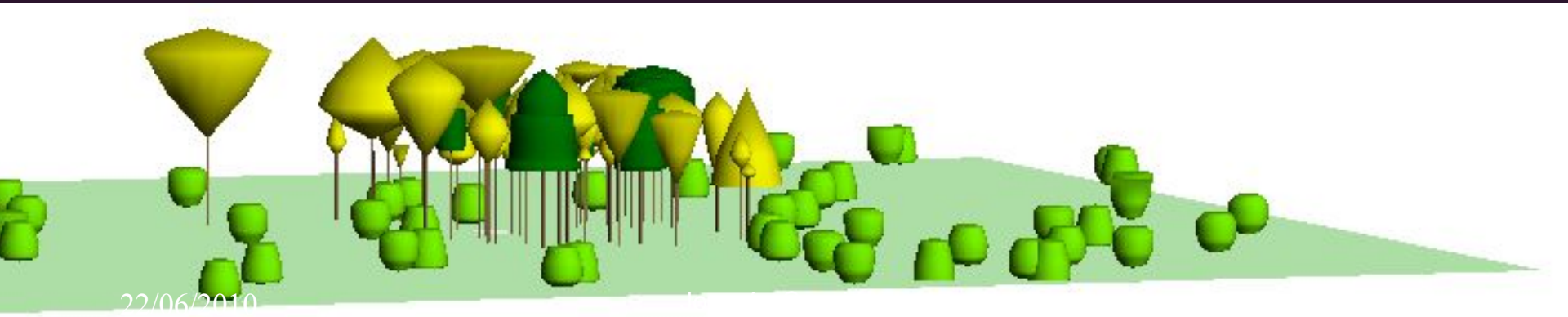
Fire Paradox Fuel Manager

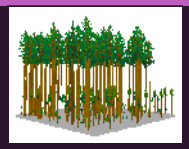
Philippe DREYFUS ; Isabelle LECOMTE; François PIMONT ;
Éric RIGOLOT; Oana VIGY
UR Mediterranean Forest Ecology, Avignon, France

François de COLIGNY; Sébastien GRIFFON
UMR AMAP, Montpellier, France

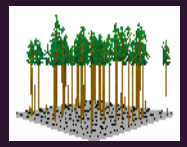
Russel PARSONS; Kyle DOYLE ?
USDA Forest Service; Missoula, USA



Dynamique de peuplement en présence d'incendies



Peuplement à t1



Peuplement à t1'

Feu

Peuplement à t2

- Propagation
- Impact du feu

Intensité

Vulnérabilité

Sévérité

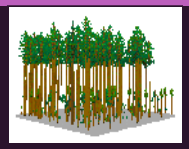
Conséquences écologiques

Peuplement à t2+dt

Peuplement à t2'

Peuplement à t3

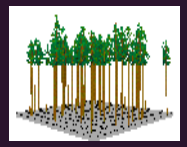
Dynamique de peuplement en présence d'incendies et d'actions de prévention



Peuplement à t1

-Prévention (élagage, éclaircie, débroussaillement, brûlage…)

- Changement climatique, attaques d'insectes…



Peuplement à t1'

Feu

Peuplement à t2

- Propagation
- Impact du feu

Intensité

Vulnérabilité

Sévérité

Peuplement à t2+dt

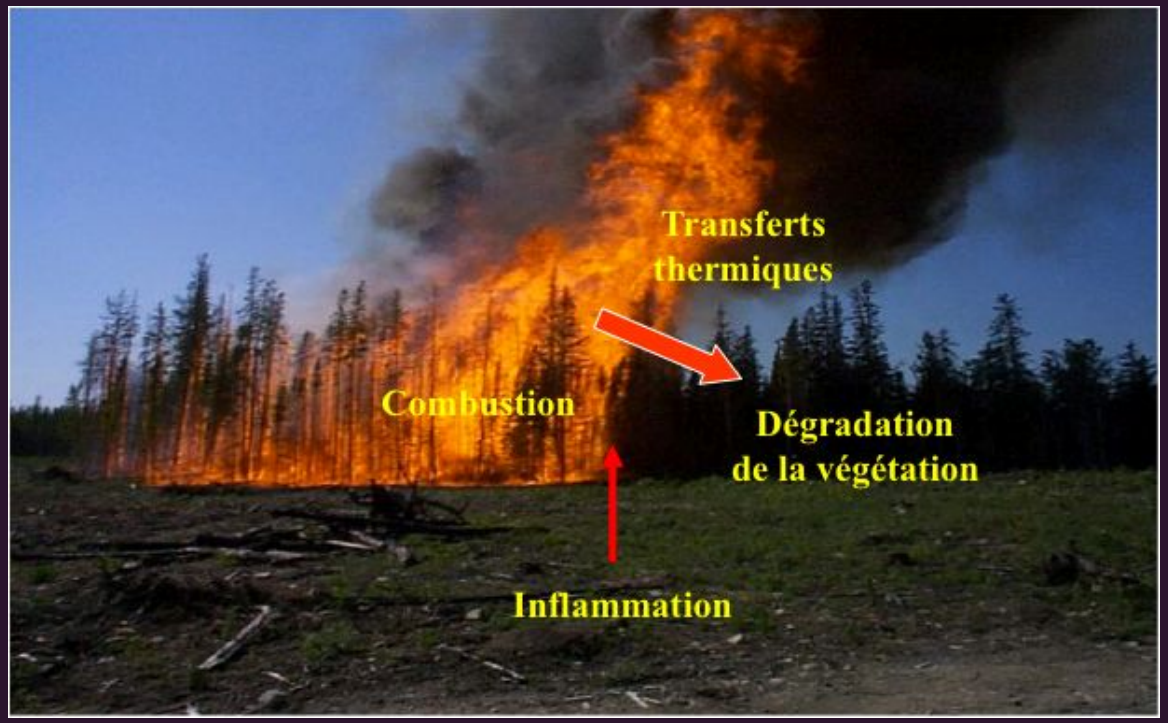
Consequences écologiques

Peuplement à t2'

Intervention post incendie

Peuplement à t3

Firetec



Le modèle prend en compte la topographie, le vent et les caractéristiques du combustible (teneur en eau, charge, hétérogénéité spatiale > 2m)

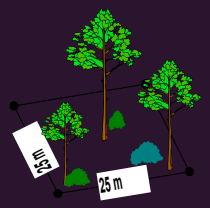
Il a fait l'objet d'un certain nombre de validations, y compris au niveau des calculs d'écoulement

Description du combustible dans Firetec

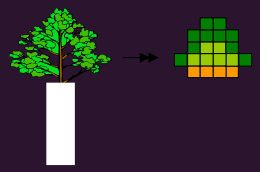
Données spatialisées dans un maillage 3D de résolution voisine de 2 m:

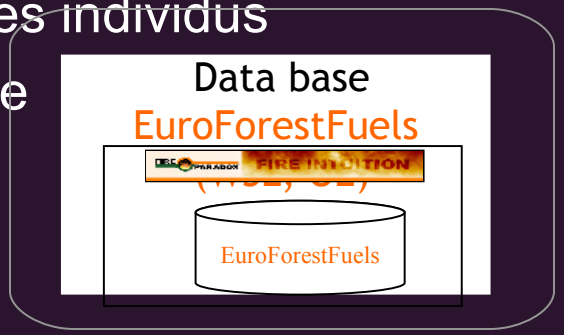
- Biomasse par voxel (combustible fin = feuillage+rameaux fins<6mm)
- Surface foliaire par voxel
- Teneur en eau du combustible

Description à trois échelles:



- Peuplement : liste des espèces principales, recouvrement, nha, etc.
  => Importance de la strate arbustive!
- Individus : dimension, biomasse spatialisée, etc.
  - modélisation des individus
  - base de donnée





- Particule : masse volumique, rapport surface volume, etc.

Contenu

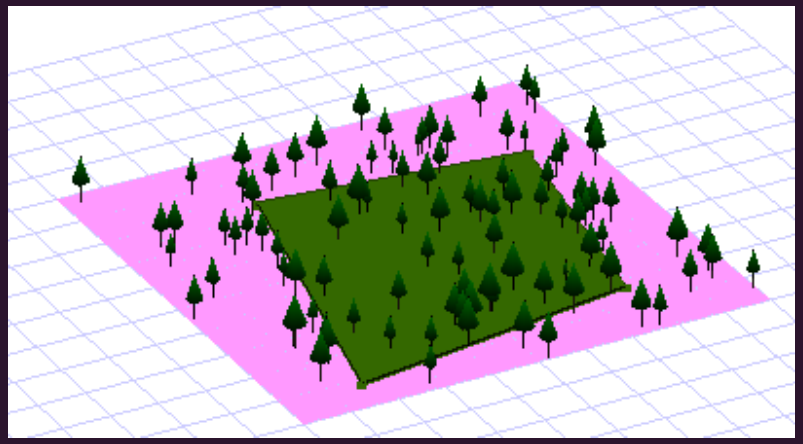
1. Fuel items
2. Génération d'une scène initiale
3. Visualisateur 3D (librairie sketch)
4. Export vers Firetec
5. Intervention sur la scène
6. Croissance du peuplement et dynamique de la strate arbustive

1. Outils de prédiction des effets du feu sur les arbres

1. Quelques exemples concrets d'utilisation

1. Fuel items

- Trois sortes d'items :
  - Arbres locaux (représentation individuelle)
  - Individus issus de la base de données (représentation individuelle)
  - Strate arbustive (Polygones, qui contiennent un mélange de famille, espèces, etc.)



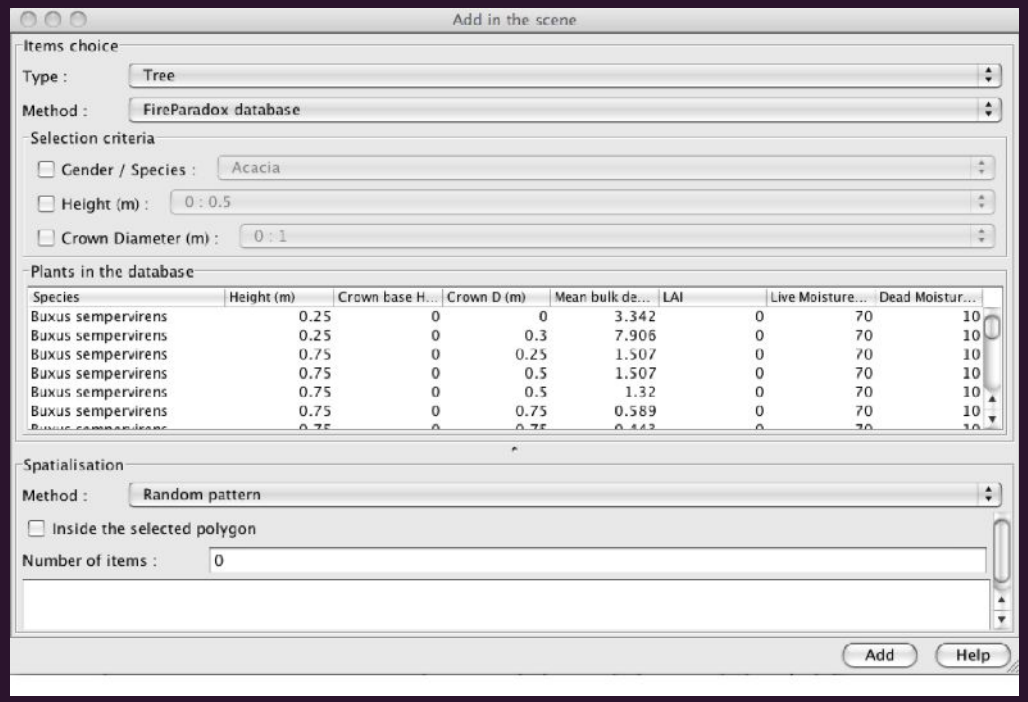
- La modélisation des arbres locaux s'appuie sur:
  - Des allométries d130 => hauteur, base du houppier, diamètre, profile de la canopée
  - Des distributions de biomasse : feuilles, rameaux fins…
  - Caractéristique du combustible: masse volumique, épaisseur, teneur en eau

  - Espèces disponibles (éventuellement qq relations à compléter) :

- *Espèces méditerranéennes : Pinus halepensis , Pinus pinaster (age), Pinus sylvestris (Finlande, Italie), Quercus ilex , Quercus pubescens (Italie)*
- *USA/CANADA : Picea mariana, Pinus banksiana, Pinus ponderosa…*

Ajout d'objets en provenance de la base de données

Critère de recherches dans la base EuroforestFuel



Mode de plantation

HTTP request

HTTP SERVER

TOMCAT

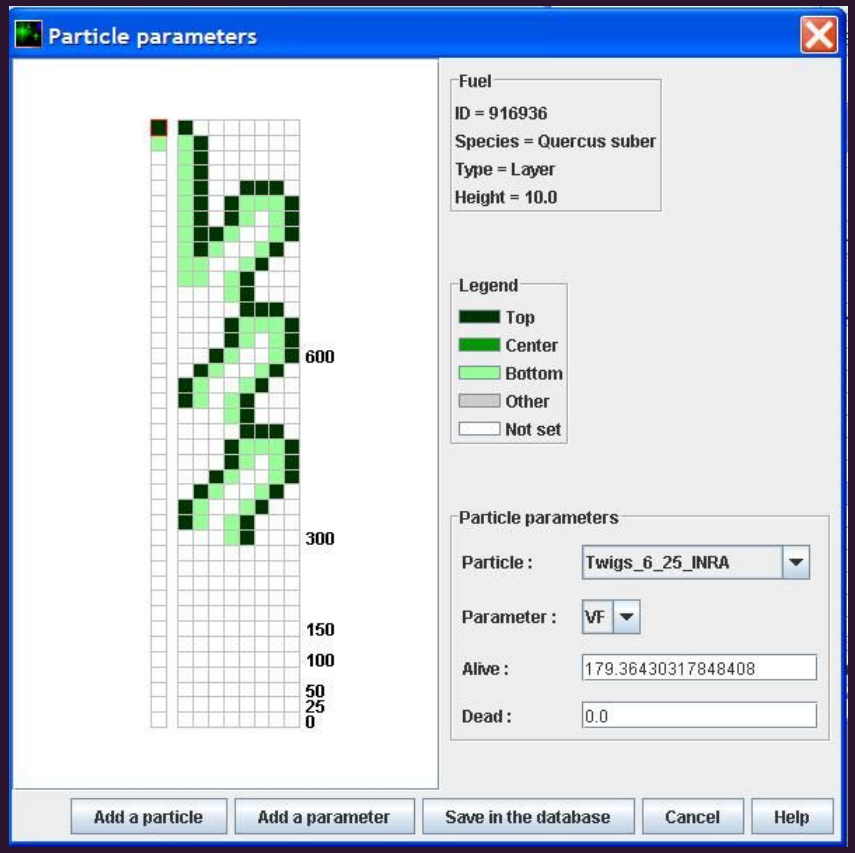
EuroForestFuel DB4o Database

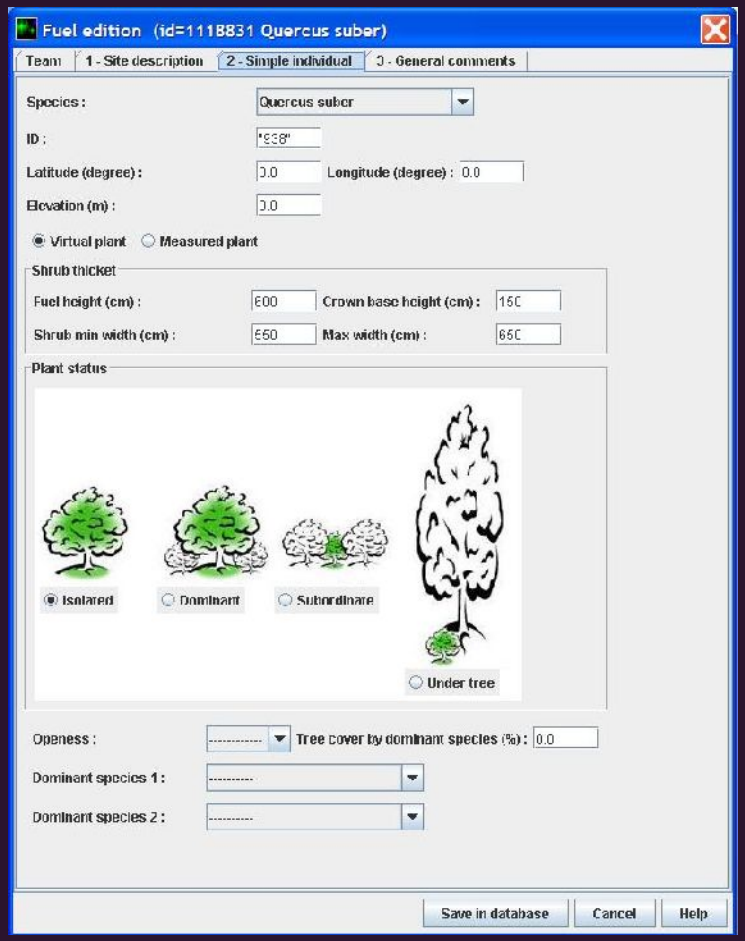
http://http://www.wsl.ch/WebFuel/

http://fireintuition.efi.int:8080/

EuroForestFuels Database Management

Management of particles distribution in individual crown shapes

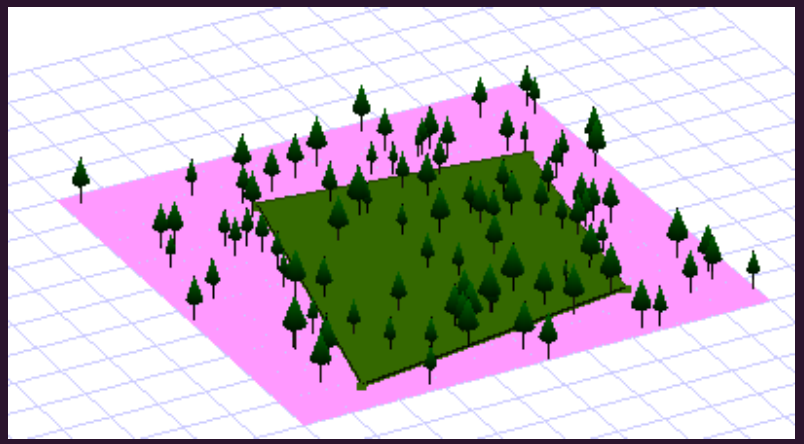




+ Enregistrement de scènes dans la base

1. Fuel items : strates arbustives

- Les strates arbustives (layerSet) contiennent différentes familles (layers):
  - D'une espèce données : hauteur, charge de feuilles, rameaux vivant/mort, caractéristiques physique (teneur en eau, etc.)
  - Un recouvrement au sein de la strate arbustive, et une taille caractéristique (pour la spatialisation du combustible au sein de la strate)



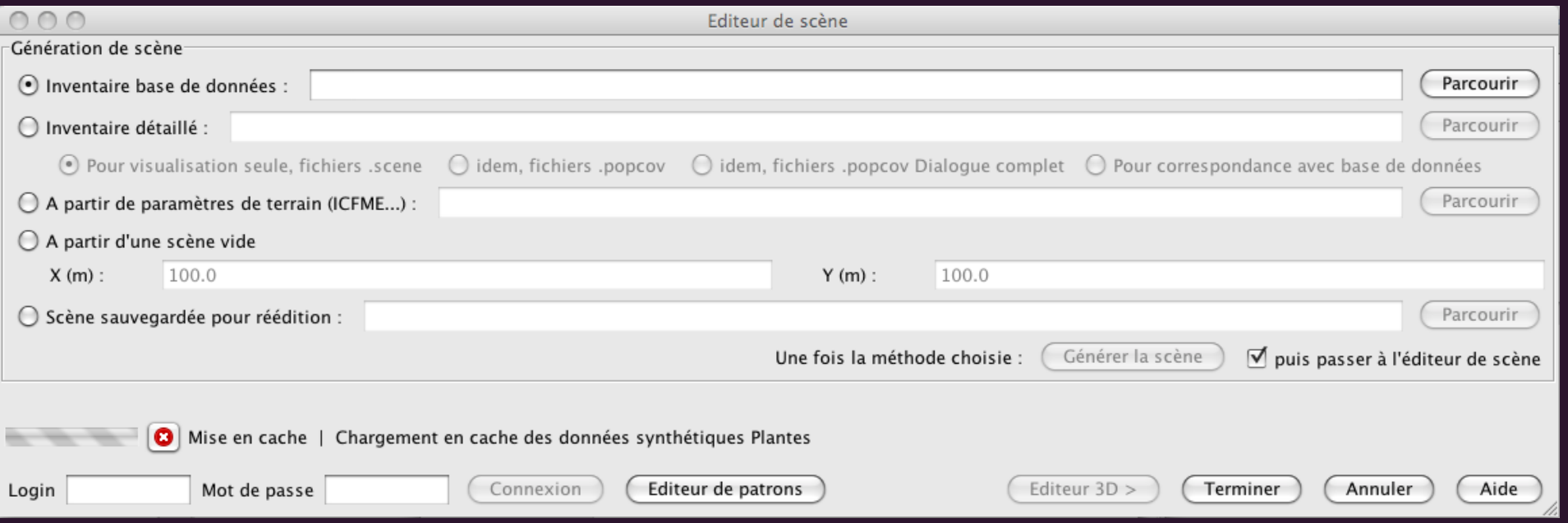
- Les données des layers et des layerSets peuvent
  - provenir de la base de données
  - être saisie directement layer par layer
  - utiliser des modèles de layer (ex: "chêne kermes de 50 cm de haut")
  - Utiliser des modèles de layerSet (ex : "garrigue à chêne kermes de 75 cm")

2. Fuel manager: scène initiale

Les scènes initiales peuvent être générées :

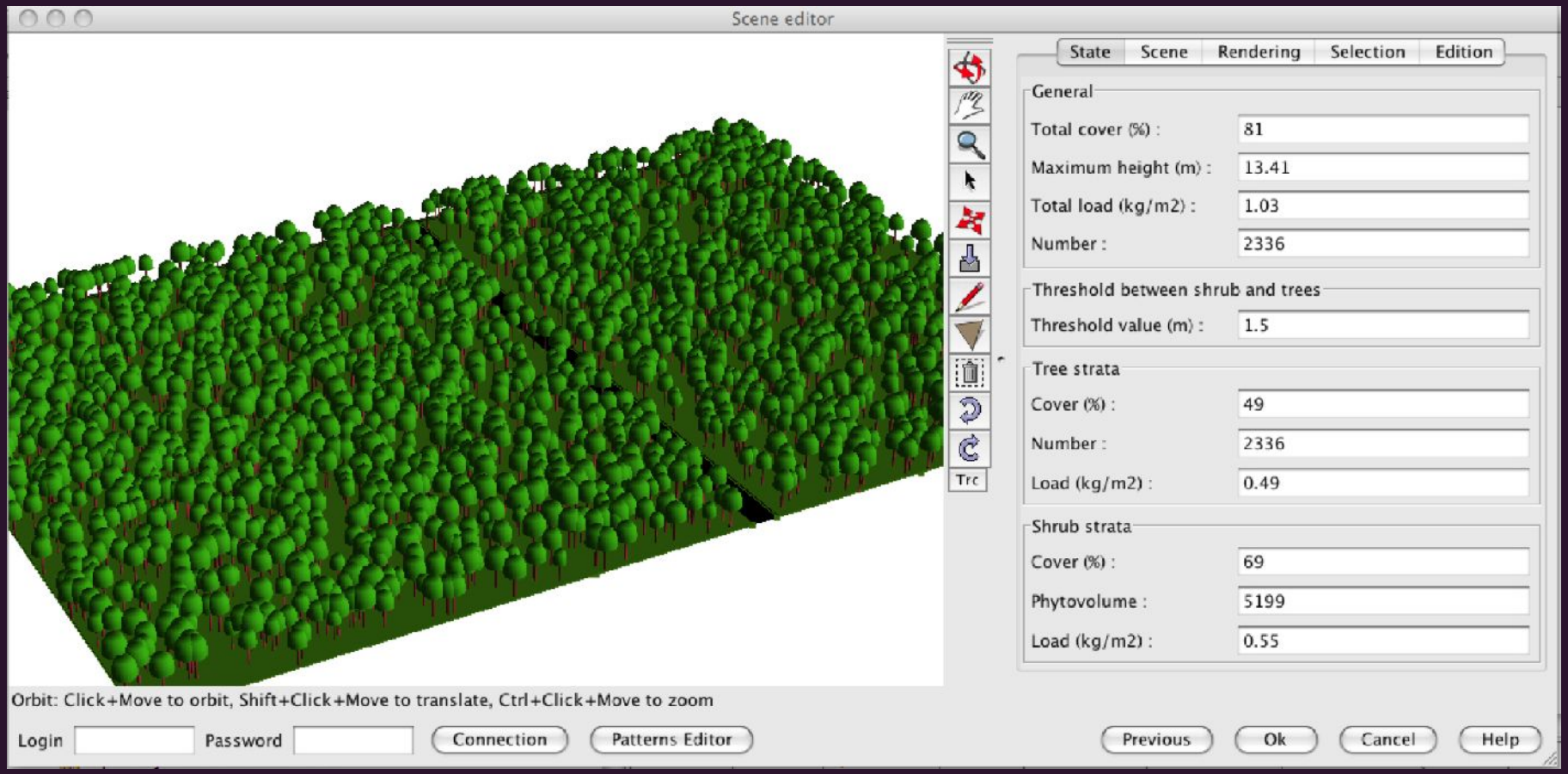
- à partir d'inventaires de la base de données
- à partir de fichiers textes selon plusieurs formats :
  - nombre de tiges/ha par classes de diamètres
  - Age/Hdom50/Nha
  - strate arbustive multi-espèce hétérogène

} dans des polygones



3. Visualisateur 3D

- Développé par F. de Coligny (librairie sketch)



Application au calcul de l'aléa feu de forêts

- Pour les PPRIF, l'ONF évalue l'intensité du feu par la relation de Byram :
  I= 18000 * ROS * L
- 12 modèles de combustible de l'ONF pour L

modèle	Description	Litière	Herbacées	Buisson <30cm	Buisson 30 à 70cm	Buisson > 70 cm	Arbres	Total	Masse sèche moyenne (g/m²)	MC (kJ/m²)
M	Minéral	0 à 20%	0 à 20%	0 à 20%			0			0
		0	0	0			0	0	0	
H1	Pelouse sèche	30 à 60 %	>60 %	<30 %			<30 %			5 190
		100 à 150	100 à 250	0			0	200 à 400	300	
H2	Pelouse irriguée	30 à 60 %	>60 %	<30 %			<30 %			1 211
		0 à 100	0 à 40	0			0	0 à 140	70	
H3	Vignes, verger, parcs et jardins	30 à 60 %	>60%	30 à 60 %			30 à 60 %			5 285
		100 à 200	50 à 150	0 à 100			0	150 à 450	300	
D1	Débroussaillé	30 à 60 %	>60 %	20 à 80 %	<50 %		<50%			13 215
		100 à 150	100 à 200	400 à 500	0		0	600 à 850	725	
B1	Garrigues basses	30 à 60 %	30 à 60 %	50 à 80 %			<30 %			23 545
		250 à 300	150 à 200	600 à 1000			0	1000 à 1500	1 250	
B2	Garrigues moyennes	>60 %	<30 %		>70 %		<30%			37 720
		500 à 700	50 à 150		1000 à 1400		0 à 200	1550 à 2450	2 000	
B3	Garrigues hautes	>60 %	<30 %			>70 %	<30%			67 150
		550 à 750	50 à 150			2000 à 2500	400 à 600	3000 à 4000	3 500	
A1	Feuillus décidus	30 à 60 %	30 à 60 %	<30 %			> 60%			18 060
		300 à 500	150 à 250	200 à 300			100 à 200	750 à 1250	1 000	
A2	Chênes verts	80 à 100 %	<30 %			50 à 80 %	50 à 80 %			65 375
		1000 à 1200	100 à 200			1000 à 1200	1000 à 1300	3100 à 3900	3 500	
A3	Pinèdes lâches	80 à 100 %	30 à 60 %			30 à 60 %	30 à 60 %			66 335
		1050 à 1250	150 à 250			800 à 1000	1000 à 1500	3000 à 4000	3 500	
A4	Pinèdes denses	80 à 100 %	<30 %			30 à 60 %	> 60%			84 325
		1200 à 1400	100 à 200			600 à 800	2000 à 2500	3900 à 4900	4400	

LEGENDE :

Recouvrement
masse sèche (g/m²) participant à la combustion

Application au calcul de l'aléa feu de forêts

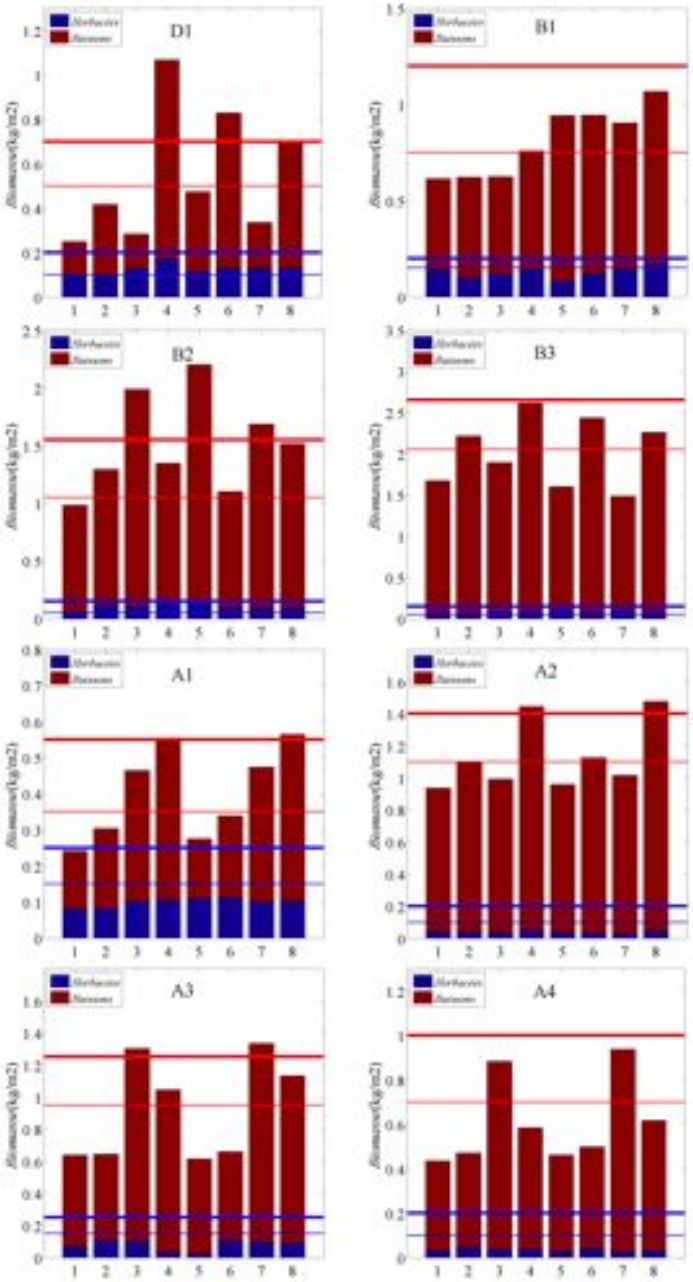
Démarche:
⇒ Simuler des faciès de différents âge, fertilité, composition
⇒ Les ratacher aux 12 modèles ONF en fonction de leurs caractéristiques macroscopiques (hauteur, recouvrement, etc.)
⇒ Comparer les données de biomasse obtenues

- Strates arbustives et herbacées

⇒ Bon accord
⇒ Une variabilité simulée plus forte
⇒ Recommandations:
  - créer des sous-types pour D1, A3 et A4
  - Réduire la biomasse associée à B1

- Strates arborées

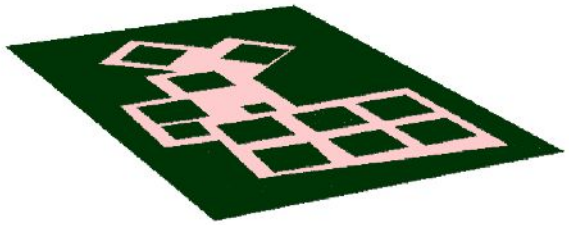
⇒ Surestimation de l'Office de l'ordre de 30 %



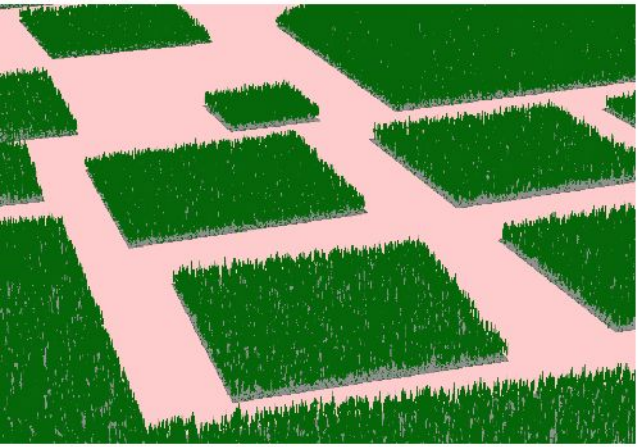
Visu 3D : Gestion de la mémoire

- Les items (arbre, nappes) ont une représentation mémoire légère (juste quelques propriétés nécessaires à la visualisation), mais la 3D est couteuse

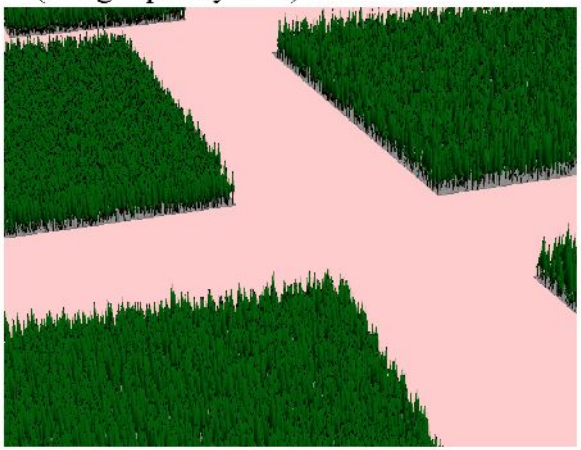
a) Picture from Alexander et al 2004



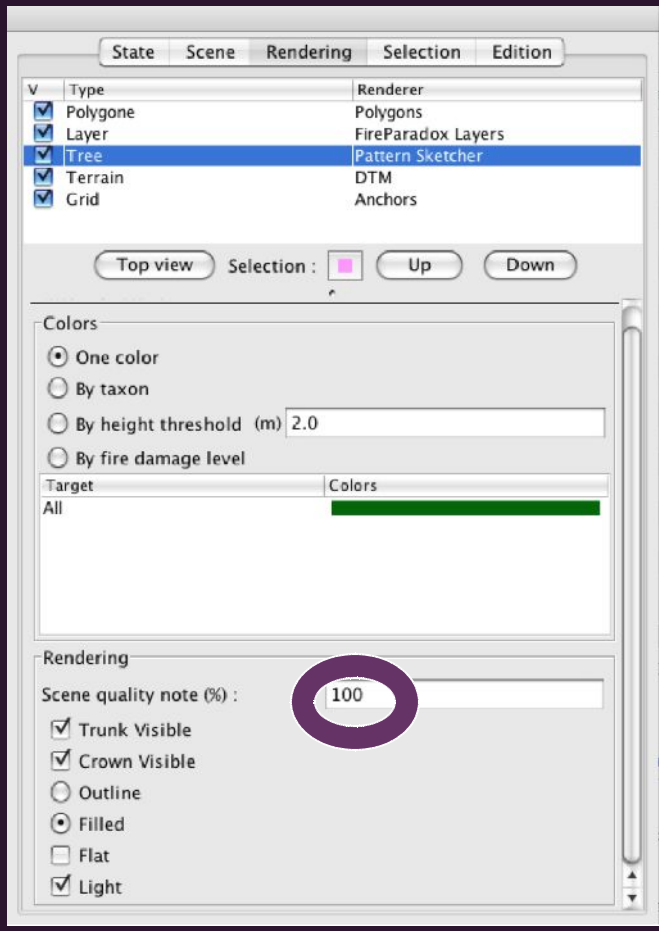
b) Anchor Render (by default for 1000000 trees) (Image quality 1 %)



c) Temporary Improved Rendering (Image quality 25 %)

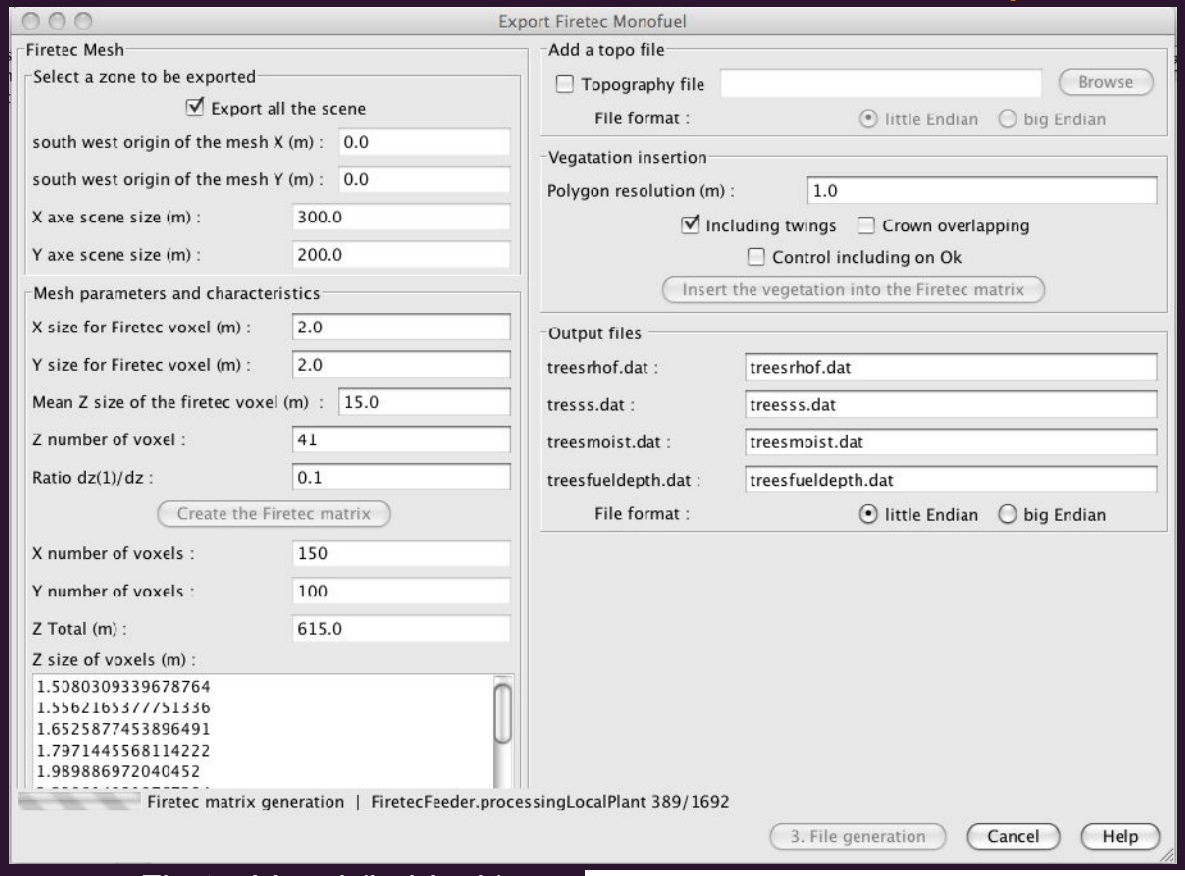


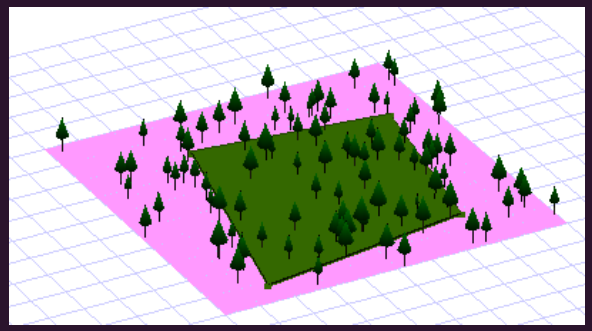
d) Temporary Improved Rendering (Image quality 80 %)

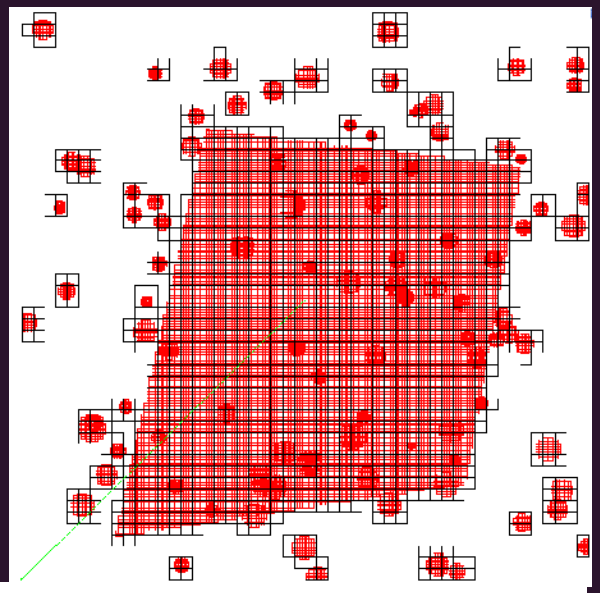


4. Export vers FIRETEC

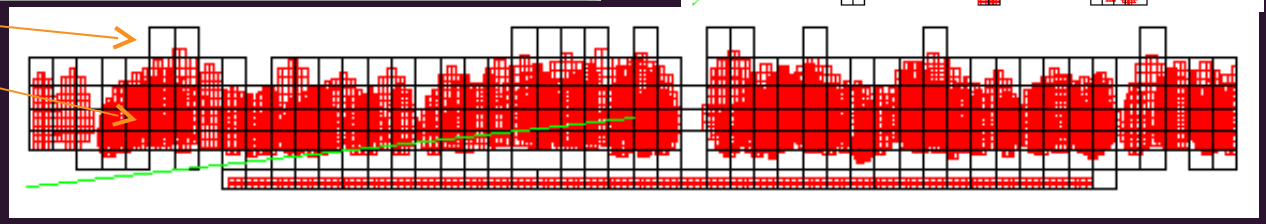
Création de la structure 3D détaillée de chaque item







FiretecVoxel (in black)
CrownVoxel (in red)

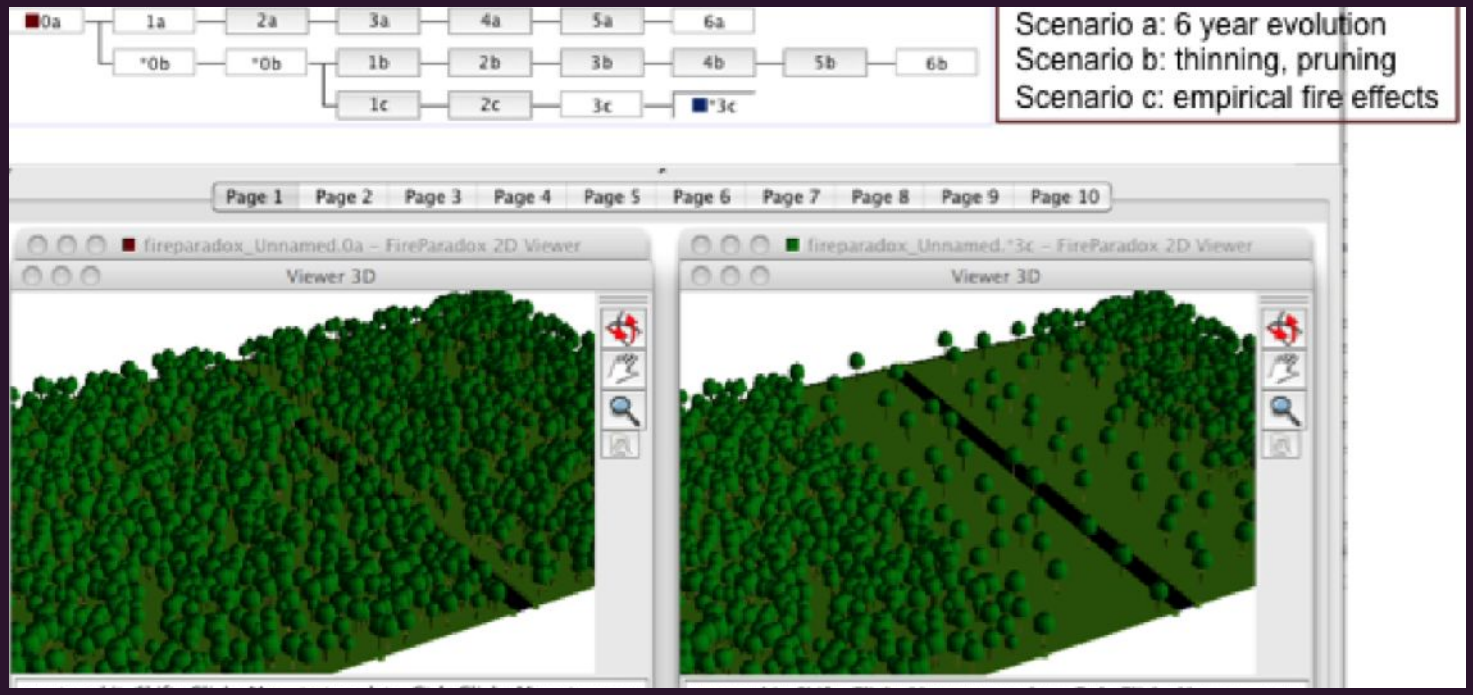


Prochaine étape :

- Un export vers WFDS (NIST model) est en project avec l'USDA forest service

5. Interventions sur le peuplement

- Traitement de la strate arborée :
  - Mise à distance des couronnes ou des tiges :
    - En préservant les plus gros
    - A la manière du forestier (ligne de martellage)
    - Optimisé (recuit simulé)
  - Eclaircie sélective
  - Elagage

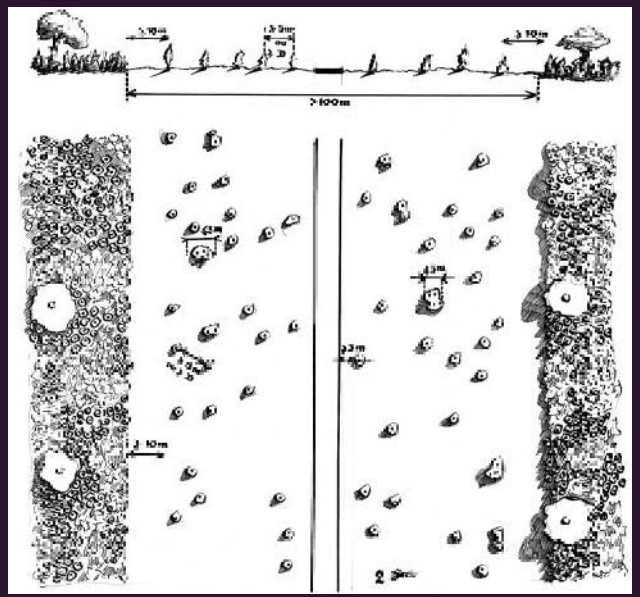


- Débroussaillement de la strate arbustive

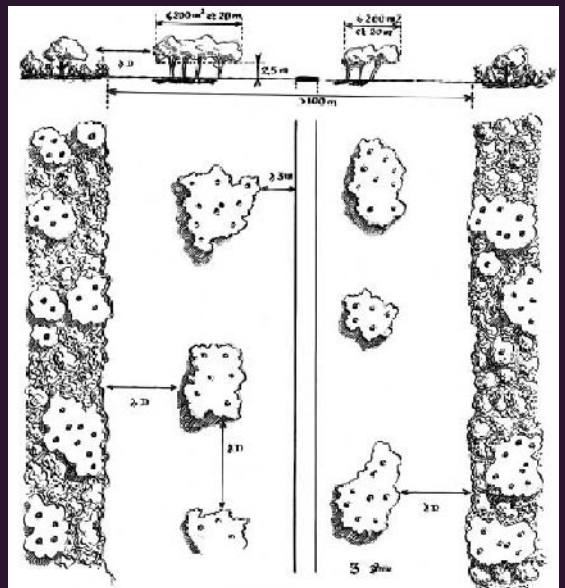
Exemples d'applications

- Mise à distance des houppiers (politique de prévention)
  - ⇒ Les politiques de prévention varient selon les départements en matière de mise à distance des houppiers (1m, 2m, 3m), sans que les décideurs aient un réel recul sur ce que cela implique. De plus la quantité de travaux est souvent difficile à évaluer
  - ⇒ Pour 3 classes de fertilité, de densité (sur base IFN) et deux âges, on étudie la fraction de tiges supprimée, dans quelle classe de diamètre, et 'impact sur la surface terrière et la biomasse, selon les différents modes d'éclaircies

- Evaluation de différents types de traitements préventifs avec FIRETEC



Recommendations à dire d'expert Quercus Ilex maquis (from Rigolot et Costa 2000)



Application : Effet d'une éclaircie (C=25 %) sur le vent

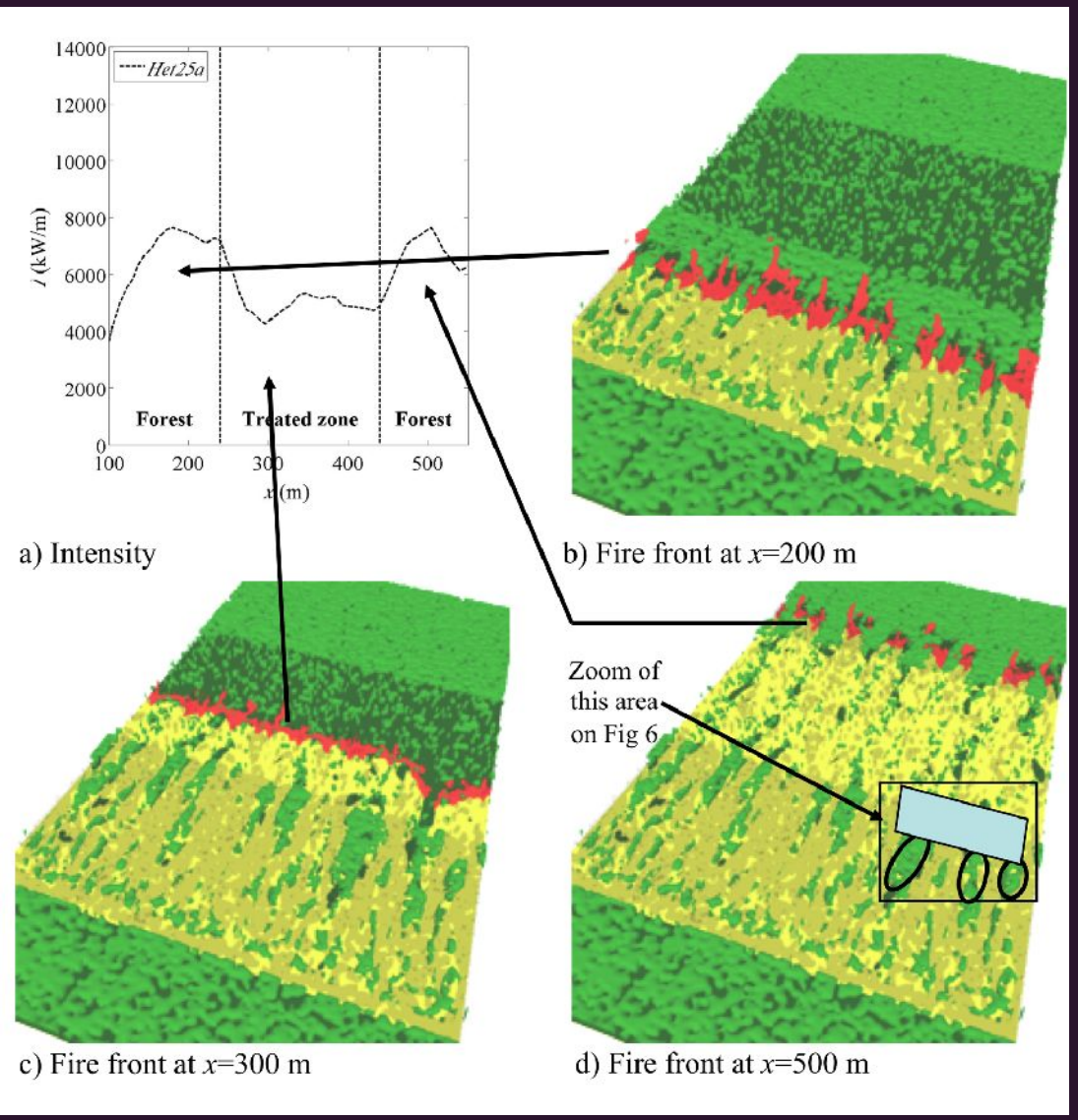
Transport de graines

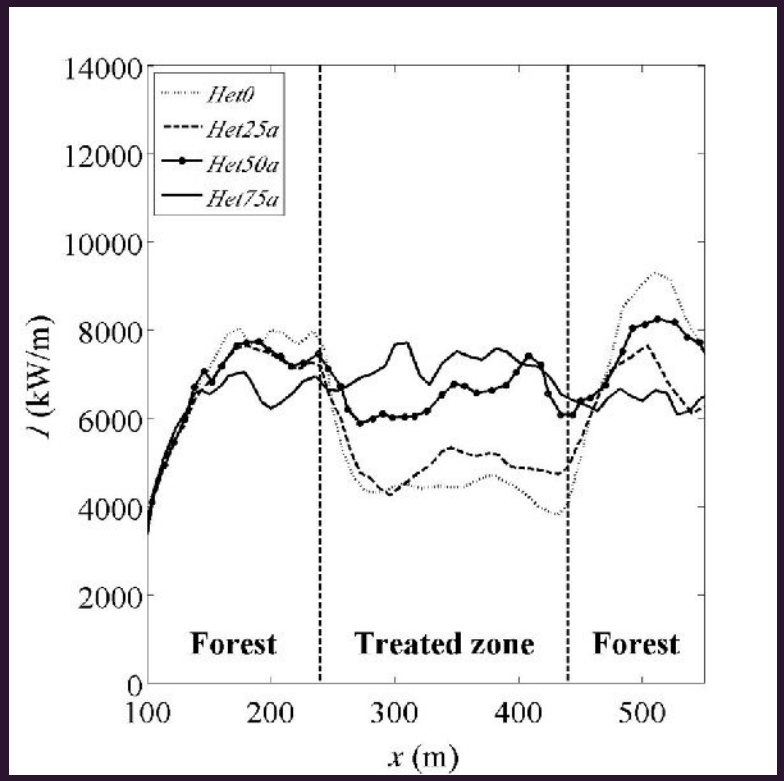
(E. Klein)

Bioméca l'arbre… Tempêtes?

Forêt | Coupure de 200 m | Forêt

Application : Effet d'une éclaircie sur le comportement du feu

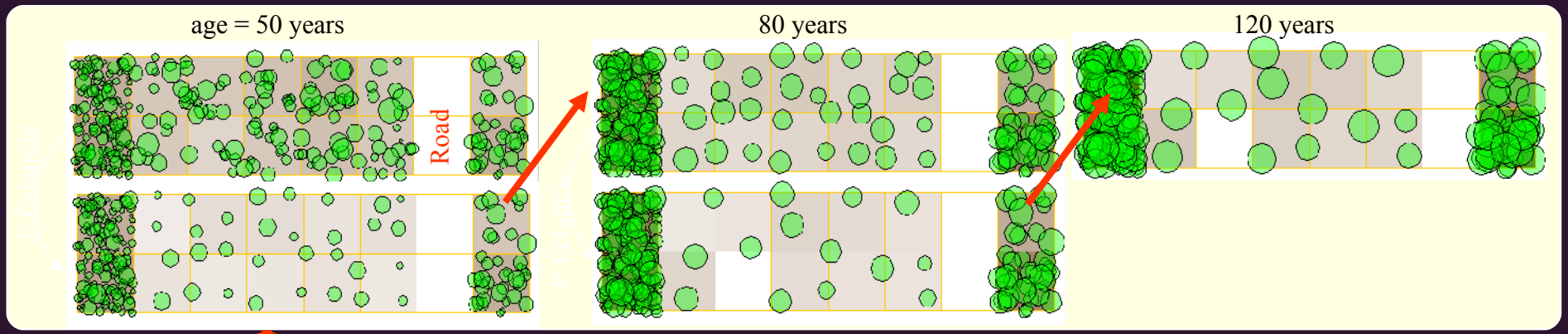




6. Croissance du peuplement…

- Modèle de croissance pour les arbres (Ph Dreyfus)

dH=POT(species, age, stand)
xRED1 (Stem density)
xRED2 (Concurrential status = H/domH
xSylviculture (thinning, pruning)



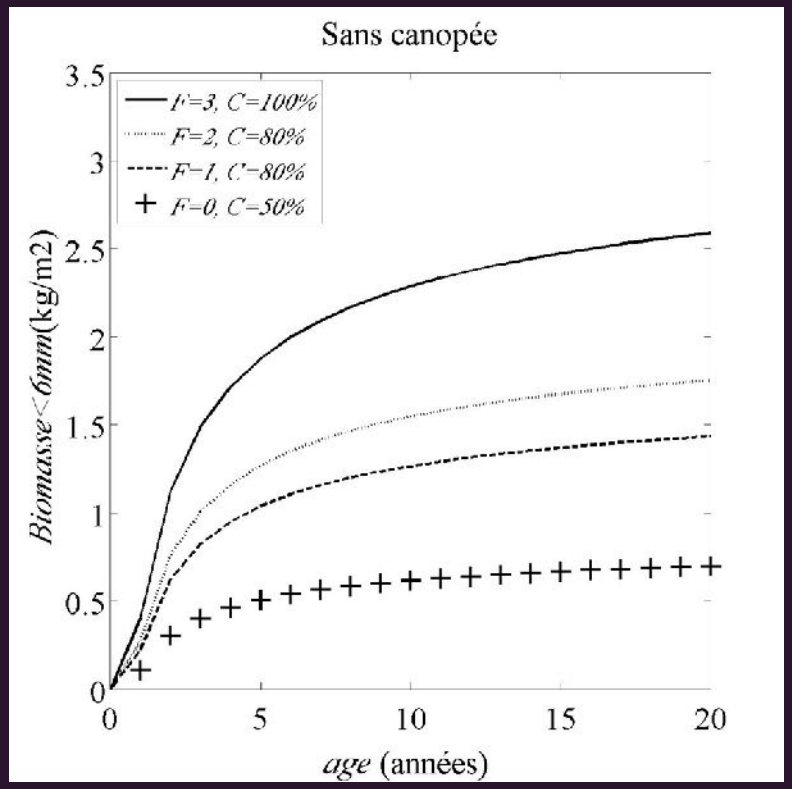
Fuel-break

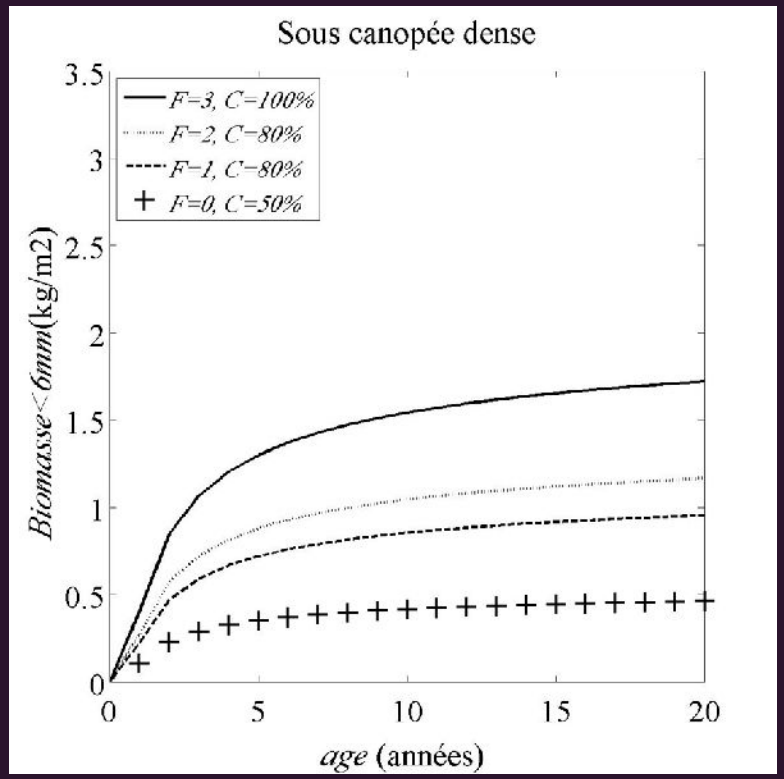
- Evolution du risque avec le modèle de comportement du feu (coupure dont l'age de la strate arborée varie)
- Evolution de la distance entre couronnes (fréquence d'intervention)
- Impact sur l'épaisseur d'écorce (impact du feu)

- Limites : Incapacités à modéliser les premiers stades

7. … et dynamique de la strate arbustive

- On modélise la croissance en hauteur et la biomasse fine, en fonction de l'âge, du niveau de fertilité, du recouvrement de la strate, et du recouvrement éventuel de la strate arborée





8. Developpement d'outils pour la prédiction des effets du feu sur les arbres

- Modèles empiriques pour la prédiction de la mortalité de l'arbre en fonction de l'espèce, de l'épaisseur d'écorce, du d130 et de la taille de l'arbre
- Modèles semi-empiriques pour la prédiction des dégâts, en fonction de l'intensité du feu et du temps de résidence
- Approche bio-physique basée sur les sorties de FIRETEC

Pourquoi prédire les effets du feu ?

- Un outil de diagnostique
  - Approche très développée aux USA/ Canada pour établir des diagnostiques sur la survie future des arbres après incendie
  - Reprise en Europe depuis environ 15 ans

- Tester des scénarios de sylviculture préventive
  - En basse région Méditerranéenne, les feux sont intenses et les arbres trop petits pour pouvoir envisager une sylviculture préventive efficace, d'autant que la strate arbustive est très dynamique : travaux dfci dans les peuplements du plan Racine
  - En revanche dans les landes ou dans les peuplements de montagnes, le sous bois est moins dynamique, les arbres plus grands et leur valeur plus importante (laricio en corse, maritime dans les Landes, pin noir?, pin sylvestre? etc.)
  - Risque incendie non inclu dans les guides sylvicoles med

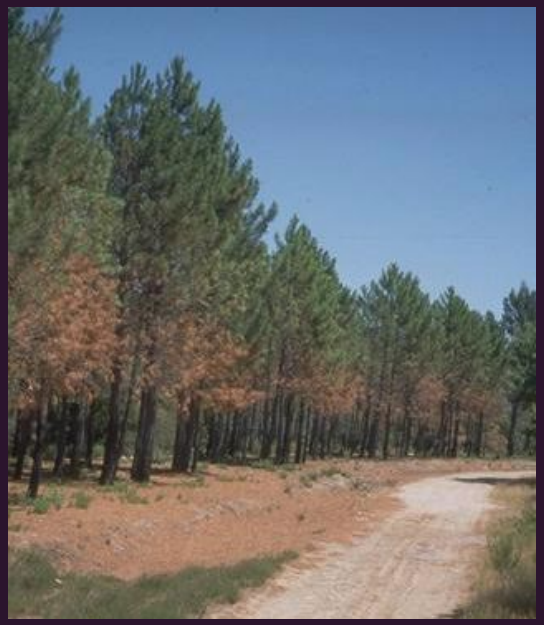
=> En pratique, peu de sylviculture préventive est vraiment réalisée (dans le laricio en Corse). Les guides sylvicoles intègrent l'avalanche, le glissement de terrain, la chute de blocs, mais pas le feu !

Effet du feu sur les arbres : généralités

- Effet sur la canopée

  + Bourgeons et feuilles sont tués par le transfert de chaleur (principalement convectif) dans le panache

  + Le panache dépend de l'intensité du feu et de l'écoulement



- Effet sur le cambium

  + Le cambium est protégé par l'écorce (conduction thermique)

  + Dépend du temps de résidence du feu (transfert lent)

  + Les dégâts sont plus marqués "sous le vent"

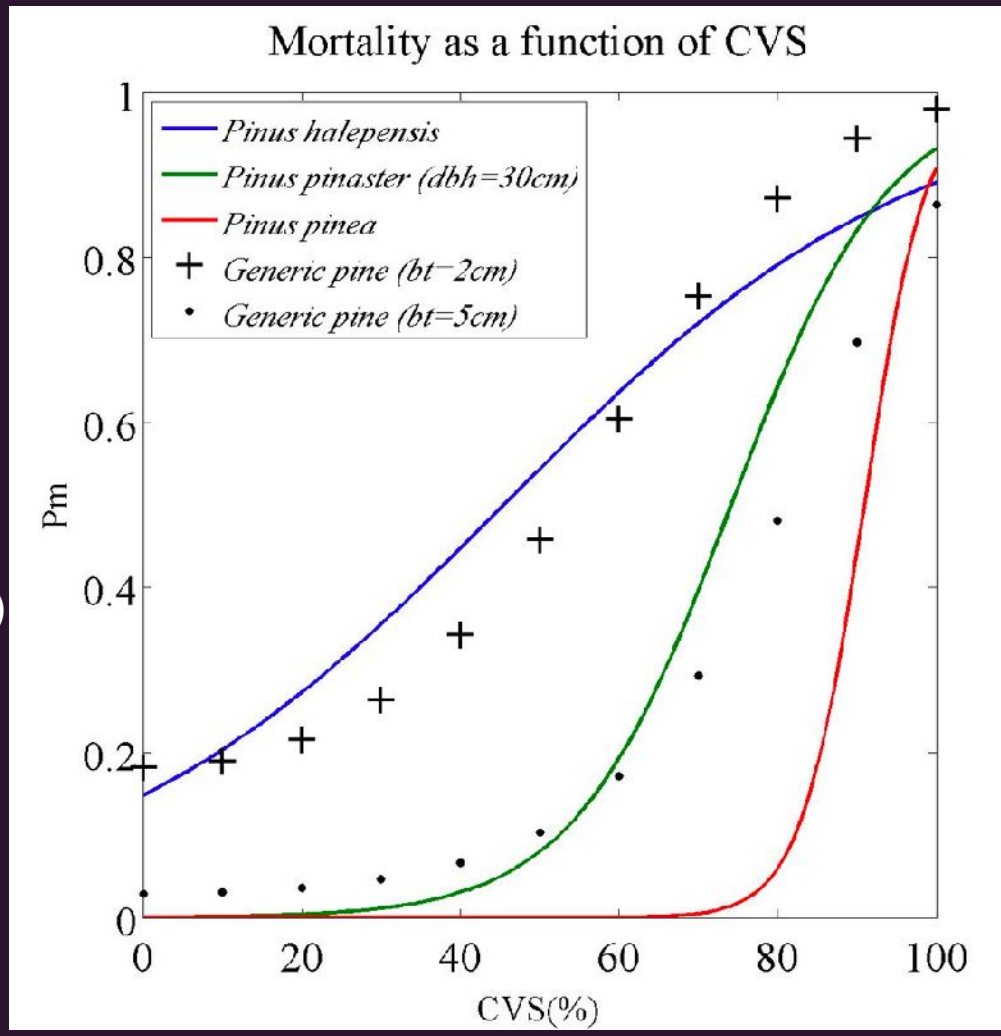
- Effet sur le compartiment racinaire

Modèles empiriques de mortalité post-incendie

Modèles logistiques (Ryan&Amman 1984, Rigolot 2004, Pimont et al. 2010):

$$P(m) = \frac{1}{1 + e^{(bo + b1\,X1 + \ldots + bn\,Xn)}}$$

- D130, épaisseur d'écorce
- Volume du houppier roussi (%)
- Part du tronc carbonisée (%)
- Note de carbonisation écorce (0-4)



➢ Nécessite les dégâts constatés (diagnostique) ou une prédiction de ceux-ci

Modèles empiriques de mortalité post-incendie

Espèce (référence)	Variables du modèle et coefficients			
	b_0	$b_1 x_1$	$b_2 x_2$	$b_3 x_3$
P. Halepensis	*1.75*	*-0.0385 CVS*		
(Rigolot 2004)	-2.01	-0.0004 CVS^2	4.17 $(1-e^{-BT})$	
	2.32	-0.00038 CVS^2	0.1119 DBH	-1.649 BC_{max}
P. nigra subs. laricio	*-1.13*	*-0.118 BLC*	*8.78* $(1-e^{-BT})$	
(Pimont et al. 2006)	*-0.222*	*-0.103 BLC*	*9.95* $(1-e^{-BT})$	*-1.2* BC_{mean}
P. Pinaster	*7.390*	*-0.101 CVS*	*0.00381 DBH*	
(Botelho et al. 1998a)				
P. pinaster	*0.527*	*-3.53* BC_{mean}	*9.04* $(1-e^{-BT})$	
(Pimont et al. 2006)	*-0.773*	*-0.0679 BLC*	*5.39* $(1-e^{-BT})$	
	0.759	*-0.0499 BLC*	*9.32* $(1-e^{-BT})$	*-2.71* BC_{mean}
P. pinea	*23.0*	*-0.253 CVS*		
(Rigolot 2004)	*33.1*	*-0.313 CVS*	*-0.1.94* BC_{mean}	
P. sylvestris	*-1.52*	*-0.191 CS*	*0.287 DBH*	
(Sidoroff et al. 2007)	3.33	-0.187 CS	3.31 BT	
Generic	-1.94	-0.000535 CVS^2	6.32 $(1-e^{-0.394BT})$	
(Ryan & Amman 1994)				

Modèles semi-empirique de dégâts au houppier

Modèles issus de la “plume theory” (Van Wagner 1973)

Convection turbulente au dessus d’une source de chaleur

$$h = 4.55 \frac{I^{2/3}}{(T_{crit} - T_{air})} \frac{1}{\sqrt{1 + 38 \frac{U^3}{I}}}$$

Modèles semi-empirique de dégâts au cambium

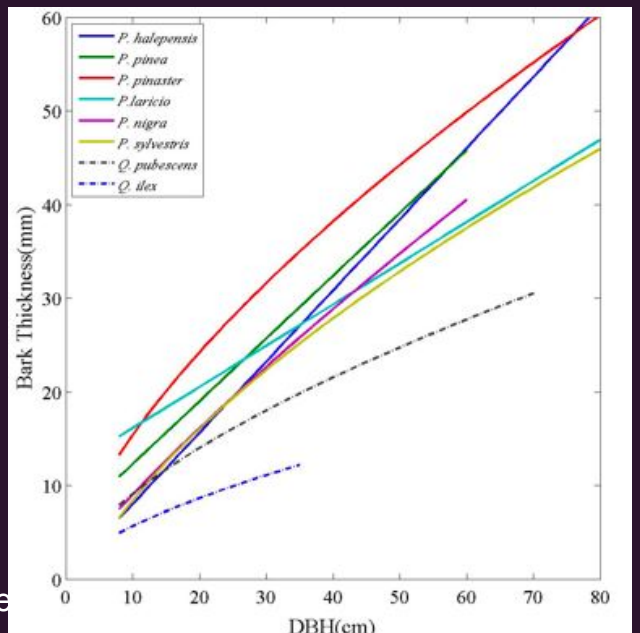
Modèles simples pour aborder le problème de conduction et de mortalité cellulaire

- Peterson & Ryan (1986)

$$t_{kill} = 2.9 x^2$$

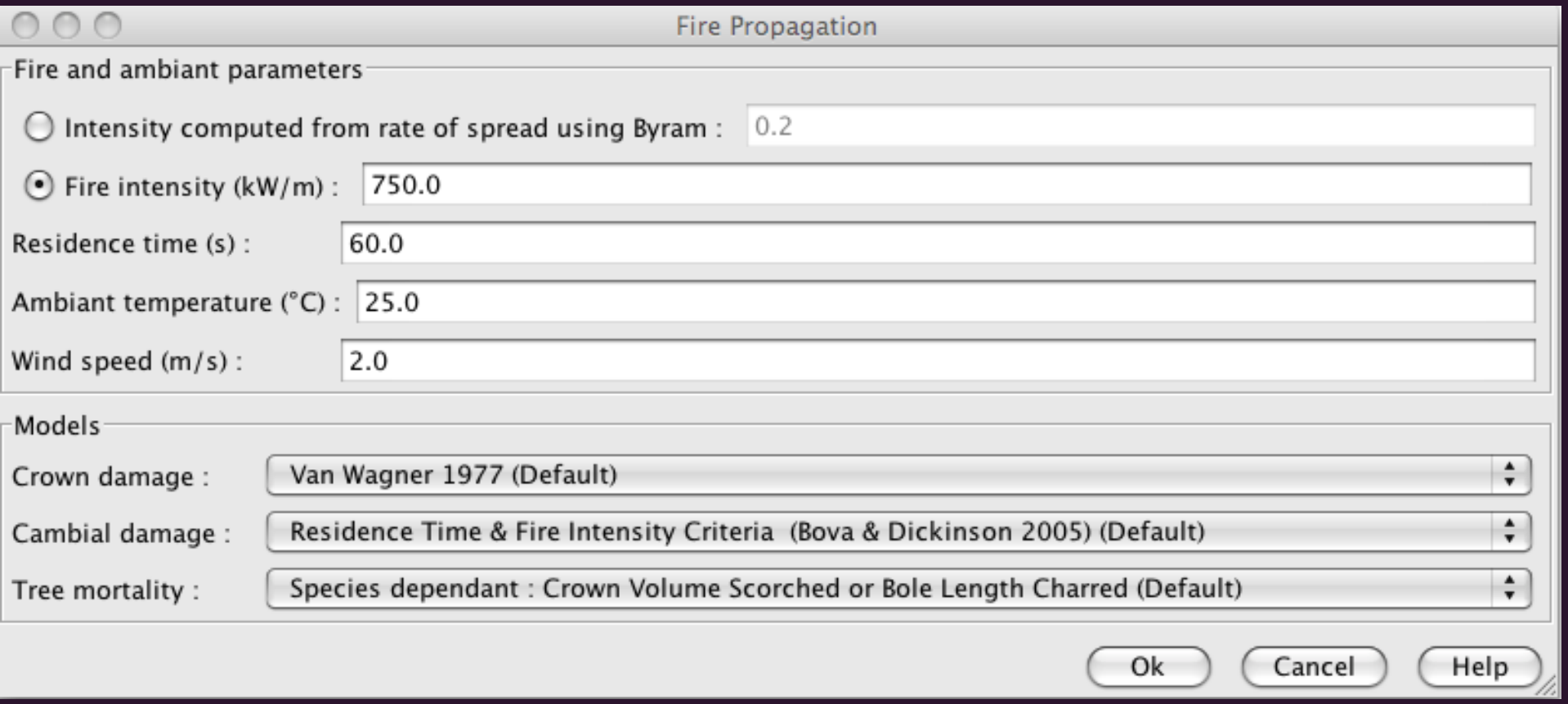
- Bova & Dickinson (2005)

$$r = 0.002 Q = 0.2 I^{0.20} \tau^{0.64}$$



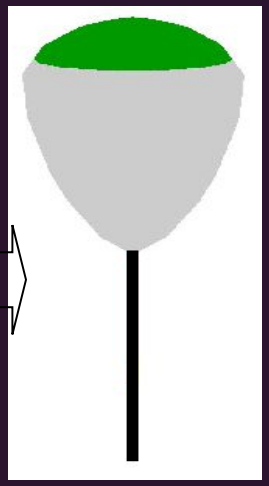
Intégration au “fuel manager”

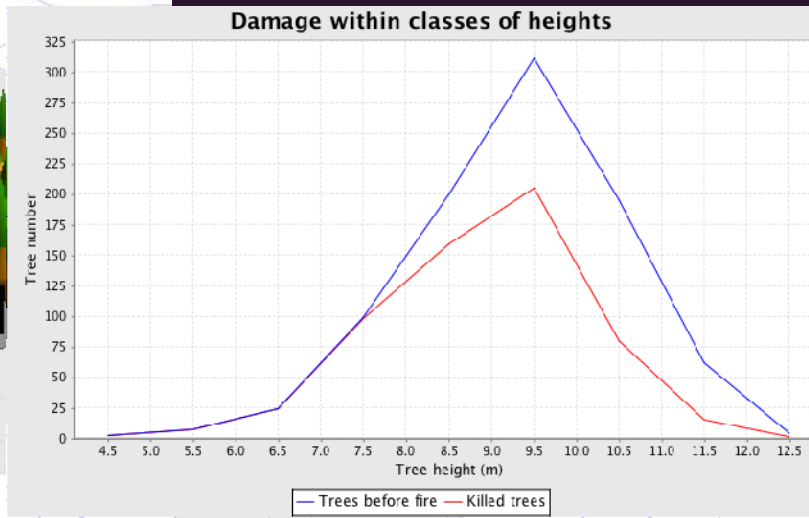
- On peut simuler le passage d’un feu dans une scène en utilisant ces modèles empiriques pour calculer le roussissement foliaire, les dégâts au cambium et la probabilité de mortalité de l’individu à partir de l’intensité du feu (ou du ROS), du temps de résidence…



Intégration au “fuel manager”

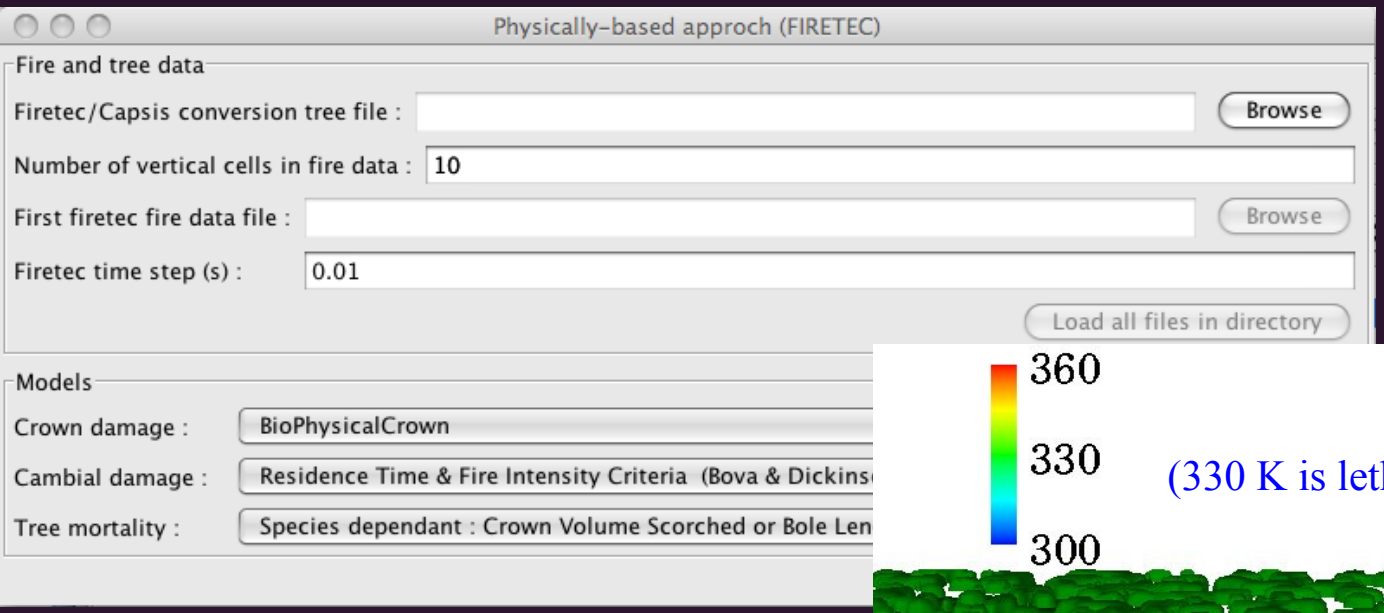
- Visualisation des dégâts et calculs de caractéristiques du peuplement

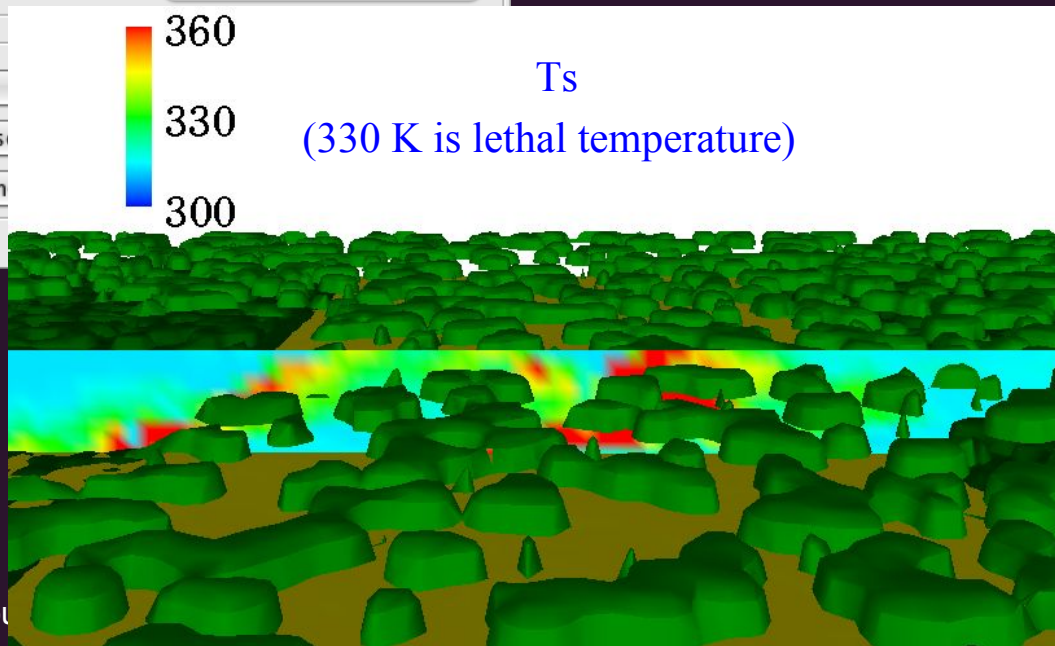


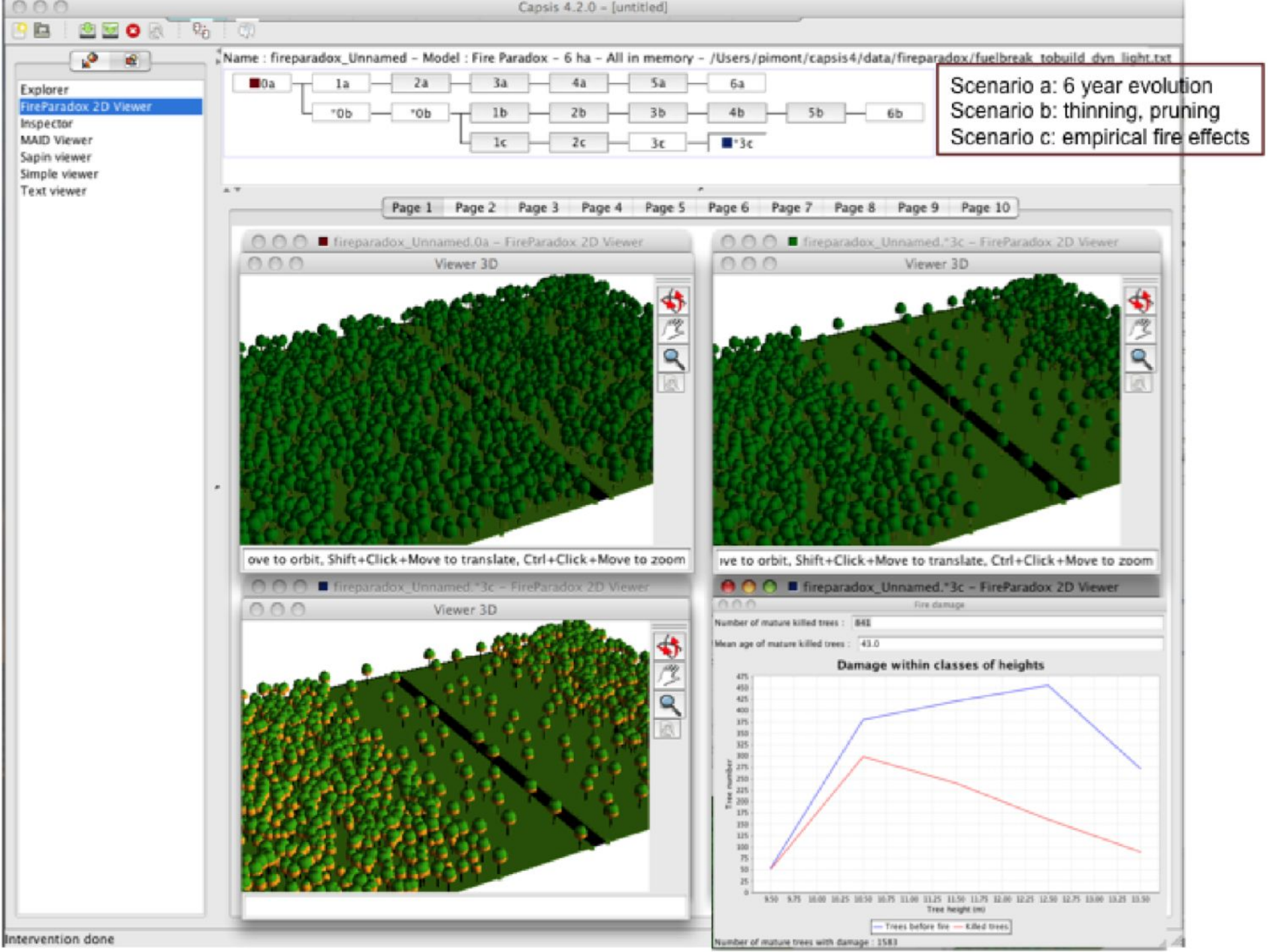


Approche biophysique : couplage avec firetec

- La température du gas au cours du temps, ainsi que les vitesses, flux rayonnés sont récupérées dans les différentes mailles firetec correspondant à un arbre donné, puis utilisée pour calculer la probabilité de mortalité du cambium et le volume de houppier tué (approches biophysiques)



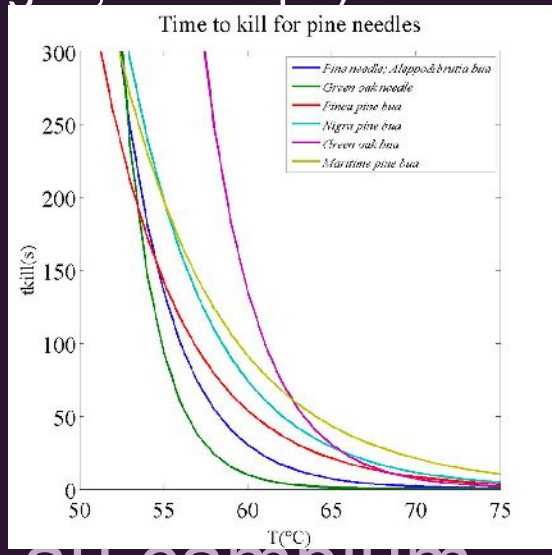



Capsis 4.2.0 - [untitled]
Name : fireparadox_Unnamed - Model : Fire Paradox - 6 ha - All in memory - /Users/pimont/capsis4/data/fireparadox/fuelbreak_tobuild_dyn_light.txt
0a
1a
2a
3a
4a
5a
6a
*0b
*0b
1b
2b
3b
4b
5b
6b
1c
2c
3c
*3c
Scenario a: 6 year evolution
Scenario b: thinning, pruning
Scenario c: empirical fire effects
Explorer
FireParadox 2D Viewer
Inspector
MAID Viewer
Sapin viewer
Simple viewer
Text viewer
Page 1
Page 2
Page 3
Page 4
Page 5
Page 6
Page 7
Page 8
Page 9
Page 10
fireparadox_Unnamed.0a - FireParadox 2D Viewer
Viewer 3D
ove to orbit, Shift+Click+Move to translate, Ctrl+Click+Move to zoom
fireparadox_Unnamed.*3c - FireParadox 2D Viewer
Viewer 3D
ive to orbit, Shift+Click+Move to translate, Ctrl+Click+Move to zoom
fireparadox_Unnamed.*3c - FireParadox 2D Viewer
Viewer 3D
fireparadox_Unnamed.*3c - FireParadox 2D Viewer
Fire damage
Number of mature killed trees : 841
Mean age of mature killed trees : 43.0
Damage within classes of heights
Tree number
Tree height (m)
Trees before fire
Killed trees
Number of mature trees with damage : 1583
Intervention done

Modèle biophysique de dégât au houppier

- Problème physique : élément fins dans un panache chaud
  - pour aiguilles Taiguilles=Tgas
  - Bourgeons le transfer est plus lent : Tbourgeons=F(Tgas, hSVR/ρc)

- Problème biologique : 60°C est souvent considérée comme température létale, mais cela dépend du temps d'exposition, en particulier pour les bourgeons!



Modèles semi-empirique de dégâts au cambium

- Problème physique (Jones 2004): conduction + modèle d'écorce

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r k \frac{\partial T}{\partial r}\right)$$

- Problème biologique (Dickinson 2002, 2004):

  Modélisation de la mortalité cellulaire du cambium (Arrhenius):

$$\frac{dS}{dt} = -k(t)\,S(t)$$

avec

$$k(t) = 2.0810^{10}\,T(t)\,\exp\left(\frac{\Delta S}{R}\right)\exp\left(-\frac{\Delta H}{RT(t)}\right)$$

Approche biophysique : mortalité du houppier

- Problème physique : élément fins dans un panache chaud

  - Hypothèse des particules infiniment fines (OK pour aiguilles): Ts=Tg

  - Bourgeons le transfer est plus lent : Ts=F(Tg, hSVR/ρc)

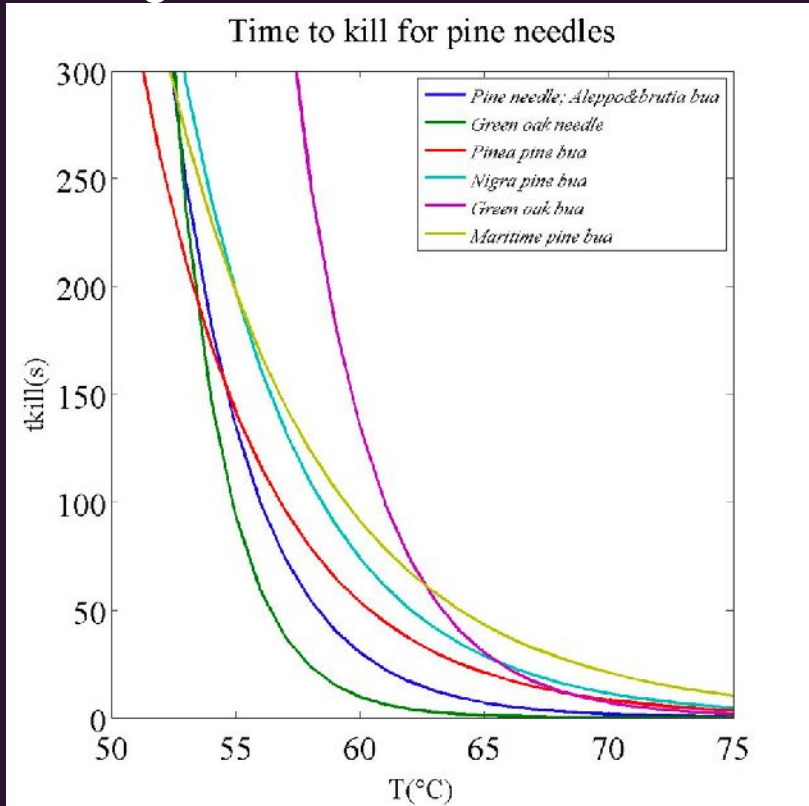
- Problème biologique :

  - 60°C est souvent considérée comme température létale, mais cela dépend du temps d'exposition, en particulier pour les bourgeons!

  - On a dérivé un modèle de type Arrhenius (à partir de Duhoux 1990):

$$\frac{dS}{dt} = -k(t)\,S(t)$$

$$k(t) = 2.0810^{10}\,T(t)\,\exp\left(\frac{\Delta S}{R}\right)\exp\left(-\frac{\Delta H}{RT(t)}\right)$$



Simulation d’un feu sur la commune des Adrets de l’Estérel

- Des pentes moins raides sur les flancs du canyon et aux abords du massif

=> Prédiction du ros au fond du canyon, dans la pente, et de l’intensité au fond et en crête