

# Guide d'utilisation de la librairie ECONOMICS2 (CAPSIS4)

Gauthier Ligot

28 octobre 2021

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Concepts clefs</b>	<b>5</b>
2.1	Valeur d'une forêt . . . . .	5
2.2	Échéancier des dépenses et des recettes . . . . .	6
2.3	Actualisation . . . . .	6
2.4	Valeur actuelle nette . . . . .	7
2.5	Valeur actuelle nette à perpétuité . . . . .	8
2.6	La valeur d'une forêt au cours du temps . . . . .	10
2.6.1	Valeur d'attente . . . . .	10
2.6.2	Valeur au prix de revient . . . . .	11
2.6.3	Valeur en bloc . . . . .	12
2.6.4	Illustration . . . . .	12
2.7	Indicateurs de rentabilité . . . . .	13
2.7.1	Critères sans actualisation . . . . .	14
2.7.2	Valeur actuelle nette . . . . .	14
2.7.3	Variante de la valeur actuelle nette . . . . .	15
2.7.4	Valeur actuelle nette à perpétuité . . . . .	15
2.7.5	Rapport coût-bénéfice . . . . .	15
2.7.6	Taux interne de rentabilité . . . . .	15
2.7.7	Variante du taux interne de rentabilité . . . . .	16
2.7.8	Annuité . . . . .	16
2.7.9	Illustration . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Utilisation</b>	<b>18</b>
3.1	Principe général de fonctionnement . . . . .	18
3.1.1	Définition d'un scénario économique . . . . .	19
3.1.2	Caractéristiques de la période de calcul . . . . .	19
3.1.3	Caractéristiques des opérations économiques . . . . .	20
3.1.4	Calcul de la valeur d'un arbre . . . . .	21
3.2	Définir un scénario économique avec l'interface graphique . . . . .	21
3.2.1	Ouvrir l'éditeur de scénario économique . . . . .	22
3.2.2	Définir la période de calcul . . . . .	22
3.2.3	Importer un fichier de paramètres économiques . . . . .	24
3.2.4	Terminer l'édition du scénario économique . . . . .	27
3.3	Outils de visualisation des résultats . . . . .	29
3.3.1	Visualisateur texte . . . . .	29
3.3.2	Liste de prix . . . . .	29
3.3.3	Valeur marchande / diamètre . . . . .	29

3.3.4	Valeur marchande / temps . . . . .	30
3.3.5	Valeur / temps . . . . .	30
3.3.6	Annuité / temps . . . . .	34
3.3.7	VAN / r . . . . .	35
3.3.8	VAN2 / r . . . . .	36
3.3.9	VANi / r . . . . .	36
3.3.10	Valeur cumulée / temps . . . . .	37
3.3.11	Valeur moyenne / temps . . . . .	37
3.3.12	Exporter les résultats . . . . .	37
3.4	Scripts . . . . .	40
3.4.1	Premier exemple de script . . . . .	40
3.4.2	Exemple de script utilisant un fichier texte . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Implémentation</b>	<b>45</b>
4.1	XScene . . . . .	45
4.2	XModel . . . . .	46
4.3	XTree . . . . .	48
4.4	XIntervener . . . . .	48
<b>5</b>	<b>Modules et extensions compatibles</b>	<b>49</b>
5.1	Liste des modules compatibles . . . . .	49
5.2	Liste des extensions compatibles . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Remerciements</b>	<b>50</b>

# 1 Introduction

Quelle est la valeur d'une forêt ? Est-ce que la gestion forestière d'une forêt est rentable ? Quel est l'itinéraire sylvicole le plus avantageux ? Ces questions d'économie forestière sont souvent au cœur du travail des gestionnaires forestiers. Y répondre est néanmoins complexe étant donné la diversité des facteurs à prendre en compte sur des horizons de temps souvent très longs. Une approche possible pour répondre à de telles questions consiste à utiliser des modèles de simulation de la dynamique forestières et de calculer à partir des résultats de simulations des indicateurs économiques.

L'objectif de la librairie Economics2 a pour but de mettre à disposition des développeurs et utilisateurs de la plateforme Capsis4 (plateforme de simulation de la croissance/dynamique forestière, <http://capsis.cirad.fr/>) un outil permettant de rapidement calculer différents indicateurs économiques. De nombreux modèles de dynamique/croissance forestière y ont été implémentés afin de simuler l'évolution dans le temps des peuplements de nature très diverses. Bien que la plupart de ces modèles soient indépendants, ils sont construits sur un socle commun et ils peuvent être connectés à des librairies communes.

D'autres outils de calculs d'indicateurs économiques sont également présents dans la plateforme Capsis4. Il s'agit notamment du module Economics et de la librairie Economics. L'implémentation d'Economics2 s'est justifiée afin de permettre de préciser plus finement le calcul des recettes et des dépenses (ex. par classe de diamètre, par nombre d'arbre...), de calculer davantage d'indicateurs économiques, de proposer des indicateurs pertinents pour des forêts irrégulières et de pouvoir rapidement comparer les résultats de simulations différentes. Economics2 a en outre été pensé pour être utilisé à la fois avec l'interface graphique, à l'aide de scripts ou en combinaison avec des algorithmes d'optimisation.

Economics2 a été développé de telle manière que la très grande majorité des modèles implémentés dans Capsis4 puissent très rapidement avoir accès aux fonctionnalités de librairies.

Ce guide d'utilisation a pour ambition de présenter les éléments nécessaires pour d'une part utiliser la librairie et d'autre part pour connecter un modèle (module dans le langage de Capsis4) à la librairie Economics2. L'utilisation de librairie demande néanmoins des pré-requis d'économie forestière. Afin de permettre au plus grand nombre d'utiliser la librairie et d'interpréter les résultats, certains concepts et éléments clefs sont présentés brièvement au début du document.

## 2 Concepts clefs

### 2.1 Valeur d'une forêt

La valeur d'une forêt a de multiples définitions et dépend de nombreux facteurs. Pour une personne privée, la valeur d'une forêt dépend notamment de ses qualités intrinsèques. On peut notamment citer des éléments objectifs et facilement identifiables telles que les caractéristiques des arbres et des peuplements qui peuvent permettre d'estimer les revenus futurs liés à la production de bois. On peut néanmoins aussi citer des éléments plus compliqués à évaluer et parfois plus subjectifs. Par exemple, une personne évaluera différemment une forêt si cette personne a déjà l'habitude de la parcourir depuis longtemps (beaucoup d'autres considérations d'ordre personnel semblables pourraient être envisagées). Lors de la vente d'une forêt, le prix de vente sera en outre variable en fonction du marché des propriétés forestières (et donc de l'offre et de la demande).

Une collectivité évaluera différemment une forêt en tenant compte des différents services écosystémiques rendus par la forêt : services d'approvisionnement (énergie, bois, gibier...), des services de régulation (stockage de carbone, protection contre l'érosion du sol, protection contre les avalanches ou les chutes de pierre, réduction des crues, microclimat) et/ou des services culturels (loisirs, religion...).

Lors de l'évaluation économique d'une forêt (par exemple avec Economics2), seuls certains éléments sont pris en compte et, bien souvent, seuls des éléments objectifs facilement quantifiables font l'objet d'une analyse plus poussée. Ainsi, il est fréquent d'utiliser une définition réductrice de la valeur d'une forêt qui ne considère que certains flux financiers. Des hypothèses très importantes sont donc posées pour calculer une estimation de la valeur de la forêt. Il est très important de toujours se rappeler ces hypothèses.

Par la suite, on distingue également la valeur d'une forêt de sa valeur marchande. La valeur marchande d'une forêt est égale au prix obtenu lors de la vente de bois sur pied dans de bonnes conditions commerciales. C'est le prix qui serait obtenu si le peuplement était entièrement récolté à un instant donné. La valeur marchande d'un peuplement est égale à la somme de la valeur marchande de tous les arbres composant le peuplement. La valeur marchande d'un peuplement est normalement inférieure à la valeur d'une forêt car cette dernière intègre également la valeur du terrain (le fonds) et la valeur d'avenir des arbres sur pied (cette dernière peut toutefois être négative).

## 2.2 Échéancier des dépenses et des recettes

Les flux financiers qui sont considérés pour l'évaluation financière d'un scénario sylvicoles sont généralement regroupés dans un tableau que l'on appelle un échéancier. Ce tableau indique le montant et l'année des différentes recettes et dépenses (Tableau 1).

TABLE 1 – Exemple d'un échéancier pour un scénario de gestion d'une pessière régénérée par mise à blanc et plantation. La colonne flux correspond à la différence entre les recettes et les dépenses.

Année	Opération sylvicole	Flux (€/ha)
0	Préparation du sol/plantation	-2800,00
1	Dégagement	-450,00
2	Dégagement	-450,00
17	Elagage	-1900,00
22	Eclaircie	371,51
28	Eclaircie	326,68
34	Eclaircie	835,21
40	Eclaircie	1383,42
46	Eclaircie	2068,79
52	Eclaircie	2305,14
58	Coupe finale	25 472,32

## 2.3 Actualisation

Pour la majorité des personnes, un euro aujourd'hui ou un euro dans 10 ans n'a pas la même valeur. Recevoir un euro aujourd'hui permet d'investir cet euro dès aujourd'hui. Le fruit de cet investissement peut alors permettre de posséder plus d'un euro dans 10 ans.

Souvent, et en particulier dans le monde de la finance, il n'est pas cohérent de comparer des flux financiers sans tenir compte de la date des flux financiers. Afin de comparer des flux financiers imputés à différentes dates, il convient d'actualiser ces flux financiers. La méthode repose sur le choix d'un taux d'actualisation ( $r$ ). La valeur actualisée d'un flux financier  $F_x$  perçu dans  $x$  années sera égale à :

$$V(t = 0) = \frac{F_x}{(1 + r)^x} \quad (1)$$

A l'inverse, la valeur d'un flux financier  $F_x$  perçu, dans le passé, il y a  $x$  années sera égale à :

$$V(t = 0) = F_x \cdot (1 + r)^x \quad (2)$$

Ces formules assez simples cachent néanmoins un débat assez intense, surtout en économie forestière : celui du choix du taux d'actualisation. Ce choix n'est en effet pas anodin puisqu'il a des répercussions très importantes sur le résultat. Sans entrer dans les détails, retenons que selon les auteurs le taux d'actualisation utilisé pour évaluer des stratégies sylvicoles varie entre 0 % et 5 % (voire parfois plus) et que différents arguments très pertinents peuvent être cités pour justifier un taux d'actualisation dans cette fourchette (Möhring, 2001). Notons également qu'utiliser un taux d'actualisation de 0% correspond à ne pas actualiser les flux financiers et donc à considérer qu'un euro aujourd'hui a la même valeur qu'un euro dans dix ans. Certains choisirons cette approche par exemple car ils jugent inacceptable de privilégier la génération actuelle au dépend des générations futures. En effet l'actualisation revient à donner moins de poids aux bénéfices qui seront perçus par les générations futures par rapport aux bénéfices qui seront perçus par la génération en cours.

## 2.4 Valeur actuelle nette

La méthode d'actualisation permet de calculer la valeur pour une année de référence de flux financiers imputés à différentes années. Ces différents flux après avoir été actualisés (standardisés) pourront ainsi être sommés pour obtenir la valeur actuelle nette (VAN) de l'ensemble des flux financiers considérés. L'ensemble des valeurs (montant et année) présentées dans l'échéancier est ainsi synthétisé dans une seule valeur.

Soit des dépenses et des recettes futures étalées de l'année 0 à l'année  $n$ , alors la valeur actuelle nette est :

$$\text{VAN}_{0 \rightarrow n}(t = 0) = \sum_{i=0}^n \frac{R_i - D_i}{(1 + r)^i} \quad (3)$$

La formule peut également être inversée pour calculer la valeur de flux financiers antérieurs à l'année de référence :

$$\text{VAN}_{0 \rightarrow n}(t = n) = \sum_{i=0}^n (R_i - D_i) \cdot (1 + r)^{n-i}$$

Ces formules soulignent que la valeur d'une forêt dépend des revenus et des dépenses futures ou passées. La VAN est ainsi calculée pour une année de référence ( $t = 0$  ou  $t = n$  dans les équations ci-dessus) et pour certains flux s'étalant sur une période donnée (de 0 à  $n$ ).

Les notations mathématiques utilisées pour la VAN dans cette section précisent de manière explicite l'année de référence et la période considérée. Néanmoins, cette notation est assez encombrante et une notation plus simple mais moins explicite sera parfois utilisée par la suite. A défaut de précision, l'année de référence sera l'année 0 et tous les flux seront considérés à partir de l'année 0 jusqu'à l'année  $n$ . Ainsi les notations suivantes sont équivalentes :

$$\text{VAN}_{0 \rightarrow n}(t = 0) = \text{VAN}_n = \text{VAN}$$

## 2.5 Valeur actuelle nette à perpétuité

Un gestionnaire forestier peut désirer comparer des scénarios sylvicoles de durées différentes : par exemple, un scénario sylvicole d'une pessière avec une révolution de 50 ans avec un scénario pour lequel la révolution est de 60 ans qui permet d'obtenir des arbres de plus grandes sections et de qualité supposée supérieure. Pour comparer ces deux scénarios, il est néanmoins indispensable de les comparer pour une durée commune. En effet, pour le premier scénario, si l'on ne comptabilise que les 50 années de la première révolution, on néglige alors les flux financiers qui seront perçus entre les années 50 et 60 ainsi que la valeur du jeune peuplement qui se sera installé de 50 à 60 ans.

Afin de pouvoir comparer des scénarios sylvicoles de durées différentes, il est fréquent de calculer la VAN pour un horizon de temps infini, c'est-à-dire la valeur actuelle nette à perpétuité ( $\text{VAN}_{0 \rightarrow \infty}$ ).

Pour y parvenir, il est indispensable de faire l'hypothèse qu'un cycle d'opérations de gestion se répète à l'infini. En futaie régulière, il est classique de faire l'hypothèse qu'une même révolution se répète indéfiniment dans le temps. En futaie irrégulière, il pourra s'agir d'une ou de plusieurs rotations. Évidemment c'est une hypothèse assez peu réaliste. Elle est néanmoins indispensable afin de comparer rigoureusement des scénarios de durées différentes.

Si le cycle de  $n$  années se répète indéfiniment dans le temps alors la  $\text{VAN}_{0 \rightarrow \infty}$  peut être calculée avec la formule de Faustmann :

$$\text{VAN}_{0 \rightarrow \infty}(t = 0) = \text{VAN}_{0 \rightarrow n}(t = 0) \cdot \frac{(1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \quad (4)$$

Dans certains cas, le cycle perpétuel est précédé de plusieurs années de transition. Par exemple, le gestionnaire d'une forêt irrégulière pourrait décider de réduire le volume sur pied d'un peuplement pendant  $m$  années pour ensuite obtenir un peuplement qui peut être considéré à l'équilibre et dans lequel les mêmes coupes seront réalisées toutes les  $k$  années.

La VAN du peuplement pour les  $m$  premières années est calculée avec l'équation 3 :

$$\text{VAN}_{0 \rightarrow m} = \text{VAN}_{0 \rightarrow m}(t = 0) = \sum_{i=0}^m \frac{R_i - D_i}{(1 + r)^i}$$

La valeur du peuplement à  $m$  années pourra être calculé à partir des flux financiers qui seront perçus pendant les  $k$  années du cycle perpétuel (en utilisant l'équation 4).

$$\text{VAN}_{m \rightarrow \infty}(t = m) = \sum_{i=0}^k \frac{R_i - D_i}{(1 + r)^i} \cdot \frac{(1 + r)^k}{(1 + r)^k - 1}$$

La VAN calculée de  $t = 0$  à  $t = \infty$  correspond alors à la somme de la valeur actualisée des flux financiers des  $m$  premières années et de la valeur actualisée du peuplement à  $m$  années.

$$\text{VAN}_{\infty} = \text{VAN}_{0 \rightarrow \infty}(t = 0) = \text{VAN}_m + \frac{\text{VAN}_{0 \rightarrow m}(t = m)}{(1 + r)^m} \quad (5)$$

**Remarque importante** : Puisque l'on suppose que la gestion est cyclique et se répète indéfiniment, cela implique que l'instant initial soit le même que l'instant final. Dans l'équation 4, l'année 0 correspond à l'année  $n$  et dans l'équation 5, l'année  $m$  correspond à l'année  $m + k$ . Il est important lors de l'application des formules de ne pas dupliquer des flux financiers. Par convention, on indiquera les investissements (dépenses) au début de la période cyclique et les recettes à la fin de la période cyclique.

En outre dans l'équation 5, les flux financiers de l'année  $m$  peuvent être pris en compte soit dans le calcul de la valeur de la phase transitoire ou de la phase cyclique. Il est incohérent d'ajouter la valeur actualisée d'un même flux financier dans les deux périodes. Il convient de bien identifier les flux qui font partie du cycle perpétuel (et qui se répètent de période en période) de ceux qui font partie de la période transitoire.

## 2.6 La valeur d'une forêt au cours du temps

Au cours du temps ou d'un scénario sylvicole la valeur d'une forêt n'est pas constante. Imaginons une parcelle forestière qui vient d'être déboisée. La valeur de cette forêt est alors égale à la valeur du terrain (le fonds). Ensuite, la valeur de la forêt augmente car un peuplement s'installe sur le terrain. Même si la valeur marchande des arbres est toujours nulle, la valeur du peuplement augmente car le fonds est immobilisé et les recettes futures sont perçues dans un laps de temps toujours de plus en plus réduit. Éventuellement, un élagage est réalisé. Une fois réalisé, cet investissement supplémentaire augmente la valeur du peuplement. Plus tard, dans la vie du peuplement, des éclaircies sont réalisées. Après chaque éclaircie, la valeur du peuplement diminue puisqu'une partie du peuplement est récolté. A tout instant, la valeur de la forêt est supposée égale à la somme du fonds et de la valeur des arbres sur pied (appelée la superficie). La valeur du fonds est supposée constante dans le temps alors que la valeur de la superficie évolue constamment.

Trois formules permettent notamment de calculer la valeur d'une forêt à tout instant : la valeur en bloc, la valeur au prix de revient et la valeur d'attente.

### 2.6.1 Valeur d'attente

La formule de la valeur d'attente est une application de l'équation 1. La valeur d'une forêt est calculée en sommant la valeur actualisée finale de la forêt et tous les flux nets actualisés s'étalant de l'année  $a$  jusqu'à l'année finale  $n$ .

$$V(t = a) = \frac{V_{(t=n)}}{(1+r)^{n-a}} + \sum_{i=a}^{i=n} \frac{R_i - D_i}{(1+r)^{i-a}} \quad (6)$$

Cette méthode a l'inconvénient de devoir fixer à la fois la valeur finale de la forêt ( $V(t = n)$ , cette valeur est parfois égale au fonds) et le taux d'actualisation. Pourtant, pour une valeur de taux d'actualisation, il n'existe qu'une

seule valeur de la forêt. Si les deux valeurs ne sont pas définies rigoureusement, alors la méthode mène à un résultat erroné. Cette méthode sera néanmoins parfois utilisée pour obtenir une approximation si seulement une partie de l'échéancier a pu être obtenu.

Imaginons, par exemple, que l'on souhaite calculer la valeur d'un peuplement de 53 ans dont la mise à blanc est prévue à 58 ans. S'il n'y a pas d'autres flux financiers prévu pendant les 5 prochaines années, alors la valeur d'attente du peuplement nécessite de connaître uniquement le montant présumé de la recette de la mise à blanc ( $R_{58}$ ) et de la valeur finale de la forêt dans ce cas égale au fonds ( $F$ ) :

$$V(t = 53) = \frac{R_{58} + F}{(1 + r)^5}$$

### 2.6.2 Valeur au prix de revient

La formule de la valeur au prix de revient est l'application de l'équation 2. La valeur d'une forêt est calculée en sommant la valeur actualisée initiale de la forêt et tous les flux nets actualisés s'étalant de l'année initiale (année 0) jusqu'à l'année  $a$ .

$$V(t = a) = V(t = 0) \cdot (1 + r)^a + \sum_{i=0}^{i=a-1} (D_i - R_i) \cdot (1 + r)^{a-i} \quad (7)$$

Comme la méthode de la valeur d'attente, l'inconvénient de cette méthode est qu'elle demande de définir à la fois la valeur initiale de la forêt ( $V(t = 0)$ ) et le taux d'actualisation ( $r$ ). L'estimation obtenue ne sera rigoureusement correcte que pour certaines valeurs de  $V(t = 0)$  et de  $r$ .

Cette méthode de calcul est néanmoins parfois utilisée en utilisant une valeur erronée de la valeur initiale et donc en acceptant d'obtenir une estimation erronée (approximation) de la valeur d'une forêt. C'est parfois la seule solution, si un échéancier complet ne peut pas être établi.

Par exemple, imaginons que l'on souhaite connaître la valeur à 5 ans de la forêt décrite avec l'échéancier présenté dans le tableau 1. Pour estimer  $V(t = 5)$ , il est nécessaire de connaître la valeur initiale de la forêt (égale au fonds dans ce cas particulier) et uniquement les trois premières dépenses (préparation du sol/plantation, et les deux dégagements). La méthode de calcul au prix de revient ne nécessite alors pas de connaître les flux financiers courant après l'année 5.

### 2.6.3 Valeur en bloc

La valeur en bloc correspond à l'estimation la plus rigoureuse de la valeur d'une forêt pour une année de référence ( $a$ ).

Pour une forêt dont la gestion est supposée suivre un cycle perpétuel de  $n$  années (sans phase de transition) alors la valeur du peuplement pour l'année  $a$  est :

$$V(t = a) = \frac{\sum_{i=a}^n (R_i - D_i) \cdot (1 + r)^{a+n-i} + \sum_{i=0}^{a-1} (R_i - D_i) \cdot (1 + r)^{a-i}}{(1 + r)^n - 1} \quad (8)$$

Pour appliquer cette méthode, il est dès lors nécessaire de disposer d'un échancier pour l'entièreté de la période (de l'année 0 jusqu'à l'année  $n$ ) qui est supposée se répéter dans le temps.

La valeur obtenue sera égale à la valeur obtenue avec la formule au prix de revient si la valeur initiale de la forêt est égale à  $VAN_{\infty}$  (en utilisant le même taux d'actualisation). Cette méthode de calcul de la valeur en bloc a l'avantage de pouvoir être calculée aussi pour un scénario de gestion composé d'une phase transitoire suivie d'un cycle perpétuel (C'est la méthode de calcul de la valeur en bloc implémentée dans Economics2). De même, la valeur obtenue sera égale à la valeur obtenue avec la formule de la valeur d'attente si la valeur finale de la forêt est rigoureusement estimée.

### 2.6.4 Illustration

Repartons de l'échancier présenté dans le tableau 1. Comme il s'agit d'un scénario de gestion pour une futaie régulière, nous pouvons faire l'hypothèse que la même gestion sera répétée de révolutions en révolutions. Juste avant la plantation (année 0) et après la mise à blanc (à la fin de l'année 58), la valeur de la forêt est égale à la valeur du fonds. La valeur initiale de la forêt, et donc aussi la valeur du fonds dans ce cas particulier, est calculée avec la formule de Faustmann (Equation 4). La valeur obtenue avec un taux d'actualisation de 2%, est de 9052,73 €/ha. Cette valeur est bien supérieure à celle de la valeur actualisée nette calculée sur un seul cycle :  $VAN_n = 6182,15$  €/ha (Equation 3).

Pour ce cas particulier, la formule de la valeur en bloc peut être utilisée pour illustrer l'évolution de la valeur de la forêt pour toutes années  $a$  comprises entre l'année 0 et l'année 58. Notons que l'équation 8 permet d'estimer la valeur au début de l'année  $a$ . Si des opérations sont réalisées lors de l'année

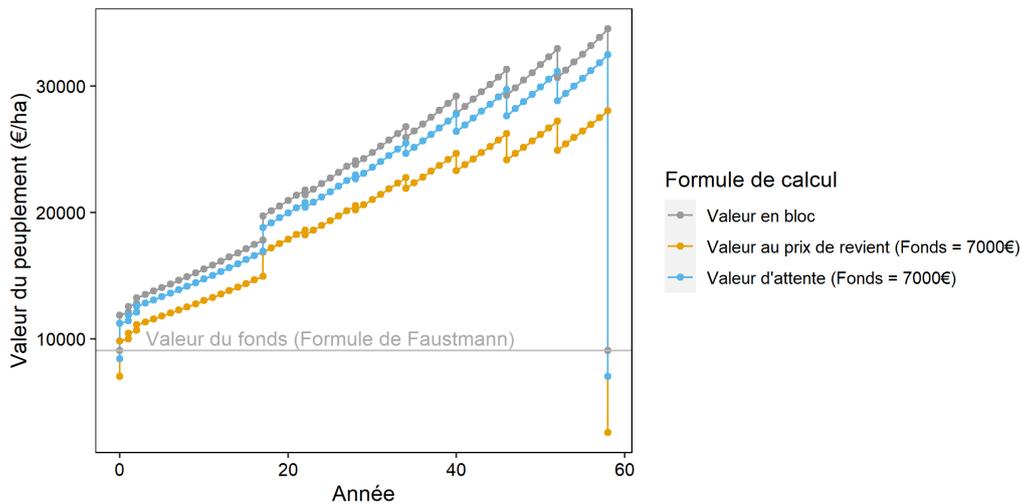


FIGURE 1 – Estimation de la valeur d’une forêt décrite à partir de l’échéancier présenté dans le tableau 1 et calculée à l’aide des différentes formules et avec un taux d’actualisation de 2%.

$a$ , alors la valeur de la forêt en fin d’année est différente : elle est égale à la valeur en début d’année moins le montant du flux net. La figure 1 illustre l’évolution de la valeur de la forêt pour les différentes méthode de calcul. Pour cette illustration, j’ai volontairement choisi d’utiliser une valeur erronée de la valeur initiale ou finale de la forêt (ou encore du fonds) pour respectivement le calcul de la valeur de la forêt au prix de revient ou de la valeur d’attente. La valeur choisie est de 7000 €/ha soit nettement inférieure à la valeur calculée avec la formule de Faustmann (9052,73 €/ha). On note sur cette illustration que l’erreur sur l’estimation du fonds avec la méthode au prix de revient augmente au fur et à mesure du temps. L’erreur est plus faible avec la méthode de la valeur d’attente car l’erreur sur le fonds est faible par rapport à la recette de la mise à blanc.

## 2.7 Indicateurs de rentabilité

De multiples indicateurs peuvent être utilisés pour synthétiser l’ensemble des flux financiers et décrire la rentabilité d’un projet d’investissement. Ces indicateurs dépendent de plusieurs hypothèses et, en fonction des situations, seuls certains d’entre eux seront pertinents.

### 2.7.1 Critères sans actualisation

Dans certains cas, un gestionnaire forestier pourrait désirer maximiser les volumes produits ou encore les recettes pour l'entièreté de la durée du projet d'investissement et ce, sans prendre en compte à quel moment ces volumes sont produits ou ces recettes sont perçues. C'est parfois le cas, dans un but d'optimisation de services écologiques et sociaux. Le coût de l'immobilisation des capitaux sera alors ignorés.

De tels indicateurs sont par exemple le volume total de bois récolté (VT), le volume annuel moyen de bois récolté (VM), la somme des recettes perçues (RT), le montant annuel moyen des recettes perçues (RM), la somme des bénéfices perçus (BT), le montant annuel moyen des bénéfices perçus (BM).

$$\begin{aligned}VT &= \sum_i^n V_i \\VM &= \frac{\sum_i^n V_i}{n} \\RT &= \sum_i R_i \\RM &= \frac{\sum_i^n R_i}{n} \\BT &= \sum_i R_i - D_i \\BM &= \frac{\sum_i^n R_i - D_i}{n}\end{aligned}$$

avec  $R_i$  et  $D_i$  les recettes et dépenses de l'année  $i$  et  $n$  le nombre d'années du scénario.

### 2.7.2 Valeur actuelle nette

La valeur actuelle nette d'un scénario de  $n$  années peut servir d'indicateur de rentabilité (Équation 3). Plus sa valeur est élevée, meilleure est la rentabilité du projet. Cet indicateur ne permet cependant pas de comparer la rentabilité de projet d'investissement de durées différentes.

Cet indicateur est également appelé le bénéfice actualisé simple (BAS) dans certains manuels francophones.

### 2.7.3 Variante de la valeur actuelle nette

Dans certains cas, on ajoute à l'échéancier une dépense l'année 0 correspondant à l'achat de la forêt ou du fonds (achat du terrain) et une recette l'année  $n$  égale à la valeur de la forêt ou du fonds. Contrairement à la définition classique de la valeur actuelle nette, cet indicateur tient compte du coût de l'immobilisation d'un capital égal à la valeur de la forêt. Cet indicateur a néanmoins l'inconvénient de devoir définir à la fois les valeurs initiale et finale de la forêt et le taux d'actualisation.

Cet indicateur sera symbolisé dans ce document et dans les résultats d'Economics2 par VAN2. Dans certains manuels francophones, il correspond au BASF.

### 2.7.4 Valeur actuelle nette à perpétuité

La valeur actuelle nette à perpétuité est également un indicateur de rentabilité pertinent (cf. section 2.5). C'est d'ailleurs sans doute l'indicateur le plus utilisé et le plus pertinent. Plus sa valeur est élevée, meilleure est la rentabilité du projet. Cet indicateur permet de comparer des projets d'investissement de durées différentes.

Dans certains manuels francophones, il est dénommé le bénéfice actualisé à séquence infinie (BASI).

### 2.7.5 Rapport coût-bénéfice

Le rapport coût-bénéfice correspond à la valeur actualisée des revenus par euro investi. Ce critère a surtout pour utilité de comparer des projets avec des investissements (dépenses) différents. Si un projet A demande deux fois plus d'investissements qu'un projet B mais qu'il ne génère que 1,5 fois plus de bénéfices, on pourrait alors préférer le projet B (bien que sa valeur actuelle nette soit inférieure).

$$\text{BCR} = \frac{\sum_i R_i / (1+r)^i}{\sum_i D_i / (1+r)^i} \quad (9)$$

### 2.7.6 Taux interne de rentabilité

Le taux interne de rentabilité (TIR) est égale au taux d'actualisation qui permet d'annuler la valeur actuelle nette ( $\text{VAN}_n$ ). Il indique le rendement financier du projet d'investissement.

Le taux interne de rentabilité est un indicateur très utilisé dans le monde financier. Il est néanmoins rarement suffisant pour évaluer des projets forestiers. Son utilisation peut mener à privilégier des investissements non-durables.

En outre, le calcul du TIR demande de résoudre une équation à plusieurs degrés à l'aide de processus itératifs. Dans certains cas (ex. si l'échéancier est particulier avec des recettes importantes perçues à différents moments), plusieurs solutions peuvent être possibles. Dans d'autres cas, les valeurs de TIR peuvent être très élevées, irréalistes et difficiles à interpréter.

### 2.7.7 Variante du taux interne de rentabilité

Une variante du taux interne de rentabilité consiste à calculer le taux d'actualisation qui permet d'annuler VAN<sub>2</sub>. Le taux interne ainsi obtenu (TIR<sub>2</sub>) sera inférieur au TIR puisqu'il tient compte du coût de l'immobilisation du capital initial.

### 2.7.8 Annuité

Une annuité est un montant qui est reçu annuellement. Exprimer la rentabilité d'un projet sous forme d'une annuité permet parfois d'obtenir une grandeur plus facile à interpréter. Le montant obtenu correspond à un montant fictif qui serait perçu annuellement et qui serait équivalent à l'ensemble des flux financiers considérés (Möhring and Rüping, 2008).

Soit un échéancier de flux financiers étalés sur  $n$  années. L'annuité équivalente à l'ensemble des flux est :

$$A = \text{VAN}_n \cdot \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \cdot r = \text{VAN}_\infty \cdot r \quad (10)$$

Pour un taux d'actualisation  $r$ , il est donc équivalent de recevoir  $A$  € pendant  $n$  années que de recevoir VAN <sub>$n$</sub> . Il est également équivalent de recevoir  $A$  € pendant une infinité d'années que de recevoir VAN <sub>$\infty$</sub> .

La méthode a également été appliquée pour évaluer la rentabilité pour des périodes de temps plus courtes (Möhring and Rüping, 2008; Hanewinkel et al., 2014). Soit une période de  $n$  années débutant l'année  $x$ , alors l'an-

nuité équivalente pour cette période est :

$$a_{x \rightarrow x+n} = \left( \frac{VM_{x+n}}{(1+r)^n} + \sum_{i=x}^{x+n} \frac{R_i - D_i}{(1+r)^{i-x}} - VM_x \right) \cdot \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \cdot r \quad (11)$$

où  $VM_x$  et  $VM_{x+n}$  correspondent à la valeur marchande du peuplement au début et à la fin de la période. L'annuité peut ainsi être calculée pour chaque cycle de coupe. Le résultat est néanmoins très sensible au choix de l'année initiale et finale. Si la période ne contient qu'une seule coupe, des résultats très différents sont obtenus si la coupe a lieu au début ou à la fin de la période. Par convention, les recettes des éclaircies/coupes sont imputées à la dernière année de chaque période (Hanewinkel et al., 2014). Il est ainsi possible d'obtenir une estimation de l'annuité pour chaque cycle de coupe et donc d'étudier l'évolution de la rentabilité dans le temps. Hanewinkel et al. (2014) ont montré que l'indicateur ainsi obtenu permet d'identifier des peuplements de productivités différentes et d'étudier l'effet de la gestion sur la rentabilité.

Pour étudier l'évolution de la rentabilité dans le temps, Hanewinkel et al. (2014) propose d'appliquer cette formule de trois façons. Soit  $p$  périodes et coupes différentes, alors  $p$  valeurs d'annuité peuvent être obtenues (ex. Figure 11 :

1. Chaque valeur d'annuité est calculée en intégrant uniquement les dépenses et les recettes étalées entre deux coupes.
2. Les valeurs d'annuité sont calculées en englobant toutes les recettes et dépenses de l'année initiale jusqu'à l'année considérée.
3. Les valeurs d'annuité sont calculées en englobant toutes les recettes et dépenses de l'année finale à rebours jusqu'à l'année considérée.

La première méthode mène à des résultats très variables entre chaque période alors que des tendances plus claires (ex. augmentation de l'annuité au cours du temps) peuvent être obtenues avec les autres méthodes. Cependant, la deuxième méthode est très sensible à la valeur marchande initiale du peuplement. L'effet d'opérations de gestion effectuées lors des derniers cycles de coupe peut ne pas être perceptible avec cette méthode si la valeur marchande initiale est élevée. A l'inverse, la dernière méthode est très sensible à la valeur marchande finale et peut ne pas permettre d'identifier l'effet d'opérations de gestion effectuées pendant les premiers cycles de coupes. Hanewinkel et al. (2014) concluent que le calcul des trois approches est complémentaire pour interpréter finement les résultats. Ils conseillent néanmoins de privilégier le

calcul de l'annuité avec la première approche et de reporter la moyenne et l'écart-type des valeurs obtenues.

### 2.7.9 Illustration

Les différents indicateurs peuvent être calculés à partir de l'échéancier présenté dans le tableau 1.

Comme cela avait déjà été mentionné (section 2.6.4), avec un taux d'actualisation de 2%, la valeur actuelle nette est de  $VAN_n = 6182,15 \text{ €/ha}$  et la valeur actuelle nette à perpétuité est de  $VAN_\infty = 9052,73 \text{ €/ha}$ .

Pour calculer la VAN2, il convient de définir à la fois une valeur de fonds et de taux d'actualisation. Si l'on choisit un taux d'actualisation de 2% et une valeur de fonds égale à  $VAN_\infty$  alors la valeur de VAN2 est nulle.

Le taux interne de rentabilité calculé en négligeant l'immobilisation du fonds est de  $VAN2 = 3,7\%$ . Ce résultat revient à dire que si le taux d'actualisation choisi était de 3,7% alors  $VAN_n$  aurait été nulle. Si le taux d'actualisation aurait été supérieure à 3,7% alors  $VAN_n$  aurait été négatif.

Pour le calcul de la variante du taux interne de rentabilité TIR2, il convient de définir la valeur du fonds (valeur initiale et finale de la forêt). Si l'on utilise la valeur du fonds calculée ( $VAN_\infty$ ) alors le taux ainsi calculé sera égal à 2% (la valeur du taux d'actualisation utilisée pour calculer  $VAN_\infty$ ).

Enfin, l'annuité correspondante à l'échéancier est de 181,05 €/ha/an.

## 3 Utilisation

### 3.1 Principe général de fonctionnement

La première étape pour effectuer une évaluation économique avec Economics2 consiste à définir un scénario sylvicole. Il s'agit de définir les propriétés du peuplement initial et les paramètres qui influencent son évolution dans le temps (ex. fréquence et caractéristiques des coupes). L'utilisateur simule ensuite ce scénario à partir d'un modèle de croissance/dynamique forestière implémenté dans la plateforme Capsis4 et compatible avec la librairie Economics2. A ce stade, l'utilisateur n'utilise pas encore les fonctionnalités d'Economics2.

La deuxième étape consiste à définir un scénario économique. Il s'agit de définir les dépenses et les recettes à considérer. A cette fin, Economics2 propose un large panel de possibilités pour définir les dépenses et les recettes.

Elles peuvent être chargées à partir d'un fichier texte, créées par le modèle de croissance, définies à l'aide d'une interface graphique ou de scripts.

La dernière étape consiste à analyser différents indicateurs économiques. Pour cette étape également, Economics2 propose différentes solutions. Il est possible d'afficher les résultats dans l'interface graphique, d'exporter les résultats ou encore d'obtenir les résultats à l'aide de scripts.

Afin d'illustrer l'utilisation de la librairie, le modèle GYMNOS a été utilisé pour générer la majorité des résultats et graphiques présentés dans ce document. L'itinéraire sylvicole simulé mène approximativement (le modèle contient plusieurs processus stochastiques) au même échéancier que celui présenté dans le tableau 1. Il s'agit d'un peuplement d'épicéa, de fertilité moyenne. L'année 0 correspond à une plantation et la mise à blanc est effectuée 58 ans plus tard.

### 3.1.1 Définition d'un scénario économique

Un scénario économique définit l'étendue et les caractéristiques de la période de calcul ainsi que la liste des opérations économiques.

### 3.1.2 Caractéristiques de la période de calcul

Pour calculer la valeur actuelle nette à perpétuité (ainsi que d'autres indicateurs), il est nécessaire de faire l'hypothèse qu'une partie ou l'ensemble des flux financiers se répètent indéfiniment. Les premiers paramètres à définir permettent de préciser cette hypothèse. Quatre cas de figure ont été envisagés :

**Cycle infini avec observation du fonds :** c'est le cas de figure classiquement utilisé pour les peuplements réguliers. L'année 0 correspondra à la plantation et l'année  $n$  correspondra à l'année de la coupe finale. Au début de l'année 0 et à la fin de l'année  $n$ , il n'y a pas d'arbre sur le terrain et la valeur de la forêt est donc égale à la valeur du fonds. On fait l'hypothèse qu'à la fin de chaque révolution, une nouvelle révolution identique à la précédente recommence (indéfiniment).

**Cycle infini sans observation du fonds :** c'est le cas d'un peuplement irrégulier à l'équilibre. La période considérée correspond alors à un ou plusieurs cycles de coupe dont on fait l'hypothèse qu'ils se répèteront indéfiniment. L'état initial et l'état final sont supposés identiques (volume, fréquence des tiges par classe de diamètre...) et de même valeur.

**Période transitoire :** c'est le cas d'un peuplement irrégulier qui n'est pas à l'équilibre. La période considérée correspond à un ou plusieurs cycles de coupe. L'état initial et l'état final ne sont cependant pas similaires. Certains indicateurs financiers ne peuvent donc pas être calculés ( $VAN_{\infty}$ , valeur en bloc).

**Période transitoire + cycle infini :** c'est le cas d'un peuplement dont les caractéristiques sont modifiées pendant une période transitoire pour ensuite atteindre les caractéristiques d'un peuplement dont la gestion devient cyclique (futaie régulière ou futaie irrégulière à l'équilibre). L'état initial et l'état final sont différents mais l'état final est supposé similaire à l'état du peuplement en fin de période transitoire.

Outre la précision du cas de figure, il convient de préciser les dates de début et de fin des différentes périodes de calcul. Il s'agit des dates du début et de fin du scénario économique et éventuellement de la date de fin de la période de transition (pour le quatrième cas de figure).

La date de début du scénario économique peut être antérieure à la date de la première scène<sup>1</sup> simulée. Par exemple, il est possible de simuler un peuplement régulier en débutant la simulation avec un peuplement de 20 ans mais d'ajouter des dépenses et des recettes à partir de l'année 0.

De la même manière, la date de fin du scénario économique peut ne pas correspondre à la date de la dernière scène simulée.

### 3.1.3 Caractéristiques des opérations économiques

Une opération économique est une opération (généralement sylvicole) qui entraîne une dépense ou une recette. Il peut s'agir, par exemple, de la réalisation d'une plantation, d'un élagage ou d'une coupe.

La librairie Economics2 permet de définir les opérations économiques de différentes façons. Les opérations peuvent être définies entièrement ou partiellement par les modèles de croissance. Elles peuvent aussi être définies manuellement ou importées à partir d'un fichier texte. En outre, puisque certaines opérations sont parfois répétées régulièrement (ex. loyer de chasse perçu annuellement), la librairie permet de générer en une seule étape un ensemble d'opérations similaires.

Dans Economics2, pour définir une ou plusieurs opérations économiques, il convient de définir les paramètres suivants :

---

1. Dans la plateforme Capsis, une scène est un objet Java regroupant les caractéristiques d'un peuplement à une date donnée.

- Le nom de l'opération. Le même nom peut être utilisé pour plusieurs opérations.
- La nature de l'opération. Est-ce qu'il s'agit d'une recette ou d'une dépense. Une même opération ne peut pas engendrer à la fois des recettes et des dépenses (si c'est le cas, il faut dupliquer l'opération).
- La valeur du flux financier doit être précisée. La valeur doit être directement définie à l'aide d'un prix par hectare, d'un prix par arbre (ex. pose de protections) ou d'un prix par m<sup>3</sup>. La valeur pourra également être calculée à partir d'une liste de prix unitaires (€/m<sup>3</sup>) par essence, classe de diamètre et classe de qualité ou d'une fonction de prix unitaire.

### 3.1.4 Calcul de la valeur d'un arbre

Deux options sont possibles pour calculer la valeur marchande des arbres. La valeur des arbres peut soit être calculée à l'aide d'une liste de prix ou à l'aide d'une fonction de prix. L'option est définie lors de l'implémentation d'Economics2 dans les modules. A titre d'exemple, le module GYMNOS utilise uniquement des listes de prix alors que le module PP3 utilise uniquement une fonction de prix.

**Liste de prix :** une liste de prix est un tableau permettant de définir le prix unitaire (€/m<sup>3</sup>) par catégories d'essence, de diamètre et de qualité.

**Fonction de prix :** la fonction de prix calcul le prix unitaire à partir du diamètre ou du volume de l'arbre (Equation 12).

$$P_i = a + b.x_i + c.x_i^2 + d.x_i^3 + e.log_e(x_i) \quad (12)$$

où  $P_i$  est le prix unitaire de l'arbre  $i$  (€/m<sup>3</sup>).  $a, b, c, d$  et  $e$  sont les paramètres de l'équation.  $x_i$  correspond à soit le diamètre ou le volume de l'arbre  $i$ . Les paramètres et la nature de la variable explicatives sont définis dans les paramètres économiques pour chaque simulation.

## 3.2 Définir un scénario économique avec l'interface graphique

Après avoir effectué une simulation avec un modèle de croissance/dynamique forestière, la première étape consiste à définir les paramètres du scénario économique.



FIGURE 2 – Pour démarrer l’outil permettant de définir un scénario économique, il convient d’effectuer un clic droit sur la dernière scène pour accéder à la boîte à outil et enfin à l’outil “définir un scénario Economics2”. En ouvrant l’éditeur de scénario économique à partir de la scène 88a cela mène à ignorer les scènes comprises entre la scène 82b et 88b.

### 3.2.1 Ouvrir l’éditeur de scénario économique

Ensuite, l’utilisateur doit sélectionner la dernière étape de la simulation. Avec un clic droit (Figure 2), il peut alors accéder à la boîte à outils et à l’outil nommé “définir un scénario Economics2” (Figure 3).

En sélectionnant la dernière étape, l’algorithme va rassembler les informations économiques en parcourant toutes les scènes antérieures jusqu’à la scène initiale. Les ramifications éventuelles (Figure 2) seront ignorées si elles ne sont pas comprises entre la scène finale sélectionnée et la scène initiale.

L’éditeur de scénario s’adapte au module utilisé. En fonction du module utilisé, l’éditeur présentera l’interface d’encodage de la liste de prix (comme c’est le cas dans les figures 3 et 4) ou de la fonction de prix (non illustré).

### 3.2.2 Définir la période de calcul

Dans la partie supérieure de l’éditeur de scénario économique (Figure 3), l’utilisateur peut définir la période à utiliser pour effectuer les calculs. L’utilisateur doit en outre définir les caractéristiques de la période en utilisant la typologie présentée dans la section 3.1.2.

Par défaut, les dates initiale et finale correspondent aux dates des scènes initiale et finale. Attention, dans certains cas, ces valeurs par défaut sont erronées. Par exemple, la simulation illustrée dans la figure 3 est une simulation d’un peuplement régulier régénéré par mise à blanc. Néanmoins, le modèle ne permet pas de simuler la croissance de très jeunes plants et la simulation a donc été initialisée pour un peuplement de 10 ans. Il n’est cependant pas



correct de supposer que le cycle infini débute lorsque le peuplement à 10 ans et se termine lors de la mise à blanc. La date initiale a donc été corrigée.

### 3.2.3 Importer un fichier de paramètres économiques

L'utilisateur peut charger des informations enregistrées dans un fichier texte. Ce n'est néanmoins pas indispensable puisque ces informations peuvent ensuite être encodées manuellement avec l'interface graphique. L'icône avec un fichier ouvert peut être utilisée pour définir l'adresse du fichier. Ensuite, l'utilisateur doit cliquer sur l'icône avec une flèche pour charger le fichier et actualiser l'interface graphique. Les informations contenues dans le fichier texte sont alors affichées dans l'éditeur de scénario économique (Figure 4).

**Format du fichier texte** Les informations sont soit enregistrées sous forme de valeurs indiquées après des mots clefs ou dans des tableaux avec des colonnes séparées par une tabulation (Figure 5). Dans ce fichier, Le dièse est utilisé pour indiquer un commentaire.

**Mots clefs** Le taux d'actualisation ou la valeur du fonds peuvent être précisés avec des mots clefs ainsi que les paramètres de la fonction de prix (si le modèle utilise une fonction de prix). L'utilisation de la majorité des mots clefs est facultative car des valeurs par défaut sont prévues pour ces paramètres. Au minimum, il convient de définir soit la valeur du taux d'actualisation, soit la valeur du fonds<sup>2</sup>. La ligne 2 du fichier texte illustré dans la figure 5 montre la syntaxe à utiliser. Les mots clefs à utiliser sont les suivants :

`discountRate` Le taux d'actualisation. La valeur doit être comprise entre 0 et 1.

`land` La valeur du fond (€/ha).

`priceFunctionA` Paramètre  $a$  de la fonction de prix (Equation 12, la valeur par défaut est 0).

`priceFunctionB` Paramètre  $b$  de la fonction de prix (Equation 12, la valeur par défaut est 0).

`priceFunctionC` Paramètre  $c$  de la fonction de prix (Equation 12, la valeur par défaut est 0).

`priceFunctionD` Paramètre  $d$  de la fonction de prix (Equation 12, la valeur par défaut est 0).

---

2. Il est généralement incohérent de définir de manière arbitraire à la fois le fonds et le taux d'actualisation puisque ces deux valeurs sont interdépendantes (Equation 4).

Définir un scénario Economics2 - 2.0 - capsis.app.C4Script.\*58a

1) Définir la période

1 - cycle infini avec observation du fonds

Date de début du scénario économique : 0    Date de fin de la période transitoire : 10    Date de fin du scénario économique : 58

2) Définir et charger un fichier de paramètres économiques

C:\Data\_G\_current\ECONOMICS2\3-tests\normesEp\economicOperations\_ep.txt

3) Définir le taux d'actualisation et/ou le fonds

Taux d'actualisation [0,1] : 0.02    Fonds : -1.0

4) Vérifier et modifier la liste de prix

Espèce	Classe dhp : limite sup.	Prix	Catégorie (optionnel)
épicéa		9,5	0
épicéa		12,7	1,2
épicéa		15,9	7,7
épicéa		19,1	14,4
épicéa		22,3	21
épicéa		25,5	27,2

Ajouter    Supprimer    Trier

5) Vérifier et modifier la liste des opérations définies manuellement

Date	Première date	Dernière date	Fréquence	Label	Type	Trigger	Recette/Dépense	Prix
0	0	0	0	0 plantation	FIXED	ON_DATE	EXPENSE	2 800
0	1	2	1	1 Degagement	FIXED	ON_FREQUENCY	EXPENSE	450
17	0	0	0	0 Elagage	FIXED	ON_DATE	EXPENSE	1 900

Ajouter    Supprimer

6) Vérifier et modifier la liste des opérations produites automatiquement par le modèle

Date	Label	Type	Trigger	Recette/Dépense	Prix
22	thinning	PRICE_LIST_OR_FUNCTI...	ON_INTERVENTION	INCOME	0
28	thinning	PRICE_LIST_OR_FUNCTI...	ON_INTERVENTION	INCOME	0
34	thinning	PRICE_LIST_OR_FUNCTI...	ON_INTERVENTION	INCOME	0
40	thinning	PRICE_LIST_OR_FUNCTI...	ON_INTERVENTION	INCOME	0
46	thinning	PRICE_LIST_OR_FUNCTI...	ON_INTERVENTION	INCOME	0
52	thinning	PRICE_LIST_OR_FUNCTI...	ON_INTERVENTION	INCOME	0

✓    📄    ✖    🌐

FIGURE 4 – Fenêtre de l'éditeur de scénario économique après avoir importé les données inscrites dans le fichier texte (Figure 5). On note que la valeur du taux d'actualisation et du fonds ont été mises à jour. Des lignes ont également été ajoutée dans le tableau des opérations économiques définie manuellement.

**priceFunctionE** Paramètre  $e$  de la fonction de prix (Equation 12, la valeur par défaut est 0).

**priceFunctionX** Variable explicative de l'équation 12. Il convient d'écrire soit **VOLUME** (valeur par défaut) ou **DBH**.

**Définition des opérations économiques** Des opérations économiques peuvent ensuite être inscrites dans un tableau à 7 colonnes (lignes 6 à 8 dans la figure 5) :

1. La première colonne contient un entier pour définir la date d'une opération unique. Il convient d'indiquer -1 si l'opération économique doit être répétée plusieurs fois (les informations sont alors données dans les colonnes suivantes).
2. La deuxième colonne contient des vecteurs de trois nombres entiers indiqués entre des accolades et séparés par une virgule (ligne 7). Le premier nombre indique la date de la première opération. Le deuxième indique la date de la dernière opération. Le dernier indique la fréquence à laquelle les opérations sont répétées (ex. 2, pour une répétition bis-annuelle). Il convient d'écrire {} si l'opération n'est pas répétée.
3. La troisième colonne contient le nom des opérations.
4. La quatrième colonne permet de préciser comment la valeur de l'opération doit être calculée. Les valeurs possibles sont :

**FIXED** Le montant du flux financier est donné en €/ha.

**TREE\_NUMBER** Le montant du flux financier est donné en €/arbre.

**M3** Le montant du flux financier est donné en €/m<sup>3</sup>.

**PRICE\_LIST\_OR\_FUNCTION** Le montant du flux financier est calculé à partir de la liste de prix ou de la fonction de prix (tel que défini par le modèle). Généralement, cette option n'est pas utilisée pour définir manuellement des opérations économiques.

5. La cinquième colonne précise comment la ou les dates sont calculées. Les valeurs possibles sont :

**ON\_DATE** Il s'agit d'une opération unique. La date est renseignée dans la première colonne.

**ON\_FREQUENCY** Il s'agit d'une opération qui est répétée. Les dates sont définies avec les informations données dans la deuxième colonne.

**YEARLY** Il s'agit d'une opération répétée annuellement (de l'année 1 jusqu'à l'année  $n$ , mais pas l'année 0).

6. La sixième colonne indique si l'opération correspond à une recette (**INCOME**) ou à une dépense (**EXPENSE**).
7. La septième colonne est un nombre (double) indiquant le prix de l'opération.

**Définition de la liste des prix** Le fichier texte peut également contenir un tableau de 3 ou 4 colonnes indiquant des prix unitaires par espèce et classe de diamètre (Figure 5) ou des prix unitaires par espèce, classe de diamètre et classe de qualité (non illustré) :

1. La première colonne indique la borne supérieure de la classe de diamètre (en cm).
2. La deuxième colonne indique le prix unitaire ( $\text{€}/\text{m}^3$ ). D'après le fichier d'exemple (Figure 5), tous les arbres dont le diamètre est supérieur ou égal à 9,5 cm et strictement inférieur à 12,7 cm recevront un prix de 1.2  $\text{€}/\text{m}^3$ .
3. La troisième colonne indique l'identifiant de l'essence avec un nombre entier. Des identifiants différents sont utilisés par les différents modèles compatibles avec Economics2 (cf. section 4). Le nombre 3 correspond à l'identifiant de l'épicéa dans le modèle GYMNOS (Figure 5).
4. La quatrième colonne est optionnelle. Elle indique l'identifiant de la qualité. Comme pour les identifiants des essences, les identifiants de qualité sont définis par les modules.

### 3.2.4 Terminer l'édition du scénario économique

La majorité des informations affichées dans l'éditeur de scénario économique sont modifiables. Il suffit de cliquer sur la case correspondante et de modifier la valeur. Il est ainsi possible d'ajouter ou supprimer des opérations économiques, de modifier le calcul des flux financiers, etc...

Une fois l'édition du scénario économique terminée, l'utilisateur peut sauvegarder le scénario sous forme d'un fichier texte qui pourra être importé lors d'une prochaine simulation (en cliquant sur l'icône avec une disquette).

Enfin, en cliquant sur l'icône verte avec un "v", l'utilisateur peut fermer la fenêtre d'édition du scénario économique. C'est à ce moment que la majorité des indicateurs économiques sont calculés.

```

1 # discount rate and land expected value
2 discountRate = 0.02
3
4 #economic operation
5 date Freq. Label Type Trigger Income/expense Value
6 0 {} plantation FIXED ON_DATE EXPENSE 2800
7 -1 {1,2,1} Degagement FIXED ON_FREQUENCY EXPENSE 450
8 17 {} Elagage FIXED ON_DATE EXPENSE 1900
9
10
11 # price list
12 # dbh price species
13 9.50 0.00 3
14 12.7 1.20 3
15 15.9 7.70 3
16 19.1 14.4 3
17 22.3 21.0 3
18 25.5 27.2 3
19 28.6 27.5 3
20 31.8 37.8 3
21 35.0 42.7 3
22 38.2 46.8 3
23 41.2 50.1 3
24 44.6 51.9 3
25 47.7 53.2 3
26 500.0 53.8 3

```

FIGURE 5 – Exemple de fichier texte permettant de préciser un scénario économique pour un modèle utilisant une liste de prix. Dans cet exemple, la liste de prix est composée uniquement de trois colonnes et les prix sont donnés sans distinction de la qualité des produits. Une quatrième colonne peut être ajoutée pour indiquer des prix par qualité.

### 3.3 Outils de visualisation des résultats

Il est possible de visualiser les résultats à l'aide d'un visu, de graphiques ou d'exporter les données pour les analyser avec un autre logiciel.

Les graphiques de la librairie Economics2 sont pour la plupart paramétrables. Les données sont généralement générées lors de la création des graphiques et les calculs dépendent de paramètres (ex. taux d'actualisation) qui sont modifiables dans les configurations de chaque graphique. Actuellement, les valeurs définies par défaut pour ces paramètres dépendent des valeurs fixées lors des sessions précédentes. Il est possible que les valeurs soient aberrantes lors de l'ouverture du graphique.

#### 3.3.1 Visualisateur texte

Le premier outil à ouvrir une fois le scénario défini est sans doute l'outil intitulé "Economics2 : Visu texte" disponible dans la liste des "visus". Cet outil montre sous forme de texte les paramètres (ex. dates et taux d'actualisation), les principaux résultats (cf. section 2.7,  $VAN_n$ ,  $VAN_\infty$ , BCR...) et la liste de l'ensemble des opérations économiques considérées (Figure 6).

Il est particulièrement important d'utiliser ce visu pour vérifier que la période a été bien définie (dates de début et de fin, hypothèse concernant la cyclicité des opérations économiques) et que les recettes et dépenses ont été correctement calculées (année et valeur du flux financier).

Outre les valeurs des indicateurs économiques, le visu affiche également des informations sommaires pour aider l'utilisateur à interpréter ces valeurs.

#### 3.3.2 Liste de prix

Ce graphique permet de vérifier les valeurs qui ont été définies dans la liste de prix (Figure 7). Le prix unitaire est calculé pour différentes valeurs de diamètres. Ces valeurs sont paramétrables dans les options du graphique (diamètres minimum et maximum et intervalle entre chaque valeur de diamètre). Ce graphique n'est disponible que si le modèle utilise une liste de prix (et pas une fonction de prix).

#### 3.3.3 Valeur marchande / diamètre

Ce graphique permet d'illustrer pour une scène donnée (la scène qui est sélectionnée lors de l'ouverture du graphique) la relation entre le diamètre et la valeur marchande des arbres (Figure 8). Il est possible, dans les configura-

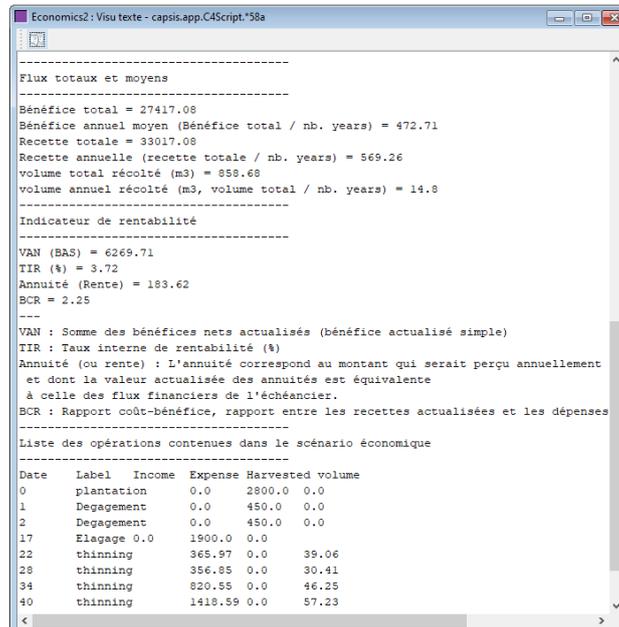


FIGURE 6 – Visualisateur texte permettant de visualiser les paramètres et les principaux résultats.

tions du graphique, de sélectionner uniquement les arbres appartenant à un groupe (ex. espèce).

### 3.3.4 Valeur marchande / temps

Ce graphique présente l'évolution de la valeur marchande du peuplement dans le temps (Figure 9). La valeur marchande du peuplement est égale à la somme de la valeur marchande de tous les arbres.

### 3.3.5 Valeur / temps

Ce graphique permet de visualiser l'évolution de la valeur d'un peuplement au cours de la simulation (Figure 10). Trois méthodes de calcul de la valeur sont proposées. Il s'agit de la valeur en bloc, de la valeur au prix de revient et de la valeur d'attente (cf. section 2.6).

La valeur en bloc est la méthode la plus rigoureuse. Cette méthode ne peut néanmoins pas être calculée si la période du scénario économique est définie comme une période transitoire (section 3.1.2). Dans les autres cas, en utilisant un taux d'actualisation donné, l'algorithme commence par calculer la valeur initiale de la forêt ( $VAN_{\infty}$ ) puis calcule l'évolution de la valeur de cette

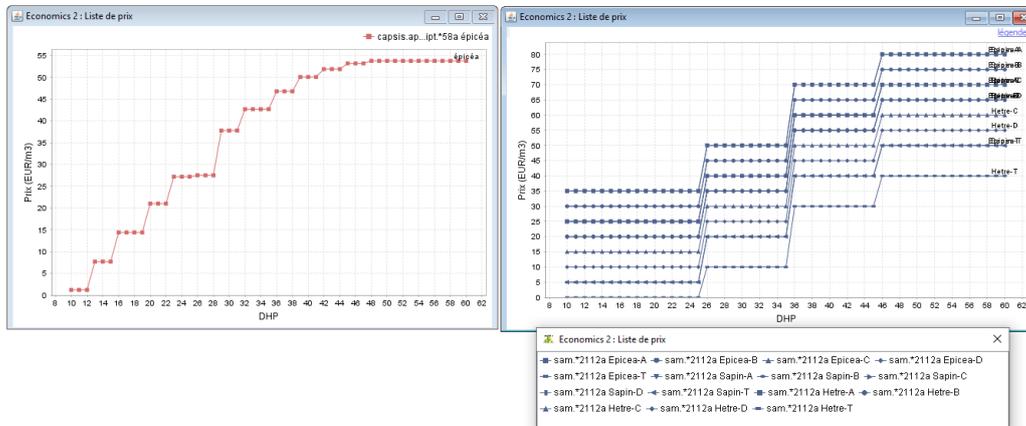


FIGURE 7 – Graphique permettant de visualiser la liste de prix utilisée. Le graphique de gauche a été produit avec le module GYMNOS et le fichier texte de la figure 5. Le graphique de droite a été produit avec le module SAMSARA2. Dans le graphique de droite, on note que des courbes de prix différentes sont affichées pour les différentes essences et qualités.

forêt au cours du temps en utilisant l'équation 7. Le taux d'actualisation qui est utilisé pour faire ces calculs est paramétrable dans les configurations du graphique.

Les deux autres méthodes - la méthode au prix de revient (Equation 7) et la méthode de la valeur d'attente (Equation 6) - demandent de définir à la fois le taux d'actualisation et la valeur initiale ou finale de la forêt (Section 2.6). Si l'entièreté des flux financiers ont pu être rassemblés pour calculer la valeur actuelle à perpétuité (valeur initiale de la forêt) alors l'intérêt de ces deux méthodes est uniquement pédagogiques puisqu'elles peuvent mener à des résultats erronés (si la valeur initiale n'est pas égale à  $VAN_{\infty}$  calculé pour le même taux d'actualisation).

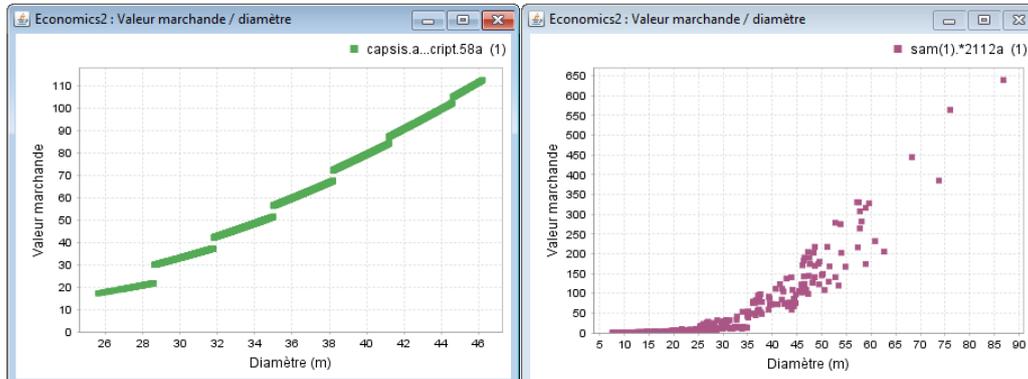


FIGURE 8 – Graphique permettant de visualiser la dispersion du diamètre et de la valeur des arbres d’une scène. Le graphique de gauche a été produit avec le module GYMNOS et le graphique de droite a été produit avec le module SAMSARA2. Dans la simulation avec SAMSARA2, le prix n’est pas uniquement fonction du diamètre. Il dépend aussi de l’essence et de la qualité de l’arbre.

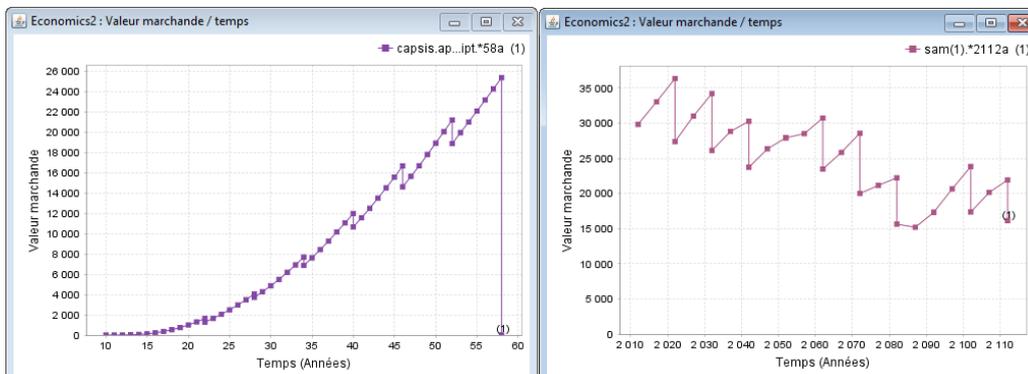


FIGURE 9 – Graphique permettant de visualiser l’évolution de la valeur marchande du peuplement dans le temps. Le graphique de gauche a été produit avec le module GYMNOS et le graphique de droite a été produit avec le module SAMSARA2. La valeur marchande du peuplement régulier augmente de manière exponentielle jusqu’à la mise à blanc alors que la valeur marchande du peuplement irrégulier garde une valeur élevée pendant l’entièreté de la période simulée.

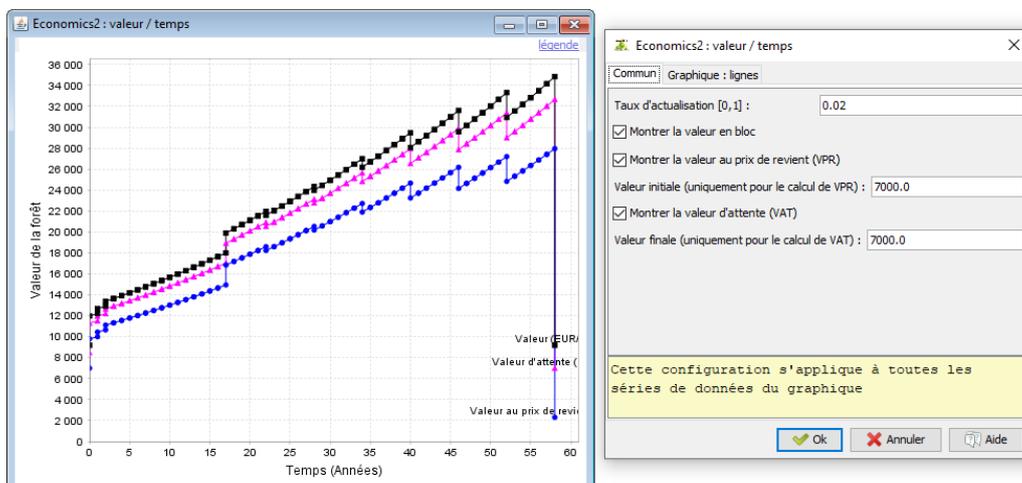


FIGURE 10 – Graphique permettant de visualiser l'évolution de la valeur d'un peuplement dans le temps. Le graphique a été produit avec le module GYMNOS et représente l'évolution de la valeur d'un peuplement régulier débutant par une plantation et se terminant par une mise à blanc. La valeur initiale et finale de la forêt (le fonds dans ce cas) calculée pour un taux d'actualisation de 2% est de 9042 €. On note que les méthodes au prix de revient ou de la valeur d'attente mènent à des résultats erronés si la valeur initiale ou finale est fixée à 7000 €.

### 3.3.6 Annuité / temps

Ce graphique présente des estimation de l'annuité calculée avec l'équation 11. Conformément à la suggestion de (Hanewinkel et al., 2014), trois variantes de calculs sont proposées :

**Variante 1** Chaque valeur d'annuité est calculée en intégrant uniquement les dépenses et les recettes perçues pendant une rotation (entre deux coupes).

**Variante 2** Les valeurs d'annuité sont calculées en englobant toutes les recettes et dépenses de l'année initiale jusqu'à l'année considérée.

**Variante 3** Les valeurs d'annuité sont calculées en englobant toutes les recettes et dépenses de l'année finale à rebours jusqu'à l'année considérée.

L'utilisateur peut choisir d'afficher ou non ces différentes variantes à partir des configuration du graphique. L'utilisateur peut également modifier le taux d'actualisation utilisé dans les calculs.

L'annuité est donc calculée pour chaque rotation. Dans la figure 11, le graphique de gauche illustre l'évolution de l'annuité (variante 1) pour un peuplement régulier dont la simulation a été réalisée avec GYMNOS et en suivant l'échéancier du tableau 1. Le premier point à 10 ans correspond à l'annuité calculée entre l'année 10 et l'année 22\* (après intervention). L'annuité pour cette période est négative. La recette actualisée de l'éclaircie à 22 ans ne permet pas de compenser la dépense actualisée de l'élagage réalisé à 17 ans. L'annuité atteint un maximum à 44 ans et décroît ensuite. Le gain en valeur marchande du peuplement décroît donc après 44 ans. Pour la période allant de 52 and 58\* ans, l'annuité est de 653,5 €/ha/an. Cette valeur a été calculée à partir de la valeur marchande à 52 ans (18889,66 €/ha), à 58\* ans (0 €/ha) et de la recette de la mise à blanc (25395,46 €/ha) :

$$a_{52 \rightarrow 58^*} = \left( \frac{VM_{52+6}}{(1+r)^6} + \sum_{i=x}^{52+6} \frac{R_i - D_i}{(1+r)^{i-52}} - VM_{52} \right) \cdot \frac{(1+r)^6}{(1+r)^6 - 1} \cdot r$$

$$a_{52 \rightarrow 58^*} = \left( 0 + \frac{25395,46}{(1+r)^6} - 18889,66 \right) \cdot \frac{(1+r)^6}{(1+r)^6 - 1} \cdot r = 653,5$$

Le graphique de droite dans la figure 11 a été obtenu en effectuant une simulation sur 100 ans d'un peuplement irrégulier. Les résultats pour les trois variantes de l'annuité sont illustrés. On note que pour le premier intervalle les calculs avec les variantes 1 et 2 mènent bien au même résultat. Pour le dernier intervalle, ce sont les calculs des variantes 1 et 3 qui mènent au même

résultat. A l'exception des deux dernières rotations, l'annuité est négative pour la majorité des rotations. La gestion simulée (de manière trop arbitraire) ne semble donc pas très propice d'un point de vue financier et en ne considérant que la période simulée. Lors de cette simulation particulière, la valeur marchande du peuplement a diminué pendant 80 ans (Figure 9). Les prélèvements étaient supérieurs à l'accroissement en valeur du peuplement. Lors des 20 dernières années, la valeur marchande après coupe est restée plus stable.

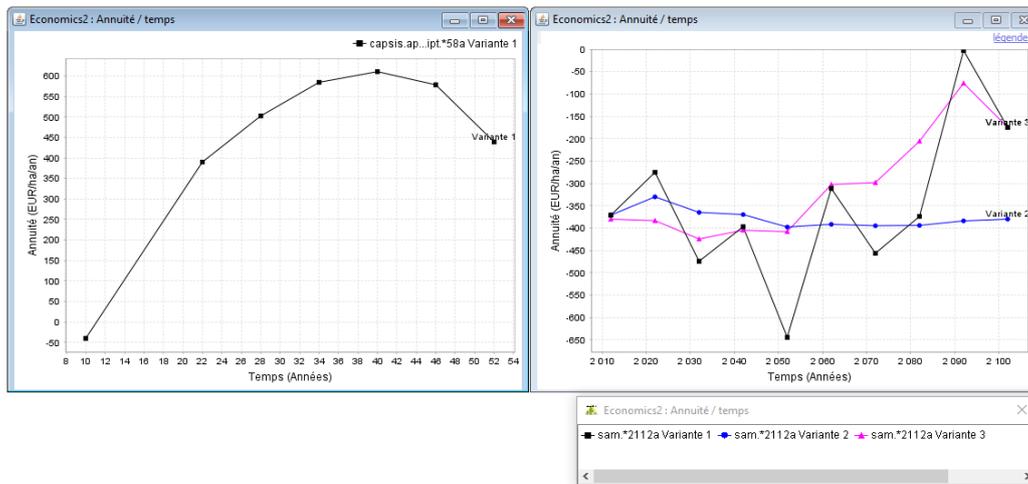


FIGURE 11 – Graphique permettant de visualiser l'évolution de l'annuité dans le temps. Le graphique de gauche a été produit avec le module GYM-NOS et représente l'évolution de l'annuité pour un peuplement régulier. Le graphique de droite a été produit avec le module SAMSARA2 pour un peuplement irrégulier. L'annuité est calculée pour chaque rotation. Dans le graphique de gauche, le premier point correspond à l'annuité de la période s'étalant de 10 (début de la simulation) à 22 ans (première coupe).

### 3.3.7 VAN / r

Ce graphique présente une analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (bénéfice actualisé simple, BAS) en fonction du taux d'actualisation. La gamme des valeurs de taux d'actualisation à tester est paramétrable dans les configurations du graphique (Figure 12).

Le taux d'actualisation pour lequel  $VAN_n = 0$  correspond au taux interne de rentabilité (TIR). Dans le cas de la figure 12, le TIR est de 3,7%. Cette dernière valeur est donnée dans le visu.

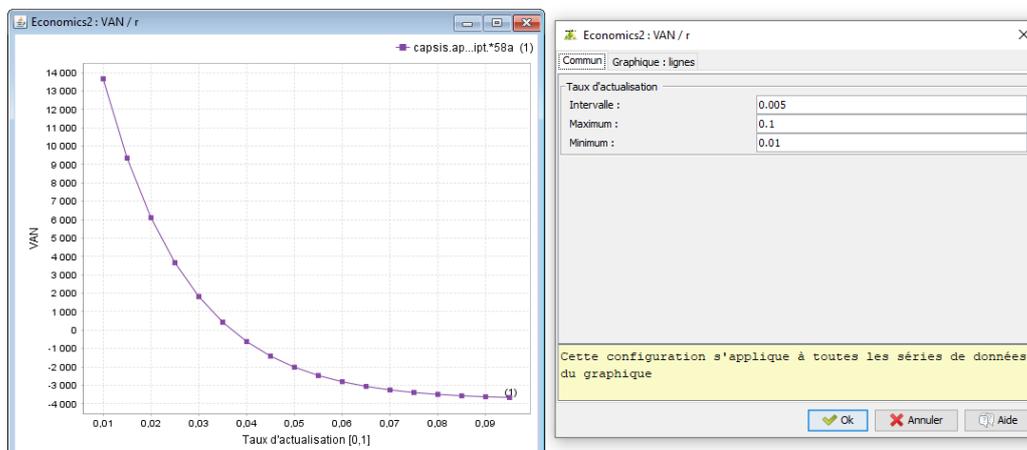


FIGURE 12 – Évolution de la somme des bénéfices actualisés ( $VAN_n$ ) en fonction du taux d'actualisation. La gamme des valeurs de taux d'actualisation à tester est paramétrable dans les configurations du graphique.

### 3.3.8 $VAN2 / r$

Ce graphique présente une analyse de sensibilité du  $VAN2$  en fonction du taux d'actualisation. En plus des dépenses et des recettes prises en compte lors du calcul de  $VAN$ , la  $VAN2$  (bénéfice actualisé simple en tenant compte du fonds, BASF) suppose deux flux financiers supplémentaires liés à l'achat de la forêt l'année initiale et la vente de la forêt finale. Pour calculer la  $VAN2$ , l'utilisateur doit donc définir les valeurs initiale et finale de la forêt (parfois égales aux fonds). La gamme des valeurs de taux d'actualisation à tester est également paramétrable dans les configurations du graphique (Figure 13).

Le taux d'actualisation pour lequel  $VAN2 = 0$  correspond à la deuxième variante du taux interne de rentabilité (TIR2). Si les valeurs initiale et finale sont calculées en utilisant la valeur en bloc de la forêt alors TIR2 sera égal à la valeur du taux d'actualisation utilisé pour faire ces derniers calculs. Ainsi, dans la figure 12, le taux d'actualisation tel que  $VAN2 = 0$  est de 2%.

### 3.3.9 $VANi / r$

Ce graphique présente une analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette à perpétuité (bénéfice actualisé à séquence infinie, BASI) en fonction du taux d'actualisation. La gamme des valeurs de taux d'actualisation à tester est également paramétrable dans les configurations du graphique (Figure 14). La valeur actuelle nette à perpétuité est égale à zéro lorsque le taux d'actualisation est égal au TIR. Pour la simulation illustrée à la figure 14, le

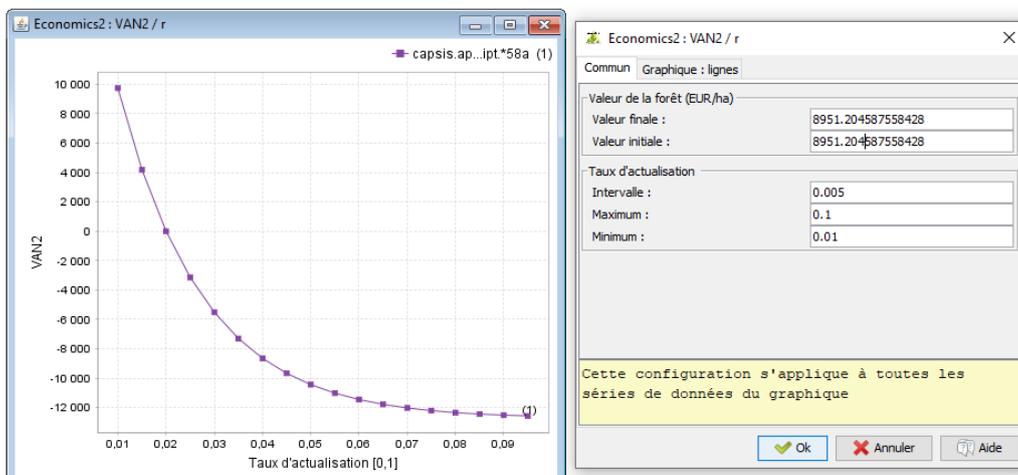


FIGURE 13 – Évolution de la VAN2 en fonction du taux d’actualisation. La gamme des valeurs de taux d’actualisation à tester est paramétrable dans les configurations du graphiques. Les valeurs initiale et finale de la forêt doivent également être définies.

taux interne de rentabilité est de 3,7%.

### 3.3.10 Valeur cumulée / temps

Ce graphique présente l’évolution cumulée des dépenses, des recettes et des bénéfices (Figure 15) de la scène initiale jusqu’à la scène sélectionnée. A l’aide des configurations du graphique, il est possible d’afficher uniquement les dépenses, uniquement les recettes ou à la fois les dépenses et les recettes.

### 3.3.11 Valeur moyenne / temps

Ce graphique présente l’évolution des dépenses, recettes et bénéfices moyens de la première année jusqu’à la scène sélectionnée. A l’aide des configuration du graphique, il est possible d’afficher uniquement les dépenses, uniquement les recettes ou à la fois les dépenses et les recettes.

### 3.3.12 Exporter les résultats

L’échéancier ainsi que les valeurs des indicateurs principaux peuvent être exportés dans un fichier texte. L’outil d’export est accessible avec un clic droit sur la dernière scène, en sélectionnant ensuite le menu “exporter” et ensuite l’outil “Economics2 : export” (Figure 16).

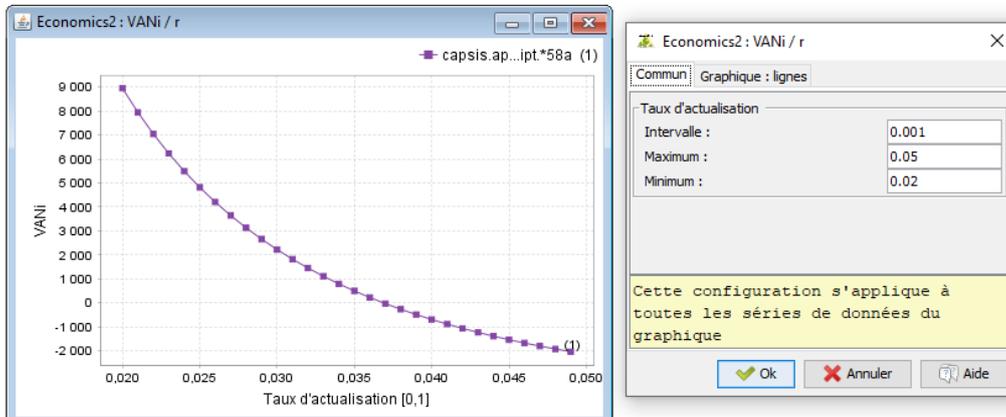


FIGURE 14 – Évolution de la valeur actuelle nette à perpétuité en fonction du taux d’actualisation. La gamme des valeurs de taux d’actualisation à tester est paramétrable dans les configurations du graphique.

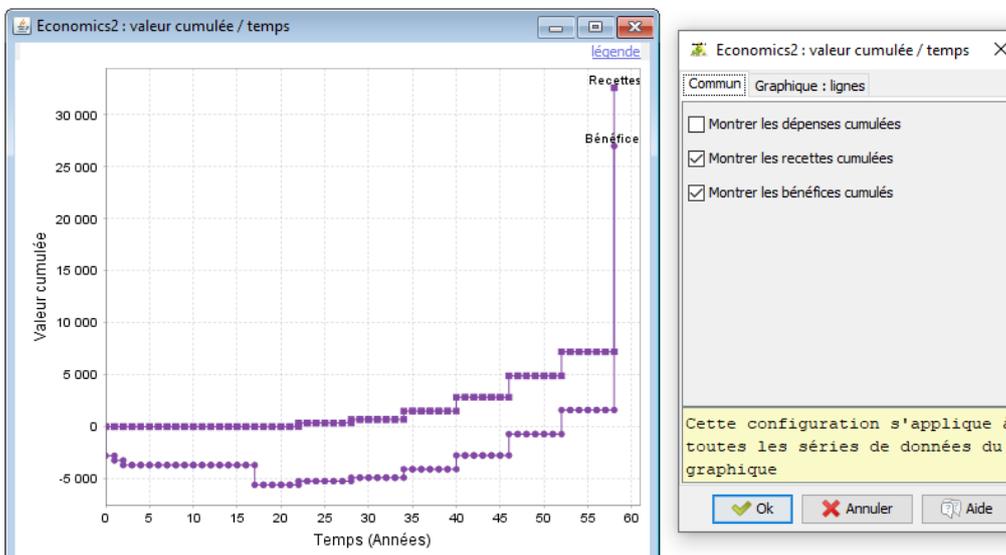


FIGURE 15 – Évolution de la valeur cumulée des recettes et des bénéfices pour une simulation. On note sur cet exemple, que les bénéfices cumulés ne sont positifs qu’après 52 ans.

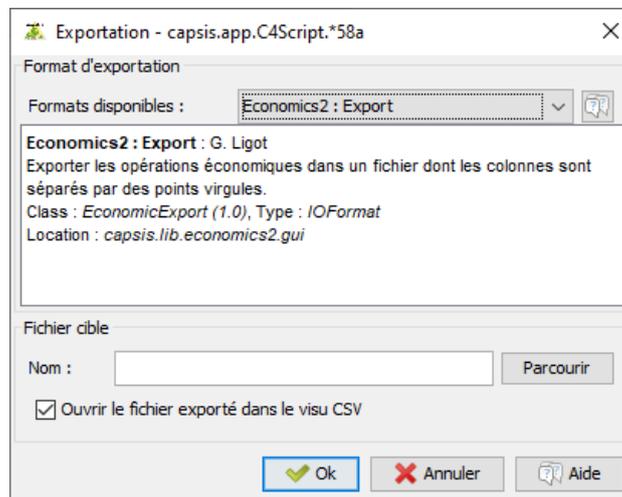


FIGURE 16 – La majorité des résultats économiques calculés pour un scénario donné peut être exporté dans un fichier texte.

## 3.4 Scripts

L'exécution de calculs économiques peut également être réalisée à l'aide de scripts sans ouvrir l'interface graphique.

La première étape consiste à initialiser une instance de la classe `EconomicScenario`. Deux constructeurs peuvent être utilisés :

- `EconomicScenario(Project project, EconomicModel model, Double discountRate, Double land)` Ce constructeur est utilisé si l'on préfère définir dans le script tous les paramètres économiques. La valeur du taux d'actualisation (`discountRate`) ou la valeur du fonds (`land`) peuvent être nulles.
- `EconomicScenario(Project project, EconomicModel model, String filename)` Avec ce constructeur, une partie des paramètres sont importés à partir d'un fichier texte. Tous les paramètres ne devront pas être redéfinis dans le script (ex. liste de prix).

Avant de calculer les paramètres économiques, différentes opérations économiques (`EconomicOperation`) peuvent être ajoutées et modifiées. Le scénario économique peut également être modifié.

Une fois l'ensemble des paramètres bien défini, le scénario peut être évalué avec la méthode `evaluate(int firstDateScenario, int lastDateScenario, Integer firstDateInfiniteCycle, EconomicCase economicCase, Step selectedStep)`.

Les résultats s'afficheront dans la console. Ils peuvent aussi être exportés, par exemple avec la méthode `storeEconomicResults` de la classe `EconomicScenario`.

### 3.4.1 Premier exemple de script

```
1 package gymnos.myscripts;
2 // [...] imports were omitted, see the source file
3 public class SimpleEconomicScript {
4
5     public static void main (String[] args) throws Exception {
6         C4Script script = new C4Script ("gymnos");
7         //Create a virtual stand of picea (area=10000m2,siteIndex
8         =29,age=17,NumberOfTreesPerHa=2500)
9         GymnoInitialParameters i = new GymnoInitialParameters
10        (10000, 29, 20, 2500);
11        i.species = GymnoSpecies.PICEA_ABIES;
12
13        //initialization
```

```

12  script.init(i);
13  Step step;
14  Intervener intervener;
15
16  //Simulate 30 years of evolution without cutting
17  step = script.evolve (new GymnoEvolutionParameters (30));
18
19  GymnoModel m = ((GymnoModel)script.getModel());
20
21  //Define de the economic scenario
22  EconomicScenario es = new EconomicScenario (m.getProject
(), m, -0.015, 1000);
23
24  //clear-cut
25  GymnoRDIThinner gymnoRDIThinner = new GymnoRDIThinner(1d
,1d,0.8d,true);
26  gymnoRDIThinner.setPrice(20); // 20 EUR/m3
27  intervener = gymnoRDIThinner;
28  step = script.runIntervener (intervener,step);
29
30  //Add economic operations
31  //plantation
32  EconomicOperation op=new EconomicOperation("plantation",
Type.TREE_NUMBER, Trigger.ON_DATE, false, 0.24); //0.24
EUR/tree
33  List<Integer> listOfDates = new ArrayList();
34  listOfDates.add(0);
35  op.setValidityDates(listOfDates);
36  es.addUserDefinedOperation(op);
37
38  //Protection against deers
39  op=new EconomicOperation("protection chevreuril",Type.
TREE_NUMBER, Trigger.ON_DATE, false, 0.22); //0.22 EUR/
tree
40  listOfDates = new ArrayList();
41  listOfDates.add(0);
42  op.setValidityDates(listOfDates);
43  es.addUserDefinedOperation(op);
44
45  //Plantation refilling
46  op=new EconomicOperation("Regarnissage 300",Type.FIXED,
Trigger.ON_DATE, false, 300); //300 EUR/ha
47  listOfDates = new ArrayList();
48  listOfDates.add(1);
49  op.setValidityDates(listOfDates);
50  es.addUserDefinedOperation(op);
51
52  //Plantation clearing
53  op=new EconomicOperation("Degagement",Type.FIXED, Trigger

```

```

54     .ON_DATE, false, 400); //400 EUR/ha
55     listOfDates = new ArrayList();
56     listOfDates.add(1);
57     listOfDates.add(3);
58     listOfDates.add(5);
59     op.setValidityDates(listOfDates);
60     es.addUserDefinedOperation(op);
61
62     //Prunning
63     op=new EconomicOperation("Elagage",Type.FIXED, Trigger.
64     ON_DATE, false, 1500); //1500 EUR/ha
65     listOfDates = new ArrayList();
66     listOfDates.add(17);
67     op.setValidityDates(listOfDates);
68     es.addUserDefinedOperation(op);
69
70     // compute economic indicators
71     es.evaluate(0,50,null,EconomicCase.
72     INFINITY_CYCLE_WITH_LAND_OBSERVATION_AT_FIRST_AND_LAST_DATE
73     ,step);
74
75     // Save to reopen in gui mode (for demonstration)
76     String out = script.getRootDir () + "/tmp/
77     simpleEconomicScript.prj";
78     Engine.getInstance ().processSaveAsProject (script.
79     getProject(), out);
80     System.out.println ("Wrote project file: " + out);
81
82     // store the economic results
83     es.storeEconomicResults (script.getRootDir () + "/tmp/
84     simpleEconomicScript_economics.csv");
85
86 }
87 }

```

### 3.4.2 Exemple de script utilisant un fichier texte

```

1 package gymnos.myscripts;
2 // [...] imports were omitted, see the source file
3 public class SimpleEconomicScriptWithFile {
4
5     public static void main (String[] args) throws Exception {
6
7         C4Script script = new C4Script ("gymnos");
8         String filename = PathManager.getDir ("data") + "/gymnos/
9         economics/economicOperations.txt";
10
11         //output file
12         Date today = new Date();

```

```

12     SimpleDateFormat formater = new SimpleDateFormat("
yyyyMMdd-HH:mm");
13     String date = formater.format (today);
14     String filenameStandTable = PathManager.getDir ("tmp") +
"/standTable"+date+".csv";
15     String filenameEconomicResults = PathManager.getDir ("tmp
") + "/economicResults"+date+".csv";
16
17     //Create a virtual stand of picea (area=10000m2,siteIndex
=29,age=17,NumberOfTreesPerHa=2500)
18     GymnoInitialParameters i = new GymnoInitialParameters
(20000, 27, 15, 2500);
19     i.species = GymnoSpecies.PICEA_ABIES;
20     i.annualBarkPeelingRate = 0.00;
21
22     //initialisation
23     script.init(i);
24     Step step;
25     GymnoStand st;
26     Intervener intervener;
27     GymnoModel m = ((GymnoModel)script.getModel());
28     EconomicScenario es = new EconomicScenario (m.getProject
(), m, filename);
29
30     // define a silvicultural scenario
31     step = script.evolve (new GymnoEvolutionParameters (5));
// 20 year
32
33     GymnoNHAThinner nhaThinner = new GymnoNHAThinner(0.30d,1d
,1d, true);
34     intervener = nhaThinner;
35     step = script.runIntervener (intervener,step);
36
37     step = script.evolve (new GymnoEvolutionParameters (5));
// 25 year
38
39     GymnoRDIThinner rdiThinner = new GymnoRDIThinner(0.4d,0d
,0.7d, true);
40     intervener = rdiThinner;
41     step = script.runIntervener (intervener,step);
42
43     step = script.evolve (new GymnoEvolutionParameters (5));
// 30 year
44
45     rdiThinner = new GymnoRDIThinner(0.4d,0d,0.7d, true);
46     intervener = rdiThinner;
47     step = script.runIntervener (intervener,step);
48
49     for(int age = 30; age <= 55; age += 5){

```

```

50     step = script.evolve (new GymnoEvolutionParameters (5))
; // 35 year
51     rdiThinner = new GymnoRDIThinner(0.4d,0d,0.4d, true);
52     intervener = rdiThinner;
53     step = script.runIntervener (intervener,step);
54 }
55
56     step = script.evolve (new GymnoEvolutionParameters (5));
// 65 year
57
58     //clear cut
59     nhaThinner = new GymnoNHAThinner(1d,1d,0.8d,true);
60     intervener = nhaThinner;
61     step = script.runIntervener (intervener,step);
62
63     es.evaluate(0,65,null,EconomicCase.
INFINITY_CYCLE_WITH_LAND_OBSERVATION_AT_FIRST_AND_LAST_DATE
,step);
64
65     // store gymnos results
66     ScriptStoreResults.WriteStandTable_v1(step,i,
filenameStandTable,"");
67
68     // store economic results
69     es.storeEconomicResults (filenameEconomicResults);
70
71     // Save to reopen in gui mode (for demonstration)
72     String out = script.getRootDir () + "/tmp/
simpleEconomicScript.prj";
73     Engine.getInstance ().processSaveAsProject (script.
getProject(), out);
74     System.out.println ("Wrote project file: " + out);
75
76 }
77 }

```

## 4 Implémentation

Rendre un module compatible avec Economics2 demande d'effectuer quelques modifications dans le code source du module. Les modifications à apporter sont néanmoins peu nombreuses et ces modifications sont rapidement effectuées. Ces modifications sont décrites dans les sections qui suivent.

### 4.1 XScene

La scène du module doit implémenter l'interface `EconomicScene`. Les méthodes de l'interface doivent donc être redéfinies. Il convient également de corriger la méthode `clone` de la scène.

A titre d'exemple, le code suivant, illustre les modifications qui ont été apportées à la classe `GymnoStand`.

```
1 // add new variables
2 private Collection<EconomicTree> harvestedEconomicTrees;
3 private List<EconomicOperation> economicOperations;
4
5 // define the methods of the interface
6 @Override
7 public List<EconomicTree> getLivingEconomicTrees() {
8     if (nTrees != 0){
9         return new ArrayList<EconomicTree>((Collection<
10         GymnoTree>) getTrees());
11     }else{
12         return new ArrayList<EconomicTree>();
13     }
14 }
15
16 @Override
17 public List<EconomicTree> getHarvestedEconomicTrees(){
18     if(this.harvestedEconomicTrees==null) return new
19     ArrayList<EconomicTree>();
20     return (List<EconomicTree>) this.harvestedEconomicTrees;
21 }
22
23 @Override
24 public void setHarvestedEconomicTrees(List<EconomicTree>
25     trees){this.harvestedEconomicTrees = trees;}
26
27 @Override
28 public List<EconomicOperation> getEconomicOperations(){
29     return economicOperations;}
30
31 @Override
32 public void addEconomicOperation(EconomicOperation op){
```

```

29     if(economicOperations == null) economicOperations = new
ArrayList<EconomicOperation>();
30     this.economicOperations.add(op);}
31
32     @Override
33     public void setEconomicOperation(List<EconomicOperation>
ops){this.economicOperations = ops;}
34
35     // correct the clone method
36     public Object clone () {
37         GymnoStand s = (GymnoStand) super.clone ();
38         s.economicOperations = null;
39         s.harvestedEconomicTrees = null;
40         return s;
41     }

```

## 4.2 XModel

La classe XModel doit implémenter l'interface EconomicModel. Les méthodes de l'interface doivent donc être redéfinies. Il faut notamment préciser les listes des espèces et des qualités du modèle ainsi que la méthode de calcul de la valeur marchande (StumpageValueOption).

Le modèle peut en outre également implémenter l'interface EconomicModel-WithPrice. C'est le choix qui a été réalisé pour le modèle SAMSARA2. Cette interface permet de charger une liste de prix qui est définie par le modèle plutôt que lors de la définition du scénario économique.

Le code suivant illustre les modifications apportées dans la classe Samsa2-Model (SAMSARA2).

```

1 // Methods of the EconomicModel interface
2 private EconomicScenario ecoScenario;
3
4 @Override
5 public EconomicScenario getEconomicScenario() {
6     return ecoScenario;
7 }
8
9 @Override
10 public void setEconomicScenario(EconomicScenario es) {
11     this.ecoScenario = es;
12 }
13
14 // Species list
15 @Override
16 public Map<Integer, String> getSpeciesDictionary() {

```

```

17 Map<Integer, String> m = new HashMap<Integer, String>();
18 for (int speciesId : getSettings().speciesMap.keySet()) {
19     Samsa2Species sp = getSettings().speciesMap.get(speciesId
20     );
21     m.put(speciesId, sp.getName());
22 }
23 return m;
24 }
25 // Category list
26 @Override
27 public Map<Integer, String> getCategoryPriceDictionary() {
28     Map<Integer, String> categoryMap = new HashMap<Integer,
29     String>();
30     categoryMap.put(1, "A");
31     categoryMap.put(2, "B");
32     categoryMap.put(3, "C");
33     categoryMap.put(4, "D");
34     categoryMap.put(5, "T");
35     return categoryMap;
36 }
37 // define how the stumpage value is computed
38 @Override
39 public StumpageValueOption getStumpageValueOption() {
40     return StumpageValueOption.PRICE_LIST;
41 }
42
43 // methods of the EconomicModelWithPrice interface
44 //Returns true if the priceList is actually available (the
45 // price list may be
46 // optional, see Samsara2)
47 public boolean isPriceListAvailable() {
48     return getSettings().priceManager != null;
49 }
50
51 @Override
52 public void loadPriceList(EconomicSettings ecoSettings)
53     throws Exception {
54     Samsa2PriceManager pm = getSettings().priceManager;
55     Map<String, SpeciesQualityPriceList> map = pm.getPriceMap()
56     ;
57     for (String key : map.keySet()) {
58         int separatorIndex = key.indexOf("_");
59         String part1 = key.substring(0, separatorIndex);
60         int speciesCode = Integer.parseInt(part1);
61         String quality = key.substring(separatorIndex + 1);
62         int category = Samsa2Model.getEconomics2Category(quality)
63         ;

```

```

60     SpeciesQualityPriceList list = map.get(key);
61     // Load the price list in the economics2 library
62     for (SpeciesQualityPriceList.Price price : list.
        getPriceList()) {
63         ecoSettings.addPrice(price.classUpperDbh, price.
        unitPrice_euro_m3, speciesCode, category);
64     }
65 }
66 }

```

### 4.3 XTree

La classe `XTree`, si elle existe (ex. modèle peuplement), doit implémenter l'interface `EconomicTree`. Les méthodes de l'interface doivent donc être redéfinies. Il s'agit essentiellement de préciser les volumes (éventuellement par catégorie de qualité) qui doivent être pris en compte pour les calculs économiques.

Le code suivant illustre les modifications qui ont été apportées dans la classe `HetTree` (HETEROFOR).

```

1 @Override
2 public double getEconomicVolume_m3() {
3     return this.getCommercialVolumeM3();
4 }
5
6 @Override
7 public int getSpeciesValue() {
8     return this.getSpecies().getValue();
9 }

```

### 4.4 XIntervener

Pour être compatible avec `Economics2`, les extensions (par exemple des algorithmes d'éclaircie) doivent créer une instance de la classe `EconomicOperation` ainsi qu'une liste avec les arbres concernés (instances de la classe `EconomicTrees`) dans la scène qui suit l'intervention. Cette dernière liste sera notamment utilisée pour calculer le volume concerné par l'intervention.

L'opération économique peut être personnalisée. Par exemple, la méthode de calcul de la dépense ou de la recette est modifiable. Le `trigger` doit par contre nécessairement être égal à `ON_INTERVENTION`.

Plusieurs opérations économiques différentes peuvent être créées. Par exemple, une éclaircie peut créer une opération économique générant des recettes et

une autre opération économique générant des dépenses (ex. coût d'exploitation).

Le code ci-dessous illustre les modifications apportées dans la méthode `apply()` de la classe `UnevenAgedManager`.

```
1 if (model instanceof EconomicModel) {
2 // build a list with the concerned trees
3 List<EconomicTree> harvestedTrees = new ArrayList<
4 EconomicTree>();
5 for (SpatializedTree t : treesToRemove) {
6 harvestedTrees.add((EconomicTree) t);
7 }
8 EconomicScene economicScene = (EconomicScene) stand;
9 // save the list
10 economicScene.setHarvestedEconomicTrees(harvestedTrees);
11 // create and define the economic operation
12 EconomicOperation economicOperation = new EconomicOperation
13 ("Uneven-aged thinning",
14 EconomicOperation.EconomicOperationType.
15 PRICE_LIST_OR_FUNCTION, EconomicOperation.
16 EconomicOperationTrigger.ON_INTERVENTION, true, 0d,
17 harvestedTrees, (EconomicScene) stand);
18 // save the operation
19 economicScene.addEconomicOperation(economicOperation);
20 }
21 }
```

## 5 Modules et extensions compatibles

Les listes ci-dessous ont été mises à jour le 27-09-2021.

### 5.1 Liste des modules compatibles

- GYMNOS
- SAMSARA2
- WALLTREE
- PP3
- PINUSPINASTER
- HETEROFOR

### 5.2 Liste des extensions compatibles

- C2Thinner (capsis)
- DensityTypeRandomnessThinner (capsis)

- DHAThinner (copsis)
- FilterThinner (copsis)
- HistoThinner (copsis)
- MArteloThinner (copsis)
- GymnoBarkPeelingThinner (gymnos)
- GymnoDeerProtection (gymnos)
- GymnoGHAThinner (gymnos)
- GymnoGHAThinner2 (gymnos)
- GymnoGlobalThinner (gymnos)
- GymnoNHAThinner (gymnos)
- GymnoNHAThinner2 (gymnos)
- GymnoRDIThinner (gymnos)
- GymnoRDIThinner2 (gymnos)
- HetThinner (heterofor)
- C2Thinner (pinuspinaster)
- FromThinner (pinuspinaster)
- UnevenAgedManager (samsara2)
- MultiCriteriaThinner (samsara2)
- WalThinner (walmartree)

## 6 Remerciements

La mise au point d'Economics2 n'aurait simplement pas pu voir le jour sans le travail de François de Coligny. Le développement d'Economics2 a également pu compter sur les appuis d'Olivier de Thier et de Samuel Quevauvillers. Enfin, c'est grâce aux retours des utilisateurs et aux modifications qu'ils proposent ou mettent en œuvre que la librairie ne cesse d'évoluer. Un grand merci à Benoît Courbaud, Céline Méredieu, Christophe Orazio et Thierry Labbe.

Ce travail a été financé en partie par l'Accord-Cadre de Recherche et de Vulgarisation Forestières (Service public de Wallonie) et le projet BELSPO REGE+.

## Références

- Hanewinkel, M., Frutig, F., Lemm, R., 2014. Economic performance of uneven-aged forests analysed with annuities. *Forestry* 87, 49–60. doi :[10.1093/forestry/cpt043](https://doi.org/10.1093/forestry/cpt043).
- Möhring, B., 2001. The German struggle between the 'Bodenreinertragslehre'

(land rent theory) and ‘Waldreinertragslehre’ (theory of the highest revenue) belongs to the past — but what is left? *Forest Policy and Economics* 2, 195–201. doi :[10.1016/S1389-9341\(01\)00049-1](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(01)00049-1).

Möhring, B., Rüping, U., 2008. A concept for the calculation of financial losses when changing the forest management strategy. *Forest Policy and Economics* 10, 98–107. doi :[10.1016/j.forpol.2007.06.004](https://doi.org/10.1016/j.forpol.2007.06.004).