ARECACEAE

DIGR
ROOT-SYSTEM ARCHITECTURE

cirad

A M A P

Hervé Rey, Christophe Jourdan, Jef Barczi : 2013

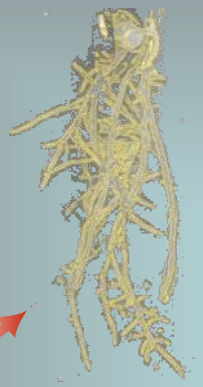
Modelling

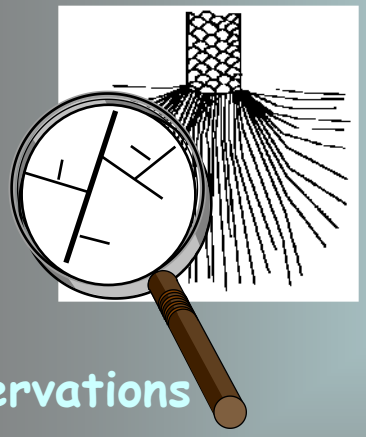
Architectural Analysis

Encoding

Modelling

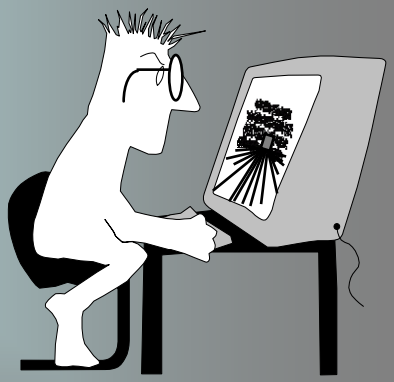
Image processing





Observations

Simulation
Visualization



Root-Architecture model

Applications

Root-System Architectural Analysis

Functional features

Lignification
Pole number
Symetry
Secondary Growth

Aerial
Undergroung
Aquatic

Seminal
Nodal

Symbiotic…

Geometrical features

Branching Angle
Growth Direction

Length
Diameter

Architectural features

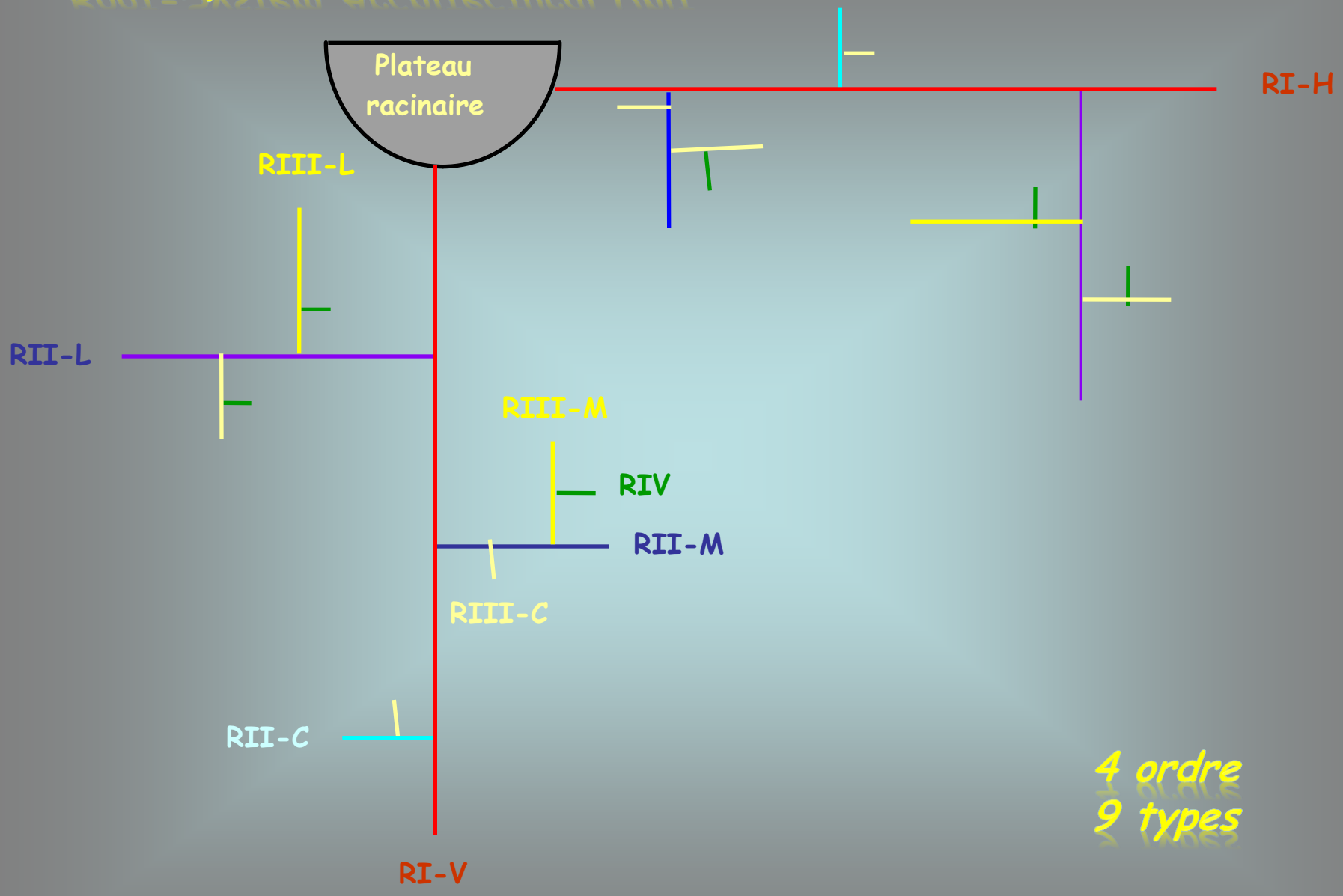
Hierarchical Relations
Ramification Order
Apparition Sequency

Growth
Branching
Reiteration

Death
Pruning

Typology based on Characters Syndrome

Root-System Architectural Unit



4 ordre
9 types

Coconut palm

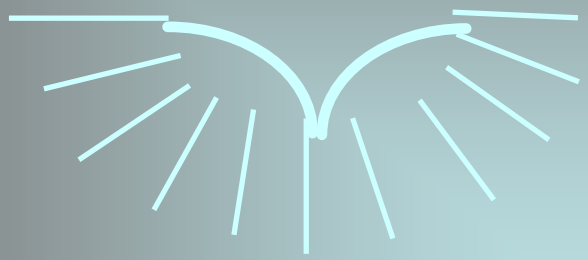
Root-System Architectural Diagram

à 6 mois ; [2] = de 1 à 6 mois ; [3] = inférieur à 1 mois.

RI-V	RI-H	RII-L	RII-M	RII-C	RIII-L	RIII-M	RIII-C	RIV
Axe ligneux	Axe ligneux	Axe ligneux	Axe ligneux	Axe non-ligneux	Axe non ligneux	Axe non ligneux	Axe non ligneux	Axe non ligneux
Orthotrope	Plagiotrope	Agéotrope	Agéotrope	Agéotrope	Agéotrope	Agéotrope	Agéotrope	Agéotrope
Ø = 10 mm	Ø ≈ 10 mm	Ø ≈ 2,5 mm	Ø ≈ 1,5 mm	Ø ≈ 0,7 mm	Ø ≈ 1 mm	Ø ≈ 0,7 mm	Ø ≈ 0,4 mm	Ø ≈ 0,4 mm
Croissance Indéfinie	Croissance Indéfinie	Croissance Indéfinie	Croissance définie	Croissance définie	Croissance définie	Croissance définie	Croissance définie	Croissance définie
Lg ≤ 20 m	Lg ≤ 3 m	Lg ≤ 2,5 m	Lg ≤ 30 cm	Lg ≤ 10 cm	Lg ≤ 10 cm	Lg ≤ 5 cm	Lg ≤ 1 cm	Lg ≤ 1 cm
Ramification diffuse et sylleptique	Ramification diffuse et sylleptique	Ramification diffuse et sylleptique	Ramification diffuse et sylleptique	Ramification diffuse et sylleptique	Ramification diffuse et sylleptique	Ramification diffuse et sylleptique	Ne se ramifie pas	Ne se ramifie pas
Symétrie radiale	Symétrie radiale	Symétrie radiale	Symétrie radiale	Symétrie radiale	Symétrie radiale	Symétrie radiale	Symétrie radiale	Symétrie radiale
S'élague très rarement	S'élague très rarement	S'élague à long terme [1]	S'élague à moyen terme [2]	S'élague à moyen terme [2]	S'élague à moyen terme [2]	S'élague à moyen terme [2]	S'élague à court terme [3]	S'élague à court terme [3]

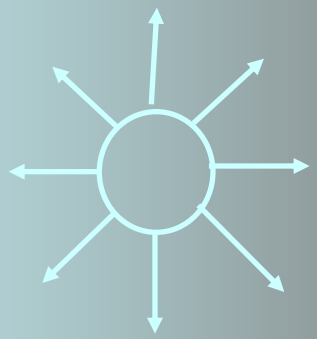
Coconut palm

Root-System Architectural Geometry



Growth Direction

Rhizotaxy



Branching Angle

Root-System Architectural Ontogeny

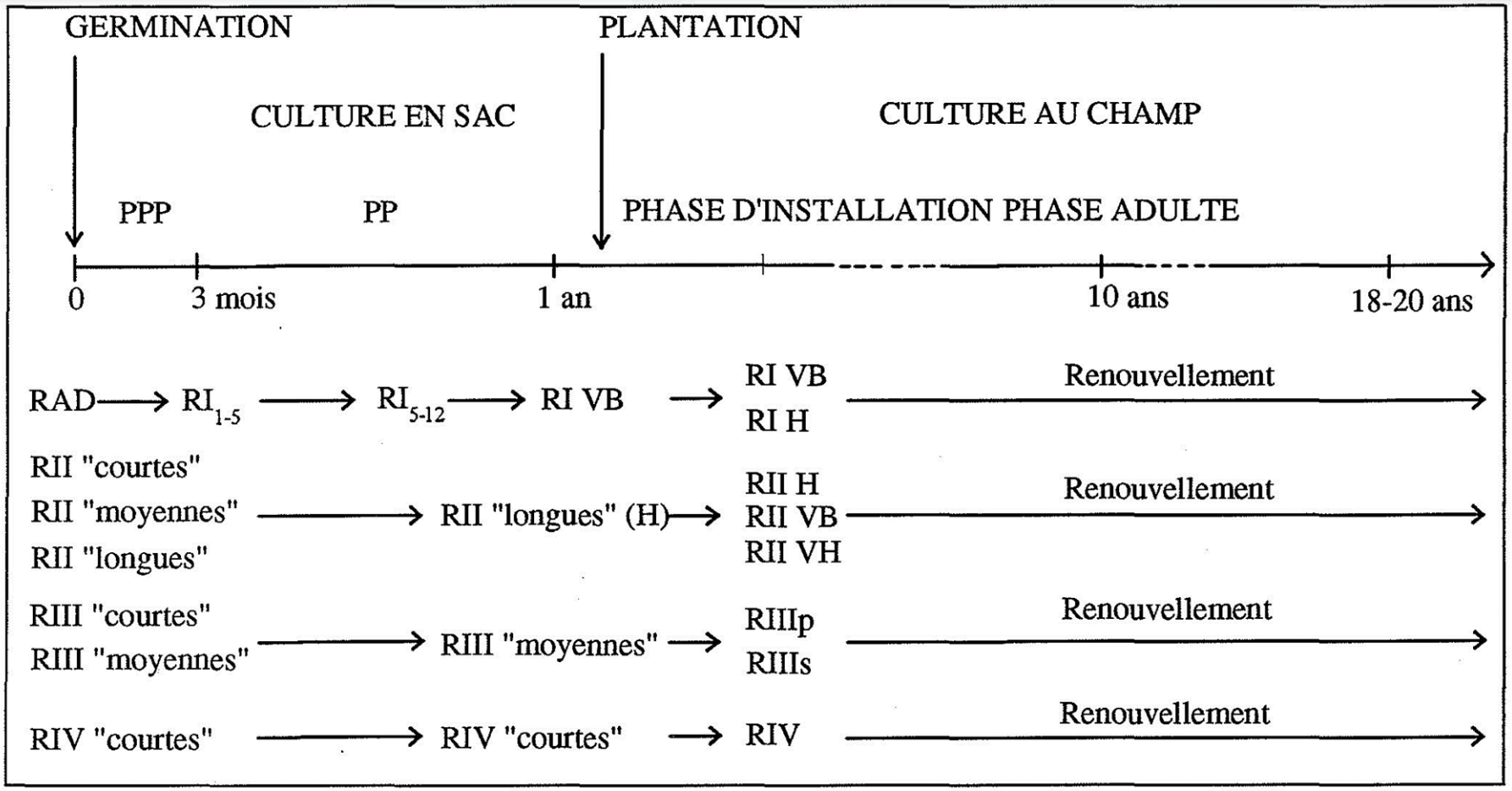


Figure 53 *: Chronologie de la mise en place de l'architecture du système racinaire du palmier à huile.*

Oil palm

Annexe 6

Récapitulatif des observations racinaires réalisées au Vanuatu en 1994 et 1995

(Observations sur cocotier)

		ETUDES STATIQUES			ETUDES DYNAMIQUES		
		But	Dispositifs	Mesures	But	Dispositifs	Mesures
COCOTIER	PEPINIERE	Architecture du système racinaire de jeunes cocotiers Etude de la mise en place du système racinaire de jeunes cocotiers	o 300 plants de cocotier GVT replantés en pleine terre en pépinière	-> Longueur des racines -> Distance entre ramifications -> Type,longueur et diamètre des ramifications -> Angle d'insertion	Mesure de la vitesse de croissance des racines de différents ordres de cocotiers GVT au jeune âge	o 3 minirhizotrons avec 4 noix germées de cocotier GVT o 2 RV sur 2 cocotiers GVT de 8 mois o 2 RV sur 2 cocotiers GVT de 12 mois	Suivis de croissance hebdomadaires pendant 3 mois
	PLANTATION	Architecture du système racinaire de cocotiers adultes	o Excavation de 9 bulbes de cocotier GVT (3 par âge : 26 ans, 14 ans, 7 ans) o Prélèvement de RI superficielles sur cocotiers GVT de 14 ans o Prélèvement de racines de différents ordres sur front de tranchée sur cocotiers GVT de 26 ans	-> Nombre de racines sur le bulbe -> Diamètre -> Longueur -> Distance inter ramifications -> Mortalités et réitérations. -> Biomasse	Mesure de la vitesse de croissance des racines de différents ordres de cocotiers GVT à l'âge adulte	o 1 RV sur cocotiers GVT de 5 ans o 1 RV sur cocotiers GVT de 14 ans o 2 RV sur cocotiers GVT de 26 ans	Suivis de croissance hebdomadaires pendant 3 mois

RI : racines primaires ; RV: rhizotrons verticaux ; RH: rhizotrons horizontaux ; GVT: cocotier Grand du Vanuatu.

Observations

Static

Dynamic

DIGR MODEL

Background

Reference	Type	Plant studied
Lungley 1973	AM	Cereals
Diggle 1988	AM	Wheat
Clausnitzer and Hopmans 1994	FSM	Barley
Mech and Prusinkiewicz 1996	FSM	nc
Jourdan and Rey 1997	AM	Oil Palm
Lynch et al. 1999	FSM	Bean and simulations
Ozier-Lafontaine et al. 1999	AM	*Gliciridia sepium*
Reddy and Pachepsky 2001	DBM	Maize
Heinen et al. 2003	DBM	White cedar, maize, tomato
Barczi et al. 2003	AM	nc
Pages et al. 2004	FSM	*Arabidopsis thaliana*
Bastian et al. 2008	DBM	*Ophiorrhiza mungos Linn.*
Dupuy et al. 2010	DBM	Barley

AM

Architectural Model

FSM

Functional Structural Model

DBM

Density Based Model

DigR Challenges

Generic structural growth model :

- Structure : Root system
- Scale : Organ (root)
- Life Span : Plant & Organ

Ready to link to other models :

- aerial part
- soil models
- transport

DigR in Xplo Interface

Xplo - [Dig.10a]

Project Selection Script Window Geometry Tools Help

Browser | Render editor

Number of nodes = 68

Display individu : Scene 1

Collapse Expand

Topology | Xln

- Scene 1
  - Individual 1
    - First Type 1
      - sFirst Type 1
        - Racines plagiotropes 1
          - sRacines plagiotropes 1
          - sRacines plagiotropes 2
          - sRacines plagiotropes 3
          - sRacines plagiotropes 4
          - sRacines plagiotropes 5
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
      - sFirst Type 2
        - Racines plagiotrope
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
      - sFirst Type 3
        - Racines plagiotrope
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop
          - sRacines plagiotrop

3D View

New Project

Name :

Type :

- DigR
- GL 5
- Gloups
- Palms
- Principes (Palm)
- Sunflower
- growthTest
- paleodent

Description :

DigR
Author(s) : JF. Barczi
Description here

Ok Cancel Help

6a 7a 8a 9a 10a

Expanding tree

DigR Interface : General

PM : SR = Système Racinaire

DigR.parameters

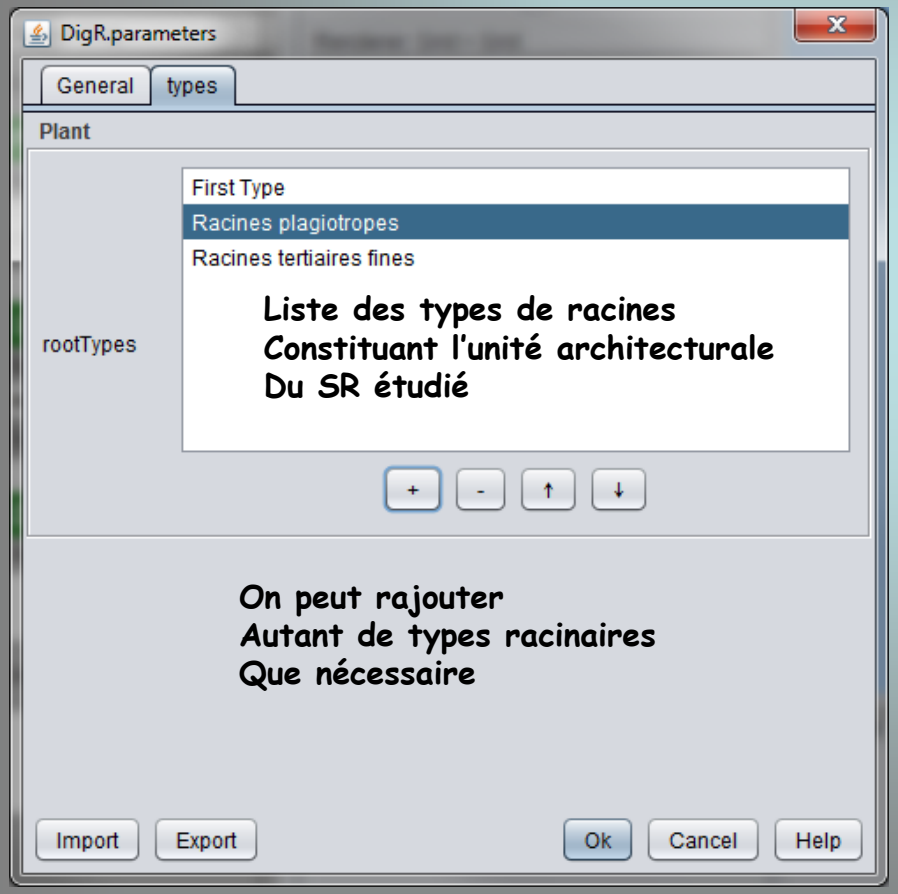
General | types

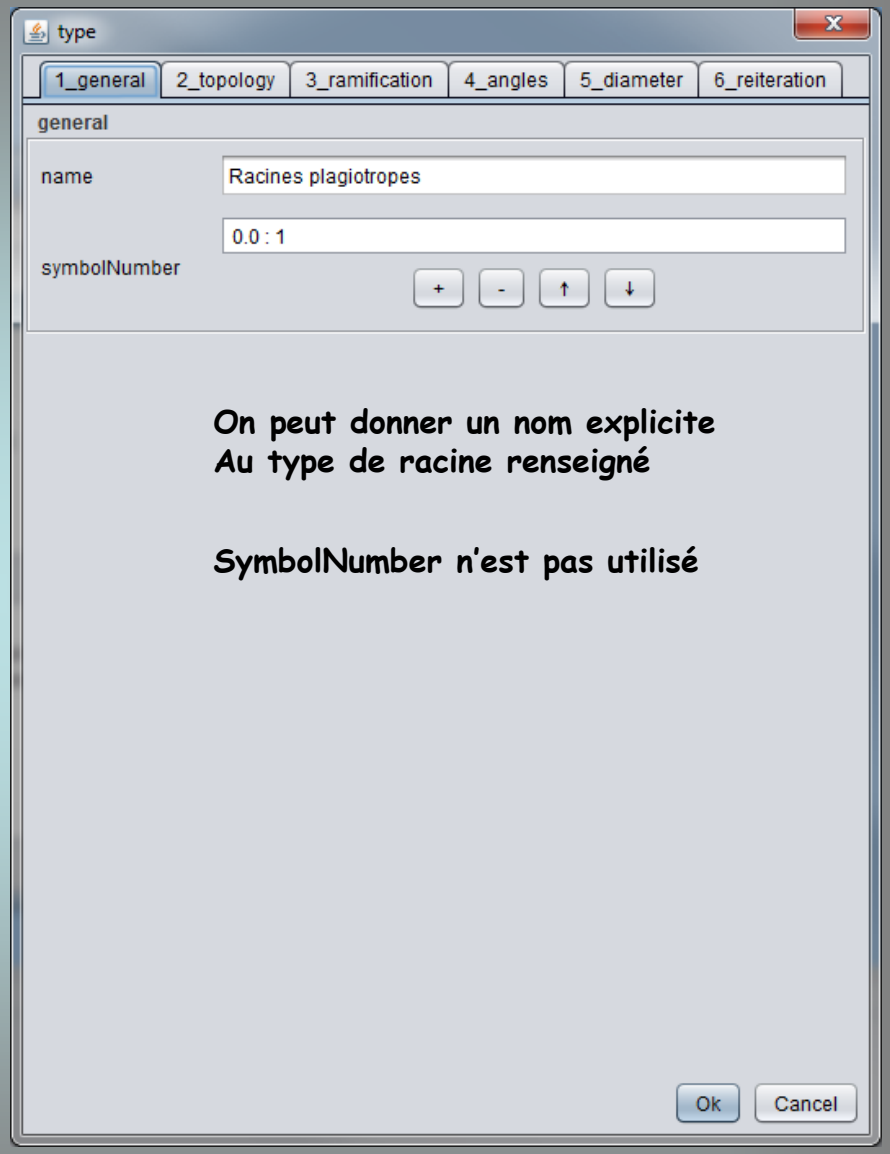
General

plantName		Default_Root	Nom de la plante
maxAge	C.U.	9999	Age maximum de calcul du SR
maxRamif	nb	2	Ordre maximum de ramification : Pivot = 1, racines II = 2, Racines III = 3 …
age	C.U.	10.0	Age de calcul du SR
seed	nb	0	Graine aléatoire pour les processus stochastiques
outputStep	C.U.	1.0	Fréquence de sortie de la géométrie du SR
evolutionTime	C.U.	10.0	Temps supplémentaire pour le calcul du SR en mode évolution d'un projet : L'age de calcul de la plante est alors « age » + « evolution time »

Import | Export | Ok | Cancel | Help

DigR Interface : Typology





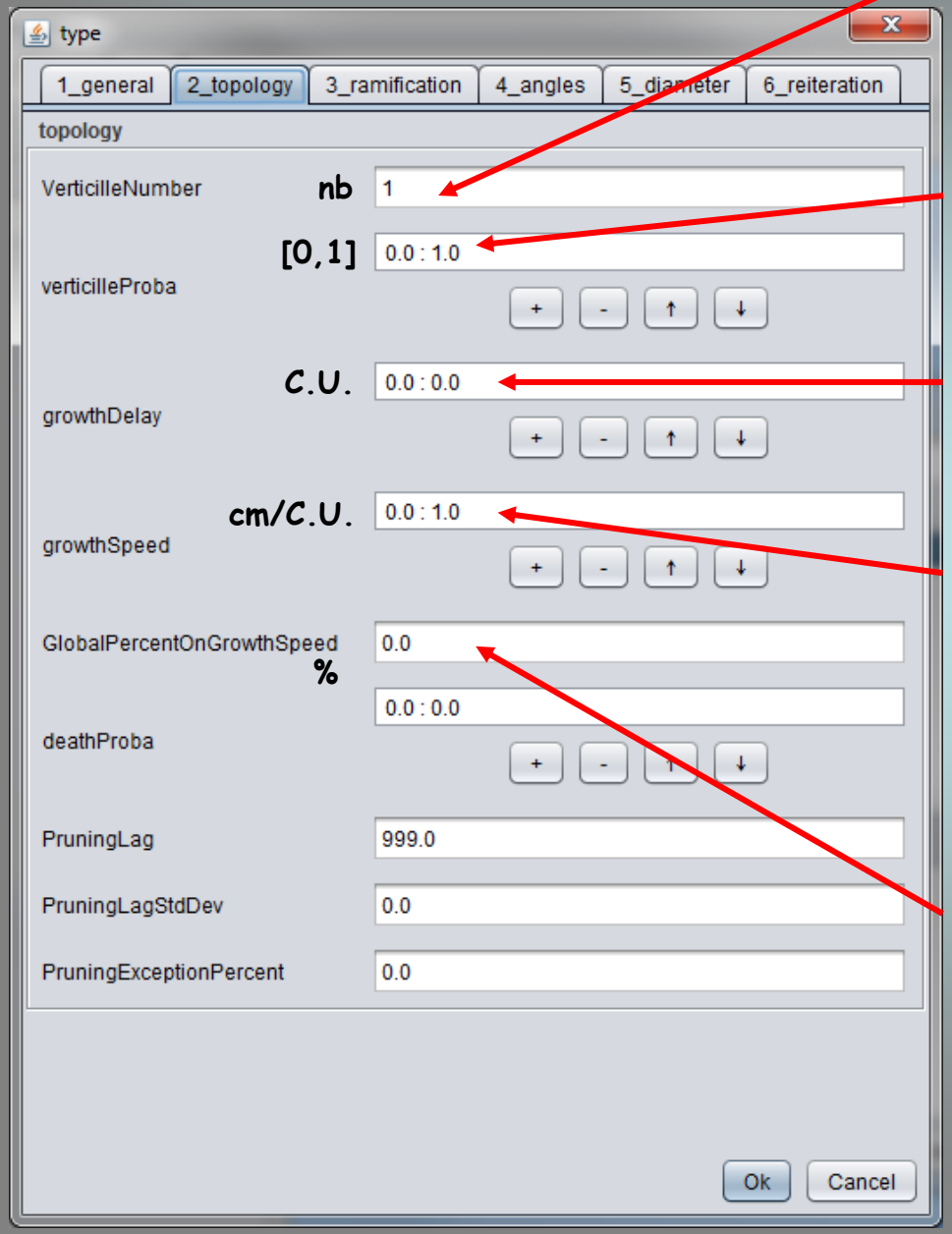
Parameters for Each Root Type

Parameter values are indexed on Length Positions

Growth & Development	4 parameters
Mortality	4 parameters
Branching process	2 parameters
Angles	9 parameters
Diameters	4 parameters

23 parameters

Apical Growth



Nombre de racines en verticille du type racinaire considéré, quelque soit le type de son porteur.

Probabilité d'existence associée à chaque racine du verticille.
Cette probabilité évolue en fonction de la position du verticille sur la racine porteuse de ce type.
VOIR DIAPO SUIVANTE POUR POSITION

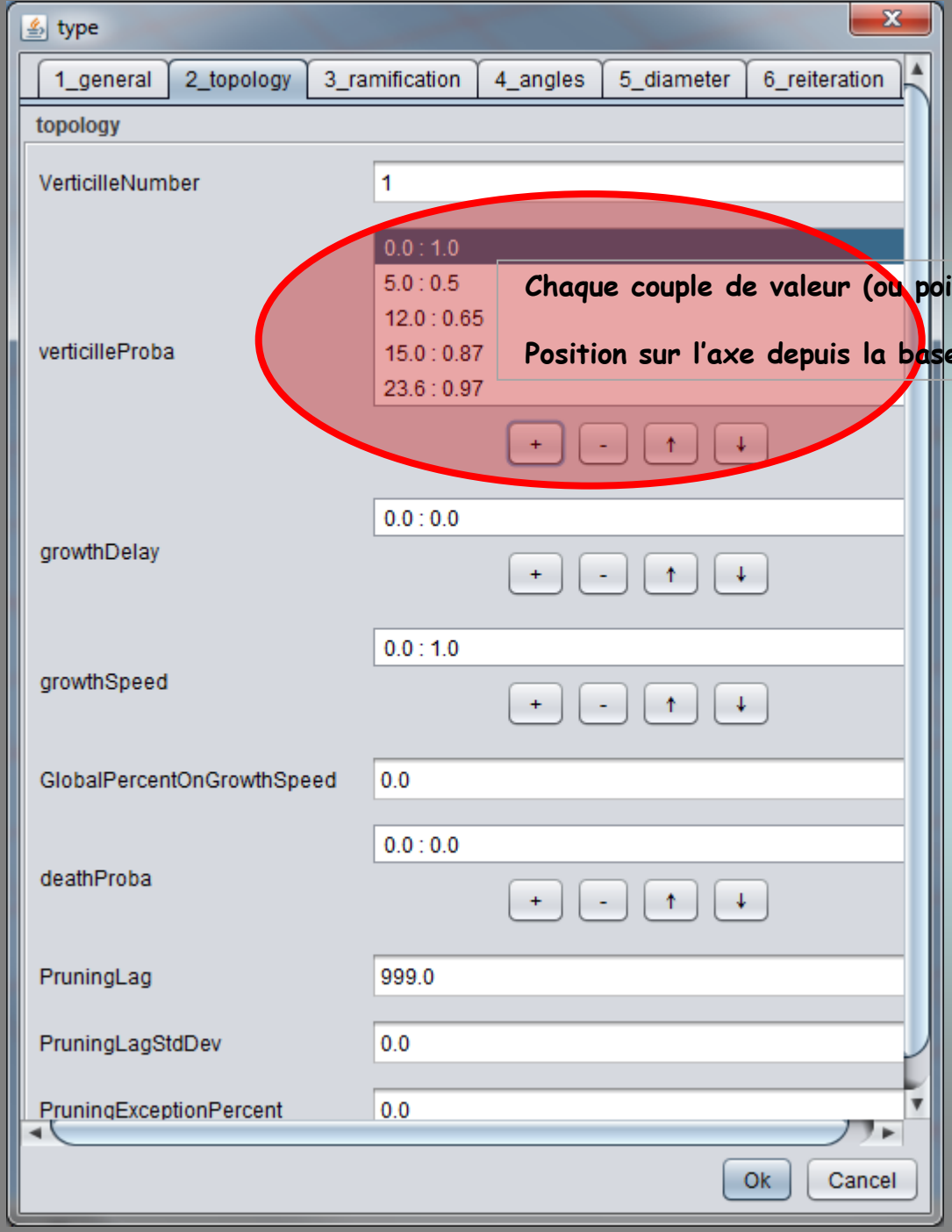
Délai (prolepsie) associé au démarrage d'une racine du type considéré, en fonction de sa position sur sa racine porteuse.
Ce délai est exprimé en Computing Units (CU).

Vitesse de croissance (cm par computing Unit) d'une racine de ce type.
Cette vitesse évolue au cours de la croissance de la racines en fonction de sa longueur.

Facteur affectant growthSpeed :
la vitesse de chaque racine est égale à :
V = growthSpeed +/- growthSpeed * alea * globalPercentOnGrowthSpeed.

Return TOPOLOGY

What is a « position »



Chaque couple de valeur (ou point de contrôle) est constitué par :

Position sur l'axe depuis la base (en cm) : valeur du paramètre

Position (cm)	Probabilité
0	1
5	0.5
12	0.65
15	0.87
23.6	0.97

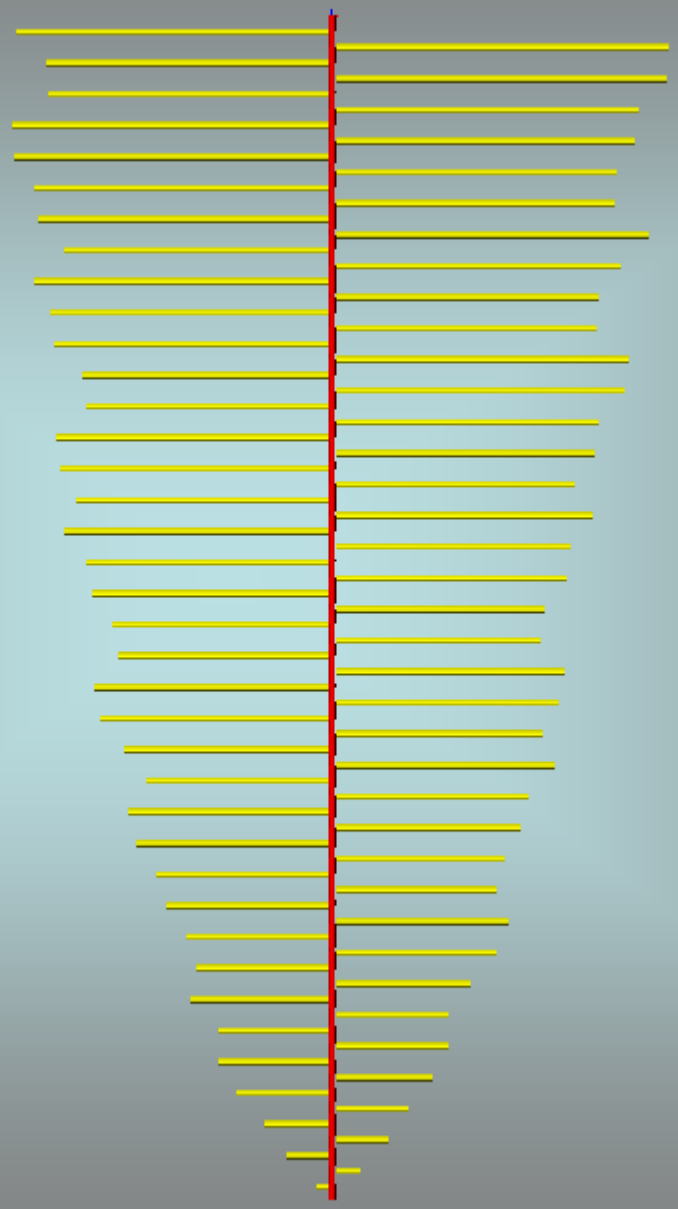
Axe en croissance

ATTENTION :

Entre les points de contrôle,
Les valeurs des paramètres sont calculées
Par interpolation linéaire

Apical Growth

ApicalGrowth.fpd

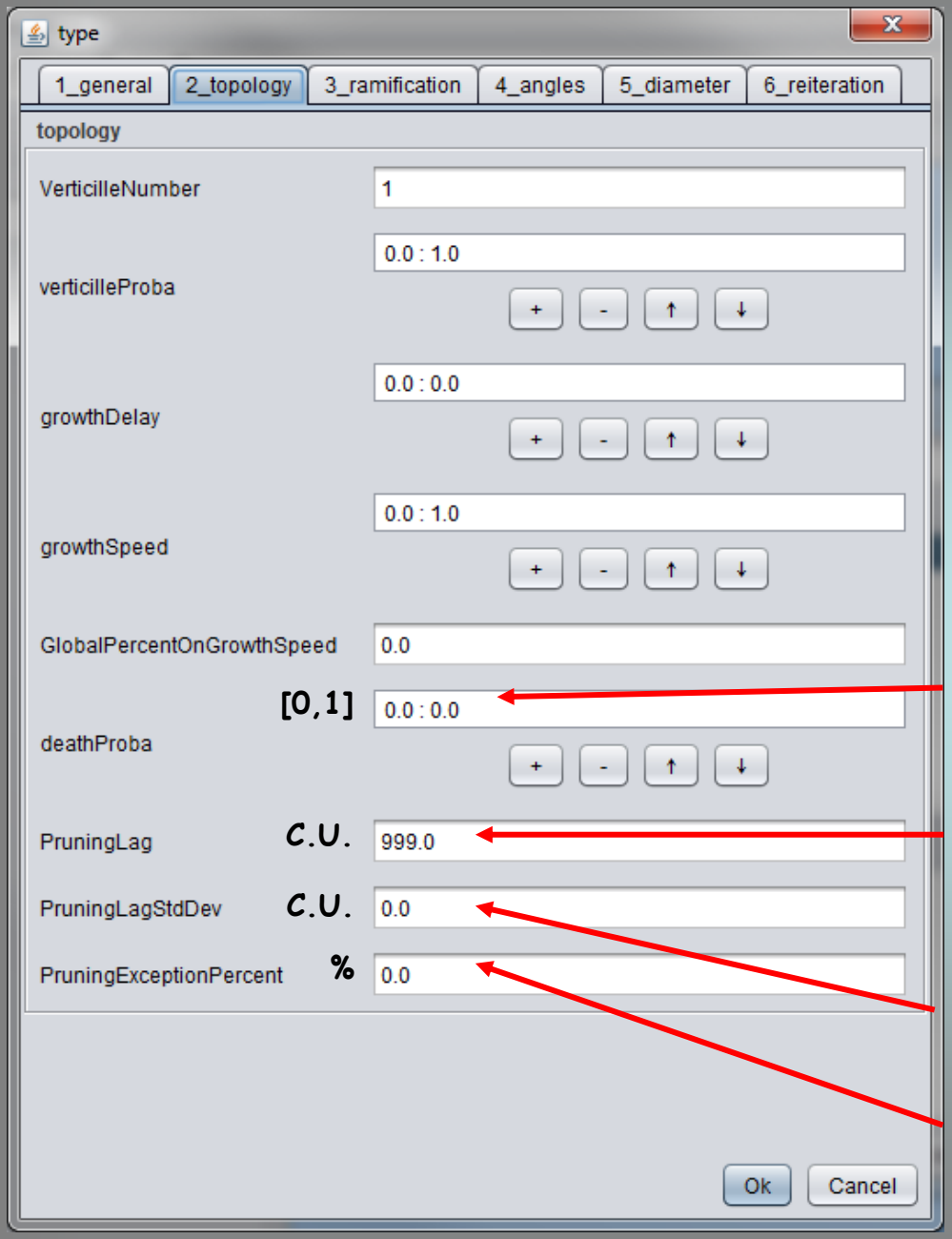


Lateral type :
constant growth speed
with some variations
(1cm / ct +/- 10%)

Main type : slow down along growth

Apical Growth

Stochastic Apical Death & Root Mortality



Probabilité de mortalité d'une racine du type associée à sa croissance.
Elle évolue le long de cette racine en fonction de sa longueur (en cm).
Pour l'instant la mortalité est testée à chaque élément de longueur

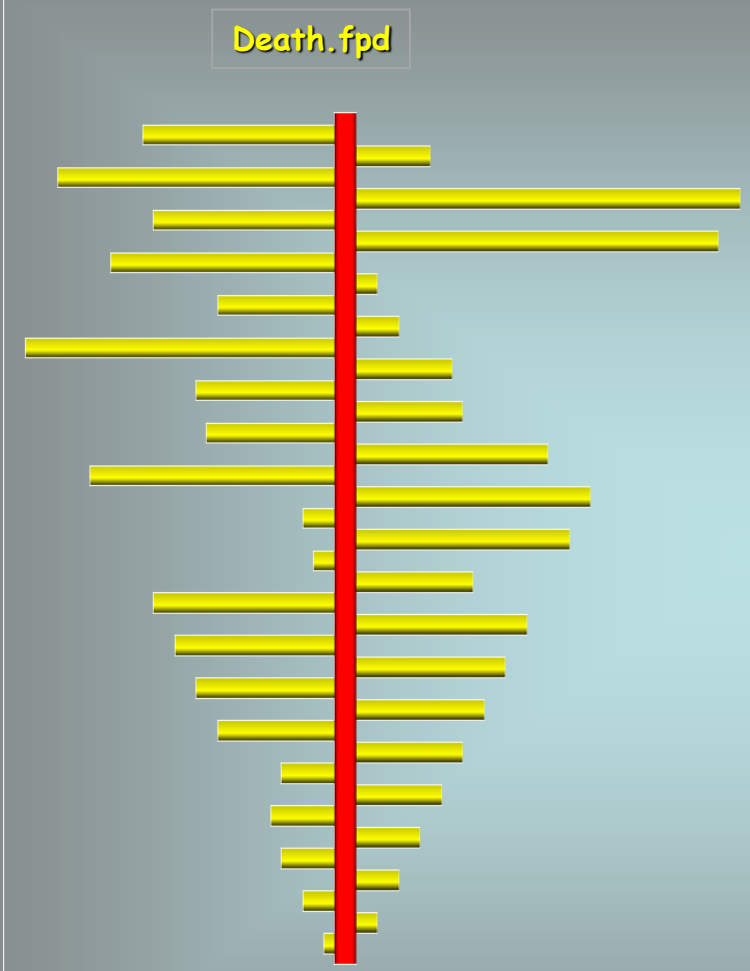
Délai avant élagage (disparition de la structure) d'une racine morte.
Ce délai est exprimé en Computing Units (CU).

Ecart-type associé au délai avant élagage d'une racine du type.

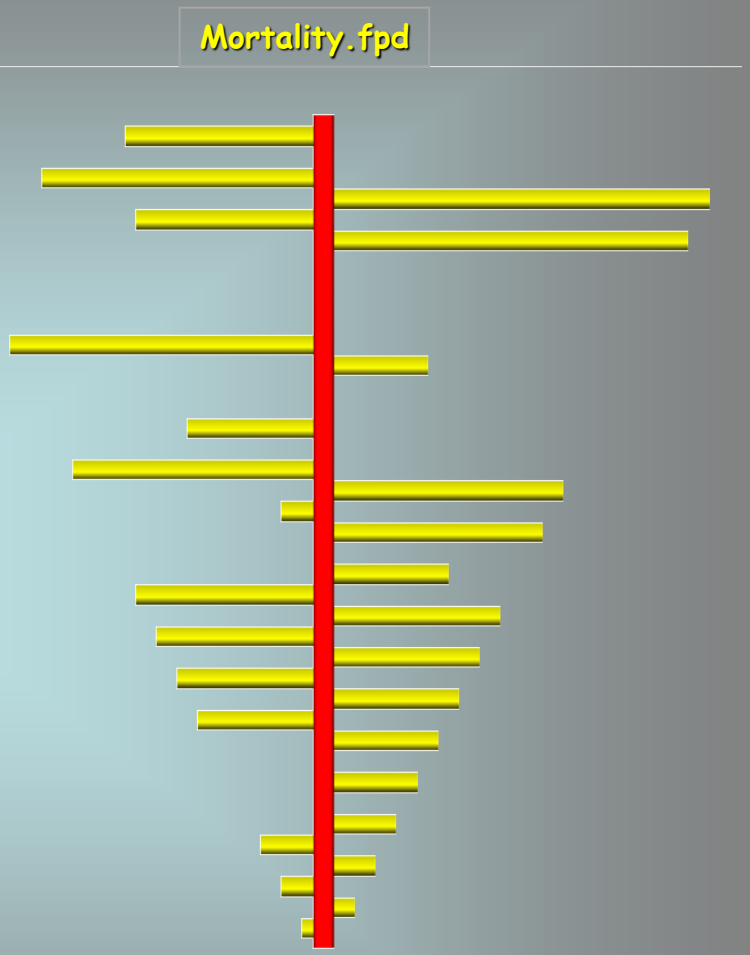
Pourcentage du nombre de racines mortes de ce type non élagables.

Return TOPOLOGY

Stochastic Apical Death & Root Mortality



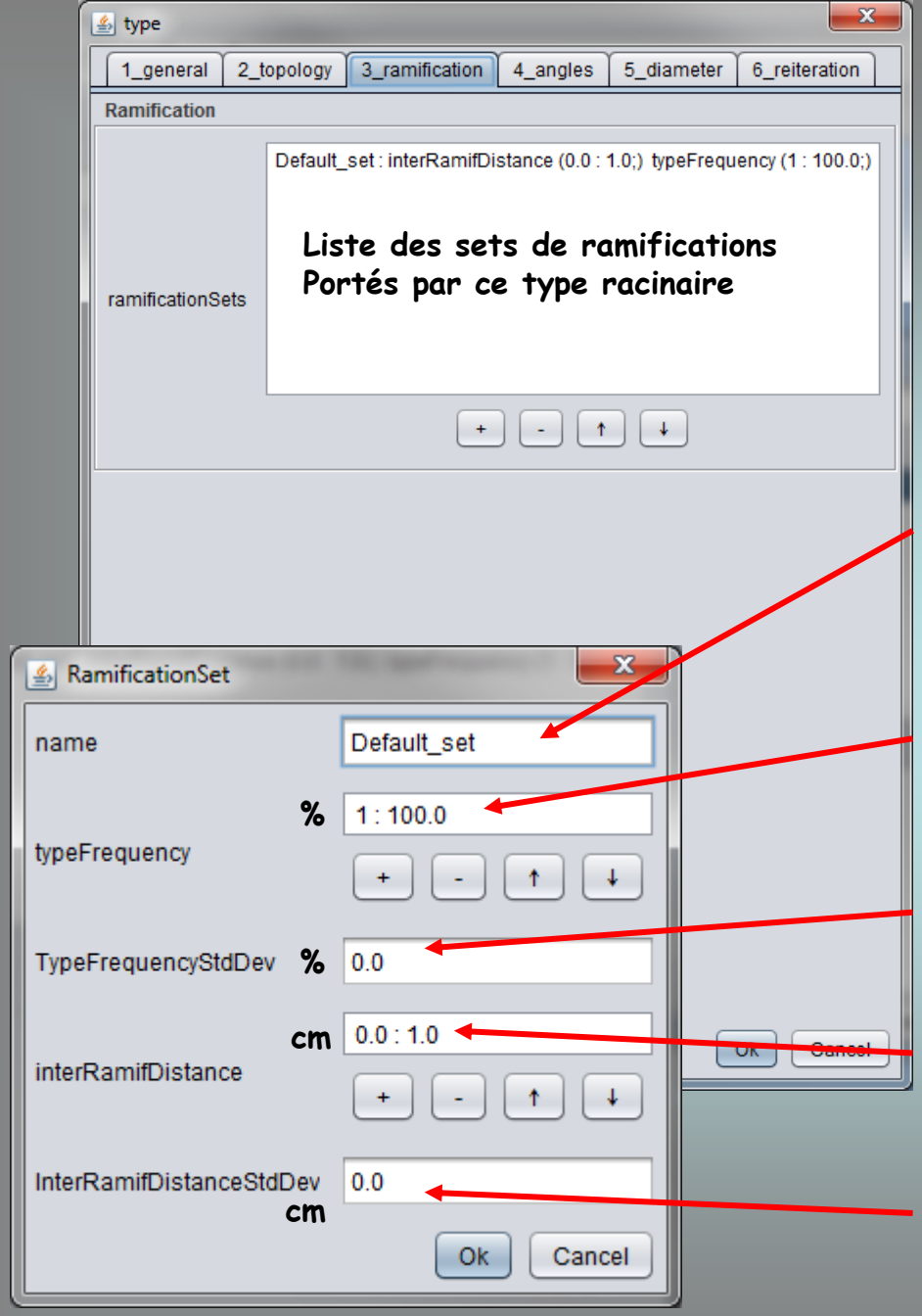
Growth stops with p=0.05/cm
(after 1cm length)



Roots are removed after +-2 CTs
(with 20% exceptions)

Stochastic Apical Death & Root Mortality

Branching



Nom d'un set de ramifications portés par ce type racinaire.

Fréquence des types de racines portées par les racines du type considéré et appartenant à ce set de ramification.
Couple (index du type : fréquence)

Ecart-type associé aux fréquences des types racinaires portés.

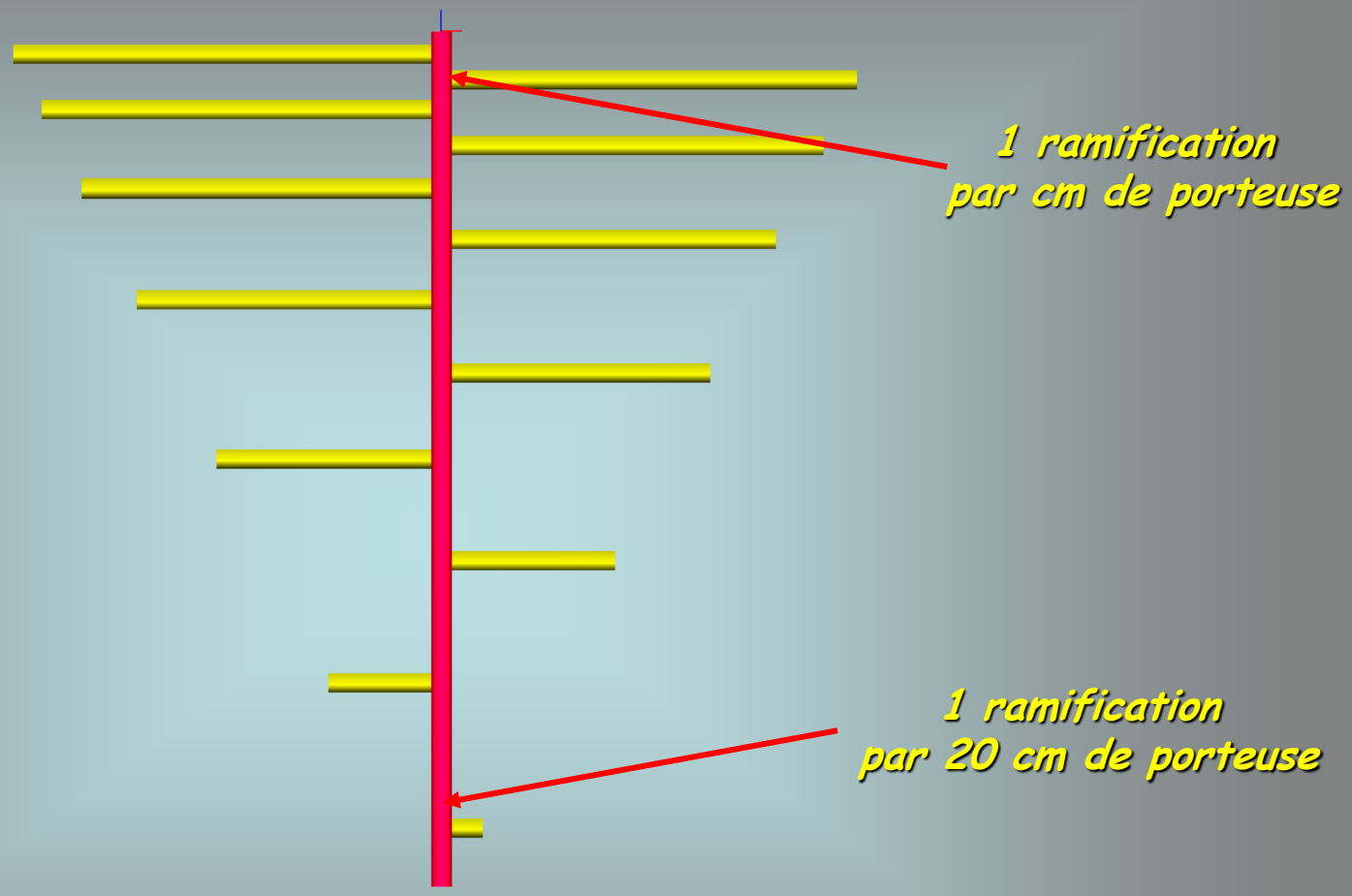
Distance inter-ramification (cm) des racines portées en fonction de leur position sur les racines du type porteur considéré.

Ecart-type associé aux distances inter-ramifications des racines portées.

Return RAMIFICATION

Branching

Branching.fpd



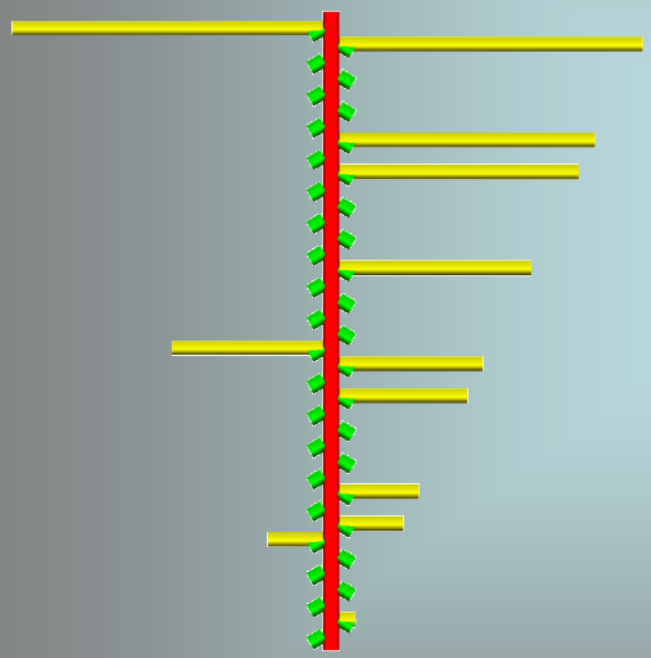
Branching

Stochastic Branching

2 mixes made of 1 type

Independent Branching

Branching1Type.fpd

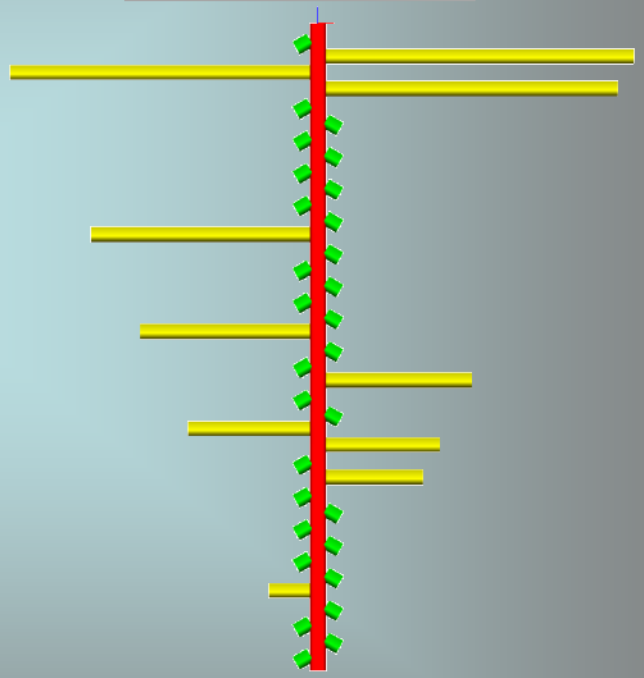


100 % green type
20 % yellow type

1 mix made of 2 types

Dependant Branching

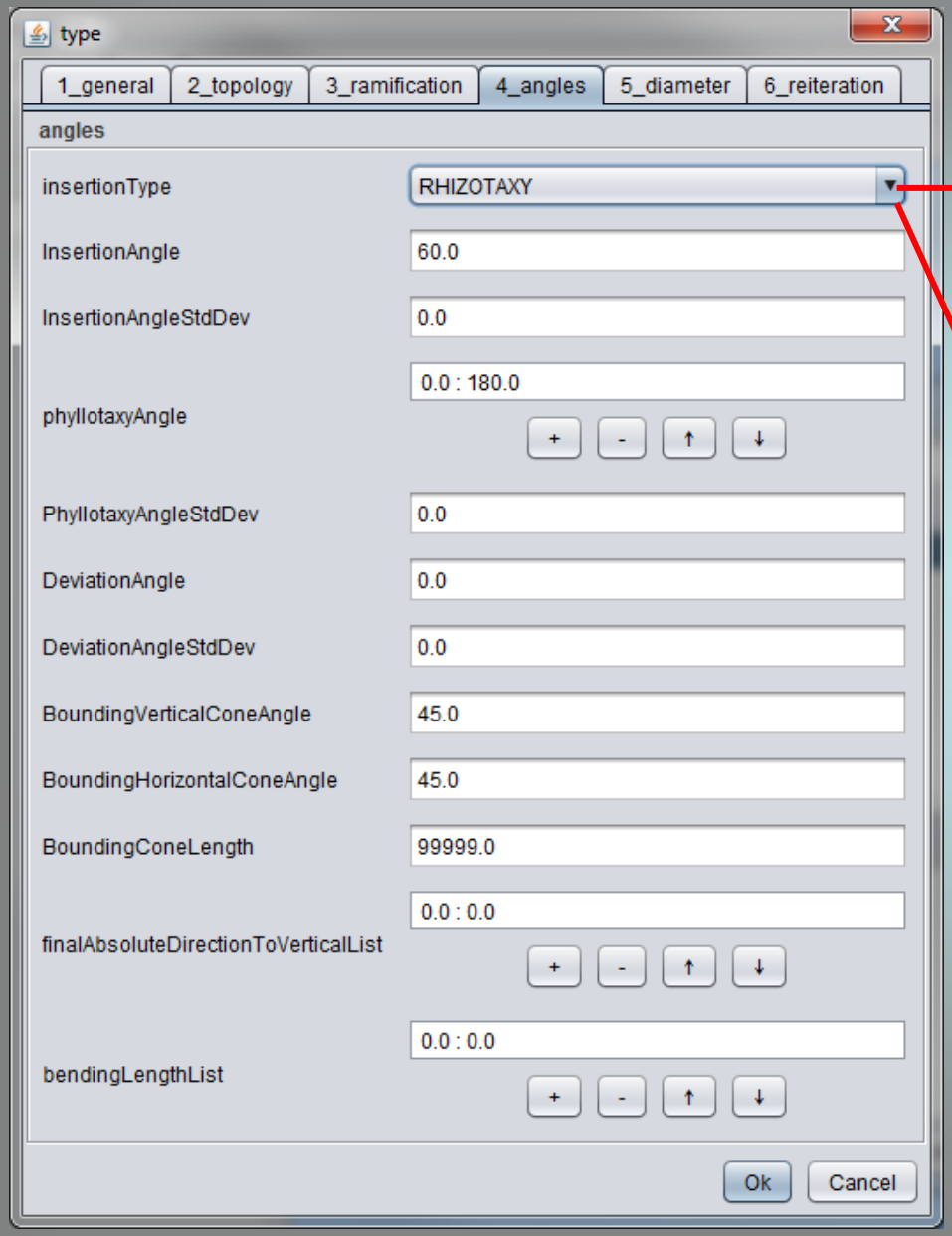
Branching2Type.fpd



80 % green type
20 % yellow type

Stochastic Branching

Stochastic Spatial Layout



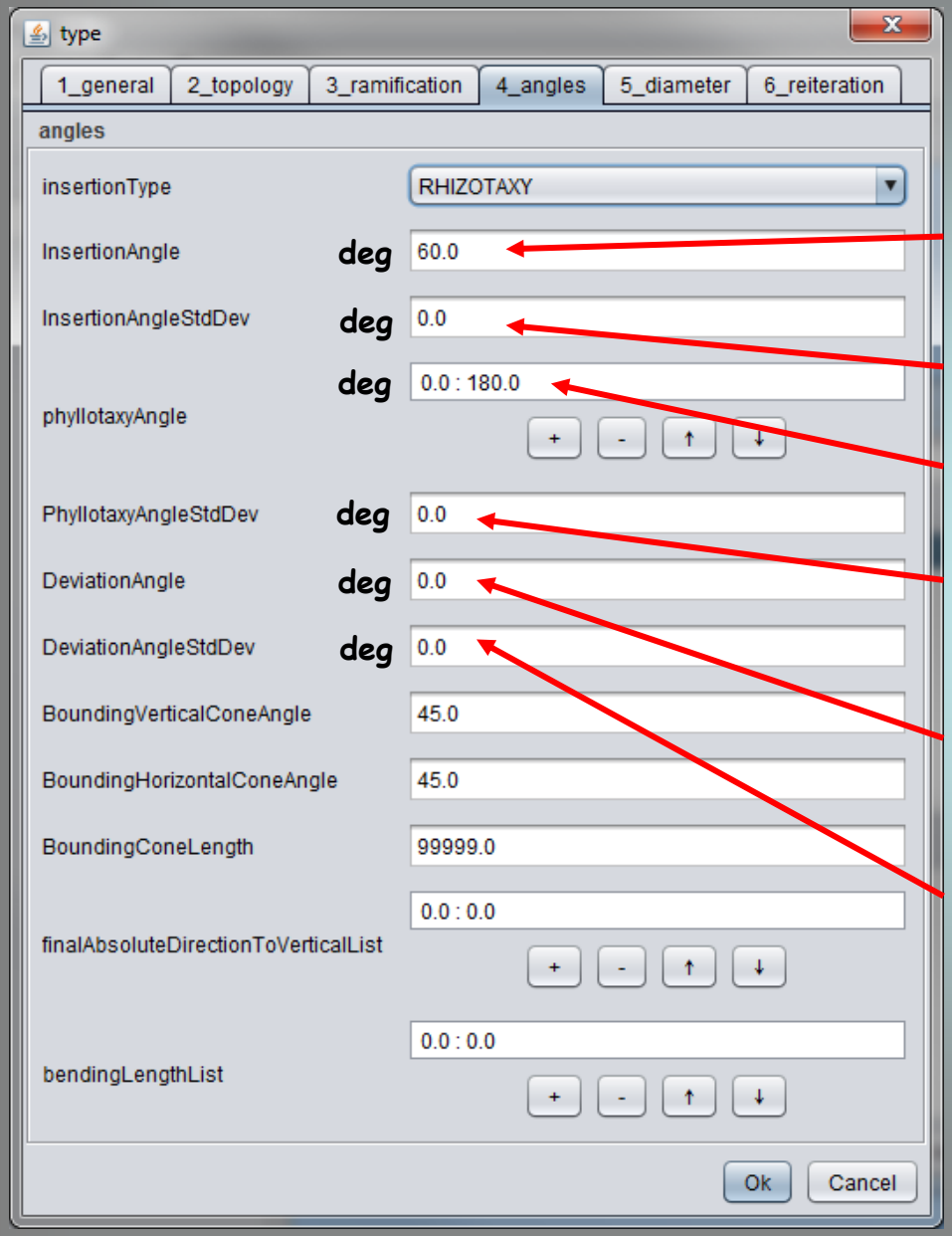
RHIZOTAXY :
L'insertion des racines portées par ce type racinaire se réalise selon un angle rhizotaxique.

TO_VERTICAL :
L'insertion des racines portées par ce type racinaire se réalise dans un plan vertical passant par la racine porteuse.

ON_PLANE_THROUGH_BEARER :
L'insertion des racines portées par ce type racinaire se réalise dans un plan passant par la racine porteuse.
NON IMPLEMENTE.

Return ANGLES

Stochastic Spatial Layout



Angle d'insertion de ce type racinaire sur sa racine porteuse (en degrés).

Ecart-type associé à l'angle d'insertion.

Valeur de l'angle rhizotaxique d'une racine de ce type racinaire sur sa racine porteuse (en degrés).

Ecart-type associé à l'angle rhizotaxique.

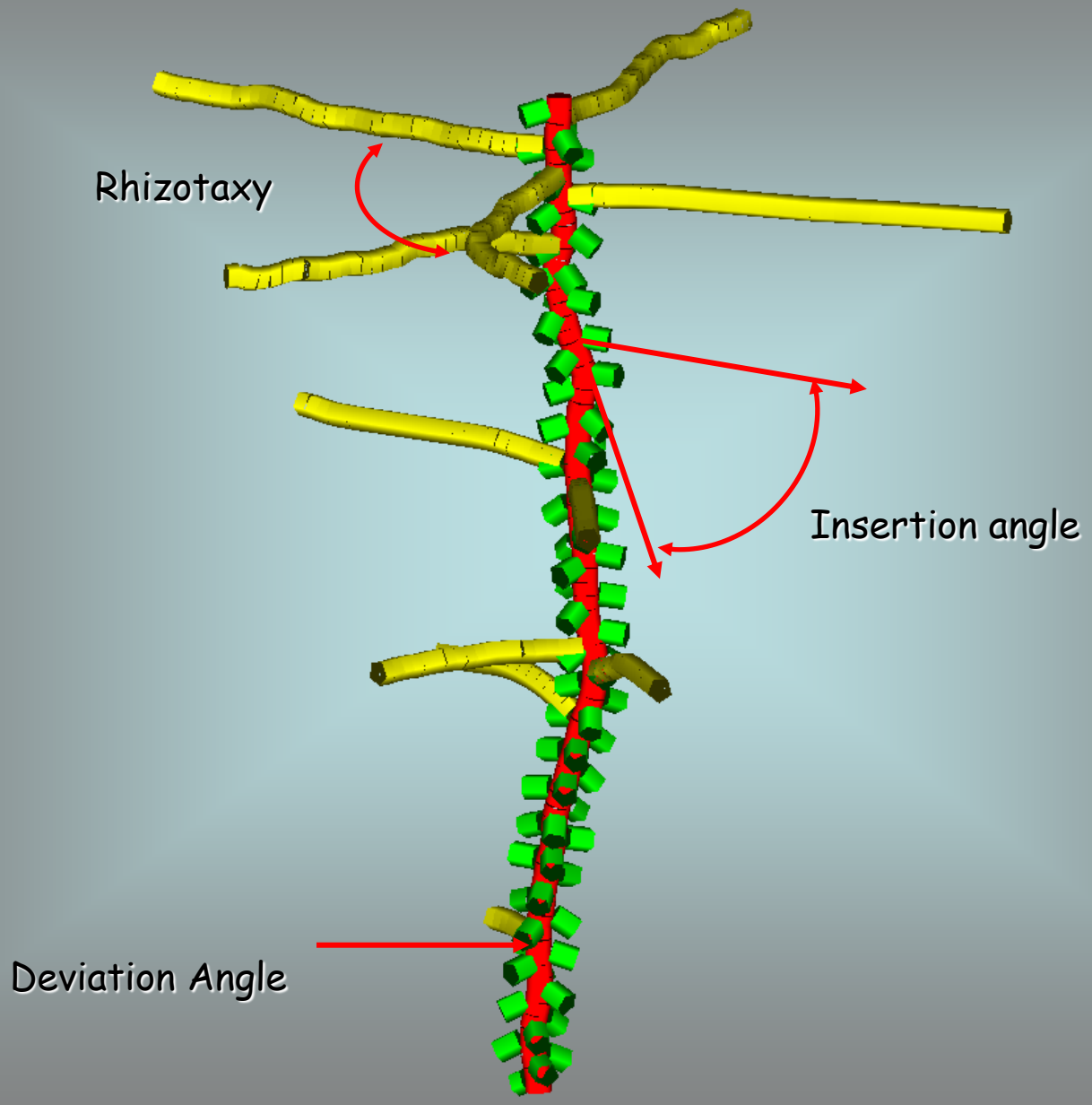
Valeur de l'angle de déviation subi par une racine du type à chaque nouvelle unité de croissance en longueur (voir growthSpeed) OU à la mise en place d'une nouvelle ramification (voir interRamifDistance) (en degrés).

Ecart-type associé à l'angle de deviation.

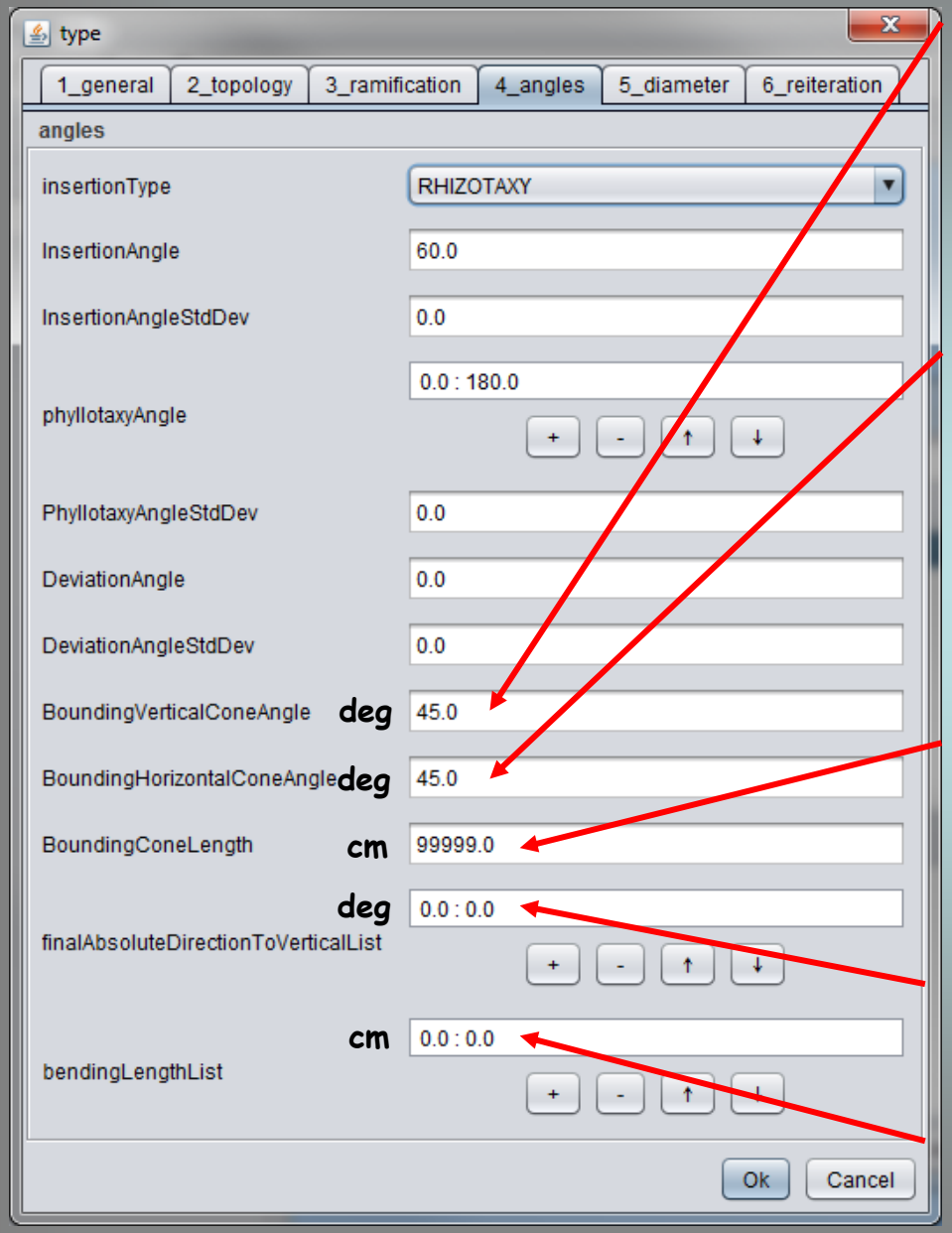
Return ANGLES

Stochastic Spatial Layout

Angles.fpd



Spatial Constraints



Valeur d'un angle qui, dans un plan vertical, délimite un cône à l'intérieur duquel la racine du type considéré est obligée de rester. La direction principale de l'axe du cône est celle de l'angle initial d'insertion de la racine sur son porteur.

Valeur d'un angle qui, dans un plan vertical, délimite un cône à l'intérieur duquel la racine du type considéré est obligée de rester. La direction principale de l'axe duu cône est celle de l'angle initial d'insertion de la racine sur son porteur.

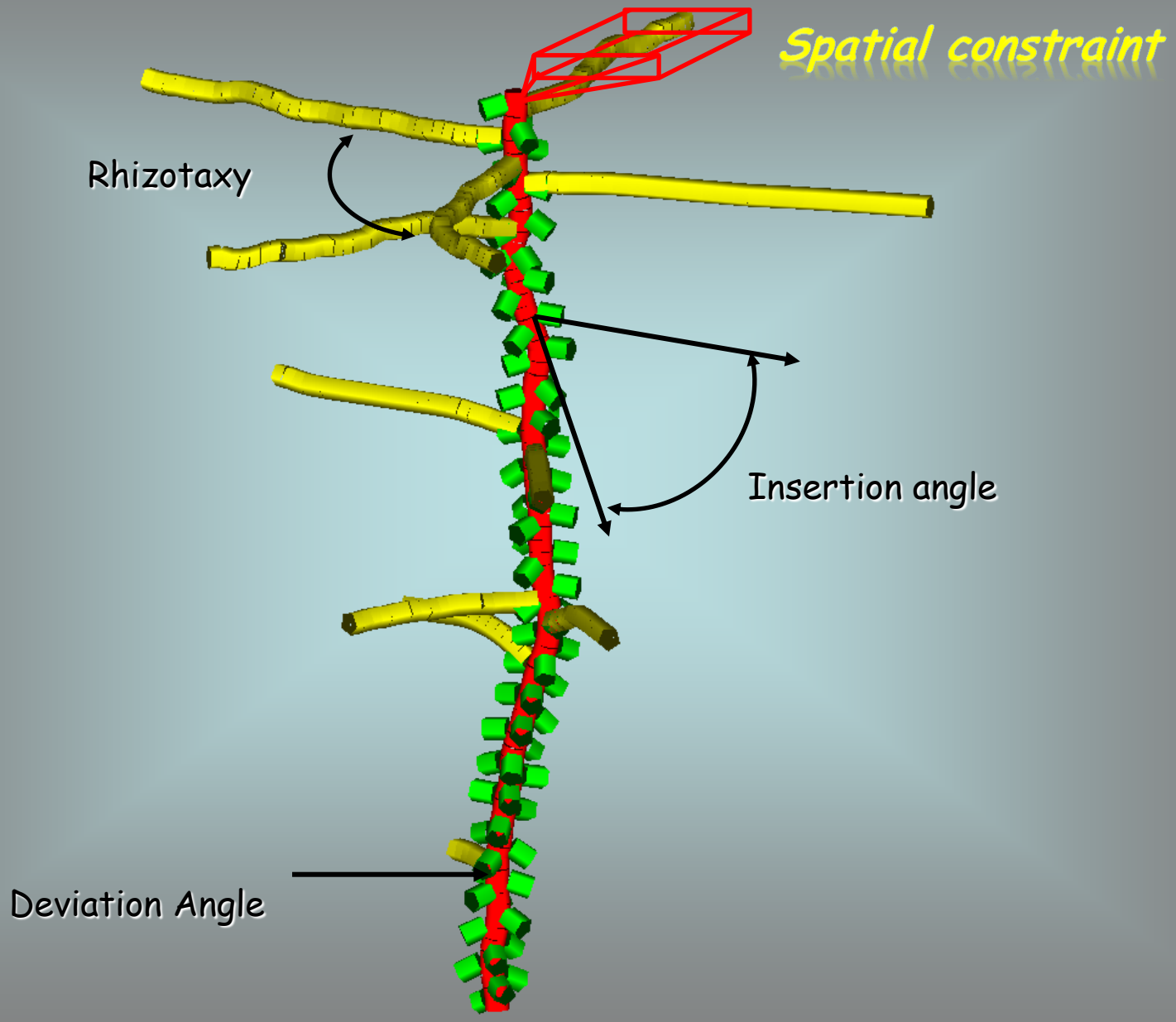
Longueur du cône dans lequel la racine du type est obligée de rester. Au delà de cette longueur, le cône devient un parallélépipède dont la forme peut évoluer selon les valeurs des paramètres finalAbsoluteDirectionToVerticalList.

Direction finale de l'axe du cône ou du parallélépipède précédemment défini. Ceux-ci se déforment progressivement pour atteindre cet angle, défini par rapport à une direction verticale.

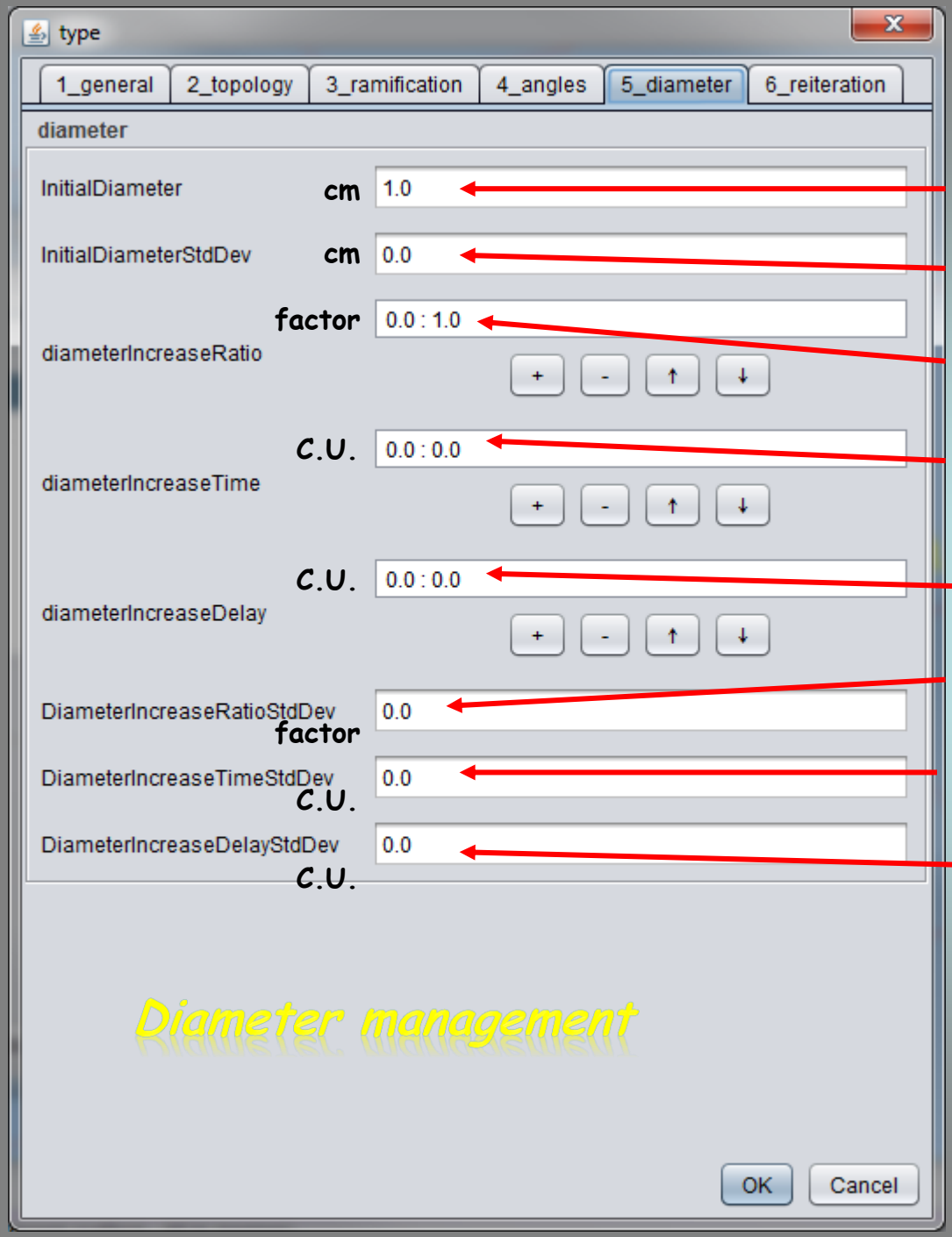
Longueur associée au parametre précédent, définissant la zone dans laquelle se passe cette déformation progressive.

Return ANGLES

Stochastic Constraints



Stochastic Spatial Layout & Constraints



Diameter management

Diamètre initial des racines du type considéré.

Ecart-type associé au diamètre initial.

Facteur de grossissement des racines du type considéré.

Durée de grossissement des racines du type considéré.

Délai avant le début de grossissement des racines du type considéré.

Ecart-type associé au facteur de grossissement.

Ecart-type associé à la durée de grossissement.

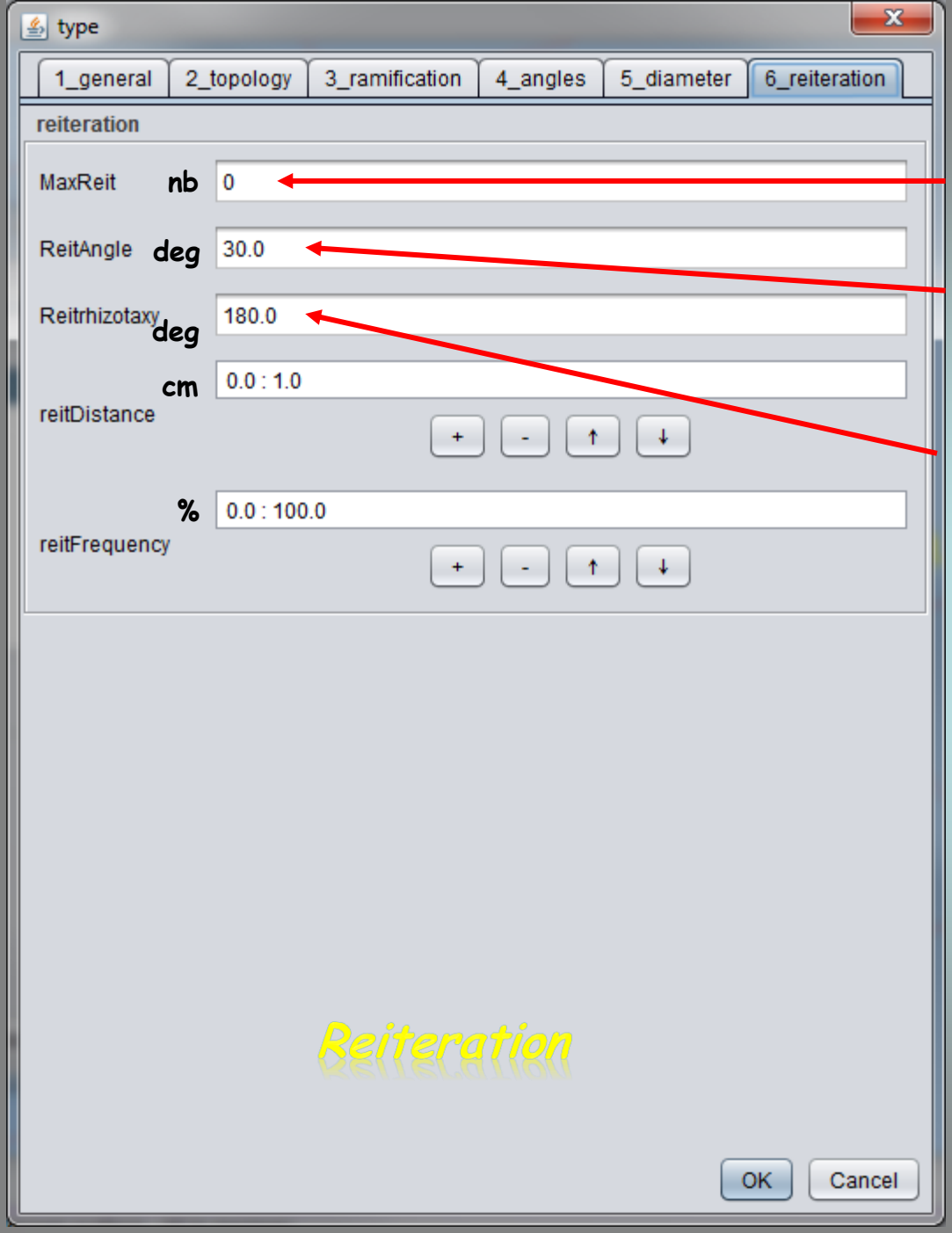
Ecart-type associé au délai avant le début de grossissement.

Return DIAMETER

Diameter management

Diameter.fpd

Diameter management



Ordre maximum de réitération des racines de ce type : 1 signifie « une racine porte un ordre de réitération ».

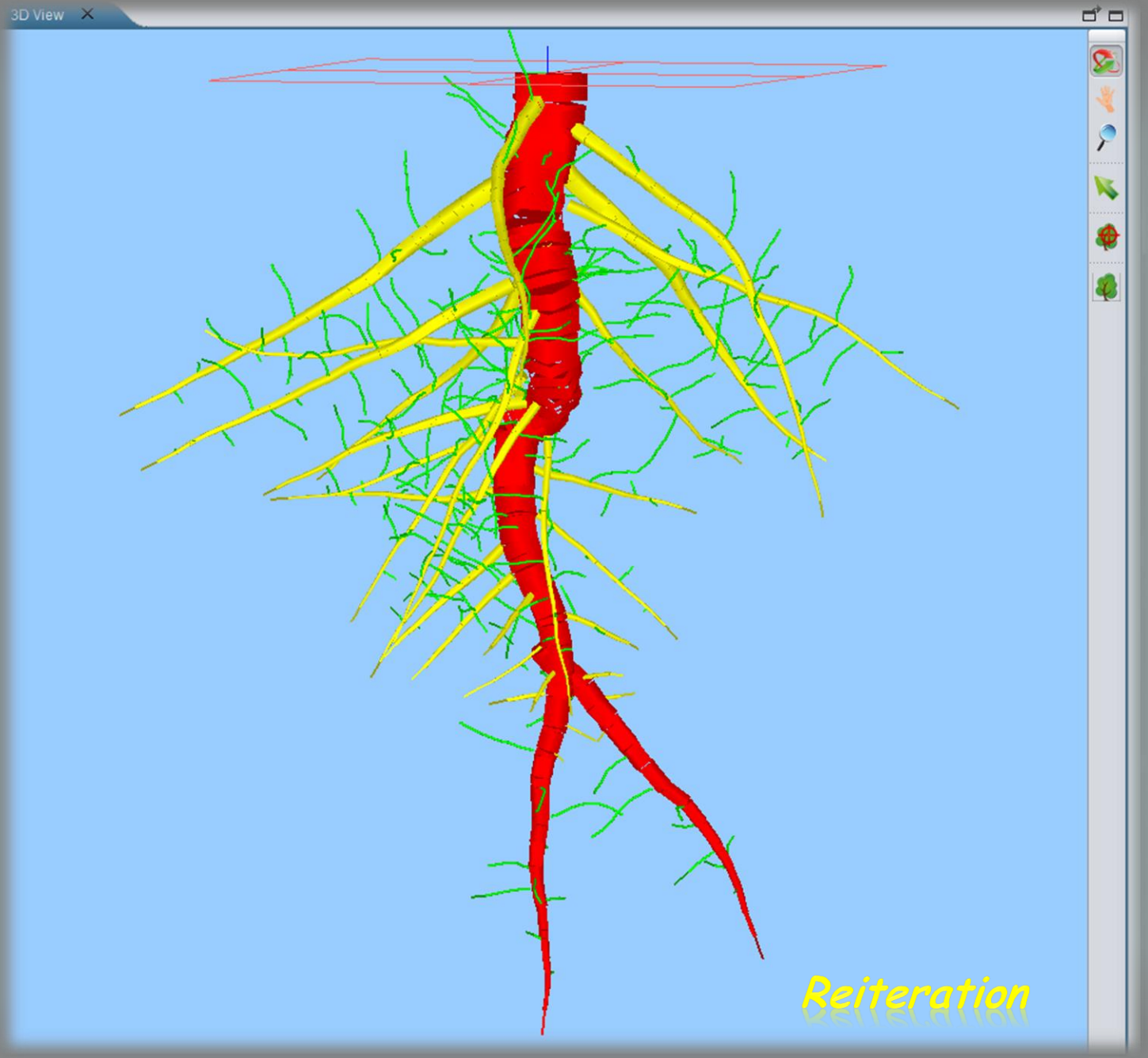
Angle axial d'insertion des racines réitérées de ce type sur leurs racines porteuses.

L'insertion des racines réitérées de ce type sur leurs racines porteuses se fait selon la valeur de cet angle rhizotaxique.

Distance inter-ramification des racines réitérées portées sur les racines du type porteur considéré.

Probabilité de réalisation des racines réitérées sur leur racine porteuse du type considéré.

Return REITERATION

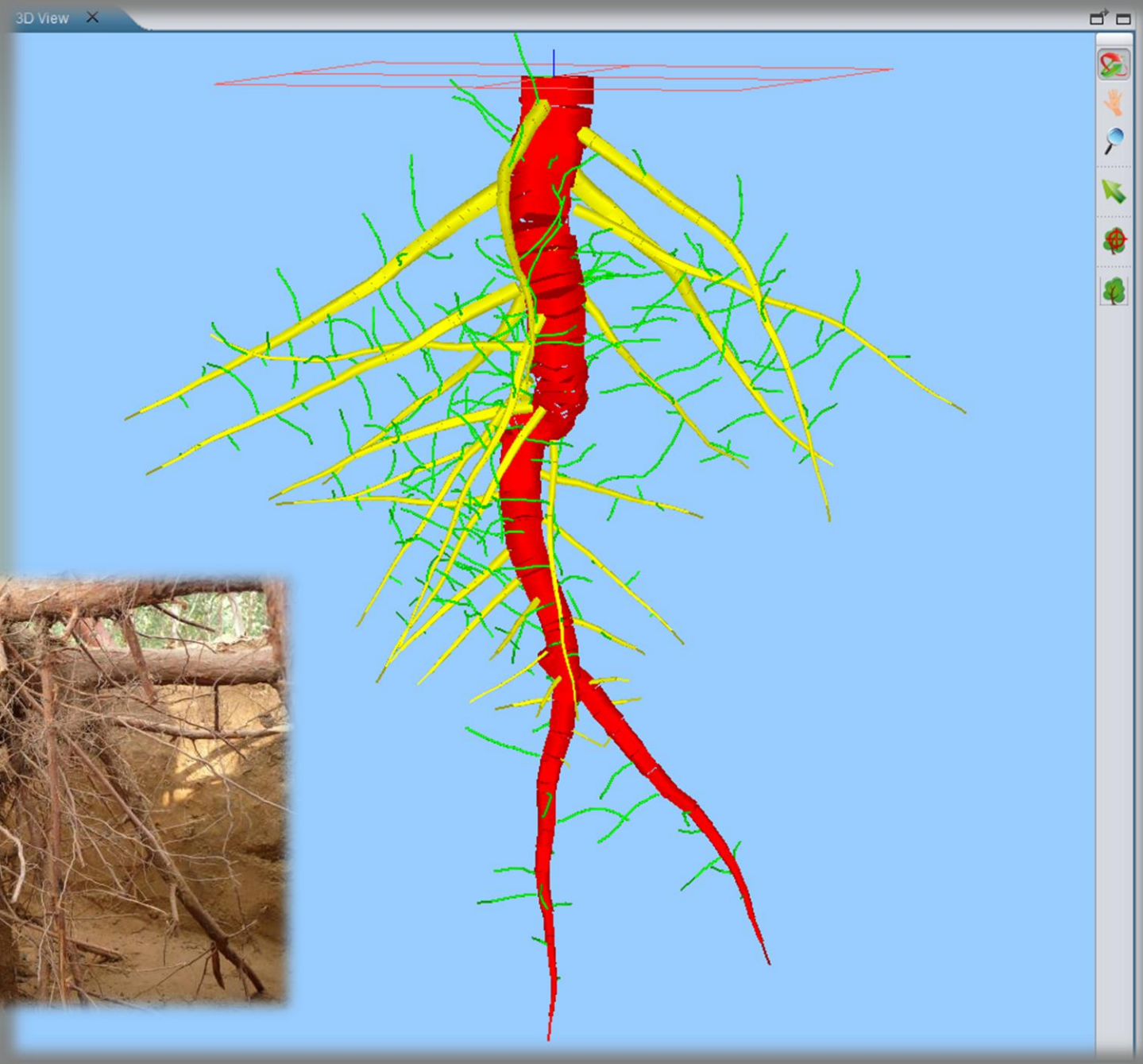

3D View
Reiteration

ROOT SYSTEM TYPES

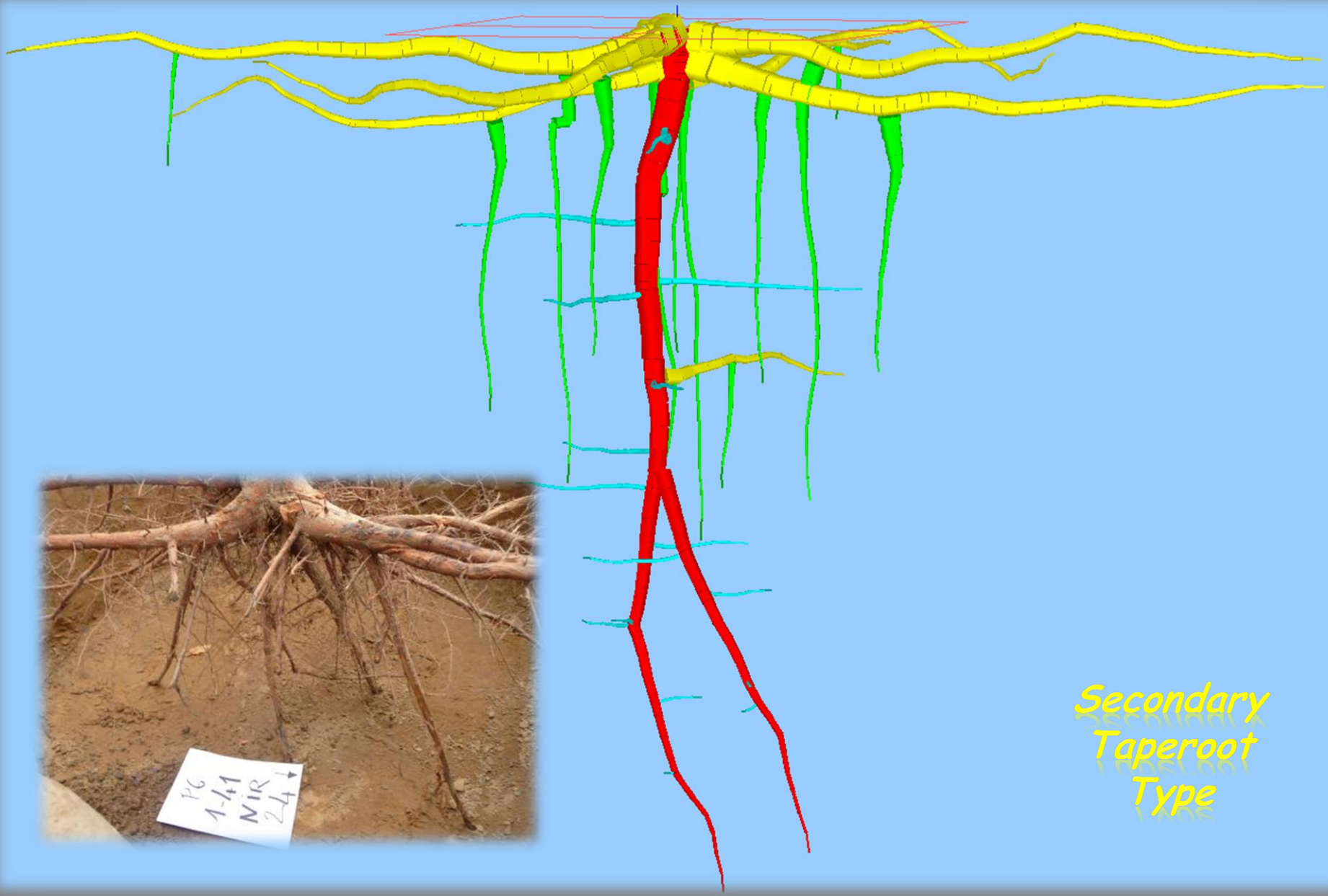
Primary Taperoot Type

Eucalypt in Congo

Primary Taperoot Type



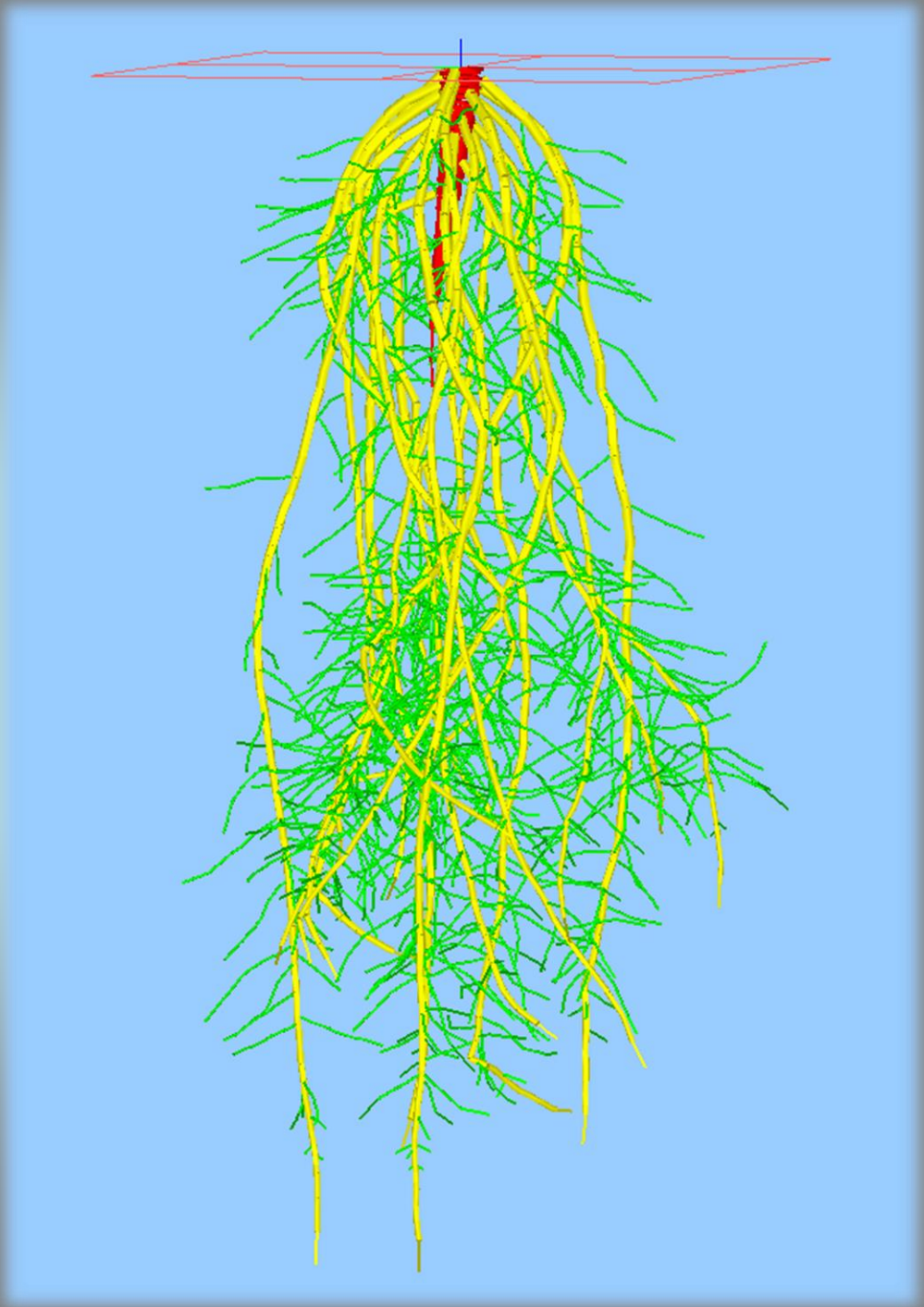
Eucalypt in Congo


Secondary
Taperoot
Type

Fasciculated Type

Date palm in Algeria

Fasciculated Type



Plagiotropic Type

Eucalypt in Congo

Plagiotropic Type

-X01-

XPLO
&
PARAMETER FILE

Training X01: Xplo Software

AMAPstudio Directory

Xplo Software

Ordinateur ▸ donnees (D:) ▸ jeeb ▸

Rechercher dans : jeeb

Fichier Edition Affichage Outils ?

Organiser ▾ Ouvrir Imprimer Graver Nouveau dossier

2013 - TERRES ANR- Terrestrialisation
2013 - TOSCA - Foret 3D STEM+LEAF
2013 - UVED
AmapSimEnv
BOOTCOPYPOOL.BIN
Dropbox
jeeb
LiveBackup Cache
Ma Flore - Botanique
Ma Flore - Herbier
Mes Donnees

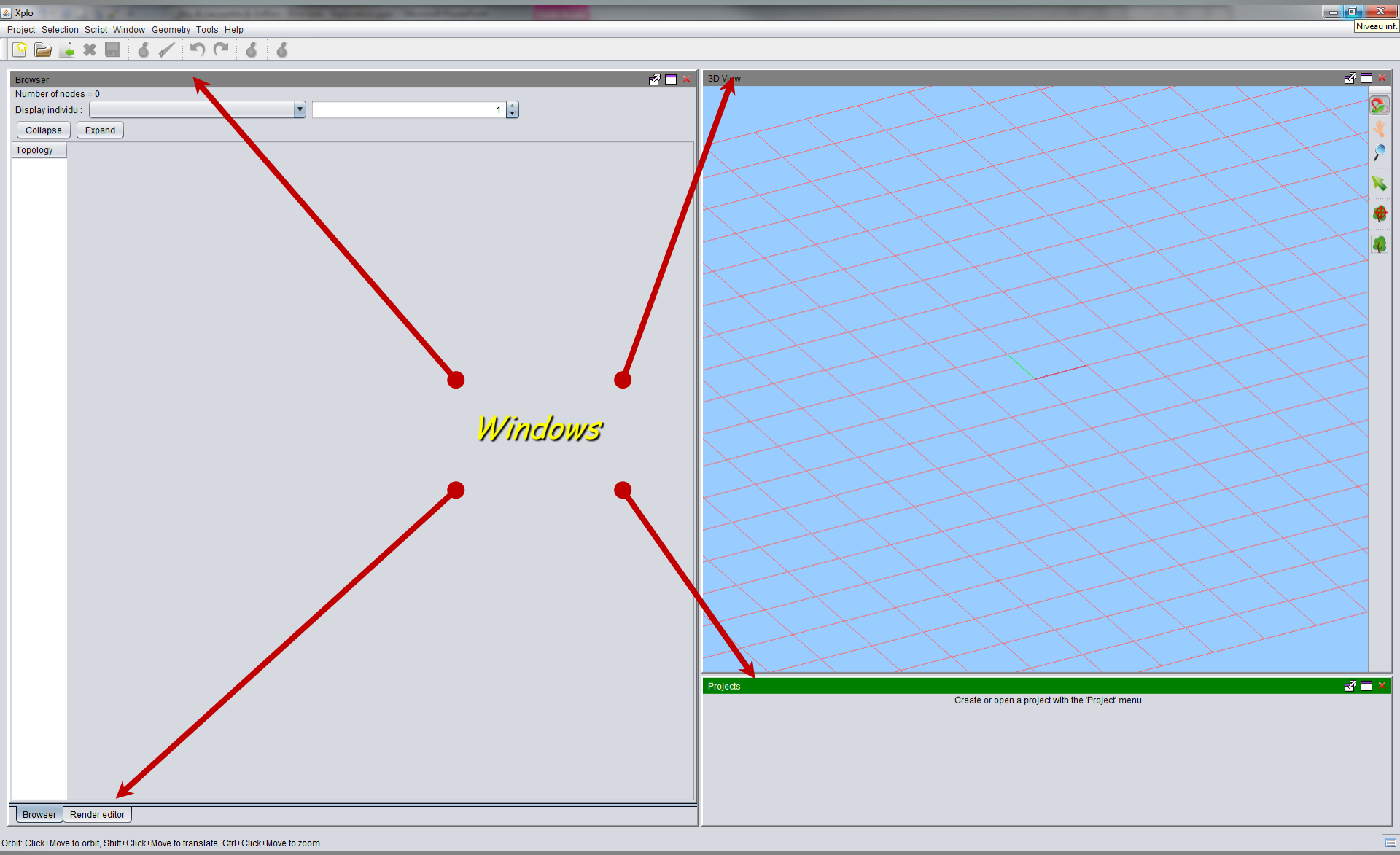
Nom	Modifié le	Type	Taille
xplo.bat	10/11/2012 15:07	Fichier de comma...	2 Ko
xplo.command	07/12/2011 10:17	Fichier COMMAND	1 Ko
xplo.sh	16/11/2012 15:07	Fichier SH	2 Ko
xplo_splash.jpg	07/12/2011 10:18	Fichier JPG	70 Ko
xplo32.bat	07/12/2011 10:18	Fichier de comma...	1 Ko
xplo32.sh	07/12/2011 10:18	Fichier SH	1 Ko
xplo64.bat	07/12/2011 10:18	Fichier de comma...	1 Ko
xplo64.sh	07/12/2011 10:18	Fichier SH	1 Ko
xploInstall.xml	07/12/2011 10:18	Document XML	3 Ko
XploReadme.txt	07/12/2011 10:18	Document texte	1 Ko

```
@rem
@rem Xplo
launch script
@rem

PATH=.\ext
\windows64;%
PATH%

java -
Dfile.encoding
=ISO8859-15 -
Xmx1024m -cp .
\bin;.\ext\* -
splash:xplo_sp
lash.jpg
jeeb.xplo.kern
```

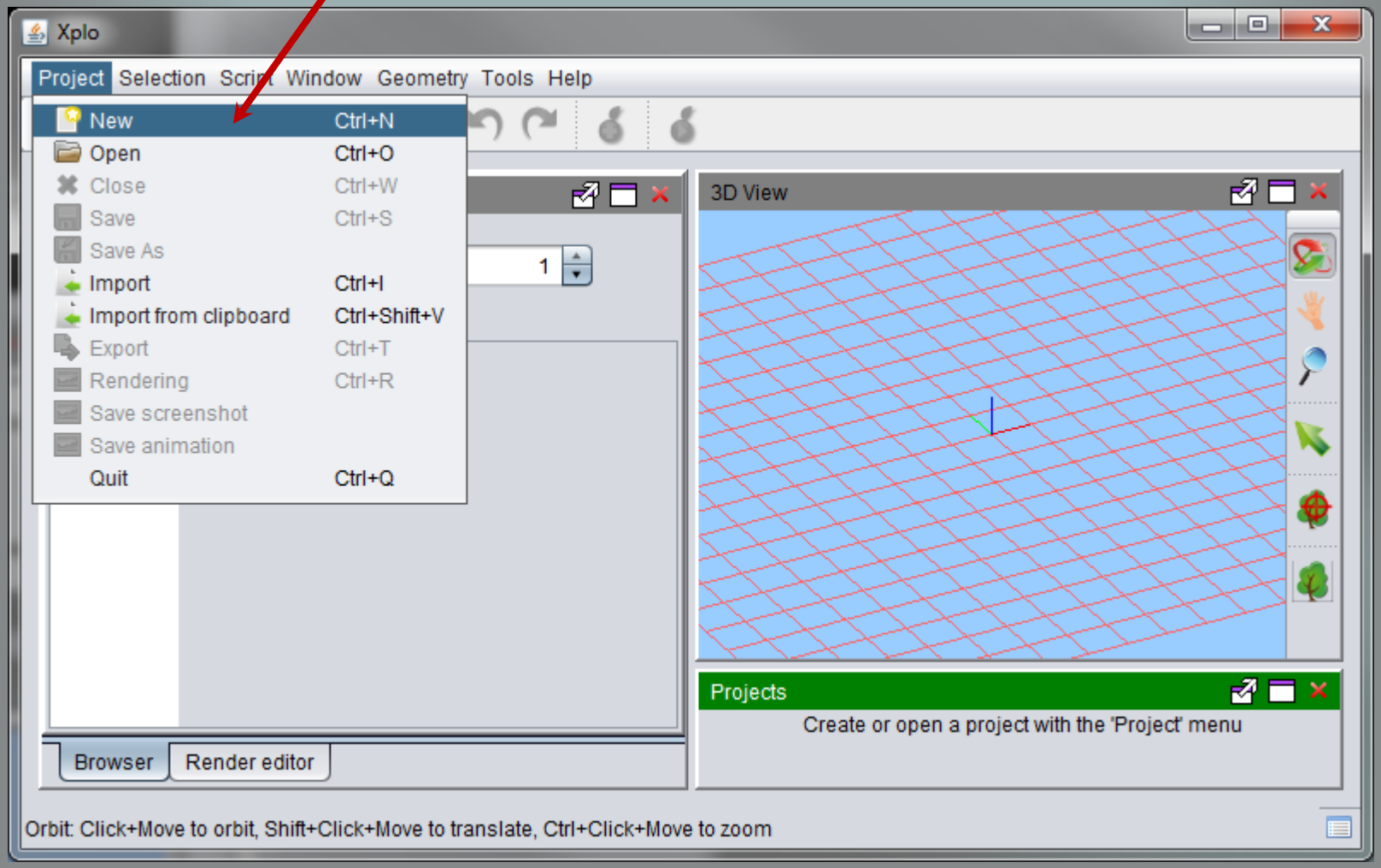
xplo64.bat — Fichier de commande Windows — Modifié le : 07/12/2011 10:18 — Taille : 210 octets — Date de création : 07/12/2011 10:18

1 élément sélectionné — Ordinateur

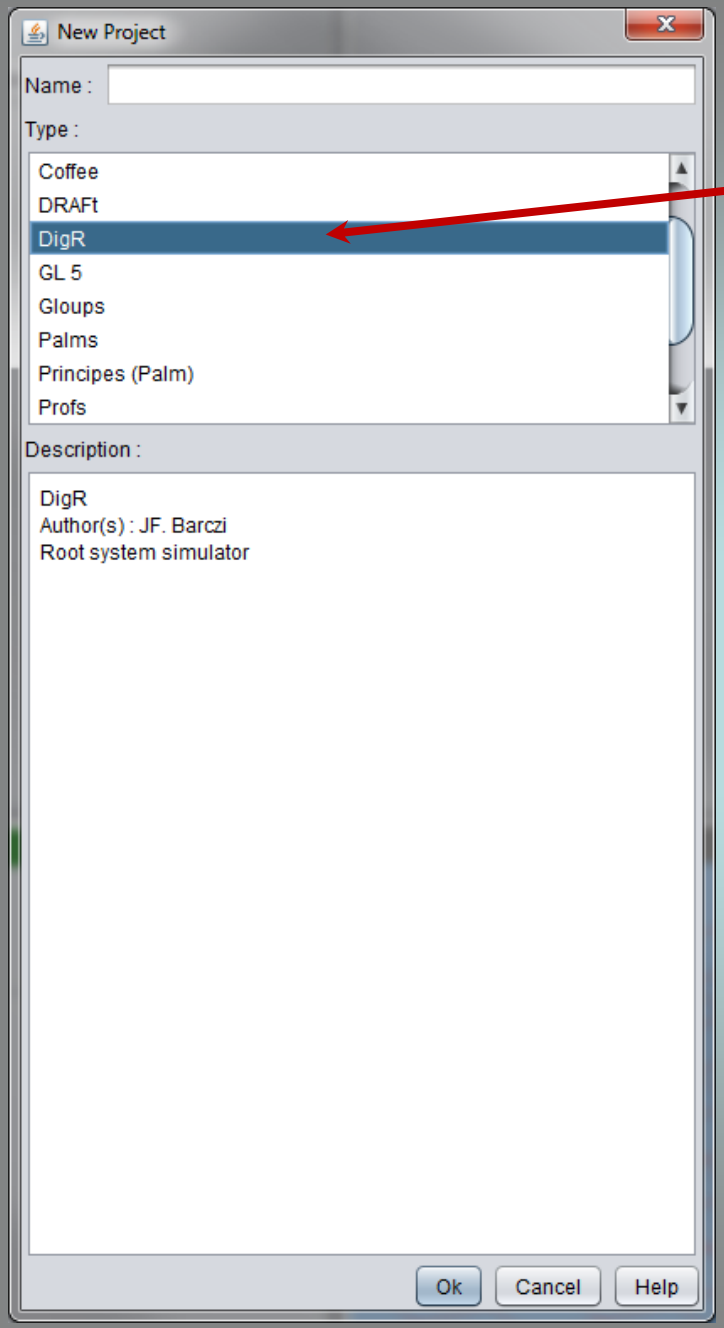
Training X01 : Xplo Windows



Training X01: New Project

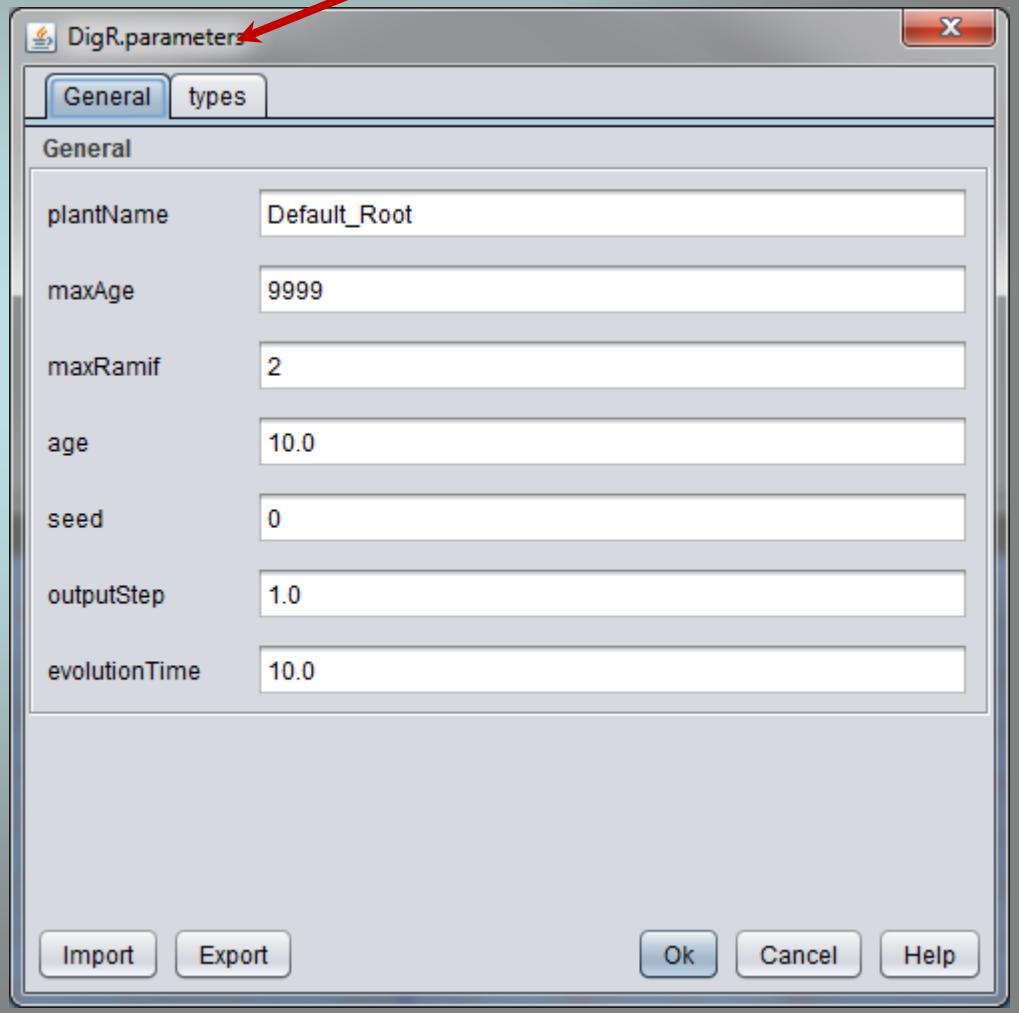


Training X01: DigR Project

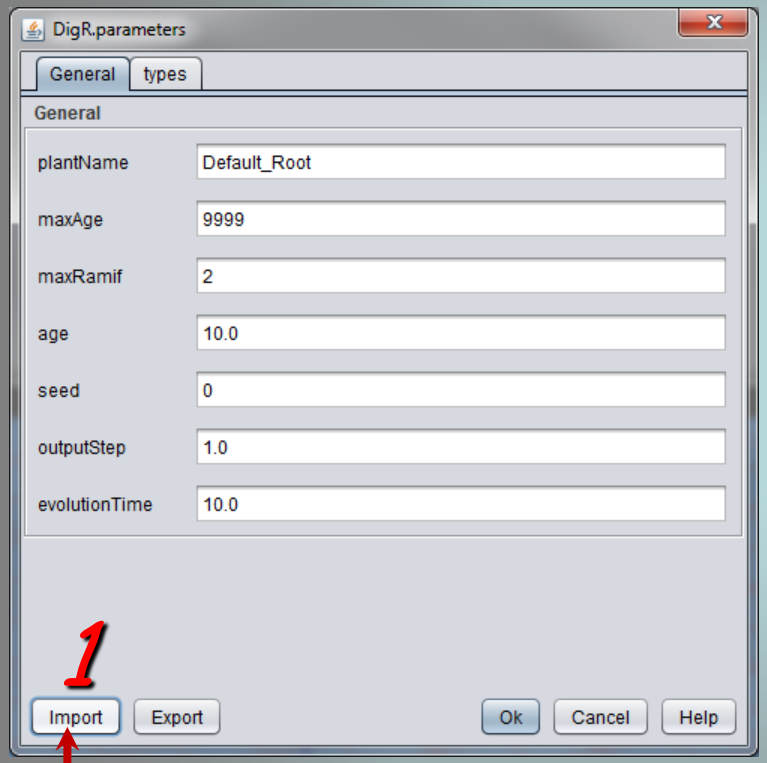


DigR model

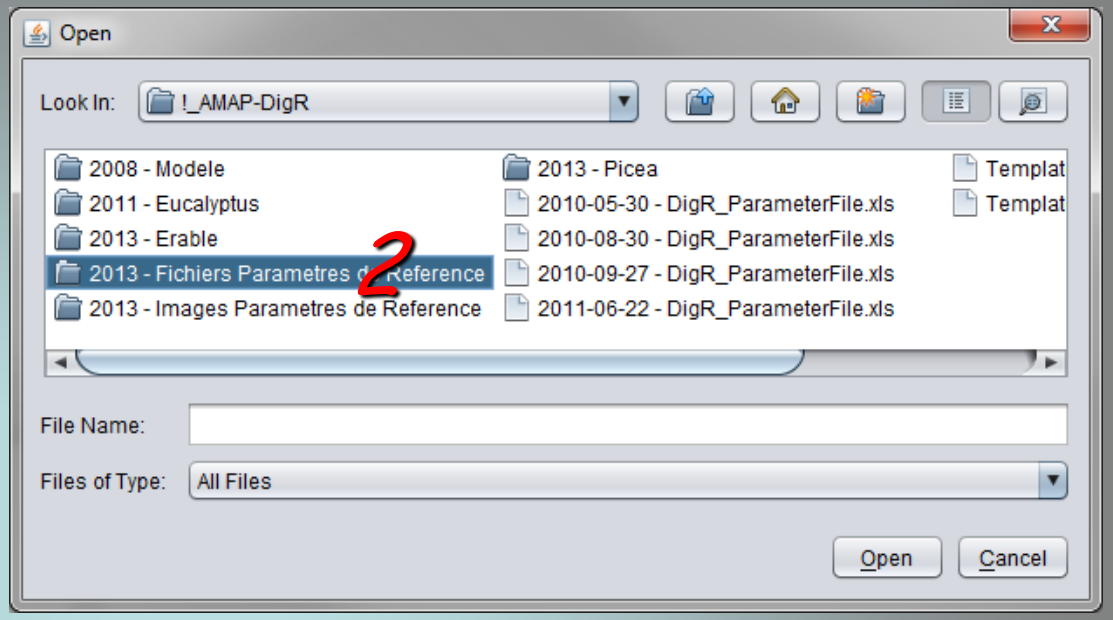
DigR Window

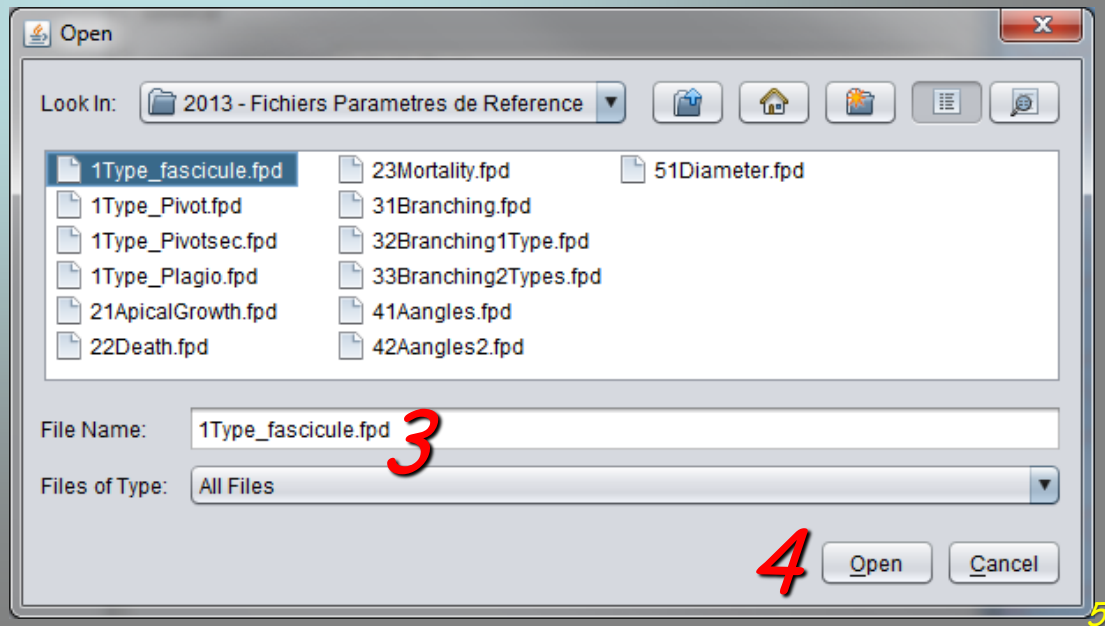


Training X01: Parameter File Choice

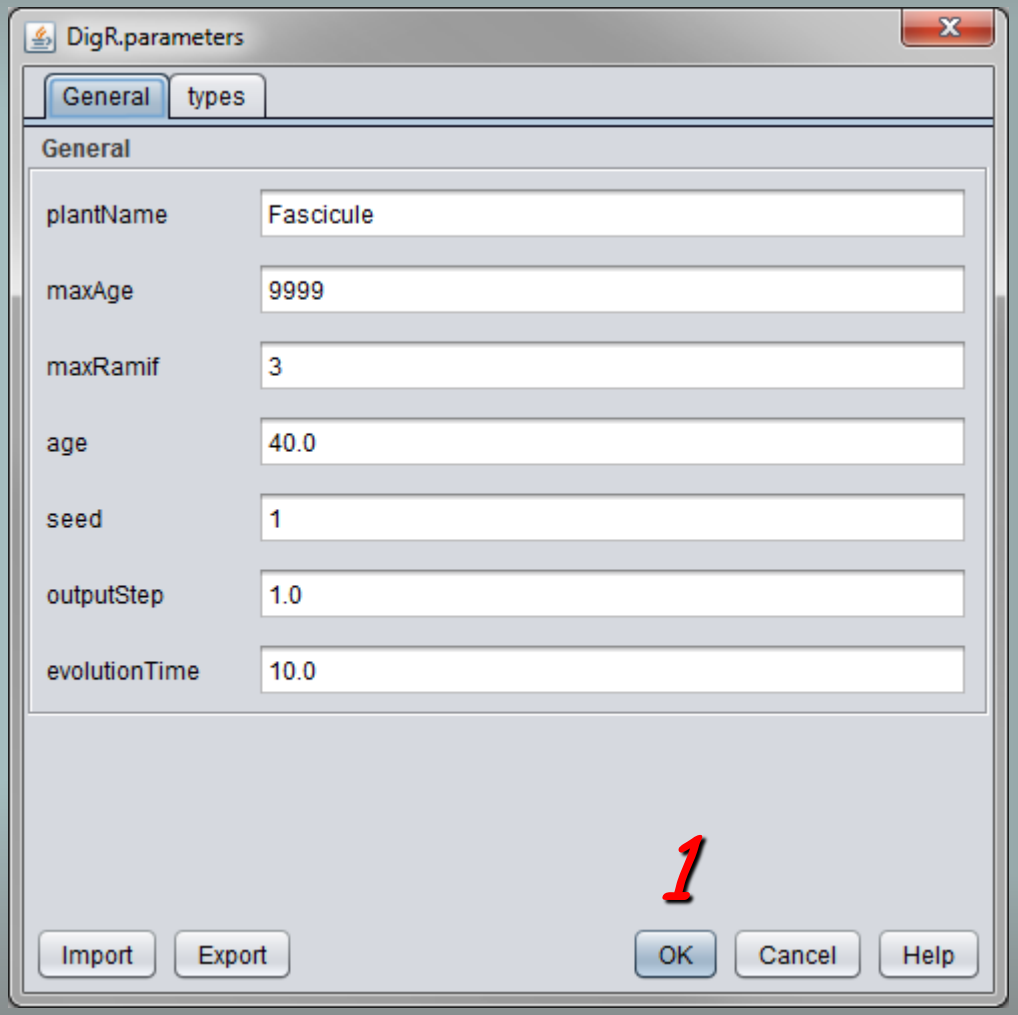


Left Click





Training X01:
Fascicule Parameter File



Training X01:
XPlo Browser & 3D View

Xplo - [Dig.40a]

Project Selection Script Window Geometry Tools Help

Niveau inf.

Browser

Number of nodes = 7078

Display individu : Scene 1

Collapse Expand

Topology	Name	FileName	age	XInsertion...	ZEuler	HA	type	XEuler	currentTi...	V
Scene 1										
Individual 1	Individual	ArchiTree	40							
First Type 1	First Type			0	0	45	0	0	0	
sFirst Type 1										
sFirst Type 2					-2.734			114.809		
sFirst Type 3					-4.108			133.946		
sFirst Type 4					-2.986			109.43		
sFirst Type 5					3.121			104.852		
sFirst Type 6					-2.626			135.937		
sFirst Type 7					2.669			77.274		
sFirst Type 8					2.915			134.035		
sFirst Type 9					6.063			0		
sFirst Type 10					-5.073			124.296		
sFirst Type 11					-2.302			156.781		
sFirst Type 12					-3.324			169.54		
sFirst Type 13					3.29			146.267		
sFirst Type 14					1.836			96.246		
sFirst Type 15					-3.358			160.764		
sFirst Type 16					2.945			0		
sFirst Type 17					-3.377			120.248		
sFirst Type 18					-4.238			152.965		
sFirst Type 19					3.694			0		
sFirst Type 20					3.621			164.762		
sFirst Type 21					3.279			0		
sFirst Type 22					-3.088			142.095		
sFirst Type 23					-2.634			0		
sFirst Type 24					-3.946			0		
sFirst Type 25					1.406			105.728		
second Type 1	second Ty...			0		10	1		6.985	
ssecond Type 1										
ssecond Type 2					-1.992			0		
ssecond Type 3					-2.737			0		
ssecond Type 4					-1.016			159.006		
ssecond Type 5					5.291			0		
ssecond Type 6					-5.056			154.529		
ssecond Type 7					-1.103			153.53		
ssecond Type 8					-2.871			0		
ssecond Type 9					0.056			164.416		
ssecond Type 10					5.31			139.03		
ssecond Type 11					2.096			0		
ssecond Type 12					-3.154			128.308		
ssecond Type 13					3.18			124.892		
ssecond Type 14					1.43			146.12		

Browser | Render editor

3D View

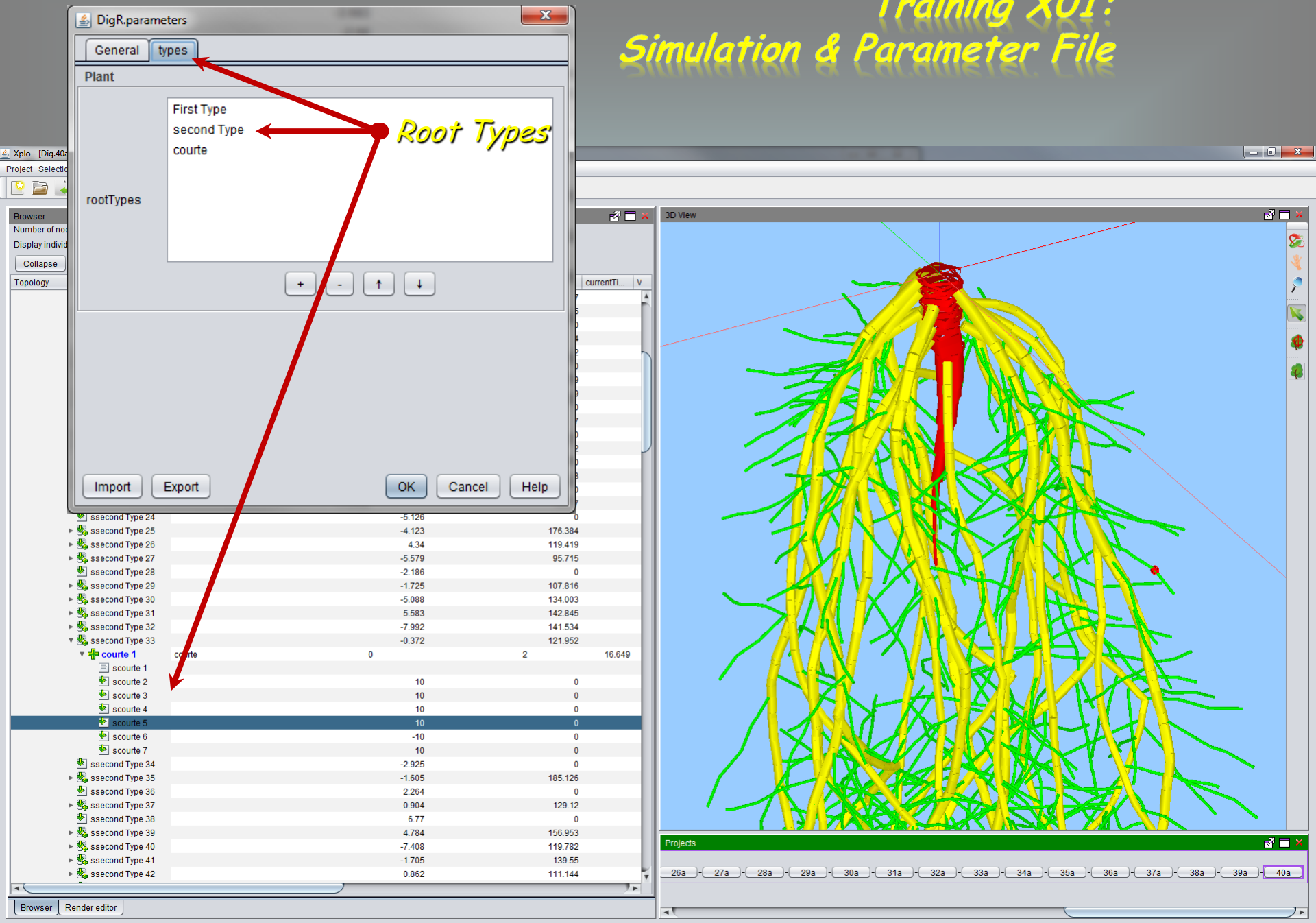
Projects

26a 27a 29a 30a 31a 32a 33a 34a 35a 36a 37a 38a 39a 40a

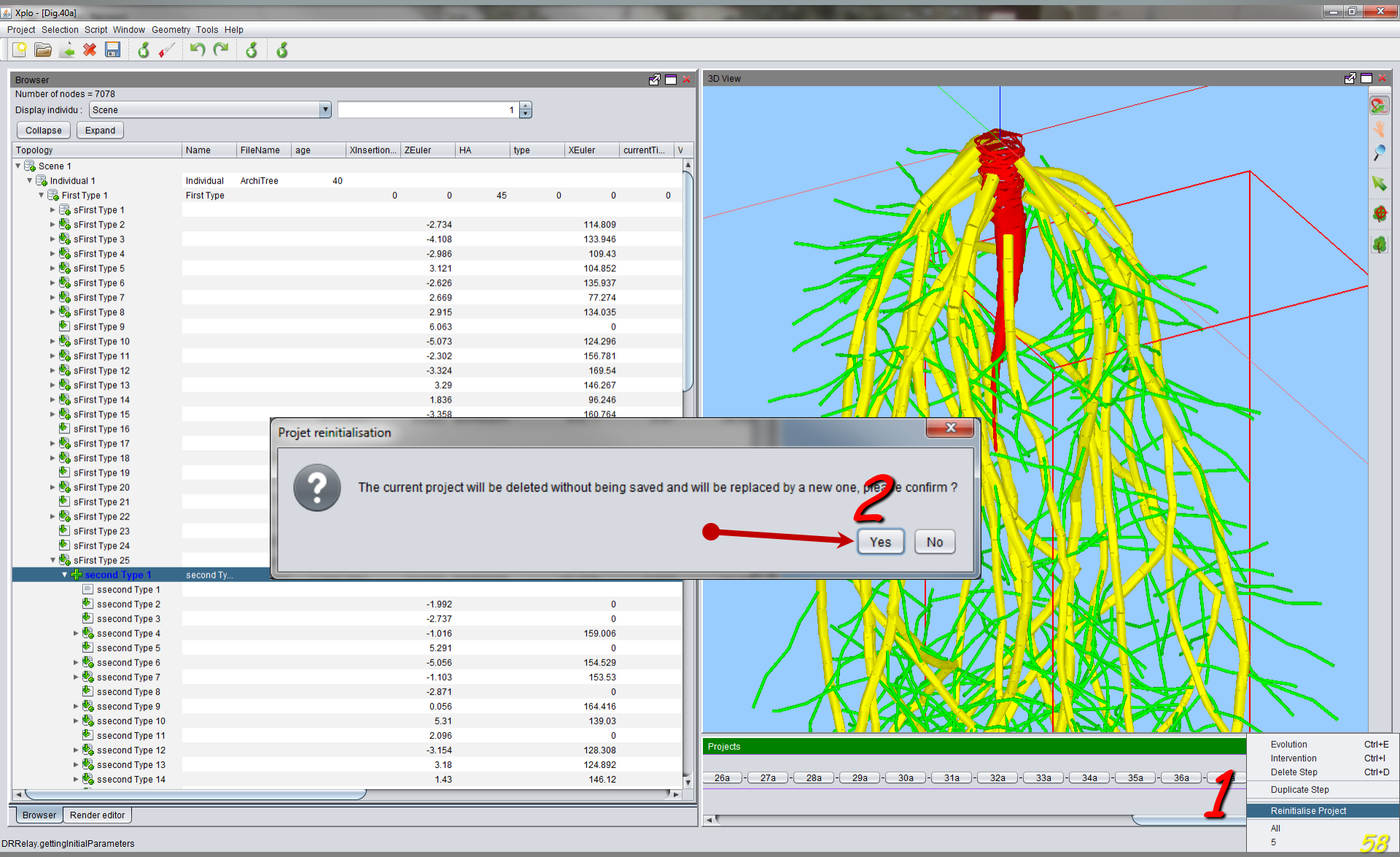
Project

DRRelay.gettingInitialParameters

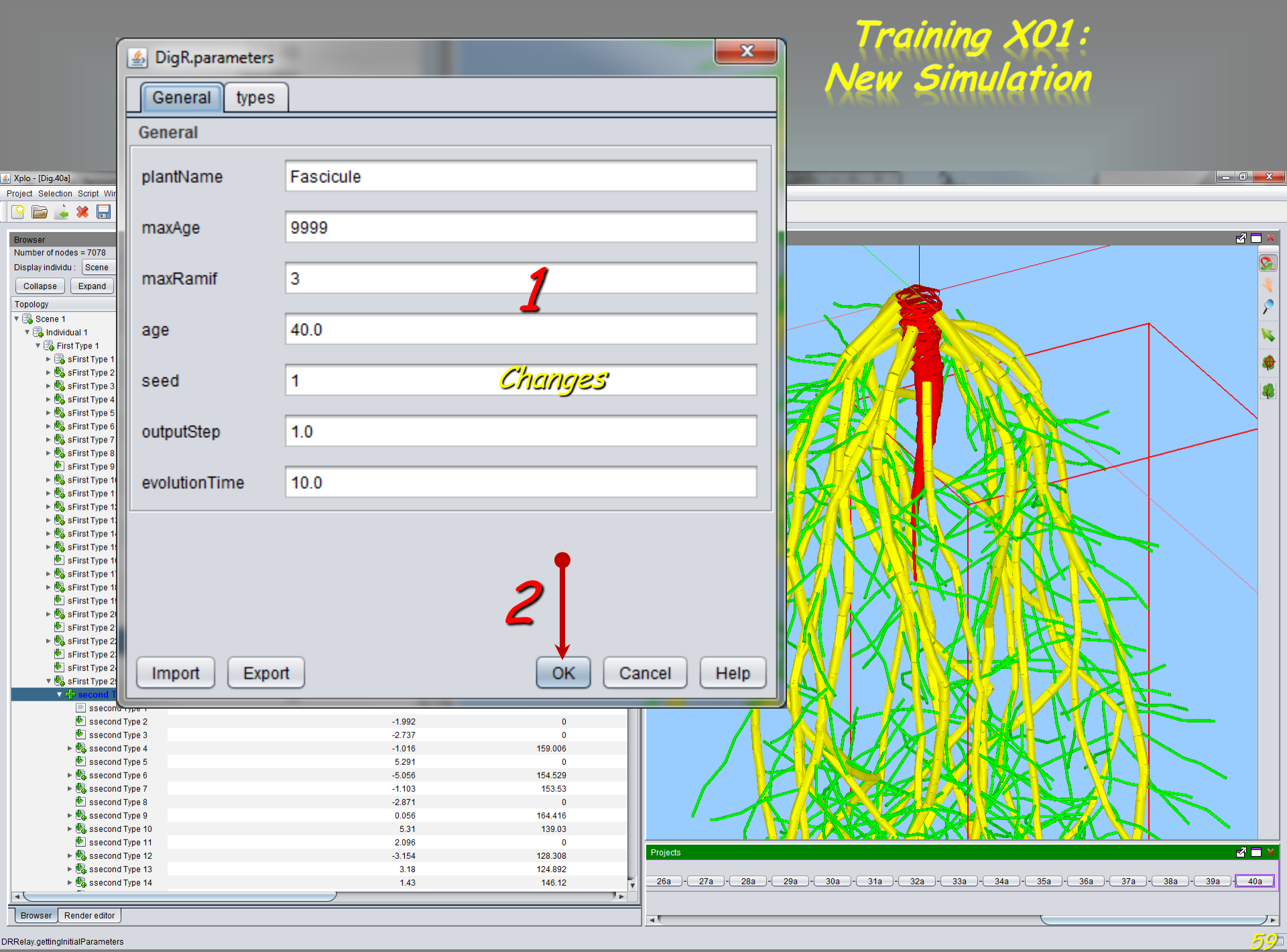
Training X01: Simulation & Parameter File



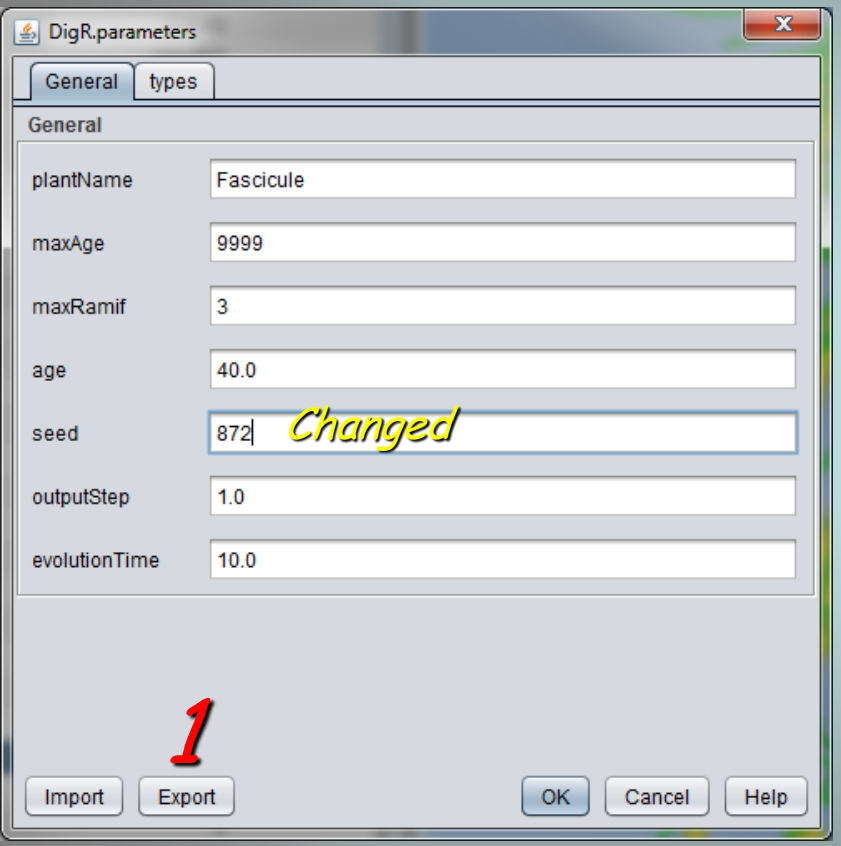
Training X01 : Reinit Project

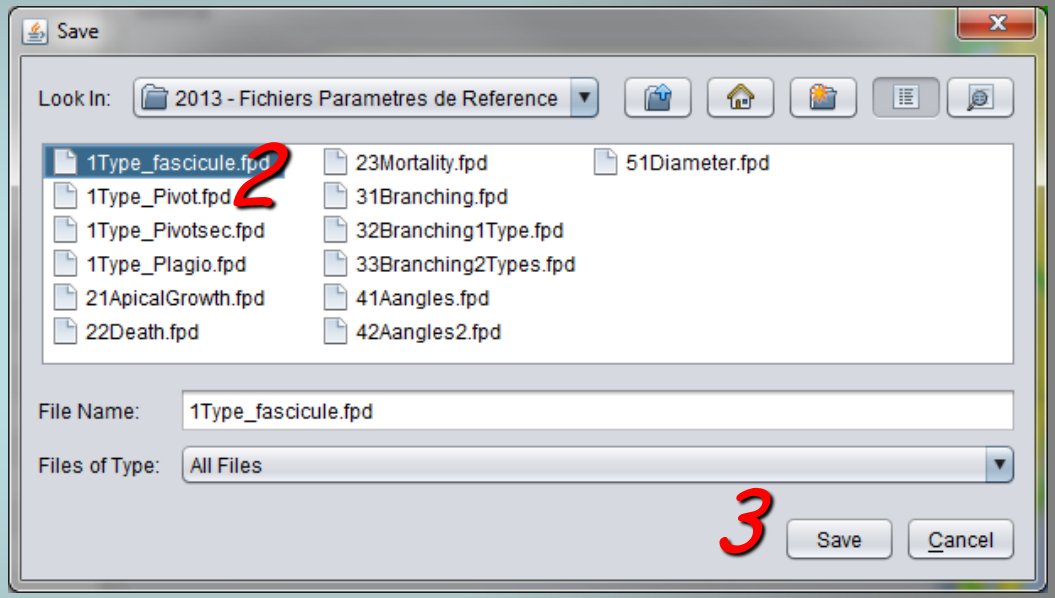


Training X01: New Simulation



Training X01: Save Parameter File





Training X01: Explore Parameter File

type

1_general | 2_topology | 3_ramification | 4_angles | 5_diameter | 6_reiteration

general

name	First Type
symbolNumber	0.0 : 1

OK Cancel

type

1_general | 2_topology | 3_ramification | 4_angles | 5_diameter | 6_reiteration

topology

VerticilleNumber	1
verticilleProba	0.0 : 1.0
growthDelay	0.0 : 0.0
growthSpeed	0.0 : 1.0
GlobalPercentOnGrowthSpeed	0.0
deathProba	10.0 : 0.0 11.0 : 1.0
PruningLag	999.0
PruningLagStdDev	0.0
PruningExceptionPercent	0.0

OK Cancel

type

1_general | 2_topology | 3_ramification | 4_angles | 5_diameter | 6_reiteration

Ramification

ramificationSets	Default_set : interRamifDistance (0.0 : 0.1;2.0 : 0.2;5.0 : 3.0;5.1 : 100.0;) typeFrequency (1 : 100.0;)

OK Cancel

type

1_general | 2_topology | 3_ramification | 4_angles | 5_diameter | 6_reiteration

angles

insertionType	RHIZOTAXY
InsertionAngle	60.0
InsertionAngleStdDev	0.0
phyllotaxyAngle	0.0 : 180.0
PhyllotaxyAngleStdDev	0.0
DeviationAngle	3.0
DeviationAngleStdDev	1.0
BoundingVerticalConeAngle	45.0
BoundingHorizontalConeAngle	45.0
BoundingConeLength	2.0
finalAbsoluteDirectionToVerticalList	0.0 : 0.0
bendingLengthList	0.0 : 0.0

OK Cancel

type

1_general | 2_topology | 3_ramification | 4_angles | 5_diameter | 6_reiteration

diameter

InitialDiameter	0.1
InitialDiameterStdDev	0.0
diameterIncreaseRatio	0.0 : 15.0 10.0 : 1.0
diameterIncreaseTime	0.0 : 10.0
diameterIncreaseDelay	0.0 : 0.0
DiameterIncreaseRatioStdDev	0.0
DiameterIncreaseTimeStdDev	0.0
DiameterIncreaseDelayStdDev	0.0

OK Cancel

type

1_general | 2_topology | 3_ramification | 4_angles | 5_diameter | 6_reiteration

reiteration

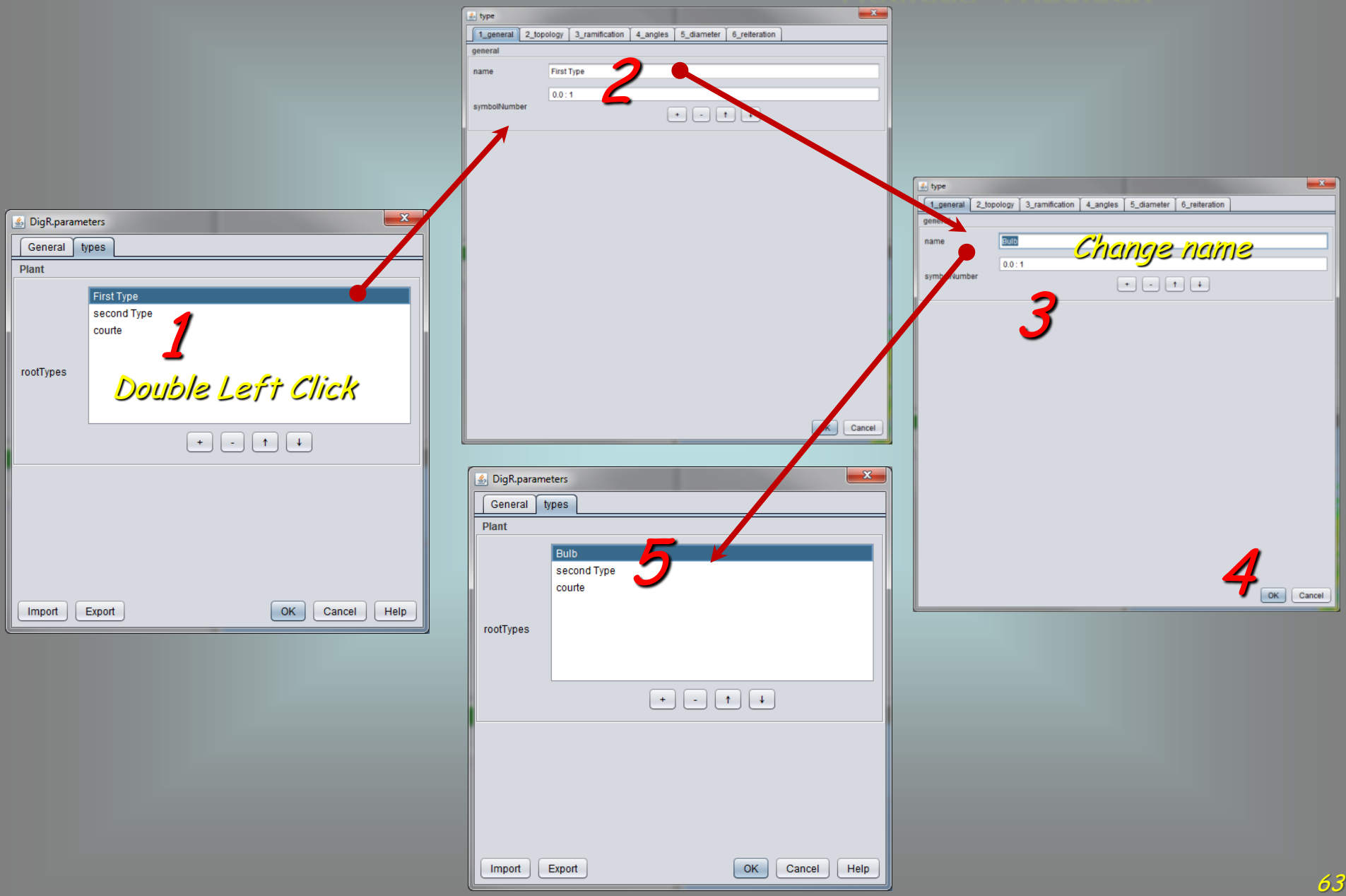
MaxReit	0
ReitAngle	30.0
Reitrhizotaxy	180.0
reitDistance	0.0 : 1.0
reitFrequency	0.0 : 100.0

OK Cancel

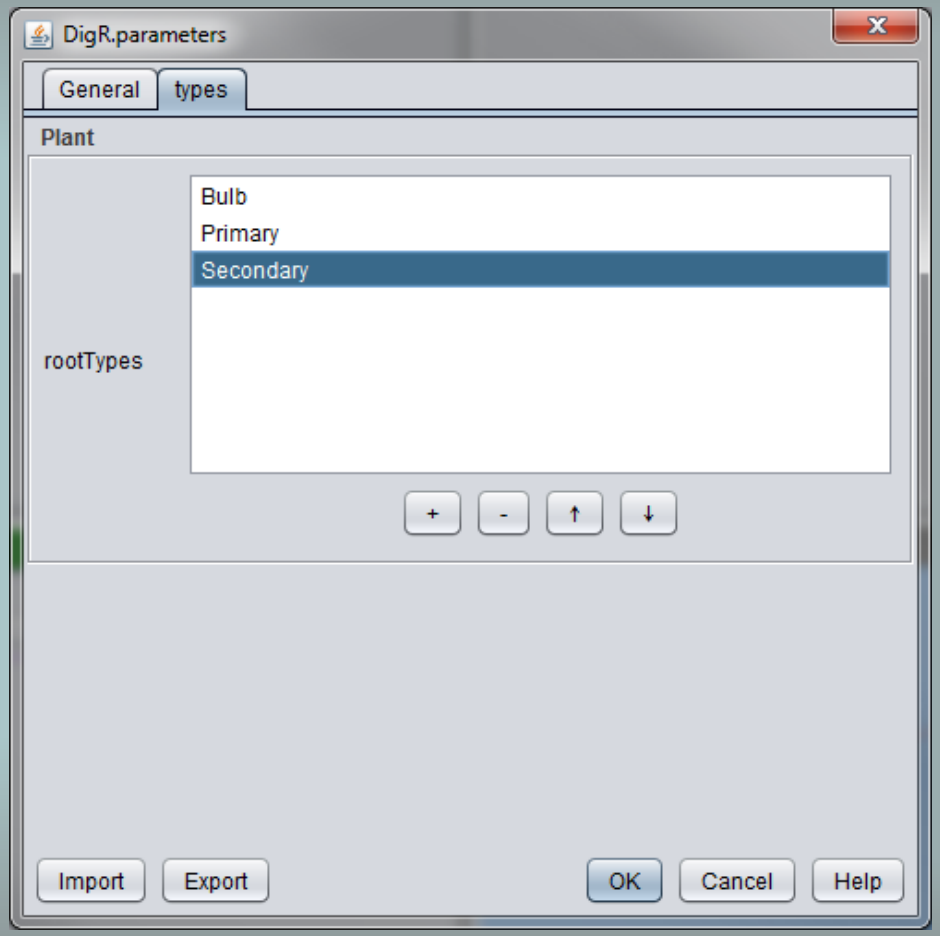
-X02-

TYPOLOGY

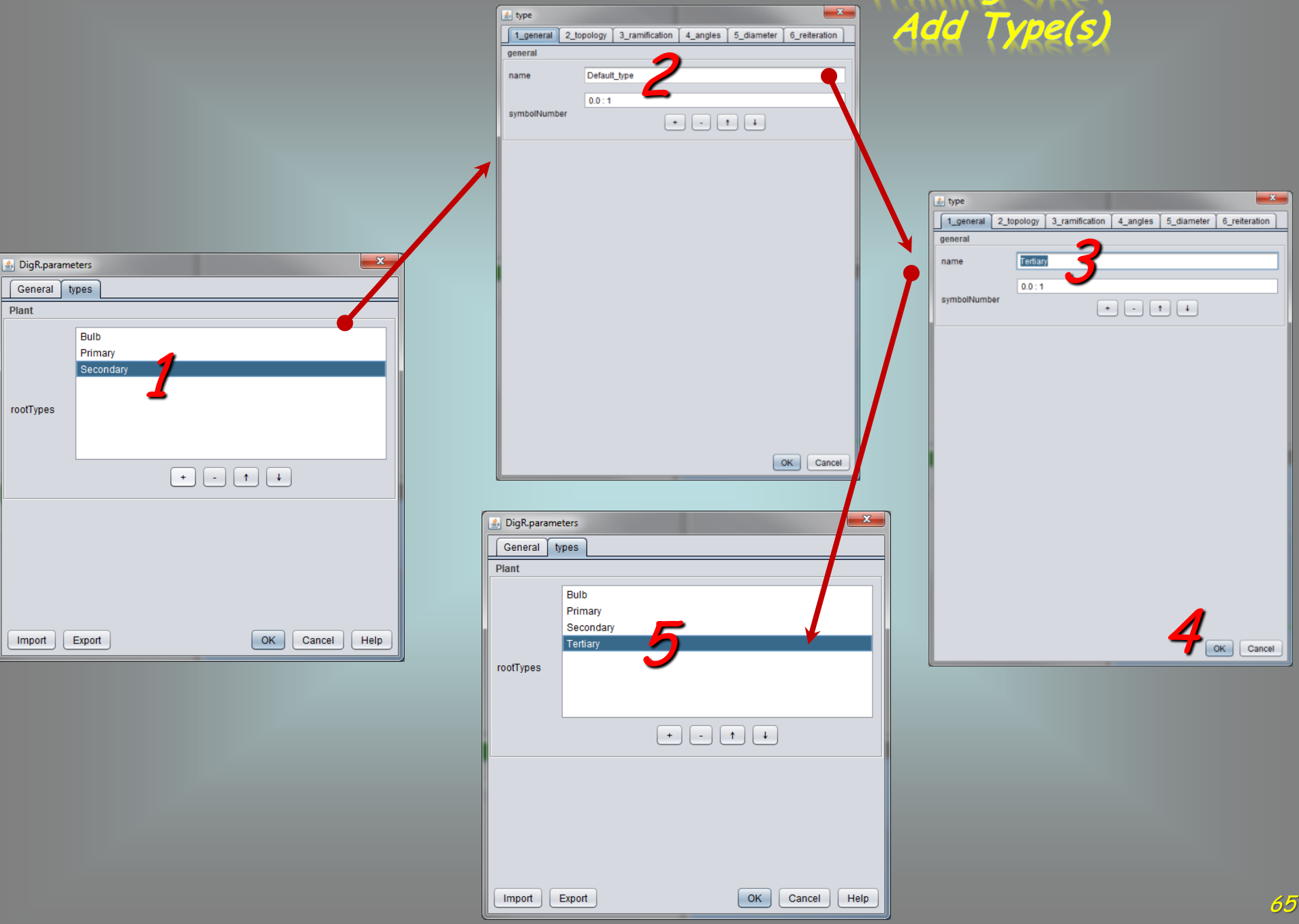
Training X02: Declare Typology



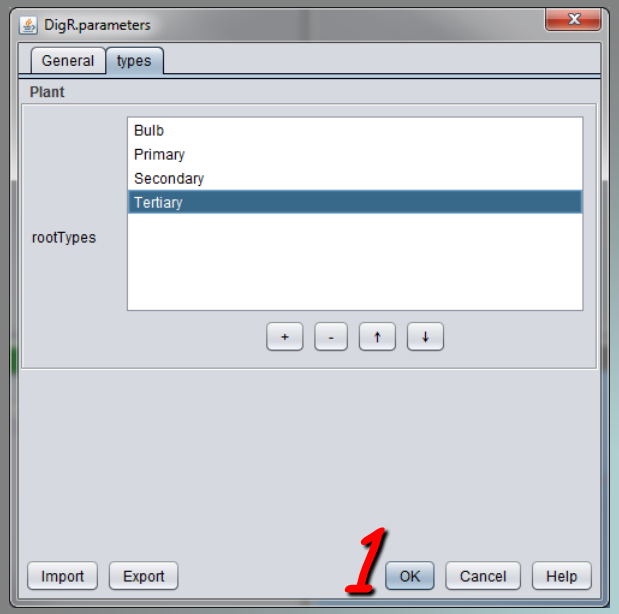
Training X02: Change Other Types

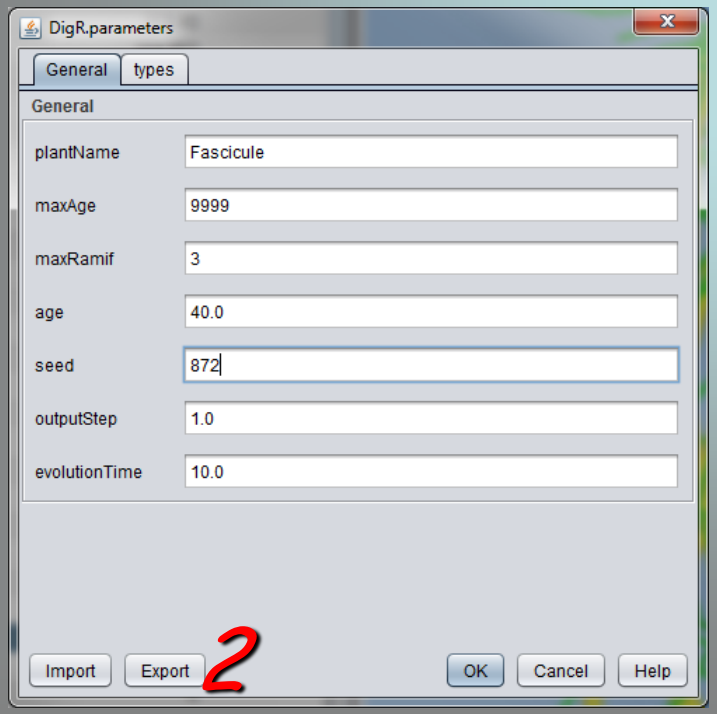


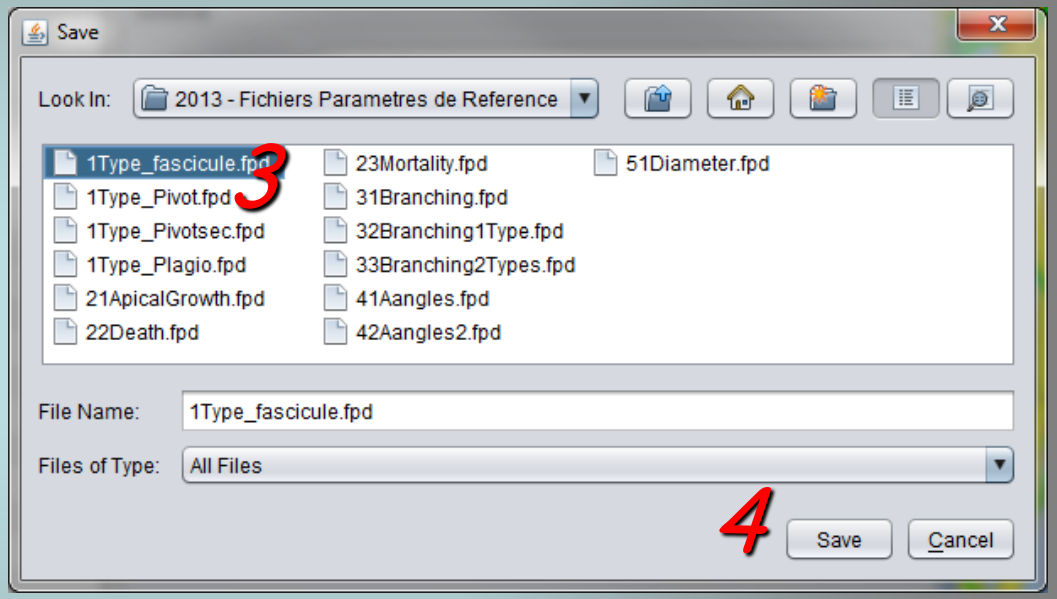
Training X02: Add Type(s)



Training X02: Save Parameter File



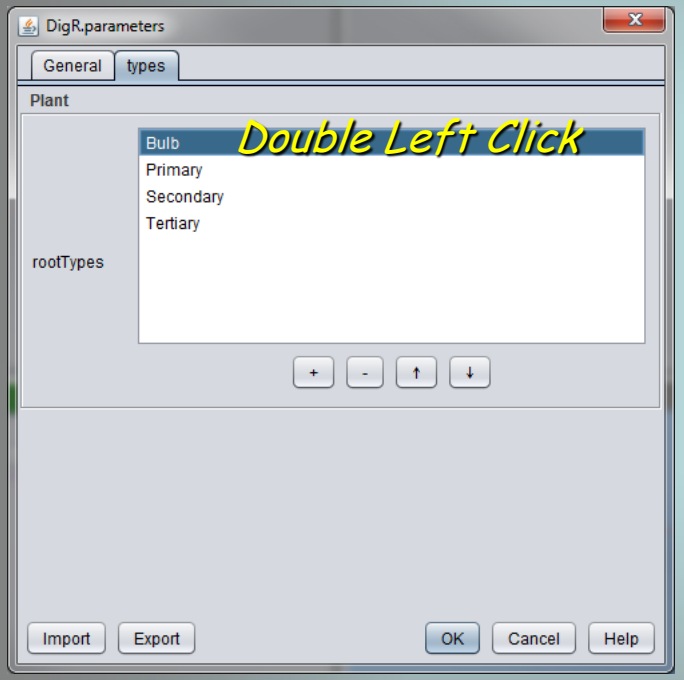


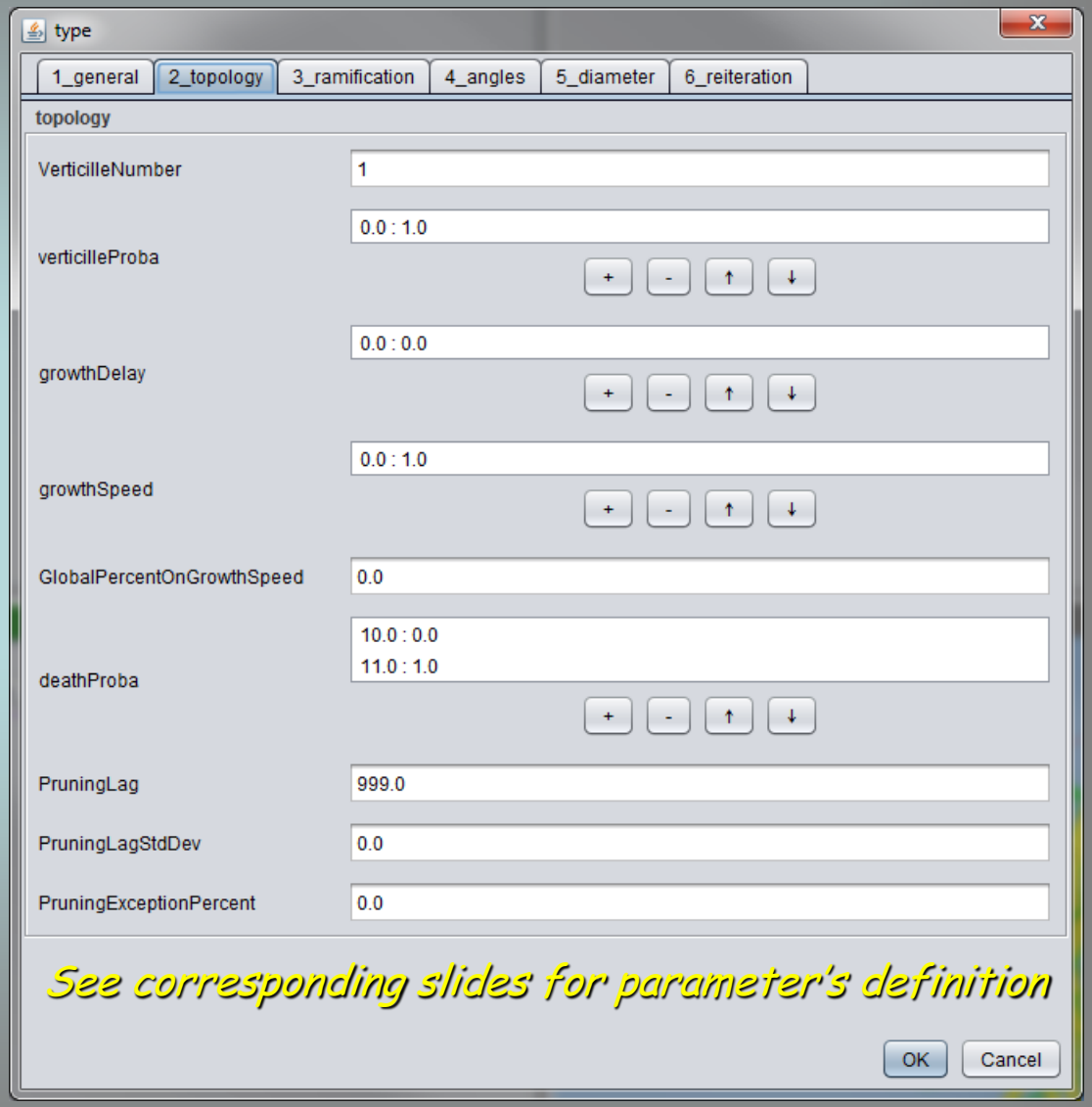


-X03-

TOPOLOGY

Training X03: Topology Parameters



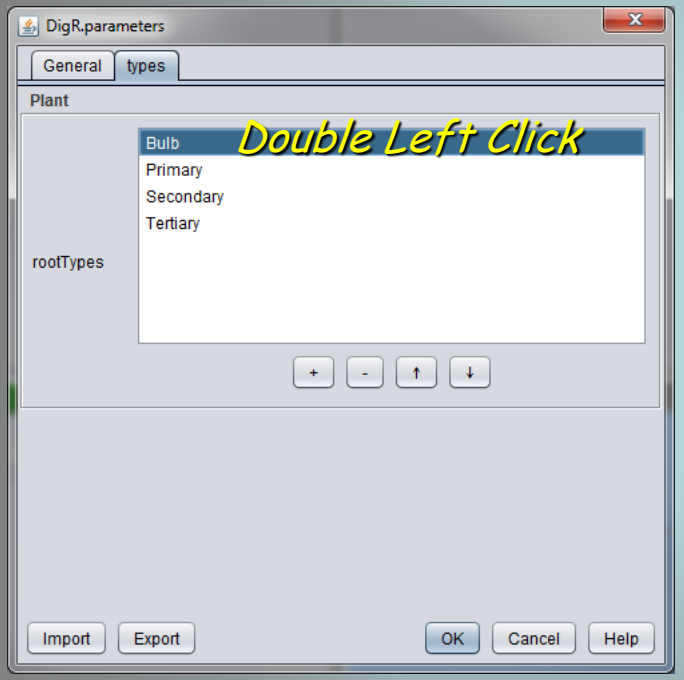


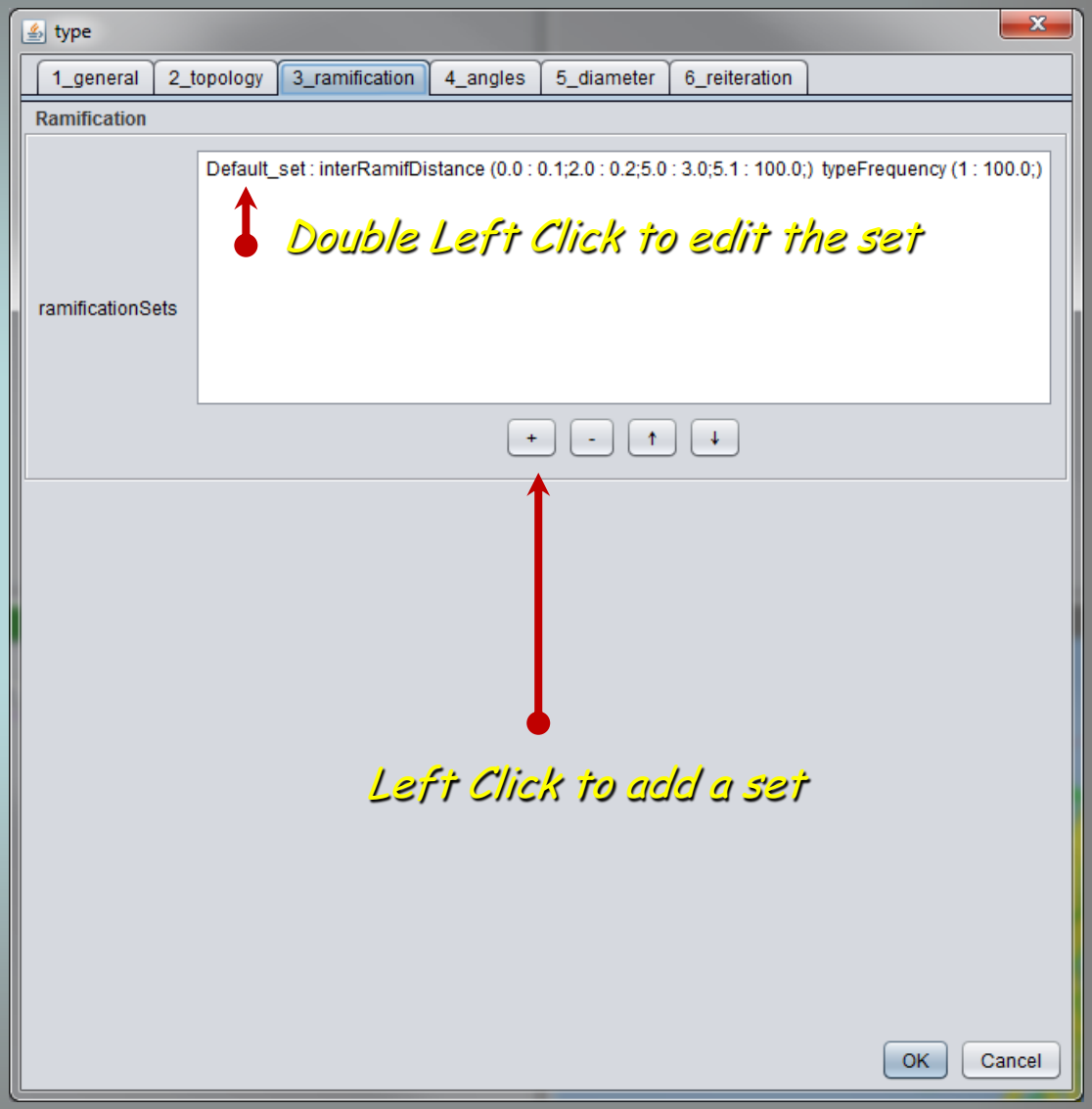
Click **TOPOLOGY_1** and **TOPOLOGY_2**

-X04-

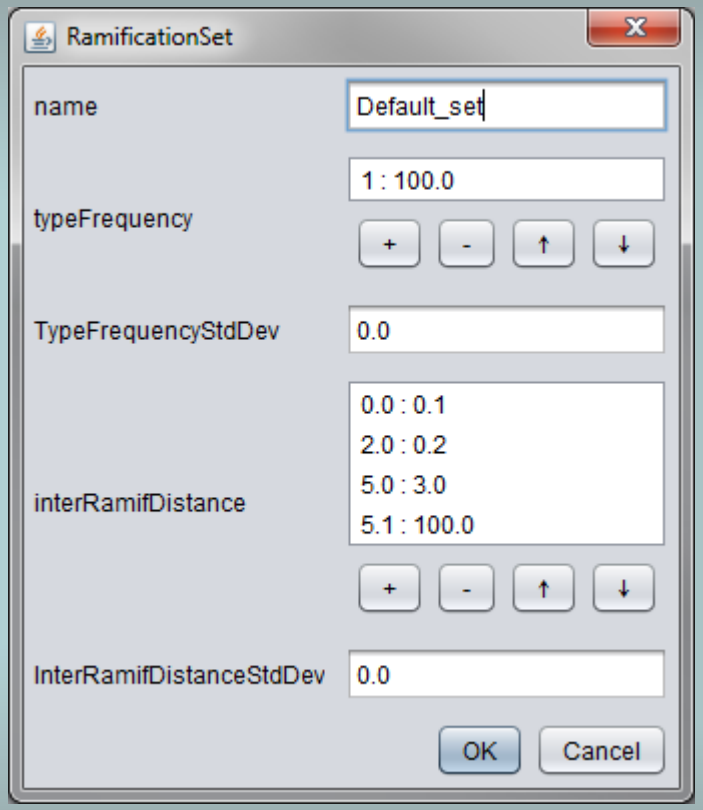
RAMIFICATION

Training X04: Ramification Parameters





Training X04: Ramification Parameters



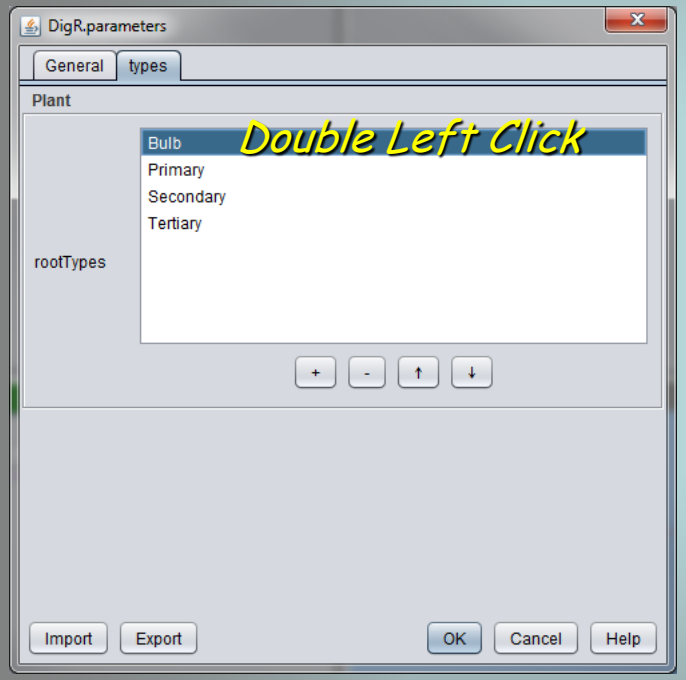
See corresponding slide for parameter's definition

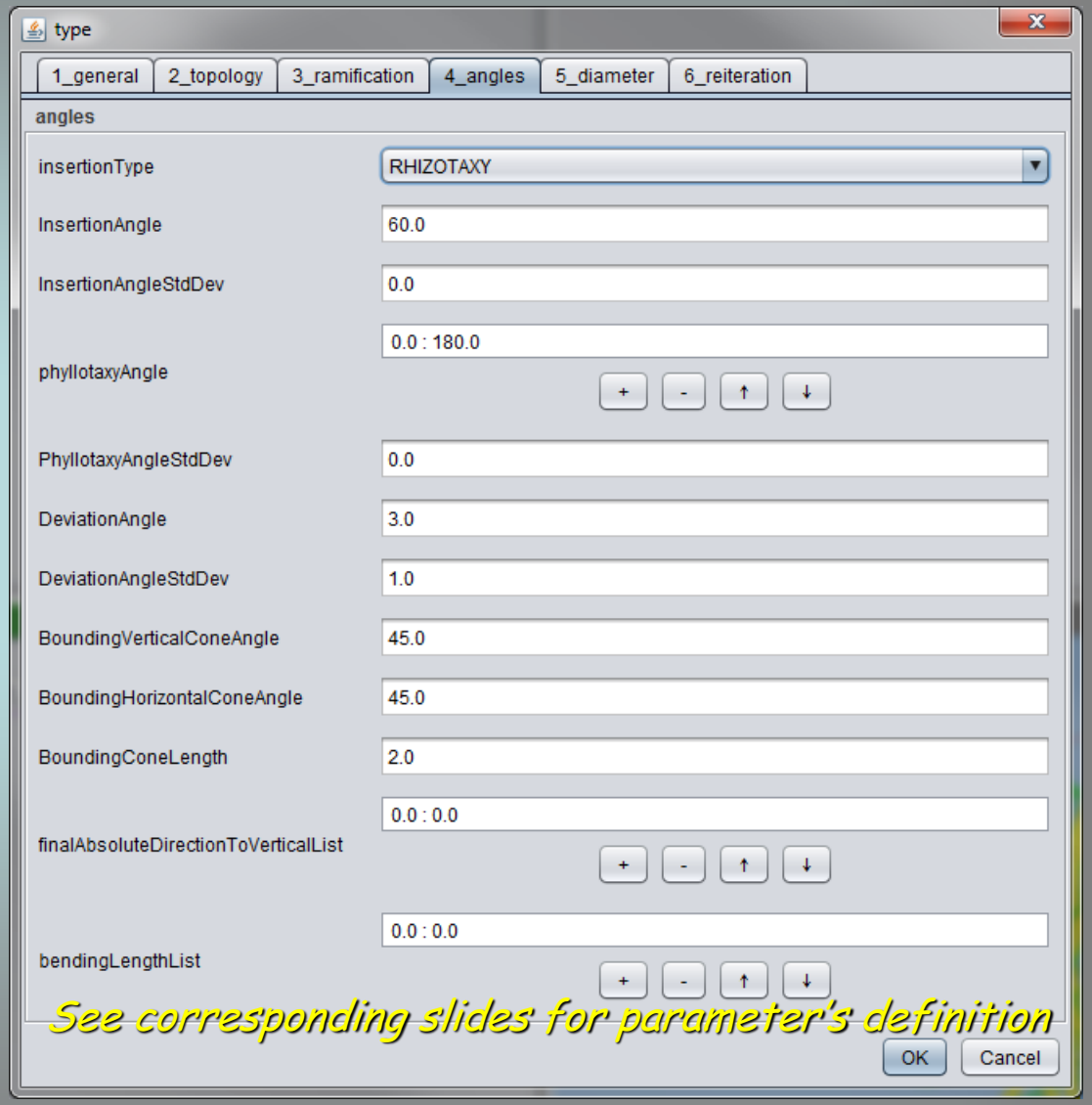
Click RAMIFICATION

-X05-

ANGLES

Training X05: Angles Parameters



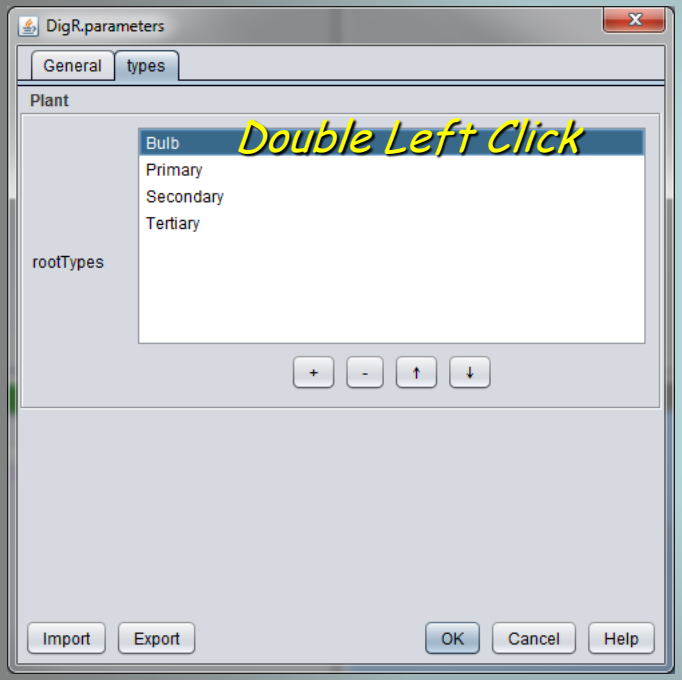


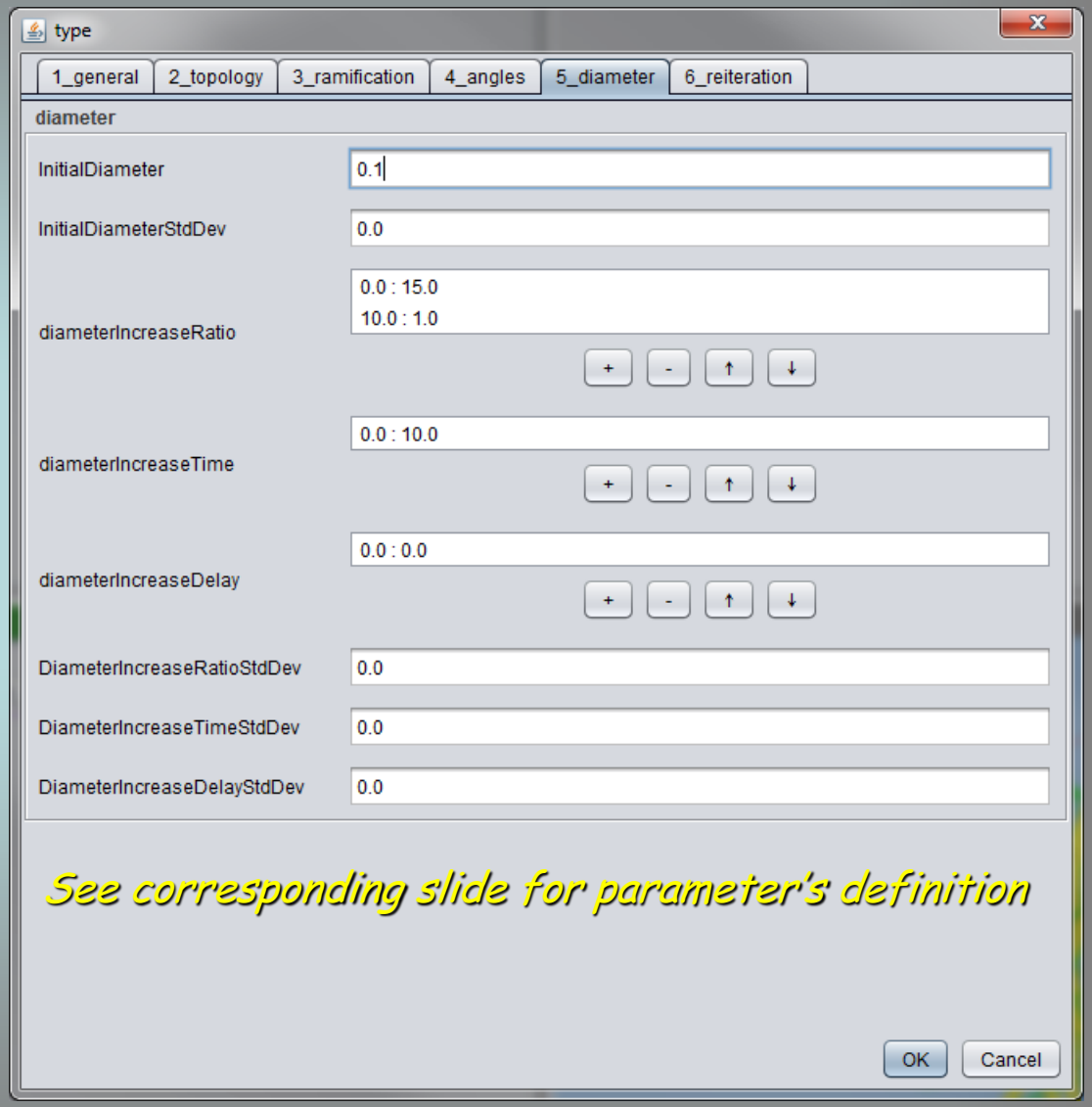
Click ANGLES_1 and ANGLES_2 and ANGLES_3

-X06-

DIAMETER

Training X06: Diameter Parameters





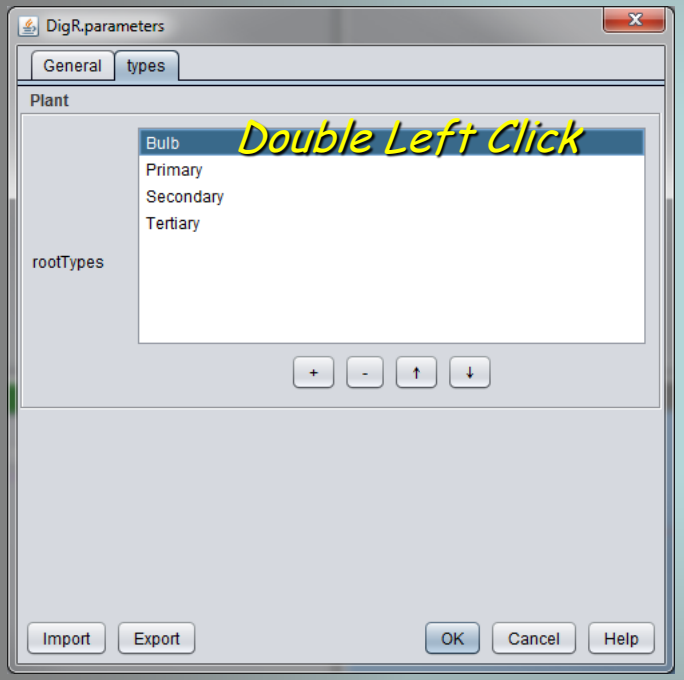
See corresponding slide for parameter's definition

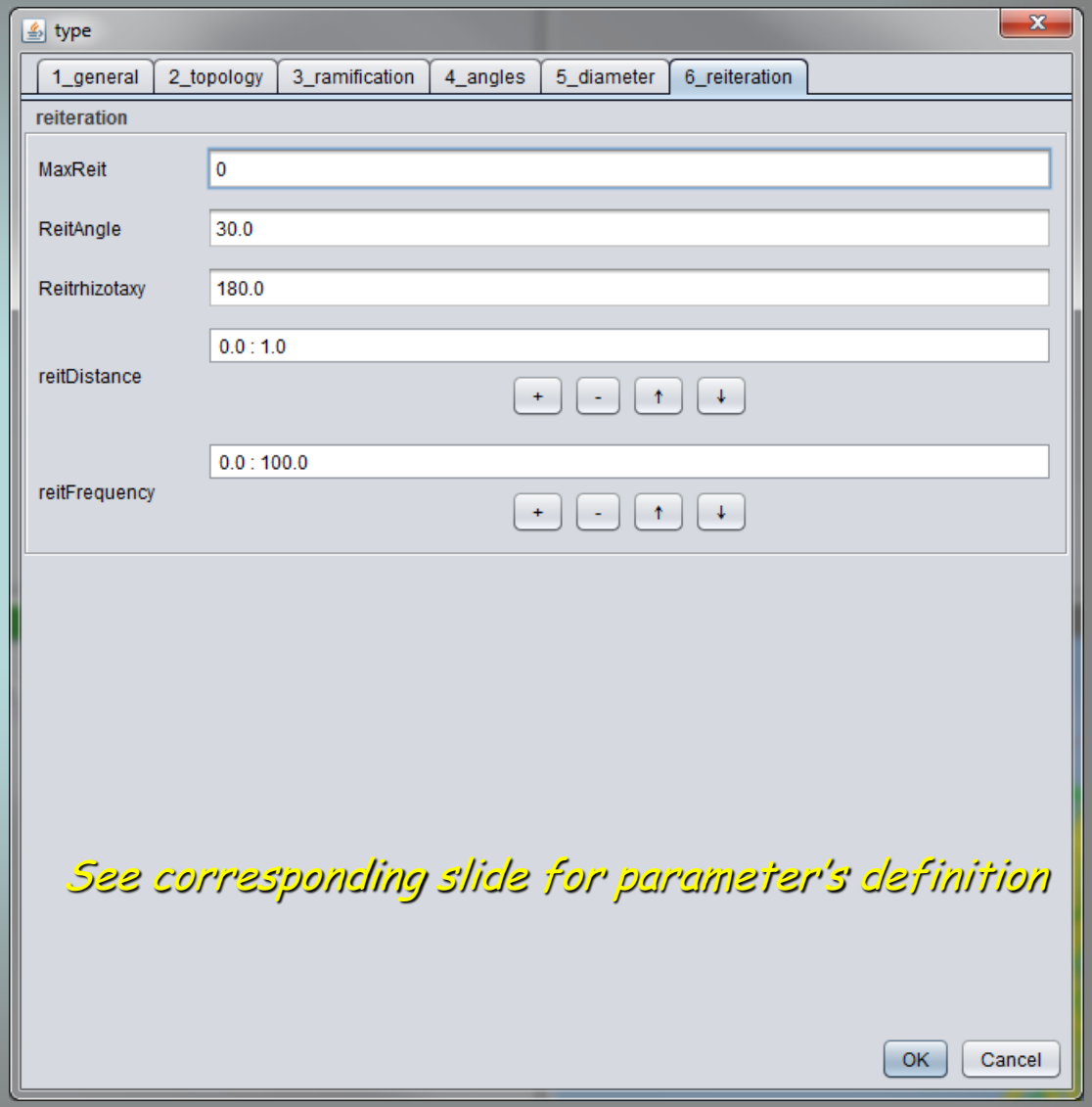
Click **DIAMETER**

-X07-

REITERATION

Training X07: Reiteration Parameters





See corresponding slide for parameter's definition

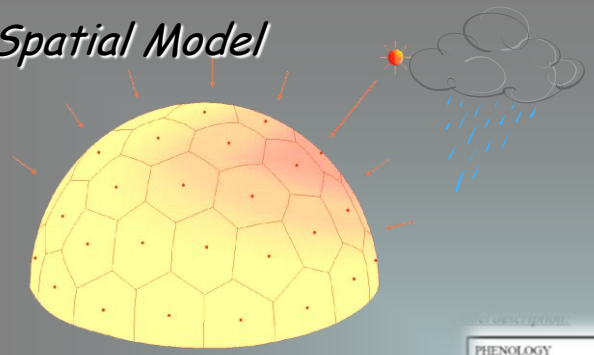
Click **REITERATION**

-X08-

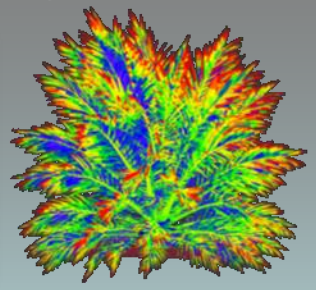
SAVE YOUR JOB!!!...

PERSPECTIVES

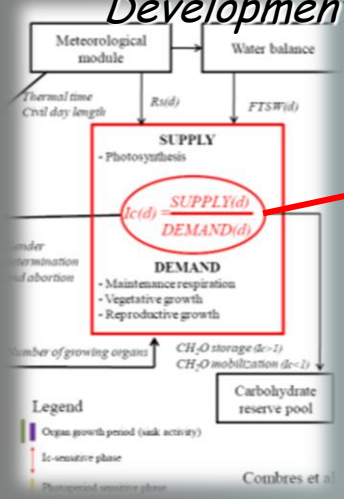
Spatial Model

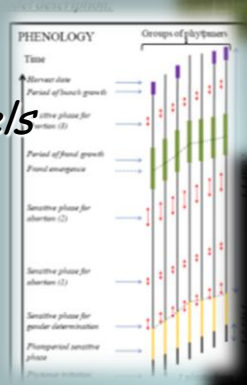


Physical Model

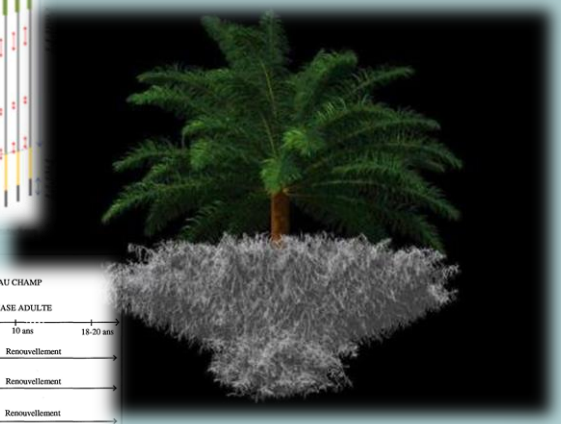


Development Models

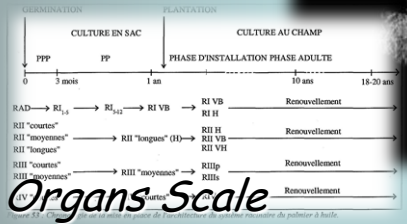




Architectural Model



Plantation Design

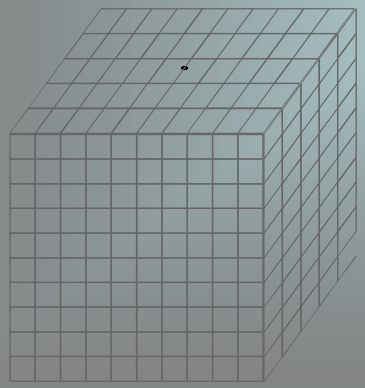


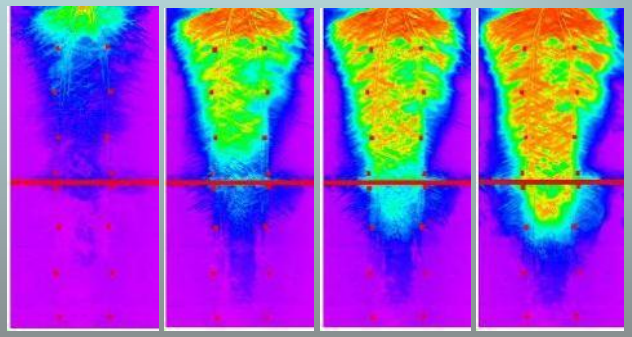
Organs Scale

Plant scale

Plot Scale

YIELD !





Nutrient acquisition Model

Soil Model

3D complete Palm-Tree Functional Model

Danke
Gracias
Grazie
Hvala
Mersi
Obrigado
Sheshe
Shoukran
Spassiba
Terimah Kasih
Thank you