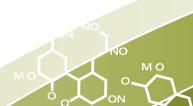


# Guide d'utilisation du simulateur de croissance forestière Natura-2014 sur Capsis

## Version 1.0

par Isabelle Auger, Stat. ASSQ, M. Sc.



$$P'(t) = \frac{r}{k} P(t)(b - P(t))$$
$$V_{AE,ik} = \beta_1 d h p_{ik}^{\beta_2} H_{ik}^{\beta_3} + \varepsilon_{2,ik}$$

**GUIDE D'UTILISATION**

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE



# **Guide d'utilisation du simulateur de croissance forestière Natura-2014 sur Capsis**

## **Version 1.0**

par Isabelle Auger, Stat. ASSQ, M. Sc.

**GUIDE D'UTILISATION**

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

ISBN (PDF) : 978-2-550-77510-2

© Gouvernement du Québec  
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP),  
Direction de la recherche forestière (DRF)  
Mars 2017



## Résumé

Natura est un modèle de croissance forestière à l'échelle du peuplement pour les forêts du Québec. Il a été développé à la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Ce modèle fait varier directement les caractéristiques dendrométriques d'une placette, sans utiliser d'information à l'échelle de l'arbre, pour simuler l'évolution d'un peuplement. Pour faciliter les simulations, Natura a été intégré à la plateforme Capsis, élaborée par l'Institut National de Recherche en Agronomie<sup>1</sup> de France et ses partenaires. Ce logiciel générique permet d'implanter différents modèles sous une même application, d'effectuer plusieurs simulations dans une même session et de comparer plusieurs scénarios sylvicoles. Il permet aussi de visualiser les résultats de simulation sous forme de graphiques et de les exporter sous forme de tableaux. Ce guide fournit les informations nécessaires à l'utilisation du modèle Natura sur la plateforme Capsis. Il explique la marche à suivre, de l'importation du fichier d'inventaire jusqu'à l'exportation des simulations, et présente les différentes options et fonctionnalités disponibles.

**Mots-clés :** modèle de croissance, simulation, logiciel, forêt

---

<sup>1</sup> <http://capsis.cirad.fr/capsis>



## Tables des matières

Résumé .....	iii
Liste des tableaux .....	vii
Liste des figures .....	ix
Liste des annexes .....	xi
1. Description du modèle Natura .....	1
2. La plateforme Capsis .....	5
2.1 Installation de Capsis .....	5
2.2 Démarrage d'un projet .....	5
2.3 Chargement d'un inventaire .....	7
2.3.1 Fichier d'inventaire .....	9
2.3.2 Fichier des études d'arbres .....	12
2.3.3 Exemple de fichiers de données .....	13
2.3.4 Validation des données d'entrée .....	16
2.4 Simulation .....	17
2.4.1 Horizon de simulation .....	18
2.4.2 Prise en compte des perturbations naturelles légères et des défoliations dues à la tordeuse des bourgeons de l'épinette .....	18
2.4.3 Fichier de scénario .....	19
2.4.4 Comparaison de différents scénarios d'évolution .....	20
2.5 Sorties du modèle .....	22
2.5.1 Exportation à l'échelle de la placette .....	23
2.5.2 Exportation à l'échelle de la strate .....	24
2.5.3 Exportation d'un scénario d'évolution .....	24
2.6 Mode script .....	25
2.7 Peuplements en régénération ou traités avec une éclaircie précommerciale .....	26
3. Conclusion .....	27
4. Références bibliographiques .....	27



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Liste des essences dans chacun des groupes de Natura-2014.....	3
<b>Tableau 2.</b> Liste des champs du fichier d'inventaire utilisés par Natura.....	9
<b>Tableau 3.</b> Liste des champs du fichier d'études d'arbres utilisés par Natura. ....	13



## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Fonctionnement schématique de Natura sur une période de 10 ans.....	2
<b>Figure 2.</b> Fonctionnement de Natura pour les projections de plus de 10 ans. ....	4
<b>Figure 3.</b> Boîte de dialogue de bienvenue de Capsis. ....	6
<b>Figure 4.</b> Création d'un nouveau projet.....	6
<b>Figure 5.</b> Chargement d'un inventaire.....	7
<b>Figure 6.</b> Utilitaire d'importation d'un fichier d'inventaire. ....	8
<b>Figure 7.</b> Utilitaire d'importation d'un fichier d'études d'arbres. ....	8
<b>Figure 8.</b> Exemple de fichiers de données : a) fichier d'inventaire, b) fichier d'études d'arbres correspondant. ....	14
<b>Figure 9.</b> Utilitaire d'importation pour l'exemple du fichier d'inventaire.....	15
<b>Figure 10.</b> Utilitaire d'importation pour l'exemple du fichier d'études d'arbres. ....	15
<b>Figure 11.</b> Boîte de dialogue de sélection d'une strate.....	16
<b>Figure 12.</b> Boîte de dialogue de simulation.....	17
<b>Figure 13.</b> Boîte de dialogue des paramètres d'évolution.....	18
<b>Figure 14.</b> Exemple d'un fichier de scénario avec a) une ligne par décennie, et b) une même ligne pour les décennies 2 et 3, qui ont les mêmes options de simulation. ....	20
<b>Figure 15.</b> Comparaison de 2 scénarios d'évolutions. ....	21
<b>Figure 16.</b> Sélection du groupe d'essences à visualiser. ....	22
<b>Figure 17.</b> Utilitaire d'exportation a) de Capsis et b) de Natura. ....	23
<b>Figure 18.</b> Boite de dialogue a) pour lancer le mode script et b) de l'utilitaire d'exécution d'un script. ....	25



## Liste des annexes

<b>Annexe 1.</b> Liste des sous-domaines bioclimatiques supportés par Natura.....	29
<b>Annexe 2.</b> Liste des types écologiques supportés par Natura.....	31
<b>Annexe 3.</b> Liste des codes d'état de l'arbre supportés par Natura.....	33
<b>Annexe 4.</b> Description des sorties de Natura a) à l'échelle de la placette et de la strate; b) à l'échelle du scénario.....	35

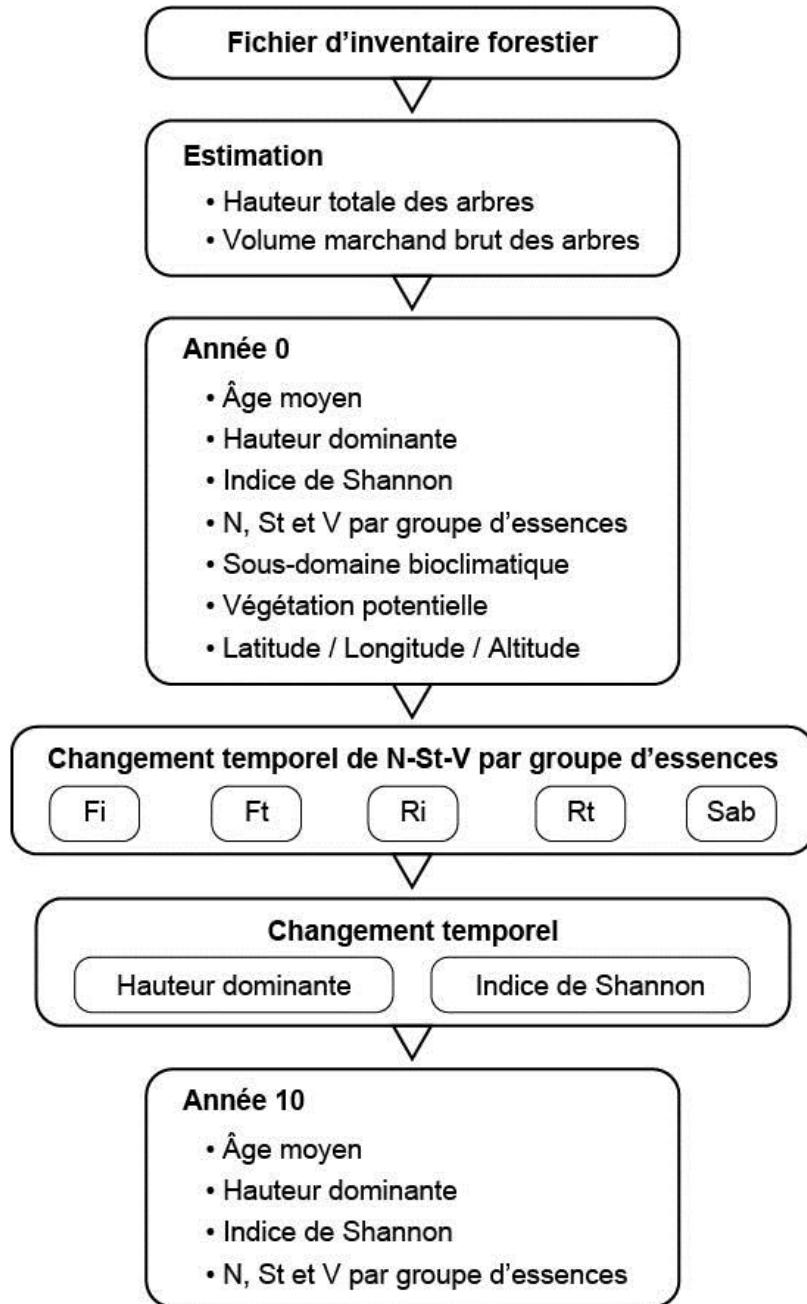


## 1. Description du modèle Natura

Natura est un modèle de croissance forestière à l'échelle du peuplement qui fait varier directement les caractéristiques dendrométriques d'une placette, sans utiliser d'information à l'échelle de l'arbre. Il fournit des informations sommaires telles que la densité, la surface terrière et le volume d'un peuplement. Deux versions du modèle sont disponibles : Natura-2009 (Pothier et Auger 2011) et Natura-2014 (Auger, accepté). Natura-2009 est la version originale du modèle, alors que la version 2014 consiste en un nouvel étalonnage du modèle de 2009 à la suite d'un ajout d'environ 4 000 mesures de placettes-échantillons permanentes provenant du 4<sup>e</sup> inventaire écoforestier de la Direction des inventaires forestiers. Les deux versions du modèle partagent la même structure.

Natura est constitué de cinq modules dynamiques qui utilisent des variables explicatives de nature dendrométriques et de station et qui simulent respectivement le changement temporel de la densité d'arbres marchands, de la surface terrière marchande, du volume marchand brut, de la hauteur dominante et de l'indice de diversité diamétrale de Shannon d'un peuplement. Natura utilise aussi deux modules statiques lors de la compilation des données au départ d'une simulation, soit un module d'estimation de la hauteur des arbres (Auger 2016) et un module d'estimation du volume marchand brut des arbres (Fortin *et al.* 2007). La figure 1 présente un schéma de l'ensemble des modules de Natura-2014.

Le modèle de croissance Natura regroupe les essences en cinq différents groupes : les feuillus intolérants (Fi), les feuillus tolérants (Ft), les résineux intolérants (Ri), les résineux tolérants (Rt) et un cinquième groupe composé uniquement du sapin baumier (Sab : *Abies balsamea* [L.] Mill.). Le sapin est traité séparément en raison de sa sensibilité à la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clemens). La liste des essences dans chacun des groupements est présentée au tableau 1. Natura est étalonné séparément pour chacun des cinq groupes d'essences dans ses modules de simulation de la densité des arbres marchands, de la surface terrière marchande et du volume marchand brut. Chacun de ces groupes d'essences possède donc son propre groupe de paramètres. Les deux autres modules dynamiques font évoluer la hauteur dominante et l'indice de diversité diamétrale de Shannon indépendamment du groupe d'essences, puisque ces dernières variables s'expriment à l'échelle du peuplement et non à celle du groupe d'essences. Au départ de la simulation, ces deux dernières caractéristiques sont calculées pour toutes les essences confondues.



**Figure 1.** Fonctionnement schématique de Natura sur une période de 10 ans. N : nombre de tiges marchandes à l'hectare, St : surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ), V : volume marchand brut ( $m^3/ha$ ), Fi : feuillus intolérants, Ft : Feuillus tolérants, Ri : résineux intolérants, Rt : résineux tolérants, Sab : sapin baumier.

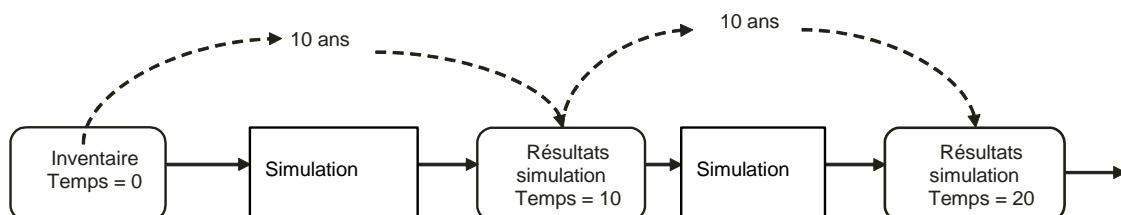
**Tableau 1.** Liste des essences dans chacun des groupes de Natura-2014.

Feuillus intolérants (Fi)		Feuillus tolérants (Ft)	
Code d'essence	Nom commun	Code d'essence	Nom commun
BOG	Bouleau gris	BOJ	Bouleau jaune
BOP	Bouleau à papier	CAF	Caryer à fruits doux
CAC	Caryer cordiforme	CHB	Chêne blanc
CET	Cerisier tardif	CHE	Chêne bicolore
CHR	Chêne rouge	CHG	Chêne à gros fruits
ERA	Érable argenté	ERN	Érable noir
NOC	Noyer cendré	ERR	Érable rouge
PEB	Peuplier baumier	ERS	Érable à sucre
PED	Peuplier à feuilles deltoïdes	FRA	Frêne d'Amérique
PEG	Peuplier à grandes dents	FRN	Frêne noir
PET	Peuplier faux-tremble	FRP	Frêne de Pennsylvanie
		HEG	Hêtre à grandes feuilles
		ORA	Orme d'Amérique
		ORR	Orme rouge
		ORT	Orme de Thomas
		OSV	Ostryer de Virginie
		TIL	Tilleul d'Amérique
Résineux intolérants (Ri)		Résineux tolérants (Rt)	
Code d'essence	Nom commun	Code d'essence	Nom commun
MEL	Mélèze laricin	EPB	Épinette blanche
PIG	Pin gris	EPN	Épinette noire
PIR	Pin rouge	EPO	Épinette de Norvège
Sapin (Sab)		EPR	Épinette rouge
Code d'essence	Nom commun	PIB	Pin blanc
Sab	Sapin baumier	PRU	Pruche de l'Est
		THO	Thuya occidentale

Dans tous ses modules dynamiques, Natura utilise comme variables explicatives l'âge moyen des arbres dominants et codominants, la hauteur dominante du peuplement et le sous-domaine bioclimatique, une unité de classification écologique du territoire québécois (Saucier *et al.* 1998). Afin de prendre en compte des différences de croissance qui peuvent subsister, Natura-2014 utilise trois variables explicatives différentes de celles utilisées par Natura-2009. Une première

variable est la végétation potentielle, une autre unité de classification écologique du territoire québécois qui prend en compte la dynamique forestière et le potentiel de croissance (Saucier *et al.* 1998). Les deux autres sont la température moyenne annuelle et les précipitations totales annuelles, des variables climatiques qui permettent de moduler les résultats à l'intérieur d'un même sous-domaine bioclimatique. Ainsi, avec ces ajouts, deux placettes possédant les mêmes caractéristiques dendrométriques et climatiques, mais situées dans des sous-domaines bioclimatiques ou des végétations potentielles différents, auront des résultats de simulation différents.

Le modèle Natura prédit l'évolution d'une placette sur une période de 10 ans. Pour l'évolution de la première période, l'utilisateur doit fournir des données d'inventaire forestier recueillies dans des placettes-échantillons dont la superficie doit être normalisée à 400 m<sup>2</sup>. Le modèle compile les données à l'échelle de la placette et fait évoluer ces compilations sur une période de 10 ans. Pour les périodes suivantes, le modèle utilise les résultats de l'étape de simulation précédente comme point de départ de la prochaine période de simulation (Figure 2). Pour l'âge du peuplement, le modèle ajoute 10 ans à chaque pas de simulation.



**Figure 2.** Fonctionnement de Natura pour les projections de plus de 10 ans.

Natura fonctionne en mode déterministe seulement, c'est-à-dire en utilisant la valeur moyenne des paramètres de chacun des modules pour réaliser les simulations. Ce mode de fonctionnement permet une simulation rapide, mais ne permet pas d'estimer l'erreur associée aux prévisions, contrairement au mode stochastique. Par ailleurs, Natura ne permet pas de simuler des coupes partielles. L'utilisateur qui voudra inclure l'évolution de coupes partielles dans le scénario d'évolution de peuplements forestiers devrait utiliser les modèles SaMARE (Fortin *et al.* 2009) ou Artémis (Fortin et Langevin 2010, Power 2016), qui fonctionnent à l'échelle de l'arbre et permettent de simuler des prélèvements de différentes natures.

L'utilisateur qui désire connaître de manière détaillée le fonctionnement du modèle Natura peut se référer à Pothier et Auger (2011) et à Auger (accepté).

## **2. La plateforme Capsis**

Natura est implanté sur la plateforme Capsis, qui supporte plusieurs modèles dont la caractéristique commune est de simuler l'évolution d'arbres ou de peuplements forestiers. Capsis fournit un environnement convivial à l'utilisateur. Pour plus d'informations au sujet de cette plateforme, l'utilisateur peut consulter le site Web : <http://capsis.cirad.fr/capsis/home>.

### *2.1 Installation de Capsis*

L'utilisation de Capsis nécessite le logiciel Java. Les utilisateurs du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) doivent faire installer ce dernier, si nécessaire, en faisant une demande au service à la clientèle de la Direction générale adjointe des ressources humaines et informationnelles. L'installation de Capsis, y compris le simulateur Natura-2014, se fait en double-cliquant sur l'exécutable « capsis-setup-Natura2014.jar » fourni par la Direction de la recherche forestière. En premier lieu, la langue de l'application doit être choisie. Une boîte de dialogue apparaît ensuite pour guider l'utilisateur pendant toute l'installation, qui s'effectue en 8 étapes. À l'étape 4, le chemin d'installation de Capsis doit être spécifié. Les utilisateurs du MFFP doivent installer l'application dans le répertoire « C:\Mnmmicro\Aplic ».

### *2.2 Démarrage d'un projet*

Pour démarrer Capsis, double-cliquer sur le fichier « capsis.bat », situé dans le répertoire d'installation, pour ouvrir la boîte de dialogue de bienvenue de Capsis (Figure 3). La case « Créer un nouveau projet » permet de commencer un projet de simulation, tandis que la case « Ouvrir un projet existant » permet d'ouvrir une simulation préalablement enregistrée. Une session Capsis est un ensemble de projets de simulation effectués dans une même séance d'utilisation. Il est possible de sauvegarder une session et de l'ouvrir à nouveau avec la case « Ouvrir une session existante ».

Lorsqu'on choisit de créer un nouveau projet, la boîte de dialogue présentée à la figure 4 apparaît. Le champ « Nom de projet » permet de donner un nom au projet. Sélectionner le modèle Natura-2014 et débuter en cliquant le bouton « Initialiser ».

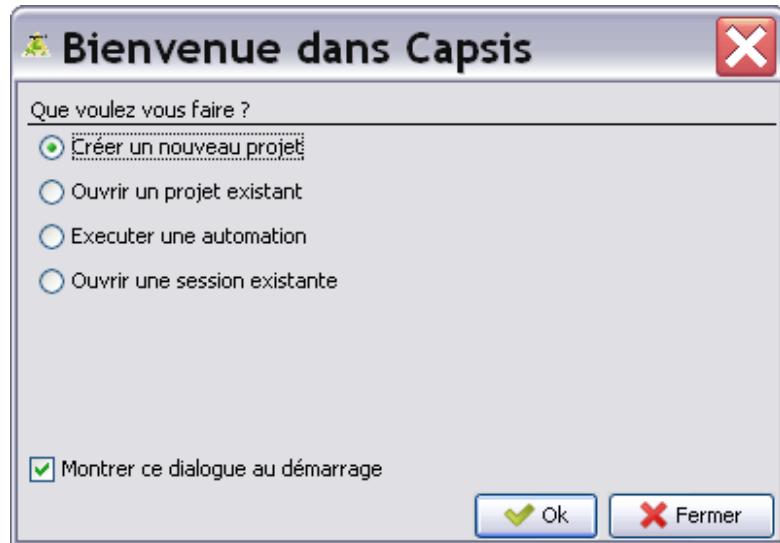


Figure 3. Boîte de dialogue de bienvenue de Capsis.

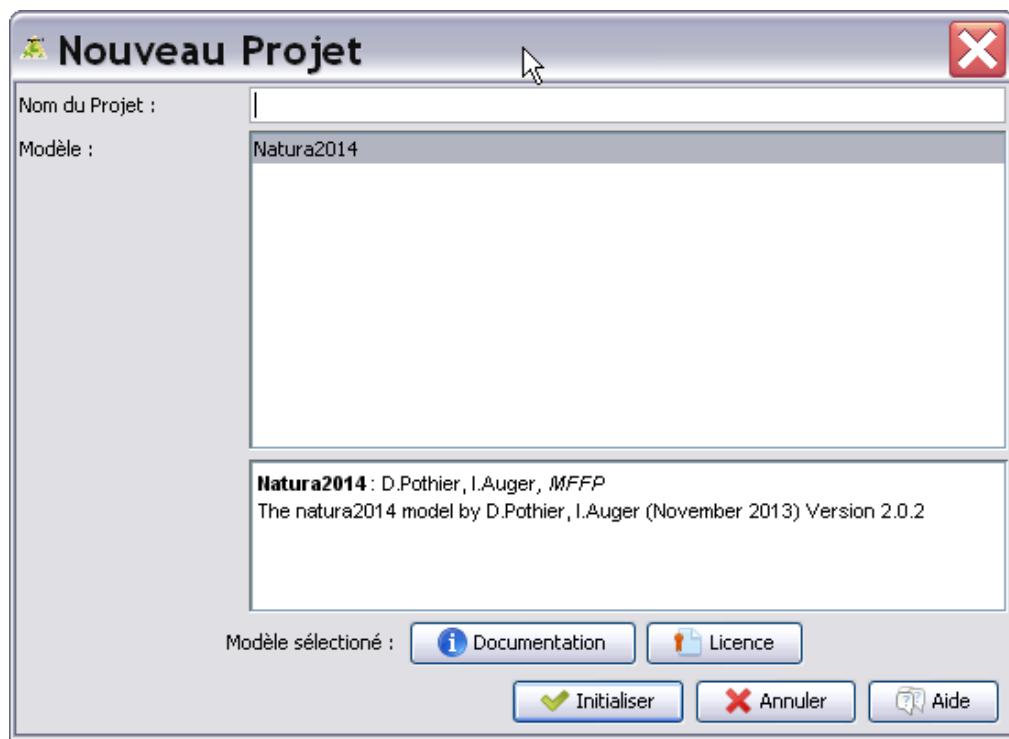


Figure 4. Crédit d'un nouveau projet

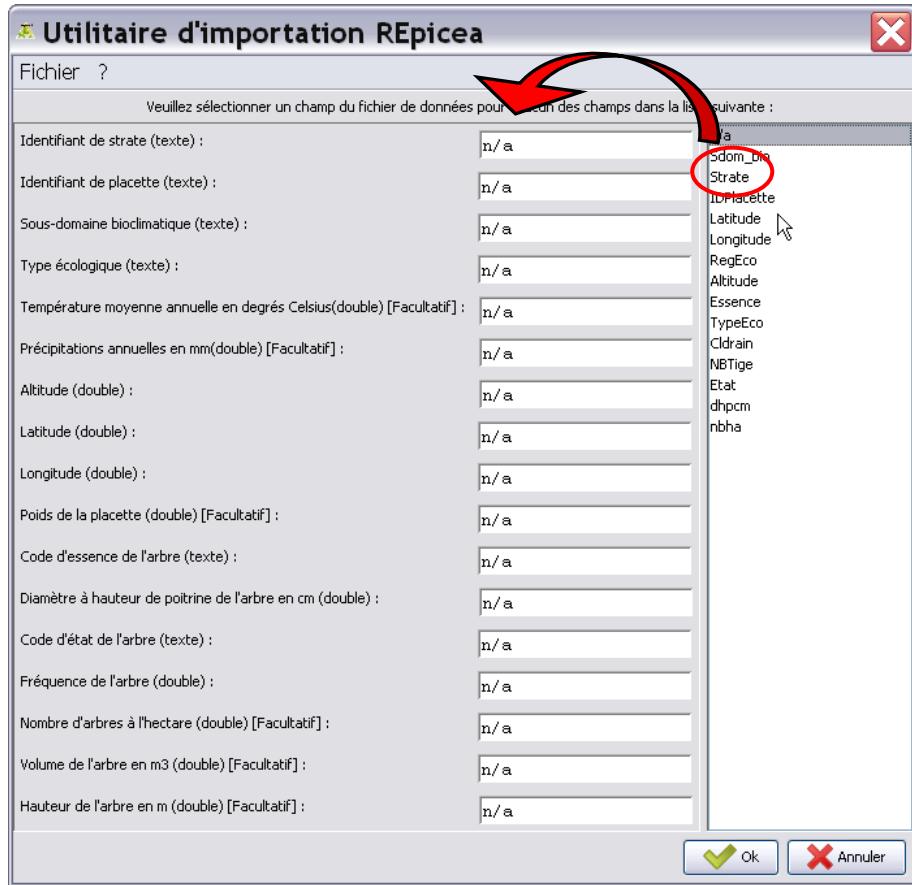
## 2.3 Chargement d'un inventaire

Afin de commencer une simulation avec le modèle Natura, l'utilisateur doit fournir deux fichiers de données de départ, à l'aide de la boîte de dialogue « Chargement d'un inventaire » (Figure 5). Ces fichiers doivent être en format texte (\*.csv) ou dBase IV (\*.dbf). Un premier fichier contient une liste d'arbres à partir de laquelle les caractéristiques dendrométriques des placettes seront calculées (champ « Fichier d'inventaire »). Le deuxième fichier contient une liste d'études d'arbres qui servira à déterminer l'âge moyen et la hauteur dominante du peuplement (champ « Fichier des études d'arbres »). Ces fichiers comprennent des champs dont certains sont obligatoires, et d'autres, facultatifs.

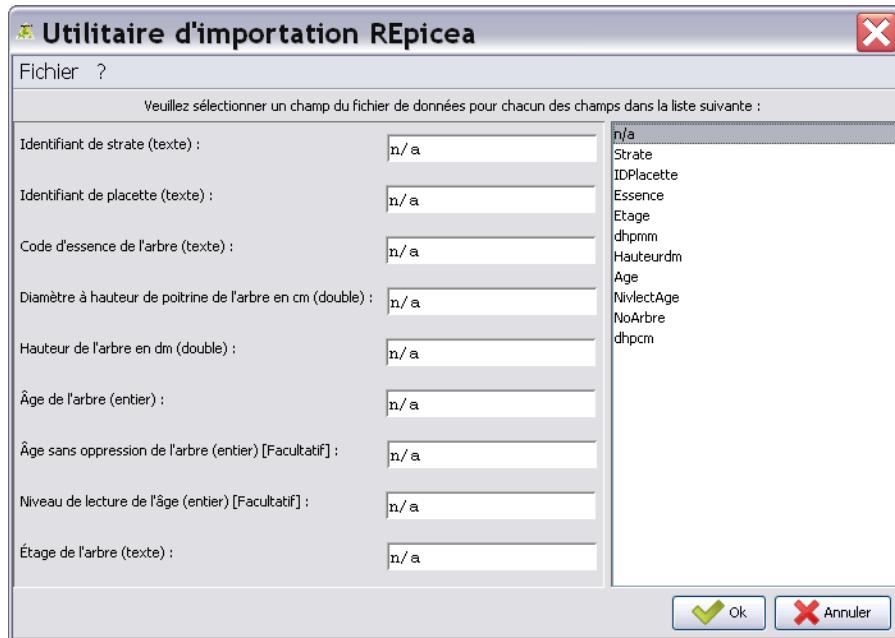


Figure 5. Chargement d'un inventaire.

Par défaut, le bouton « Parcourir » ouvre un répertoire de données nommé « data », créé lors de l'installation de Capsis (...\\Capsis\\data\\natura2014). Lorsqu'on sélectionne un fichier d'inventaire ou d'études d'arbres à l'aide des boutons « Parcourir », un utilitaire d'importation contenant le nom des colonnes du fichier sélectionné apparaît (Figures 6 et 7; cadre de droite). L'encadré de gauche contient les champs utilisés par Natura pour effectuer une simulation. On doit associer un nom de la liste de droite à chacun des champs obligatoires de la liste de gauche en les glissant de droite à gauche. Un champ facultatif, non associé à une variable du fichier d'inventaire, doit contenir la valeur « n/a ». Les fichiers de données ne doivent contenir aucune ligne avec une information manquante dans les champs obligatoires. Seuls les arbres vivants dont l'essence fait partie de celles traitées par Natura (Tableau 1) et qui font 9,1 cm et plus de DHP sont traités.



**Figure 6.** Utilitaire d'importation d'un fichier d'inventaire.



**Figure 7.** Utilitaire d'importation d'un fichier d'études d'arbres.

## Astuce



La description d'un champ apparaît dans une fenêtre lorsqu'on glisse le curseur de la souris sur ce champ.

## Conseil



Le répertoire « data » créé par Capsis est supprimé lors de la désinstallation de l'application. Par défaut, pour les utilisateurs du MFFP, ce répertoire est situé sur le disque dur local de l'ordinateur de l'usager (C:/), pour lequel aucune sauvegarde de secours (backup) n'est effectuée. Afin de permettre des sauvegardes automatiques, il est préférable de choisir un autre emplacement sur le serveur pour sauvegarder les fichiers d'inventaires et les résultats de simulations.

### 2.3.1 Fichier d'inventaire

Le tableau 2 présente la liste des champs du fichier d'inventaire utilisés par Natura.

**Tableau 2.** Liste des champs du fichier d'inventaire utilisés par Natura.

Champ	Statut	Format	Description
Identifiant de strate	Obligatoire	Texte	Unité de base de regroupement des placettes
Identifiant de placette	Obligatoire	Texte	Unité de base de regroupement des arbres
Latitude	Obligatoire	Numérique	Latitude de la placette (degrés décimaux)
Longitude	Obligatoire	Numérique	Longitude de la placette (degrés décimaux)
Altitude en m	Obligatoire	Numérique	Altitude de la placette (m)
Sous-domaine bioclimatique	Obligatoire	Texte	Code identifiant le sous-domaine bioclimatique (ex. 4OUEST), tel que défini à l'annexe 1.
Type écologique	Obligatoire	Texte	Code composé de 4 caractères (ex. FE32) référant aux types écologiques. Les 3 premiers correspondent à la végétation potentielle (ex. FE3) et le 4 <sup>e</sup> , au type de milieu physique (ex. 2). Voir l'annexe 2 pour la liste des types écologiques supportés par Natura.

(...suite)

**Tableau 2.** (suite et fin)

Champ	Statut	Format	Description
Précipitations totales annuelles en mm	Facultatif	Numérique	Valeur normale des précipitations totales annuelles (mm) pour la période 1981–2010. Si aucune valeur n'est présente dans le fichier de données, elle sera évaluée à l'aide du programme BioSIM (Régnière <i>et al.</i> 2014).
Température annuelle moyenne en degrés Celsius	Facultatif	Numérique	Valeur normale de la température annuelle moyenne (°C) pour la période 1981–2010. Si aucune valeur n'est présente dans le fichier de données, elle sera évaluée à l'aide du programme BioSIM (Régnière <i>et al.</i> 2014).
Code d'essence de l'arbre	Obligatoire	Texte	Code de 3 lettres représentant l'essence de l'arbre, tel que défini au tableau 1 (ex. ERS).
Code d'état de l'arbre	Obligatoire	Texte	Code de 2 chiffres distinguant les arbres vivants des autres dans les placettes, tel que défini à l'annexe 3.
Diamètre à hauteur de poitrine en cm	Obligatoire	Numérique	Diamètre de l'arbre mesuré à 1,3 m de hauteur (DHP, en cm)
Fréquence de l'arbre	Obligatoire	Numérique	Nombre d'arbres dans la placette de 400 m <sup>2</sup> représenté par chaque ligne du fichier de données. Si plusieurs entrées n'ont pas été créées dans le fichier pour des arbres de la même placette, pour une même essence et un même diamètre, ceux-ci peuvent être regroupés à l'aide de ce champ.
Nombre de tiges par hectare	Facultatif	Numérique	Nombre d'arbres par hectare représenté par chaque ligne du fichier de données. Ce champ sert à calculer le facteur de conversion à l'hectare. Par défaut, le modèle utilise un facteur de 25.
Hauteur de l'arbre en m	Facultatif	Numérique	Hauteur de l'arbre (m). Si cette information est omise, Natura l'estimera à l'aide d'une relation reliant le DHP à la hauteur.
Volume de l'arbre en m <sup>3</sup>	Facultatif	Numérique	Volume marchand brut de l'arbre (m <sup>3</sup> ). Si cette information est omise, Natura l'estimera à l'aide d'un tarif de cubage.

### 2.3.1.1 Identification des placettes

Dans le fichier d'inventaire, les arbres doivent être regroupés par placette, laquelle est identifiée par le champ « Identifiant de placette ». Le fichier d'inventaire peut contenir plusieurs placettes, regroupées au sein d'une strate, identifiée dans le champ « Identifiant de strate » du fichier

d'inventaire. Capsis ne traite qu'une strate à la fois. Si l'inventaire contient plus d'une strate, un menu déroulant permettra de sélectionner la strate à inclure dans la simulation. Le simulateur fera évoluer chacune des placettes de la strate et calculera la moyenne des placettes.

### Astuce



Le champ « Identifiant de strate » est obligatoire. Si l'inventaire n'est pas regroupé en strates, un identifiant de strate unique peut être utilisé pour l'ensemble des placettes du fichier. Ainsi, toutes les placettes seront simulées, et l'évolution de chacune d'elles pourra être exportée. Toutefois, ceci ne permettra pas de visualiser l'évolution des placettes individuelles à l'intérieur de Capsis.

#### 2.3.1.2 Caractéristiques à l'échelle de la placette

Les caractéristiques de la placette (emplacement, sous-domaine bioclimatique, type écologique, poids ou facteur de pondération de la placette, variables climatiques) sont fournies à même le fichier d'inventaire. Les caractéristiques d'une placette doivent être recopiées pour tous les arbres de la placette. Les annexes 1 et 2 présentent les codes du MFFP à utiliser pour identifier un sous-domaine et un type écologique.

#### 2.3.1.3 Emplacement de la placette

L'emplacement de la placette (latitude, longitude et altitude) est une information obligatoire qui sert à déterminer la valeur des variables climatiques.

#### 2.3.1.4 Variables climatiques

Les variables climatiques sont facultatives. Si elles ne sont pas fournies, le logiciel BioSIM (Régnière *et al.* 2014) est utilisé pour estimer la température annuelle moyenne et les précipitations totales annuelles en fonction de l'emplacement de la placette.

#### 2.3.1.5 Information sur les arbres

Le fichier contenant la liste d'arbres peut être organisé de différentes façons. Si chaque ligne du fichier représente un arbre de la placette, le champ « Fréquence de l'arbre » contient le nombre 1 et le champ « Diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre en cm » contient le DHP de l'arbre. Si l'inventaire a été effectué par classe de DHP, le champ « Diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre en cm » contient la classe de DHP, et le champ « Fréquence de l'arbre » contient le nombre d'arbres dans la placette de 400 m<sup>2</sup> appartenant à cette classe de DHP pour une

essence. Les codes d'essences sont ceux utilisés par le MFFP (Tableau 1). Une placette doit contenir au moins 4 arbres (100 tiges/ha) qui font 9,1 cm et plus de DHP pour être retenue par le simulateur.

Même si le fichier d'inventaire peut contenir des arbres morts ou coupés, le simulateur ne traite que les arbres vivants. Le champ obligatoire « Code d'état de l'arbre » sert à indiquer les arbres vivants à l'aide du système de codes utilisé par le MFFP (Annexe 3).

La hauteur totale et le volume marchand brut d'un arbre sont des variables facultatives. Si ces valeurs ne sont pas fournies, la hauteur sera estimée à partir d'une relation hauteur-diamètre (Auger 2016), et le volume sera estimé avec le tarif de cubage général de Fortin *et al.* (2007). Il est possible de fournir une ou l'autre de ces informations, ou les deux, pour l'ensemble ou seulement un sous-ensemble des arbres. Les données manquantes seront estimées.

#### **2.3.1.6 Poids de la placette**

Si les placettes qui constituent une strate n'ont pas toutes la même pondération, le champ « Poids de la placette » peut être utilisé pour préciser le poids (ou facteur de pondération) de chacune des placettes. La somme des poids des placettes d'une même strate doit être égale à 1.

#### **2.3.2 Fichier des études d'arbres**

Dans le fichier des études d'arbres, seules les informations à l'échelle de l'arbre, avec les identifiants de placettes et de strates, sont requises. Dans ce fichier, chaque ligne doit représenter un arbre, avec son essence, son code d'état, son âge, sa hauteur, son DHP et son étage. Seuls les arbres d'étage dominant (code D) ou codominant (code C) sont traités. Les informations fournies dans ce fichier serviront à calculer la hauteur dominante et l'âge moyen de la placette. Il est donc recommandé de fournir au moins trois études d'arbres par placette. Toutefois, une seule est nécessaire pour déterminer l'âge moyen et la hauteur dominante des arbres de la placette.

Par défaut, la hauteur de lecture de l'âge est de 1 m. Si l'âge pour les études d'arbres a été mesuré à une hauteur différente, le champ « Niveau de lecture de l'âge » doit être utilisé pour indiquer la hauteur de mesure de l'âge. Si l'âge sans oppression est connu pour certains arbres, le champ « Âge sans oppression de l'arbre » peut être rempli, et la valeur fournie sera utilisée dans les calculs. Le tableau 3 présente la liste des champs du fichier d'études d'arbres utilisés par Natura.

**Tableau 3.** Liste des champs du fichier d'études d'arbres utilisés par Natura.

Champ	Statut	Format	Description
Identifiant de strate	Obligatoire	Texte	Unité de base de regroupement des placettes d'un peuplement
Identifiant de placette	Obligatoire	Texte	Unité de base de regroupement des arbres
Code d'essence de l'arbre	Obligatoire	Texte	Code de 3 lettres représentant l'essence de l'arbre, tel que défini au tableau 1 (ex. ERS)
Diamètre à hauteur de poitrine en cm	Obligatoire	Numérique	Diamètre de l'arbre mesuré à 1,3 m de hauteur (DHP, en cm)
Hauteur de l'arbre en dm	Obligatoire	Numérique	Hauteur de l'arbre (dm)
Âge de l'arbre	Obligatoire	Numérique	Âge de l'arbre mesuré à 1 m (années)
Âge sans oppression de l'arbre	Facultatif	Numérique	Âge de l'arbre sans oppression, mesuré à 1 m (années). Si ce champ est rempli, les valeurs non manquantes remplaceront celles du champ Âge de l'arbre.
Niveau de lecture de l'âge	Facultatif	Numérique	Niveau de lecture de l'âge de l'arbre (cm). Si ce champ n'est pas fourni, la valeur de 100 cm sera utilisée.
Étage de l'arbre	Obligatoire	Texte	Code composé d'une lettre référant à l'étage d'un arbre (C : codominant, D : dominant, I : intermédiaire, O : opprimé, V : vétérant). Seuls les codes C et D sont retenus.

### 2.3.3 Exemple de fichiers de données

La figure 8a présente un exemple d'un fichier d'inventaire contenant 2 strates : une avec une seule placette et l'autre contenant 3 placettes. La figure 8b présente le fichier des études d'arbres qui lui est associé. On remarque que la placette 2 de la strate 2 est absente du fichier des études d'arbres. Comme l'âge et la hauteur dominante de cette placette ne pourront pas être calculés, cette placette ne sera pas traitée. Pour importer ces fichiers dans Capsis, il faut associer les champs des fichiers à ceux requis par Natura, comme l'illustrent les figures 9 et 10. Lorsqu'on appuie sur le bouton « OK » de la boîte de dialogue de chargement d'un inventaire, une boîte de dialogue (Figure 11) apparaît parce que le fichier d'inventaire contient plus d'une strate. Elle permet de choisir d'importer l'une ou l'autre des 2 strates. Si l'on choisit la strate 2, on obtiendra le résultat présenté à la figure 12 (voir la section 2.4). La superficie échantillonnée de la strate 2 est de 800 m<sup>2</sup>, puisque celle-ci contient 2 placettes contenant toutes les informations nécessaires pour utiliser Natura. En passant le curseur de la souris sur la boîte « 0a », une fenêtre apparaît indiquant les caractéristiques moyennes de la strate.

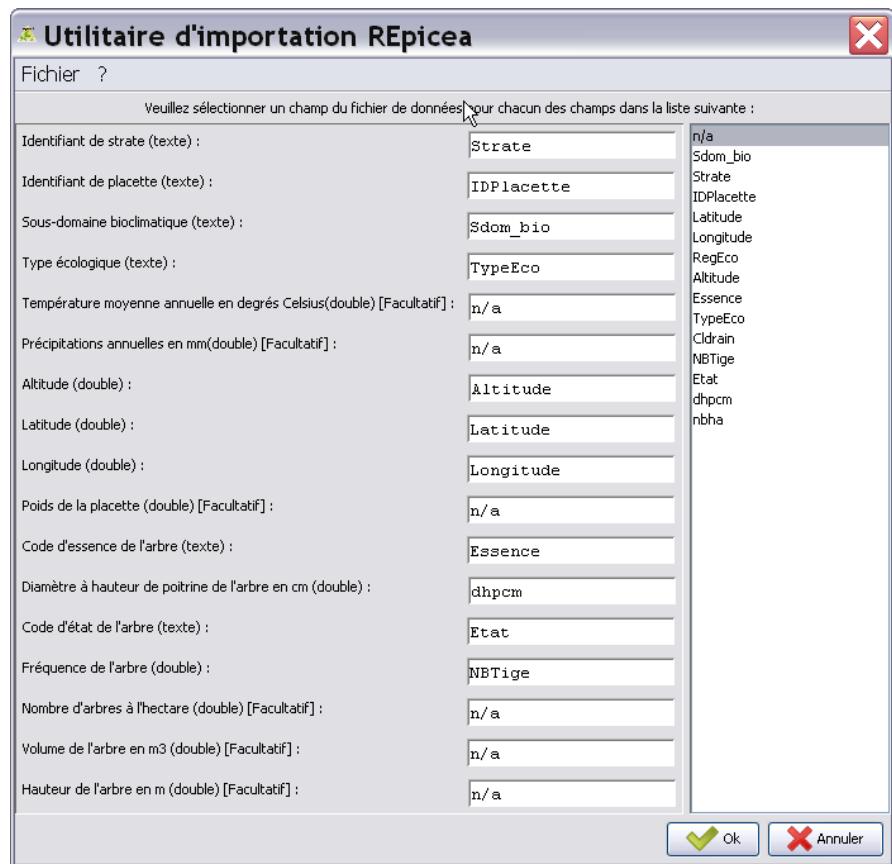
a) Fichier d'inventaire

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Sdom_bio	Strate	IDPlacette	Latitude	Longitude	RegEco	Altitude	Essence	TypeEco	Cldrain	NBTige	Etat	dhpcm	nbha
2	5OUEST	1	1	49.039349	-79.417473	5a	352.866	EPN	RE39	50		11	10	10
3	5OUEST	1	1	49.039349	-79.417473	5a	352.866	EPN	RE39	50		2	10	14
4	5OUEST	1	1	49.039349	-79.417473	5a	352.866	EPN	RE39	50		2	10	16
5	5OUEST	1	1	49.039349	-79.417473	5a	352.866	EPN	RE39	50		1	10	18
6	5OUEST	2	1	48.949002	-78.877041	5a	320.000	EPN	RE39	60		16	10	10
7	5OUEST	2	1	48.949002	-78.877041	5a	320.000	EPN	RE39	60		8	10	12
8	5OUEST	2	1	48.949002	-78.877041	5a	320.000	SAB	RE39	60		7	10	14
9	5OUEST	2	1	48.949002	-78.877041	5a	320.000	SAB	RE39	60		2	10	16
10	5OUEST	2	1	48.949002	-78.877041	5a	320.000	SAB	RE39	60		1	10	18
11	5OUEST	2	2	48.926209	-78.564321	5a	340.000	AUR	RE37	50		1	10	10
12	5OUEST	2	2	48.926209	-78.564321	5a	340.000	EPN	RE37	50		3	10	10
13	5OUEST	2	2	48.926209	-78.564321	5a	340.000	EPN	RE37	50		2	10	12
14	5OUEST	2	2	48.926209	-78.564321	5a	340.000	EPN	RE37	50		3	10	14
15	5OUEST	2	2	48.926209	-78.564321	5a	340.000	EPN	RE37	50		8	10	16
16	5OUEST	2	2	48.926209	-78.564321	5a	340.000	EPN	RE37	50		5	10	18
17	5OUEST	2	3	48.946306	-78.797854	5a	339.686	SAB	RE39	60		16	10	10
18	5OUEST	2	3	48.946306	-78.797854	5a	339.686	SAB	RE39	60		10	10	12
19	5OUEST	2	3	48.946306	-78.797854	5a	339.686	SAB	RE39	60		4	10	14
20	5OUEST	2	3	48.946306	-78.797854	5a	339.686	SAB	RE39	60		2	10	16
21	5OUEST	2	3	48.946306	-78.797854	5a	339.686	SAB	RE39	60		2	10	18
22	5OUEST	2	3	48.946306	-78.797854	5a	339.686	EPN	RE39	60		1	10	10
23	5OUEST	2	3	48.946306	-78.797854	5a	339.686	EPN	RE39	60		1	10	16

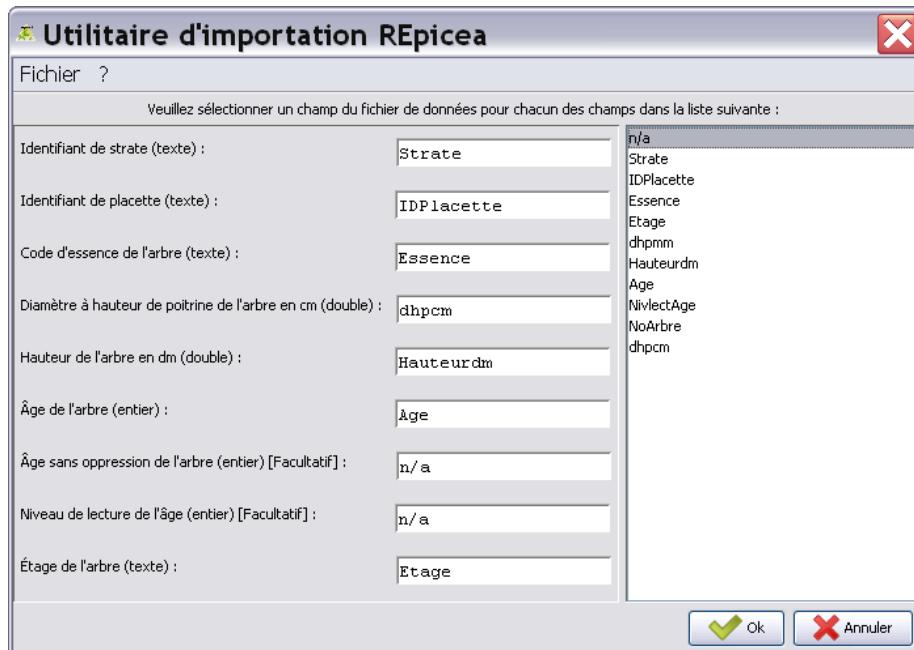
b) Fichier d'études d'arbres correspondant

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Strate	IDPlacette	Essence	Etage	dhpmm	Hauteurdm	Age	NivlectAge	NoArbre	dhpcm
2	1	1	1 EPN	D	181	141	54	100	1	18.1
3	1	1	1 EPN	C	162	125	42	100	2	16.2
4	1	1	1 EPN	D	159	124	44	100	3	15.9
5	2	1	1 SAB	D	180	156	55	100	1	18
6	2	1	1 SAB	C	144	132	40	100	2	14.4
7	2	1	1 EPN	D	166	132	45	100	3	16.6
8	2	3	3 SAB	D	220	170	65	100	1	22
9	2	3	3 SAB	C	190	158	62	100	2	19
10	2	3	3 SAB	D	201	132	60	100	3	20.1

**Figure 8.** Exemple de fichiers de données : a) fichier d'inventaire, b) fichier d'études d'arbres correspondant.



**Figure 9.** Utilitaire d'importation pour l'exemple du fichier d'inventaire.



**Figure 10.** Utilitaire d'importation pour l'exemple du fichier d'études d'arbres.

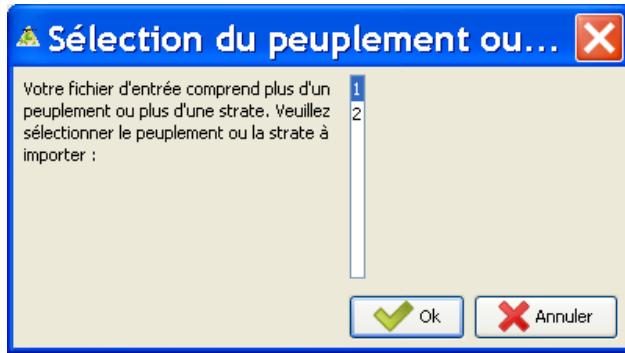


Figure 11. Boîte de dialogue de sélection d'une strate.



### Astuce

L'association des noms de colonnes aux champs peut être enregistrée et réutilisée par la suite pour des fichiers de structure semblable, dans le menu « Fichier » de l'utilitaire d'importation.

#### 2.3.4 Validation des données d'entrée

Natura effectue quelques validations pour s'assurer que les données d'entrées sont conformes aux spécifications. Entre autres,

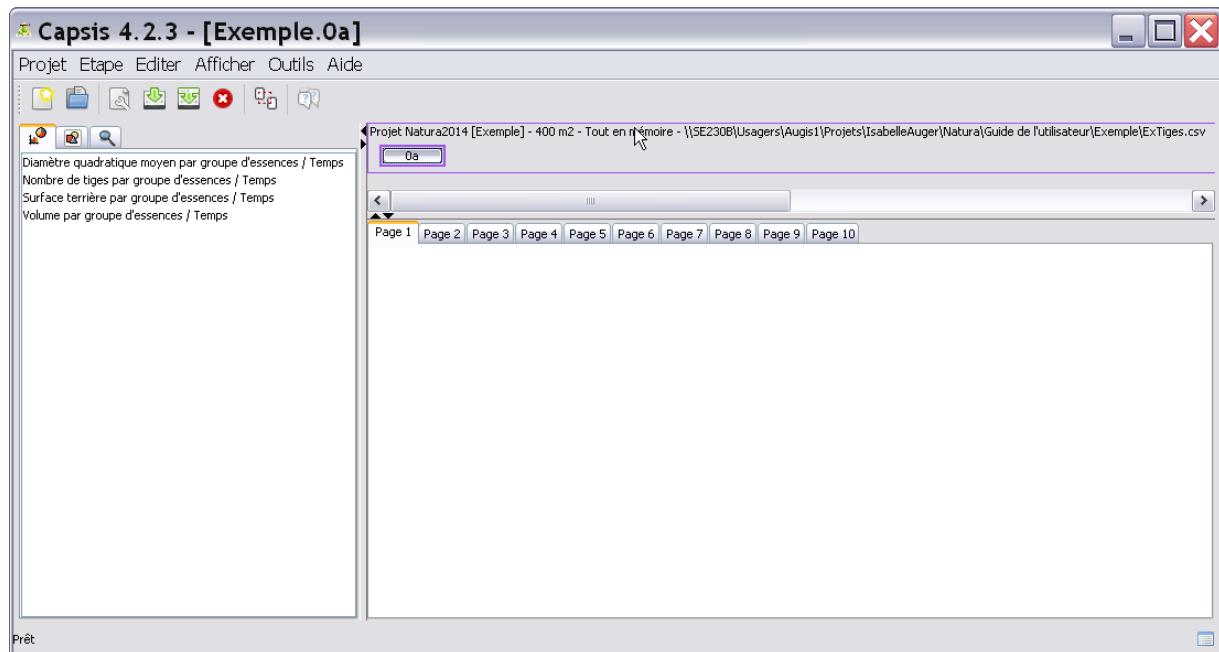
- une placette doit contenir au moins 4 arbres vivants (100 tiges/ha) qui font 9,1 cm et plus de DHP (si ce n'est pas le cas, aucun message d'erreur n'est généré, mais la placette n'est simplement pas traitée);
- la latitude doit être comprise entre 45 et 53 degrés;
- la longitude doit être comprise entre -80 et -58 degrés;
- l'altitude doit être comprise entre 0 et 1300 m;
- les précipitations totales annuelles, si elles sont fournies, doivent être comprises entre 0 et 1700 mm;
- la température annuelle moyenne, si elle est fournie, doit être comprise entre -7 et 10 °C;
- le DHP doit être compris entre 0 et 300 cm, mais seuls les arbres avec un DHP d'au moins 9,1 cm sont traités;
- il ne doit y avoir aucune valeur manquante dans les cellules des champs obligatoires;

- les strates des 2 fichiers de données doivent correspondre;
- la somme des poids d'une strate doit être égale à 1, si cette information est fournie;

Si les données ne sont pas telles qu'attendu, un message d'erreur apparaît.

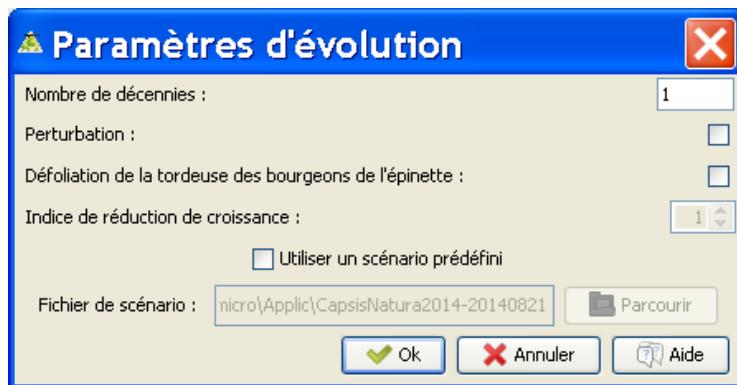
## 2.4 Simulation

Après l'importation des données dans Capsis, la boîte de dialogue de simulation apparaît (Figure 12). La fenêtre de gauche contient la liste des graphiques disponibles pour visualiser les résultats. Les graphiques sont affichés dans les onglets « Page 1 » à « Page 10 ». Les données initiales sont représentées par la boîte « 0a ».



**Figure 12.** Boîte de dialogue de simulation.

Pour faire évoluer une placette ou un groupe de placettes, cliquer avec le bouton droit de la souris sur la boîte « 0a » et sélectionner « Évolution ». On peut aussi passer par le menu « Étape ▶ Évolution ». La boîte de dialogue des paramètres d'évolution apparaîtra (Figure 13).



**Figure 13.** Boîte de dialogue des paramètres d'évolution.

#### 2.4.1 Horizon de simulation

L'horizon de simulation est déterminé par le nombre de décennies, que l'on précise dans la case « Nombre de décennies » (Figure 13). Le modèle Natura permet d'effectuer des simulations sur un horizon allant jusqu'à 150 ans. Il n'est cependant pas nécessaire de simuler les 15 décennies en une seule étape. Par exemple, l'utilisateur peut faire une évolution sur 2 décennies, examiner le résultat, puis ajouter une évolution de 3 décennies supplémentaires. Il est fortement recommandé de limiter l'horizon des simulations à 60 ans. Au-delà, la précision des prévisions diminue fortement.

#### 2.4.2 Prise en compte des perturbations naturelles légères et des défoliations dues à la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Le modèle Natura tient compte des perturbations naturelles légères telles que les chablis partiels, les brûlis partiels et les dépérissements partiels survenus durant une période donnée, à l'aide d'une variable indicatrice de la présence de l'une ou l'autre de ces perturbations. Natura permet aussi de tenir compte de l'occurrence de défoliation attribuable à la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) à partir de l'indice de réduction de croissance RWI de Pothier et Mailly (2006). Cet indice prend en compte le nombre d'années de défoliation modérée à sévère, ainsi que la présence de défoliation légère, modérée et sévère au cours des quatre dernières années de la période.

L'utilisateur qui désire introduire une perturbation naturelle légère ou une défoliation due à la TBE dans une simulation doit cocher les cases « Perturbation » ou « Défoliation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette » dans la boîte de dialogue « Paramètres d'évolution » (Figure 13). Le fait de cocher la case pour la défoliation active la case « Indice de réduction de croissance », qui

permet de choisir une valeur de l'indice (1, 2, 3 ou 4) correspondant respectivement à 1, 4, 6 et 8 années de défoliations sévères sur une période de 10 ans.

L'objectif premier de l'introduction d'une variable explicative concernant la TBE dans les équations étalonnées avec des données mesurées en période épidémique est d'obtenir des prévisions non biaisées en période non épidémique. L'indice de réduction de croissance due à la tordeuse des bourgeons de l'épinette n'est donc pas fait pour « simuler » une épidémie de TBE. De même, la case « Perturbation » n'est pas conçue pour « simuler » des chablis ou des brûlis. Il est donc recommandé d'utiliser ces résultats de simulation avec précaution.



### Avertissement

L'utilisateur doit porter attention à la valeur inscrite dans la case « Nombre de décennies » de la boîte de dialogue des paramètres d'évolution. Si les cases « Perturbation » ou « Défoliation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette » sont cochées, le modèle considérera que toutes les étapes de simulations prévues dans les paramètres d'évolution seront affectées par une perturbation ou une défoliation due à la TBE. Conséquemment, pour simuler l'évolution d'un groupe de placettes sur un horizon de 50 ans avec une défoliation due à la TBE qui survient entre la 1<sup>re</sup> et la 10<sup>e</sup> année, il faut d'abord simuler l'évolution du groupe de placettes sur une période de 10 ans en activant la case « Défoliation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ». Ensuite, il faut utiliser les résultats de cette première étape (en se positionnant sur la boîte 10a) pour simuler le peuplement résiduel sur une période de 40 ans, et ce, sans activer la case « Défoliation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ».

#### 2.4.3 Fichier de scénario

Un scénario d'évolution est une série d'étapes effectuées au cours d'une simulation d'un groupe de placettes. Cette série d'étapes peut être sauvegardée dans un fichier (Figure 14). Le fait de cocher la case « Utiliser un scénario prédéfini » dans la boîte de dialogue des paramètres d'évolution active la plage « Fichier de scénario » et permet de choisir un scénario préalablement sauvegardé (Figure 13). La section 2.5.3 explique comment sauvegarder un scénario. Le fichier de scénario contient une ligne par décennie. Dans l'exemple présenté à la figure 14a, le fichier de scénario indique que la 1<sup>re</sup> décennie doit simuler une défoliation par la TBE avec un indice de 3; celle-ci est suivie de 2 décennies sans perturbations, d'une 4<sup>e</sup> décennie avec simulation de

perturbations naturelles légères, et enfin, d'une dernière décennie sans perturbation. La figure 14b présente une autre façon de décrire le même scénario d'évolution. Les décennies 2 et 3 peuvent être regroupées en une seule ligne, car elles se suivent et ont les mêmes options de simulation.

a)

	A	B	C
1	nbDecen	TBE	Perturb
2	1	3.000	0.000
3	1	0.000	0.000
4	1	0.000	0.000
5	1	0.000	1.000
6	1	0.000	0.000

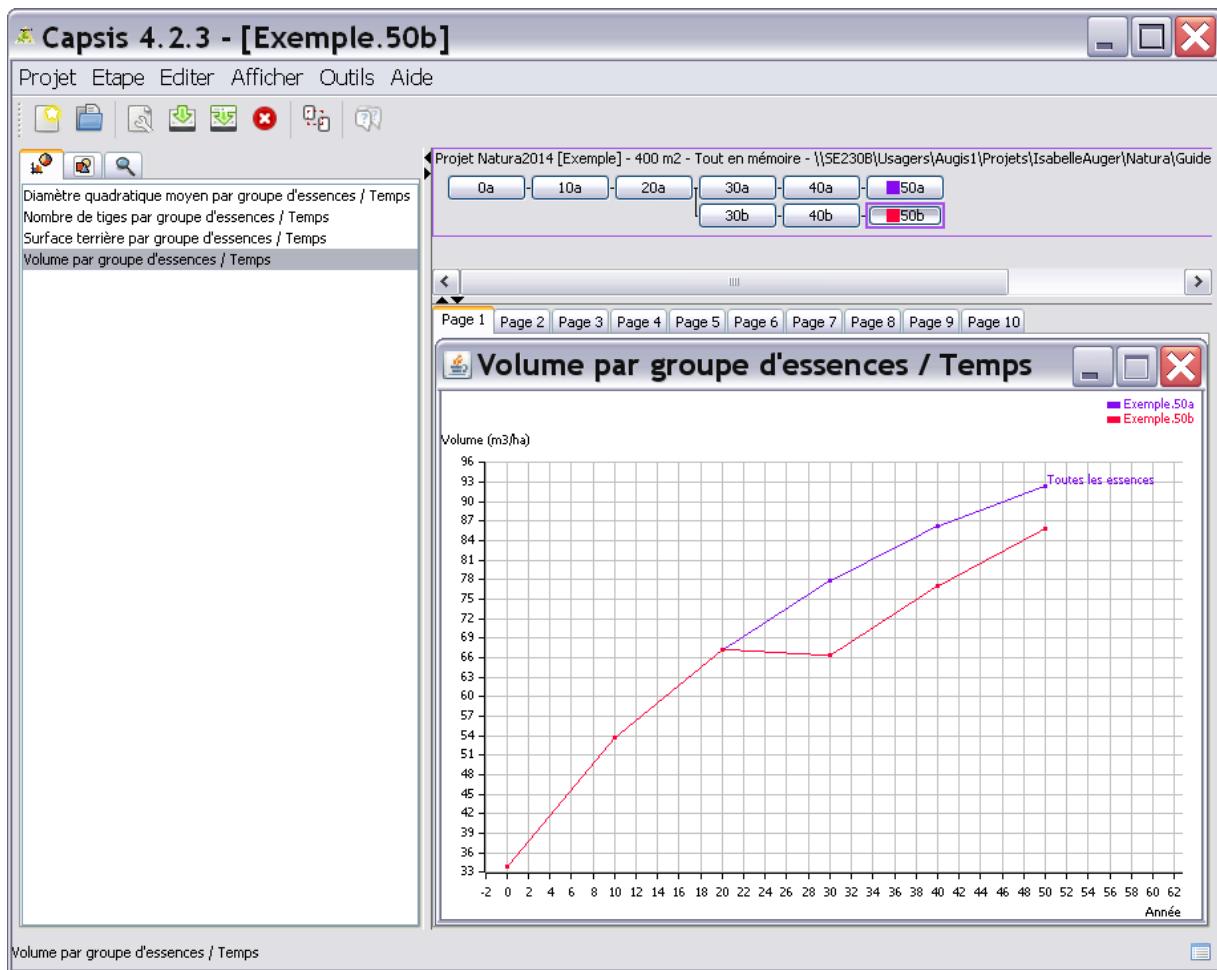
b)

	A	B	C
1	nbDecen	TBE	Perturb
2	1	3.000	0.000
3	2	0.000	0.000
4	1	0.000	1.000
5	1	0.000	0.000

**Figure 14.** Exemple d'un fichier de scénario avec a) une ligne par décennie, et b) une même ligne pour les décennies 2 et 3, qui ont les mêmes options de simulation.

#### 2.4.4 Comparaison de différents scénarios d'évolution

Capsis permet d'effectuer plusieurs scénarios d'évolution à partir du même groupe de placettes. Dans l'exemple de la figure 15, une évolution sans perturbation est effectuée sur 5 décennies. Les boîtes « 10a, 20a, 30a, 40a et 50a » apparaissent. Pour simuler une défoliation due à la TBE au cours de la 3<sup>e</sup> décennie, se positionner sur la boîte « 20a » et sélectionner « Évolution » avec le bouton droit de la souris. Spécifier 1 comme nombre de décennies et indiquer la valeur désirée de l'indice de défoliation dans les paramètres d'évolution. Une boîte « 30b » apparaît sous la boîte « 30a ». Pour continuer l'évolution du 2<sup>e</sup> scénario, se positionner sur la boîte « 30b », sélectionner « Évolution » avec le bouton droit de la souris et spécifier 2 décennies dans les paramètres d'évolution.



**Figure 15.** Comparaison de 2 scénarios d'évolutions.

### Astuce



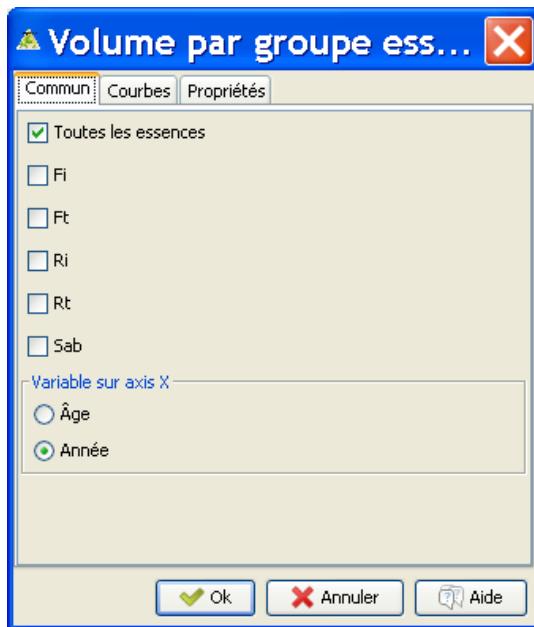
Si la boîte « 50a » apparaît seule au lieu de 5 boîtes correspondant aux étapes d'évolution, on peut faire afficher les boîtes de chacune des décennies par le menu « Étape/Visibilité ▶ Tous ».

Pour visualiser la première évolution, se positionner sur la boîte « 50a » et double-cliquer sur « Volume par groupe d'essences/Temps » dans l'encadré de gauche. Pour comparer le 2<sup>e</sup> scénario sur le même graphique, sélectionner la boîte « 50b », cliquer dans le graphique avec le bouton droit de la souris et sélectionner « Ajouter Exemple.50b ».



## Astuce

Par défaut, l'évolution de l'ensemble des groupes d'essences de la strate est affichée. Pour visualiser un groupe d'essences en particulier, cliquer dans le graphique avec le bouton droit de la souris et sélectionner « Configurer ». Dans la boîte de dialogue (Figure 16), cocher le ou les groupes d'essences désirés.



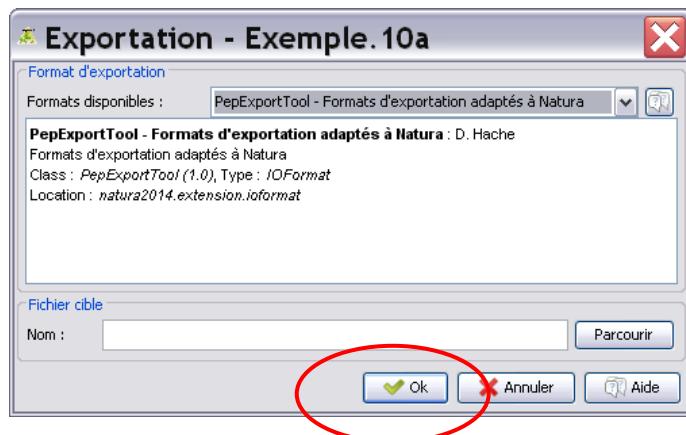
**Figure 16.** Sélection du groupe d'essences à visualiser.

## 2.5 Sorties du modèle

Le modèle Natura permet d'exporter les résultats de simulation. L'utilitaire d'exportation s'ouvre lorsqu'on se positionne sur l'une des boîtes de simulation d'un scénario (Figure 15), qu'on clique sur le bouton droit de la souris et qu'on sélectionne « Exporter ». Lorsque la boîte de dialogue présentée à la figure 17a apparaît, cliquer sur le bouton « OK » pour ouvrir l'utilitaire d'exportation de Natura (Figure 17b). Les résultats seront exportés pour toutes les décennies jusqu'à celle sélectionnée. On spécifie le nom du fichier de sortie dans la plage « Veuillez choisir un fichier d'exportation ». Les formats .dbf et .csv sont disponibles. La case « Interpolation par période de 5 ans » permet d'obtenir les résultats de simulation par pas de 5 ans par interpolation linéaire entre les résultats de 2 décennies. Différentes échelles d'exportation sont disponibles. Les champs produits par les différentes sorties sont présentés à l'annexe 4.

À l'exportation, le nombre de tiges, la surface terrière et le volume des groupes Fi, Ft, Ri et Rt sont ventilés par essence. Les prévisions des groupes sont réparties par essence en fonction de la représentativité de celles-ci au sein du groupe dans l'inventaire de départ. La proportion de chaque essence est maintenue sur tout l'horizon de simulation.

a)



b)



**Figure 17.** Utilitaire d'exportation a) de Capsis et b) de Natura.

### 2.5.1 Exportation à l'échelle de la placette

À la base, les exportations sont créées à l'échelle de la placette. Comme Natura effectue ses simulations à cette échelle, l'exportation des résultats à l'échelle de la placette se fait directement à partir des résultats de la simulation.

## 2.5.2 Exportation à l'échelle de la strate

Dans le cas d'une exportation à l'échelle de la strate, la moyenne des placettes d'une strate est exportée. Si le champ « Poids » a été rempli lors du chargement d'un inventaire, une moyenne pondérée des résultats de simulation des différentes placettes est exportée.

## 2.5.3 Exportation d'un scénario d'évolution

Le format d'exportation « Scénario » permet de sauvegarder le scénario d'évolution. Ce scénario est ensuite considéré comme un scénario prédéfini. Il pourra être chargé lors d'une prochaine simulation dans le menu des paramètres d'évolution.



### Conseil

Il est recommandé d'utiliser le format .csv pour l'exportation des résultats, en particulier si le fichier d'inventaire contient un grand nombre de placettes.



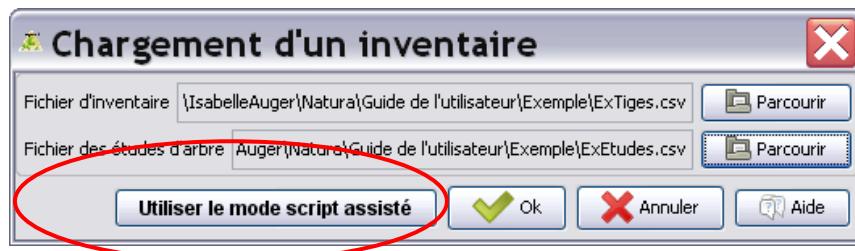
### Avertissement

Dans certains cas, l'évolution d'une placette peut sortir des limites attendues, particulièrement lorsque l'horizon de simulation dépasse 60 ans ou que les caractéristiques initiales de la placette diffèrent trop de celles des placettes utilisées lors de l'étalonnage du modèle. Si le nombre de tiges à l'hectare d'un groupe d'essences d'une placette dépasse 5 000 ou si la surface terrière dépasse 100 m<sup>2</sup>/ha, le champ « HorsLimite » du fichier de sortie prendra la valeur de 1. Ce champ sert à indiquer que les résultats de simulation de la placette ont atteint des valeurs suspectes qui sont très peu vraisemblables pour un peuplement d'origine naturelle se trouvant sur le territoire québécois. Il est particulièrement important de vérifier cet indicateur dans une exportation à l'échelle de la strate, puisque les placettes hors limite pourraient grandement influencer les résultats à cette échelle. Si cette situation survient dans une simulation à l'échelle de la strate, il est recommandé d'effectuer la simulation en retirant les placettes hors limite.

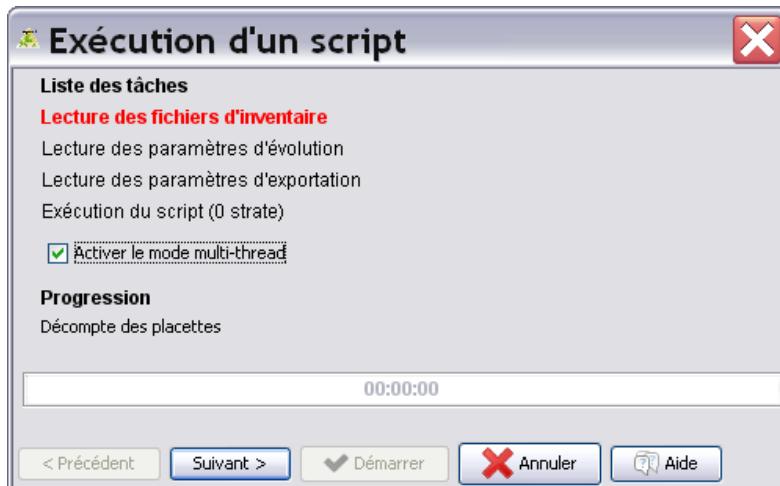
## 2.6 Mode script

Si le fichier d'inventaire contient plus d'une strate, il est possible de toutes les simuler en une seule fois en exécutant un script. Après le chargement d'un inventaire, cliquer sur « Utiliser le mode script assisté » (Figure 18a) pour ouvrir l'utilitaire de script (Figure 18b). La première étape est déjà effectuée, soit de spécifier les fichiers d'inventaires. Cliquer sur le bouton « Suivant » pour passer à la lecture des paramètres d'évolution. Lorsqu'on clique à nouveau sur « Suivant », la boîte de dialogue « Paramètres d'évolution » apparaîtra et permettra de spécifier un fichier de scénario. En cliquant sur le bouton « OK », on passe à la lecture des paramètres d'exportation. Lorsqu'on clique sur « Suivant », l'utilitaire d'exportation apparaît et permet de préciser une échelle et un fichier d'exportation. Pour finir, cliquer sur le bouton « Démarrer » pour exécuter le script. Ce mode d'exécution permet d'obtenir rapidement les résultats de simulation de plusieurs strates dans des fichiers de sortie. Il ne sera toutefois pas possible de visualiser les résultats dans l'interface Capsis.

a)



b)



**Figure 18.** Boîte de dialogue a) pour lancer le mode script et b) de l'utilitaire d'exécution d'un script.

Si une erreur survient durant le chargement d'un inventaire ou lors de la simulation d'une placette, la placette est rejetée et Capsis continue avec la prochaine placette. De cette façon, l'ensemble des placettes de l'inventaire sera traité, sans arrêt du script. Une liste des placettes rejetées est enregistrée dans le fichier « NaturaReaderScript.log » situé dans le répertoire d'installation « ...\\Capsis\\var\\ ».



### Avertissement

Lors d'une exportation à l'échelle de la strate pour laquelle des poids différents sont spécifiés pour les placettes, si des placettes de la strate sont rejetées lors de la simulation, la moyenne pondérée de la strate sera quand même calculée même si la somme des poids n'est pas 1. Les strates problématiques peuvent être identifiées par la valeur inférieure à 1 qui apparaît dans le champ « Poids » du fichier de sortie.

## *2.7 Peuplements en régénération ou traités avec une éclaircie précommerciale*

Natura simule l'évolution de la partie marchande d'un peuplement, c'est-à-dire les arbres dont le DHP est supérieur ou égal à 9,1 cm. Dans les cas de peuplements ayant subi une coupe totale ou une perturbation d'origine naturelle, il est recommandé que la perturbation ou la coupe ait eu lieu il y a plus de 20 ans et que la placette compte au moins 20 tiges marchandes (500 tiges/ha).

Le modèle Natura n'est pas adapté pour simuler les peuplements en régénération. Pour ceux-ci, il serait préférable d'utiliser un modèle de succession. Le modèle Succès, qui fonctionne également sur la plateforme Capsis, est d'ailleurs distribué et supporté par la Direction de la recherche forestière. Les résultats du modèle Succès peuvent par la suite être utilisés par Natura.

De même, le modèle Natura n'a pas été étalonné avec des données provenant de peuplements traités avec une éclaircie précommerciale. Il n'est donc pas recommandé d'utiliser le modèle pour simuler l'évolution de tels peuplements, tant que les prévisions pour n'auront pas été évaluées pour des peuplements éclaircis.

### **3. Conclusion**

La plateforme Capsis facilite la simulation de l'évolution des peuplements forestiers avec le modèle Natura, à partir d'une liste d'arbres avec leurs caractéristiques ainsi que des études d'arbres pour déterminer l'âge et la hauteur dominante du peuplement. Des règles sont intégrées au chargement de l'inventaire pour assurer la cohérence des données. Après la simulation de l'évolution des peuplements, les résultats peuvent être visualisés sous forme de graphiques à même la plateforme, pour permettre de comparer l'évolution de différents scénarios ou différents peuplements. Les résultats de simulations peuvent aussi être exportés sous forme de tableaux. Le modèle Natura ne permet pas la simulation de coupes partielles ni de l'évolution de peuplements en régénération. Ce document sera mis à jour lors de modifications du modèle Natura ou de l'ajout de fonctionnalités.

### **4. Références bibliographiques**

Auger, I., 2016. *Une nouvelle relation hauteur-diamètre tenant compte de l'influence de la station et du climat pour 27 essences commerciales du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 146. 32 p.

[<http://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Auger-Isabelle>Note146.pdf>]

Auger, I., (accepté). *Natura-2014 : mise à jour et évaluation du modèle de croissance à l'échelle du peuplement*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière.

Fortin, M. et L. Langevin, 2010. *ARTÉMIS-2009 : un modèle de croissance basé sur une approche par tiges individuelles pour les forêts du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 156. 48 p.

[<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Fortin-Mathieu/Memoire156.pdf>]

Fortin, M., J. DeBlois, S. Bernier et G. Blais, 2007. *Mise au point d'un tarif de cubage général pour les forêts québécoises : une approche pour mieux évaluer l'incertitude associée aux prévisions*. For. Chron. 83: 754–765.

Fortin, M., S. Bédard et J. DeBlois, 2009. *SaMARE : un modèle par tiges individuelles destiné à la prévision de la croissance des érablières de structure inéquielles du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 155. 43 p.  
[<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Fortin-Mathieu/Memoire155.pdf>]

Pothier, D et I. Auger, 2011. *NATURA-2009 : un modèle de prévision de la croissance à l'échelle du peuplement pour les forêts du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 163. 56 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Auger-Isabelle/Memoire163.pdf>]

Pothier D. et D. Mailly, 2006. *Stand-level prediction of balsam fir mortality in relation to spruce budworm defoliation*. Can. J. For. Res. 36: 1631–1640.

Power, H., 2016. *Comparaison des biais et précision des estimations de surface terrière totale, avec et sans coupe partielle, des modèles Artémis-2009 et Artémis-2014 sur une période de 40 ans*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 143. 21 p.

[<http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Power-Hugues>Note143.pdf>]

Régnière, J., R. Saint-Amant et A. Béchard, 2014. *BioSIM 10 – Guide de l'utilisateur*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. Rapport d'information LAU-X-137F. 70 p. [[http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2015/rncan-nrcan/Fo113-3-137-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2015/rncan-nrcan/Fo113-3-137-fra.pdf)]

Saucier, J.-P., J.F. Bergeron, P. Grondin et A. Robitaille, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional : un élément du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles*. L'Aubelle: février-mars. 8 p.

**Annexe 1.** Liste des sous-domaines bioclimatiques supportés par Natura.

<b>Code</b>	<b>Sous-domaine bioclimatique</b>
1	Érablière à caryer cordiforme
2EST	Érablière à tilleul de l'Est
2OUEST	Érablière à tilleul de l'Ouest
3EST	Érablière à bouleau jaune de l'Est
3OUEST	Érablière à bouleau jaune de l'Ouest
4EST	Sapinière à bouleau jaune de l'Est
4OUEST	Sapinière à bouleau jaune de l'Ouest
5EST	Sapinière à bouleau blanc de l'Est
5OUEST	Sapinière à bouleau blanc de l'Ouest
6EST	Pessière à mousses de l'Est
6OUEST	Pessière à mousses de l'Ouest



**Annexe 2.** Liste des types écologiques supportés par Natura.

Un type écologique est constitué de 5 caractères. Aux fins du modèle Natura, seuls les 4 premiers caractères sont considérés. Les 3 premiers caractères identifient la végétation potentielle, et le 4<sup>e</sup> identifie le milieu physique.

Code	Végétation potentielle
FC1	Chênaie rouge
FE1	Érablière à caryer cordiforme
FE2	Érablière à tilleul
FE3	Érablière à bouleau jaune
FE4	Érablière à bouleau jaune et à hêtre
FE5	Érablière à ostryer
FE6	Érablière à chêne rouge
FO1	Ormaie à frêne noir
ME1	Pessière noire à peuplier faux-tremble
MF1	Frênaie noire à sapin
MJ1	Bétulaie jaune à sapin et érable à sucre
MJ2	Bétulaie jaune à sapin
MS1	Sapinière à bouleau jaune
MS2	Sapinière à bouleau blanc
MS4	Sapinière à bouleau blanc montagnarde
MS6	Sapinière à érable rouge
RB1	Pessière blanche ou cédrière issue d'agriculture
RB2	Pessière blanche maritime
RB5	Pessière blanche issue de broutage
RC3	Cédrière tourbeuse à sapin
RE1	Pessière noire à lichens
RE2	Pessière noire à mousses ou à éricacées
RE3	Pessière noire à sphaignes
RE4	Pessière noire à mousse ou éricacées montagnarde
RP1	Pinède blanche ou rouge
RS1	Sapinière à thuya
RS2	Sapinière à épinette noire
RS3	Sapinière à épinette noire et sphaignes
RS4	Sapinière à épinette noire montagnarde
RS5	Sapinière à épinette rouge
RT1	Prucheraie

(...suite)

Annexe 2. (suite et fin)

<b>Code</b>	<b>Milieu physique</b>
0	Dépôt très mince, de texture variée et de drainage xérique à hydrique
1	Dépôt de mince à épais, de texture grossière et de drainage xérique ou mésique
2	Dépôt de mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique
3	Dépôt de mince à épais, de texture fine et de drainage mésique
4	Dépôt de mince à épais, de texture grossière et de drainage subhydrique
5	Dépôt de mince à épais, de texture moyenne et de drainage subhydrique
6	Dépôt de mince à épais, de texture fine et de drainage subhydrique
7	Dépôt minéral de mince à épais, de drainage hydrique, ombrotrophe
8	Dépôt organique, de drainage hydrique, minérotrophe
9	Dépôt organique, de drainage hydrique, ombrotrophe

**Annexe 3.** Liste des codes d'état de l'arbre supportés par Natura.

Les codes d'état suivants sont reconnus par Natura, mais seuls les arbres avec un code d'état vivant (10, 12, 30, 32, 40, 42, 50, 52) sont traités.

Code	État
10	Vivant sur pied
12	Vivant chablis
14	Mort sur pied
16	Chicot
23	Disparu
24	Chicot disparu
25	Intrus
26	Coupé
29	Non identifiable
30	Oublié vivant sur pied
32	Oublié vivant chablis
34	Oublié mort sur pied
36	Oublié chicot
40	Recrue vivante sur pied
42	Recrue vivante chablis
44	Recrue morte sur pied
46	Recrue chicot
50	Renuméroté vivant sur pied
52	Renuméroté vivant chablis
54	Renuméroté mort sur pied
56	Renuméroté chicot



**Annexe 4.** Description des sorties de Natura a) à l'échelle de la placette et de la strate; b) à l'échelle du scénario.

Champ	Échelle	Description
<b>a) à l'échelle de la placette (P) et de la strate (S)</b>		
StrateID	S, P	Identifiant de la strate
Année	S, P	Année de fin de la période de simulation (de 0 à 150 ans)
PlacetteID	P	Identifiant de la placette
SDomBioc	P	Sous-domaine bioclimatique de la placette
Poids	S	Somme des facteurs de pondération des placettes d'une strate, si ce facteur est présent dans le fichier de données
Perturb	S, P	Ce champ prend la valeur de 1 pour identifier les périodes avec une perturbation naturelle légère. Sinon, la valeur est 0.
Tbe	S, P	Indice de réduction de croissance due à la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
Âge	S, P	Âge moyen des arbres de la placette ou de la strate
HDom	S, P	Hauteur dominante (m) d'une placette ou d'une strate
IndShannon	S, P	Indice de diversité diamétrale de Shannon des arbres d'une placette ou d'une strate
IQS	S, P	Indice de qualité de station (m) de la placette ou d'une strate. Hauteur dominante à 50 ans.
TotNBHA	S, P	Nombre total de tiges marchandes à l'hectare dans la placette ou la strate
TotSTM2HA	S, P	Surface terrière marchande totale en m <sup>2</sup> /ha dans une placette ou une strate
TotVolm3HA	S, P	Volume marchand brut total en m <sup>3</sup> /ha dans une placette ou une strate
TotVtigeDm	S, P	Volume moyen par tige (dm <sup>3</sup> /tige) dans une placette ou une strate
TotDiamq	S, P	Diamètre moyen quadratique en cm dans une placette ou une strate
NbHaFi	S, P	Nombre de tiges à l'hectare du groupe des feuillus intolérants dans la placette ou la strate
NbHaFt	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare du groupe des feuillus tolérants dans la placette ou la strate
NbHaRi	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare du groupe des résineux intolérants dans la placette ou la strate
NbHaRt	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare du groupe des résineux tolérants dans la placette ou la strate
NbHaSab	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare de sapin baumier dans la placette ou la strate

(...suite)

**Annexe 4.** (suite)

<b>Champ</b>	<b>Échelle</b>	<b>Description</b>
Stm2HaFi	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) du groupe des feuillus intolérants dans la placette ou la strate
Stm2HaFt	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) du groupe des feuillus tolérants dans la placette ou la strate
Stm2HaRi	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) du groupe des résineux intolérants dans la placette ou la strate
Stm2HaRt	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) du groupe des résineux tolérants dans la placette ou la strate
Stm2HaSab	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) de sapin baumier dans la placette ou la strate
Volm3haFi	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) du groupe des feuillus intolérants dans la placette ou la strate
Volm3haFt	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) du groupe des feuillus tolérants dans la placette ou la strate
Volm3haRi	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) du groupe des résineux intolérants dans la placette ou la strate
Volm3haRt	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) du groupe des résineux tolérants dans la placette ou la strate
Volm3haSab	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) de sapin baumier dans la placette ou la strate
Vtigedm3Fi	S, P	Volume moyen par tige ( $dm^3/tige$ ) du groupe des feuillus intolérants dans la placette ou la strate
Vtigedm3Ft	S, P	Volume moyen par tige ( $dm^3/tige$ ) du groupe des feuillus tolérants dans la placette ou la strate
Vtigedm3Ri	S, P	Volume moyen par tige ( $dm^3/tige$ ) du groupe des résineux intolérants dans la placette ou la strate
Vtigedm3Rt	S, P	Volume moyen par tige ( $dm^3/tige$ ) du groupe des résineux tolérants dans la placette ou la strate
Vtigedm3Sab	S, P	Volume moyen par tige ( $dm^3/tige$ ) de sapin baumier dans la placette ou la strate
DiamqFi	S, P	Diamètre moyen quadratique en cm du groupe des feuillus intolérants dans une placette ou une strate
DiamqFt	S, P	Diamètre moyen quadratique en cm du groupe des feuillus tolérants dans une placette ou une strate
DiamqRi	S, P	Diamètre moyen quadratique en cm du groupe des résineux intolérants dans une placette ou une strate

(...suite)

**Annexe 4.** (suite)

<b>Champ</b>	<b>Échelle</b>	<b>Description</b>
DiamqRt	S, P	Diamètre moyen quadratique en cm du groupe des résineux tolérants dans une placette ou une strate
DiamqSab	S, P	Diamètre moyen quadratique en cm des sapins baumiers dans une placette ou une strate
NbHaEPN	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare d'épinette noire dans la placette ou la strate
NbHaEPB	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare d'épinette blanche dans la placette ou la strate
NbHaEPR	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare d'épinette rouge dans la placette ou la strate
NbHaTHO	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare de thuya dans la placette ou la strate
NbHaPIB	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare de pin blanc dans la placette ou la strate
NbHaBOP	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare de bouleau à papier dans la placette ou la strate
NbHaPEU	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare de peuplier dans la placette ou la strate (inclus le peuplier baumier, le peuplier à feuilles deltoïdes, le peuplier à grandes dents et le peuplier faux-tremble)
NbHaPIG	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare de pin gris dans la placette ou la strate
NbHaMEL	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare de mélèze dans la placette ou la strate
NbHaPIR	S, P	Nombre de tiges marchandes à l'hectare de pin rouge dans la placette ou la strate
Stm2HaEPN	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) d'épinette noire dans la placette ou la strate
Stm2HaEPB	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) d'épinette blanche dans la placette ou la strate
Stm2HaEPR	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) d'épinette rouge dans la placette ou la strate
Stm2HaTHO	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) de thuya dans la placette ou la strate
Stm2HaPIB	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) de pin blanc dans la placette ou la strate
Stm2HaBOP	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) de bouleau à papier dans la placette ou la strate

(...suite)

**Annexe 4.** (suite et fin)

Champ	Échelle	Description
Stm2HaPEU	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) de peuplier dans la placette ou la strate (inclus le peuplier baumier, le peuplier à feuilles deltoïdes, le peuplier à grandes dents et le peuplier faux-tremble)
Stm2HaPIG	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) de pin gris dans la placette ou la strate
Stm2HaMEL	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) de mélèze dans la placette ou la strate
Stm2HaPIR	S, P	Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ ) de pin rouge dans la placette ou la strate
Volm3HaEPN	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) d'épinette noire dans la placette ou la strate
Volm3HaEPB	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) d'épinette blanche dans la placette ou la strate
Volm3HaEPR	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) d'épinette rouge dans la placette ou la strate
Volm3HaTHO	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) de thuya dans la placette ou la strate
Volm3HaPIB	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) de pin blanc dans la placette ou la strate
Volm3HaBOP	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) de bouleau à papier dans la placette ou la strate
Volm3HaPEU	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) de peuplier dans la placette ou la strate (inclus le peuplier baumier, le peuplier à feuilles deltoïdes, le peuplier à grandes dents et le peuplier faux-tremble)
Volm3HaPIG	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) de pin gris dans la placette ou la strate
Volm3HaMEL	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) de mélèze dans la placette ou la strate
Volm3HaPIR	S, P	Volume marchand brut ( $m^3/ha$ ) de pin rouge dans la placette ou la strate
HorsLimite	S, P	Ce champ prend la valeur de 1 si le nombre de tiges à l'hectare d'un groupe d'essences dépasse 5 000 tiges/ha ou si la surface terrière d'un groupe d'essences dépasse 100 $m^2/ha$ , pour la placette ou une des placettes de la strate. Sinon, la valeur est 0.

**b) à l'échelle du scénario**

nbDecen	Scénario	Nombre de décennies
TBE	Scénario	Indice de défoliation par la TBE. La valeur 0 indique l'absence de défoliation. Les autres valeurs possibles de l'indice (1, 2, 3 ou 4) correspondent respectivement à 1, 4, 6 et 8 années de défoliations sévères sur une période de 10 ans
Perturb	Scénario	Présence de perturbation naturelle légère (0 ou 1)





Les recherches en modélisation menées par les chercheurs et les statisticiens de la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs visent à développer et à améliorer les modèles de croissance et de rendement de la forêt québécoise. Ces modèles représentent l'un des fondements de l'aménagement forestier durable. Ils figurent parmi les outils essentiels de la gestion des forêts et constituent un rouage important des calculs de la possibilité forestière.

Natura est un modèle de croissance forestière à l'échelle du peuplement pour les forêts du Québec qui fait varier directement les caractéristiques dendrométriques d'une placette pour simuler l'évolution d'un peuplement, sans utiliser d'information à l'échelle de l'arbre. Pour faciliter la simulation, Natura a été intégré à la plateforme Capsis, élaborée par l'Institut National de Recherche en Agronomie (France) et ses partenaires. Ce logiciel générique permet d'implanter différents modèles sous une même application, d'effectuer plusieurs simulations dans une même session et de comparer plusieurs scénarios sylvicoles. Il permet aussi de visualiser les résultats de simulation sous forme de graphiques et de les exporter sous forme de tableaux.

Ce guide fournit les informations nécessaires à l'utilisation du modèle Natura sur la plateforme Capsis. Il explique la marche à suivre, de l'importation du fichier d'inventaire à l'exportation des simulations, et présente les différentes options et fonctionnalités disponibles.