrence joue sur la forme du fût et la position des branches. Il se sert aussi de la concurrence pour gérer la forme des arbres, leur développement : il conserve certains arbres, les sacrifie pour éviter une déformation des autres - « effet rideau » par exemple ou concept pragmatique de « passoire » dans la gestion d'une futaie irrégulière (le plus souvent arbres d'espèces différentes et à des stades différents).

Dans ces différentes explications des phénomènes de concurrence, nous pouvons voir qu'il s'agit d'un **concept relationnel**, non au sens où il correspondrait seulement à un phénomène portant sur la relation directe entre deux individus (comme dans le parasitisme), mais dans le sens où il correspond à une action d'un individu sur le milieu de l'autre et vice versa : la concurrence se fait via les facteurs biotiques et abiotiques intervenant dans la croissance de l'arbre. Cela renforce l'importance d'une appropriation de la conceptualisation du milieu comme biorelatif.

En l'absence de travaux de recherche en didactique, nous ne pouvons déterminer a priori les obstacles à l'apprentissage des conceptualisations relatives aux processus de concurrence. Un des objectifs de l'expérimentation pourra donc être de mettre à jour de tels obstacles.

5. Le concept de régulation : **obstacle de l'univocité des relations**

De fait, qu'il s'agisse des concepts de milieu ou de concurrence, l'un des obstacles à leur apprentissage réside dans le passage d'un raisonnement causal linéaire à un raisonnement, plus systémique, intégrant des rétroactions, des interactions. Le dépasser suppose que l'on substitue aux raisonnements sur les individus, des raisonnements sur les populations. L'idée d'une addition de relations est remplacée par celle d'un système (Prévost, 1997, 2000).

Annexe 2 : Présentation des caractéristiques de l'expérimentation n°1

Caractéristiques des 4 sous-groupes d'élèves constitués pour l'expérimentation n°1

	Groupe 1 EVE Classe STAV 1 Ressource Numerica Silva	Groupe 2 Audiovisuel Classe STAV 1 Ressource Audio- visuelle	Groupe 3 EVE Classe STAV 2 Ressource Numerica Silva	Groupe 4 Audiovisuel Classe STAV 2 Ressource Audio-visuelle
Nombre d'élèves	9	7	15	10
Genres	4 filles 5 garçons	3 filles 4 garçons	5 filles 10 garçons	4 filles 6 garçons
Spécialité				
Production	5/9 (55%)	5/7 (71%)	9/15 (60%)	8/10 (80%)
Aménagement	4/9 (45%)	2/7 (29%)	6/15 (40%)	2/10 (20%)

Caractérisation des situations vécues par les élèves des 4 groupes lors de l'expérimentation n°1

	Groupe 1	Groupe 3	Groupe 2	Groupe 4
Personnes présentes	2 enseignants 1 Chercheur 1 stagiaire 2 développeurs	1 enseignant 1 chercheur 1 stagiaire 1 développeur	2 enseignants 1 chercheur 1 stagiaire	1 enseignant 1 chercheur 1 stagiaire
Déroulement de la séance :	<ul style="list-style-type: none"> Explications Silva Numerica : projection des consignes au tableau (développeurs - 45 min) Réalisation des 3 Activités avec Silva Numerica (1h10) 	<ul style="list-style-type: none"> Explications Silva Numerica: avec manipulation simultanée par les élèves (développeurs - 30 min) Réalisation de 2 Activités avec Silva Numerica (50 min) Mise en commun des réponses aux questions du bilan concernant les notions de « milieu de vie », de « compétition » avec l'enseignant (20 min) 	<ul style="list-style-type: none"> Consignes pour la réalisation des tâches (1') Projection de la première partie de la vidéo (13'35) Mise en commun des réponses aux 6 premières questions (16'40) Projection de la deuxième partie de la vidéo (12'24) Mise en commun des réponses aux 5 questions restantes (9'15) Réponses aux questions du bilan concernant les notions de « milieu de vie », de « compétition » par les élèves (30 min) 	<ul style="list-style-type: none"> Consignes pour la réalisation des tâches (1') Projection de la première partie de la vidéo (13'35) Mise en commun des réponses aux 6 premières questions (10'25) Projection de la deuxième partie de la vidéo (12'24) Mise en commun des réponses aux 5 questions restantes (10'40) Réponses aux questions du bilan concernant les notions de « milieu de vie », de « compétition » par les élèves (40 min)
Contenu concernant les notions de milieu et concurrence	Aucun	Réponses abordent explicitement les conditions de croissance des arbres, les concepts de milieu et concurrence (inter-intra) et les processus correspondant (dont minéralisation, photosynthèse) avec « institutionnalisation » des concepts de compétition et milieu	Réponses abordent explicitement les concepts de milieu et concurrence (inter-intra) et les processus mais sans « institutionnalisation » des concepts	Réponses abordent explicitement les concepts de milieu et concurrence (inter-intra) et les processus mais sans « institutionnalisation » des concepts
Intervention des enseignants	Intervention des enseignants uniquement sur le guidage des élèves dans l'utilisation de l'EVE et la mise en commun des comptages d'arbres réalisés	Intervention des enseignants sur le guidage des élèves dans l'utilisation de l'EVE Mise en commun des réponses au bilan sous forme de questions-réponses avec quelques références	Interaction élève professeur sous forme de questions-réponses lors des mises en commun	Interaction élève professeur sous forme de questions-réponses lors des mises en commun

	Pas de mise en commun des réponses aux questions du bilan	(non spécifiques) aux activités réalisées avec Silva Numerica		
Ergonomie de la ressource et des tâches	Nombreux bugs informatiques du logiciel Silva Numerica	Nombreux bugs informatiques du logiciel Silva Numerica	Manque de temps pour réaliser le bilan concernant les notions de « milieu de vie », de « compétition »	Temps un peu plus important que groupe 2 pour réaliser le bilan concernant les notions de « milieu de vie », de « compétition »
Durée totale	1h55	1h45	1h23	1h28

Annexe 3 : Co-construction de l'expérimentation n°2 avec les enseignants

L'ensemble des réflexions épistémologiques précédentes ont constitué le fondement de notre travail avec les enseignants et les développeurs pour construire une expérimentation avec des élèves. La finalité de cette expérimentation est de donner des éléments concernant l'intérêt de l'EVE pour dépasser certains obstacles à l'apprentissage de conceptualisations qui doivent être acquises de manière progressive du collège au lycée, puis en BTS voire en formation professionnelle continue.

Dans ces réflexions, nous avons dû prendre en considération les contraintes relatives au prototype d'EVE disponible à ce moment du projet, et notamment aux entités et processus qui y étaient déjà simulées.

Sur l'apprentissage/la compréhension de quelle(s) conceptualisation(s) centrer l'expérimentation ?

Il s'agissait aussi de prendre en considération les préoccupations des enseignants relatives aux objets qu'ils enseignent à différents niveaux.

Ainsi au niveau du collège tout d'abord, les enseignants ont insisté sur le fait que la thématique qui les intéresse est "l'effet de l'homme sur le milieu par ses actions", et l'intérêt d'une projection dans le temps suite à des actions de l'homme, avec beaucoup de difficulté à expliciter les conceptualisations précises à faire apprendre.

Ils ont aussi évoqué la possibilité de travailler sur **l'adaptation au milieu des différentes espèces** (besoins différents des espèces) – « *notre truc c'est quand même les écosystèmes et les relations* » (une enseignante) – ou encore la compréhension vivant/non-vivant (à partir de la germination des graines tombées au sol).

Les enseignants du lycée ont expliqué l'intérêt de travailler sur une « forêt la plus naturelle possible », « en faisant abstraction du paramètre plantation pour production de bois » et se sont centrés sur :

- La notion d'écosystème (de quelle manière un paramètre du milieu influence le milieu et les espèces) ;
- La croissance des arbres en fonction du milieu à travers l'incidence de la lumière, du sol (relation sol-plante ; relation climat-plante). Ils ont regretté l'absence d'effet de l'influence du végétal sur le milieu.
- Les effets de compétition entre espèces dans une trouée (régénération).

Cela oriente donc l'expérimentation **vers l'apprentissage de la conceptualisation du « milieu » et de sa relation aux êtres vivants (ici les arbres en particulier) et des processus de « concurrence »**.

Avec quelle(s) type(s) de tâche(s) confiées aux élèves, intégrant l'EVE ?

Que ce soit au collège ou au lycée, les enseignants ont envisagé la possibilité d'organiser les tâches en deux temps :

1/ faire travailler des groupes d'élèves avec des tâches d'observation et de comparaison des effets de la variation de « différents facteurs du milieu » (facteurs différents selon les groupes) ;

2/ puis de faire un travail de mise en commun et de comparaison des observations réalisées entre groupe.

Exemple : faire pousser deux bosquets d'arbres de composition identique sur des sols différents puis de faire des comparaisons

Afin d'alimenter les comparaisons, ils ont insisté sur la nécessité de **réfléchir aux informations à mettre en avant sous différentes formes (indicateurs, histogrammes, courbes, indicateurs de performance)**.

Remarque :

Les tâches données ne doivent pas appeler des réponses de type réponse au cours. Les tâches doivent donc pouvoir mettre à jour les représentations.

Elaboration du protocole d'expérimentation

A partir des éléments ci-dessus, nous avons construit un protocole d'expérimentations pour les différents niveaux de formation visés par l'EVE.

A tous ces niveaux, les expérimentations porteront sur **la conceptualisation du « milieu » et de sa relation aux êtres vivants (ici les arbres en particulier) et sur celle des processus de « concurrence »**.

Objectifs de l'expérimentation : examiner la plus-value potentielle de l'utilisation de l'EVE pour l'enseignement/apprentissage de concepts d'écologie susceptibles d'être nécessaires à la compréhension du fonctionnement d'un écosystème forestier. Les deux concepts traités dans cette expérimentation sont celui de milieu et de concurrence. Plus précisément, il s'agit d'examiner l'incidence de l'utilisation d'un EVE selon différentes modalités d'intervention pédagogique sur la conceptualisation des élèves relative à ces deux concepts travaillés à partir de l'exemple de la forêt. La comparaison des configurations d'usage se fera donc entre des situations avec EVE mais aux modalités d'enseignement différenciées, et des situations d'enseignement/apprentissage sans EVE mais avec une ressource audio-visuelle.

Pour ce faire, l'expérimentation prévoit de qualifier l'évolution des conceptualisations des élèves concernant ces deux concepts à l'issue des situations pédagogiques éprouvées dans le cadre de cette expérimentation.

Par ailleurs, un questionnaire complémentaire sera passé aux élèves pour estimer comment l'utilisation d'un EVE selon différentes modalités intervient sur leur motivation, comparativement à l'utilisation d'une vidéo.

Principes généraux des activités proposées aux élèves pour l'expérimentation de l'EVE

1/ Les activités avec l'EVE doivent permettre d'aborder de manière séparée et progressive les conceptualisations des deux notions de milieu et de concurrence. Nous cherchons à identifier jusqu'où les élèves peuvent aller, y compris par des questions dont les réponses peuvent sembler hors d'atteinte pour des élèves de ce niveau.

2/ Elles se font sur la base du scénario « compétition » élaboré pour le lycée (classe de STAV), associé à un scénario « milieu » élaboré pour l'expérimentation.

Toutefois pour un des groupes, le passage se fera sur une parcelle ouverte sans scénario prédéfini. Dans ce cas, seule une consigne au démarrage de la manipulation sera livrée aux élèves.

3/ Prise en main de l'EVE (Durée max : 20 min) :

Un temps de prise en main de l'outil EVE est nécessaire en début de séance. Elle est accompagnée d'un tutoriel implémenté dans Silva Numerica montrant les différentes fonctionnalités et actions possibles.

La prise en main se fait juste avant les activités.

4/ Chaque classe est séparée en 2 groupes

Méthodologie et outils de recueil de données

La méthodologie de recueil de donnée s'appuie sur un questionnaire portant sur des éléments en lien avec la notion de milieu et de compétition adressé aux élèves avant et après les séances d'expérimentation, en vue de tester l'évolution de leurs représentations concernant les concepts de milieu et de concurrence. Les pré-tests et post-tests sont basés sur le même questionnaire. Les pré-tests sont réalisés quelques semaines avant l'utilisation de l'EVE. Les post-tests sont réalisés dans la semaine qui suit l'utilisation de l'EVE.

Le questionnaire a été élaboré sur la base de la revue de bibliographie présentée en annexe 1, de manière à « refléter à la fois la complexité des concepts en jeu et la multiplicité des conceptions relevées dans la littérature » (Coupaud et al., 2019). Il associe des questions ouvertes permettant des réponses « spontanées » des élèves et des questions fermées proposant aux élèves « un ensemble d'idées suffisamment proches de leur niveau de formulation pour qu'ils puissent se positionner par rapport à ces idées. » (Ibid.). La rédaction des questions propose des formulations en accord avec les concepts scientifiques visés, mais aussi des items reprenant des erreurs couramment relevées chez des élèves (Coupaud et al., 2019), intégrant parfois des « distracteurs » relevant de conceptions alternatives identifiées repérées par la recherche (Lindell et al., 2007). Les

mêmes dimensions des conceptualisations sont abordées dans plusieurs questions, de manière à pouvoir trianguler les interprétations faites quant à leurs conceptualisations.

Le questionnaire intègre à la fois des questions de connaissances (ex : que faut-il à un arbre pour se développer ?) et des questions d'observation et d'interprétation de différentes situations. Concernant ces dernières, elles partagent des traits communs avec les situations proposées dans les scénarios d'usage de l'EVE et dans la vidéo. C'est donc la conceptualisation du milieu en relation avec ces situations que nous avons étudiée. Toutefois quelques situations proposées dans le test étaient plus éloignées des situations initiales, visant à examiner dans quelle mesure ce qui a été appris par les élèves peut être étendu à d'autres situations (ex : la question de la stratification des populations d'arbres selon l'altitude).

Les Séances avec l'EVE sont filmées de manière à examiner comment les élèves prennent en main l'EVE, recueillir des traces de difficultés qu'ils rencontrent... et éventuellement des traces de leurs engagements au cours de l'usage de l'EVE ou de la ressource audio-visuelle en séance.

Méthodologie d'analyse des données

Nous présentons ci-dessous les catégories utilisées pour l'analyse des réponses des élèves aux questionnaires des pré et post-tests. Ces catégories ont été élaborées sur la base de la revue de bibliographies relatives aux concepts de milieu et de concurrence, et de manière à pouvoir étudier à la fois les formes langagières, les concepts-objets et les concepts propriétés ainsi que les propositions associées à chacun de ces concepts (Vergnaud, 1990).

Ces codages ont permis de réaliser quelques dénombrements : nombre de concepts utilisés ; nombre de composant et de facteurs cités.

Ils ont permis de caractériser les évolutions pour chaque élève entre le pré et le post-test et ainsi d'étudier les différences observées entre les élèves et entre les différents groupes, notamment à partir de quelques statistiques descriptives (réalisées à l'aide des logiciels Excel et Sphynx).

Codage des réponses

Caractéristiques de la représentation du concept de milieu

- **Type(s) de conceptualisation du milieu** Milieu Harmonie / Milieu lieu/milieu ressources/milieu composants/milieu facteurs/milieu biorelatif-biocentré

Réseau conceptuel

- **Concepts utilisés pour les composants et facteurs** (milieu, biotope, biocénose, écosystème, ...)
- **Concepts utilisés pour les processus** (photosynthèse, développement, humification, minéralisation, acidification, érosion, etc.)

Passage de la globalité à l'analyse d'éléments de plus en plus fins ;

- **Composants et facteurs du milieu cités**
Facteurs directs : Lumière, Eau, CO₂, Minéraux, Température, Sol, Espace
Facteurs indirects : climat, vent, pluie, ... ; exposition ; altitude ; pente ; épaisseur du sol ; Animaux, actions de l'homme ; etc.
- **Complétudes des composants facteurs** non cités/erronés/nombre de facteurs cités/non cités
- **Propriétés associées aux composants et nombre de propriétés** (Lumière : quantité de lumière/exposition à la lumière ; Eau disponible /accessible ; Arbre : âge, taille, vitesse de croissance, développement/système racinaire, robustesse/résistance ; Espèce : besoins, tolérance à trop/pas assez d'eau, de lumière, à la température, vitesse de croissance ; Minéraux : types (N, P, K), quantité ; Température moyenne/max/min ; etc.
- **Nombre de processus différents décrits** (même si non nommés)

Passage de la chose / le lieu à la relation entre des éléments, entre des grandeurs et complexification de ces relations

- Eléments mis en relation
- Prise en compte des caractéristiques de l'espèce ou de l'arbre (besoins, tolérances) dans les relations milieu-arbre

- **Type de relation** : Pas de relation ; Relation univoques (causales) ; Relations plurivoques ; Interaction ; rétroaction
- **Effets des relations** (sur les espèces présentes, les caractéristiques de l'arbre, les caractéristiques du milieu)
- **Nature des relations** : cause(s)-effet(s) ; ordre ; influence

Passage d'un milieu considéré comme statique à un milieu considéré comme dynamique dans le temps

- Milieu statique - milieu dynamique dans le temps : variation du climat, des sols, de la lumière, des espèces présentes, des besoins des arbres,
- **Précision sur les processus d'évolution** (non cité/erronée/vague/précis) - décomposition/minéralisation ; photosynthèse ; croissance des arbres ; etc...
- **Nombre et nature des erreurs commises concernant les processus**

Passage d'un milieu uniforme à un milieu variable dans l'espace

- Milieu uniforme - milieu variable dans l'espace : Climat, sol, eau, lumière
- Echelle à laquelle le milieu varie : Locale (forêt, altitude, versant) ; Globale (Région, Pays, etc.)

Caractéristiques de la représentation du concept de concurrence

- **Utilisation concept concurrence ou compétition**
- **Concepts utilisés pour désigner les effets observables de la concurrence** : Sélection ; domination ; Destruction ; Rivalité ; etc.
- **Objets de la concurrence** : Lumière, eau, éléments nutritifs, place ;
- **Type de conceptualisation de la concurrence** : réservoir dont les arbres se partagent les ressources ; et/ou rapportée uniquement aux caractéristiques de l'arbre indépendamment de celle des autres ; et/ou fonction du potentiel de l'arbre à capter les ressources disponibles et donc fonction de facteur limitant du milieu (mais indépendamment de celle des autres arbres) ; et/ou accès à la ressource fonction des caractéristiques de l'arbre au regard de celles des autres êtres vivants
- **Nombre et nature des facteurs de concurrence** : durée de vie, implantation/mort préalable, dimensions relatives des arbres, vitesses de pousse relatives, densité de peuplement aérien, occupation de l'espace racinaire, orientation par rapport à l'azimut ou à la pente, caractéristiques arbres/espèce plus favorables ou moins favorables (accès aux ressources, tolérance aux conditions, etc.), production de substances favorables, défavorables
- **Nom, nature et nombre des processus décrit comme à l'origine de la concurrence** : Photosynthèse, Allélopathie, croissance aérienne, croissance racinaire, adaptation, sélection, préférence, parasitage, etc.
- **Précision des processus décrits** (descriptif, vague, assez précis, précis)
- **Nombre et nature des erreurs dans les processus décrits**
- **Effet des processus de concurrence** : sur la forme, sur la survie, sur la vitesse de croissance, sur le type d'espèces en présence, etc.
- **Dynamisme dans le temps des relations de concurrence** (selon le stade de développement)
- **Concurrence absolue versus concurrence relative** (variable selon l'adaptation relative des caractéristiques de l'arbre aux caractéristiques du milieu par rapport à l'adaptation des caractéristiques des autres arbres au même milieu)

Caractérisation des évolutions des conceptualisations

Afin d'étudier l'évolution des conceptualisations des élèves concernant le milieu et le processus de concurrence, nous avons élaboré plusieurs indices concernant les différentes dimensions de ces deux concepts. En cumulant ces différents indices, nous obtenons aussi un indice caractérisant l'élaboration de chacun des deux concepts. Nous comparons alors ces différents indices entre le pré et le post test. Toutefois les choix effectués concernant ces indices impliquent une grande prudence dans l'interprétation qui sera faite des résultats.

Concept de milieu

		Score au test	Evolution des scores entre pré et post-test
<i>Formes langagière</i>	Concepts utilisés pour désigner le milieu ou les processus associés	Nombre	Score
	Concepts utilisés pour désigner le milieu	Nombre	Différence de score pré / post test
		Utilisation du concept de milieu (0 ou 1)	Différence de score pré / post test
	Concepts utilisés pour désigner les processus associés au milieu	Nombre	Différence de score pré / post test
<i>Concepts Objets</i>	Composants et facteurs cités en lien avec le milieu	Nombre (compté à chaque fois que renvoie à un composant principal différent ; non compté si renvoie à un composant principal ou global ou indirect déjà cité)	Différence de score pré / post test
<i>Concepts Propriétés</i>	Propriétés associées aux composants cités	Nombre de composantes citées	Différence de score pré / post test
<i>Processus associés au milieu (propositions)</i>	Processus décrits (même si non nommés)	Nombre	Différence de score pré / post test
	Précisions de la description	Non décrits (0) ; Descriptif (1) ; vague (2) ; assez précis (3) ; précis (4)	Différence de score pré / post test
	Erreurs dans les processus et relations	Différence du nombre d'erreurs pré et post test : moins d'erreur	moins d'erreur : - si plus d'erreur : +
	Effet des relations	Nombre d'effets cités : Effet du milieu sur les espèces présentes ; Effets du milieu sur les caractéristiques de l'arbre ; Effet de l'arbre sur les caractéristiques du milieu	Différence de score pré / post test
	Sens des relations	Univoque ; plurivoque ; Interaction ; Rétroaction	-1 si régression ; + 1 si progression
	Dynamisme du milieu dans le temps	Nombre de composantes envisagées comme évoluant dans le temps (besoins des arbres ; climat ; sol ; lumière)	Score différence pré / post test
Score cumulé caractérisant l'élaboration du concept de milieu			Somme des scores

Concept de concurrence

		Score au test	Evolution des scores entre pré et post-test
<i>Formes langagières</i>	Concepts utilisés	Utilisation ou non des concepts de concurrence ou de compétition	Score 0 ou 2 si utilisation
		Utilisation d'autres concepts pour désigner le phénomène : nombre	Différence pré / post test
		Nombre de concepts utilisés pour désigner les processus engendrant la concurrence	Différence pré / post test
<i>Concepts Objets</i>	Nombre d'objet de la concurrence cités	Nombre	Différence pré / post test
	Nombre de facteurs de concurrence différents Cités	Nombre	Différence pré / post test
<i>Concepts relation</i>	Processus engendrant la concurrence qui sont décrits (même si non nommés)	Nombre	Différence pré / post test
<i>Processus associés à la concurrence (propositions)</i>	Précisions de la description	Non décrits ; Descriptif ; vague ; assez précis ; précis	Différence pré / post test
	Erreur dans les processus	Nombre	Différence pré / post test
	Relativisme (variabilité) du phénomène de concurrence dans l'espace	Concurrence absolue ou relative	1 si progression -1 si régression
	Relativisme du phénomène de concurrence dans le temps	Concurrence variable dans le temps, selon le stade de développement	1 si progression -1 si régression
	Effet des relations	Nombre d'effets cités	Différence pré / post test
<i>Processus associés à la concurrence (propositions)</i>	Type de conceptualisation	Score selon le type de conceptualisation : réservoir de ressources que les arbres se partage (1) ; rapportées aux caractéristiques de l'arbre (1) ; rapportée aux caractéristiques relatives de l'arbre au regard des autres arbres (2) ; fonction du potentiel de l'arbre à capter les ressources disponibles et donc fonction de facteur limitant du milieu (2) ; accès à la ressource fonction des caractéristiques de l'arbre au regard de celles des autres êtres vivants (dont les arbres) (3) ; action directe d'un arbre sur l'autre (allélopathie) (1);action directe d'un végétal sur l'arbre - parasitage (1)	Différence pré / post test
Score cumulé caractérisant l'élaboration du concept de concurrence			Somme des scores

Annexe 4 : Protocole de l'expérimentation n°2 au lycée

Groupes de l'expérimentation et scénarii d'enseignement associés

L'expérimentation au lycée a concerné deux classes de 1^{ère} STAV. Elles ont chacune été scindées en deux groupes. La répartition des élèves dans les différents groupes a été fonction des résultats au pré-test pour avoir une répartition d'élèves aux niveaux de conceptualisation hétérogènes dans chacun des groupes.

- **Groupe 1 « témoin » - utilisation ressource audiovisuelle.** Au lieu de l'utilisation de l'EVE, ces élèves visionnent une vidéo sur la forêt (« C'est pas sorcier » sur les usages de la forêt : <https://www.coforet.com/index.php/2018/10/03/cest-pas-sorcier-se-penche-sur-le-role-de-nos-forets/>) et doivent répondre à des questions. L'enseignant intervient pour accompagner la réponse aux questions (feed-back). Il coupe le visionnage du film en deux.
 - On a un passage espèce / milieu (climat, milieu humide) (autours de 10 min)
 - Passage dégradation arbre (vers 12'30)
 - Relation espèce/Lumière (13'30)
 - Compétition inter-espèce et effet des arbres sur la forme des autres (16')
 - 1/ Lecture des questions de la première partie du documentaire : question 1 à 6
 - 2/ Visionnage de la première partie du documentaire (jusqu'à 13'35)
 - 3/ Laisser un temps aux élèves pour répondre aux questions
 - 4/ Mise en commun des réponses données et « correction »
 - 5/ Lecture des questions de la deuxième partie du documentaire : question 7 à 11
 - 6/ Visionnage de la deuxième partie du documentaire (de 13'35 à 25'59)
 - 7/ Laisser un temps aux élèves pour répondre aux questions
 - 8/ Mise en commun des réponses données et « correction »
- **Groupe 2 : les élèves utilisent l'EVE seuls sans scénario implémenté dans l'EVE ni intervention d'un enseignant.** Ils ont une consigne générale :
« Le but de cette activité est de vous aider à comprendre tout ce qui intervient dans la croissance des arbres d'une forêt. Pour cela, vous allez pouvoir vous promenez dans les différentes zones de la forêt, couper des arbres, faire repousser la forêt pendant une ou plusieurs années. Notez-bien tous les changements que vous observez chaque fois que vous arrivez dans un nouvel endroit ou que vous faite pousser la forêt sans que vous soyez intervenu ou après votre intervention (coupe, semis, etc.). Quand vous aurez terminé ; répondez aux questions suivantes :
 - *Quels sont tous les éléments qui, selon vous, interviennent dans la croissance des différentes espèces d'arbres (sur leurs hauteurs et leurs diamètres ; sur leurs formes ; le fait qu'il vont grandir plus ou moins vite, qu'ils vont rester vivant ou mourir) ?*
 - *Ces éléments interviennent-ils de la même manière sur les différentes espèces d'arbres (hêtres, chênes, sapins...) ?*
 - *Expliquez comment ces éléments interviennent en donnant le maximum de détails. »*
- **Groupe 3 : les élèves utilisent l'EVE avec un scénario et des questions sans intervention de l'enseignant pendant l'utilisation. Après l'utilisation de l'EVE, l'enseignant fait un bref cours magistral (15 minutes) sur les concepts de milieu et compétition (en apportant des éléments similaires à ce qui est dit dans la vidéo « c'est pas sorcier »), sans faire de lien avec les activités dans l'EVE.**
Pour guider leur activité avec l'EVE, les élèves ne disposent que des tableaux qu'ils doivent compléter et des questions auxquels ils doivent répondre. L'enseignant ou le « développeur » n'intervient que sur des problèmes de manipulation technique de l'interface.
- **Groupe 4 : les élèves utilisent l'EVE avec le même scénario que le groupe précédent mais associé à des interventions de l'enseignant – L'enseignant intervient entre chaque scénario pour réaliser des corrections collectives aux réponses apportées par les élèves sur les questions posées dans le scénario, ainsi que des « synthèses » de ce que cela permet aux élèves de conclure concernant les notions de milieu et compétition (en apportant des éléments similaires à ce qui est dit dans la vidéo « c'est pas sorcier »).**

Organisation du passage de l'expérimentation :

	Pré-test (45 min)	Prise en main de l'EVE (30 min)	Activité avec l'EVE (1h15 à 1h30)	Post-test (45 min)
<i>Groupe 1 – Témoin « Vidéo »</i>	Oui	Non	Non (vidéo + questions)	Oui
<i>Groupe 2 – EVE sans apport de l'enseignant</i>	Oui	Oui	Sans scénario, avec une consigne générale, sans intervention de l'enseignant	Oui
<i>Groupe 3 – EVE et cours magistral</i>	Oui	Oui	Avec scénario, dont questions à répondre. Cours magistral de l'enseignant en fin de séance sur milieu et compétition	Oui
<i>Groupe 4 – EVE avec Feedback de l'enseignant</i>	Oui	Oui	Avec scénario, dont questions à répondre. Intervention de l'enseignant pour mise en commun des réponses aux questions, synthèses des éléments sur milieu et compétition	Oui

Contenus à aborder lors de la mise en communs des réponses, les synthèses et les moments d'apports au cours de l'expérimentation (sur la base du film ou du travail avec Silva Numerica)

Le protocole de l'expérimentation prévoit, selon les groupes (sauf groupe 2), des temps de mise en commun des réponses apportées lors des activités et des synthèses (groupe 1 – audiovisuel et groupe 4 – Silva numerica), ou des apports sous forme magistrale après les activités (groupe 3 – Silva numerica).

De manière à ce que ces contenus sur les notions de milieu et compétition soient similaires entre les groupes, voici des propositions qui ont été faites aux enseignants concernant ce qui pourra être abordé au cours des échanges avec les élèves. Ces propositions sont basées en particulier sur le contenu de la vidéo « c'est pas sorcier » dont vous trouverez un résumé à la suite.

Milieu de vie des arbres :

Besoins des arbres pour se développer : lumière, CO₂, eau, minéraux (O₂ en absence de lumière la nuit).

Besoins variables selon l'espèce, selon l'âge et les caractéristiques de chaque arbre (génétique notamment) ; mais aussi tolérance variable selon l'espèce à l'absence ou la raréfaction de certains éléments dont elle a besoin (cf. tolérance à l'ombre ; tolérance à des sols très humides ou très secs).

Interrelations entre les espèces d'arbre présentes et leurs vitesses de développement et les caractéristiques des sols (composition, humidité, structure-tassement), du climat, ...

Variation du milieu selon l'endroit de la forêt, selon le lieu géographique (relief, plaine, bord de mer, ...)

Caractère dynamique du milieu dans le temps : évolution dans le temps (des sols, du climat) et incidence sur l'évolution des arbres présents ; évolution des espèces d'arbres présentes dans une forêt au cours du temps (cf. espèces pionnières -> espèce au climax)

Effet de l'arbre sur son milieu : « microclimat » (ombre -> température, luminosité...) ; effet des racines sur la structure du sol.

Causes de mortalité des arbres ; Dégradation des arbres mort (et des feuilles des arbres) en matière organique puis minérale qui enrichissent le sol et transforme sa « texture ». Cela va avoir des effets sur la croissance des arbres présents (notamment apport des minéraux)

Relation entre milieu de vie, croissance des arbres et compétition : le but est d'arriver à conceptualiser les différentes dimensions du processus de compétition entre les arbres (les végétaux)

Vitesse de croissance différentes des arbres selon l'arbre, l'espèce, selon les conditions (climat, sol, lumière incidente, etc.) Effet sur la succession des espèces après une coupe/un incendie

Compétition pour la lumière ; tolérance à l'ombre de certaines espèces

Compétition pour les ressources : eau, matières minérales

Facteurs de compétition en lien par exemple avec la structure et la profondeur du système racinaire d'une espèce et de son houppier – taille du houppier et espace occupé, densité des feuilles, taille des feuilles-, etc. ; orientation ; densité/distance entre arbre ; (positionnement par rapport aux autres arbres – effet lisière)

(Éventuellement « amensalisme » = compétition directe : production de substances inhibitrices pour d'autres végétaux)

Résumé des contenus relatifs aux notions de milieu et concurrence abordé dans la vidéo et à travailler avec les élèves

(1') Nous allons découvrir une forêt naturelle où on a laissé les arbres se livrer à une féroce compétition. Mais la plupart de nos forêts sont aménagées.

(1'55) – Titre : DES ARBRES EN COMPETITION – (...)

(6') On coupe beaucoup ici. On a voulu rajeunir cette forêt et on a procédé par des coupes relativement conséquentes et on a replanté des arbres, en fonction de l'endroit où on se trouvait, on a planté des chênes, on a planté autre chose. La forêt de Fontainebleau est plutôt vieille, mais les arbres qui y poussent sont plutôt jeunes (6'50) [éléments concernant l'évolution dynamique des forêts dans le temps]

(8'50) On est sur les bords de Seine. La forêt a les pieds dans l'eau. Ça change radicalement les essences. On va avoir des essences qui aiment bien avoir les pieds, au moins une partie du système racinaire dans l'eau, une partie de l'année. Donc c'est le peuplier, des hêtres, des érables, principalement les érables sycomores. (9'19) [caractéristique des sols -> effet sur les essences présentes]

(10'10) La forêt française est composée de 2/3 de feuillus et d'un tiers de résineux. Les résineux sont concentrés sur les reliefs et sur le littoral, autrement dit, là où le climat est soit le plus sec, soit le plus froid. Les feuillus seraient incapables de résister à de telles conditions. Les résineux transpirent moins que les feuillus, ce qui est utile l'été mais aussi l'hiver car les sols sont parfois gelés plusieurs jours voire plusieurs semaines. Les racines ne peuvent plus capter d'eau. Les arbres doivent donc réduire cette (évapo)transpiration. Pour cela, les feuillus perdent leurs feuilles. Les résineux ont des feuilles toutes petites et entourées d'une couche de cire qui réduit l'évapotranspiration, ce qui leur permet de passer l'hiver avec des feuilles. Au printemps, les arbres ont besoin d'énergie pour redémarrer. Les feuillus doivent produire des feuilles pour cela, alors que les résineux les ont déjà : ils gagnent du temps. Et c'est utile en montagne où le printemps vient tardivement. Si les arbres devaient faire des feuilles, des fleurs et des fruits, la saison ne leur suffirait pas. (12'10) [explication du rôle du climat et des saisons et de leurs relations aux types d'arbres en mesure de se développer]

(12'50) Combien de temps il va se mettre à se dégrader complètement ? Pour retourner en poussière on considère environ 30% de l'âge de l'arbre quand il était debout. Donc environ 40 à 50 ans et on n'en verra plus aucune trace. Sur un arbre mort, dès le début on commence à avoir des champignons, des insectes qui pondent dessus et les larves qui rentrent et se développent. Les pics viennent faire des trous pour manger les larves (13'40)

(13'40) Comment ça se fait qu'il n'y a pratiquement que des hêtres ? Le chêne est totalement intolérant à l'ombre dans son jeune âge. Le hêtre tolère parfaitement l'ombrage. Donc en cas d'ombre le chêne va périr, mais le hêtre va continuer de pousser. Il supplante tout ce qu'il y a en-dessous. Ce qui prouve qu'il y a une véritable concurrence entre les arbres. Et chaque espèce a sa stratégie.

Sur une surface nue, coupée à blanc ou ravagée par un incendie, les bouleaux et les pins sont les premiers à repousser. En effet leurs graines sont très légères et vont facilement être transportées vers les zones coupées/brûlées. Ce sont les « espèces pionnières ».

A l'intérieur de la forêt, où la végétation est plus dense, les espèces doivent attendre la lumière. Leurs graines sont plus grosses, ont une plus grande réserve énergétique, ce qui leur permet de germer plus tardivement.

Une fois sortis de terre, certains arbres s'accommodent très bien de l'ombre et peuvent végéter pendant plusieurs années sous leurs aînés. C'est le cas du hêtre, qui démarre au ¼ de tour dès qu'un de ses voisins disparaît et qu'il se retrouve inondé de lumière. (15'). C'est son feuillage très dense qui lui confère cette vitalité, mais du même coup prive les autres arbres de lumière, le chêne en particulier. Le chêne est probablement le moins bien armé de la forêt pour faire sa place au soleil : il a besoin de lumière et il pousse très lentement. Sans l'intervention de l'homme pour dégager son environnement, il aurait beaucoup de mal à se développer en forêt. (15'32)

Un peuplement issu de la régénération naturelle (pas planté). On va fausser la compétition entre ces différents arbres pour donner un coup de pouce au chêne. Dans ceux qu'on enlève, on maintient une certaine quantité, pour maintenir le « gainage » qui oblige le chêne à aller chercher la lumière vers le haut. Parce que le chêne isolé va avoir tendance à s'étaler. Or on cherche à faire des arbres avec un tronc élancé et droit (16'40)

(...)

(18'13) Au départ, il y a environ 60 000 chênes par hectare. C'est beaucoup mais ils sont tout petit. On va leur faire de la place en ne laissant que les plus robustes. Après 50 ans, il n'en reste plus que 2000 par hectare. L'exploitant réalise une coupe d'éclaircie, tous les 10 ans. Après 160 ans il n'en reste qu'une centaine par hectare. On passe de 60 000 à une trentaine d'arbres. (19'44). (...)

Guide de l'activité visionnage d'un documentaire sur la forêt

Le guide ci-dessous a été remis sous forme papier et expliqué aux élèves avant le visionnage de la vidéo.

Nous réalisons actuellement une recherche pour concevoir un simulateur de la forêt qui aiderait les élèves à comprendre comment se développe une forêt. Pour comprendre ce qui pourrait être appris quand on l'utilise, nous avons besoin de savoir ce que vous, élèves de 1^{ère}, pouvez apprendre dans une séance de cours utilisant un documentaire vidéo sur la forêt.

Il ne s'agit pas de vous faire un cours supplémentaire dans votre formation ou un contrôle destiné à vos enseignants, mais bien de voir ce qu'un cours utilisant la vidéo vous permet d'apprendre, pour ensuite améliorer le simulateur Silva Numerica.

Pour cela, nous allons vous proposer de regarder un documentaire sur la forêt : l'émission « c'est pas sorcier ». Pendant le visionnage, pour vous aider, nous vous proposons de répondre à quelques questions qui portent directement sur le documentaire. Nous couperons le documentaire en deux parties. Après chaque partie, nous vous proposerons de répondre à quelques questions (voir les documents à distribuer aux élèves page suivante) pour faire un bilan de ce que le documentaire vous a permis de comprendre concernant deux éléments importants dans le développement d'une forêt :

- 1. Ce qu'est un « milieu de vie » pour un végétal (à partir de l'exemple de ce qu'est le « milieu de vie » pour un arbre) ;*
- 2. Comment fonctionne la « compétition » entre les végétaux (à partir de l'exemple de la compétition entre des chênes et des hêtres).*

En réalisant sérieusement les activités, vous aiderez les chercheurs, enseignants et développeurs à construire un outil utile pour que les élèves apprennent comment une forêt se développe.

Merci d'avance !

Déroulé de la séance :

- 1/ Lecture des questions de la première partie du documentaire : question 1 à 6
- 2/ Visionnage de la première partie du documentaire (jusqu'à 13'35)
- 3/ Laisser un temps aux élèves pour répondre aux questions
- 4/ Mise en commun des réponses données et « correction »
- 5/ Lecture des questions de la deuxième partie du documentaire : question 7 à 11
- 6/ Visionnage de la deuxième partie du documentaire (de 13'35 à 25'59)
- 7/ Laisser un temps aux élèves pour répondre aux questions
- 8/ Mise en commun des réponses données et « correction »

Questions 1 à 6 sur la première partie du documentaire :

N°	Question	Éléments de réponse
1	Qu'est-ce qui explique que des chênes ont poussé dans la forêt de Fontainebleau ?	
2	En bord de seine, la forêt « a les pieds dans l'eau ». Qu'est-ce que cela change au niveau des « essences » (espèces) d'arbres présentes ?	
3	Quelle est la caractéristique de la vitesse à laquelle poussent les acacias ?	
4	Quelles sont les deux grandes catégories d'arbres présentes dans la forêt française ?	
5	Où pousse chacune de ces deux catégories d'arbres en France ? Qu'est-ce qui explique qu'elles ne poussent pas dans les mêmes endroits ?	
6	Quand on n'entretient pas la forêt, des arbres se cassent. Que deviennent-ils ?	

Questions 7 à 11 sur la deuxième partie du documentaire :

7	Dans la partie de la forêt de Fontainebleau qui n'est pas exploitée, il n'y a quasiment que des hêtres. Qu'est-ce qui explique cela ? Comment appelle-t-on ce phénomène ?	
8	Que se passe-t-il sur une parcelle où tous les arbres ont été coupés ou détruits par un incendie ?	
9	Comment évolue ensuite le nombre d'arbres au fur et à mesure que la forêt vieillit ?	
10	Relevez ce qui se passe concernant le développement des jeunes arbres aux endroits où la forêt est plus dense ?	
11	Quand on veut favoriser la pousse des chênes, pourquoi garde-t-on quand même des arbres des autres espèces à côté de lui ? Quelle conséquence cela a-t-il sur sa forme ?	

Guide de l'activité avec EVE pour les groupes EVE cours Magistral et EVE Feed-back

Le guide ci-dessous a été remis sous forme papier et expliqué aux élèves des groupes EVE cours magistral et EVE Feed back avant le début des activités avec l'EVE.

Nous réalisons actuellement une recherche pour concevoir un simulateur de la forêt qui aiderait les élèves à comprendre comment se développe une forêt. Pour l'améliorer, nous avons besoin que vous, élèves de 1^{ère}, utilisiez ce simulateur, pour que nous puissions voir ce qu'il vous permet de comprendre et d'apprendre.

Pour cela, dans un premier temps, nous allons vous apprendre à utiliser le simulateur.

Puis, nous vous proposons de réaliser trois activités successives avec le simulateur qui visent à vous aider à comprendre trois éléments importants dans le développement d'une forêt :

- Ce qu'est un « milieu de vie » pour un végétal (exemple : ce qu'est le « milieu de vie » pour un arbre) ;
- Comment fonctionne la « compétition » entre les végétaux (exemple : la compétition entre des chênes et des hêtres) ;

Ces activités consisteront à utiliser le simulateur pour observer la forêt et son évolution, pour recueillir des informations dans des tableaux et pouvoir répondre à quelques questions.

Enfin, dans la quatrième activité, nous vous proposerons de faire le bilan de ce que l'utilisation du simulateur vous a permis de comprendre concernant « le milieu de vie », « la compétition ».

Il ne s'agit pas de vous faire un cours supplémentaire dans votre formation ou un contrôle destiné à vos enseignants, mais bien de vous faire utiliser le simulateur Silva Numerica pour l'améliorer. En réalisant sérieusement les activités, vous aiderez les chercheurs, enseignants et développeurs à construire un outil utile pour que les élèves apprennent comment une forêt se développe.

Merci d'avance !

Activité 1. Relations entre milieu de vie et croissance des arbres (parcelle bio.eden)

Cette activité vise à vous aider à comprendre ce qu'est un « milieu de vie » pour un arbre.
 Vous êtes dans une forêt où il y a plusieurs espèces d'arbres : des chênes ; des hêtres ; des aulnes ; des épicéas.
 Vous noterez dans le tableau joint les caractéristiques des arbres suivant leur milieu de vie pour pouvoir les comparer par la suite.

1/ Dirigez-vous vers la zone de la mare. Complétez les informations demandées dans le tableau 1.

2/ Dirigez-vous vers la zone plate. Complétez les informations demandées dans le tableau 1.

Tableau 1 :	Zone de la mare	Zone plate
Nombre d'arbres total		
Nombre de chênes		
Nombre de hêtres		
Nombre de épicéas		
Nombre d'aulnes		
Hauteur des chênes		
Diamètre des chênes		
Hauteur des hêtres		
Diamètre des hêtres		
Hauteur des épicéas		
Diamètre des épicéas		
Hauteur des aulnes		
Diamètre des aulnes		
Y'a-t-il des herbes ou arbuste au sol ?		
Caractéristiques du sol		
Pourcentage de lumière moyenne reçue par un épicéa ? un hêtre ? un chêne ? d'aulne ?		

4/ Complétez :

Comparez les espèces d'arbres présentes dans les différentes zones :

- Il y a plus de chênes dans la zone ; Les chênes sont plus hauts et ont un diamètre plus important dans la zone
- Il y a plus de hêtres dans la zone ; Les hêtres sont plus hauts et ont un diamètre plus important dans la zone
- Il y a plus d'aulnes dans la zone ; Les Aulnes sont plus hauts et ont un diamètre plus important dans la zone

Comparez les caractéristiques des sols dans les différentes zones. Qu'est-ce qui change ?

- Dans la zone plate le sol est plus
- Dans la zone de la mare le sol est plus

Quelle est l'espèce d'arbre qui pousse le mieux dans la zone de la mare ?

Dans la zone plate (= de plaine) ?

A votre avis, pourquoi les arbres ne poussent pas de la même manière dans les différentes zones ?

.....

5/ Placez-vous en vue aérienne (appuyer sur F2). Observez la forêt puis faites une simulation pour faire pousser la forêt pendant 5 ans. Observer vous des endroits où la végétation ne pousse pas ? Lesquels ?

Faites à nouveau pousser la forêt pendant 15 ans. Observer ce qui se passe.. Y-a-t-il des endroits où la végétation ne pousse pas même après tout ce temps ? Lesquels ?

Proposer une ou plusieurs explications à cette absence d'arbres et de végétation.

A votre avis, à quelle(s) condition(s) pourrait-on voir à nouveau de la végétation à cet endroit ?

6/ Relancez la simulation pendant 20 ans. Certains arbres tombent au sol. Pour quelle(s) raison(s) tombent ils ?

7/ Observer quelques-uns de ces arbres au sol et relancez la simulation pendant 20 ans.

7.1./ Que deviennent-ils ?

7.2./ Comment expliquez-vous cela ?

7.3/ Qu'est-ce que cela aura comme conséquences sur le sol ?

Activité 2. Relation entre milieu de vie et croissance des arbres ; compétition inter-spécifique (parcelle sylvi.eden)

Cette activité vise à vous aider à comprendre ce qu'est un « milieu de vie » pour un arbre et ce qu'est la « compétition » entre des arbres. Pour cela, vous noterez dans le tableau joint les évolutions des caractéristiques des arbres et des autres végétaux au cours du temps suivant l'évolution de leurs milieux de vie, pour pouvoir les comparer ultérieurement.

1/ Dans la zone plate où vous êtes, délimiter une zone d'environ 10 mètres de rayon (ou de 20 mètres de diamètre).

1.1./ Scanner cette zone et l'enregistrer dans les ressources

1.2./ Compléter les infos demandées dans la 1ère colonne du tableau 2 (sauf les deux dernières lignes)

1.3./ Sélectionner 5 hêtres du même âge qui ont repoussé dans la zone et noter leurs caractéristiques dans la 1ère colonne du tableau 2 (deux dernières lignes)

2/ Couper tous les arbres de la zone sélectionnée

2.1./ Scanner cette zone et l'enregistrer dans les ressources

2.2./ Complétez les infos demandées dans la 2ème colonne du tableau 2

3/ Semez 500 graines de chênes et 500 de hêtres.

4/ Faites une simulation pour faire pousser la forêt pendant 15 ans

4.1./ Scanner cette zone et l'enregistrer dans les ressources

4.2./ Complétez les infos demandées dans la 3ème colonne du tableau 2 (sauf les deux dernières lignes)

4.3./ Sélectionner 5 hêtres du même âge qui ont repoussé dans la zone et noter leurs caractéristiques dans la 3ème colonne du tableau 2 (deux dernières lignes)

5/ Faites une simulation pour faire pousser la forêt pendant 35 ans (la forêt a alors 50 ans).

5.1./ Scanner cette zone et l'enregistrer dans les ressources

5.2./ Complétez les infos demandées dans la 4ème colonne du tableau 2 (sauf les deux dernières lignes)

5.3./ Sélectionner 5 hêtres du même âge qui ont repoussé dans la zone et noter leurs caractéristiques dans la 3ème colonne du tableau 2 (deux dernières lignes)

6/ Faites une nouvelle simulation pour faire pousser la forêt pendant 50 ans (la forêt a alors 100 ans).

6.1./ Scanner cette zone et l'enregistrer dans les ressources

6.2./ Complétez les infos demandées dans la 5ème colonne du tableau 2 (sauf les deux dernières lignes)

6.3./ Sélectionner 5 hêtres du même âge qui ont repoussé dans la zone et noter leurs caractéristiques dans la 3ème colonne du tableau 2 (deux dernières lignes)

TABLEAU 2 A COMPLETER :

	Dans la zone délimitée de 10m de rayon, AVANT d'avoir coupé les arbres	Dans la trouée juste APRES avoir coupé les arbres et semé de nouvelles graines	Dans la trouée après 15 ans	Dans la trouée après 50 ans	Dans la trouée après 100 ans
Nombre d'arbres					
Quantité d'herbes ou d'arbustes au sol (peu ou pas ; moyen ; beaucoup)					
Nombre de chênes					
Nombre de hêtres					
Hauteur moyenne des chênes					
Hauteur moyenne des hêtres					
Diamètre moyen des chênes					
Diamètre moyen des hêtres					
Quantité de lumière au sol					
Pourcentage de lumière moyen reçu par les chênes					
Pourcentage de lumière moyen reçu par les hêtres					
Hauteurs de chacun des 5 hêtres sélectionnés ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;
Pourcentage de lumière reçue par chacun des 5 hêtres sélectionnés ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;

7/ A partir de ce que vous avez noté dans le tableau, répondez aux questions suivantes :

7.1/ Comment évolue la lumière au sol dans la trouée juste après avoir coupé les arbres ? (Augmente/diminue/reste la même). Pourquoi ?

.....

.....

7.2/ Comment évolue ensuite la lumière au sol dans la trouée quand la forêt vieillie ? (Augmente/diminue/reste la même). Pourquoi ?

.....

.....

7.3/ Quels types de végétaux se développe en premier dans la zone où vous avez coupé les arbres ?

.....

.....

Qu'est-ce que cela devient après 50 ans ?

.....

Qu'est-ce qui peut expliquer cela ?.....

.....
7.4/ Comment évolue le nombre d'arbres dans la trouée après 15 ans ? 50 ans ? 100 ans ? (Augmente/diminue/reste le même)
.....

7.5/ Après chaque simulation de pousse vous avez noté les hauteurs et pourcentages de lumière reçue de 5 hêtres du même âge.

- Les 5 arbres du même âge sélectionnés ont-ils la même hauteur ? ...

* entre 15 et 50 ans : oui/non

* entre 15 et 100 ans : oui/non

- Quelles sont selon vous, les raisons qui expliquent vos deux réponses ?

- Comparez le pourcentage de lumière reçu par les arbres les plus grands avec celui reçu par les arbres les plus petits. Quels sont ceux qui reçoivent le plus de lumière ?

Comment expliqueriez-vous ce que vous obtenez ?

7.6/ Dans la trouée, après 100 ans

Combien y-a-t-il de chênes? Y-en-a-t-il plus ou moins que le nombre de graines de chênes que vous aviez plantées ?
.....
.....

Combien y-a-t-il de hêtres ? Y-en-a-t-il plus ou moins que le nombre de graines de hêtre que vous aviez plantées ?
.....
.....

Comment expliquez-vous cela ?
.....
.....

Est-ce qu'il reste plus de chênes ou de hêtres ?
.....

Les chênes et les hêtres ont-ils la même hauteur ?
.....

Est-ce que ce sont les chênes ou les hêtres qui poussent le plus vite ?
.....

Comment évolue le % de lumière reçue par les hêtres après 15, 50 puis 100 ans ?
.....

Comment évolue le % de lumière reçue par les chênes après 15, 50 puis 100 ans ?
.....

8/ Synthèse :

Répondez par oui ou non aux affirmations suivantes :

- Les arbres de deux espèces différentes (le chêne et le hêtre) poussent à la même vitesse : oui - non
- Les herbes et petits arbustes peuvent gêner la croissance des graines des arbres : oui-non
- Les arbres d'une espèce peuvent gêner la croissance des arbres d'une autre espèce : oui-non
- Dans une forêt âgée, il n'y a plus d'herbe au sol parce qu'elles n'ont pas de lumière pour pousser : oui-non
- En poussant plus vite que leurs voisins, les hêtres leur font de l'ombre et les empêche de pousser : oui-non.
- Tous les arbres d'une même espèce (les hêtres par exemple) poussent à la même vitesse : oui – non
- Les arbres d'une même espèce ne se gênent pas pour pousser : oui-non

Compléter les phrases suivantes en cochant la ou les bonnes réponses

Quand on coupe un ou plusieurs arbres, il y a (plus / moins) de (lumière / ombre). Les petits arbres qui étaient sous les grands arbres vont alors (pousser / mourir / arrêter de pousser).

Si on crée une clairière dans une forêt, en coupant tous les arbres, dans la zone où les arbres ont été coupés, les arbres qui poussent le plus vite sont les (hêtres / chênes).

En poussant, ils (font de l'ombre / laissent passer la lumière), ce qui (empêche / favorise) la pousse des (ronces / hêtres / chênes).

Dans une zone proche, tous les arbres d'une même espèce (poussent / ne poussent pas) à la même vitesse.

Quand la forêt pousse, des arbres tombent au sol. Ils (disparaissent/repoussent) après quelques années. Ils sont transformés en (feuilles/ terre / herbes) par (les oiseaux / les organismes décomposeurs / les sangliers)

Activité 3. Bilan des activités 1 et 2

Au terme de toutes ces simulations, essayez de résumer tout ce que vous avez appris.

1/ Quels sont les éléments qui interviennent dans la croissance et la vie d'un arbre ?

.....
.....

2/ Ces éléments interviennent-ils de la même manière sur les différentes espèces d'arbres (hêtres, chênes, aulnes, épicéas, ...) ? Expliquez.

.....
.....

3/ Comment les arbres interviennent sur la croissance des arbres voisins ?

.....
.....
.....

5/ Que deviennent les arbres quand ils meurent et tombent au sol ?

.....
.....

6/ A partir de vos observations, définir ce qu'est le « milieu de vie » d'un arbre :

.....
.....
.....

7/ A partir de vos observations, expliquer comment fonctionne la « compétition » entre les végétaux (en particulier les arbres) et quels sont ses effets sur les végétaux :

.....
.....
.....

Questionnaire de pré et post-test

Comment pousse la forêt ?

Ce petit questionnaire n'est pas un contrôle et ne sera pas noté.

Nous sommes des chercheurs et nous étudions comment des élèves et des adultes apprennent. Nous vous faisons participer à cet exercice qui fait partie du projet de recherche « Silva Numerica », dans lequel nous essayons de comprendre comment un logiciel peut aider à faire apprendre la forêt.

Avec ce questionnaire, nous voulons voir ce que vous savez déjà concernant la forêt. Cela nous aidera à construire le logiciel.

Nous vous remercions d'accepter nous aider dans notre travail de recherche.

Bon questionnaire !

Réponds aux questions suivantes de la manière la plus complète possible

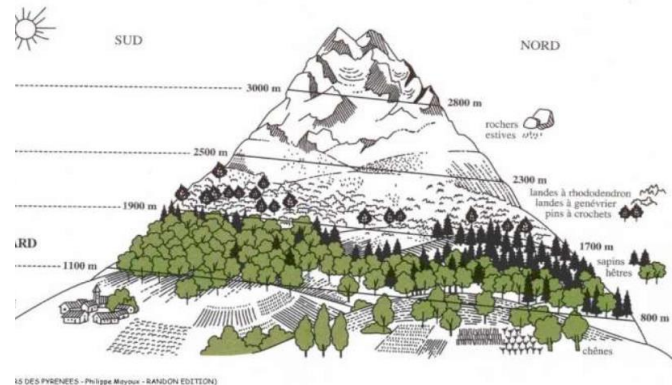
1. Cite tout ce qui est nécessaire à un jeune arbre pour qu'il pousse normalement selon toi :
Est-ce que c'est la même chose pour un jeune arbre et un vieil arbre ? Explique pourquoi
Selon toi, les éléments qui sont nécessaire à un jeune arbre pour qu'il pousse sont-ils les mêmes pour toutes les espèces d'arbres (hêtres, chênes, aulnes, épicéas, ...) ? Explique pourquoi.
2. En me promenant dans une forêt, j'ai observé qu'il y avait différentes espèces d'arbres selon l'endroit de la forêt où je me trouvais. Quelles pourraient être les différentes raisons selon toi ?
3. **On ne trouve pas les mêmes espèces d'arbre dans les différentes régions de France. Par exemple**, le chêne vert et l'olivier poussent surtout près de la méditerranée, alors qu'on n'en trouve pas ou peu au nord de Lyon. Quelles pourraient être la ou les raisons selon toi ?
4. Dans une forêt, un forestier a planté 2 chênes en même temps à environs 15 mètres l'un de l'autre. Il revient 10 ans plus tard et constate que l'un des deux est plus haut et plus gros que l'autre. Donne toutes les raisons possibles qui pourraient expliquer cette différence selon toi.
5. Des forestiers disent qu'il ne faut jamais planter un pin à côté d'un noyer car il ne poussera pas. Donne toutes les explications qui, selon toi, pourrait expliquer que les noyers ne réussissent pas à pousser à côté des pins.

6. Selon toi, pourquoi, dans la forêt, il n'y a pas d'arbre qui pousse sur les chemins comme le montre la photo ? (Donnes toutes les explications qui te semblent possibles)



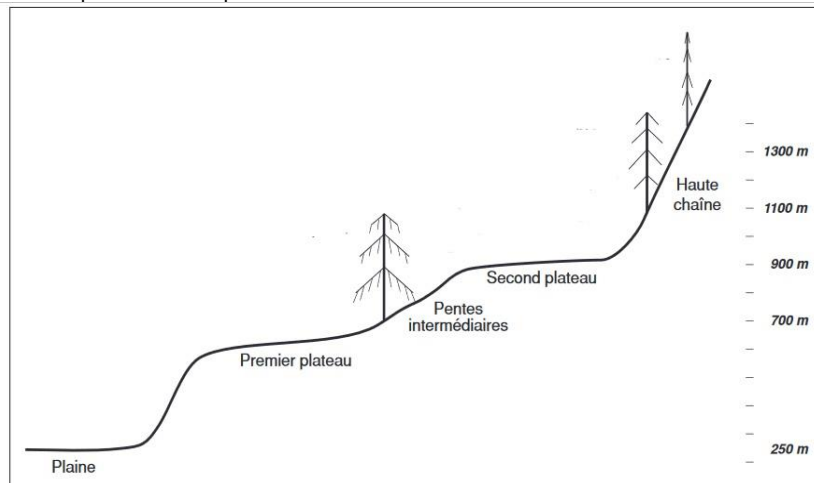
Si personne ne passe sur ce chemin pendant 20 ans, selon toi, qu'est-ce qui va se passer ? Comment l'expliques-tu ?

7. Cite tout ce qui peut, selon toi, faire mourir un arbre
8. En grim pant sur le côté nord d'une montagne, j'ai vu des chênes en bas, mais je n'en ai plus vu au-dessus de 1700 mètres.



A ton avis, pourquoi ?

9. Par contre, en grim pant de l'autre côté de la montagne, je me suis aperçu qu'il y avait des chênes jusqu'à une altitude de 1900 m. Comment l'expliques-tu ?
10. Lors de ma promenade en montagne, j'ai aussi constaté que les épicéas n'avaient pas la même forme en bas et en haut de la montagne : en bas, leurs branches sont « étendues » ; en haut, elles sont rabattues sur le tronc (voir schéma). Donnes toutes les explications qui te semblent possibles.



11. Dans une forêt, parfois certains arbres tombent au sol. **Pour quelle(s) raison(s) tombent-ils au sol ?** Si je reviens au même endroit au bout de 100 ans que sera devenu l'arbre tombé au sol?

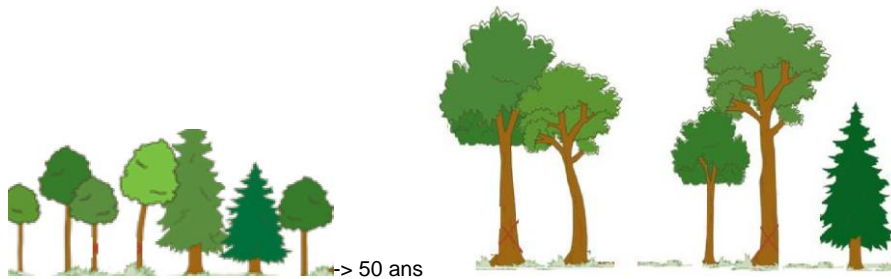
Que s'est-il passé ?

Est-ce que cela a des conséquences pour les autres arbres présents à cet endroit ? Explique.

12. Dans une forêt, si on prend un échantillon de sol (ce qu'on appelle une « carotte »), on observe plusieurs couches de terre (voir la photo suivante). Les premières de ces couches sont souvent habitées par des insectes et des vers de terre. Mais parfois on voit peu ou pas de vie dans cette partie de la terre. A ton avis, qu'est-ce que cela a comme conséquence pour les arbres qui poussent sur ce sol ? Explique aussi précisément que tu le peux.



13. Dans une même région, un forestier compte le nombre d'arbres dans des forêts qui se ressemblent. Après 50 ans, il constate que dans toutes ces forêts, le nombre d'arbres diminue fortement au fil du temps. Quelles pourraient être les différentes raisons selon toi ?



14. Un randonneur se promène sur un chemin. Il est tout d'abord dans une zone de champ et observe qu'il y a quelques arbres. Ce sont des hêtres qui ont une forme « en boule » (première photo). Il rentre ensuite dans la forêt et observe que les hêtres n'ont pas la même forme : leurs troncs sont plus longs et leurs formes plus allongées (deuxième photo). Quelles pourraient être les raisons selon toi ?



15. Des forestiers nous disent souvent que s'il y a plus de hêtre que de chênes dans beaucoup de forêts, c'est parce que le hêtre pousse plus vite que le chêne. Pourtant, ils se sont rendus compte que dans certaines forêts il y a plus de chêne que de hêtre. Quelles pourraient être les raisons selon toi ?

16. Le propriétaire d'une forêt a coupé tous les arbres pour vendre le bois. A cet endroit, il replante le même nombre de chênes et de hêtres. Après 5 ans, il revient voir sa parcelle et constate que les hêtres sont beaucoup plus grands que les chênes. Après 15 ans, il constate qu'il reste tous les hêtres mais que le nombre de chênes a diminué. Et après 25 ans, il n'y a plus que des hêtres. Que s'est-il passé selon toi ?

17. Répond par oui ou non aux affirmations suivantes (entoure la réponse qui te semble juste)

Les arbres de deux espèces différentes poussent à la même vitesse	oui	non
Les herbes et petits arbustes peuvent gêner la croissance des graines des arbres	oui	non
Les arbres d'une espèce peuvent gêner la croissance des arbres d'une autre espèce	oui	non
Les arbres d'une espèce poussent à la même vitesse quel que soit l'endroit où ils se trouvent	oui	non
Dans une forêt âgée, il n'y a plus d'herbe au sol parce qu'elles n'ont pas d'eau pour pousser	oui	non
En poussant plus vite que leurs voisins, les hêtres leur font de l'ombre et les empêchent de pousser	oui	non
Tous les arbres d'une même espèce (les hêtres par exemple) poussent à la même vitesse	oui	non
Dans une forêt âgée, il n'y a plus d'herbes au sol parce qu'elles n'ont pas de lumière pour pousser	oui	non
Après un incendie, quand la forêt repousse sans que les hommes interviennent, les espèces d'arbres présentes changent au fil du vieillissement de la forêt	oui	non
Les arbres d'une même espèce ne se gênent pas entre eux pour pousser	oui	non

Après avoir coupé tous les arbres d'une forêt, si je replante 50 arbres, après 100 ans j'obtiendrai une forêt avec 50 arbres	oui	non
Après avoir coupé tous les arbres d'une forêt, si je replante 50 chênes et 50 hêtres, après 100 ans j'obtiendrai une forêt avec presque uniquement des hêtres	oui	non
Dans une forêt donnés les arbres des différentes espèces sont répartis au hasard	oui	non
Dans une forêt, un arbre qui tombe au sol repousse après quelques années	oui	non

2. Voici 7 propositions. Entoure la proposition qui correspond le mieux à ce que tu penses (choisis une seule phrase)

- Le milieu d'un arbre est constitué de tous les éléments présents à l'endroit où il vit.
- Le milieu de l'arbre est l'endroit où il peut trouver ce qui lui faut pour pousser.
- Dans une forêt donnée, chaque arbre a un milieu différent constitué des éléments qui correspondent à aux besoins de cet arbre pour pousser
- Un arbre choisi de se développer dans un milieu qui lui convient.
- Le milieu de l'arbre est l'endroit où il pousse.
- Le milieu d'un arbre est constitué des éléments présents à l'endroit où il vit qui correspondent aux besoins de son espèce.
- Le milieu d'un arbre est constitué des éléments présents à l'endroit où il vit qui interviennent sur sa croissance.

3. Voici 4 propositions. Entoure la proposition qui correspond le mieux à ce que tu penses (choisis une seule phrase)

- Dans une forêt donnée, chaque arbre a son propre milieu en fonction de l'endroit où il se trouve
- Dans une forêt donnée, tous les arbres partagent le même milieu
- Dans une forêt donnée, les arbres qui sont proches les uns des autres partagent le même milieu
- Dans une forêt donnée, chaque arbre a son milieu propre en fonction de ses besoins et de ses caractéristiques (âge, système racinaire, répartition de ses branches et feuilles, ...)

4. Voici 8 propositions. Entoure la proposition qui correspond le mieux à ce que tu penses (choisis une seule phrase)

- A un endroit donné, le climat intervient sur la croissance des arbres présents
- Le climat et les éléments composant le sol et l'air à un endroit donné interviennent sur la croissance des arbres présents
- Au cours de sa croissance, l'arbre modifie le sol de l'endroit où il vit
- Au cours de sa croissance, l'arbre modifie le sol et le climat de l'endroit où il vit
- Les évolutions du climat au cours du temps modifient la croissance des arbres.
- Les évolutions du climat et du sol au cours du temps modifient la croissance des arbres.
- En transformant les éléments composant le sol et le climat de l'endroit où il vit, l'arbre modifie la croissance des autres végétaux vivant à proximité.
- En transformant les éléments composant le sol et le climat de l'endroit où il vit, l'arbre intervient sur sa propre croissance et sur celle des autres végétaux vivant à proximité.

5. Voici 4 propositions. Entoure la proposition qui correspond le mieux à ce que tu penses (choisis une seule phrase)

- Dans une forêt donnée où les hommes ne sont pas intervenus, les différentes espèces d'arbres n'ont pas changé depuis que la forêt s'est développée.
- Dans une forêt donnée où les hommes ne sont pas intervenus, les différentes espèces d'arbres changent quand elle vieillit même si le climat et le sol ne change pas.
- Dans une forêt donnée où les hommes ne sont pas intervenus, les différentes espèces d'arbres changent quand elle vieillit uniquement si le climat évolue.
- Dans une forêt donnée où les hommes ne sont pas intervenus, les différentes espèces d'arbres changent quand elle vieillit uniquement si le sol évolue.

Synopsis du déroulement de l'expérimentation lycée _ automne 2020

Synopsis Groupe 1 (vidéo) : (6 novembre 2020)

Enseignante : M

Salle de classe, 13 élèves visibles sur la vidéo (mais 14 réponses aux questionnaires de renseignement), dont 1 absent au pré-test et 2 au post-test.



Etape de réalisation de la séance :

- 1) Présentation de l'expé par Fanny (qui ne reste pas dans la classe pendant la séance, pour aller installer l'expé 2)
- 2) Distribution et remplissage fiche renseignement (usage du numérique et appétence pour la bio) (**7 minutes**)
- 3) Présentation reprise par l'enseignante, lecture de la consigne, proposition de diviser le film en deux suivant les deux blocs de questions
- 4) Lecture par l'enseignante des 6 premières questions, vérifiant si les élèves comprennent.
 - a. « C'est compréhensible ? »
 - b. « Vous savez qu'en forêt, une espèce d'arbre, on appelle ça une essence, vous ne saviez pas ? Bon ben maintenant vous le savez ».
 - c. Elève : « elle sont dans l'ordre les questions ? »
- 5) Visionnage de la première partie du film (**13 min 30 environ**)
- 6) « Je vous laisse 5-10 minutes pour remplir les premières questions ». Tous les élèves ne le font pas.
- 7) Corrigé de la première partie par l'enseignante :
 - a. Insiste sur la tolérance ou l'adaptation de certaines espèces à certaines caractéristiques de milieu
 - b. Revient sur la décomposition des arbres en humus/MO puis en matière minérale qui fournit des ions absorbables par d'autres espèces.
- 8) Lecture des questions 7 à 11 : « vous avez tous compris les questions ? »
- 9) Visionnage de la partie 2 du film (**10 min environ**)
- 10) Temps pour remplir les réponses aux questions
- 11) Corrigé de la deuxième partie :
 - a. Arrêt sur les espèces dites pionnières



- 12) Remplissage du questionnaire Motivation.

Rque : globalement peu d'engagement dans l'activité, mais une envie de répondre aux questions à l'oral.

Synopsis du Groupe 2 (EVE sans apport de l'enseignant) : (6 novembre 2020)

Enseignant : J.

13 élèves dont 4 absents au post-test.

Etape de réalisation de la séance :

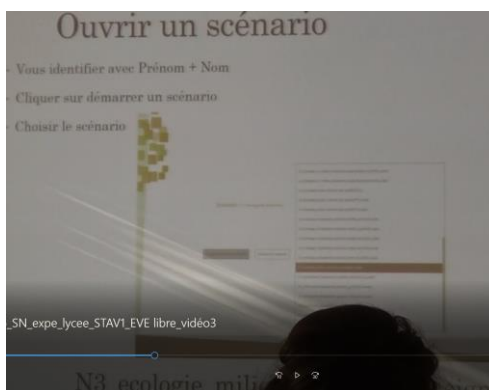
Installation lente dans la salle informatique, échange avec un enseignant sur des rdv de classes.

Une élève demande : « *du coup on a été sélectionné pour Silva numerica ?* » → contexte de l'expé mal compris ?

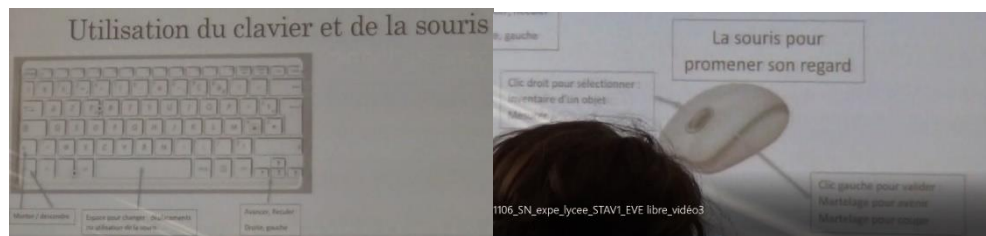
- 1) Distribution des fiches renseignement
- 2) Temps pour les remplir (vidéo2)
- 3) Intervention de l'enseignant en introduction (vidéo3) : « **ne toucher à rien, je vous explique d'abord** »
 - a. « *Munissez-vous d'une feuille blanche pour répondre aux questions demandées* »
 - b. Indications sur les fonctionnalités de la plateforme et pour la prise en main (déplacement, observation dans plusieurs dimensions, réalisation d'action comme la sélection, accès à des informations pour les différentes espèces, couper, semer, faire avancer le temps). « *La simulation fait donc des calculs* ».



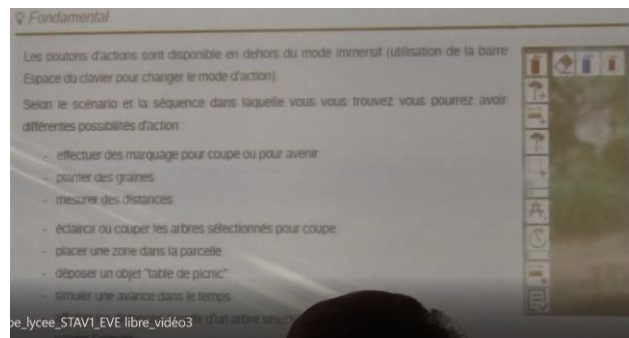
- c. Repérage du fichier SilvaNumerica, et présentation de la procédure d'ouverture du scénario **N3_écologie_milieu de vie_sans consigne_cuijer**



- d. Présentation des fonctions pour se déplacer et promener son regard, et saisir des infos



- e. Présentation des indications sur l'interface
 - i. En bas de l'écran : visualisation des consignes sur les étapes, accès aux ressources, visualisation des propriétés (indication sur la parcelle, sur l'inventaire dont nombre et type d'arbres, par zone ou espèce, indication sur l'objet sélectionné)
 - ii. Fonction « jalonner », pas utile pour ce scénario
 - iii. F5 : vue simplifiée de la forêt
 - iv. Les boutons d'action à gauche de l'écran : indication en mètres quand actions chiffrées

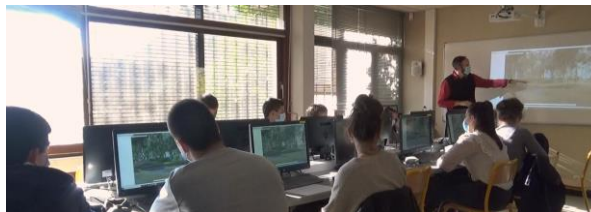


- f. Présentation de la consigne aux élèves : « *les questions auxquels vous aurez à répondre aujourd'hui dans ce scénario, volontairement libre, sans consigne, avec les objectifs suivants en tête, qui permettent de comprendre les conditions de vie, le milieu de vie d'un arbre, et ce qui va intervenir sur sa croissance* », l'enseignant projette les questions sans les lire, les élèves n'ont sûrement pas le temps de les lire. « *Je vous le laisserai affiché* ».

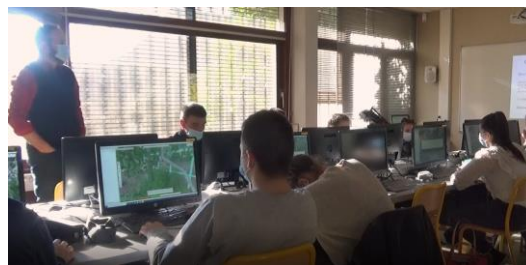
Quand vous aurez terminé ; répondez aux questions suivantes :

- Quels sont tous les éléments qui, selon vous, interviennent dans la croissance des différentes espèces d'arbres (sur leurs hauteurs et leurs diamètres ; sur leurs formes ; le fait qu'ils vont grandir plus ou moins vite, qu'ils vont rester vivant ou mourir) ?
- Ces éléments interviennent-ils de la même manière sur les différentes espèces d'arbres (hêtres, chênes, sapins...) ?
- Ecrivez comment ces éléments interviennent en donnant un maximum de détails

- 4) Les élèves ouvrent le scénario avec l'aide de l'enseignant.
 5) L'enseignant commente le visuel : « *le simulateur fabrique la forêt, strate par strate, la strate arborée, arbustive, arborescente, vous vous souvenez de ces termes ?* », puis arrivent sur les premières consignes. Montre l'accès au questionnaire, et la manière de sortir du scénario : « *maintenant, à vous de jouer, vous êtes libre* ».



- 6) Au démarrage, certains élèves explorent d'abord la forêt et le déplacement, d'autres notent les consignes sur un papier. L'enseignant passe dans les rangs.



- 7) Tout au long de l'exploration, l'enseignant répond à quelques questions techniques d'utilisation des commandes. Plus précisément, apparaissent au cours de la séance :
- Un rappel de l'enseignant : « *n'oubliez pas de suivre les questions* »
 - Plusieurs échanges sur l'impossibilité de revenir en arrière avec le simulateur. Semble mettre les élèves en difficulté
 - Un échange sur l'action de semis/plantation qui se fait à la volée, sans connaître les lieux de dispersion au-delà de la zone de plaine ou humide. Explication que la forêt se resème d'elle-même dans la simulation.
 - Un certain nombre d'élèves utilise le visuel comme indication (et moins les indicateurs chiffrés).
 - Les élèves s'interrogent : pourquoi rien ne pousse ici, pourquoi je n'ai que des gros hêtres et des gros chênes.
- 8) Les élèves prennent un temps pour répondre aux questions, à la demande de l'enseignant.

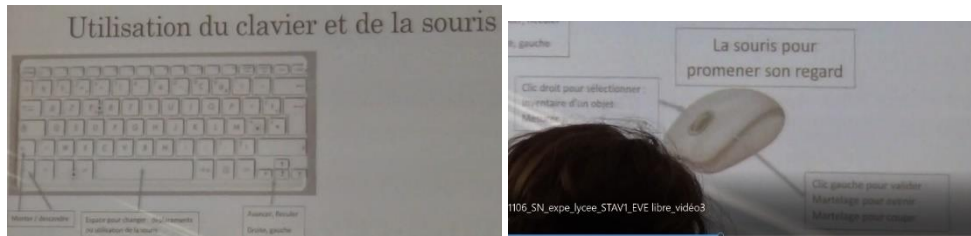
Synopsis du Groupe 3 (EVE et cours magistral) : (10 novembre 2020)

Enseignant : J.

14 élèves, dont 1 absent au pré-test et 1 au post-test.

Etape de réalisation de la séance :

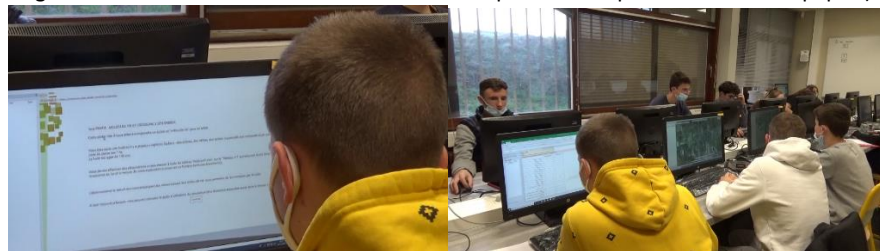
- 1) Présentation de Dominique
- 2) Intervention de l'enseignant en introduction (vidéo 2) :
« Vous allez remplir 3 scénario. Il n'est pas possible d'enregistrer les réponses sur SN. ON va vous demander de répondre aux questions sur feuille. Ce sont des réponses courtes. Ça ne devrait pas prendre trop de temps » (les élèves prennent une feuille) (1'30 à 2'15)
« l'idée c'est pas de vous tester. C'est de voir comment ça fonctionne. Et comment ça peut aider à apprendre des choses. » (Chercheur)
 - a. Infos pour la connexion à la session
 - b. Indications sur les fonctionnalités de la plateforme et pour la prise en main en projetant au tableau des diapos :
 - « Attendez un peu avant de faire les manipulations, je vous explique » (le choix des 3 scénarios ; l'usage du clavier et souris pour se déplacer et promener son regard, et saisir des infos ; ressources dont guide utilisation ; inventaire des arbres et propriétés ; les boutons d'action : marquage et sélection avant coupe ; coupe ; horloge de l'avance dans le temps ; création d'une zone ; mesure de distance).
 - « Pour avancer dans le scénario, cliquez. Attention vous ne pouvez plus revenir en arrière sans redémarrer le scénario, donc veillez à bien faire toutes les actions du scénario avant d'avancer. » (14'15)



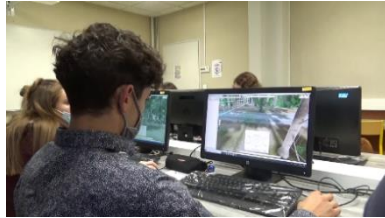
- 3) Ouverture du scénario 1 avec l'aide de l'enseignant – n3_biotologie_a1_croissance_expé_eduter_nov2020_cuijer
 - « Le simulateur est un outil de calcul. C'est pas seulement de la visualisation, il fabrique la forêt en fonction des critères qu'on lui demande, en fonction des actions que vous allez lui demander il va faire évoluer cette forêt » (14'55-15'06)
- 4) Les élèves débutent le scénario 1 – n3_biotologie_a1_croissance_expé_eduter_nov2020_cuijer (15'30 – Durée : 32'10 à 1h05) :

L'enseignant circule et donne quelques indications et répond à des questions sur l'utilisation des commandes

 - a. Lecture de la consigne, ouverture fichier Excel pour inventaire.
 - b. Au démarrage, certains élèves explorent d'abord la forêt et le déplacement. D'autres semblent avoir plus de mal à savoir comment démarrer. Quand ils ne savent pas certains élèves échangent ensemble ou demandent à l'enseignant (avancement dans le déroulement du scénario ; remplissage et enregistrement du tableau Excel et rédaction des réponses aux questions sur feuille papier)



- c. Les élèves regardent la fonction inventaire afin de remplir le tableau (vidéo 3)
Interventions de l'enseignant :
 - Face aux problèmes techniques rencontrés par les étudiants (ex : problème d'affichage ; d'avancée dans le scénario ;
 - Sur l'IBP, le repérage des différentes zones de la map (plaine, zone humide, zone de montagne) et des limites de la parcelle (grille bleue) ;
 - Pour des rappels : répondre aux questions sur papier et d'enregistrer le tableau ; ce n'est pas une évaluation et que les enseignants n'auront pas accès aux réponses des élèves ;



- d. Les élèves répondent aux questions tout en continuant à explorer la forêt (parfois en vue d'au-dessus)



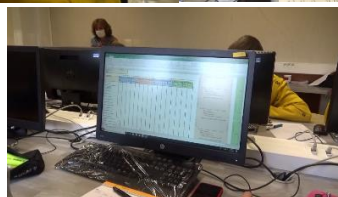
- 5) **Démarrage du scénario 2 progressivement** pour chacun des élèves : n3_écologie_compétition_eclaircie_Forte_nov2020_cuijer (**durée : entre 15' et 48'30**)
L'avancée des élèves dans les scénarios est très hétérogène

L'enseignant leur explique comment fermer le scénario 1 et ouvrir le scénario 2 ; il intervient à plusieurs reprises pour expliquer la construction de zones réduites ou accompagner des élèves bloqués (45'42), le marquage et la coupe de tous les arbres de la zone sélectionnée.

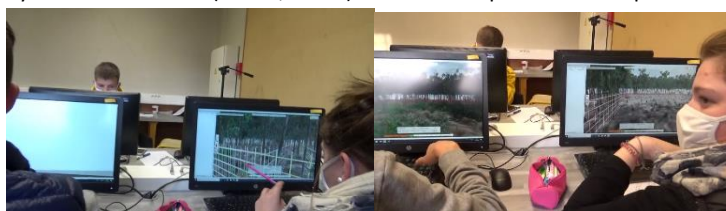
- a. Un premier élève a terminé la première partie (vidéo 2 - 25'12 donc après 48' au total et 33 minutes de travail sur le scénario) – « Tu peux commencer le scénario suivant. Tu es obligé de fermer » et démarre le second scénario (28'24)



- b. Arrivée de la 2^{ème} enseignante (36'40)
 c. Un deuxième élève a terminé et commence le deuxième scénario. (38'28) D'autres élèves sont encore à la moitié du 1^{er} scénario (40'22)
 Lorsqu'il découvre le tableau à remplir : « Oh non ! Regarde la gueule tu tableau » (il le montre à ses copains que ça fait rigoler).



Quelques élèves semblent montrer des signes d'agacement quand ils rencontrent des dysfonctionnements (44'01 ; 45'42) ou ne savent plus comment passer à la suite.



d. **7 élèves ont entamé le scénario 2 (49'30) puis presque tous les élèves (vidéo 3 – 7' soit après 1h20 au total et 1h05 de travail sur le scénario)**

Les élèves échangent davantage les uns avec les autres – l'attention semble se relâcher



L'enseignant intervient pour rythmer l'avancée (14'57) :

- Enseignant : « il faudrait qu'on se laisse une dizaine de minutes pour finir ce deuxième scénario »
- « Elève : le deuxième ? J'ai même pas fini le premier ! »
- « Faites au mieux. Et après vous avez un petit document de motivation à remplir et quelques indications sur le travail du jour. »

Ou concernant le remplissage du tableau (15'20)

- Elève : « Monsieur je comprends pas comment il faut remplir le tableau »
- Ens : « Le tableau il est impressionnant parce qu'il y a beaucoup de colonnes. Donc court termes, moyen terme, long terme, Ça représente les avancées dans le temps que tu vas réaliser dans le scénario. 1 an, 5 ans.

6) **Arrêt des scénario et choix d'abandonner la réalisation du 3^{ème} scénario éclaircie faible (22'11 donc après 1h36 dont 1h 21 sur l'EVE – beaucoup d'élèves ont fait les 3 à 5 premières étapes du scénario 2 – Seuls quelques-uns ont avancé davantage).**

- Elève : « ah bon. Dommage ! »

7) **Cours (l'enseignant s'appuie sur un schéma qu'il fait au tableau – durée 7'30) : « on fait un petit bilan. Vous allez lâcher les ordinateurs » (22'23)**



Ens : Donc là aujourd'hui vous avez travaillé sur **le milieu de vie** d'un arbre. Rappelez-moi que quoi il a besoin un arbre pour se développer.

Elèves : **d'eau ; de lumière ; d'oxygène ; de CO2 ;**

Ens : Ça c'est les besoins d'un arbre pour se développer. Ça lui permet de réaliser une fonction qui s'appelle ?

Elève : ... la **photosynthèse**

Ens : Cette photosynthèse va lui permettre de produire sa propre matière organique et de se construire.

(Aucun élève ne prend de note. Certains semblent absorbés dans leurs pensées. Un élève est couché sur son clavier)

Ens : tous ces éléments il les prélève dans son **milieu de vie**. Ses racines vont lui permettre son approvisionnement en eau. On va rajouter là-dedans quelques éléments **minéraux**. Et sur les éléments aériens, les feuilles vont lui permettre de capter la lumière et le CO2 atmosphérique. Et avec tout ça il fabrique sa matière organique. Ce qui va être important pour **le développement** d'un arbre, c'est **le milieu dans lequel il se situe** et de quelle manière il va pouvoir accéder à ces différents éléments là. OK il lui faut de l'eau, mais il lui faut **pas forcément un excès d'eau**. Certains arbres vont accepter facilement un excès d'eau. Vous avez peut-être observé que dans le simulateur il y a des arbres qui poussent dans la zone humide qui s'appellent des aulnes. Les aulnes supportent facilement un excès d'eau. Et d'ailleurs s'il n'y a pas cet excès d'eau, ils ne se développent pas. Il y a d'autres arbres, le chêne par exemple, qui supportent très très mal un excès d'eau. Lui va pousser dans des **milieux** où le sol est plutôt sec. Il faut de l'eau mais sans excès. (25')

Autre élément sur lequel on n'a pas forcément insisté aujourd'hui parce que simulateur ne le permet pas. C'est un élément qui concerne **le pH du sol**. De la même manière, on a des arbres qui vont être spécialisés adaptés à des pH plutôt neutre – toutes les espèces qu'on a sur le simulateur – autour de 6,8 ou 7 de pH. Au contraire certaines zones où le pH est un peu plus acide et on va rencontrer des arbres adaptés à ces zones de pH acide.

Finalement quand une graine tombe au sol, elle va germer quoi qu'il arrive. Mais le développement de cette graine pour donner un arbre va **dépendre des conditions du milieu** dans lesquelles vit cet arbre et en fonction des **spécificités de l'espèce**. Si elle est adaptée au sol acide, basique, à un milieu humide ou sec, à un sol superficiel ou profond. Etc. Donc quand vous avez fait les avancées dans les temps – vous êtes un certain nombre à pas être allez au bout des manipulations – dans le premier scénario vous avez dû voir que **selon les zones on rencontre pas du tout les mêmes espèces**. Dans les zones humides on va rencontrer des espèces très différentes de la zone de plaine.



Autre élément important, on parle toujours d'approvisionnement, ça va être son environnement et sa relation avec les autres arbres autour. Ça va jouer sur quoi ?.. parmi les éléments qui sont présents ici ? les types d'arbres présents autour ou le fait que cet arbre il pousse avec d'autres arbres à son alentours ça va jouer sur quel approvisionnement ?

Elève : la lumière

Ens : Si on a un arbre qui pousse sous un autre arbre, la lumière qu'il va recevoir, va être inférieure à celle de cet arbre-là. Et cette relation des arbres les uns par rapport aux autres va être déterminante.

De la même manière, le fait que les arbres poussent les uns à côté des autres ça va aussi jouer sur l'approvisionnement eau et en minéraux. Si on est dans une forêt dans laquelle il y a beaucoup d'arbres, ces arbres vont se partager les ressources qui sont présentes. Donc la ressource en eau, en minéraux et l'accès à la lumière. En ce qui concerne le CO2, la quantité de CO2 elle doit être disponible à peu près de manière équivalente à tous les arbres. Par contre l'accès à la lumière va dépendre de la position des arbres les uns par rapport aux autres. Et l'apport en eau et minéraux va dépendre des arbres qui sont autour. Donc quand un forestier fait une éclaircie en forêt, ce qu'il cherche à faire en coupant les grands arbres, c'est donner accès aux arbres qui sont plus petits, à la lumière, de manière à ce que ces arbres-là puissent croître pour se développer à nouveau. Donc cette relation des arbres les uns par rapport aux autres dans un même milieu, c'est ce qu'on appelle la compétition. On va même parler de compétition interspécifique, entre espèce, compétition d'arbres qui appartiennent à différentes espèces. (à Isabelle) je sais pas si vous aviez eu le temps de voir ça ?

Isabelle : non du tout. Je suis sur l'alimentation.

Ens : Ça va pour tout le monde cette notion de compétition ? Le fait que des espèces qui vivent dans un même milieu elles se partagent la ressource du milieu et elles vont se développer en fonction des ressources disponibles laissées entre guillemet par les espèces à proximité. Vous regarderez ce qui se passe dans une forêt mature ou sur le simulateur. Etant donné que toutes les espèces sont en compétition les unes avec les autres, on finit par avoir une forêt dans laquelle la taille de tous les arbres est à peu près équivalente. Tout le monde est en compétition et donc chaque arbre se développe de manière à optimiser son accès à la lumière. Par rapport aux voisins qui se situent autour.

Elève : Y'a des arbres qui sont plus envahissants comme le fayard. C'est un « libéral ». Il prend le maximum de place pour se développer

Ens : oui tu as raison. Y'a des arbres qui se développent plus vite que d'autre. Et d'un point de vue compétition c'est un gros avantage. Parce que si elle se développe plus vite, elle va prendre la place avant les autres et pouvoir accéder aux ressources de manière spécifiques ou plus importante que les autres. Le fayard a un autre avantage, c'est que c'est plutôt une espèce d'ombre

Elève : oui oui

Ens : il se développe facilement dans des conditions dans lesquelles y'a pas forcément besoin d'une grande quantité de lumière. Et il monte plus rapidement qu'un chêne qui lui va mettre beaucoup plus de temps à se développer. (30'57)

- 8) **Questionnaire de motivation** : « vous avez réalisé des activités on veut savoir votre ressenti par rapport à ça » (...)
« le 1 c'est pas du tout d'accord, le 7 c'est tout à fait d'accord. Donc vous trompez-pas »

Elève : vous avez mis ???? contrôle, mais c'est pas évalué ».

Dominique : « pas évalué aujourd'hui »

(36'30 – les 1^{er} élèves ont terminé

40'47 – fin du questionnaire)

Synopsis du Groupe 4 (EVE avec feed back enseignant) (10 novembre 2020).

Enseignant : J.

14 élèves, dont 1 absent au pré-test et 1 au post-test.

Etapes de réalisation de la séance :

- 1) Présentation de Dominique : là pour voir comment Silva Numerica est utilisé, c'est pour ça que je filme surtout les écrans et que je circule
- 2) **Intervention de l'enseignant en introduction** (vidéo1-30'') : « je suis là pour mettre en place l'expérimentation et répondre aux problèmes techniques »
« L'objectif de cette séance : on va travailler essentiellement sur 2 scénarios, un qui concerne le milieu de croissance des arbres et un qui concerne la compétition entre les arbres. L'objectif c'est aussi qu'on fera un petit bilan à chaque fin de scénario, histoire de faire une petite correction entre guillemets, de ce à quoi vous aurez répondu. » (1'20)



- a. **Indications sur la plateforme** : « une plateforme numérique qui permet de visualiser une plateforme forestière et l'évolution de cette plateforme en fonction des actions que vous aurez réalisées. C'est pas seulement un visuel derrière il y a des calculs réalisés pour matérialiser la croissance des arbres en fonction du contexte (1'45)



- b. Connexion à la session, Accès à la plateforme (5'05).

« Le simulateur actuellement ne nous permet pas de récupérer vos résultats et ce que vous avez écrit ».

Choix du scénario 1. « On a prévu deux autres scénarios pour aujourd'hui mais vraisemblablement on n'aura pas le temps de travailler sur le 3^{ème}. » (6'15)

- c. Présentation des fonctionnalités de et pour la prise en main :

- deux modes : quand vous êtes dans la parcelle, « mode immersif », une croix rouge = déplacement dans la parcelle et en hauteur ; si vous cliquez sur barre espace – pour réaliser des actions en cliquant sur les boutons
- barre d'avancée dans le scénario, visualisation de la consigne ; ressources externes : tableau à remplir, guide d'utilisation ; écran de propriétés de la parcelle, dont inventaire (nombre, type d'arbre, répartition, etc.) ; cliquer sur arbre pour avoir les propriétés
- les boutons d'action (marquer, couper, avance dans le temps, création de zone et marquage arbre d'une zone)

« la plateforme fonctionne sous un mode forestier : un forestier il va passer dans la forêt et marquer un arbre avant de le couper ».

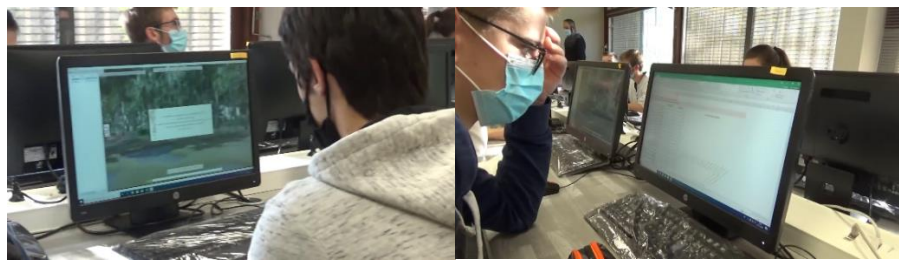
« le scénario est réalisé en séquence. Chaque fois que vous changez de séquence cliquez sur le bouton valider. Vous pouvez pas revenir en arrière »

« le simulateur permet de récupérer vos réponses. Donc rédiger vos réponses sur une feuille à part » - « Oh non ! » (un élève) (13'50) ; remplir les fichiers Excel de relevé, les enregistrer. (14'28)

3) Démarrage du scénario 1 -- n3_bilogie_a1_croissance_expé_eduter_nov2020_cuijier (15' – Durée : 50 min)

- a. **Lecture des consignes et prise de connaissance du tableau à remplir**

- b. **Réalisation des tâches d'inventaire**



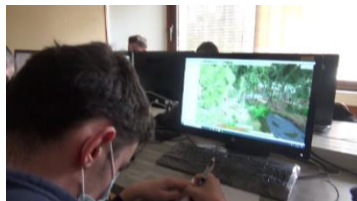
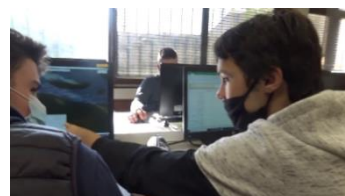
L'enseignant intervient

- Face aux problèmes techniques rencontrés par les étudiants (ex : problème d'affichage ; d'avancée dans le scénario ; vue aérienne)
- Sur l'IBP, ou des précisions concernant les questions et informations à trouver (35'05) « C'est quoi IBP ? » - ens : « **IBP ça veut dire indice de biodiversité potentielle**. Le petit diagramme que vous avez présente 6 indicateurs de biodiversité présents dans le milieu ». (42'20) Ens : « il n'y a pas d'indication particulière sur le sol dans le simulateur. C'est en fonction de ce que tu as observé ».
- Pour des rappels : répondre aux questions sur papier et d'enregistrer le tableau ; ce n'est pas une évaluation et que les enseignants n'auront pas accès aux réponses des élèves ; que le simulateur met du temps parce qu'il effectue les calculs

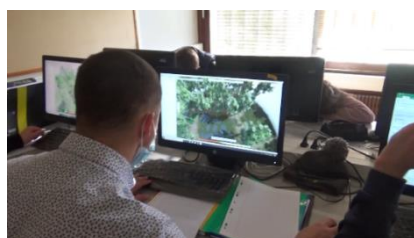
Des élèves échangent entre eux et se donnent des indications sur les endroits où trouver les infos et sur les dénombrements qu'ils réalisent pour les différentes espèces (21')



Deux élèves réalisent la tâche à deux : l'un cherche les infos dans son inventaire et l'autre les reporte dans son tableau (26')



c. **Les élèves font les simulations d'évolution de la forêt – 2 x 20 ans et réfléchissent aux zones où ça ne pousse pas (47')**



d. **Plusieurs élèves ont terminé et attendent (plusieurs élèves naviguent sur Internet) ; d'autres n'en sont qu'à la moitié (Film 2 – 5')**

Un élève : « On a déjà fait 1 heure ? » - Ens : « On a déjà fait 1h15 » - El : « Ah ouais, ça passe vite ! » (9'42)

4) Correction du scénario 1 par l'enseignant (14' soit après 1h05 – durée : 6'44)

Enseignant : Il va falloir qu'on passe à la correction parce qu'on a un 2^{ème} scénario à suivre. On va juste récapituler, je vais vous donner des éléments de correction. Vous ne corrigez pas ce que vous avez écrit. Ça n'a pas d'importance si vous avez faux ou juste. C'est simplement pour qu'on se mette d'accord sur ce qu'on attendait de vous sur ce scénario. *On vous a demandé les caractéristiques de chênes, hêtres, aulnes. Dans quelles zones ces arbres étaient les plus présents et si vous aviez une explication. Qu'est-ce que vous avez répondu ? Le chêne est plus répandu dans quelle zone ?*

Elève : Zone plate.

Ens : zone plate. Le hêtre ?

Elèves : zone plate

Ens : l'aulne ?

Elève : Zone humide

Ens : ???

Elèves : aucun

Ens : donc il y a des arbres qui sont spécifiquement présents dans la zone plate, « non humide » et des arbres spécifiquement présents dans la zone humide. On vous demandait « qu'est-ce qui caractérise le sol des différentes zones ? C'est pas facile de répondre. Le sol est plus... :

Elèves : plat !

Elève : humide

Ens : voilà. Soit beaucoup d'eau présent dans le sol à proximité de la mare. Soit un sol plus sec dans la zone plate. On peut faire le lien. On peut dire que s'il y a **des espèces qui poussent plus spécifiquement dans la zone plate, c'est qu'elles sont plus adaptées** à un sol plus sec et que celles qui poussent à proximité de la mare, l'aulne en particulier, est plus adapté à des sols humides. Vous êtes d'accord avec ça ?

La question : A quel endroit la végétation pousse-t-elle ou pas ? Est-ce que vous avez trouvé des zones dans lesquelles la végétation pousse pas ?

Elève : dans les marais, dans la mare.

Ens : oui dans les zones très humide y'a pas ou peu de végétation qui pousse. Et pourquoi ?

Elève : trop humide.

Ens : oui. C'est vrai que dans cette zone là il y a énormément d'eau. Donc toutes **les espèces qui sont spécifique des milieux humides** ne sont pas représentées. On a représenté ici que des espèces forestières. C'est vrai que des espèces forestières, il y en a très très peu qui sont adaptées pour les zones humides, donc même quand on avance de 15 ans, de 20 ans dans le temps, y'a des zones dans lesquelles la végétation ne se développe pas. Vous auriez pu trouver une autre zone sur laquelle la végétation ne pousse pas.

Elève : en dessous des arbres.

Elève : dans le brouillard.

Ens : en dessous des arbres c'est vrai qu'il y a des zones où on a l'impression qu'il y a des zones où on a l'impression qu'il y a pas beaucoup de végétation. Et où encore ?

Elève : les chemins non ?

Ens : voilà. Les chemins normalement vous n'avez pas vu pousser de végétation. Qu'est-ce qui joue sur le fait qu'il y ait peu de végétation sous les grands arbres ?

Elève : l'ombre

Elève : y'a pas trop de lumière

Ens : Exactement. La couverture de l'arbre va beaucoup limiter la lumière qui arrive au sol, ça va avoir une incidence sur **le développement** des espèces qui se développent en dessous.

Pour le chemin on est sur des caractéristiques différentes. Là le chemin a été réalisé de manière à ce que il ne pousse rien dessus. Dans la réalité qu'est-ce qui ferait que rien ne pousse sur un chemin ?

Elève : le passage.

Ens : oui voilà. Le **passage fréquent** et le fait qu'on puisse avoir un **tassement du sol** ça peut avoir un effet sur le développement des espèces. Si le sol est très tassé en fait on **limite la quantité d'air présent dans le sol, donc la quantité de gaz respiratoire**. Et des **racines qui ne peuvent pas respirer c'est des racines qui ne se développent pas et donc il n'y a pas de développement de végétation** à cet endroit-là. (18'40). Donc l'humidité ou pas, la quantité de lumière disponible ou pas et les caractéristiques du sol, ici le tassement.

Il reste la disparition des troncs. Vous avez dû observer quand vous avancez dans la forêt qu'il y a des arbres qui arrivent au sol, comment on explique ça ?

Elève : ils sont vieux.

Elève : on les a abattus

Ens : peut-être qu'on les a abattus. On n'a pas l'explication, mais nous on n'a pas fait d'abatage. Donc si y'a pas d'abatage qu'est-ce qui peut expliquer que les arbres sont au sol ?

Elève : des arbres qui sont morts, ou alors ils se sont faits « grillés » par les insectes.

(Réaction des élèves à « grillés »).

Ens : voilà ??? soit ils meurent ?

Autre élève : des champignons, des maladies.

Ens : les champignons ça fait mourir les arbres ?

Elèves : ben oui. Ça les mange.

Autre élève : ça les fait pourrir quoi.

Ens : OK. Vraisemblablement, quelle que soit l'explication, ces arbres sont morts et sont tombés au sol. Que deviennent les troncs au bout de 20 ans, 40 ans ?

Elèves : **de l'humus**.

Elève : ils se dégradent. Ils disparaissent.

Ens : ils se dégradent. Ils **se décomposent**.

Elève : ils se **minéralisent**.

Ens : ils se **minéralisent**. Très bien. **Donc la matière organique disparaît**. Les troncs se dématérialisent dans le logiciel. Minéralisation, ça veut dire quoi ?

Elève : ça devient des minéraux

Ens : exactement. **Transformation de la matière organique en matière minérale. Et les minéraux ils sont importants ?**

Elève : oui. C'est de l'engrais.

Ens : exactement. Ils vont servir à **faire pousser les arbres suivants**. (20'44)

5) Passage au scénario 2 – n3_écologie_compétition_eclaircie_Forte_nov2020_cuijer (20'44 soit après 1h12 ; Durée : 21 minutes)

Ens : Il faut absolument que ce scénario soit bouclé en 15 minutes.

- a. **Les élèves lancent le scénario.** Plusieurs observent et commentent la parcelle générée au regard de la précédente (taille des arbres, densité). Les mêmes font référence à des expériences dans le travail forestier (Max, Hugo, Théo)
les élèves échangent beaucoup entre eux ; Une élève semble plus en difficulté avec l'usage de SN

Le temps disponible étant réduit, l'enseignant décide de sauter l'étape de réalisation de l'inventaire et de remplissage des tableaux pour privilégier l'observation (23')

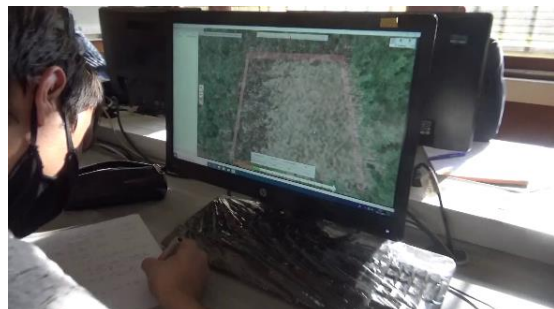
Ens : je vous invite à pas prendre trop de temps pour remplir le tableau parce que celui-là va être très long. Faites plutôt les observations avec les avancées dans le temps. Laissez tomber le tableau (23')

Ens : Donc vous laissez tomber le relevé Excel on n'a pas le temps. Simplement vous pouvez répondre aux questions comme vous l'avez fait tout à l'heure. (28'43)

- b. **Les élèves délimitent une zone de 40m x 40 m et font une coupe rase**

L'enseignant intervient pour rappeler qu'il faut suivre le scénario : « Il ne faut pas couper tout n'importe comment » (23'55).

L'enseignant guide les élèves en leur montrant au vidéoprojecteur comment réaliser une zone de marquage et coupe d'arbres



c. **Les élèves réalisent les simulations de repousse** après avoir réalisé la coupe : avancée de 5 ans puis 10 ans puis 35 ans ; Ils reportent leurs réponses aux questions sur leur feuille *Quelques-uns commentent et comparent ce qu'ils observent comme repousse après la coupe. L'enseignant saisit l'occasion pour les faire réfléchir sur l'origine de ces différences (29'50)*

- *Ens : alors c'est normal*
- *Elève : ça dépend sur chaque poste ?*
- *Ens : non, ça peut dépendre de quoi ?*
- *Elève : c'est pas les mêmes milieux*
- *Elève : ah de la zone où on a coupé.*
- *Ens : oui.*

- *Elève : Les souches elles ont déjà disparu*
- *Autre : au bout de 5 ans ça a déjà disparu ?*

d. L'enseignant annonce la fin de l'activité : « on se donne encore 5 minutes pour boucler le scénario et après on fait la correction » (37'16)
Plusieurs élèves ont terminé le scénario (40')

6) Correction-Feed back (41'44 – Durée : 7min08)

Ens : Allez on corrige. Donc dans ce scénario-là, on vous demande de faire une éclaircie forte. On dégage une zone très très large de 40 m par 40 m, on fait coupe blanche, c'est-à-dire qu'on enlève vraiment toutes les espèces qui sont présentes. Et après on vous demande de faire des avances progressives dans le temps pour voir dans quelle mesure cette parcelle va évoluer. Donc 5 années, puis après 15.

L'enseignant réalise les actions en projetant l'écran sur vidéoprojecteur



- *Ens : Quand on fait une avance de 5 ans on observe quoi ?*
- *Elève : y'a que du buisson qui pousse.*
- *Ens : des buissons tu es sûr ?*
- *Elève : des petites repousses !*
- *Ens : des repousses de quoi ?*
- *Elève : des arbres qui sont qu'on a coupé, enfin je sais pas !*
- *Ens : tu as cliqué sur les arbres, les essences pour voir ce que c'était ?*
- *Elève : euh... non.*
- *Ens : en 5 ans ce qui pousse c'est quel type de végétation ?*

- *Elève : végétation dense*
- *Ens : c'est quel type de végétation ? Broussailles je veux bien mais... Vous avez entendu parler de **strates de végétation** ? de niveaux de végétation ?*
- *Elève : oui mais j'ai pas compris ce que ça voulait dire.*
- *Ens : dans une forêt il y a quand on part de haut y'a **la strate des arbres, en dessous la strate des arbustes, des buissons, en dessous y'a la strate des végétaux herbacés**, des herbes. Alors au bout de 5 ans c'est quels types de végétaux qu'on voit ?*

- Elève : les herbes.
- Ens : plutôt des herbes, des végétaux ras. Tu as tout à fait raison H, vraisemblablement, il y a aussi des repousses d'arbre. Sauf que notre simulateur il ne les matérialise pas, il ne les fait pas apparaître tant qu'elles ne font pas une certaine taille. Donc même si on voulait cliquer sur chaque espèce on pourrait pas trouver. Donc au bout de 5 ans c'est plutôt des herbacés.

Si on rajoute 15 ans supplémentaires, c'est quoi ? Quel type de végétaux ?

- Elèves : les buissons
- Ens : les arbustes. Comment expliquer qu'ils mettent plus longtemps à se développer ? Ce type de végétation va mettre un certain temps à se développer, s'étoffer. Donc au bout de 20 ans, on commence à avoir des végétaux sous forme d'arbustes qui sont présents. Quel est l'impact de cette éclaircie ? QU'est-ce qui fait que cette végétation elle se développe à ce moment-là ?
- Elève : **La lumière.**
- Ens : exactement. On a coupé tous les arbres de la strate au-dessus et on laisse **apparaître la lumière au sol, qui va permettre à un maximum de végétaux de se développer.** Dans ces premières années tous les végétaux disponibles, toutes les graines elles vont germer et donner naissance à des végétaux. Et puis progressivement **les végétaux de plus grande taille vont se développer, vont faire de l'ombre,** et il va y avoir une première **sélection** qui va avoir lieu. Là encore, comme tout à l'heure on parle bien de **compétition.** (46') Cette fois ce qu'on matérialise c'est de la **compétition vis-à-vis de la lumière.** Quand on vient de faire la coupe rase, pas de compétition, y'a la même quantité de lumière pour tout le monde. Plus on avance dans le temps plus y'a des végétaux différents qui vont faire de l'ombre pour les végétaux d'en dessous donc qui vont rentrer en compétition avec d'autres espèces.



- Ens : **Enfin si on refait une avance de 20 ans (il le fait) on va retrouver quasiment la forêt de départ.** On va retrouver la strate arborescente c'est-à-dire les arbres qui vont **reprendre le dessus.** Lesquels auront poussé à cet endroit-là ?
- Elèves : Les espèces qu'y a autour de la zone
- ENS : Les espèces qui y'a autours de la zone. Alors comment ça s'explique ?
- Elève : parce qu'avec **le vent les graines elles sont emportées ?**
- Ens : effectivement les graines qui vont germer là ce sont celles produites par les arbres qui sont autour. Et quelles caractéristiques ils ont ces arbres par rapport au milieu dans lequel ils se situent ?
- Elève ... : ben ils sont faits pour
- Ens : ils sont faits pour. Exactement. Donc ?? lié à la zone. On retrouve les caractéristiques de toute à l'heure. Donc je sais pas si vous avez regardé en détail quels espèces étaient présentes. Dans le déroulement du scénario on vous ne demandais pas d'identifier les espèces. Ça nécessitait plus de temps que ça. Mais on aurait pu constater – si je fais un clic droit sur cet arbre, c'est un chêne, ici se sont des chênes **adaptés au milieu sur lequel on se situe** et effectivement qui correspondent à la parcelle de départ. Donc finalement, au départ tout le monde germe, toutes les espèces présentent peuvent germer. Celle qui va se **développer** dans les dizaines d'années qui vont suivre, c'est celle qui est le plus **adaptée aux conditions du milieu.** Comme on est parti d'une chênaie exclusive, y'a pas trop de surprise. Ce qui finit par repousser se sont bien des chênes qui étaient là au départ, qu'on a enlevé et qui repoussent par la suite. Ça va sur ces notions de compétition et de milieu ?
- Elèves : Oui. (48'52 - Fin)

7) Questionnaire de motivation (48'44-51'05 puis vidéo 3, 4'19)

- Dom : le 1 c'est pas du tout d'accord, le 7 c'est tout à fait d'accord.
- Elève : mais on l'a déjà fait ?
- Dom : non c'était pas la même chose. Là c'est vous avez réalisé une activité, on vous demande de donner votre sentiment par rapport à cette activité.
- 3'30 : Un élève : Vous saviez qu'il y a un verso ?!
- Autre Elève : ah y'a un verso ?
- Dom : venez le récupérer.
(ils récupèrent le doc et compètent en restant debout)

Debrief Enseignant sur ces deux groupes

2h c'est très long. Plusieurs scénarios à la suite pas la meilleure des solutions. On a toujours ce problème de remplissage de relevés. Pour le collège on a laissé tomber ces relevés ou ponctuellement pour quelques espèces seulement.

Le problème de passage de Excel au simulateur qui pose problème. Et faire de la saisie n'a pas forcément beaucoup d'intérêt pédagogique.

Sur l'utilisation, je suis toujours épaté de la facilité des élèves à prendre en main le simulateur. Ils ne sont pas toujours attentifs au moment des consignes et il y a quelques éléments qui doivent être repris mais globalement ça se passe plutôt bien.

Echelle ou unité pas mentionnée

Globalement ils arrivent à suivre le scénario et l'aboutissement au notion à l'air de se faire correctement.

Ça me donne envie de reprendre ces scénarios tranquillement avec ma classe de rediscuter ces notions. Là c'était un peu tendu en question de timing.

Ça me paraît pas très grave qu'ils n'aient pas réalisé le 3^{ème} parce qu'on avait conçu éclaircie forte et faible comme complémentaire. On leur fait faire la même chose mais la zone sur laquelle on fait l'éclaircie est beaucoup plus réduite. L'impact de la lumière moins important. On a les principaux éléments qui apparaissent avec l'éclaircie forte.

Très très vite les garçons ont envie de couper les arbres. Ils n'ont pas une formation plus orienter que les autres, ils sont en production. Ce qui se passe après sur la repousse les intéresse un peu moins.

Les agriculteurs ont cette habitude d'aller couper leur bois. Pour eux c'est une activité ludique.

Entre la première et la deuxième partie, je me suis aperçu que le remplissage du 1^{er} relevé était long et quand ils ont vu apparaitre le deuxième relevé avec un nombre incalculable à remplir. C'était pas très utile pour la compréhension. En fait ce qui nous manque c'est une visualisation graphique de l'évolution – évolution des espèces sous forme d'un camembert par exemple.

Et ce qui nous limite énormément c'est qu'on ne puisse pas leur faire remplir directement sur le simulateur et récupérer les données des élèves. On aurait gagné énormément de temps.

Pour le scénario collègue, on s'affranchi du remplissage sur simulateur et on aura une grille par élève.

Et le fait qu'on ne puisse pas revenir en arrière est un problème parce que le format papier, il peut retourner la page et revenir. Alors que là il ne peut pas – s'il se dit « ah ben tiens qu'est-ce que j'ai répondu tout à l'heure ? » ou alors « Ah ben je me suis trompé tout à l'heure ».

Au collègue, simple référence aux questions ou rappel des questions sur l'écran mais en indiquant aux élèves qu'ils doivent remplir sur le papier avec les encarts, les QCM prêts.

Et un scénario en 2 parties, avec un scénario après tempête. Ce sera important d'avoir gardé trace de la première parcelle.

Ces relevés Excel sont très rébarbatifs

Annexe 5 : Protocole de l'expérimentation au collège

Groupes de l'expérimentation et scénarii d'enseignement associés

L'expérimentation au lycée a concerné deux classes de 4^{ème}. Elles ont chacune été scindées en deux groupes. Etant donné la réalisation du pré-test et des séances d'expérimentation le même jour, la répartition des élèves dans les différents groupes n'a pas pu se faire en fonction de leurs résultats au pré-test. Nous avons donc réalisé une répartition au hasard des élèves dans chacun des groupes.

Le protocole de réalisation de l'expérimentation au collège a été différents de celui du lycée. Les différentes modalités et scénarios utilisés ont été à une population d'élèves de 4^{ème}. Cette expérimentation ne comportant pas de volet d'étude sur la motivation des élèves, le choix a été fait de leur proposer une modalité fondée sur des activités à l'écrit (différentes ressources associées à des tâches d'observation, d'analyse et de synthèse – vois annexe 5) plus habituel dans les enseignements du collège que l'usage d'une vidéo.

	Contrôle	EVE sans aide	Ecrit	EVE avec aide	Global
Population totale au pré-test	10	11	11	11	43
Echantillon considéré pour l'analyse des évolutions	10	9	10	10	39

Tableau 38 : Modalités d'enseignement relative au concept de milieu comparées dans l'expérimentation au collège et nombre d'élèves dans chacun des groupes expérimentaux correspondants

Quelques contenus concernant l'expérimentation de Silva Numerica au collège

Le protocole de l'expérimentation prévoit, selon les groupes (sauf groupe contrôle et groupe EVE sans apports), des temps de mise en commun des réponses apportées lors des activités et des synthèses (groupe « écrit » et groupe EVE avec feed-back), ou des apports sous forme magistrale après les activités (groupe 3 – silva numerica).

De manière à ce que ces contenus sur les notions de milieu soient similaires entre les groupes, voici des propositions qui ont été faites aux enseignants concernant ce qui pourra être abordé au cours des échanges avec les élèves.

Milieu de vie des arbres (après l'activité 3):

- **Besoins des arbres** pour se développer : lumière, CO₂ (O₂ en absence de lumière la nuit), eau, minéraux, chaleur + caractéristique du sol permettant le développement des graines (sol pas trop tassé comme c'est le cas dans les chemins)
- **Tolérance variable** selon l'espèce à l'absence ou la raréfaction de certains éléments dont elle a besoin (cf. tolérance à l'ombre ; tolérance à des sols très humides ou très secs ; à des températures basses ou élevées ; etc.).
- **Besoins variables** selon l'espèce.
- Relation entre les besoins et tolérances des espèces d'arbre présentes et leurs vitesses de développement et leur milieu (sols - composition, humidité, structure-tassement, climat, ...)
- **Variation du milieu selon** l'endroit de la forêt, selon le lieu géographique (relief, plaine, bord de mer, ...)
- **Caractère dynamique du milieu dans le temps** : évolution dans le temps (des sols – cf. le chemin, du climat) et incidence sur l'évolution des arbres présents ; évolution des espèces d'arbres présentes dans une forêt au cours du temps.
- Effet de l'arbre sur son milieu : « micro-climat » (ombre -> température, luminosité...) ; effet des racines sur la structure du sol.
- *(Causes de mortalité des arbres) ; Dégradation des arbres morts (et des feuilles des arbres) en matière organique puis minérale qui enrichissent le sol et transforme sa « texture ». Cela va avoir des effets sur la croissance des arbres présents (notamment apport des minéraux)*

Guide de l'activité sur papier réalisée par les élèves du groupe « Ecrit »

Le document ci-dessous a été remis sous forme papier afin d'être complété par les élèves des groupes « Ecrit » qui ne manipulait pas l'EVE Silva Numerica. Un enseignant a répondu à leurs questions concernant la compréhension des consignes et activités à réaliser, mais sans réaliser d'apports concernant le concept de milieu (ou de biodiversité).

NOM :

Prénom :

Classe :

Etude de la biodiversité dans d'une forêt

PREMIERE PARTIE : DECOUVERTE DE LA FORÊT

La forêt que tu vas découvrir est âgée de 200 ans. Elle est constituée de différentes zones. Cette première partie est une découverte de cette forêt.

1. Exploration libre

Dans un premier temps, voici des images de la forêt ou l'on voit les différentes zones de la forêt repère les différentes zones : la zone humide (autour de la mare), la zone plate, une zone en pente (appelée zone de « montagne »).



2. Découverte des végétaux vivant dans cette forêt

Observe les images de cette forêt et numérote 3 arbres différents, 2 arbustes (ou buissons) différents et 2 plantes herbacées différentes. Indique pour chaque dans quelle zone tu l'as trouvée.



Espèce	Zone
arbre 1	
arbre 2	
arbre 3	

arbuste 4	
arbuste 5	
plante herbacée 6	
plante herbacée 7	

D'après toi, la diversité des espèces végétales dans cette forêt est

Faible

Moyenne

Elevée

Explique ta réponse.

.....

.....

.....

.....

.....

3. Etude de 4 espèces d'arbres

On a relevé la répartition de 4 espèces d'arbres : l'aulne, le frêne, l'orme, le chêne.

Répartition des arbres dans la forêt

	TOTAL	zone humide = zone avec la mare	zone plaine = zone plate	zone « montagne » = zone en pente
aulne (Au)	14	14	0	0
frêne (Fr)	49	19	17	13
orme (Or)	13	0	0	13
chêne (Cn)	33	0	32	1

L'aulne est un arbre qui est présent

- Dans la zone de plaine
- Dans la zone humide
- Dans la zone de « montagne »

Le frêne est un arbre qui est présent

- Dans la zone de plaine
- Dans la zone humide
- Dans la zone de « montagne »

L'orme est un arbre qui est présent

- Dans la zone de plaine
- Dans la zone humide
- Dans la zone de « montagne »

Le chêne est un arbre qui est présent

- Dans la zone de plaine
- Dans la zone humide
- Dans la zone de « montagne »

3.1. Qu' observes-tu sur cette répartition ?

.....
.....
.....
.....
.....

3.2. Tu as constaté que les 4 espèces arbres ne sont pas présentes de manière égale dans les différentes zones de la forêt. Propose une ou des hypothèse(s) pour expliquer cette répartition.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Voici quelques informations afin que tu puisses approfondir la notion de milieu de vie des arbres que tu as pu voir précédemment lors de question :

Pour leur croissance, les arbres ont besoin de lumière, de dioxyde de carbone (CO₂), de minéraux et d'eau pour pouvoir faire de la matière organique par photosynthèse. Il leur faut aussi de la chaleur pour permettre les réactions chimiques qui assurent leur croissance.

Pendant, selon les espèces, les besoins des arbres sont différents :

- Certaines ont besoin de beaucoup de lumière et d'autres supportent d'être un peu à l'ombre.
- Certaines nécessitent des sols riches en minéraux là où d'autres se contentent de peu d'éléments nutritifs.
- Certaines supportent des températures plus élevées ou plus basses que d'autres.
- Certaines supportent qu'il y ait beaucoup d'eau dans le sol, alors que d'autres ne peuvent pas se développer si le sol est trop humide (ou trop sec).

C'est pour cela que les espèces ne sont pas les mêmes selon les régions et selon l'altitude, car le climat (température, durée d'ensoleillement, quantité de pluie, etc), et les caractéristiques des sols (son épaisseur, sa richesse en minéraux, sa texture, etc.) ne sont pas les mêmes : par exemple quand on monte sur une montagne, le climat et le sol change ce qui explique qu'à une certaine altitude il n'y a plus d'arbres qui peuvent pousser. Autre exemple : rien ne pousse sur un chemin où passent fréquemment des gens du fait du tassement du sol qui rend plus difficile la pénétration des graines dans la terre et leur développement.

C'est aussi ce qui explique que l'on observe des espèces différentes à différents endroits d'une même forêt (près d'une mare par exemple).

Tous ces éléments vont aussi intervenir sur la vitesse à laquelle un arbre se développera. Mais attention, les arbres des différentes espèces ne se développent pas à la même vitesse. A un endroit donné, certaines espèces se développent plus vite que d'autres. Elles vont alors leur faire de l'ombre et ralentir ou empêcher leur développement.

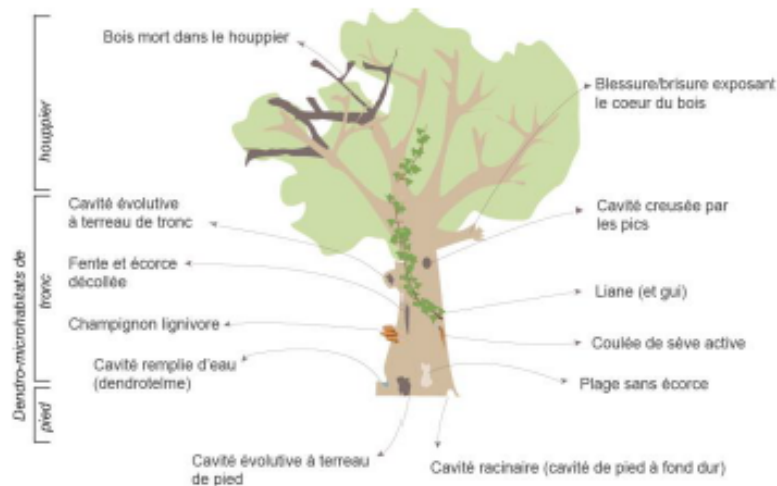
Ainsi, dans une forêt, à un endroit donné, quand les arbres se développent, ils modifient le sol avec leurs racines ou lorsque leurs feuilles sont décomposées en matière organique puis minérale par les animaux, insectes et micro-organismes (ce qui apporte des éléments nutritifs). Ils modifient aussi le climat à cet endroit en faisant de l'ombre (moins de soleil, température plus fraîche). Ils modifient donc le milieu de vie des autres arbres et végétaux présents à cet endroit.

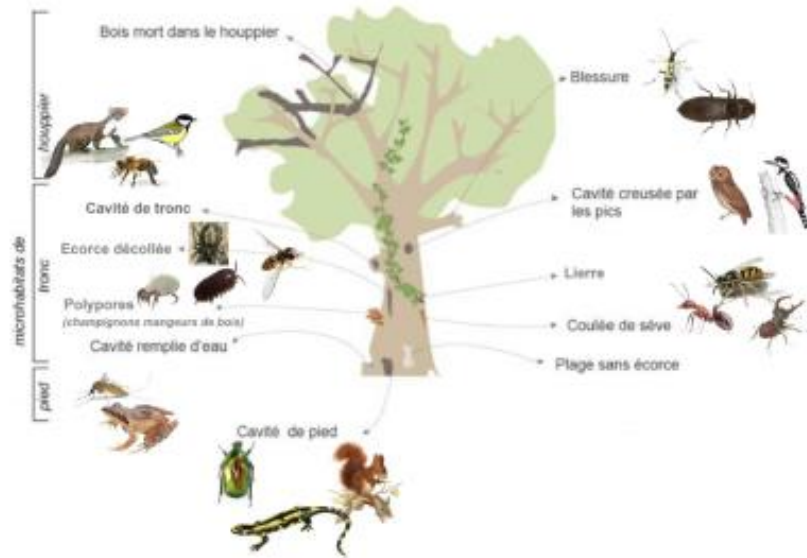
De même, la pluie, le vent, les animaux, etc. vont pouvoir modifier les caractéristiques du sol de la forêt. Ainsi, quand plus personne ne passe sur un chemin, la pluie, les animaux, ... vont transformer le sol et permettre aux graines tombées des arbres, ou apportées par les vents, ou les animaux... de pénétrer dans la terre et de se développer.

Enfin, plusieurs causes peuvent faire mourir un arbre : les maladies ; les tempêtes qui les font tomber ; les incendies ; les sécheresses ou inondations ; le changement dans les caractéristiques du sol ou les glissements de terrain. Tout cela fait que, même si l'homme n'intervient pas dans une forêt, le nombre d'arbre et les espèces présentes vont évoluer.

4. Découverte des micro-habitats

Le document ci-dessous présente des endroits qui peuvent être des micro-habitats pouvant exister dans cette forêt.





4.1. Entoure deux micro-habitats que tu observes.



Pour chaque micro-habitat, indique quels animaux (êtres vivants) peuvent être présents ? quel est l'intérêt pour eux ?

.....
.....
.....
.....
.....

4.2. Dans une forêt, les micro-habitats sont importants parce que

- On y trouve des animaux, des végétaux
- On y trouve souvent des êtres vivants microscopiques
- Ils participent à la biodiversité
- Ils participent à la croissance des arbres

5. La biodiversité dans cette forêt

5.1. Observe le tableau suivant relève le nombre total d'arbres présents dans cette forêt.

NOMBRE	TOTAL des arbres	Aulne (Au)	Charme (Ch)	Frêne (Fr)	Tilleul (Ti)	Orme (Or)	Erable (Er)	Hêtre (He)	Epicéa (Ep)	Chêne (Cr)
Forêt de départ	226	14	3	49	13	13	30	71	0	33

5.2. D'après toutes ces informations, comment apparaît la biodiversité dans cette forêt ?

- Il y a des végétaux de tailles différentes
- Il y a plusieurs espèces de végétaux
- Il y a des micro-habitats
- Il y a une mare
- Il n'y a des aulnes que près de la mare
- Il n'y a pas de chênes près de la mare
- Il y a des épicéas dans la zone de plaine
- Il y a des relations entre les êtres vivants
- Il y a des milieux de vie différents

Voici quelques informations afin que tu puisses approfondir la notion de biodiversité que tu as pu voir précédemment lors de question :

La biodiversité désigne l'ensemble des êtres vivants ainsi que les écosystèmes dans lesquels ils vivent. Ce terme comprend également les interactions des espèces entre elles et avec leurs milieux. Elle se compose de trois niveaux, écosystèmes, espèces et génétiques (gènes contenus dans les espèces).

La biodiversité évolue au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs liés à la nature et à l'être humain, des espèces (arbres, animaux...) peuvent apparaître, disparaître

ou se modifier. Lorsqu'une espèce disparaît, la biodiversité diminue. Des modifications importantes des conditions du milieu (changements climatiques...) peuvent conduire à la modification de la biodiversité et faire disparaître ou apparaître certaines espèces.

Elle évolue également sous l'effet de l'homme qui pourra préserver cette biodiversité, en créant des microhabitats, en préservant certaines forêts, en plantant certains arbres dans des milieux adaptés... L'Homme peut également dégrader cette biodiversité en pratiquant la déforestation, la surpêche, en utilisant certains pesticides... La biodiversité peut être mise à mal pour l'Homme, dans l'activité suivante nous allons essayer de voir comment celle-ci va naturellement évoluer dans le temps sans intervention.

-----FIN DE LA PREMIERE PARTIE-----

DEUXIEME PARTIE : ET APRES UNE COUPE RASE DE LA FORÊT ?

La forêt que tu as étudiée dans la première partie a été coupée par les forestiers pour utiliser le bois. Il ne reste que quelques arbres.

1. Etat des lieux après coupe

Observe l'image de cette forêt après la coupe.



Selon toi, la biodiversité

- n'a pas changé
- a changé
- a augmenté
- a diminué

A quoi le vois-tu ?

.....

.....

.....

.....

.....

2. Evolution de cette forêt dans le temps

Le maire de la commune se dit qu'il n'est pas utile de replanter. Il propose de laisser faire la nature et d'observer le résultat. Il veut retrouver une forêt avec la plus grande biodiversité possible.

Imagine que l'on avance dans le temps de 1 an.

Selon toi quels changements pourrais-tu observer ?

.....

.....

.....
.....
.....

Dans cette forêt, la biodiversité

- a augmenté
- a diminué
- n'a pas changé

Imagine maintenant que l'on avance dans le temps de 20 ans.

A l'aide de la 3^e ligne (« 20 ans après la plantation ») du tableau page 9 et de tes connaissances. Selon toi quels changements pourrais-tu observer ?

.....
.....
.....
.....
.....

Imagine maintenant que l'on avance dans le temps de encore 80 ans. Nous observons alors la forêt 100 ans après la coupe.

A l'aide de la 4^e ligne (« 100 ans après la plantation ») du tableau page 9 et de tes connaissances. Selon toi quels changements pourrais-tu observer ?

.....
.....
.....
.....
.....

Selon toi, quelles sont les transformations de la forêt les plus importantes qui se sont produites au cours des 80 dernières années ?

.....
.....
.....
.....
.....

Dans cette forêt, la biodiversité

- a augmenté
- a diminué
- n'a pas changé

Explique ce qui selon toi a fait varier la biodiversité

.....

.....

.....

.....

BILAN GLOBAL SUR LA BIODIVERSITE DE CETTE FORÊT

D'après ton étude, (parties I et II) récapitule tous les éléments qui interviennent sur la biodiversité dans une forêt.

.....

.....

.....

.....

Compare la forêt 100 ans après la coupe avec la forêt de départ. Dans quelle forêt la biodiversité est-elle la plus importante ?

.....

.....

.....

.....

NOMBRE	TOTAL des arbres	Aulne (Au)	Charme (Ch)	Frêne (Fr)	Tilleul (Ti)	Orme (Or)	Erable (Er)	Hêtre (He)	Epicéa (Ep)	Chêne (Cn)
Forêt de départ	226	14	3	49	13	13	30	71	0	33
Juste après la coupe rase	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1 an après la coupe	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11
20 ans après la coupe	60	8	1	14	2	1	16	5	3	10
50ans après la coupe	294	219	9	52	13	16	31	57	21	74
100 ans après la coupe	317	24	13	53	8	20	32	70	25	72

Guide de l'activité avec EVE pour les groupes EVE cours Magistral et EVE Feed-back

Le guide ci-dessous a été remis sous forme papier et expliqué aux élèves des groupes EVE cours magistral et EVE Feed back avant le début des activités avec l'EVE.

NOM :

Prénom :

Classe :

Etude de la biodiversité dans d'une forêt Utilisation du simulateur Silva Numerica	
--	--

PREMIERE PARTIE : DECOUVERTE DE LA FORÊT

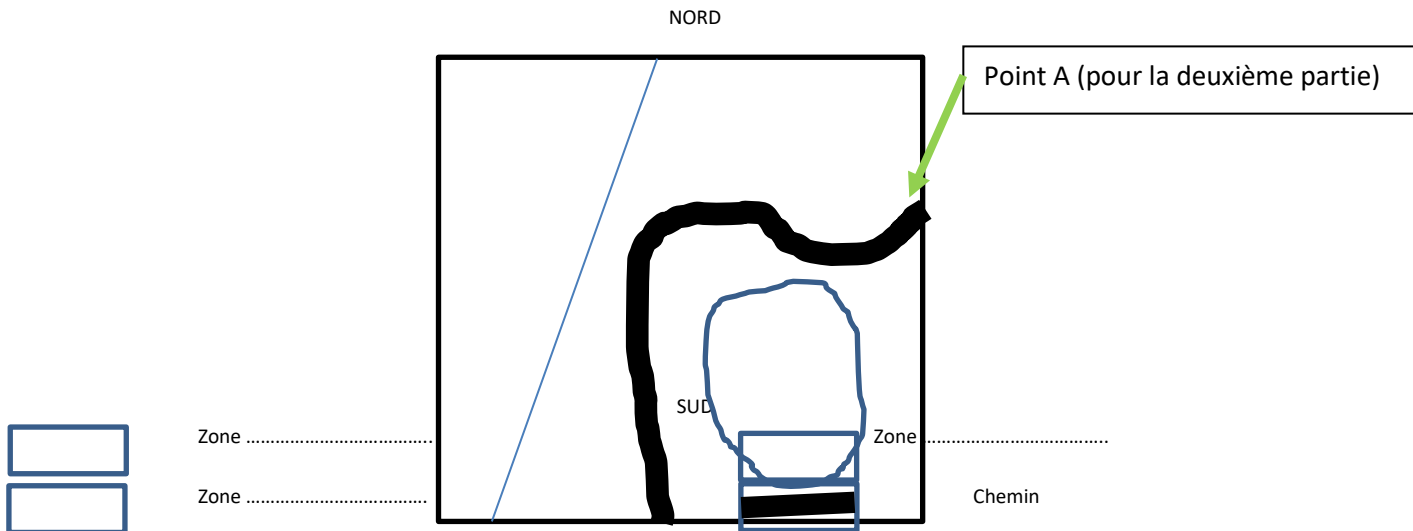
Scénario c4_biodiversite_decouverte_de_le_foret_mai2021_cuijer

La forêt que tu vas découvrir est âgée de 200 ans. Elle est constituée de différentes zones. Cette première partie est une découverte de cette forêt.

1. Exploration libre

Dans un premier temps, promène-toi dans les différentes zones de la forêt et repère les différentes zones : la zone humide (autour de la mare), la zone plate, une zone en pente (appelée zone de « montagne »).

Sur le schéma suivant, place ces différentes zones en utilisant une couleur différente pour chaque zone.



2. Découverte des végétaux vivant dans cette forêt

Parcoure cette forêt et trouve au moins 5 arbres, 5 arbustes (ou buissons) et 3 plantes herbacées différentes. Indique pour chaque espèce dans quelle zone tu l'as trouvée

Remplis le tableau suivant

Liste des végétaux rencontrés dans la forêt	
nom du Végétal	Zone dans laquelle il pousse
Arbres	
Arbustes, buissons	
Plantes herbacées	

D'après toi, la diversité des espèces végétales dans cette forêt est

Faible

Moyenne

Elevée

Explique ta réponse.

.....

.....

Etude de 4 espèces d'arbres

On s'intéresse à la répartition de 4 espèces d'arbres : l'aulne, le frêne, l'orme, le chêne.

On veut déterminer comment sont répartis ces arbres dans la forêt.

2.1. Indique le nombre de chaque type d'arbre dans les zones de la forêt

Tu peux trouver les indications sur la répartition des espèces d'arbres dans le panneau de propriétés (Inventaire).

Attention à bien sélectionner l'espèce d'arbre et la zone (plaine, humide ou « montagne »).

Répartition des arbres dans la forêt

	TOTAL	zone humide = zone avec la mare	zone plaine = zone plate	zone « montagne » = zone en pente
aulne (Au)				
frêne (Fr)				
orme (Or)				
chêne (Cn)				

2.2. Indique la répartition des arbres dans cette forêt

L'aulne est présent

- Dans la zone de plaine
 Dans la zone humide
 Dans la zone de « montagne »

Le frêne est un arbre qui pousse

- Dans la zone de plaine
 Dans la zone humide
 Dans la zone de « montagne »

L'orme est un arbre qui pousse

- Dans la zone de plaine
 Dans la zone humide
 Dans la zone de « montagne »

Le chêne est un arbre qui pousse

- Dans la zone de plaine
 Dans la zone humide
 Dans la zone de « montagne »

2.3. Qu'observes-tu sur cette répartition ?

.....

.....

Propose une ou des hypothèse(s) pour expliquer la répartition des arbres dans la forêt.

.....

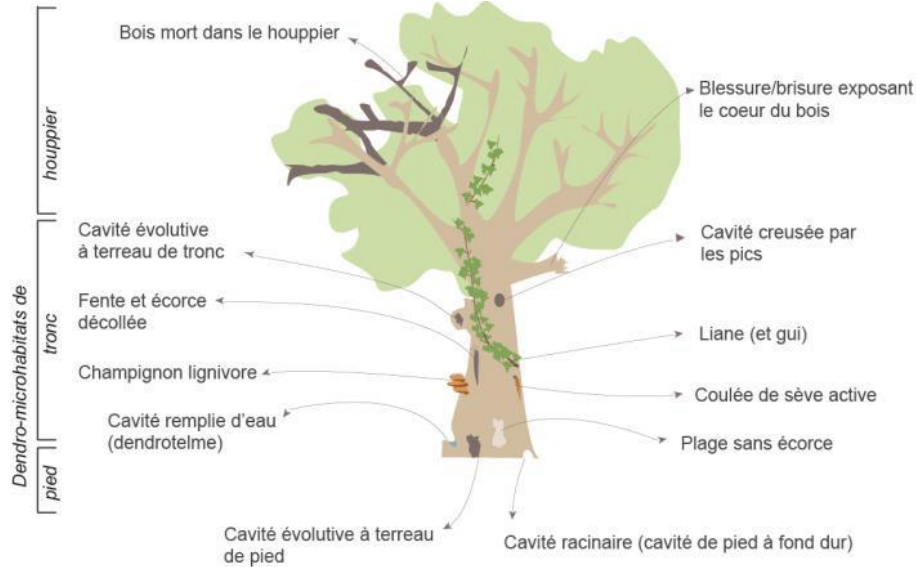
.....

.....

.....

3. Découverte des micro-habitats

Le document ci-dessous présente des endroits qui peuvent être des micro-habitats pouvant exister dans cette forêt.



Dans les Ressources de Silva Numerica, tu peux cliquer sur le fichier « micro-habitats » pour avoir plus d'informations.

3.1. Recherche des micro-habitats dans la forêt.

Présente deux micro-habitats que tu as observés

Pour chaque micro-habitat, précise sur quelle espèce d'arbre tu l'as observé. Indique quels animaux (êtres vivants) peuvent être présents ? quel est l'intérêt pour eux ?

.....

.....

3.2. Dans une forêt, les micro-habitats sont importants parce que

- On y trouve des animaux, des végétaux
- On y trouve souvent des êtres vivants microscopiques
- Ils participent à la biodiversité
- Ils participent à la croissance des arbres

4. La biodiversité dans cette forêt

4.1. En utilisant l'Inventaire dans le panneau des propriétés, relève le nombre total d'arbres présents dans cette forêt.

Remplir le tableau d'inventaire de la page 8 (Première Ligne)

4.2. D'après tes observations, comment apparaît la biodiversité dans cette forêt ?

<input type="checkbox"/> Il y a des arbres, des arbustes et buissons et des plantes herbacées	<input type="checkbox"/> Il n'y a pas de milieux de vie différents
<input type="checkbox"/> Il y a plusieurs espèces de végétaux	<input type="checkbox"/> Il n'y a pas de chênes près de la mare
<input type="checkbox"/> Il y a des micro-habitats	<input type="checkbox"/> Il y a des épicéas dans la zone de plaine
<input type="checkbox"/> Il y a une mare	<input type="checkbox"/> Il y a des relations entre les êtres vivants
	<input type="checkbox"/> Il y a des milieux de vie différents

Tu viens de découvrir une forêt dans laquelle tu as pu repérer 3 zones différentes, dans laquelle vivent des végétaux d'espèces et de tailles différentes et qui est aussi le lieu de vie de nombreux autres êtres vivants : animaux ,champignons ...

-----FIN DE LA PREMIERE PARTIE -----

**DEUXIEME PARTIE :
ET APRES UNE COUPE RASE DE LA FORÊT ?**

Scénario c4_environment_tempeete_strategie_mai2021_cuijer

La forêt que tu as étudiée dans la première partie a été coupée par les forestiers pour utiliser le bois.
Il ne reste que quelques arbres.

1. Etat des lieux après coupe

Promène-toi dans cette forêt après la coupe et observe-la.

Selon toi, la biodiversité

- n'a pas changé
- a changé
- a augmenté
- a diminué

A quoi le vois-tu ?

.....

.....

.....

Remplis le tableau de l'inventaire de la page 8 (deuxième ligne)

Complète le tableau « Bilan d'étapes » : Etape 0 page 8

2. Evolution de cette forêt dans le temps

Le maire de la commune se dit qu'il n'est pas utile de replanter. Il propose de laisser faire la nature et d'observer le résultat. Il veut retrouver une forêt avec la plus grande biodiversité possible.

Silva Numerica va nous permettre d'observer l'évolution de la forêt au cours du temps.

A l'aide du plan de la page 1, positionne-toi à l'entrée du chemin au point A en regardant vers l'ouest.

2.1. Etape 1

- 🕒 Avance dans le temps de 1 an
- 📝 Note sur les lignes ci-dessous les changements que tu as observés au cours de cette année.

.....

.....

Complète le tableau « inventaire des arbres » (étape 1, 1 an après la coupe)

- 🕒 Déplace-toi dans la forêt et observe autour de toi. Complète le tableau « Bilan d'étapes » page 8
- 📝 Dans cette forêt, la biodiversité
 - n'a pas changé
 - a changé
 - a augmenté
 - a diminué

2.2. Etape 2

- 🕒 Avance dans le temps de 19 ans (la forêt a 20 ans)
- 📝 Note sur les lignes ci-dessous les changements que tu as observés au cours de ces années.

.....

.....

.....

- ✦ Complète le tableau « inventaire des arbres » (étape 2, 20 ans après la coupe)
- ✦ Déplace-toi dans la forêt et observe autour de toi. Complète le tableau « Bilan d'étapes » page ...
- ✦ Dans cette forêt, la biodiversité
 - n'a pas changé
 - a changé
 - a augmenté
 - a diminué

2.3. Etape 3

- ✦ Avance dans le temps de 30 ans (la forêt a 50 ans)
- ✦ Note sur les lignes ci-dessous les changements que tu as observés au cours de ces années.

.....

.....

.....

- ✦ Complète le tableau « inventaire des arbres » (étape 3, 50 ans après la coupe)
- ✦ Déplace-toi dans la forêt et observe autour de toi. Complète le tableau « Bilan d'étapes » page 8
- ✦ Dans cette forêt, la biodiversité
 - n'a pas changé
 - a changé
 - a augmenté
 - a diminué

2.4. Etape 4

- ✦ Avance dans le temps de 50 ans (la forêt a 100 ans)
- ✦ Note sur les lignes ci-dessous les changements que tu as observés au cours de ces années.

.....

.....

.....

- ✦ Complète le tableau « inventaire des arbres » (étape 4, 100 ans après la coupe)
- ✦ Déplace-toi dans la forêt et observe autour de toi. Complète le tableau « Bilan d'étapes » page 8
- ✦ Dans cette forêt, la biodiversité
 - n'a pas changé
 - a changé
 - a augmenté
 - a diminué

BILAN GLOBAL SUR LA BIODIVERSITE DE CETTE FORÊT

D'après ton étude, (parties I et II) récapitule tous les éléments qui interviennent sur la biodiversité dans une forêt.

.....

.....

.....

La forêt a-t-elle retrouvé sa biodiversité de départ après 100 ans ?

Justifie ta réponse

.....

.....

.....

Tableau de l'inventaire des arbres de la forêt à différentes étapes

NOMBRE	TOTAL des arbres	Aulne (Au)	Charme (Ch)	Frêne (Fr)	Tilleul (Ti)	Orme (Or)	Erable (Er)	Hêtre (He)	Epicéa (Ep)	Chêne (Cn)
Forêt de départ										
Etape 0 Juste après la coupe										
Etape 1 1 an après la coupe										
Etape 2 20 ans après la coupe										
Etape 3 50ans après la coupe										
Etape 4 100 ans après la coupe										

Bilan d'étapes

	Etape 0	Etape 1 (+ 1 an)	Etape 2 (+ 19 ans)	Etape 3 (+ 30 ans)	Etape 4 (+ 50 ans)
	La forêt a été coupée	La forêt a 1 an	La forêt a 20 ans	La forêt a 50 ans	La forêt a 100 ans
Arbres et buissons					
. Les arbres sont présents, mais très espacés les uns des autres					
. Les arbres sont présents, mais très rapprochés					
. Les buissons sont présents, mais en petite quantité					
. Les buissons sont présents, en grande quantité					
Plantes herbacées					
. Le sol n'est pas recouvert de plantes herbacées					
. Le sol est recouvert de quelques petites taches de plantes herbacées					
. Le sol est recouvert de grandes taches de plantes herbacées					
Croissance des arbres *					
. Les arbres ont grandi (hauteur plus importante)					
. Les arbres ont grossi (tronc de plus grand diamètre)					
Lumière au sol					
. Il y a beaucoup de lumière au sol (plus de 4 « taches »)					
. Il y a peu de lumière au sol (-3 ou 4 "taches")					
. Il y a très peu de lumière au sol (1 ou 2 "taches")					
Souches					
. Les souches (restes des arbres coupés) sont visibles sur le sol					
. Les souches (restes des arbres coupés) ne sont pas visibles sur le sol					
Micro-habitats					

* **Outils** : Tu peux sélectionner 1 ou 2 arbres à chaque étape pour vérifier si sa hauteur et son diamètre ont changé et voir s'il y a des micro-habitats

Questionnaire des pré et post-test

Comment pousse la forêt ?

Ce petit questionnaire n'est pas un contrôle et ne sera pas noté.

Nous sommes des chercheurs et nous étudions comment des élèves et des adultes apprennent. Nous vous faisons participer à cet exercice qui fait partie du projet de recherche « Silva Numerica », dans lequel nous essayons de comprendre comment un logiciel peut aider à faire apprendre la forêt.

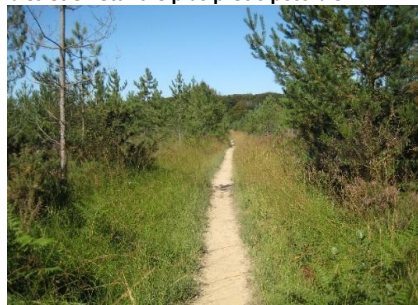
Avec ce questionnaire, nous voulons voir ce que vous savez déjà concernant la forêt. Cela nous aidera à construire le logiciel.

Nous vous remercions d'accepter nous aider dans notre travail de recherche.

Bon questionnaire !

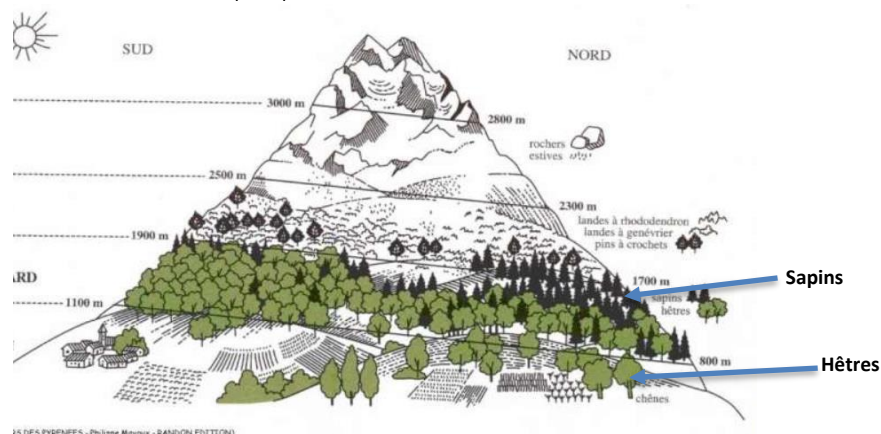
Réponds aux questions suivantes de la manière la plus complète possible

1. Cite **tout ce qui est nécessaire, selon toi, pour qu'un jeune arbre pousse normalement.**
2. Selon toi, pourquoi, dans la forêt, **il n'y a pas d'arbre qui pousse sur les chemins** comme le montre la photo ? **Donnes toutes les explications qui te semblent possibles et en étant le plus précis possible.**



Si personne ne passe sur ce chemin pendant 20 ans, selon toi, qu'est-ce qui va se passer ? Comment l'expliques-tu ? (**Donnes toutes les explications qui te semblent possibles et en étant le plus précis possible**)

3. En me promenant dans une forêt, j'ai observé qu'il y avait **différentes espèces d'arbres selon l'endroit** de la forêt où je me trouvais. **Cites toutes les raisons qui pourraient expliquer cela selon toi.**
4. Cite **tout ce qui peut, selon toi, ralentir la vitesse à laquelle un arbre pousse.** Précise à chaque fois que tu le peux **pour quelle(s) raison(s) cela ralentit sa croissance.**
5. Comme le montre le dessin ci-dessous, j'ai grimpé sur le côté nord d'une montagne, j'ai vu des hêtres en bas, mais je n'en ai plus vu au-dessus de 1600 mètres. A ton avis, pourquoi ?



6. Le propriétaire d'une forêt a coupé tous les arbres pour vendre le bois : il y avait des hêtres, des chênes, des frênes et quelques épicéas. Il a laissé toutes les souches des arbres.
Si je reviens au même endroit au bout de 100 ans **que seront devenues les souches des arbres coupés ? Explique aussi précisément que possible ce qui s'est passé.**

A cet endroit, il n'a pas replanté d'arbres. **Qu'observera-t-il après 100 ans ?** (coche la ou les bonnes réponses)

- Il y aura un champ d'herbe
- Il n'y aura que les souches des arbres
- Il n'y aura que des grands chênes
- Il y aura des buissons et des ronces partout
- Il y aura un sol sans végétation
- Il y aura de grands arbres
- Il y aura les mêmes espèces d'arbres qu'avant la coupe

7. Lis attentivement les affirmations suivantes et entoure « oui » si elle te semble juste et « non » si elle te semble fautive.

Les arbres de deux espèces différentes poussent à la même vitesse	oui	non
Les petits arbustes peuvent gêner la croissance des graines des arbres	oui	non
Les arbres d'une même espèce poussent à la même vitesse quel que soit l'endroit où ils se trouvent	oui	non
Le milieu de vie d'un arbre est constitué de tous les éléments présents à l'endroit où il vit	oui	non
Dans une forêt âgée, il n'y a plus d'herbe au sol parce qu'elles n'ont pas d'eau pour pousser	oui	non
Dans une forêt, les arbres des différentes espèces peuvent pousser à n'importe quel endroit	oui	non
Quand il pousse, un arbre transforme le sol et le climat de l'endroit où il vit et modifie la croissance des autres végétaux vivant à proximité	oui	non
Si on coupe tous les arbres d'une forêt et qu'on replante 200 arbres à cet endroit, après 100 ans, si l'homme n'intervient pas, on obtiendra une forêt avec 200 arbres	oui	non
Dans une forêt, tous les arbres partagent le même milieu	oui	non
Dans une forêt âgée, les grands arbres font de l'ombre aux plus petits et les empêchent de pousser	oui	non
Le milieu de vie d'un arbre est constitué des éléments présents à l'endroit où il vit qui correspondent à ce dont il a besoin pour pousser	oui	non
Dans une forêt âgée, il n'y a plus d'herbes au sol parce qu'elles n'ont pas de lumière pour pousser	oui	non
Dans une forêt, un arbre qui tombe au sol finit par disparaître après 100 ans	oui	non
Dans le Jura, il n'y a pas les mêmes espèces d'arbres dans les vallées et sur les pentes des montagnes parce que le taux d'oxygène n'est pas le même	oui	non
Lorsque l'homme n'intervient pas dans une forêt les espèces d'arbres ne changent jamais	oui	non