

Acte du colloque *Curriculum et ODD*, Montpellier avril 2018

Concevoir un environnement virtuel éducatif : quelles spécifications didactiques pour faire apprendre la complexité de la gestion durable de la forêt ?

Fanny Chrétien, Dominique Guidoni-Stoltz et Anaïs Loizon*

* UBFC/Agrosup Dijon/Eduter Recherche/UP DPF

La gestion forestière est un domaine qui concerne un grand nombre d'acteurs. Elle se pense et se pratique à des échelles spatiales diverses et sur des échelles temporelles longues. Elle constitue un enjeu de développement durable majeure puisque les forêts, selon leur forme de gestion, représentent un potentiel environnemental élevé par les fonctions qu'elles peuvent remplir de captation de carbone, de régulation de la ressource en eau et de maintien et développement de la biodiversité spécifique, génétique et fonctionnelle. Par ailleurs, la forêt se caractérise par une grande diversité d'êtres vivants et évolue selon de multiples variables combinées, anthropiques et spontanées. Les forêts, par leur nature écosystémique mais aussi parce qu'elles sont des espaces de vie et de travail, sont des environnements dynamiques qui réagissent sur des temps allant bien au-delà de ceux dans lesquels se déploient les actions humaines immédiates (Samurçay & Rogalski, 1995). Monde vivant, évolutif, réseau d'interactions multiples, dynamiques non linéaires, incertitude, imprédictibilité, font de la forêt un objet du monde complexe à saisir par les élèves comme par les professionnels forestiers. Penser et agir dans la forêt relève d'une pensée complexe (Guespin-Michel, 2015) chère à Edgar Morin (1982) laquelle doit « respecter la multidimensionnalité des êtres et des choses » (p. 305). En cela, l'éducation à la forêt et la formation à la gestion forestière dans une perspective de développement durable présente un enjeu fort de consolidation par les apprenants de savoirs robustes (Martinand, 2007) sur le comportement des écosystèmes forestiers mais aussi sur le développement d'une pensée aux exigences cognitives de haut niveau.

D'un point de vue éducatif, le projet Silva Numerica¹ s'intéresse aux apprentissages scolaires et professionnels relatifs à l'écosystème forestier et sa gestion durable, ainsi qu'aux curriculums associés, pour des niveaux scolaires différents (collège, lycée (bac pro), BTS). Le projet cherche notamment à investiguer la conception et l'usage d'un environnement virtuel éducatif (EVE) dans la perspective d'enrichir l'outillage didactique et pédagogique des enseignants, des formateurs, et des établissements professionnels pour former de futurs forestiers, gestionnaires et citoyens à la compréhension et à la maîtrise des enjeux de durabilité forestière.

¹ SILVA NUMERICA est un projet lauréat de l'appel à projet « programme investissement d'avenir », volet « espaces de formation, de recherche et d'animation numérique » (e-FRAN). Il vise la conception d'une plateforme numérique simulant un environnement forestier de réalité virtuelle intégrant une perspective de développement durable et pouvant accueillir différents modules d'apprentissages à l'adresse d'élèves de l'enseignement général et professionnel.

Penser le complexe nécessite d'adopter plusieurs angles de vue. Aussi, différentes investigations sont-elles menées dans ce projet et visent à être articulées pour répondre à la question universelle de l'éducation à la forêt avec une perspective pluridisciplinaire : développement d'une pensée du complexe pour penser et agir avec le vivant, stratégies et apprentissages cognitifs développés dans et par l'usage de l'EVE, activités collectives de conception continuée dans l'usage, médiatisation et scénarisation pédagogique comprenant la mobilisation de l'EVE, didactique de la durabilité, etc. Un travail de réflexion autour de la place et de la forme d'une telle plateforme modélisatrice d'une diversité de raisonnements et d'actions possibles, dans les différents curriculums scolaires et professionnels est en cours avec les équipes pédagogiques impliquées. Plus globalement, au cours du projet, des tests pédagogiques seront mis en place pour évaluer les activités d'usage par les apprenants et leurs effets sur les apprentissages (Tricot & Lafontaine, 2002; Tricot *et al.*, 2003) qu'il s'agira de replacer dans une pensée du curriculum (Martinand, 2003; Métral, 2017). Notre étude entend contribuer aux réflexions actuelles sur les potentialités éducatives du numérique en formation professionnelle, et à l'enjeu d'apprendre à travailler avec le vivant dans une perspective de durabilité.

L'étude s'inscrit dans un dispositif d'intervention-recherche mis en œuvre avec des professionnels forestiers, des enseignants du secondaire et de la formation professionnelle.

Nous proposons ici de présenter les résultats de cette première enquête exploratoire en trois temps :

Dans une perspective de didactique professionnelle (Pastré, Mayen, & Vergnaud, 2006) un premier temps de recherche a été consacré à l'analyse du travail de forestiers afin de dégager les compétences emblématiques et critiques du métier, et en particulier les organisateurs de l'activité de diagnostic du peuplement sur une parcelle forestière.

Une deuxième phase de travail avec les enseignants et formateurs professionnels a visé le partage et l'analyse didactique de situations d'enseignement-apprentissage relatives à l'écosystème forestier et à sa gestion. Elle a permis de travailler les concepts, objets et situations de gestion de la forêt qui présentent, à leurs yeux, des difficultés d'apprentissage, des compétences critiques et/ou concentrent des enjeux notionnels importants, pour la conception d'une ressource de formation (Boccaro & Delgoulet, 2015).

A partir de ce recueil, des spécifications destinées à modéliser le développement d'un écosystème forestier ont été proposées et soumises à discussion.

1. Objets de recherche et démarche d'investigation

Dans le projet Silva Numerica, notre équipe de recherche en sciences de l'éducation cherche à répondre à la question du rôle d'une plateforme numérique dans les apprentissages et des conditions d'usage qui rendraient cet artefact utilisable et utile à ces mêmes apprentissages.. Cette question s'adresse parallèlement au collectif concepteur dans lequel les chercheurs adoptent parfois une posture

d'expert sur les questions éducatives, ou participent à l'animation d'une ingénierie de conception participative.

A partir des différentes méthodes de recueil mises en œuvre lors de la phase exploratoire du projet (de janvier à juillet 2017) auprès de professionnels de la forêt (forestiers et gestionnaires), de formateurs et d'enseignants l'équipe de recherche avait pour premier objectif d'identifier les enjeux majeurs du projet d'enseignement et d'apprentissage de la forêt, avec la contrainte importante de formuler le plus petit dénominateur commun aux différents niveaux de formation (du collège à l'enseignement professionnel). Cet exercice a supposé de réaliser un certain nombre de choix prenant en compte, d'une part, l'articulation entre les attentes spécifiques des établissements et les orientations génériques portées par les enjeux didactiques communs, et, d'autre part, une projection réaliste, bien qu'encore imprécise, des potentialités numériques d'un EVE à concevoir pour l'entreprise de ce projet d'enseignement-apprentissage. A cette fin, nous avons formulé trois questions de recherche inter-reliées.

- Quelles spécificités de l'environnement forestier en tant que milieu vivant doivent-elles être travaillées avec l'EVE, au regard des activités qui s'y déroulent et des dimensions sociales, écologiques, économiques qui lui sont rattachées ?
- Dans une perspective de didactique curriculaire, quelles sont les dimensions critiques de l'apprentissage du milieu forestier et de sa gestion qui devront être ciblées pour faire les choix d'implémentation les plus favorables aux processus d'enseignement - apprentissage?
- Quels savoirs devraient être traités pour favoriser la compréhension des enjeux environnementaux et de développement durable ?

Ces trois questions renvoient à l'hypothèse selon laquelle l'outil numérique n'est pas apprenant en soit, surtout s'il n'est pas pensé dans une scénarisation pédagogique qui intègre des objectifs d'apprentissage, des conditions de mise en activité des apprenants, des niveaux scolaires et de conceptualisation, et des moyens de formation. Aussi, elles interrogent le potentiel et à la plus-value pédagogique de l'EVE par rapport à d'autres modalités d'enseignement (présentiel, utilisation multiple des visites de terrain, etc.). Enfin, ces questions interrogent directement les processus de conception d'outils du numérique éducatif. Si l'on considère les technologies numériques éducatives comme des instruments de médiatisation des savoirs, des artefacts dont les utilisateurs (enseignants, formateurs, apprenants) peuvent faire usage, c'est-à-dire les mettre à leur main pour enseigner/apprendre, il est crucial de penser leur conception avec les futurs utilisateurs mais de penser aussi l'association des futurs utilisateurs à la conception (Nielsen, 1993; OCDE, 2015; Tricot et al., 2003). Prendre en compte les usages potentiels et les contraintes d'usages visent aussi à mieux comprendre ce qu'à terme ces instruments contribuent à développer ou non. De nombreux travaux de recherche à visée heuristique mais aussi praxéologique se sont intéressés à ce processus d'appropriation d'un outil, à cette « genèse instrumentale » en analysant l'activité d'enseignement-apprentissage en vue de concevoir des

ressources didactiques (par exemple (Baron, Guin, & Trouche, 2007; Goigoux & Cèbe, 2009). Les chercheurs concluent à la nécessité de prendre en compte dans, au cours de la conception, les contenus en jeu, les conditions d'apprentissage, les caractéristiques des apprenants, le curriculum, les scénarios d'usage potentiels de la ressource didactique, les genèses instrumentales (Rabardel, 1995) impliquant nécessairement les usagers dans la conception. Cela nécessite de partir des préoccupations des praticiens, d'adopter un processus de conception participatif et itératif, que nous qualifions de processus de « conception continuée dans l'usage » (Béguin & Cerf, 2004; Olry & Vidal-Gomel, 2011).

C'est avec la préoccupation de tenir compte de ces variétés de cibles et formations professionnelles qu'a été conduite l'investigation d'une conception coopérative de l'EVE. Une des questions sous-jacentes à ce processus de conception dite « centrée utilisateur » est de déterminer quels seront les utilisateurs, afin d'envisager à la fois les co-concepteurs et les contenus d'enseignement-apprentissage adéquats relativement aux formations et professions visées par celles-ci.

Le contenu des apprentissages à travailler avec les apprenants étant à la fois circonscrit au domaine de la forêt, et très divers en fonction du point de vue adopté pour l'aborder (la forêt pouvant être objet ou support d'apprentissage de concepts disciplinaires divers), la démarche a d'abord exigé non seulement une acculturation aux notions en jeu (séminaire scientifique, lectures, séminaire pédagogique et interventions auprès des formateurs et des enseignants), mais également une identification des usages possibles d'un EVE dans le cadre des divers curriculums et contextes de formation actuels.

2. Les exigences cognitives liées à la gestion durable de la forêt

Nous présentons dans cette partie les résultats principaux de l'analyse du travail des forestiers en précisant ce qui entre en jeu dans la mise en œuvre d'une gestion durable de la forêt. Notre analyse montre que celle-ci requiert des exigences cognitives de haut niveau, notamment parce qu'elle exige de comprendre les processus du vivant dans la complexité des interactions biotiques et abiotiques, pour les accompagner, voire les valoriser, pour répondre aux multiples fonctions de la forêt (MAAF IGN, 2016) (protection des ressources naturelles, production de biens et de services, maintien et régénération des ressources en bois et carbone de qualité sur le temps long, bien-être des populations, hébergements d'une diversité d'espèces, de services écologiques, régulations de flux, etc.). Autrement dit, *« mettre en pratique le concept de gestion durable de la forêt dans une unité d'aménagement forestier donnée est astreignant parce que cela requiert de déterminer et tenter d'atteindre des objectifs (souvent multiples) dans un milieu caractérisé par des parties prenantes diversifiées, dans des conditions environnementales, économiques et sociales dynamiques, et avec des connaissances imparfaites en matière d'écologie. La gestion durable de la forêt devient encore plus complexe lorsqu'elle est menée à l'échelle supérieure du paysage, de la région ou du pays. »* (Sarre & Sabogal, 2013). La complexité de la gestion durable de la forêt réside donc non seulement dans la multiplicité

des variables, des savoirs, des fonctions et des échelles de temps et d'espace à prendre en compte mais également dans les modes d'organisation des acteurs impliqués à différents niveaux de gestion ainsi que dans les conditions de faisabilité d'une gouvernance démocratique.

Au niveau des forestiers professionnels, cette ambition se traduit par une prescription qui s'appuie sur l'élaboration de scénarios de conduite de parcelles à soumettre aux propriétaires. La tâche qu'ils se donnent répond à un ensemble de buts et de sous-buts hiérarchisés selon les préoccupations des acteurs, leurs capacités à répondre aux objectifs fixés, à gérer les contraintes et dilemmes, et suivant les contextes de réalisation technique (garantir une rentabilité de la forêt, suivre l'état du peuplement et les relations entre essences, notamment en termes de biodiversité, s'assurer de la santé sanitaire de ce peuplement et de son développement quantitatif et qualitatif dans une perspective de durabilité, mener des actions préventives et correctives pour assurer la conservation des essences intéressantes, informer le propriétaire des éléments des décisions à prendre en délais, en conditions, en volumes tout en respectant ses objectifs et la réglementation en cours, etc.). Pour ce faire le forestier doit répondre d'un certain nombre de compétences professionnelles dont celle d'élaboration d'un diagnostic forestier, qui est au cœur des enjeux de gestion durable. Cette compétence requiert du forestier qu'il soit capable de comprendre comment fonctionne la parcelle, entendue comme écosystème interdépendant avec un territoire, d'apprécier l'état de l'ensemble du peuplement en repérant les volumes et dispositions des diverses essences (et notamment précieuses, nobles...) leur densité et leur répartition sur la parcelle, et de repérer dans cet ensemble les essences objectifs (présentant les qualités commerciales optimales, mais également des facilités de régénération ultérieure) et les arbres d'avenir. Le diagnostic forestier suppose d'autre part d'identifier les essences rares pour privilégier la diversité écologique et les essences indésirables entravant le développement de celles à conserver, mais aussi de diagnostiquer les états de sécheresse, maladies, défauts et risques, dépréciant d'emblée la qualité du bois et donc la valeur de la parcelle et le cas échéant d'en inférer les causes. Enfin, en réalisant un diagnostic sur le peuplement, le forestier met en rapport ses observations de « terrain » avec des éléments de veille climatiques et sanitaires caractéristiques de l'environnement local. Par ailleurs, outre la prise en compte et la conciliation des données sociales et économique, le diagnostic prend une dimension encore plus complexe dès lors que l'on y ajoute, un but de piloter la biodiversité au sein de l'écosystème forestier (Gosselin & Paillet, 2017). La carte ci-dessous reflète la complexité de l'ensemble des variables prises en compte pour un tel diagnostic.

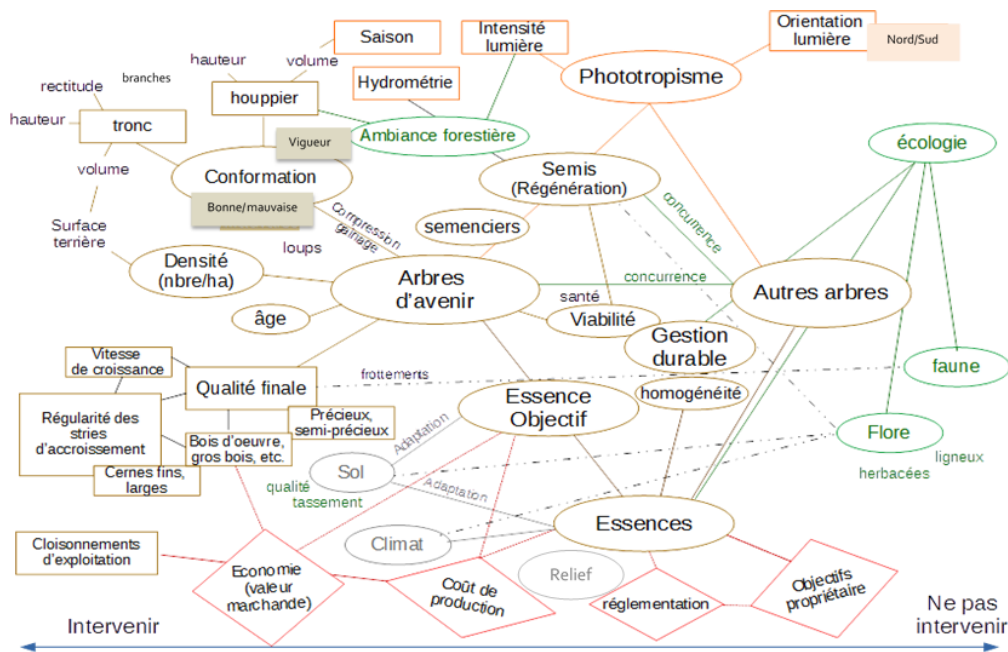


Figure 1: variables prises en compte dans le diagnostic d'une parcelle forestière

Ces exigences cognitives renvoient non seulement à l'articulation de connaissances épistémiques, disciplinaires et a-disciplinaires, dites pragmatiques, mais également à un ensemble d'opérations cognitives qui relèvent plus globalement d'une éducation à la durabilité et à la complexité. Parmi celles-ci, nous retenons ce qui semble toucher de façon fondamentale aux enjeux d'enseignement-apprentissage et que l'usage d'un EVE pourrait contribuer à développer :

- apprendre et consolider l'autonomie d'analyse,
- développer la construction de raisonnements systémiques intégrant un système de buts parfois contradictoires ou conflictuels,
- développer la capacité d'observer, d'interpréter et de faire évoluer ses représentations sur des processus et systèmes complexes (dont certains sont invisibles et inférés à partir de manifestations indirectes) en identifiant des configurations diverses de variables, en comparant des itinéraires sylvicoles divers situés sur des échelles de temps et d'espace variables,
- de projeter des scénarios d'évolution de la forêt, mobiliser (ou non) plus ou moins d'informations de natures différentes pour procéder au diagnostic.

3. Connaître les difficultés et les besoins d'apprentissage pour investiguer le potentiel éducatif d'un EVE

Notre objectif n'est pas ici de porter un regard expert sur les techniques de modélisation à codifier dans un premier prototype à tester mais d'explicitier les notions critiques et les obstacles épistémologiques que la conception continuée serait amenée à prendre en considération prioritairement, notamment pour pallier à des difficultés d'enseignement/apprentissage et constituer un

media efficace pour la compréhension des phénomènes et processus en jeu dans une gestion forestière intégrant les questions de DD.

La première phase du projet visait à établir les conditions d'une conception coopérative mais a aussi consisté à recueillir les difficultés d'apprentissage identifiées chez les apprenants par les formateurs et enseignants. A l'issue de cette enquête, nous résumons les principaux besoins que nous avons analysés dans les échanges et discours des équipes pédagogiques dans le tableau suivant :

Niveau de formation	Attentes et intérêt pour l'EVE (spécifique au niveau de formation)	Intérêt pédagogique projeté dans l'EVE	Activités cognitives associées
Collège	<p>Un support de visualisation dynamique des interactions entre espèces : diversité des espèces animales et végétales, notions de réseaux trophiques, de symbiose, y compris interactions de l'homme avec l'écosystème</p> <p>Support visuel permettant de se représenter des entités et processus invisibles (décomposition de la matière organique, composition des sols)</p> <p>Un support visuel des processus en jeu dans la photosynthèse</p>	<p>Faire varier les échelles spatiales et temporelles ainsi que différents éléments (par ex. les conditions physico-chimiques, l'exploitation forestière) pour illustrer des phénomènes liés à la compréhension du vivant et des écosystèmes ; donner à voir des éléments invisibles à l'œil nu.</p>	<p>Acquisition de connaissances sur la croissance des végétaux par l'étude des mécanismes de décomposition de la matière organique et de la photosynthèse.</p> <p>Compréhension des facteurs stimulateurs ou inhibiteurs de ces processus.</p> <p>Développement d'un raisonnement complexe (au-delà de la linéarité causale).</p>
Lycée	<p>Support de compréhension des entités d'un écosystème et des interactions entre elles (concurrence trophique, symbiose, etc.) ; apprentissage de la notion de biodiversité ; compréhension des impacts des actions humaines sur la forêt.</p> <p>Dégradation de la matière organique.</p>	<p>Représentation et manipulation de la diversité des interactions dans un écosystème.</p> <p>Visualisation des évolutions (des espèces) en fonctions de modifications des facteurs environnementaux (présence d'infrastructures écologiques ou non, impacts anthropiques sur les espèces mais aussi sur la fertilité des sols, etc.)</p>	<p>Compréhension de phénomènes écologiques et d'associations de phénomènes sur des échelles de temps et d'espace variées.</p> <p>Manipulation plus systématique d'outils de mesure.</p>
Bac Pro ; BP	<p>Modéliser la forêt pour faire apprendre des raisonnements en vue d'agir pour la production de bois</p> <p>Modéliser l'évolution d'une parcelle de façon à identifier les causes multiples de cette évolution.</p>	<p>Tester des actions humaines sur la forêt, accéder à un panel diversifié d'informations relatives à la parcelle à différents moments d'intervention sur la parcelle virtuelle.</p> <p>Structurer un chantier forestier.</p> <p>Réunir et fournir aux apprenants un ensemble de données nécessaires à la prise de décision de gestion.</p>	<p>Analyser les potentialités d'une parcelle forestière sur le plan économique (rendement, débouchés, gestion des coupes sur des pas de temps différents, durabilité de la production, prise en compte des coûts d'aménagement et du travail).</p> <p>Reconnaître les meilleures actions à mener à l'échelle de l'arbre en prenant en compte des paramètres globaux (niveau de la parcelle) → réaliser un diagnostic des potentialités à la fois des arbres, des ensembles d'arbres</p>

			et de la parcelle.
BTS	Modélisation du fonctionnement de l'écosystème forestier et mise en évidence des liens entre les différentes étapes sylvicoles sur le plan des implications pour le peuplement forestier.	Réunir et fournir aux apprenants un ensemble de données nécessaires à la prise de décision de gestion.	Articuler les différentes étapes d'intervention en forêt, comprendre la construction des meilleurs compromis pour une gestion globale (incluant les dimensions de durabilité et de biodiversité) de la forêt.

Certains objets d'enseignement tels que la photosynthèse, la vie des sols et la décomposition de la matière organique, sont des objets à connaître, constitués de mécanismes biologiques, biotiques et abiotiques, corrélés entre eux et formant des processus écologiques dont la complexité de représentation est relativement élevée. L'EVE est alors perçu par les enseignants qui souhaitent travailler ces objets comme une opportunité de simplifier et de rendre visible une part de cette complexité, et ainsi permettre de construire des représentations justes et stables chez les élèves. En revanche, cet enjeu n'est pas un enjeu d'apprentissage prioritaire pour les formations professionnelles. Même s'ils estiment ces connaissances très importantes, les formateurs référents du projet Silva Numerica ont exprimé un intérêt d'abord tourné vers la modélisation d'un peuplement sur lequel l'homme prévoit d'agir et d'exploiter le bois, avec ou sans prise en compte des fonctions écologiques associées à la forêt.

4. Une première configuration de spécifications de la plateforme Silva Numerica

De ces différentes préoccupations didactiques ressort néanmoins un dénominateur commun, ce que nous appelons « le cœur de la plateforme », qui est le besoin de comprendre le fonctionnement et l'évolution d'un peuplement forestier dans son environnement pédoclimatique immédiat. Nous sommes donc partis de là pour proposer une première configuration de spécifications auprès des partenaires du projet : auprès des développeurs pour qu'ils aient une meilleure idée des orientations numériques qu'ils seront amenés à développer, et auprès des formateurs et enseignants, experts des pratiques forestières et des pratiques enseignantes, au titre d'une validation.

Les premières spécifications ont donc été construites à partir des données de la phase exploratoire menée auprès des établissements et des experts sollicités, avec l'idée d'imaginer une représentation graphique illustrant les entités communes à prendre en compte dans la conception d'un premier prototype d'EVE. Cette représentation constitue avant tout une série d'hypothèses sur les éléments utiles aux apprentissages, d'une part, et codifiables dans un logiciel informatique d'autre part. Le caractère éducatif de l'environnement numérique à concevoir est ici instruit par les objets de compréhension à intégrer dans la plateforme mais sera largement à affiner dans les phases ultérieures de conception, laquelle sera continuée dans les tests d'usage menés à des fins d'enseignement-apprentissage. Au-delà des connaissances relatives aux déterminants du fonctionnement et de l'évolution d'un écosystème forestier (avec en première ligne celui du peuplement forestier qui s'y

trouve et y participe), les apprentissages visés et médiatisés dans l'usage du logiciel font référence à des activités cognitives d'autres ordres : analyser, se projeter, diagnostiquer pour décider, agir et repérer les résultats des actions menées, pour rectifier, ajuster, entrevoir une évolution potentielle, etc. Ces activités s'inscrivent dans un curriculum à construire avec les formateurs et les différents publics de formation, dans l'objectif d'optimiser l'agencement des outils et des méthodes pédagogiques à des fins d'apprentissages (professionnels ou scolaires). Par ailleurs, dans le scénario d'usage de l'EVE (qui sera lui-même inscrit dans le scénario didactique construit par les formateurs et enseignants), un certain nombre de fonctionnalités de l'interface numérique devront être pensées comme une traduction des besoins d'informations nécessaires aux utilisateurs pour nourrir des apprentissages en cours d'utilisation (ex : feed-back, retours en arrière avec historique, supervision de cas et seuils critiques par rapport à des risques d'évolution néfastes du peuplement, traces diverses mobilisables pour opérer des comparaisons et isoler des variables agissantes).

La simulation de l'écosystème forestier à partir de l'agrégation des dynamiques modélisées à l'échelle de l'arbre suppose de maîtriser une configuration très vaste de variables corrélées entre elles selon des mécanismes multiples. Cette représentation complexe a déjà fait l'objet de travaux de recherche ayant abouti à des outils logiciels de simulation (CAPSIS, SAMSARA par exemple). Silva Numerica n'a pas pour ambition d'enrichir les modèles actuels de simulation scientifiques. Le rôle de l'EVE est de fournir aux situations d'enseignement une ressource pour stimuler des apprentissages à la fois chez les élèves de collège et de lycée et auprès d'apprenants des formations professionnelles se destinant à des métiers de la forêt. Les scénarios de simulation (ou scénarios numériques) devraient donc être pensés en amont de la conception en réponse à des besoins pédagogiques et d'apprentissage identifiés chez les apprenants, par les équipes pédagogiques. Ces scénarios peuvent en revanche être développés en sélectionnant un nombre réduit de variables que l'on considère être les plus pertinentes pour permettre l'appréhension de certains phénomènes, et certaines interrelations entre phénomènes et actions humaines. Nous postulons en effet que l'usage didactique de l'EVE, notamment l'usage de scénarios intégrant des indicateurs de gestion durable de la forêt (multifonctionnalité, diversité biologique, etc...) est de nature à favoriser la compréhension des enjeux environnementaux et de DD dans le travail avec le vivant.

A partir de ces exigences, nous avons proposé de représenter les premières spécifications pour la conception sous forme d'une carte heuristique (**Figure 2** en Annexes). Nous représentons les objets constituant le cœur de ce qui est à apprendre en distinguant ce qui correspond, pour le futur prototype, à des variables d'entrée (des commandes à manipuler par l'utilisateur apprenant), des variables de sortie (dont la représentation doit permettre de repérer les mécanismes en cause dans l'obtention des résultats), et des processus calculés par le logiciel. Les calculs et fonctions de traitement de ces mécanismes sont pris en charge par le logiciel, donc invisibles à l'utilisateur à ce stade. Ils font pourtant partie des objets à comprendre et à apprendre (ex: compétition entre les espèces et effets sur

l'évolution de l'écosystème ; impacts des conditions physico-chimiques sur la croissance des arbres...). C'est pourquoi nous insistons sur l'importance de penser l'ergonomie pédagogique et cognitive de l'outil, en réfléchissant à la façon dont les modalités de paramétrage et la présentation des configurations de résultats dans la plateforme peuvent être susceptibles de faire construire par les apprenants les représentations des processus en jeu dans l'évolution du peuplement et des espèces présentes dans l'écosystème modélisé.

Le rôle du formateur et l'ingénierie pédagogique mise en œuvre joueront aussi une place centrale dans l'assimilation (comprendre) et l'accommodation (s'en servir pour gérer une nouvelle situation de diagnostic et de gestion) des notions travaillées à l'aide de l'EVE.

4.1. Focales sur des blocs de paramètres

La **figure 3** en Annexes représente un zoom sur les variables d'entrée qui déterminent les caractéristiques de la parcelle forestière. A gauche, sont représentées en bleu les variables d'entrée (représentées à plus grande échelle dans la figure suivante), c'est-à-dire ce qui sera à paramétrer pour constituer la parcelle (ou station) forestière de départ. Ce paramétrage est une activité dont il faudra explorer les modalités et les potentialités au cours de la phase de test, notamment par rapport à l'intérêt d'entreprendre cette activité pour les apprenants : peut-elle être considérée ou non comme une opportunité d'apprentissage ou, sera-t-elle surtout une activité assurée par l'enseignant/formateur dans une phase préalable à la mise en usage de l'EVE par les apprenants ?

Parmi les variables d'entrée, nous avons identifié quelques grandes catégories de données qui sont indispensables pour :

- 1) Simuler l'évolution d'un peuplement selon des facteurs qui semblent dominants, et corrélés entre eux (densité, hauteur, âge, taille du houppier et répartition de la lumière pénétrante, composition du peuplement, etc.) ;
- 2) Travailler certains indicateurs de diversité faunistique et floristique caractérisant l'écosystème forestier : pour le sous-sol (bactéries, champignons, lien avec la quantité de matière organique, l'épaisseur de la litière ou encore la structure pédologique du sol forestier) ; pour l'étage inférieur (herbacées, oiseaux, herbivores, arbustes, et régénération naturelle) ; pour les étages supérieurs (arbres) ;
- 3) Introduire des paramètres anthropiques dès le départ (tranchées, aménagement, bord des parcelles) pour travailler la gestion d'un chantier forestier et les différentes fonctionnalités de la forêt.

La **figure 4** en Annexes présente les processus impliqués dans la dynamique d'un écosystème forestier faisant l'objet d'un intérêt didactique selon les enseignants et formateurs et que les développeurs devront transposer sous forme d'algorithmes pris en charge dans le logiciel. Ils sont en ce sens une simplification des processus biologiques puisque ces processus ne sont pas pour l'instant corrélés entre eux. Cette simplification permet 1) de rendre possible le développement d'un prototype dans le temps

imparti, et 2) de concentrer les efforts de représentation sur des processus qui doivent être mis en évidence pour faciliter leur apprentissage.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, ces processus sont traduits dans la conception par des algorithmes intégrés au logiciel, invisibles à l'utilisateur, alors qu'ils sont au cœur des apprentissages visés. C'est pourquoi la suite de la conception prévoit de créer et de tester des formes de mise en trace de ces processus, correspondant à la fois à ce qu'il est réaliste de trouver dans le travail du forestier par exemple, et à ce qu'il est intéressant de faire travailler avec les apprenants dans une perspective de développement des compétences de diagnostic et de gestion d'une parcelle forestière ; et, pour les niveaux collège et lycée, ce qui permet de faciliter la construction de représentations sur les objets de l'écosystème forestier (indicateurs, marqueurs visuels, comparaison des états des parcelles, présence ou absence d'espèces, etc.).

Les données de sortie que l'on préconise de communiquer à l'utilisateur sont représentées sur la focale présentée en **figure 5** des Annexes. Elles catégorisent les informations que l'on souhaite donner à voir aux élèves et apprenants pour qu'ils puissent procéder à des activités cognitives de comparaison, de diagnostics intermédiaires ou finaux, d'évaluation des actions humaines et des impacts environnementaux sur l'évolution de l'écosystème forestier, voire pour procéder à des retours en arrière. Parmi ces catégories, une série concerne l'évaluation de la biodiversité dans la station simulée à partir d'indicateurs divers. Nous trouvons également des caractéristiques relevant de la composition de la parcelle en termes quantitatifs (bilan de densité, de volume, etc.) et qualitatifs (santé des arbres, espèces représentées, etc.). L'état des sols, l'indicateur de biomasse et l'accessibilité de la parcelle sont d'autres catégories pouvant intéresser l'enseignement de connaissances relatives à la dégradation de la matière organique, le comportement d'un sol forestier, la prise en compte de sous-produits issus de l'exploitation forestière ou encore relative à l'exploitation future de la station, éléments critiques dans une gestion durable de la forêt.

4.2. Représentation graphique globale d'un massif composite : un transect 3D

La **figure 6** en Annexes propose une façon de catégoriser les éléments de contexte géographique et topographique de la station à sélectionner en fonction du scénario didactique pensé par les enseignants et formateurs. Pour éviter le coût élevé de paramétrage et de son appropriation par les formateurs, il semble pertinent que la plateforme puisse proposer à terme une interface déjà formatée présentant une typologie des stations. Nous avons pensé qu'une station pourrait être sélectionnée sur un *transect*, lequel présenterait une diversité de conditions topographiques et écologiques au sein d'une unité paysagère lisible. Un ou plusieurs massifs d'une région climatique donnée (dans l'idéal plusieurs transects pourraient faire l'objet d'un répertoire) seraient donc représentés avec une variabilité liée à la présence ou non d'infrastructures écologiques (pour travailler les facteurs de diversité dans les écosystèmes, notamment avec les niveaux collège et lycée), mais aussi au facteur « pente », à

l'exposition à la lumière (versant et relief), et éventuellement à des marques d'aménagement préalables.

4.3. Des commandes pour les utilisateurs et des modules annexes

La dernière partie de la carte heuristique présente les modules de « commande » qui renvoient aux actions de l'homme sur le peuplement ou plus largement sur l'écosystème forestier représenté à l'échelle de la station (ou de la parcelle, en fonction des usages de l'EVE que le formateur souhaite faire) (**Figure 7** en Annexes). Ces actions modifient l'état des objets qui constituent l'écosystème forestier modélisé, et, par le jeu des algorithmes, implique une évolution générale de ses caractéristiques. Il s'agira ici de réfléchir aux manières efficaces et pertinentes pour les apprentissages, de donner à voir (par quelques traces) les chemins de modifications que le peuplement et l'écosystème auront emprunté.

Nous avons également mentionné d'autres modules qui pourraient éventuellement être annexés à l'EVE et faisant référence à des préoccupations pédagogiques exprimées par des enseignants, à la fois périphériques et complémentaires de l'approche systémique : échelle de l'arbre (reconnaissance) ; impact d'événements et aléas exogènes (climatiques, économiques) ; interface d'interactivité entre différents usagers qui seraient mis en réseau (avantage pédagogique : travail en équipe et support de comparaison entre différents itinéraires sylvicoles).

5. Limites et points de vigilance

Ces propositions de spécifications visent à clarifier et mettre à plat les dimensions éducatives et professionnelles à travailler dans les différents curriculums de formation pour apprendre la forêt, ses mécanismes de transformation, en intégrant les savoirs et raisonnements de la durabilité. Elles seront bien sûr à travailler, à affiner avec les enseignants et formateurs en fonction des scénarios pédagogiques qui seront élaborés. Développer un environnement virtuel d'un système complexe à des fins éducatives est une activité empirique nécessitant la coopération de spécialistes des différents domaines impliqués : enseignants et formateurs, ingénieur technico-pédagogique, développeurs, chercheurs et bien entendu, élèves et étudiants. La participation concomitante de tous ces acteurs est rarement possible, et même lorsqu'elle est possible, la prise en compte équitable des différentes parties demeure incertaine. L'enquête exploratoire ayant posé une vue d'ensemble sur les préoccupations didactiques des différents enseignants et formateurs, et l'exigence d'une méthode « agile » et incrémentale de développement informatique, constituent néanmoins des garde-fous pour éviter une trop forte coloration des choix didactiques.

Une vigilance collective est toutefois indispensable pour à la fois assurer une réelle plus-value pour les apprentissages par rapport aux autres modalités pédagogiques, et créer un modèle simplifié non

réductionniste, qui conserve des connaissances relatives à l'écologie de la forêt et permet le déploiement d'activité de problématisation, mise en relation et comparaison entre systèmes de gestion. Pour l'instant, le développement de la plateforme se construit à partir d'un premier scénario pédagogique, avec les formateurs professionnels. Il se veut à la fois simplifié (dans l'idée d'y incrémenter de nouveaux éléments) et structurel (le cœur modélisateur resterait le même). Le processus de conception sera ponctué tout du long par des tests mis en œuvre dans différentes configurations (selon les niveaux de formation, les objectifs d'apprentissage, le placement des séquences dans la progression pédagogique, l'articulation avec les phases de terrain, etc.). Le caractère continué du processus de conception nécessitera d'assurer suffisamment de va-et-vient entre les situations d'usage et le développement informatique. Le collectif devra être capable d'une part, d'identifier le potentiel d'apprentissage qu'autorise l'outil et son actualisation (Mayen & Gagneur, 2017) dans les situations d'usage de l'EVE, et d'autre part, d'assurer une régulation des processus de conception-développement qui prennent en compte les éléments d'amélioration identifiés. Ces exigences sont au cœur des questions de transposition à la fois didactique (sélection et transformation du savoir à implémenter et à scénariser) et pragmatique (activation et opérationnalisation du savoir embarqué dans les situations d'apprentissage professionnel).

Par ailleurs, la transférabilité d'un tel prototype supposera de produire des traces appropriables de la « bonne » mise en usage de l'outil (guide d'usage, contextualisation des différentes modalités d'utilisation, etc.). En fonction des premiers résultats des tests sur le prototype, une nouvelle réflexion pourrait s'orienter sur la manière de faire travailler les apprenants autour de la futaie irrégulière et du pilotage de la gestion forestière par la durabilité.

Références bibliographiques :

- Baron, M., Guin, D., & Trouche, L. (2007). *Environnements informatisés et ressources numériques pour l'apprentissage : conception et usages, regards croisés*. Paris.
- Béguin, P., & Cerf, M. (2004). Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail. *Activités (revue électronique)*, 1(1), 54-71.
- Boccaro, V., & Delgoulet, C. (2015). L'analyse de travaux pour la conception en formation. Contribution de l'ergonomie à l'orientation de la conception amont d'un environnement virtuel pour la formation. *Activités*, 12(2), 73-97.
- Goigoux, R., & Cèbe, S. (2009). Un autre rapport entre recherche, pratique et formation. Les instruments didactiques comme vecteur de transformation des pratiques des enseignants confrontés aux difficultés d'apprentissage des élèves, 12.
- Gosselin, M., & Paillet, Y. (2017). *Mieux intégrer la biodiversité dans la gestion forestière* (Quaé). Versailles.

- Guespin-Michel, J. (2015). *Emancipation et pensée du complexe*. Paris: éditions du Croquant.
- MAAF IGN. (2016). *Indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines* (p. 343). Paris: MAAF-IGN.
- Martinand, J.-L. (2003). La question de la référence en didactique du curriculum. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(2), 126-130.
- Martinand, J.-L. (2007). Savoirs robustes et contenus instables en éducation scientifique et technologique. In M. Merri (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud* (p. 203-210). Toulouse: PU du Mirail.
- Mayen, P., & Gagneur, C.-A. (2017). Analyse et développement du potentiel d'apprentissage des situations de travail : une perspective de didactique professionnelle pour la conception des formations en situation de travail. *Recherches en Education*, 28(3), 70-83.
- Métral, J.-F. (2017). Penser la didactique pour la formation professionnelle (Edito). *Recherche en éducation*, 28, 3-12.
- Morin, E. (1982). *Science avec conscience* (Seuil). Fayard.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering* (Academic Press).
- OCDE. (2015). *Students, Computers and Learning*. OCDE. Consulté à l'adresse <https://doi.org/10.1787/9789264239555-en>
- Olry, P., & Vidal-Gomel, C. (2011). Conception de formation professionnelle continue : tensions croisées et apports de l'ergonomie, de la didactique professionnelle et des pratiques d'ingénierie. *@ctivités*, 8(2), 115-149.
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 154, 145-198.
- Rabardel, P. (1995). Qu'est-ce qu'un instrument? Appropriation, conceptualisation, mises en situation. *CNDP - Les dossiers de l'ingénierie éducative*, 19(Outils pour le calcul et le traçage de courbes), 61-65.
- Samurçay, R., & Rogalski, J. (1995). Formation aux activités de gestion d'environnements dynamiques : concepts et méthodes. *Education Permanente*, 111, 227-242.
- Sarre, A., & Sabogal, C. (2013). La gestion durable des forêt est-elle un rêve impossible? *Unasylva* 240, 64(1), 26-34.
- Tricot, A., & Lafontaine, J. (2002). Une méthode pour évaluer ensemble l'utilisation d'un outil multimédia et l'apprentissage réalisé avec celui-ci. *Le Français dans le Monde*, 41-52.

Tricot, A., Plécat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH (p. 391-402). Présenté à Environnement informatiques pour l'Apprentissage Humain.

Annexes :

Figure 2 : Représentation globales des caractéristiques préconisées de la plateforme

Figure 3 : Spécifications des variables d'entrée à l'échelle de la station

Figure 4 : Spécifications relatives aux mécanismes impliqués dans la structuration d'un écosystème forestier

Figure 5 : Spécifications relatives aux variables de sortie à communiquer

Figure 6 : Spécifications relatives aux composantes d'un massif forestier pour le choix d'une station

Figure 7 : proposition de commandes et de modules annexes

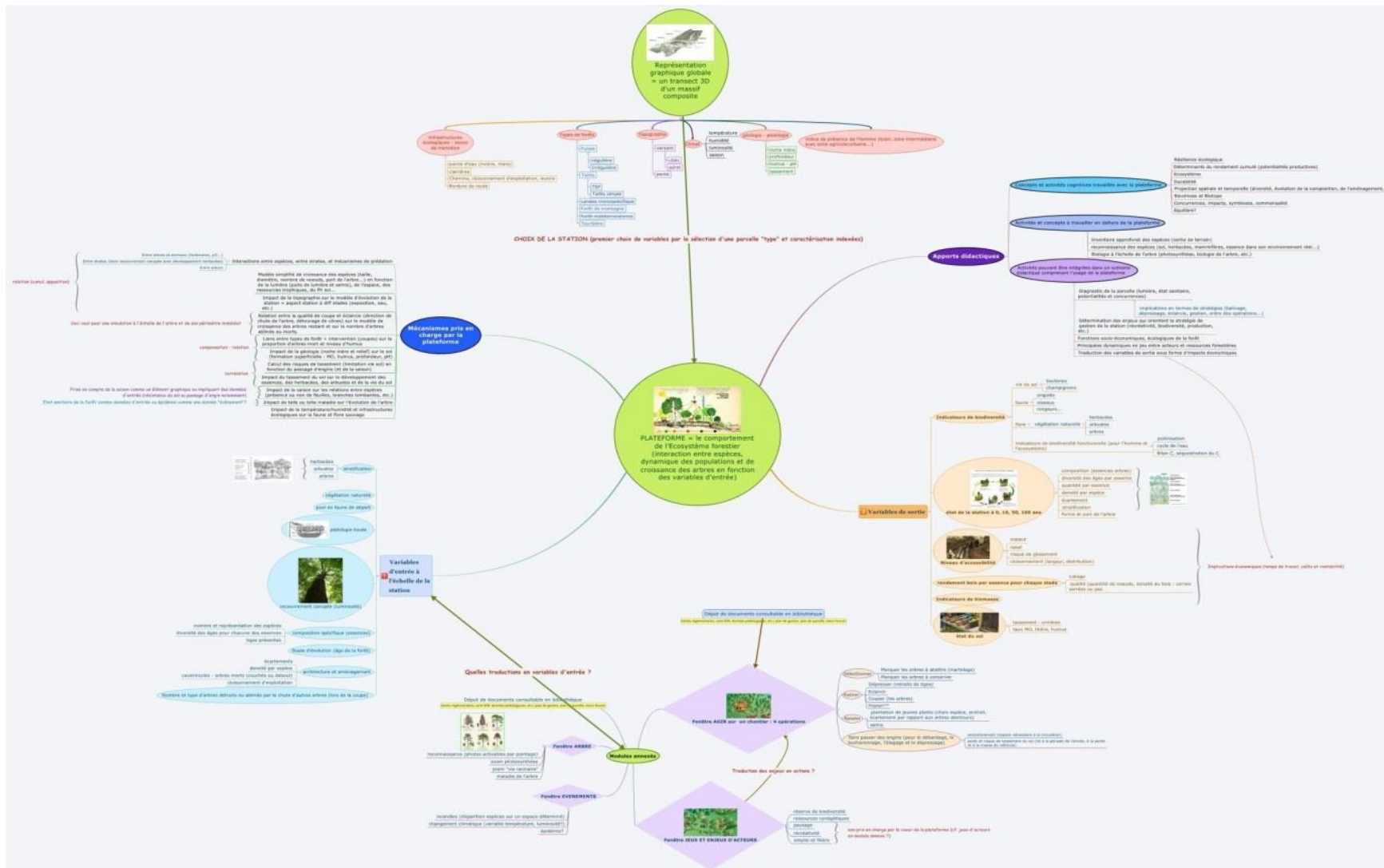


Figure 2 : Représentation globale des caractéristiques préconisées de la plateforme

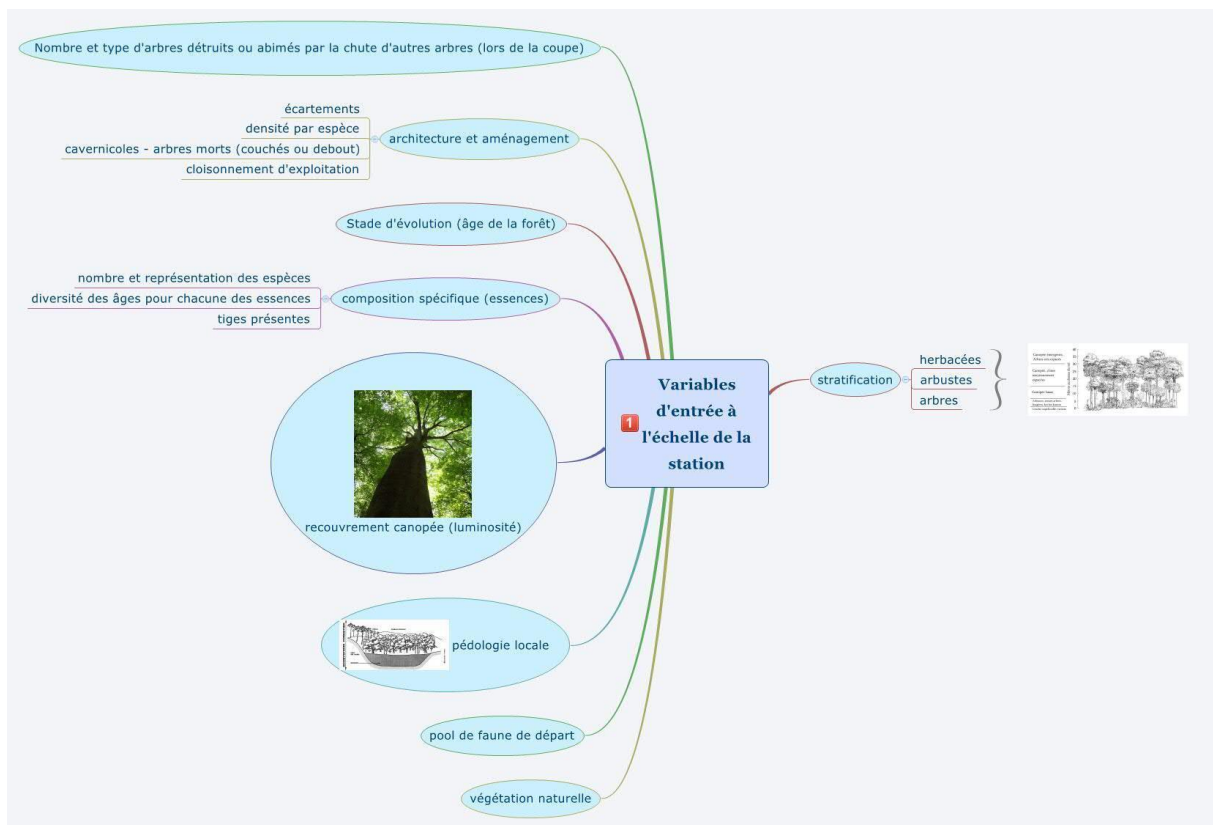


Figure 3 : Spécifications des variables d'entrée à l'échelle de la station



Figure 4 : Spécifications relatives aux mécanismes impliqués dans la structuration d'un écosystème forestier.



Figure 5 : Spécifications relatives aux variables de sortie à communiquer

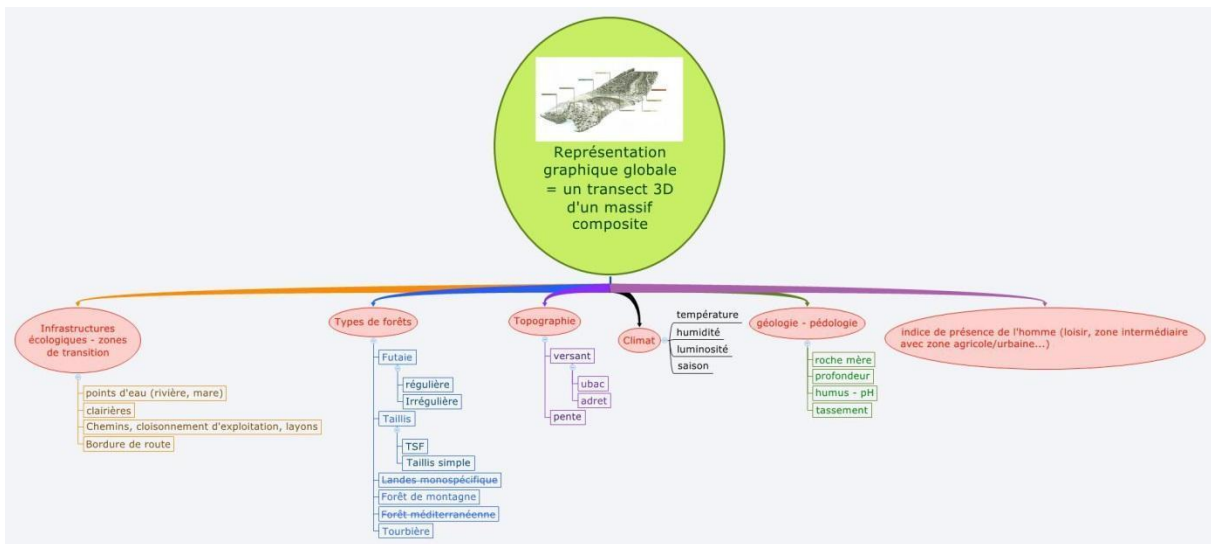


Figure 6 : Spécifications relatives aux composantes d'un massif forestier pour le choix d'une station.

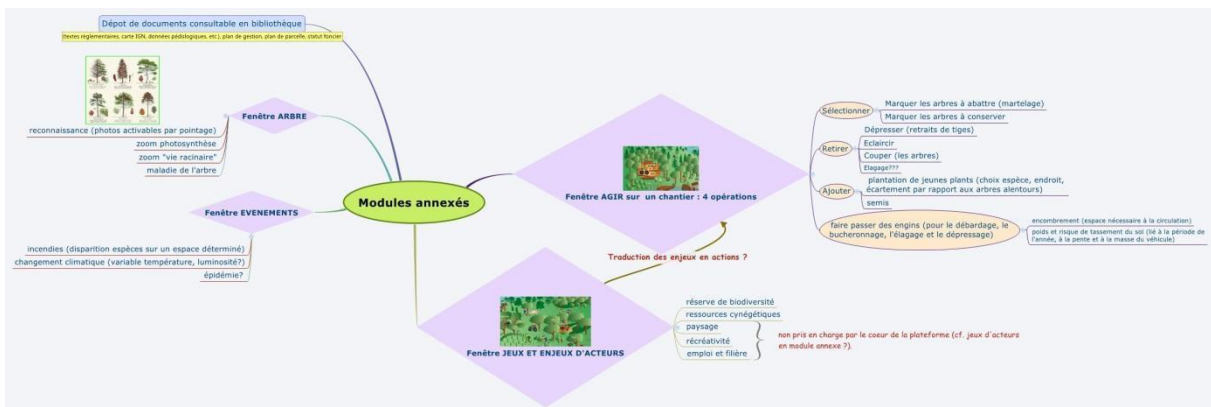


Figure 7 : proposition de commandes et de modules annexés