

8<sup>èmes</sup> Journées

Fiabilité des  
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES

Aix-en-Provence,  
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTAUX  
ECCOREV  
ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX



# Dimensionnement de filets pare-blocs : une approche fiabiliste

J. Baroth

*Univ. Grenoble Alpes, 3SR, F-38000 Grenoble, France  
CNRS, 3SR, F-38000 Grenoble, France*

F. Bourrier, S. Lambert

*Irstea - UR EMGR, Irstea - UR ETGR*



# Introduction

Dimensionnement ouvrages pare-blocs :

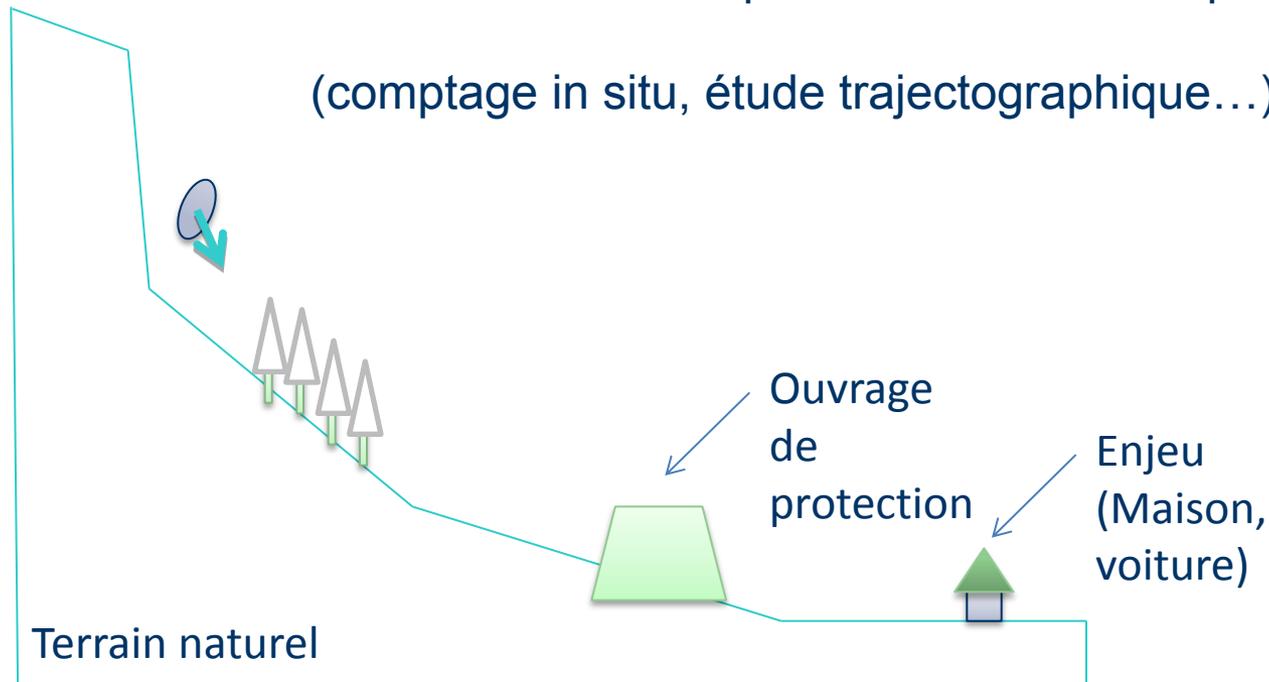
doit résister à l'énergie du bloc à intercepter

Dimensionnement mécanique plus avancé : réponse mécanique de la structure ?

(vitesse de translation, masse, hauteur de passage, vitesse de rotation...)

Distributions statistiques associées à chaque paramètre ?

(comptage in situ, étude trajectographique...)



# Introduction

**Objectif** : proposer un dimensionnement de l'ouvrage prenant en compte la variabilité des paramètres, à un coût de calcul raisonnable

Application particulière : Filet « basse énergie » ancrés sur des arbres, résistance de 50 kJ, non concerné par l'ETAG 27



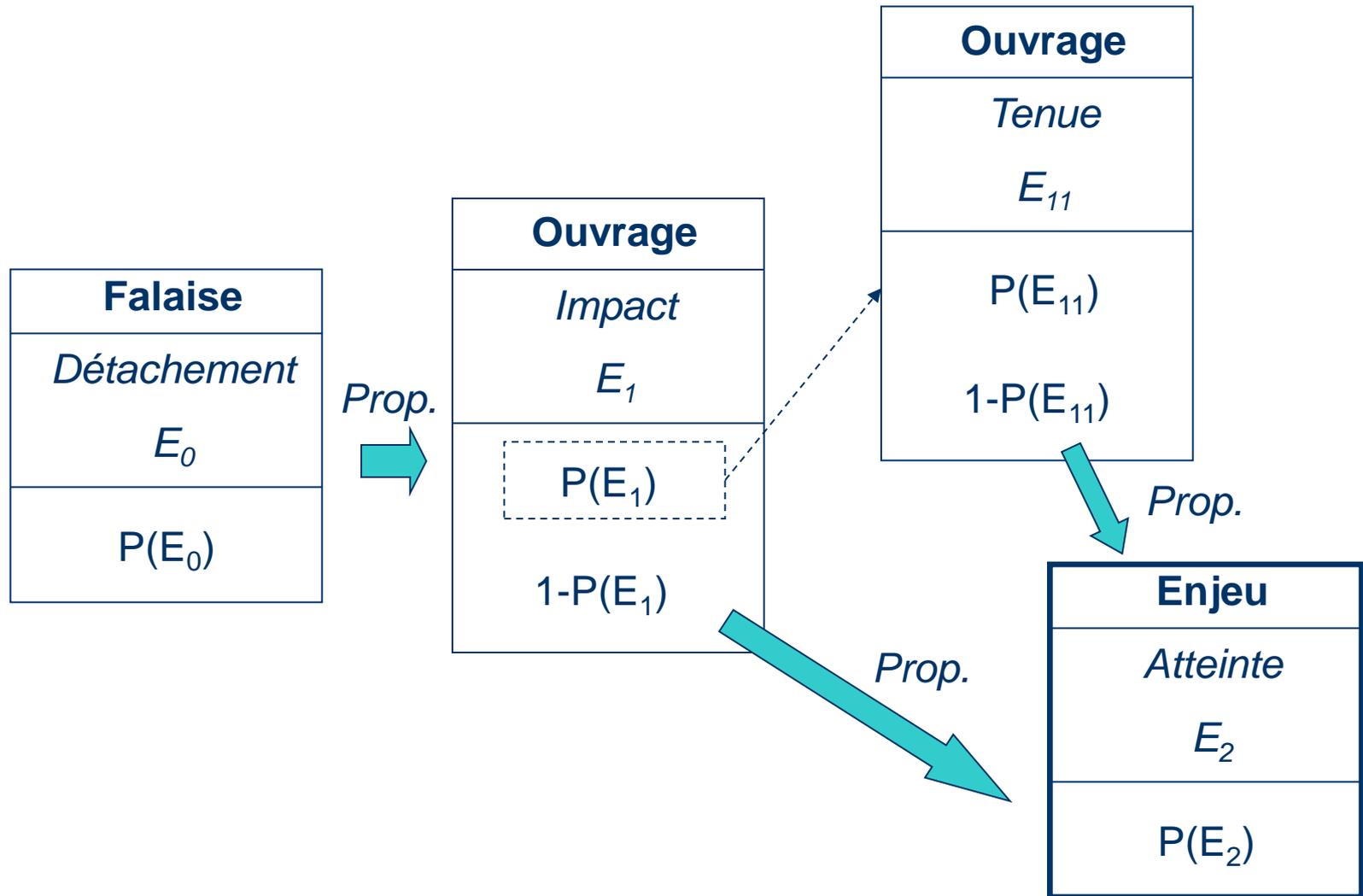
# Plan de la présentation

Introduction

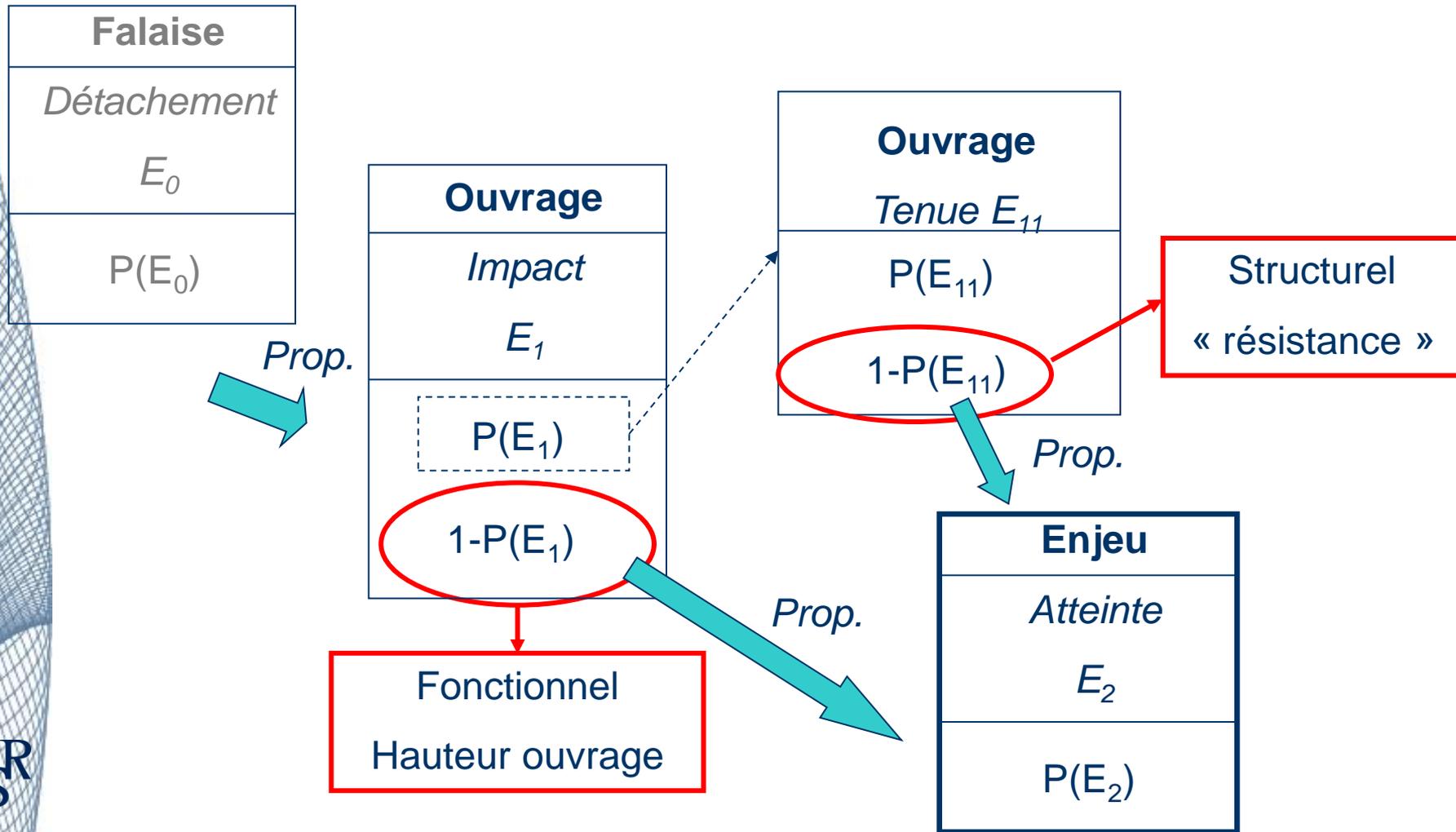
- 1. Dimensionnement probabiliste d'ouvrages pare-blocs**
- 2. Cas d'étude : filet pare-blocs basse énergie**
- 3. Dimensionnements fonctionnel et structurel**

Conclusion

# 1. Dimensionnement probabiliste d'ouvrages pare-blocs



# 1. Dimensionnement probabiliste d'ouvrages pare-blocs

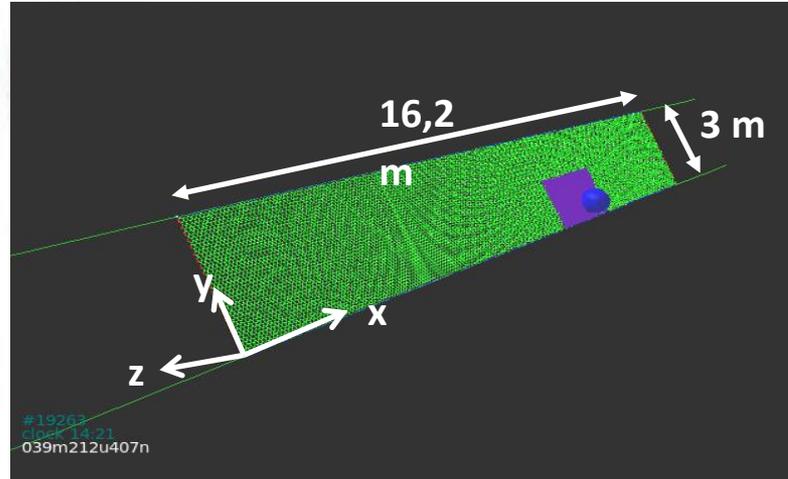


## 2. Cas d'étude : filets pare-blocs basse énergie

Filet pare-blocs modélisé par un modèle aux éléments discrets (Bertrand et al. 08)



Filet pare-blocs

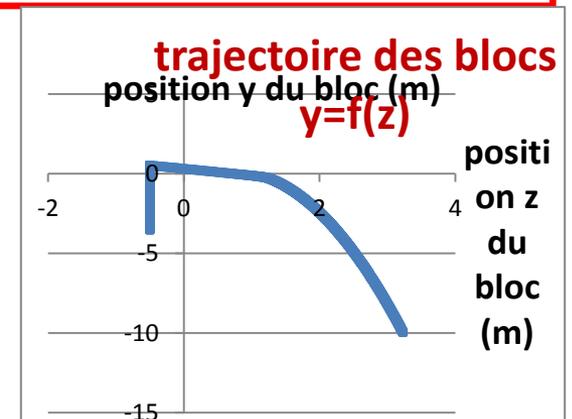
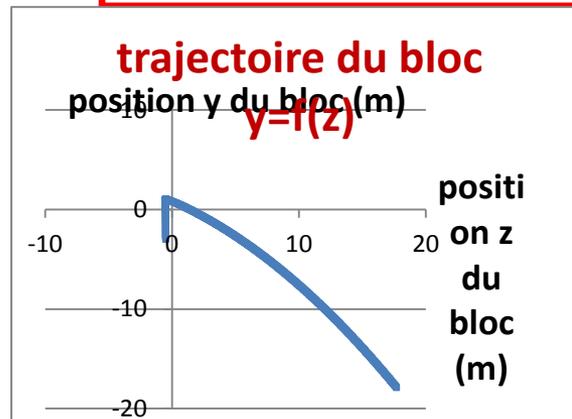
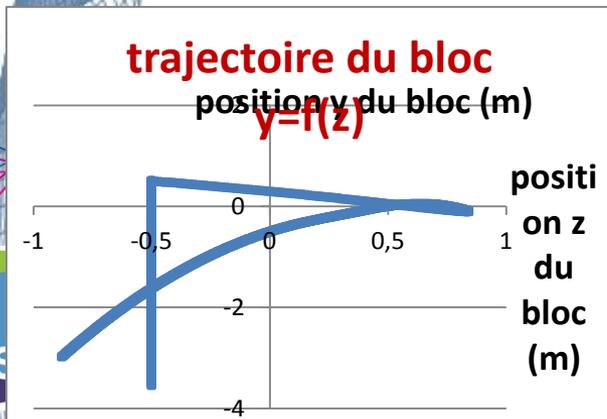


Modèle aux éléments discrets (Yade)

3 modes de fonctionnement : 1. arrêt

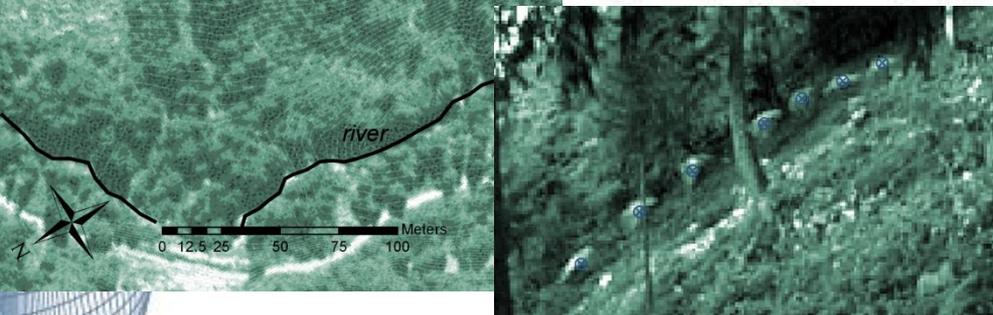
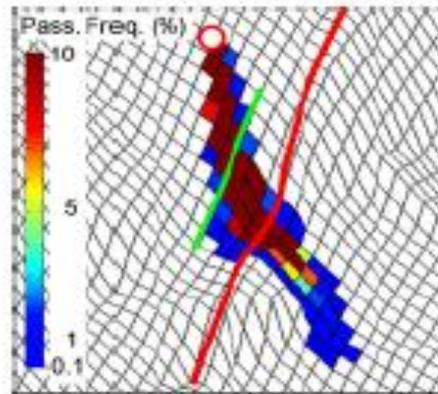
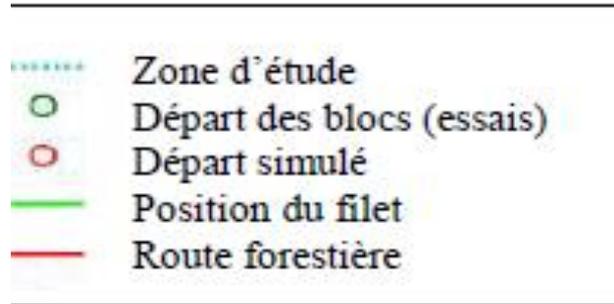
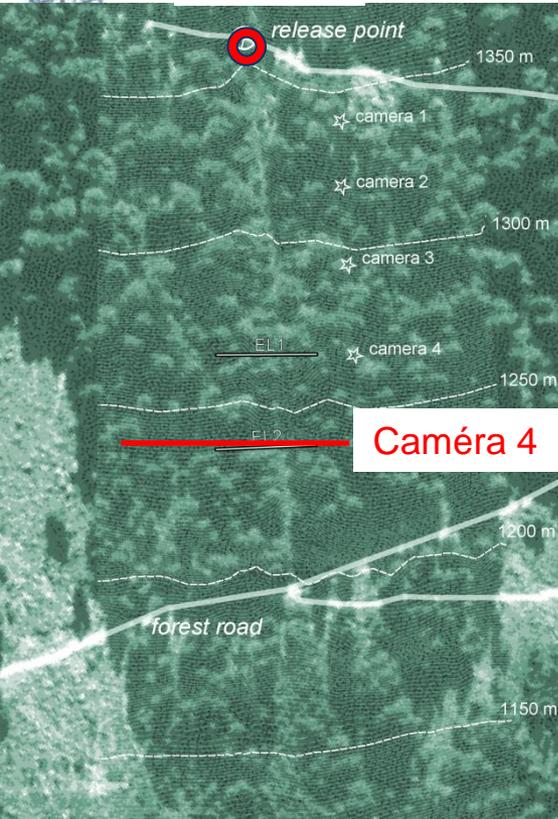
*Modes de défaillance*

2. Rupture du filet      3. Passage sous le filet



## 2. Cas d'étude : site de Vaujany

Rockfall  
source



Simulations trajectographiques  
(RockyFor3D)

[Dorren et al. 2006]

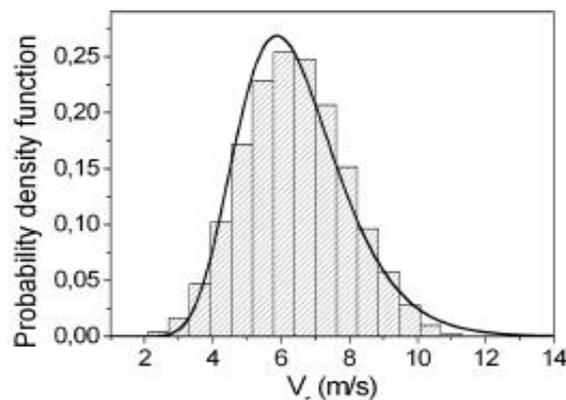
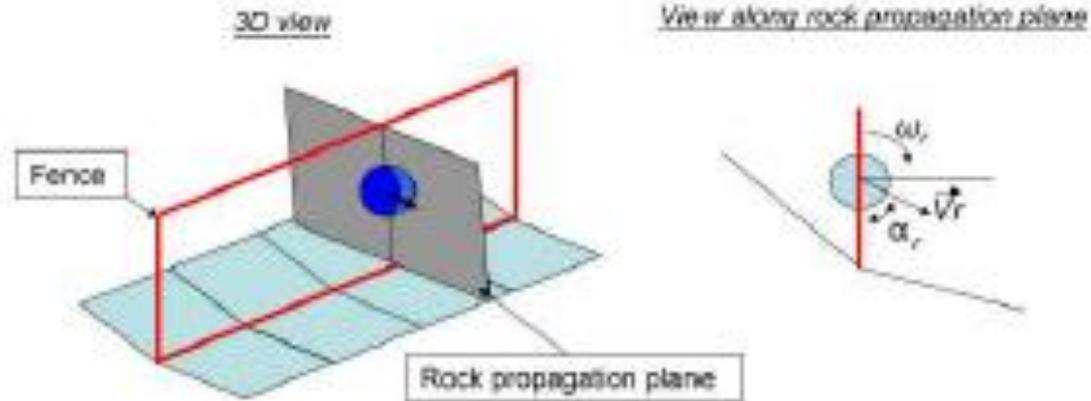
[Bourrier et al. 2008]

## 2. Dimensionnement probabiliste du filet

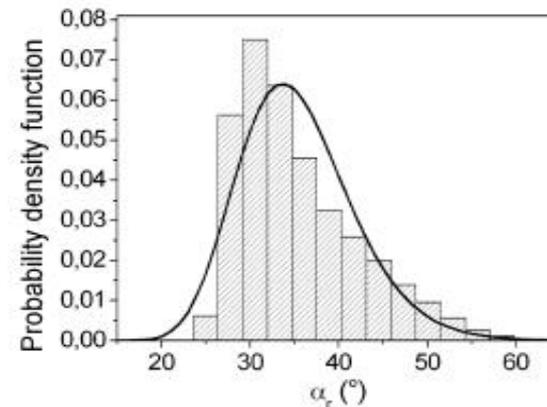
Dimensionnement **structurel** d'un filet basse énergie

Modélisation probabiliste des distributions de vitesse  $V$  et d'angle d'incidence  $\alpha$

- lois log-normales
- $V : X_1 \sim \text{LN}(6,42\text{m/s}, \text{cov} = 25\%)$
- $\alpha : X_2 \sim \text{LN}(35,4^\circ, \text{cov} = 18\%)$



a)

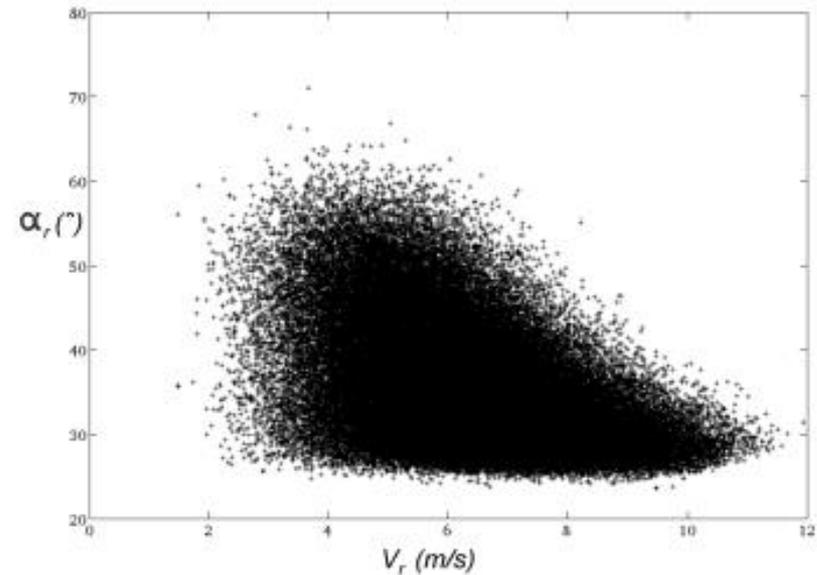


b)

## 2. Dimensionnement probabiliste du filet

Modélisation probabiliste des distributions de vitesse  $V$  et d'angle d'incidence  $\alpha$

- lois log-normales
- $V$ :  $X_1 \sim \text{LN}(6,42\text{m/s}, \text{COV} = 25\%)$
- $\alpha$ :  $X_2 \sim \text{LN}(35,4^\circ, \text{COV} = 18\%)$
- coefficient de corrélation  $\rho = -0,48$



Critère de ruine déduit de la fonction de performance

$$G = \frac{V_{z,out}}{V_{z,in}} \begin{cases} \rightarrow \text{Vitesse après impact} \\ \rightarrow \text{Vitesse avant l'impact} \end{cases}$$

$P(G > 0)$  Probabilité de défaillance du filet

## Couplage mécano-probabiliste du modèle aux éléments discrets (ED)

-Méthode de Monte-Carlo inutilisable directement (1 calcul ~ 12 h)

-Choix d'une méthode alternative (collocation) [Baroth et al. 2007]

[Bressolette et al. 2010]

$$G(\mathbf{X}) \simeq \tilde{G}(X_1, X_2) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N G_{i,j} L_i(X_1) L_j(X_2)$$

$N^2$  Nombre de calculs ED

$$L_i(X) = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N \frac{X - x_k}{x_i - x_k}$$

Polynôme de Lagrange

$$G_{i,j} = G(x_i, x_j)$$

Calcul ED aux réalisations de variables normales centrées réduites  $(x_i, x_j)$  (dépendent de N et de la loi)

$$y_i = T(x_i)$$

Point de collocation (valeur spécifique de V ou  $\alpha$ , liée à  $x_i$  par T, fonction de normalisation gaussienne)

Fonctions de répartition ou de densité de probabilité engendrées à partir de  $\tilde{G}$

### 3. Analyse probabiliste du dimensionnement

#### Dimensionnement fonctionnel

Probabilité de lob de l'ouvrage à partir des simulations trajectographiques ?

Hauteur réelle	Fractile à 95 %	Fractile à 99 %	Fractile à 99,9 %
2 m	0,6 m	0,78 m	1,04 m

*. Hauteurs de passage aux fractiles 95, 99 et 99,9 %, en comparaison avec la hauteur réelle pratiquée.*

n (simulations) :    1000                    x 10                    x 10    (~1h)

Dimensionnement accessible avec le logiciel utilisé



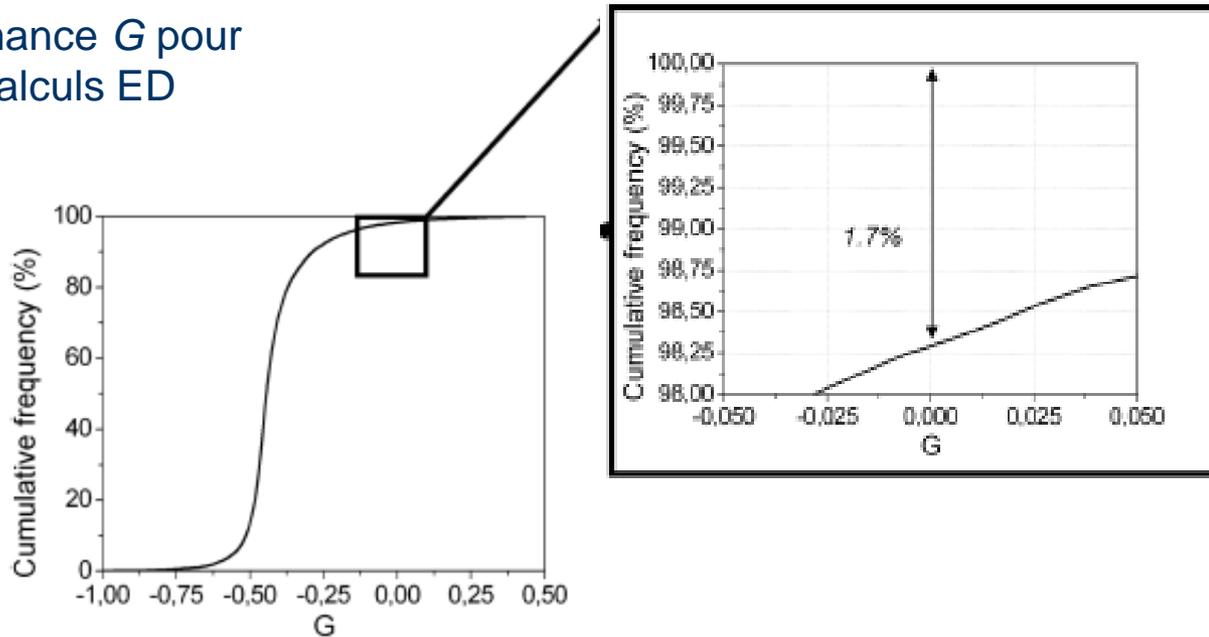
# 3. Analyse probabiliste du dimensionnement

## Dimensionnement structurel

1<sup>ère</sup> approche : seule la vitesse varie, l'incidence fixée à  $\alpha = 38,4^\circ$

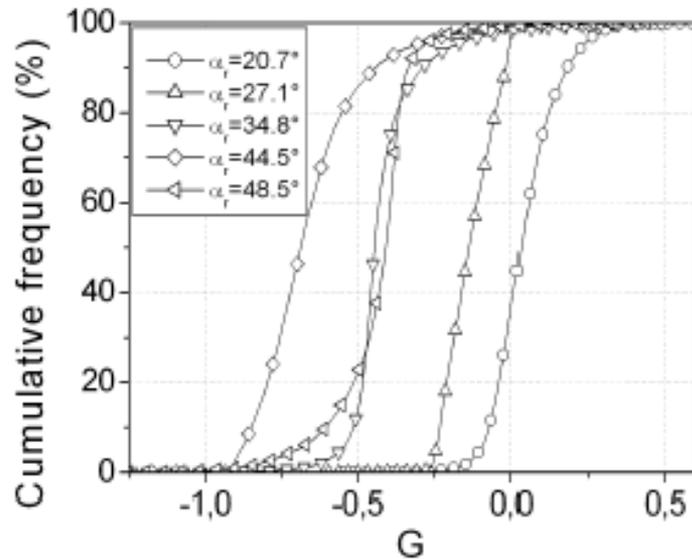
$V_r$ (m/s)	3.10	4.47	6.23	8.69	12.55
$G$ (-)	-0.495	-0.516	-0.438	-0.258	0.529

Estimations de la fonction de performance  $G$  pour  $N = 5$  calculs ED



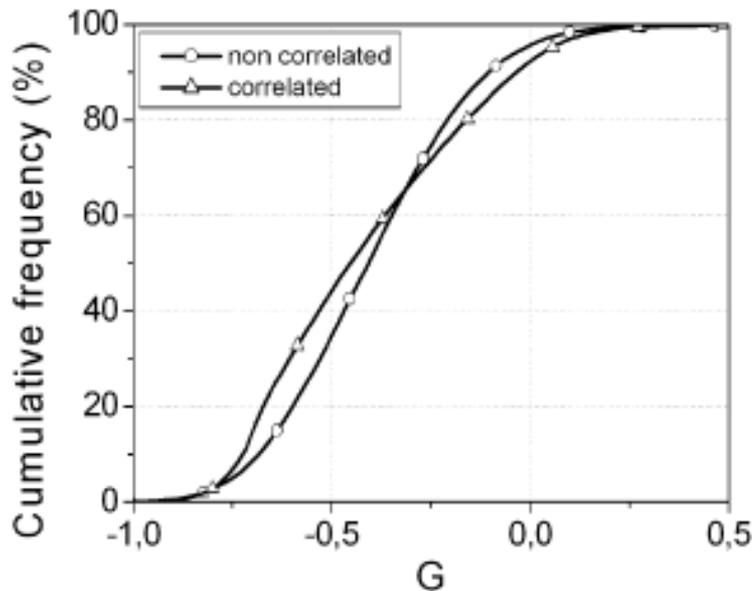
Approximation de la fonction de répartition de  $G$  – Estimation de la probabilité de défaillance  $P(G > 0)$ .

### 3. Analyse probabiliste du dimensionnement



Fonctions de répartition de G, pour différents angles d'incidence :

*Il semble plus sûr de considérer un angle d'incidence faible (probabilité de défaillance + forte)*



Fonctions de répartition de G, pour des variables corrélées ou non

Sensibilité à l'incidence et à la corrélation entre variables :

*Prendre en compte la corrélation semble sécuritaire*

# Conclusion - Perspectives

## Couplage mécano-probabiliste impliquant :

- un code de trajectographie (10 000 simus – 1 h)
- un modèle aux éléments discrets d'un filet pare-blocs (1 simu – 12 h)
- une modélisation probabiliste de la vitesse  $V$  et de l'angle d'incidence  $\alpha$

## Résultats de cette étude :

- 1<sup>ère</sup> formalisation et évaluation probabiliste des dimensionnements « structurel » et « fonctionnel » d'un pare-blocs
- probabilité de défaillance du filet très sensible aux variations de  $V$  et  $\alpha$
- intérêt de prendre en compte la corrélation entre paramètres

## Perspectives :

- étude d'un éboulement en masse
- explorer plusieurs sites à risques
- collaborations en vue dans le cadre du Proj. Nat. C2R2OP



# Annexe

Evolution de l'énergie cinétique maximale supportée par le filet en fonction de l'angle d'incidence des blocs

