

Réunion d'EcosFix de 24 mois

WP5 – Modelling of slope stability

Model structure, Achieved results, Discussion & Perspectives

Zhun Mao

05/02/2013

Carbon ecology

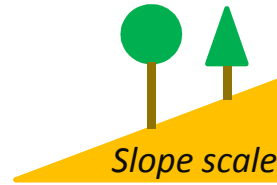
Eco-engineering

Fix

objectif,
conséquence du service



C Fixation



Shallow landslide



Erosion

when, where
how, why ?

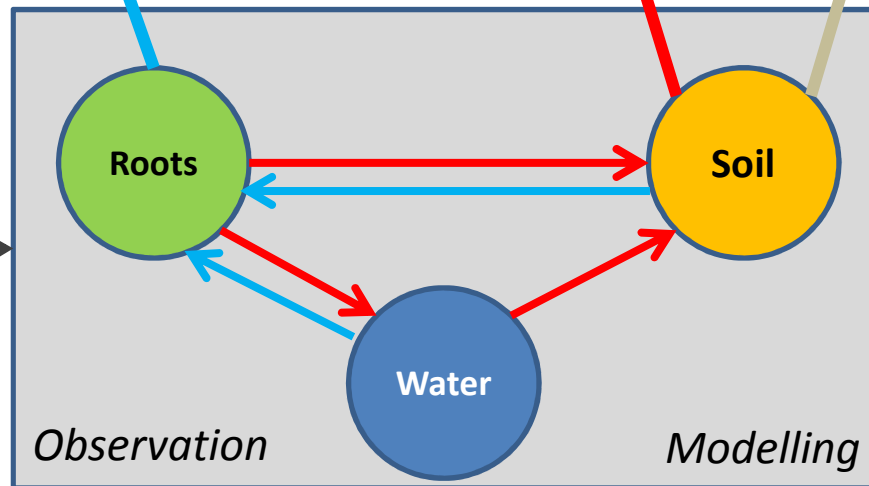
Statistical analyses

Numeric modelling & simulation

Ecoss

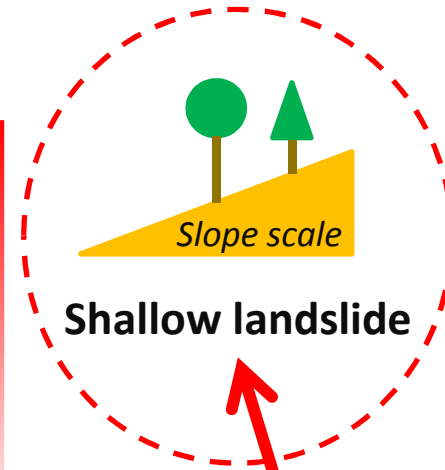
matériel, outil...

Site, time, vegetation,
treatment, scenario...

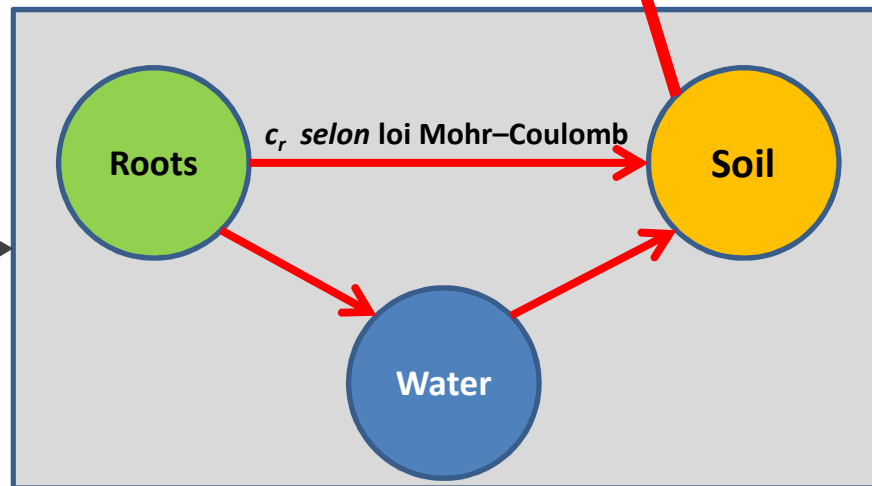


Etude 1:

- Effet racinaire → cohésion additionnelle (c_r) au sol suivant la **loi Mohr–Coulomb**
- Echelle de pente → indicateur **FoS**



Site, time, vegetation,
treatment, scenario...



Cohésion racinaire (c_r) dan la loi de Mohr–Coulomb

- Sol sans racines:

$$s = c' + \sigma \times \tan\phi$$

- Sol avec racines:

$$s' = c_r + c' + \sigma \times \tan\phi$$

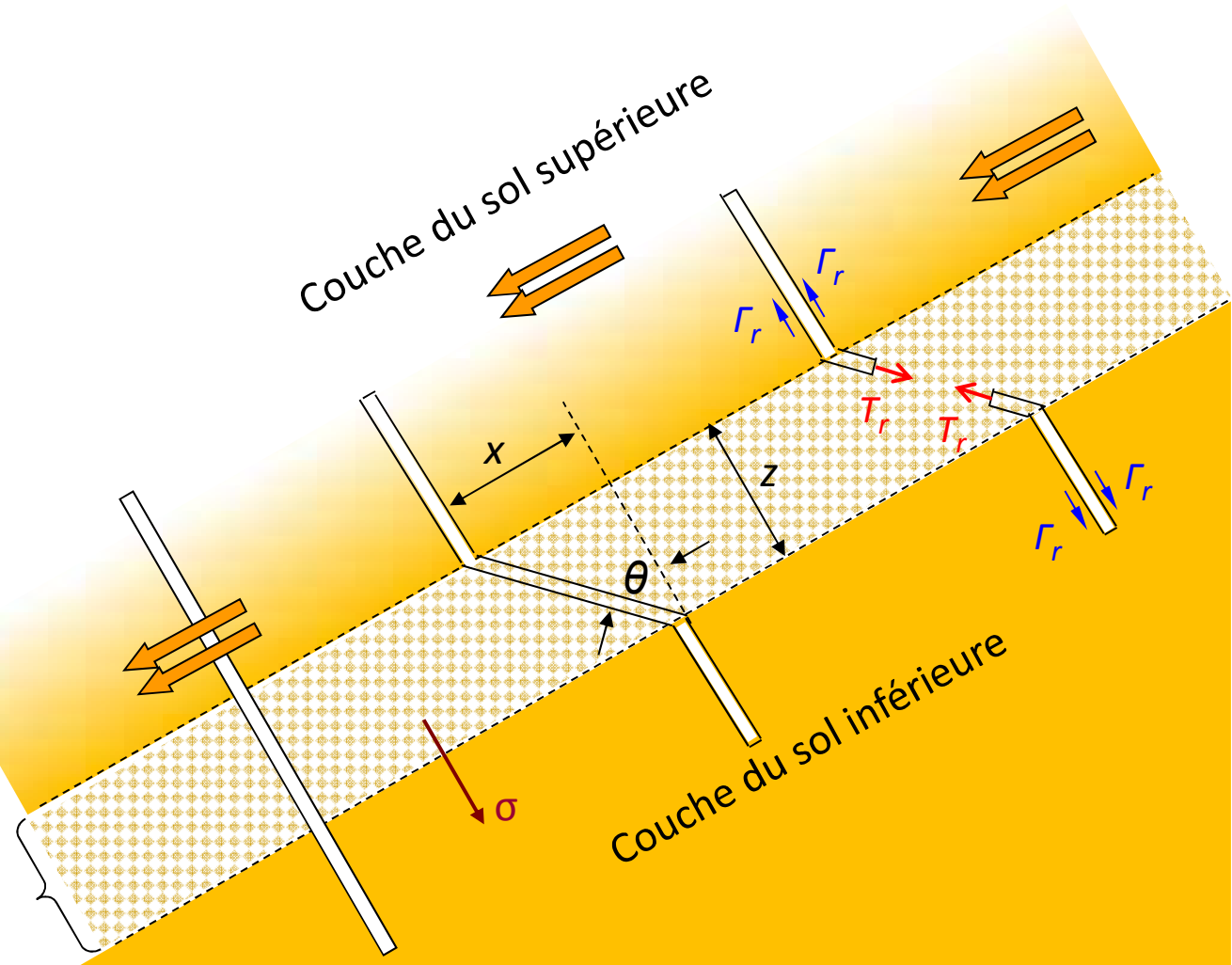
Cohésion racinaire (c_r)

Contribution à c_r

- résistance à la traction des racines
- la friction racinaire présente au niveau de la surface de cisaillement.

c_r Isotropique

Zone de cisaillement



Methodology for *FoS* (Factor of Safety) computation

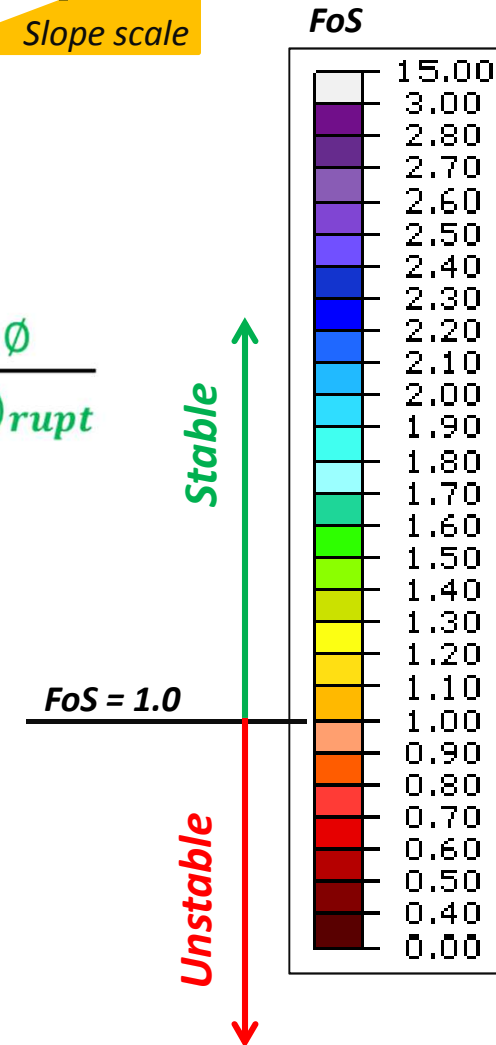
FoS: the ratio of resisting force to driving force



Shear Reduction Method

$$FoS = \frac{\tau}{\tau_{rupt}} = \frac{c + \sigma \times \tan \phi}{c_{rupt} + \sigma \times (\tan \phi)_{rupt}} = \frac{c}{c_{rupt}} = \frac{\tan \phi}{(\tan \phi)_{rupt}}$$

FoS : un indicateur global (soit à l'échelle d'une pente)?



Incorporating 3D spatialization into numerical eco-engineering model:
a case study on the impacts of montane forest management on slope stability

Contributors : Zhun Mao, Franck Bourrier, Alexia Stokes, Thierry Fourcaud

1.1 Pourquoi cette étude ?

Situation de l'étude

Originalité de l'étude

- Gestion des forêts de montagne:

- Glissement de Terrain superficiel fréquent dans les Alpes
- Rareté des études sur GT
- Peu d'infos concernant la gestion forestière orientée « anti- GT »

- Cas d'études sur un écosystème de montagne

- Utilisation de données mesurées *in situ*
- Effet de Scénario de gestion forestière

- Modélisation

- Modèle 2D
2D: Abernethy & Rutherford, 2000 ; Genet et al., 2008; 2010;
Pollen-Bankhead & Simon, 2009; Hubble et al., 2010;
Schwarz et al., 2010; Ji et al., 2012.
3D: Kokutse et al., 2006; Lin et al., 2010; Fan & Lai, 2013.

- Modèle 3D

- Spatialisation simple des inputs (soit propriétés sol et racine) dans l'espace (e.g. à l'échelle de couche du sol → pseudo-3D); (semi-) manuelle
- Visualisation grossière des outputs (une valeur de FoS pour toute la pente)
- Spatialisation fine à l'échelle des éléments finis, 3D, automatique
- Visualisation fine des outputs (FoS spatialisé)

1.2 Objectif de l'étude

Nous voulons faire :

- Tester l'impact d'une liste de facteurs sur la stabilité de pente;
 - Géomorphologie de la pente (angle, prof. de sol);
 - Scénario de gestion forestière;
 - Endroit d'opération d'un scénario;
 - Type de distribution racinaire sur un profil.

- Montrer l'intérêt des modèles en 3D tenant compte d'une spatialisation fine sur inputs et outputs.

Discussion concernant

- Comment mieux gérer la forêt de montagne contre **GT** ? (ingénieurs)

- Comment mieux échantillonner et caractériser des racines dans le contexte de l'éco-ingénierie? (scientifiques)

- Comment mieux choisir les modèles ? (modélisateurs)

2.1 Localisation du site d'études

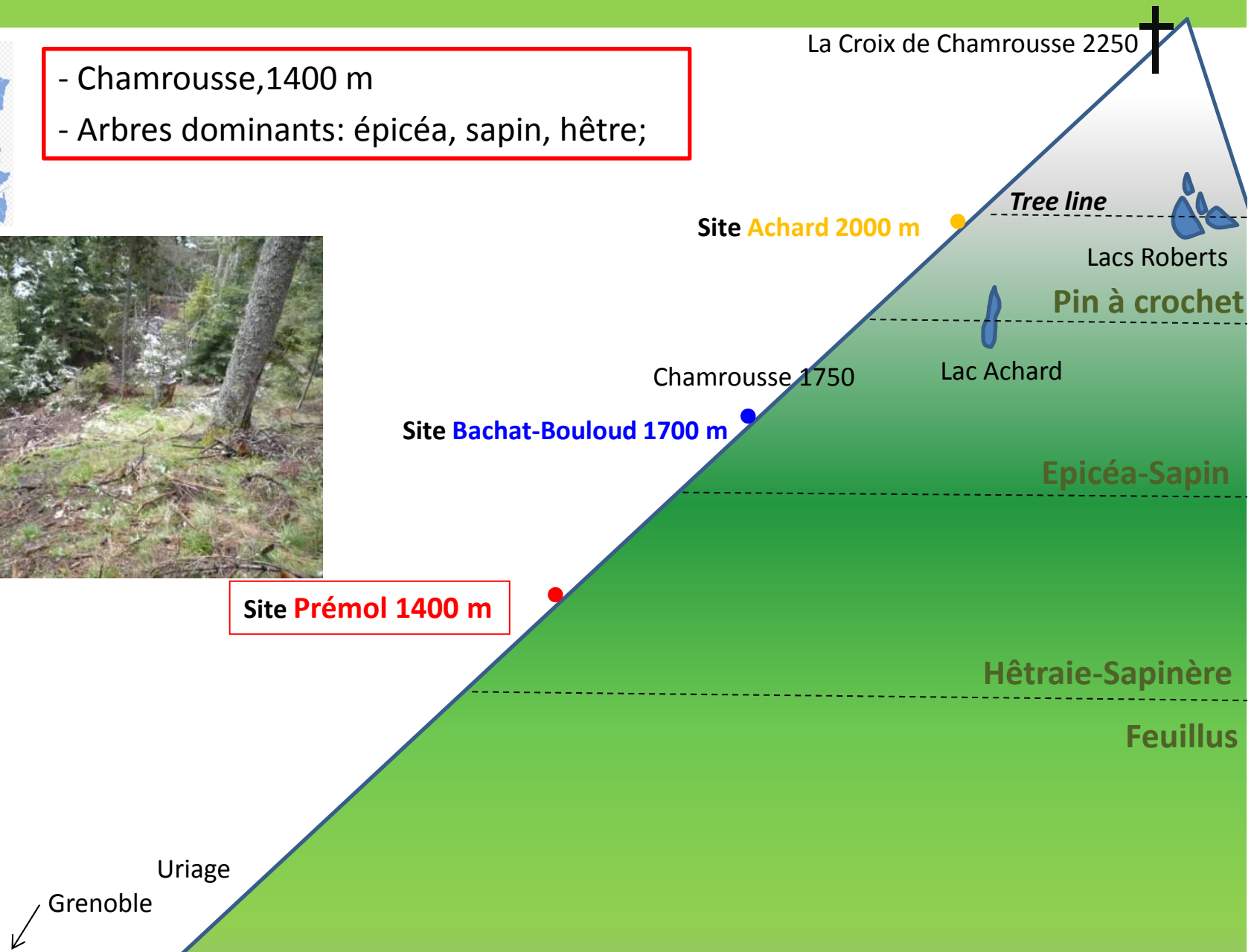
Source: Google & Wikipédia



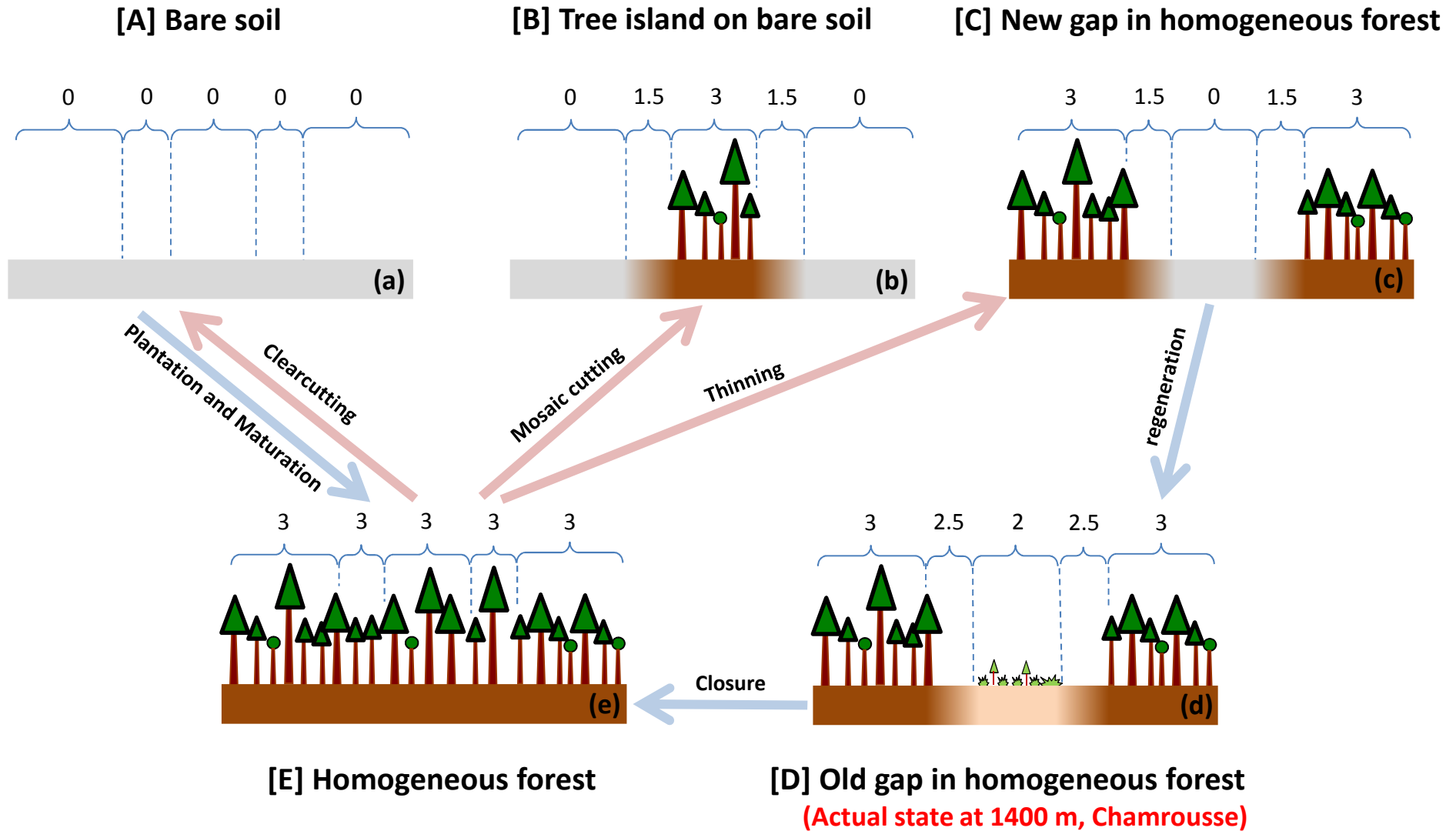
- Chamrousse, 1400 m
- Arbres dominants: épicéa, sapin, hêtre;



Photos prises par Z. Mao, J. Nespoulous

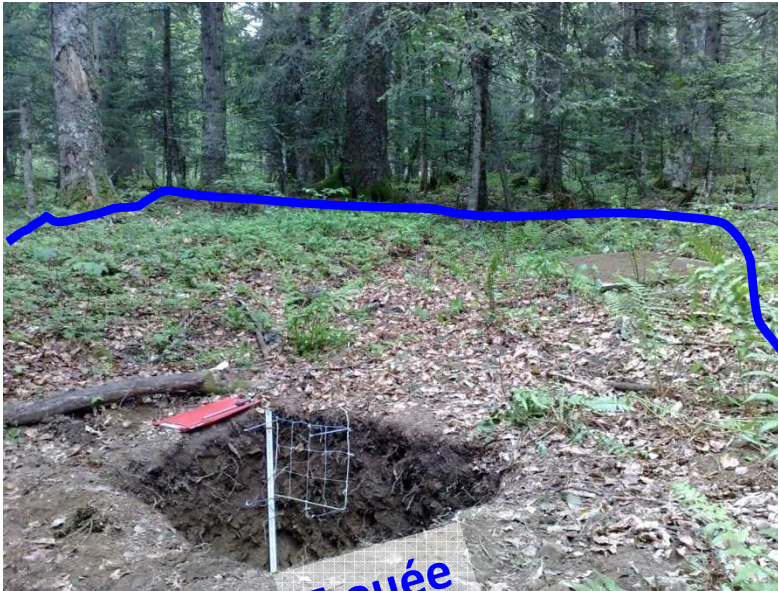


2.2 Forestry management scenarios → 5 snapshots



- From [A] to [E], an increasing root biomass and underground carbon.
- Horizontal heterogeneity of root density: no in [A] [E] but yes in [B], [C], [D].

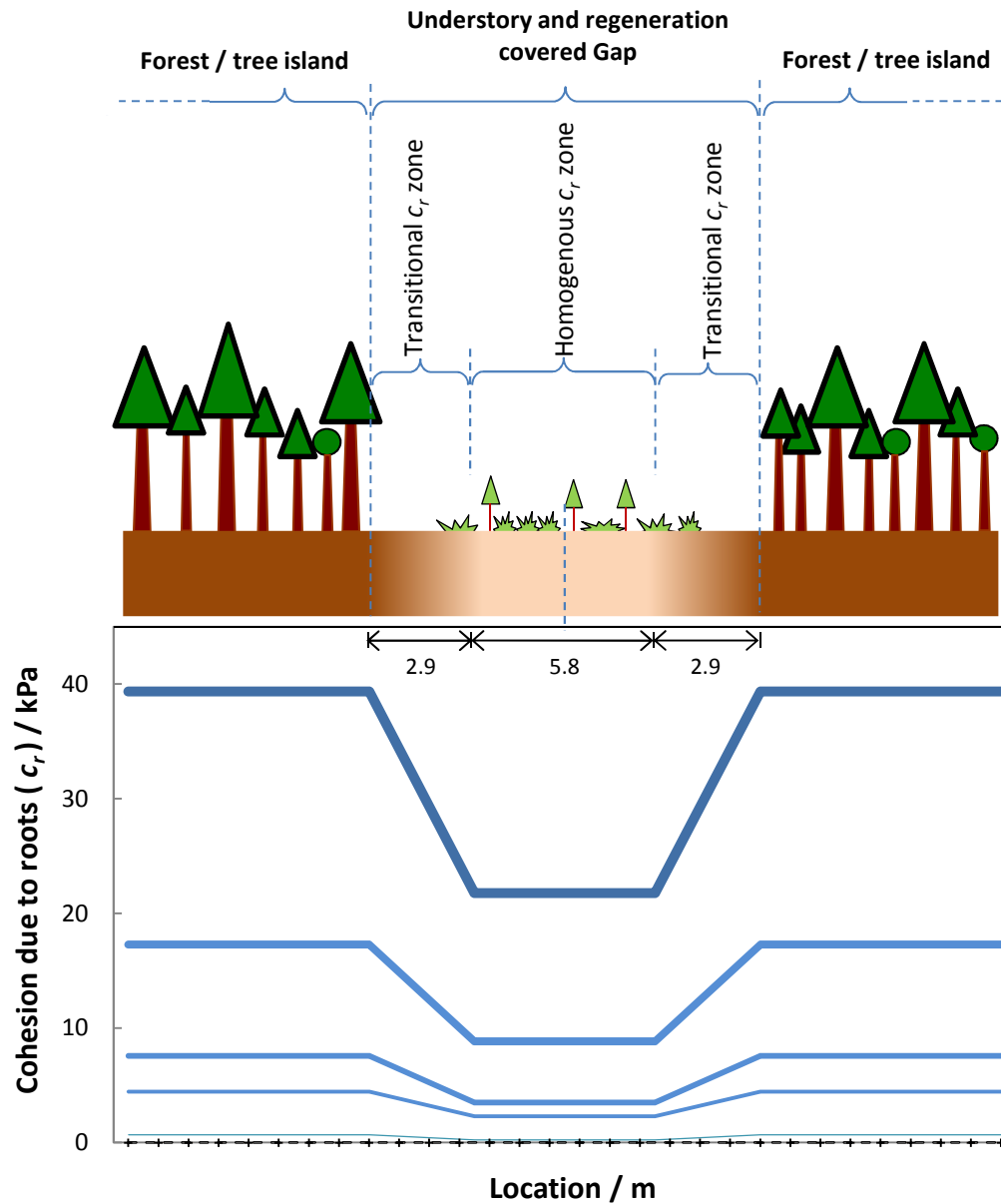
2.3 Photos - Gap and tree island



îlots et **trouées**

Trouée et îlot à Prémol (1400 m)

2.4 c_r in snapshot [D] Old gap in homogeneous forest

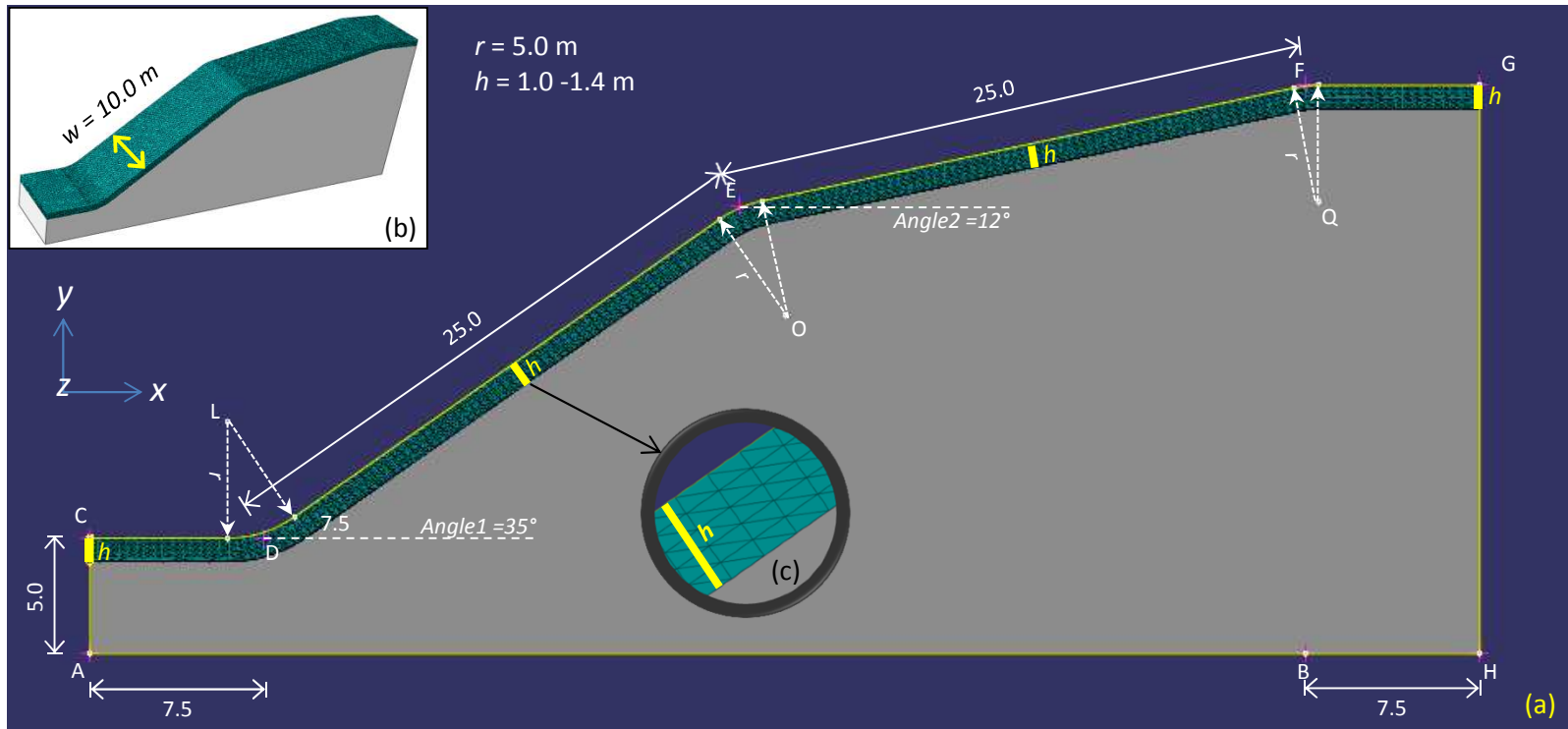


- Data from:
Mao et al., 2012, Eco. Eng.

- $c_r \rightarrow$ root density

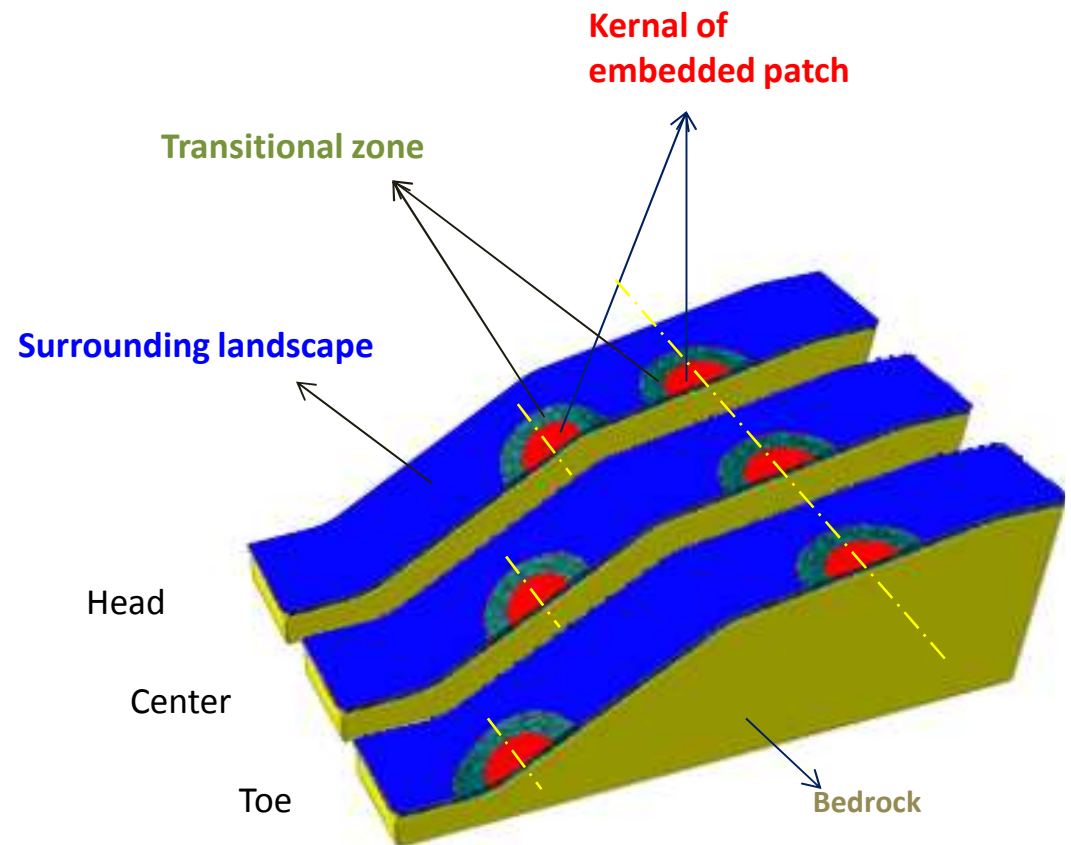
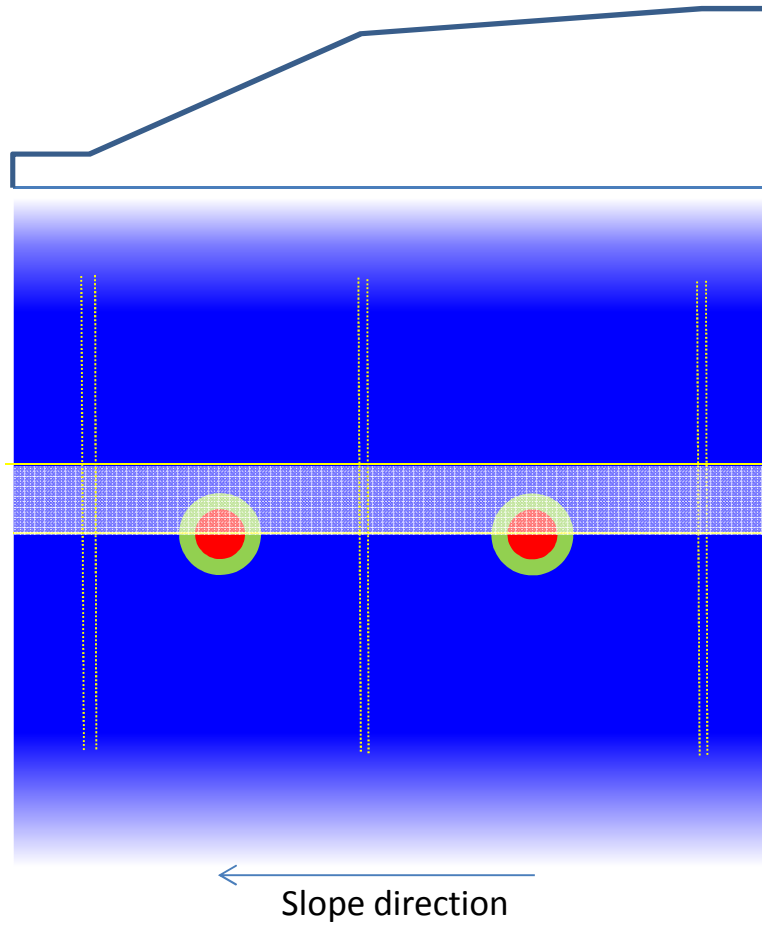
- For « New gap »: $c_r = 0$ kPa
avec interpolation

2.5 Dimension of the slope model

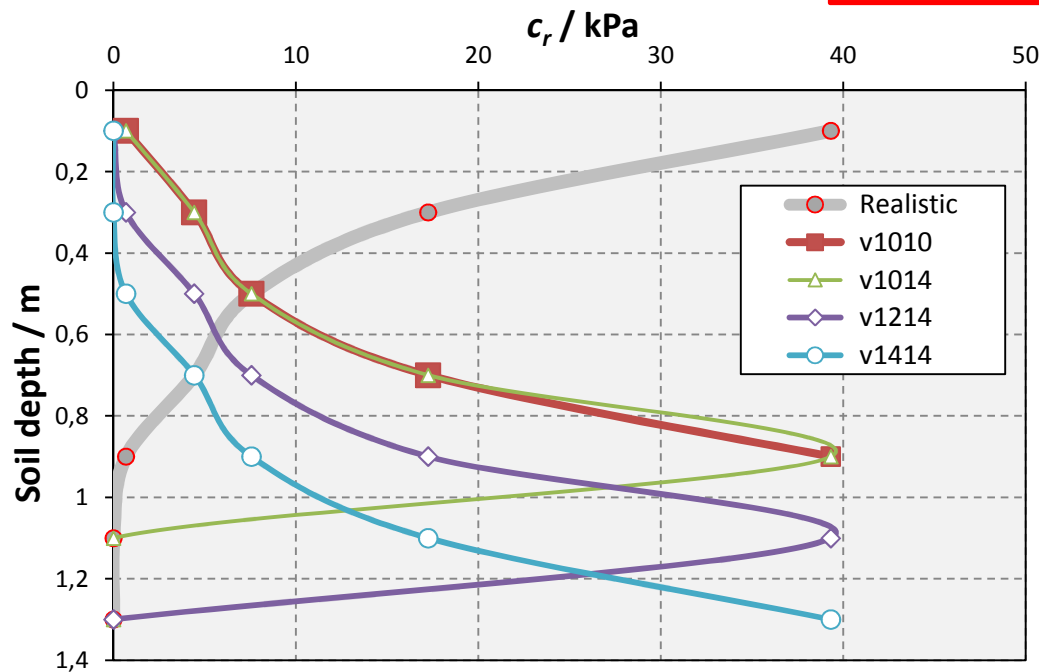
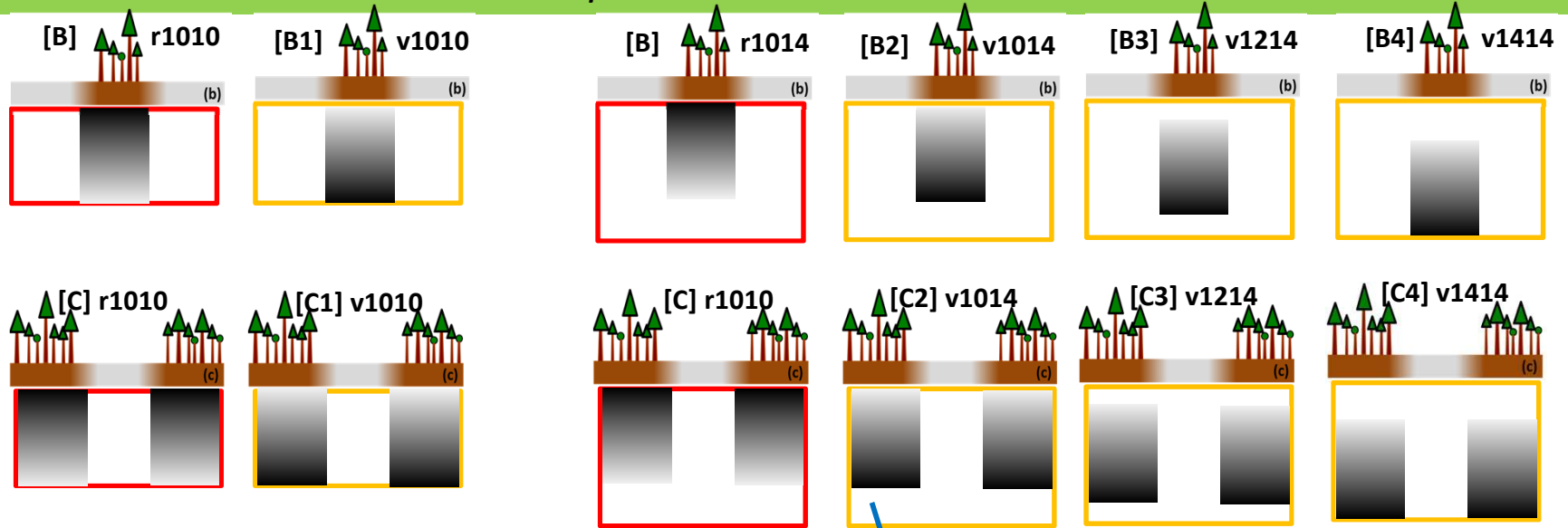


- 2 slopes have the same length : 25.0 m but different angles: 35° versus 12°.
- Only one patch put on each slope;
- 2 depths of maximal soil depth used : $h = 1.0$ m versus $h = 1.4$ m
- Only soil layer meshed with nodes on bed rock clamped in all degrees of freedom

2.6 Location of the embedded patch



2.7 Effect of different c_r -distribution

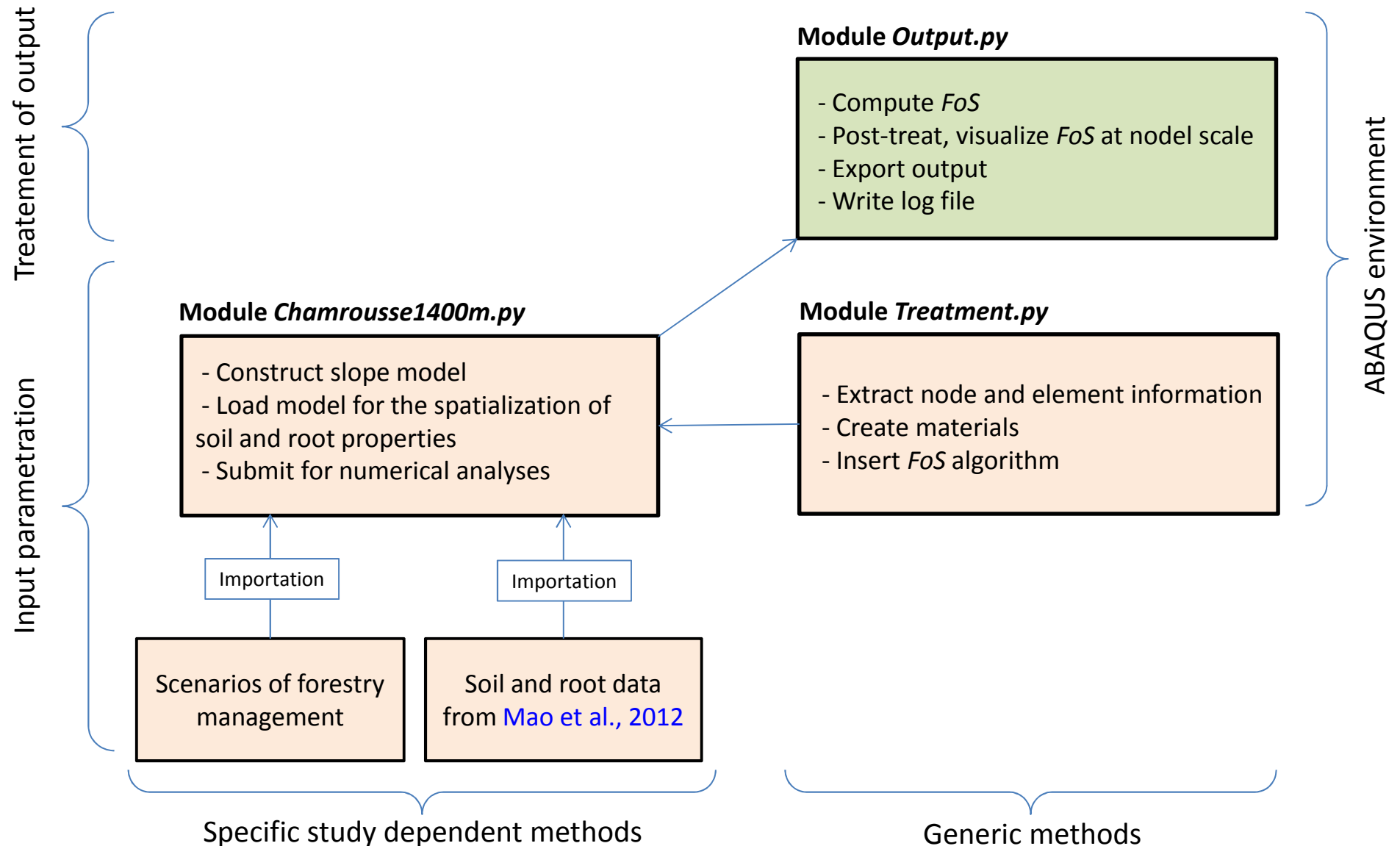


$h - hr = 0.4 \text{ m}$ $h - hr = 0.2 \text{ m}$ $h - hr = 0.0 \text{ m}$

$h - hr$

h : maximal soil depth
 hr : maximal rooting depth

2.8 Structure of model: *Python* modules in *Abaqus* Envir.



2.9 Liste de facteurs:

- Pentes: 12° , 35°
- Profondeur maxi de sol : $h = 1.0$ m, $h = 1.4$ m
- Snapshots: [A], [B], [C], [D], [E]
- Localisation du patch : Head, Center, Toe
- Distribution de cr : [B], [B1], [B2], [B3], [B4]
[C], [C1], [C2], [C3], [C4]

Résultats

Questions à répondre		Dans la modélisation	Dans la gestion de montagne contre le glissem. de terrain	Dans les études de recherche sur racines dans l'éco-Ingénierie
Q1: "Where is vegetation efficient in slope stabilization"?	6	- Effect déterminant de la géomorphologie	- Pas nécessaire de stabiliser l'intérieur d'une pente trop faible	- Echantillonnage dans les « hotspot » de fragilité pour que les données soient plus représentatives.
	7	- Végétation moins efficace sur sol trop profond	- Stabiliser le joint entre deux pentes - Civil engineering	- Et rhizotrons de Chamrousse?
Q2: "Which type of c_r distribution increases efficiently the slope stability"?	6	- Végétation a un effet positif mais limité.	- Sélectionner espèces ayant racines profondes, e.g. arbres avec pivo	- Racines profondes plus intéressantes à faire l'objet d'études → vive l'ecosfix !.
	10	- Racine profonde a un effet positif, mais limité - $(h - h_r)$ est déterminant		- Cr totale ou cr par prof. n'est pas un bon indicateur pour sélectionner des espèce. - Mais comment ? β
Q3: "How to operate optimal forestry management against landslide"?	6	- Indifférent pour des espèces sans racines profondes	- Cette question moins importante que le choix d'espèces	
	8	- « Head location » entraîne moins de sol de faible FoS	- Eviter sol nu sur pente raide 6 - NG = OG - Dist < 10 m entre deux ilots 10 - Préserver des forêts à « Head ».	
Q4: "When exists interest to spatialize input and output"?	9	- Outil puissant à appliquer dans plus de cas d'étude.		
	7	- 3 cas d'exceptions		
	10	- Pente trop faible - $(h - h_r)$ trop élevé - cr moins variable horizontalement		



Fig. 6 FoS of five **realistic** snapshots [A - E]
maximal soil depth $h = 1.0$ m;
Patch location: Center.

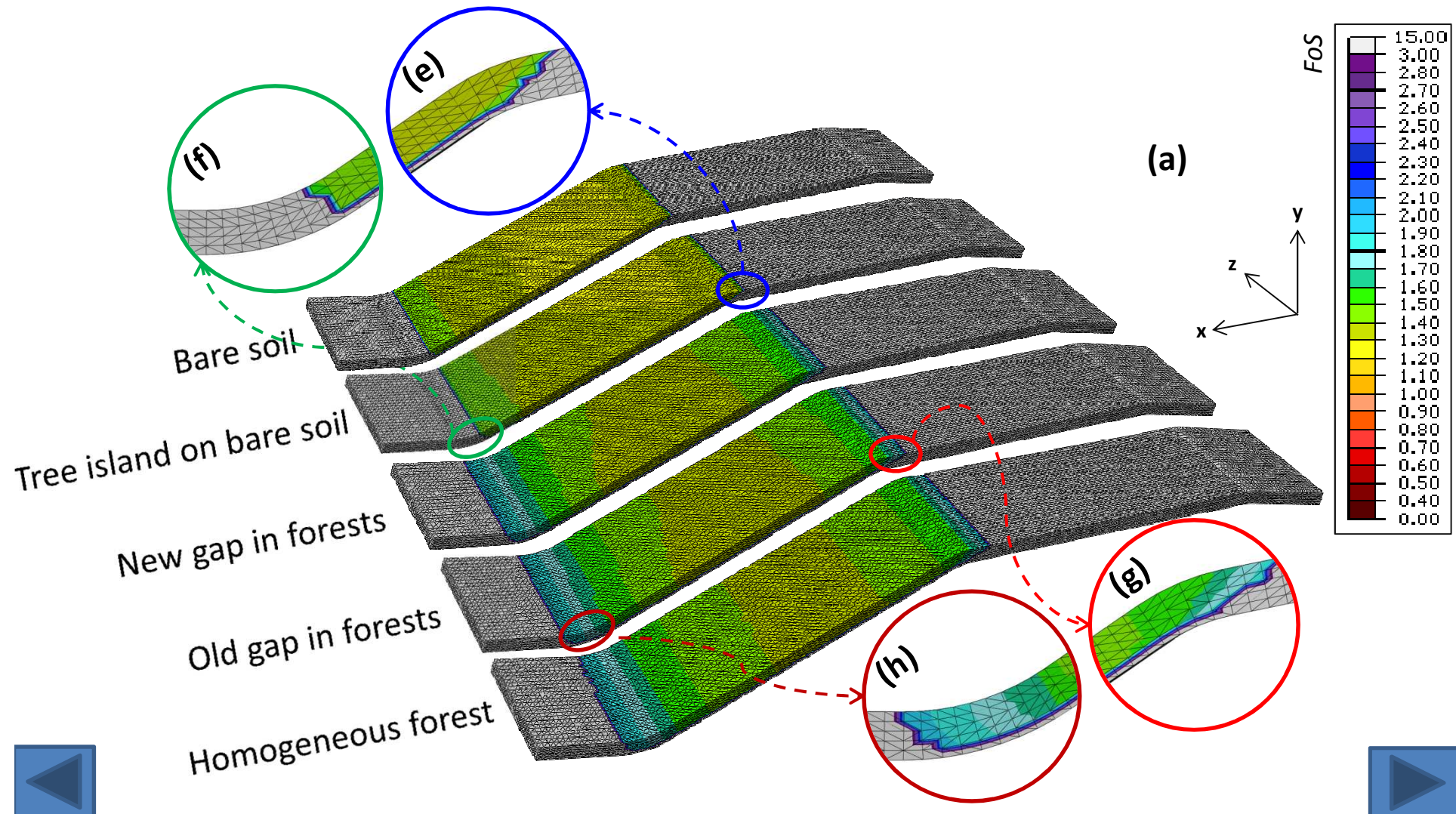
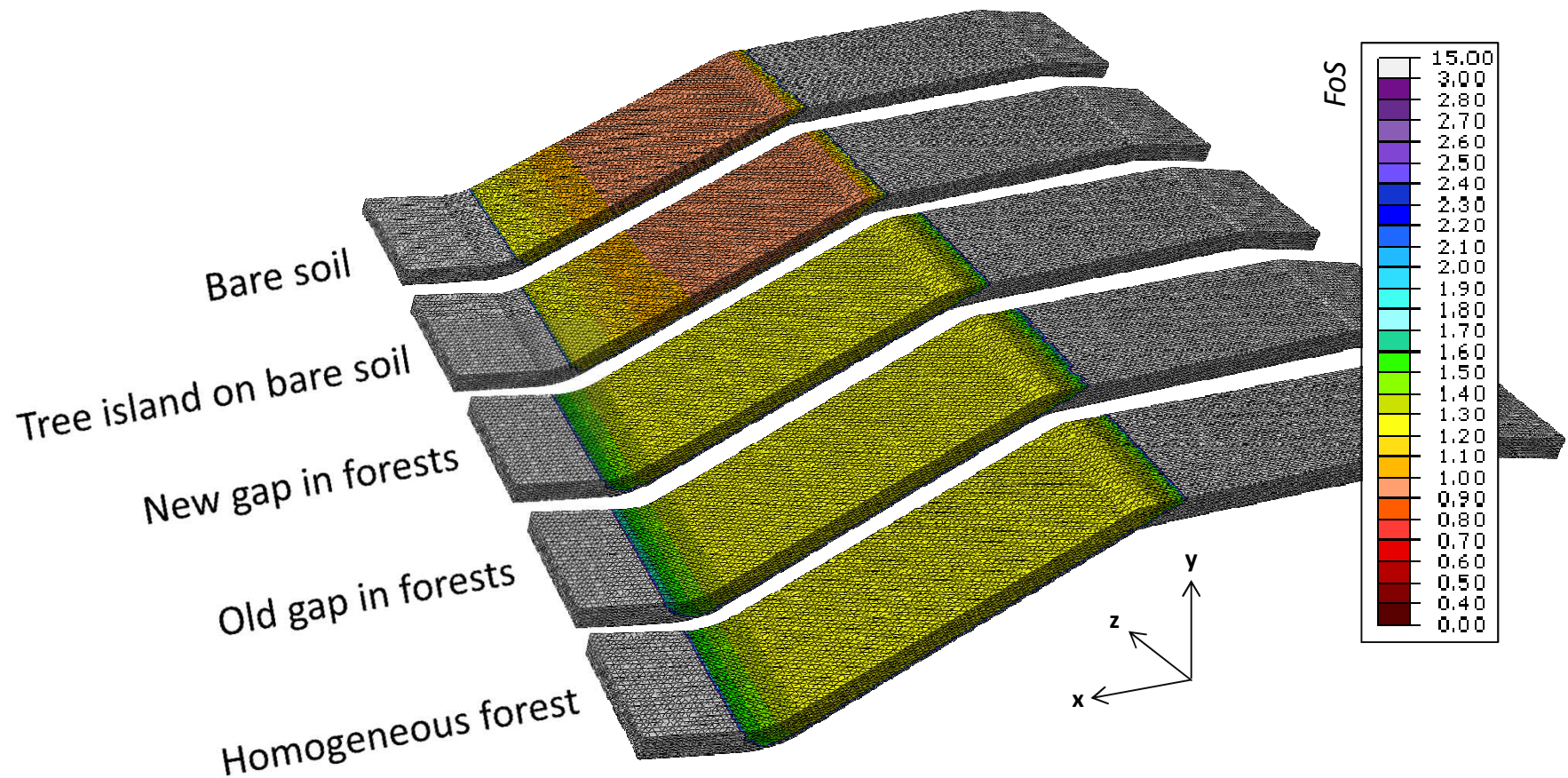




Fig. 7 FoS of five **realistic** snapshots [A - E]
maximal soil depth $h = 1.4$ m;
Patch location: Center.



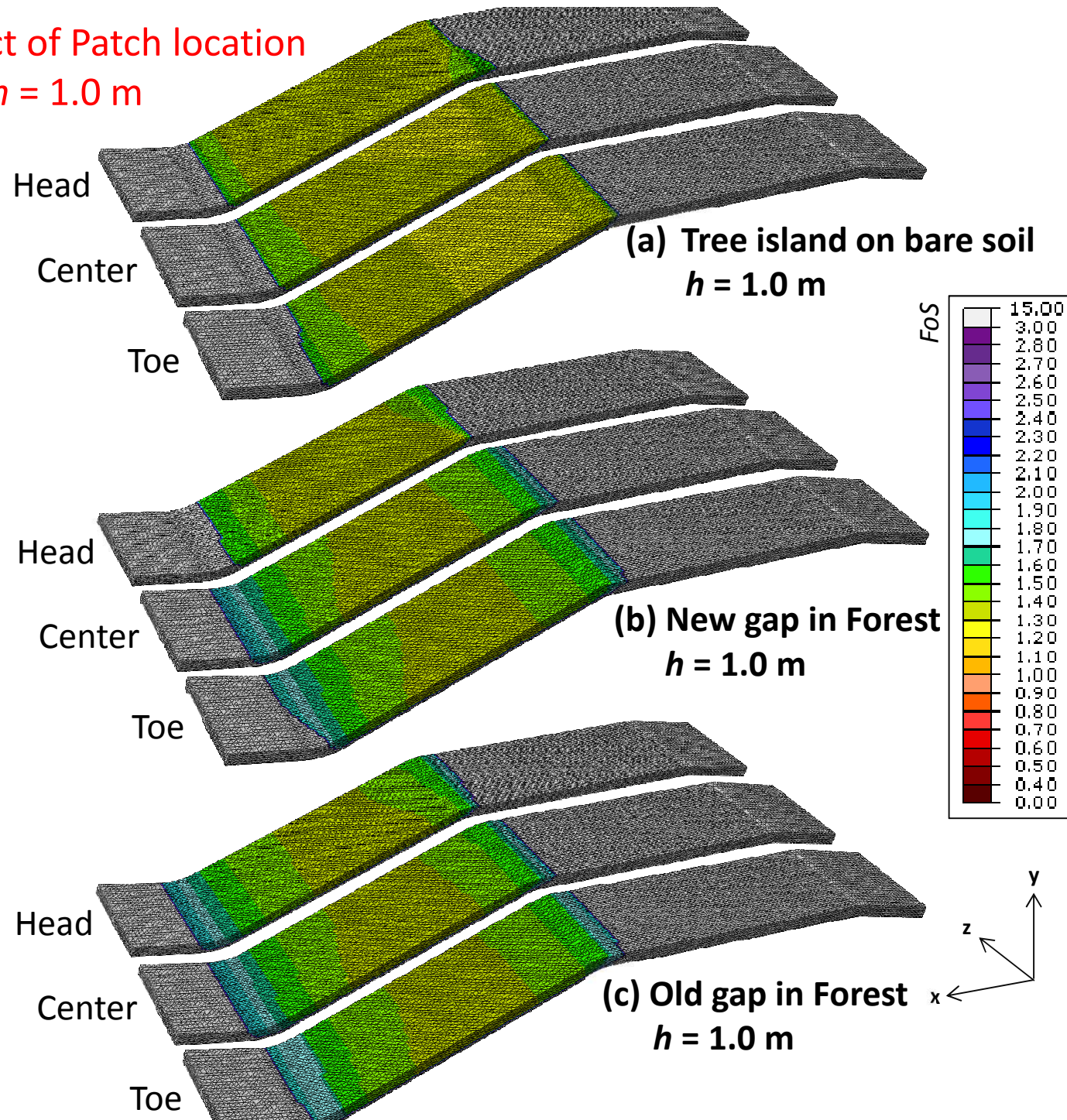
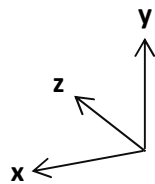
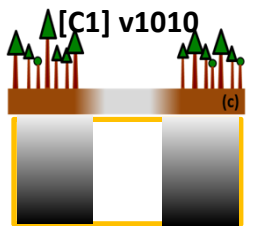
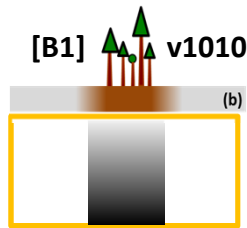
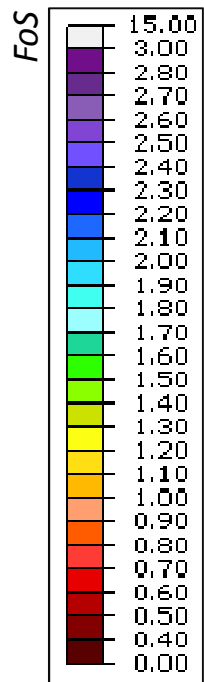
$h = 1.0 \text{ m}$ 



Fig. 9 Effect of Patch location
 $h = 1.0$ m
 virtual cr distributions

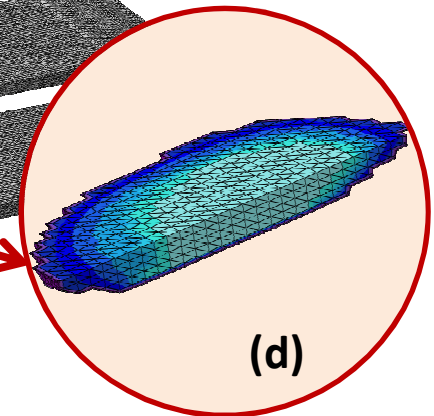
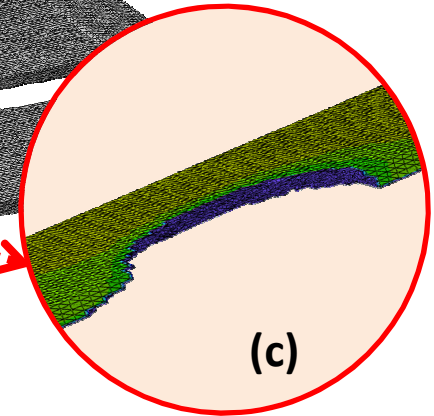


(a) TlonBS_v1010
 $h = 1.0$ m

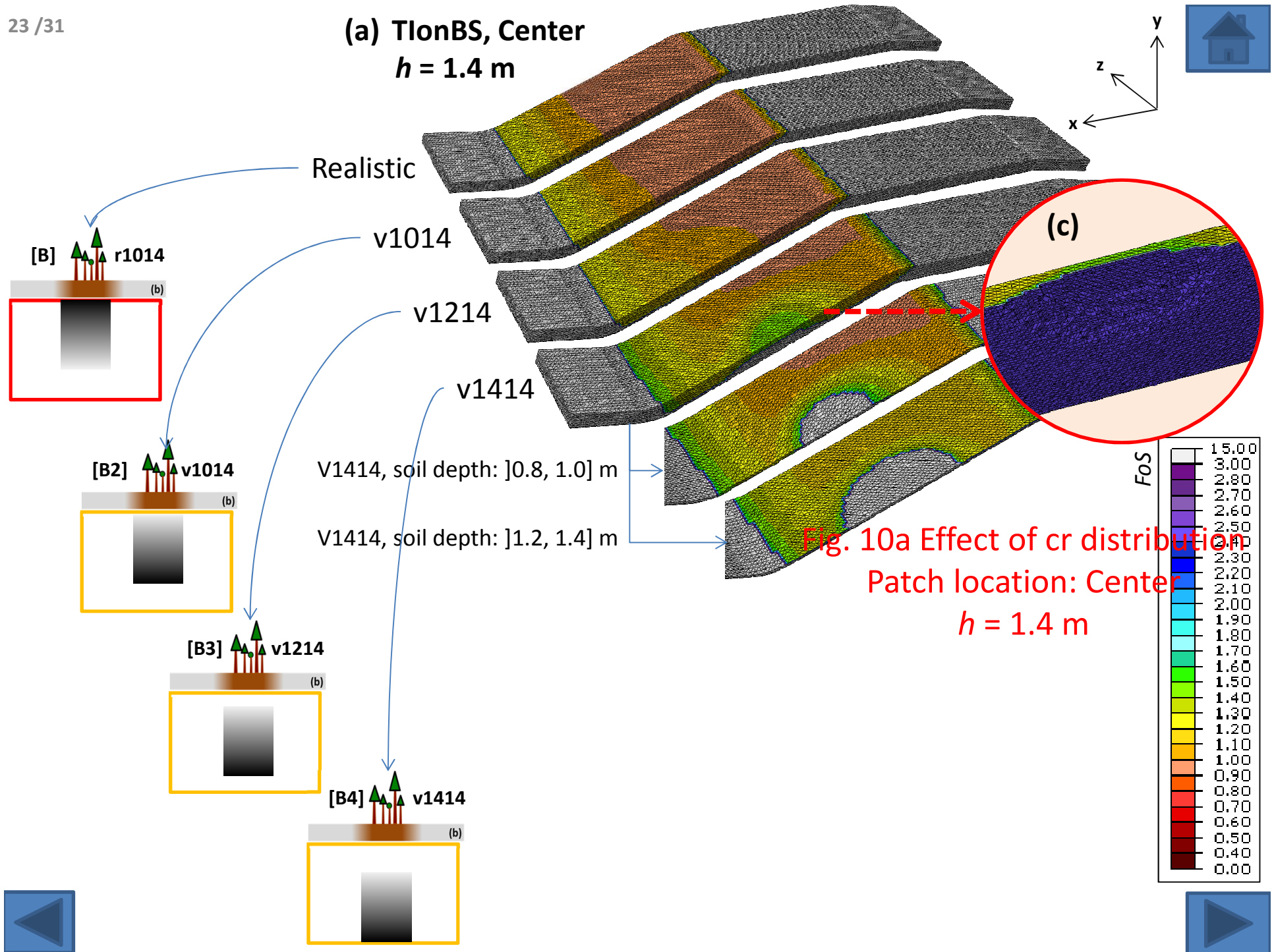
Head
 Center
 Toe

(b) NGinHF_v1010
 $h = 1.0$ m

Head
 Center
 Toe



(a) TlonBS, Center
 $h = 1.4$ m



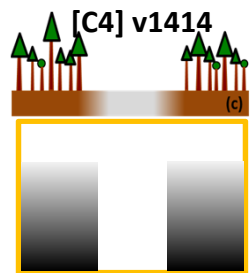
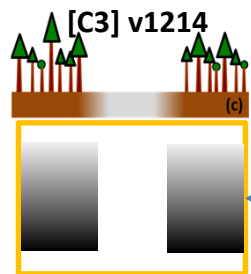
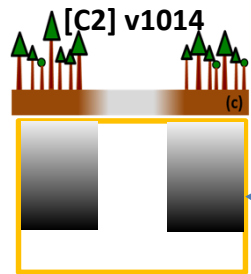
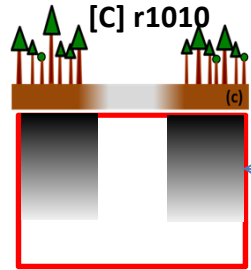


Fig. 10b Effect of cr distribution
Patch location: Center
 $h = 1.4$ m

(b) NGinHF, Center
 $h = 1.4$ m

Realistic

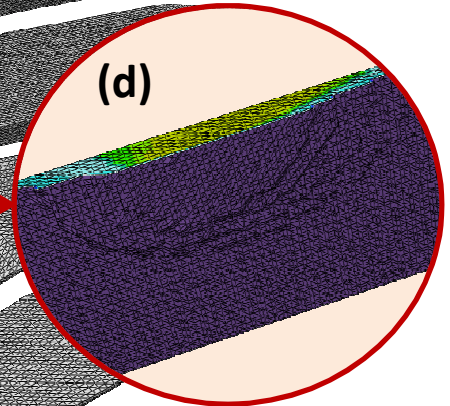
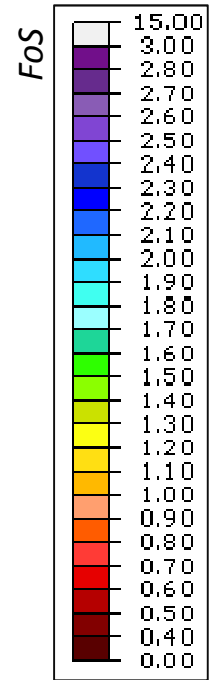
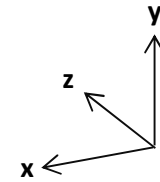
v1014

v1214

v1414

V1414, soil depth: [0.8, 1.0] m

V1414, soil depth: [1.2, 1.4] m





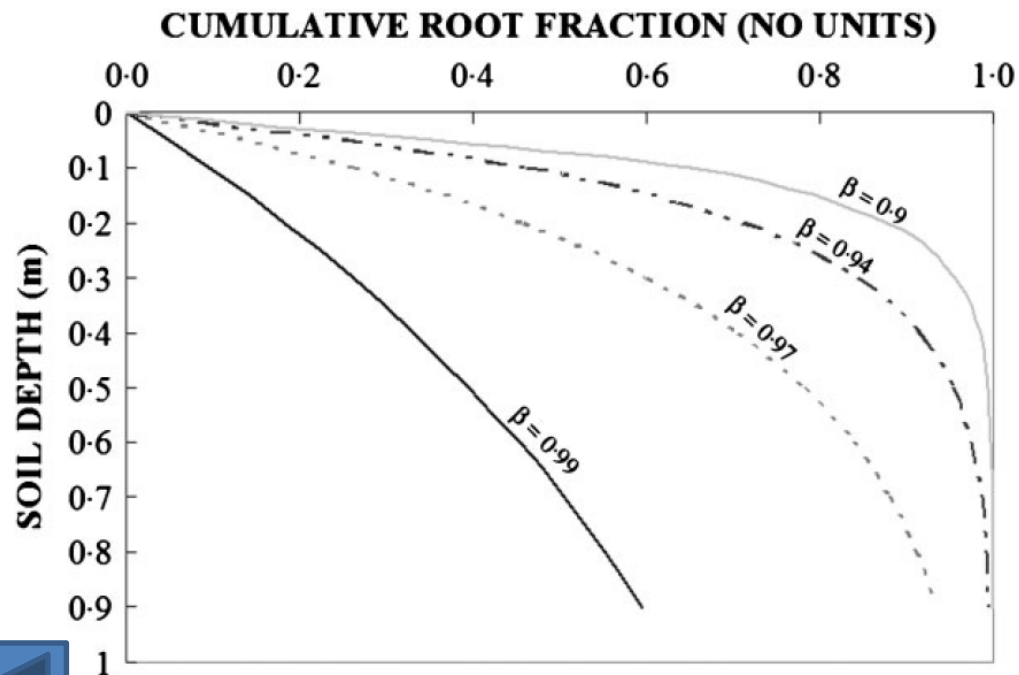
How to find appropriate root traits to better describe plants' efficiency of slope stabilization ? An exemple.

Gale and Grigal (1987)'s Model:

$$Y = 1 - \beta^d$$

Higher β \rightarrow fewer roots concentrated on soil surface and more roots in deeper soil.

where, Y is the cumulative root proportion compared to total root quantity (%); d is soil depth, $d \leq h_r$ i.e. the maximal rooting depth (cm) and β is root accumulation coefficient.



β est un bon complément de c_r :

- c_r peut être dangereux
- β est plus fonctionnelle

Donc...

Espèces avec β élevé à chercher...

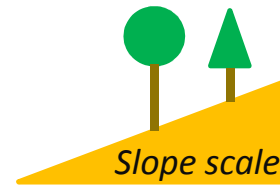


Perspectives



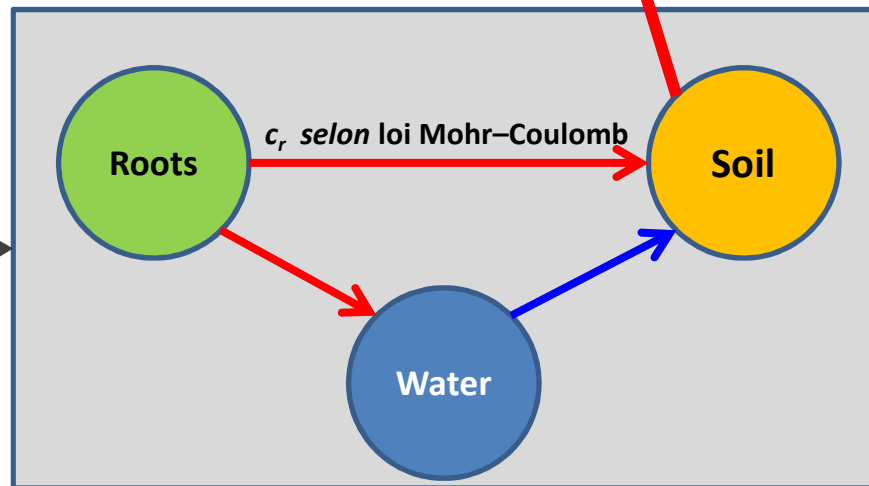
Etude 1: → Etude 2

- Effet racinaire → cohésion additionnelle (c_r) au sol suivant la **loi Mohr–Coulomb**
- Echelle de pente → indicateur *FoS*
- Effet **saisonnier** de dynamique racinaire + eau



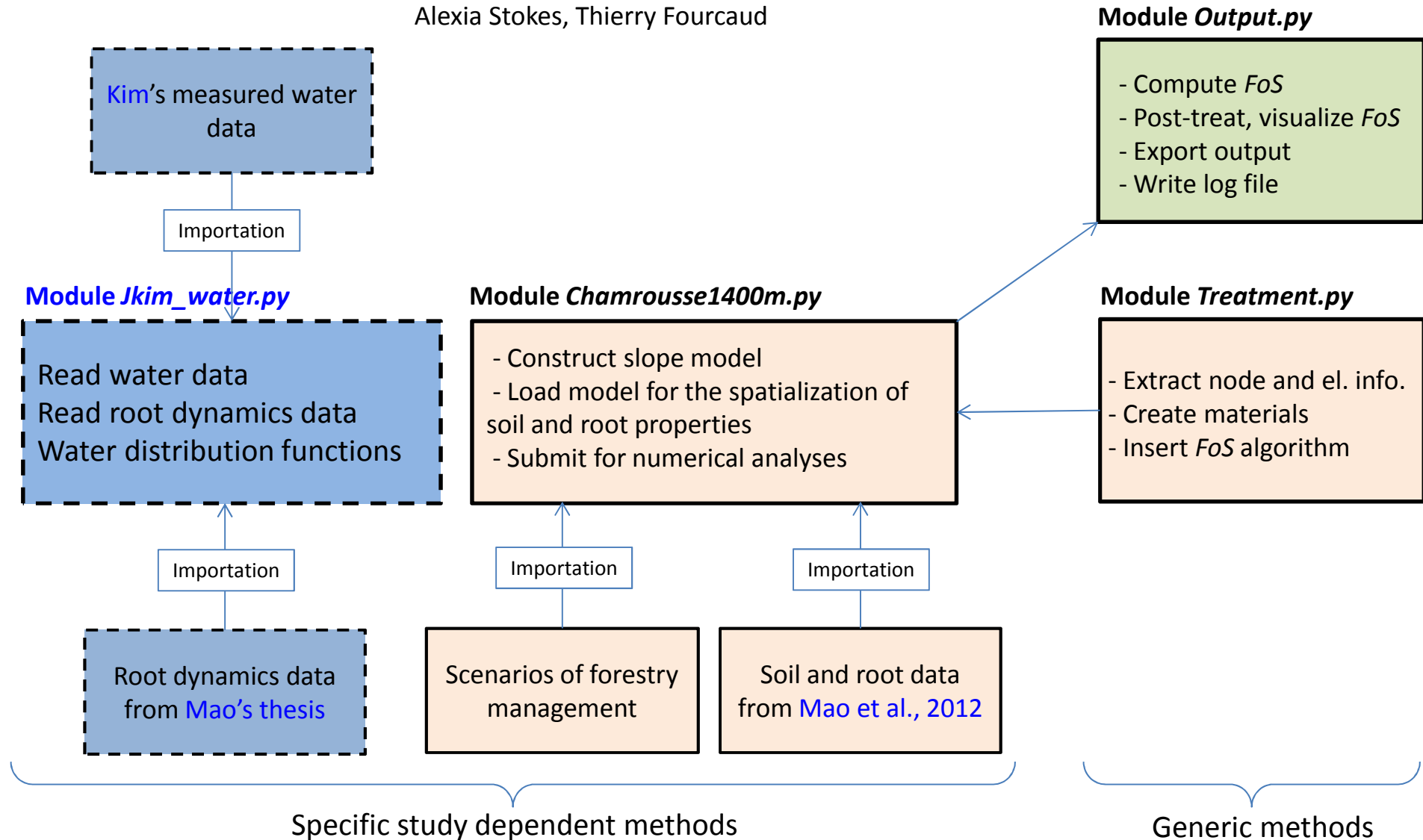
Shallow landslide

Site, time, vegetation,
treatment, scenario...



Etude 2: Impact of root and water seasonal dynamics on slope stability of French montane forests: a 3D modelling approach

Participants (à discuter): **John Kim (coordinateur de l'étude)**,
Zhun Mao, Franck Bourrier,
Alexia Stokes, Thierry Fourcaud



Etude 1:

- Effet racinaire → cohésion additionnelle (c_r) au sol suivant la **loi Mohr–Coulomb**
- Echelle de pente → indicateur *FoS*

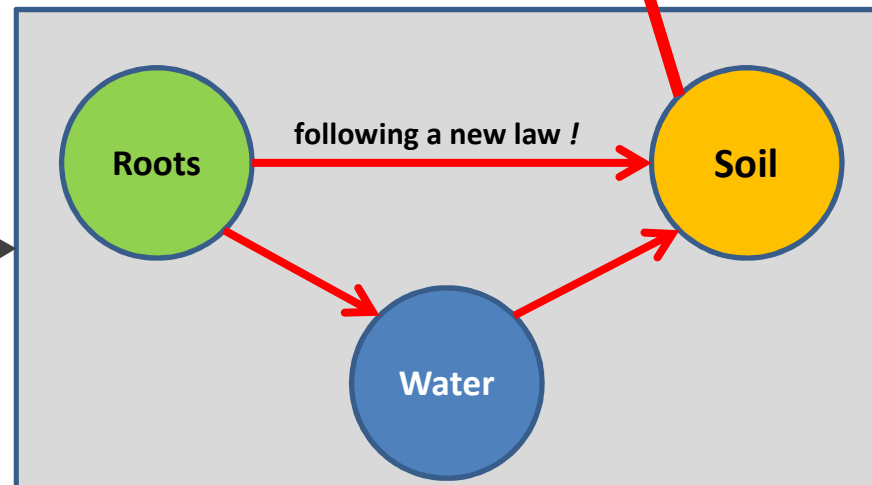
Etude 3:

- Echelle locale;
- Caractériser la **nouvelle loi de comportement** sur le « mixte sol – racine » en fonction de l'architecture racinaire asymétrique.



Shallow landslide

Site, time, vegetation,
treatment, scenario...



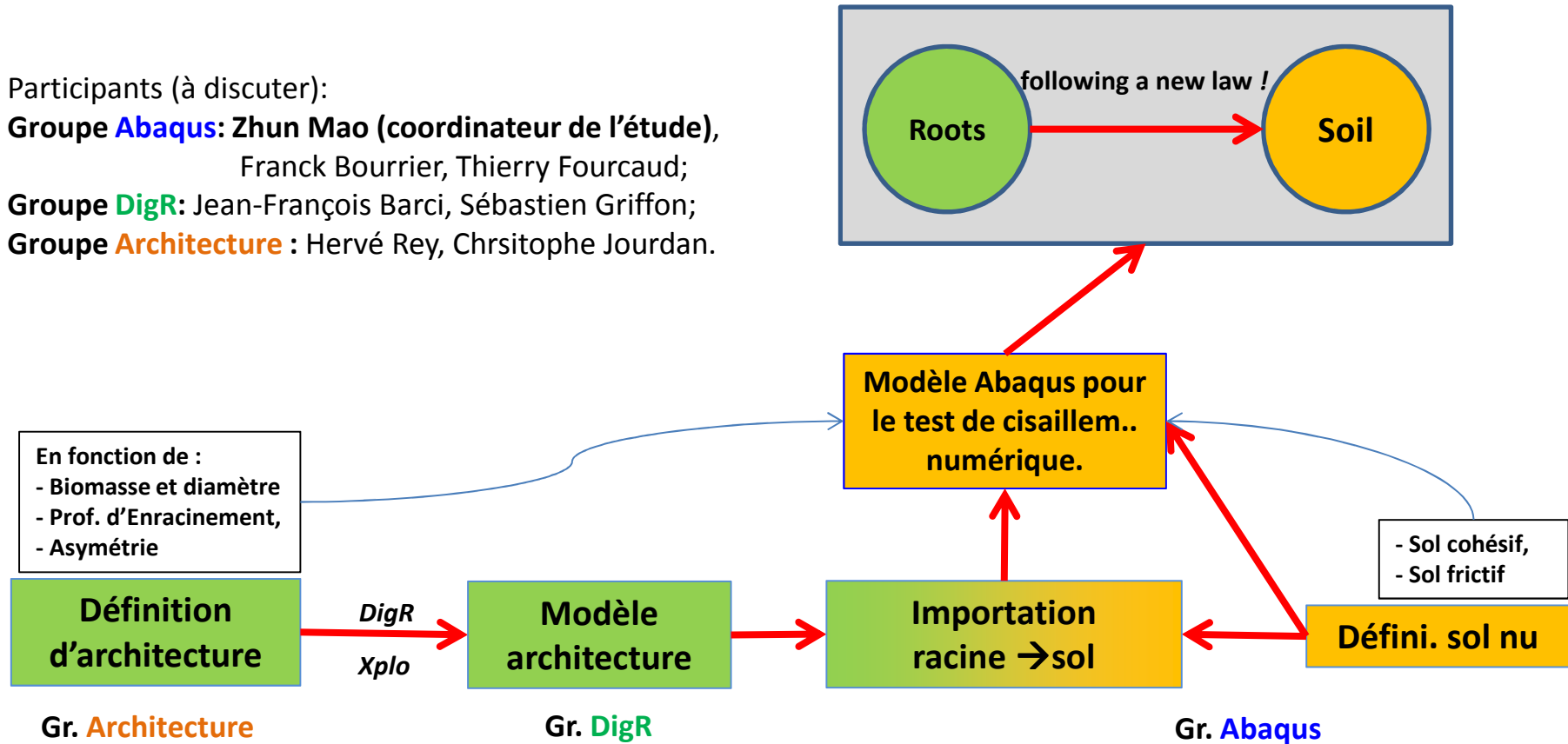
Etude 3: « Effect of root architecture on root - soil mechanical interaction : a FEM modelling approche »

Participants (à discuter):

Groupe Abaqus: Zhun Mao (coordinateur de l'étude),
Franck Bourrier, Thierry Fourcaud;

Groupe DigR: Jean-François Barci, Sébastien Griffon;

Groupe Architecture : Hervé Rey, Chrstophe Jourdan.



Buts à achever:

- (1) caractériser l'effet de l'architecture racinaire dans le changement de du sol raciné par rapport sol nul dans un contexte du glissement de terrain.
- (2) calibrer la loi de comportement pour le sol-racines « Chamrousse »
- (3) comparer avec les simus d'une approche DEM (*Discrete Element Method*, Franck Bourrier)
- (4) comparer avec les tests labo de Murielle Ghestem et Alain Bernard

Merci pour votre attention !