

V. Annexes

Annexe 1 Carte de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux

Le retrait par dessiccation des sols argileux lors d'une sécheresse prononcée et/ou durable produit des déformations de la surface des sols (tassements différentiels). Il peut être suivi de phénomènes de gonflement au fur et à mesure du rétablissement des conditions hydrogéologiques initiales ou plus rarement de phénomènes de fluage avec ramollissement.

Les tassements différentiels peuvent provoquer des désordres affectant principalement le bâti individuel. Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa pour l'ensemble du territoire national, dans le but de délimiter les zones les plus exposées au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux.

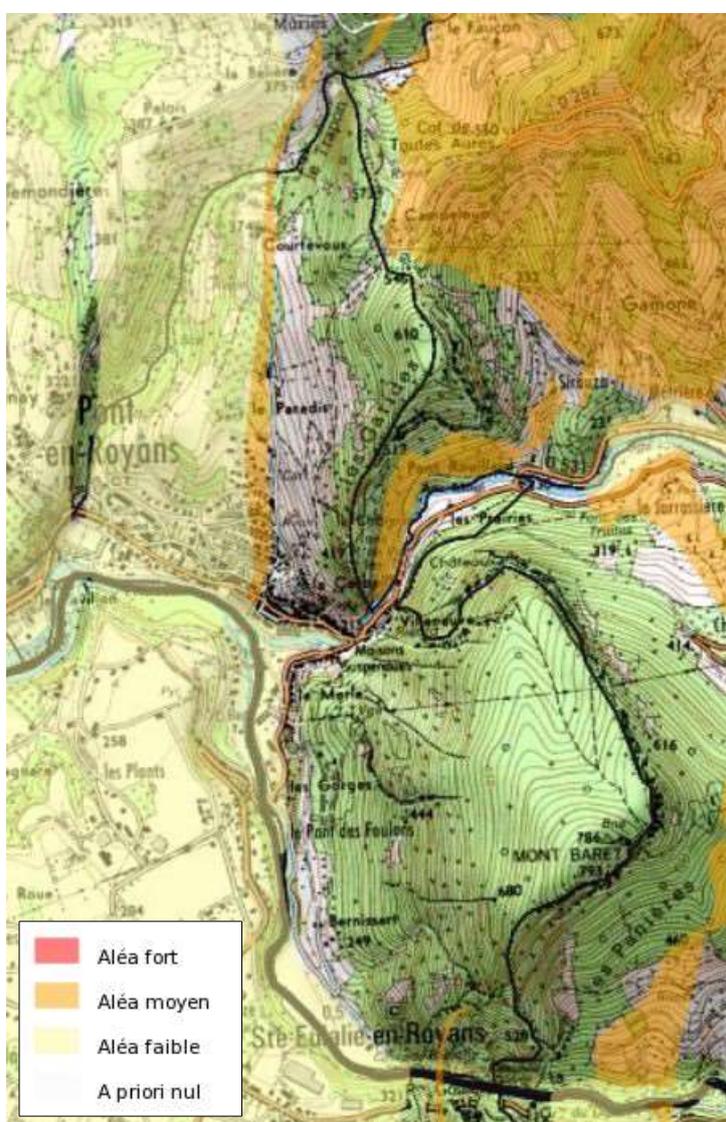


Figure V.1: Carte de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux au niveau de la commune de Pont-en-Royans (www.georisques.gouv.fr).

Annexe 2 Carte de la remontée de nappe

La carte de remontée de nappe est produite par le BRGM à partir de la carte géologique au 1/100 000. Peu précis, ce document apporte néanmoins un éclairage intéressant sur la proximité de la nappe souterraine dans les formations superficielles et dans le substratum.

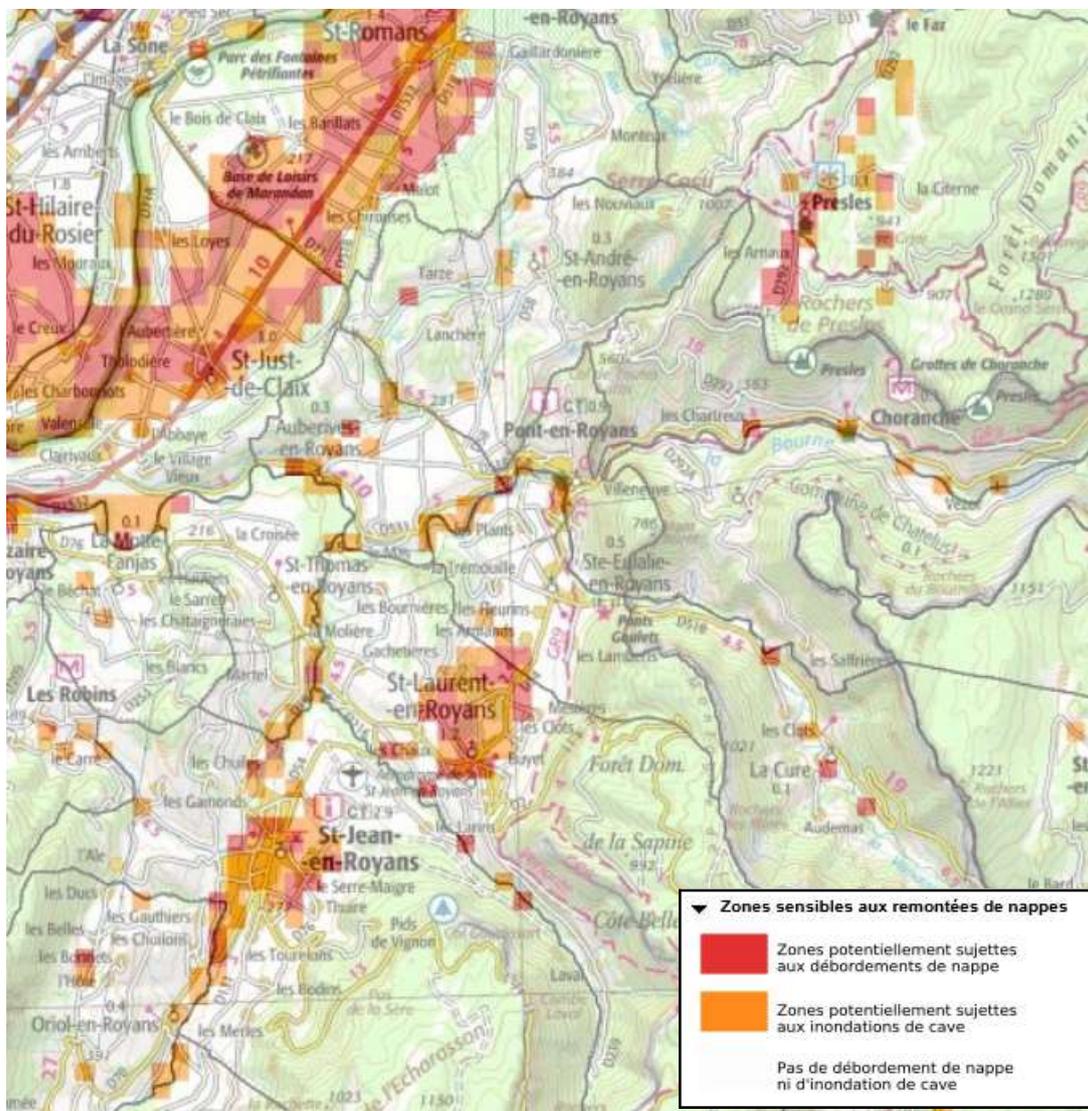


Figure V.2: Carte de la remontée de nappe dans les formations superficielles (source www.georisques.gouv.fr)

Annexe 3 Carte d'exposition sismique

Un séisme est un phénomène vibratoire naturel affectant la surface de l'écorce terrestre et dont l'origine est la rupture mécanique brusque d'une discontinuité de la croûte terrestre.

Les particularités de ce phénomène, et notamment l'impossibilité de l'analyser hors d'un contexte régional - au sens géologique du terme - imposent une approche spécifique. Cette approche nécessite des moyens importants et n'entre pas dans le cadre de cette mission. Le zonage sismique de la France a été défini par le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, pour l'application des nouvelles règles de construction parasismiques. Ce zonage sismique divise le territoire national en cinq zones de sismicité croissante (de très faible à forte), en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes. Les limites de ces zones sont, selon les cas, ajustées à celles des communes ou celles des circonscriptions cantonales.

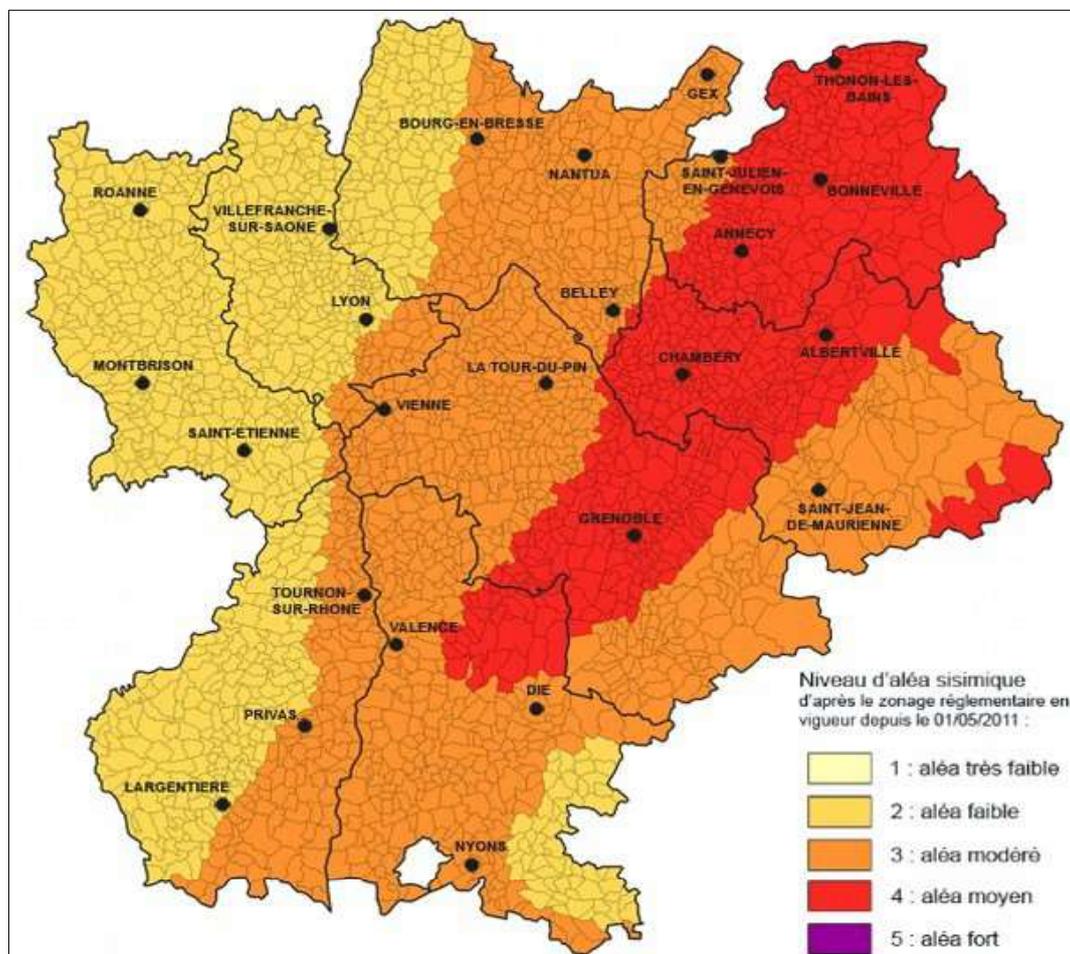


Figure V.3: Zonage de sismicité de la région Rhône-Alpes.

D'après ce zonage, la commune de Pont-en-Royans se situe en zone de sismicité 4 (moyenne).

Annexe 4 Étude hydrologique sommaire : méthode et résultats

Les plugins développés par Alp'Géorisques permettent une estimation sommaire des débits décennaux et centennaux pour tout exutoire localisé.

1. Création automatique des bassins versants et des thalwegs

Pour chaque exutoire, les bassins versants et les plus longs thalwegs sont identifiés automatiquement à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) Les résultats suivants sont extraits pour chaque exutoire identifié :

- la délimitation du bassin versant associé à l'exutoire (polygone) ;
- la superficie du bassin versant ;
- le tracé du plus long thalweg associé à l'exutoire (polyligne) ;
- la longueur du plus long thalweg ;
- le profil en long du plus long thalweg ;

Par défaut, les données topographiques utilisées sont issues d'un MNT au pas de 25 m (BDAlti IGN) mais des MNT plus précis (RGEAlti IGN par exemple peuvent être utilisés. La précision du MNT influe fortement sur la qualité des résultats obtenus.

2. Données d'entrée

Le calcul des débits est réalisé à partir des données morphométriques après validation ou adaptation (par exemple intégration d'une partie d'un bassin versant voisin par une voirie) et des données topographiques disponibles (IGN SCAN25 par exemple).

Les données d'occupation du sol et de précipitations centennales et décennales sont extraites pour chaque bassin versant par extrapolation des précipitations mesurées sur les postes pluviométriques voisins. À partir de ces données le volume ruisselé est estimé grâce à la méthode de production du SCS. Cette méthode repose sur un unique paramètre appelé Curve Number (CN) qui décrit le type de sol, le type d'occupation du sol et l'état de saturation du sol (par défaut le type de sol a été considéré comme peu perméable (classe C) et le sol à un niveau de saturation moyen).

Le calcul du débit à l'exutoire s'effectue grâce à la convolution de l'hydrogramme unitaire du SCS appliqué aux volumes ruisselants. Les résultats suivants sont extraits pour chaque exutoire :

- le profil en long du plus long thalweg ;
- la longueur du plus long thalweg ;
- l'occupation du sol dans l'emprise du bassin versant ;
- les cumuls de pluies décennales dans l'emprise du bassin versant ;
- les cumuls de pluies centennales dans l'emprise du bassin versant (P100) ;
- les hyétogrammes de projet centennaux et décennaux ;
- les hydrogrammes décennaux et centennaux ;
- les débits de pointes décennaux et centennaux ;
- les débits spécifiques décennaux et centennaux ;

Données d'occupation du sol

L'occupation du sol est issue des données « Corine Land Cover » qui ont été simplifiées en créant 14 catégories auxquelles ont été associés des « Curve Number », paramètre utilisé dans la

fonction de production du SCS pour calculer le volume ruisselant.

Occupation du sol	Curve Number
Cultures	80
Divers	80
Eaux	98
Forêts denses	70
Forêts peu denses	73
Glaciers	95
Plages, dunes et sable	79
Prairies et espaces verts	74
Roches	90
Végétation clairsemée	78
Vergers	80
Vignobles	85
Zones urbaines denses	90
Zone urbaines peu denses	80

Définition d'un CN moyen

Un Curve Number moyen (pondéré par la surface) est calculé selon la méthode suivante :

$$CN = \sum_{i=0}^n \frac{CN_i \cdot S_i}{S}$$

- CN : curve number moyen
 Cni : curve number pour la zone d'occupation du sol i dans le bassin versant
 Si : surface de la zone d'occupation du sol i (ha)
 S : surface totale du bassin versant (ha)

Précipitations décennales et centennales

Les précipitations décennales et centennales utilisées sur le département de l'Isère sont issues de la thèse de A.Djrboua : « Cartographie des pluies extrêmes du département de l'Isère ».

La durée de précipitation retenue correspond au temps de concentration du bassin versant sauf :

- si le temps de concentration est inférieur à une heure. Dans ce cas, la durée de la pluie retenue est d'une heure ;
- si le temps de concentration est supérieur à 24 heures. Dans ce cas, la durée de la pluie retenue est de 24 heures.

3. Méthode de calcul du débit

Le programme calcule un hydrogramme (enregistré dans un fichier texte) et le débit de pointe (inscrit dans la table attributaire) pour chaque débit de référence.

Calcul du volume ruisselant

Le volume ruisselant est calculé grâce à la fonction de production du SCS à partir du Curve Number moyen et des précipitations pour chaque pas de temps.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad \text{eq. 1}$$

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad \text{eq. 2}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{eq. 3}$$

Avec :

Pe : pluie efficace (mm)

P : pluie brute (mm)

Ia : pertes initiales en début d'évènement (mm)

S : capacité de rétention des sols (mm)

CN : Curve number SCS moyen

Calcul du débit

Le calcul du débit à partir du volume ruisselant s'effectue grâce à la méthode de convolution de l'hydrogramme unitaire du SCS donné en Figure V.4.

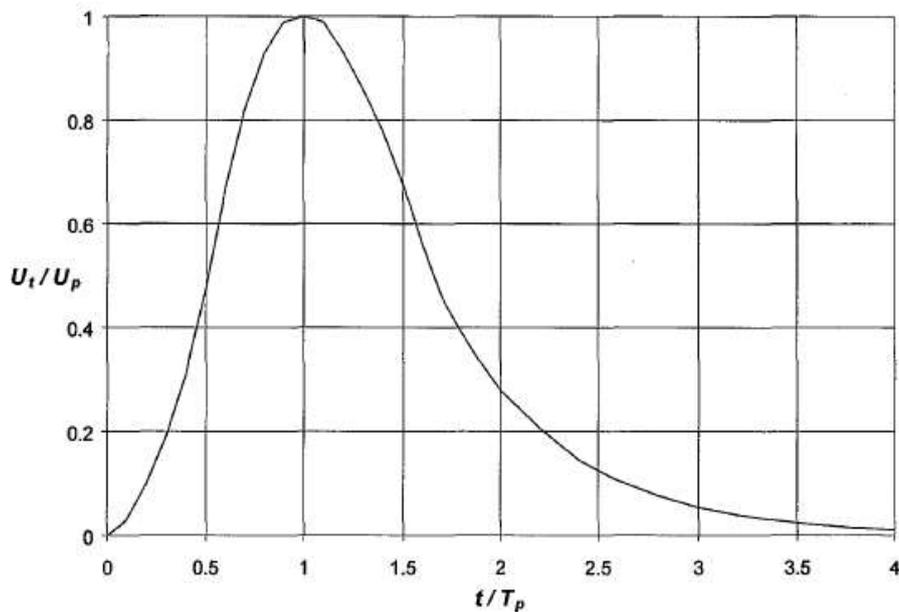


Figure V.4: Hydrogramme unitaire du SCS

4. Localisation des bassins versants

Les exutoires des bassins versants pour lesquels un débit centennal a été estimé sont localisés et numérotés sur la figure suivante :

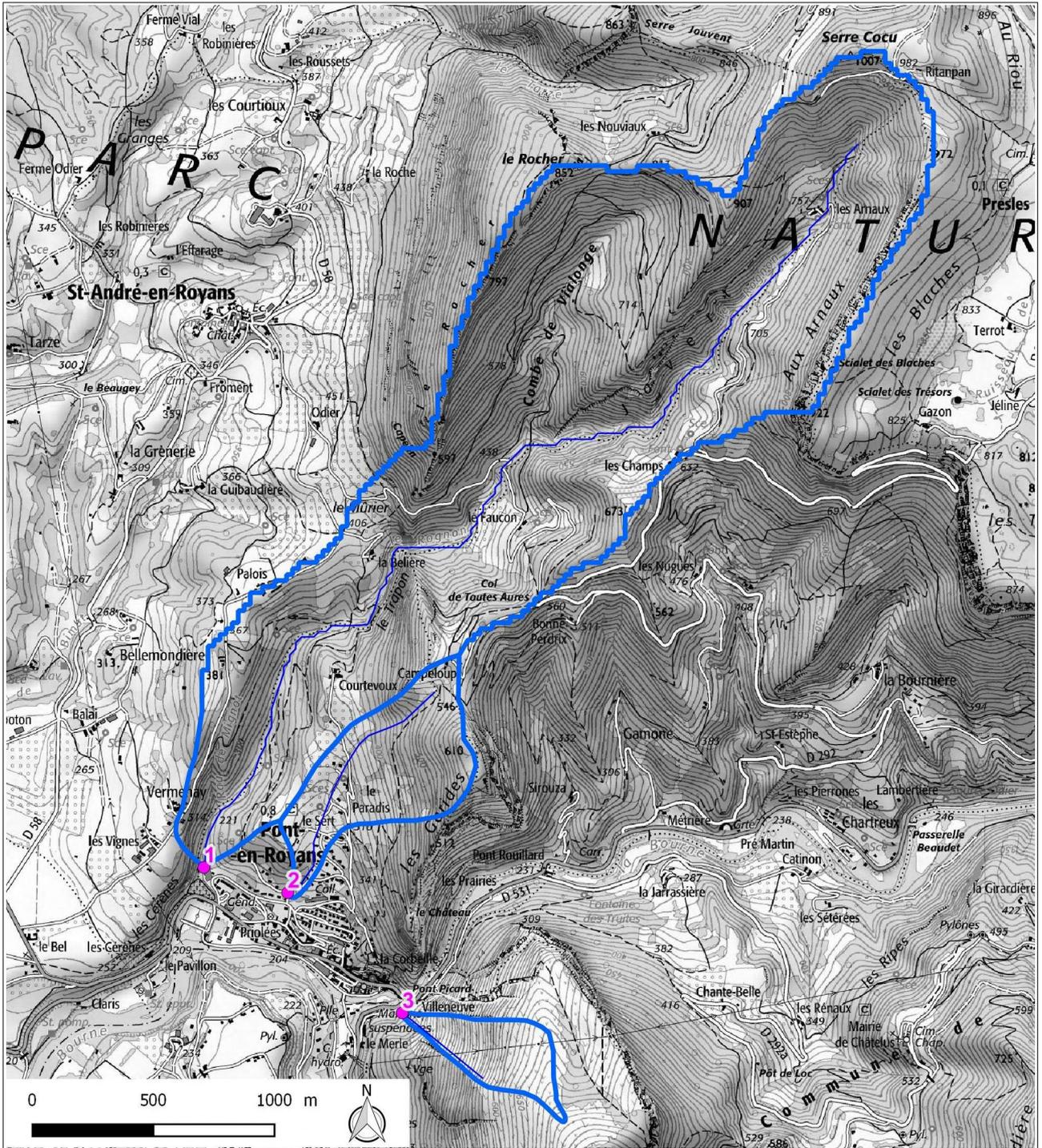


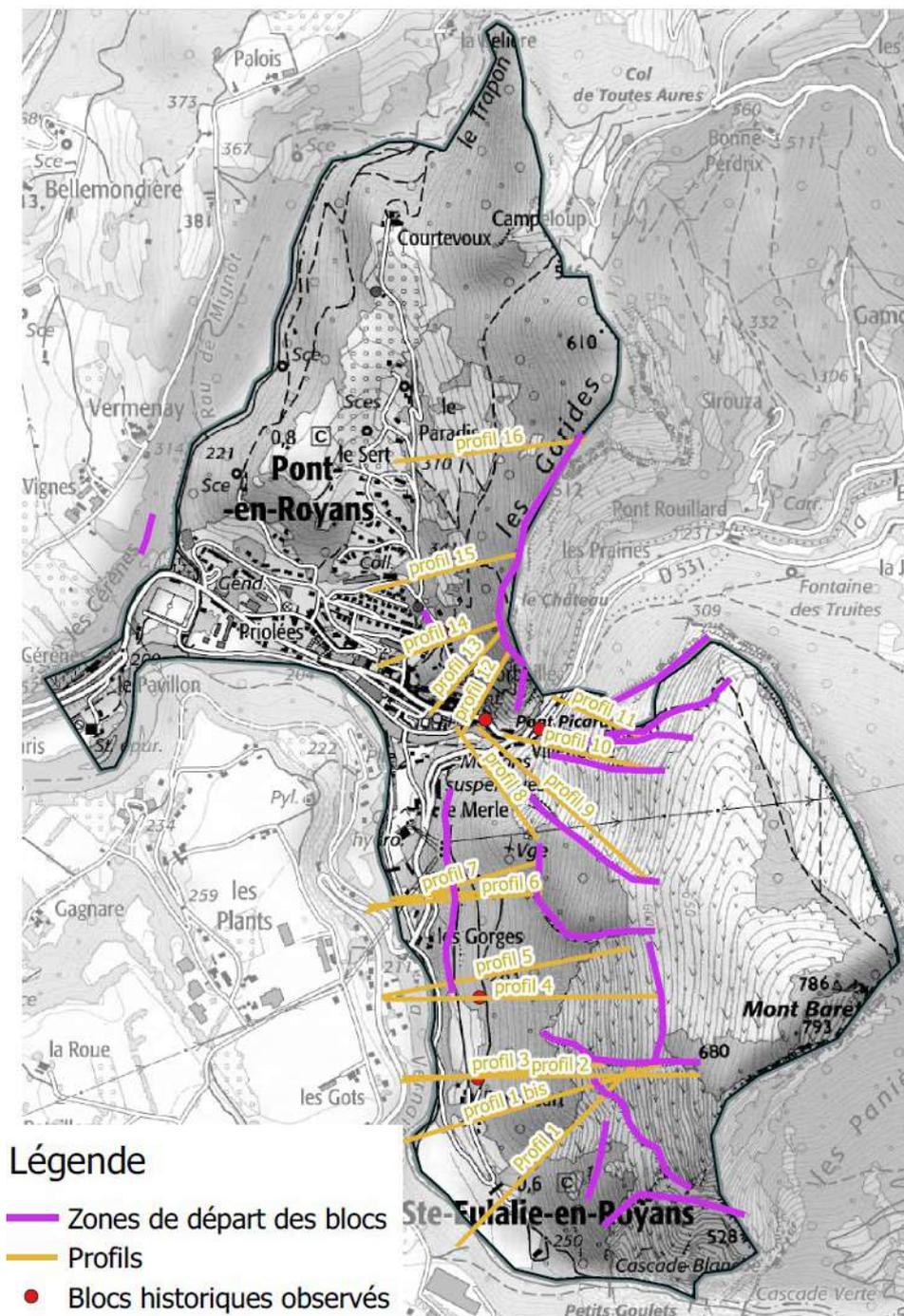
Figure V.5: Localisation et numérotation des exutoires des bassins versants.

5. Tableaux de résultats

Les résultats intermédiaires de calculs et débits centennaux estimés sont rassemblés dans le tableau suivant :

N° du bassin versant	Surface du bassin versant (ha)	Curve Number moyen	Durée de pluie retenue (h)	Cumul de précipitation centennal moyenne (mm)	Débit centennal (m³/s)	Débit centennal spécifique (m³/s/km²)
1	356,57	72	1,0	46	7,1	2,0
2	36,31	73	1,0	46	1,5	4,2
3	13,89	73	1,0	46	0,7	4,7

Annexe 5 Carte des zones de départ potentielles de chutes de blocs et de localisation des profils – présentation des profils



Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Villeneuve
 n° secteur : 1
 Profil : 1bis 1
 source profil : IGN 25000

Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

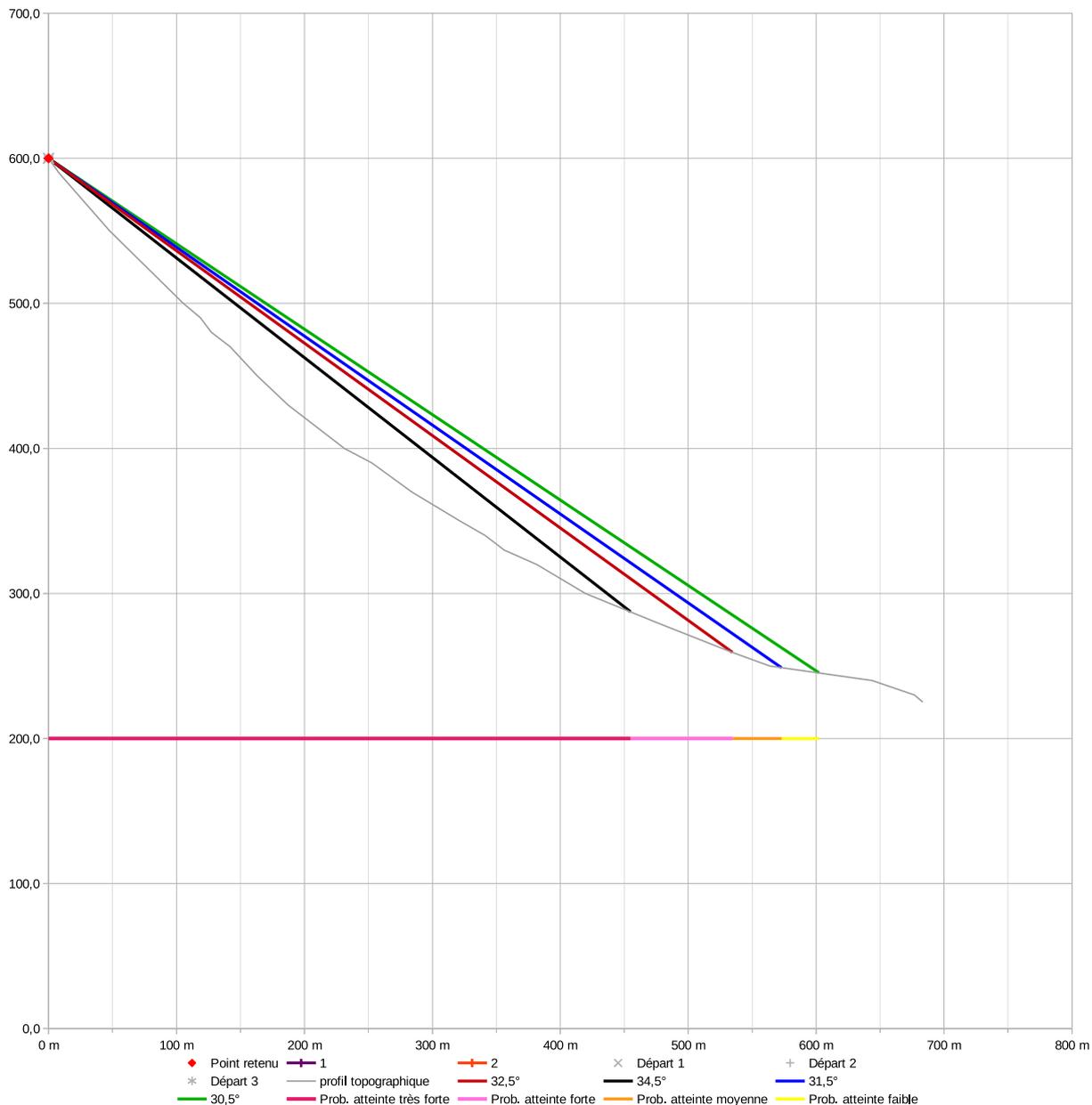
Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	600,0
Départ 2	0,0	600,0
Départ 3	0,0	600,0
Point retenu	0	600

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	34,5°	0,0 m	600,0 m	4	4	P4
		454,9 m	287,3 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	32,5°	0,0 m	600,0 m	3	3	P3
		534,7 m	259,4 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	31,5°	0,0 m	600,0 m	2	2	P3
		573,0 m	248,9 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	30,5°	0,0 m	600,0 m	1	1	P3
		602,4 m	245,2 m	Faible	Faible	Fort

33



Repères				P atteinte	X	Z	Z graphe
numéro	X	Z	Beta				
1		#N/D	#N/D	Prob. atteinte très forte	0 m	600 m	200
		#N/D		Prob. atteinte très forte	455 m	287 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte forte	455 m	287 m	200 m
2		#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	535 m	259 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte moyenne	535 m	249 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte moyenne	573 m	600 m	200 m
		#N/D	#N/D	Prob. atteinte moyenne	573 m	600 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte faible	573 m	600 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte faible	602 m	245 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Villeneuve
 n° secteur : 1
 Profil : 2 1
 source profil : MNT RGEAlt 5m

Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

Observations :

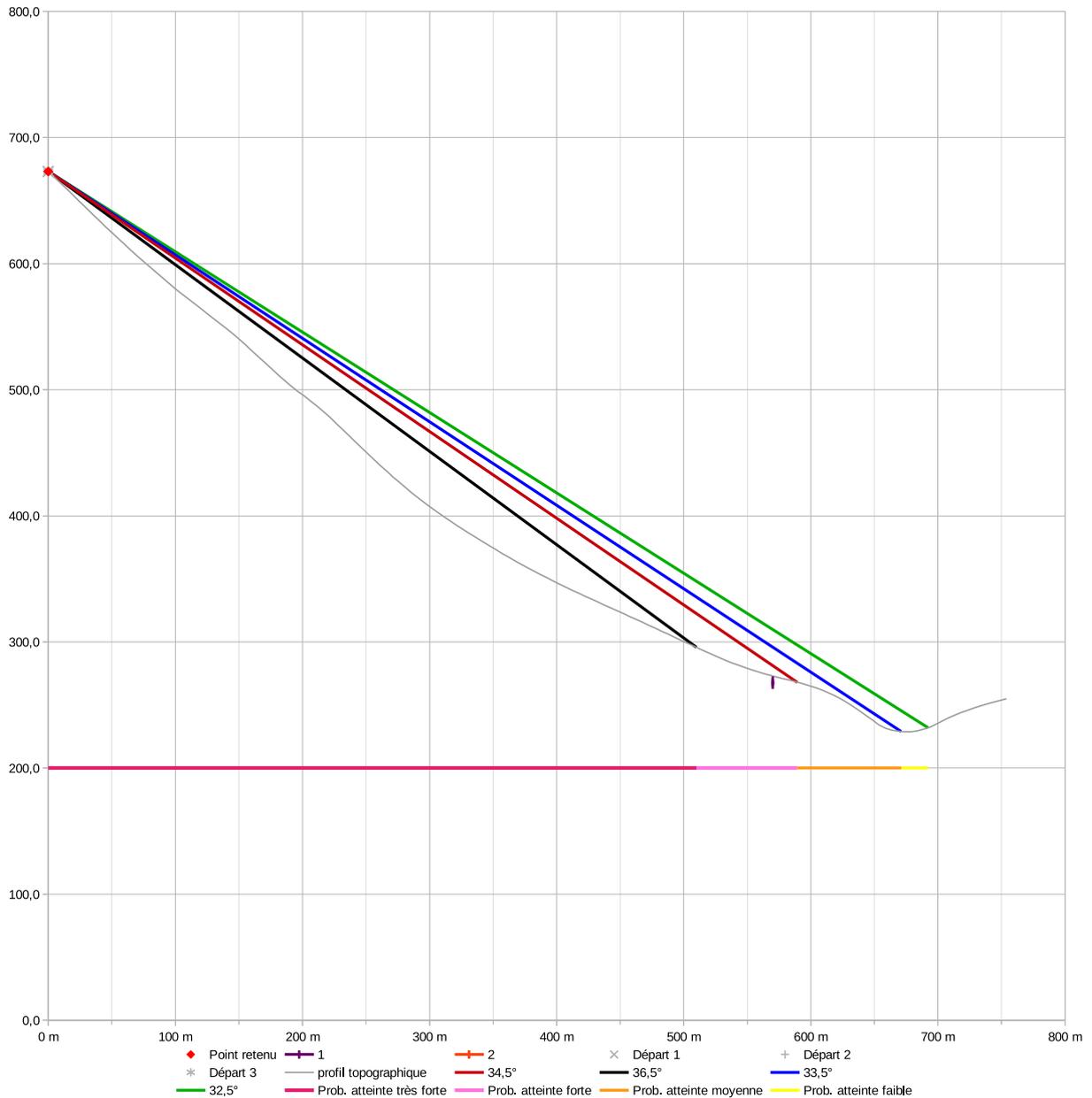
Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	673,1
Départ 2	0,0	673,1
Départ 3	0,0	673,1
Point retenu	0	673,1

45,5

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	36,5°	0,0 m	673,1 m	4	4	P4
		510,1 m	295,7 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	34,5°	0,0 m	673,1 m	3	3	P3
		589,4 m	268,0 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	33,5°	0,0 m	673,1 m	2	2	P3
		671,0 m	229,0 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	32,5°	0,0 m	673,1 m	1	1	P3
		692,4 m	232,0 m	Faible	Faible	Fort

33



numéro	Repères		Beta	P atteinte	X	Z	Z graphe
	X	Z					
1	570 m	267 m	35,4°	Prob. atteinte très forte	0 m	673 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte très forte	510 m	296 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte forte	510 m	268 m	200 m
2	0 m	#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	589 m	268 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte moyenne	589 m	229 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte moyenne	671 m	673 m	200 m
	0 m	#N/D	#N/D	Prob. atteinte faible	671 m	673 m	200 m
				Prob. atteinte faible	692 m	232 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Villeneuve
 n° secteur : 1
 Profil : 3 1
 source profil : MNT RGEAlt 5m

Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

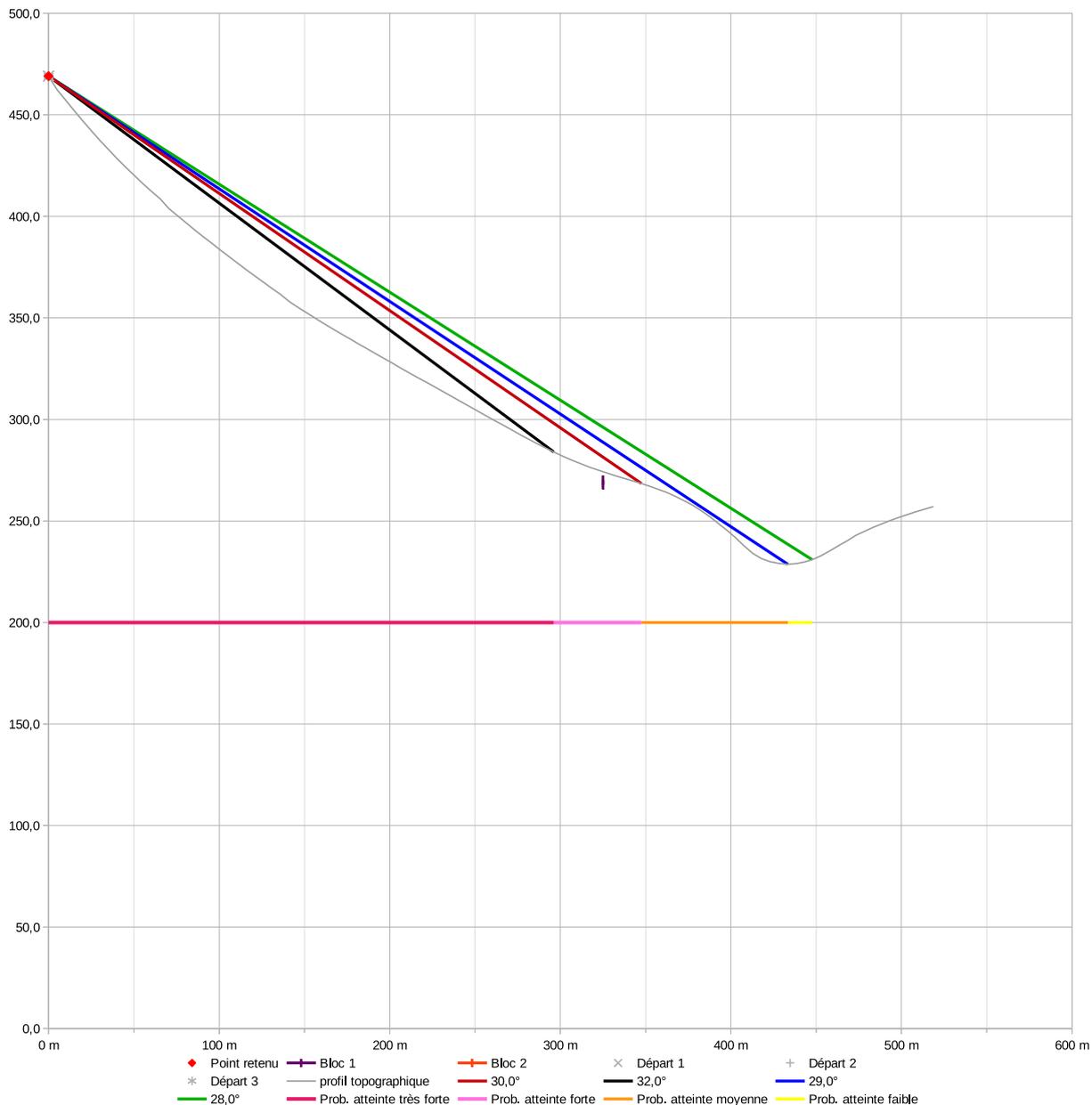
Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	469,0
Départ 2	0,0	469,0
Départ 3	0,0	469,0
Point retenu	0	469

45,5

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	32,0°	0,0 m	469,0 m	4	4	P4
		296,1 m	284,0 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	30,0°	0,0 m	469,0 m	3	3	P3
		347,5 m	268,4 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	29,0°	0,0 m	469,0 m	2	2	P3
		433,5 m	228,7 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	28,0°	0,0 m	469,0 m	1	1	P3
		447,7 m	231,0 m	Faible	Faible	Fort



Repères				P atteinte	X	Z	Z graphe
numéro	X	Z	Beta				
Bloc 1	325	270,0	31,5°	Prob. atteinte très forte	0 m	469 m	200
	325 m	268 m		Prob. atteinte très forte	296 m	284 m	200 m
				Prob. atteinte forte	296 m	284 m	200 m
Bloc 2	0 m	#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	347 m	268 m	200 m
				Prob. atteinte moyenne	347 m	229 m	200 m
				Prob. atteinte moyenne	433 m	469 m	200 m
Bloc 3	0 m	#N/D	#N/D	Prob. atteinte faible	433 m	469 m	200 m
				Prob. atteinte faible	448 m	231 m	200 m
				Prob. atteinte faible	448 m	231 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Les Gorges
 n° secteur : 1
 Profil : 4 1
 source profil : MNT RGEAlt 5m

Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

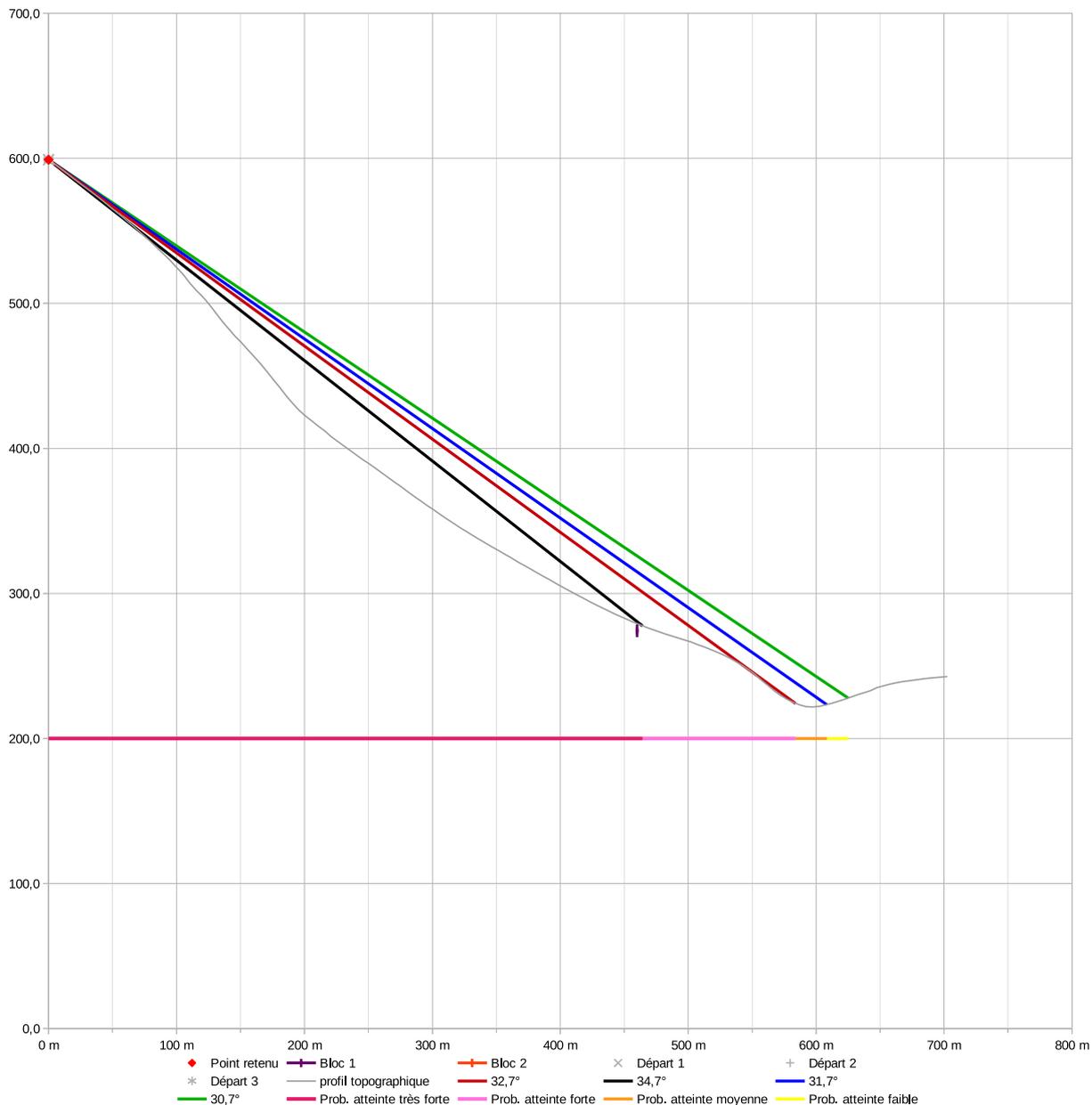
Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	599,1
Départ 2	0,0	599,1
Départ 3	0,0	599,1
Point retenu	0	599,1

45,5

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	34,7°	0,0 m	599,1 m	4	4	P4
		464,3 m	277,6 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	32,7°	0,0 m	599,1 m	3	3	P3
		584,0 m	224,2 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	31,7°	0,0 m	599,1 m	2	2	P3
		608,4 m	223,3 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	30,7°	0,0 m	599,1 m	1	1	P3
		625,2 m	227,9 m	Faible	Faible	Fort



numéro	Repères		Beta	P atteinte	X	Z	Z graphe
	X	Z					
Bloc 1	460	275,3	35,1°	Prob. atteinte très forte	0 m	599 m	200
	460 m	273 m		Prob. atteinte très forte	464 m	278 m	200 m
				Prob. atteinte forte	464 m	278 m	200 m
Bloc 2	0 m	#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	584 m	224 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte moyenne	584 m	223 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte moyenne	608 m	599 m	200 m
Bloc 3	0 m	#N/D	#N/D	Prob. atteinte moyenne	608 m	599 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte faible	608 m	599 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte faible	625 m	228 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Les gorges
 n° secteur : 1
 Profil : 5 1
 source profil : MNT RGEAlt 5m

Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

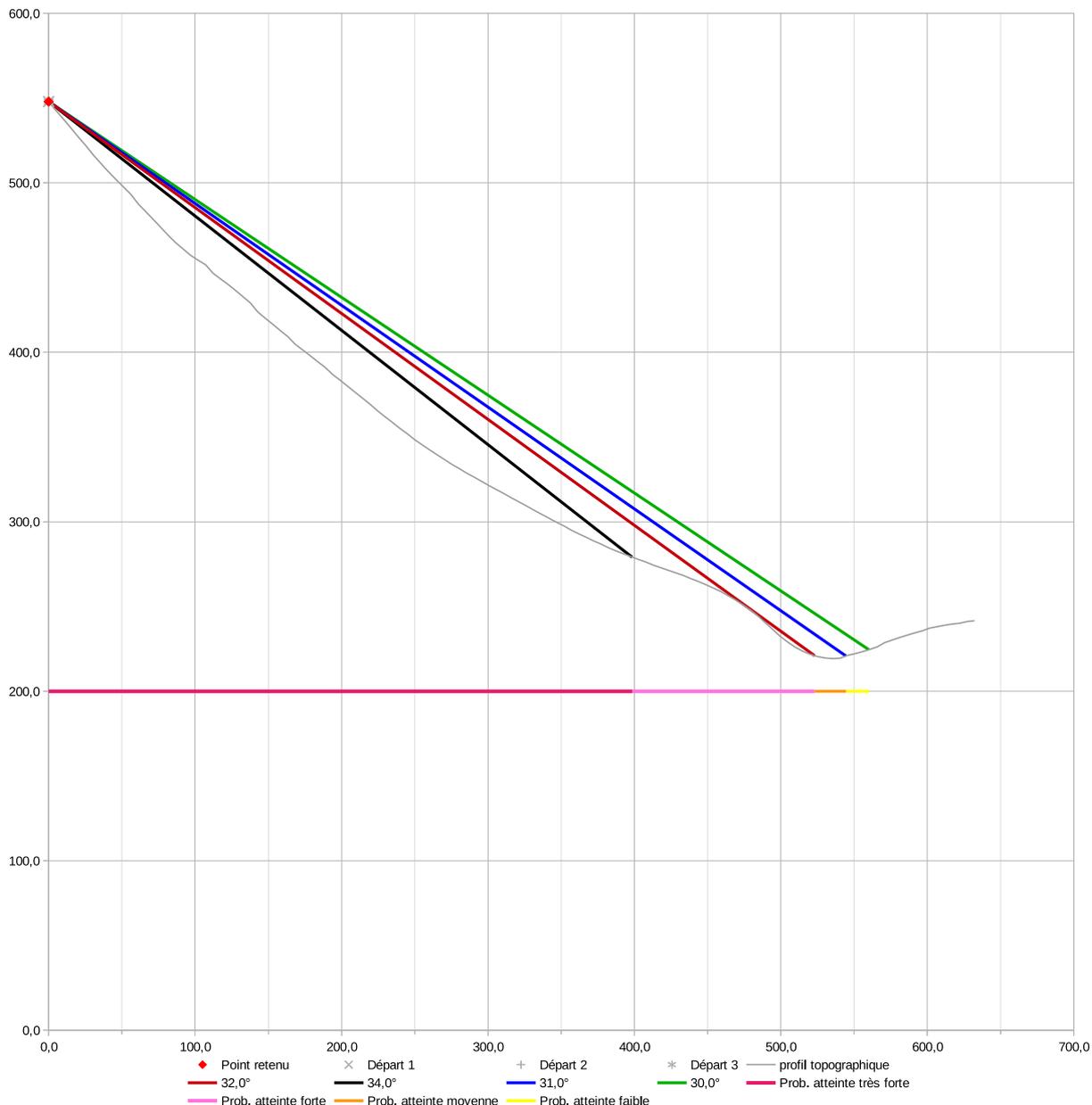
Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	547,9
Départ 2	0,0	547,9
Départ 3	0,0	547,9
Point retenu	0	547,9

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	34,0°	0,0 m	547,9 m	4	4	P4
		398,5 m	279,1 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	32,0°	0,0 m	547,9 m	3	3	P3
		523,1 m	221,0 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	31,0°	0,0 m	547,9 m	2	2	P3
		544,4 m	220,8 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	30,0°	0,0 m	547,9 m	1	1	P3
		560,1 m	224,5 m	Faible	Faible	Fort

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β

33



Repères				P atteinte	X	Z	Z graphe
numéro	X	Z	Beta				
Bloc 1		#N/D	#N/D	Prob. atteinte très forte	0 m	548 m	200
		#N/D		Prob. atteinte très forte	398 m	279 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte forte	398 m	279 m	200 m
Bloc 2		#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	523 m	221 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte moyenne	523 m	221 m	200 m
Bloc 3		#N/D	#N/D	Prob. atteinte moyenne	544 m	220 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte faible	544 m	220 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte faible	560 m	225 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Les Gorges Nord
 n° secteur : 1
 Profil : 6 1
 source profil : MNT RGEAlt 5m

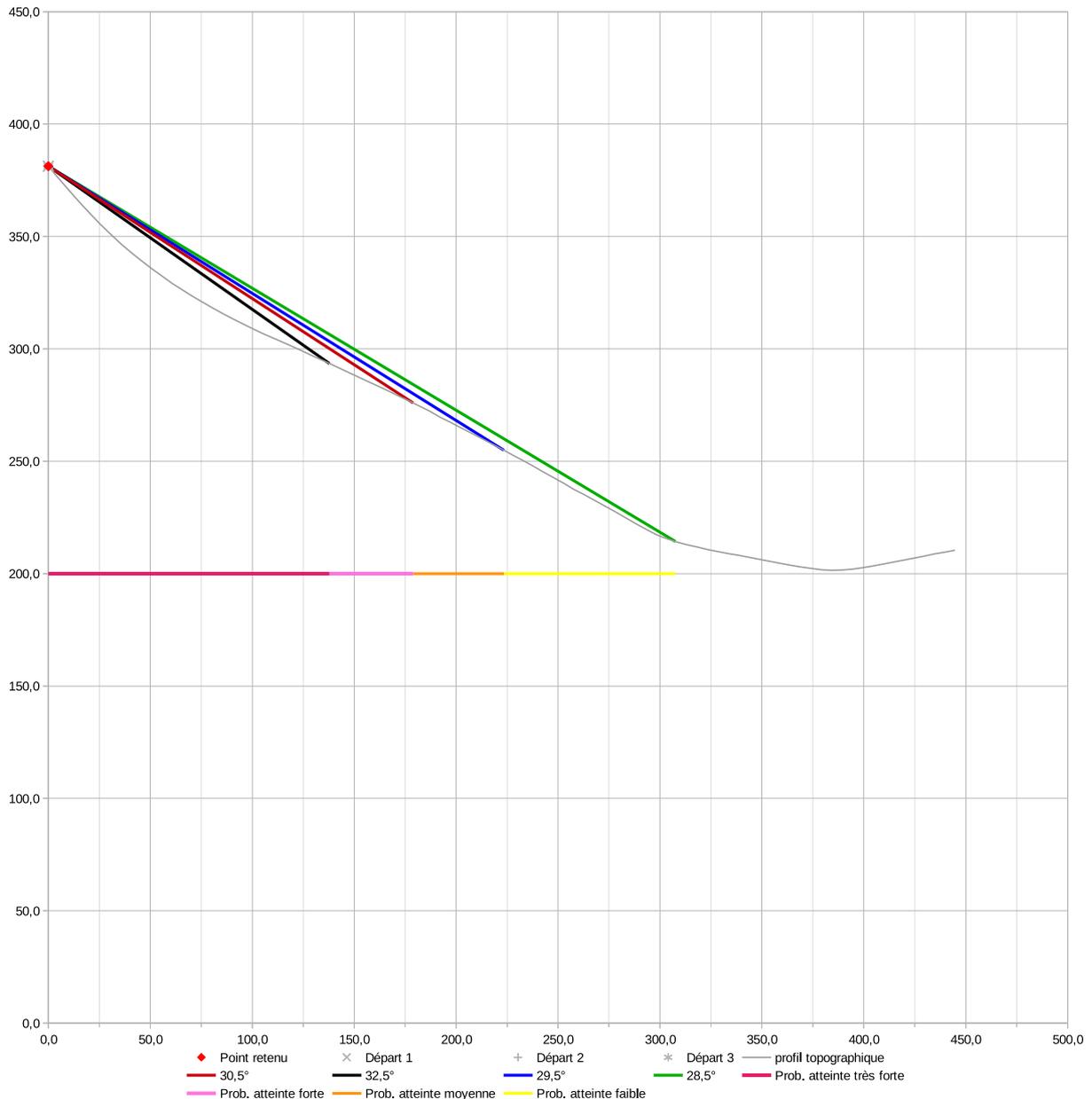
Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	381,3
Départ 2	0,0	381,3
Départ 3	0,0	381,3
Point retenu	0	381,3

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	32,5°	0,0 m	381,3 m	4	4	P4
		137,8 m	293,5 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	30,5°	0,0 m	381,3 m	3	3	P3
		178,9 m	275,9 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	29,5°	0,0 m	381,3 m	2	2	P3
		223,3 m	254,9 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	28,5°	0,0 m	381,3 m	1	1	P3
		307,5 m	214,3 m	Faible	Faible	Fort

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β



numéro	Repères			Beta	Patteinte	X	Z	Z graphe
	X	Z						
Bloc 1		#N/D		#N/D	Prob. atteinte très forte	0 m	381 m	200
	138 m	294 m			Prob. atteinte très forte	138 m	294 m	200 m
	179 m	276 m			Prob. atteinte forte	179 m	276 m	200 m
Bloc 2	0 m	#N/D		#N/D	Prob. atteinte moyenne	179 m	255 m	200 m
	223 m	381 m			Prob. atteinte moyenne	223 m	381 m	200 m
Bloc 3	0 m	#N/D		#N/D	Prob. atteinte faible	223 m	381 m	200 m
	308 m	214 m			Prob. atteinte faible	308 m	214 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Les Gorges Nord
 n° secteur : 1
 Profil : 7 1
 source profil : MNT RGEAltI 5m

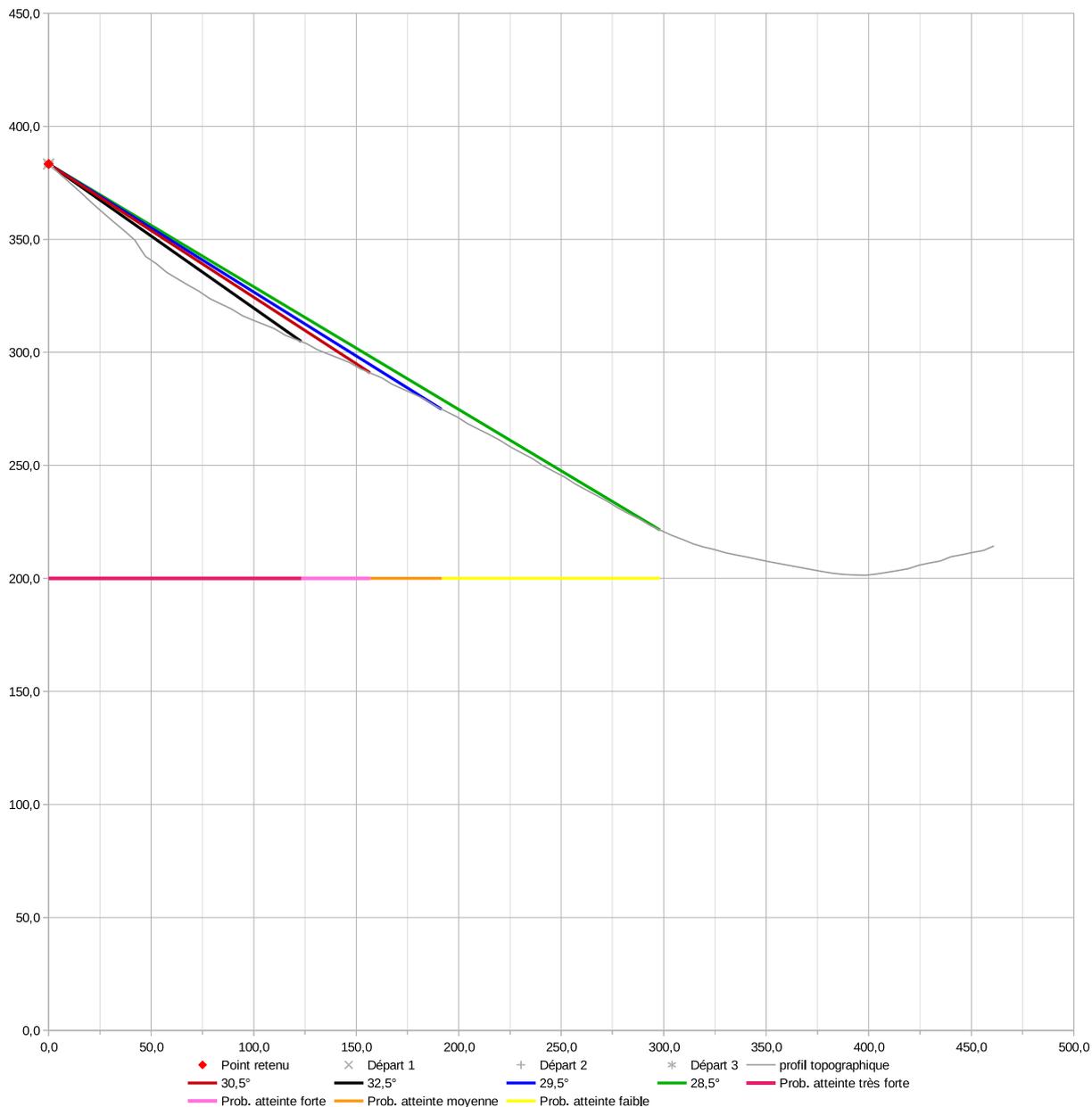
Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	383,3
Départ 2	0,0	383,3
Départ 3	0,0	383,3
Point retenu	0	383,3

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	32,5°	0,0 m	383,3 m	4	4	P4
		123,2 m	304,8 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	30,5°	0,0 m	383,3 m	3	3	P3
		156,8 m	290,9 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	29,5°	0,0 m	383,3 m	2	2	P3
		191,7 m	274,9 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	28,5°	0,0 m	383,3 m	1	1	P3
		298,2 m	221,4 m	Faible	Faible	Fort

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β



Repères				P atteinte	X	Z	Z graphe
numéro	X	Z	Beta				
Bloc 1		#N/D	#N/D	Prob. atteinte très forte	0 m	383 m	200
		#N/D		Prob. atteinte très forte	123 m	305 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte forte	123 m	305 m	200 m
Bloc 2		#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	157 m	291 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte moyenne	157 m	275 m	200 m
Bloc 3		#N/D	#N/D	Prob. atteinte moyenne	192 m	383 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte faible	192 m	383 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte faible	298 m	221 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Pont Picard
 n° secteur : 2
 Profil : 12 1
 source profil : INT RGEAlt 5m

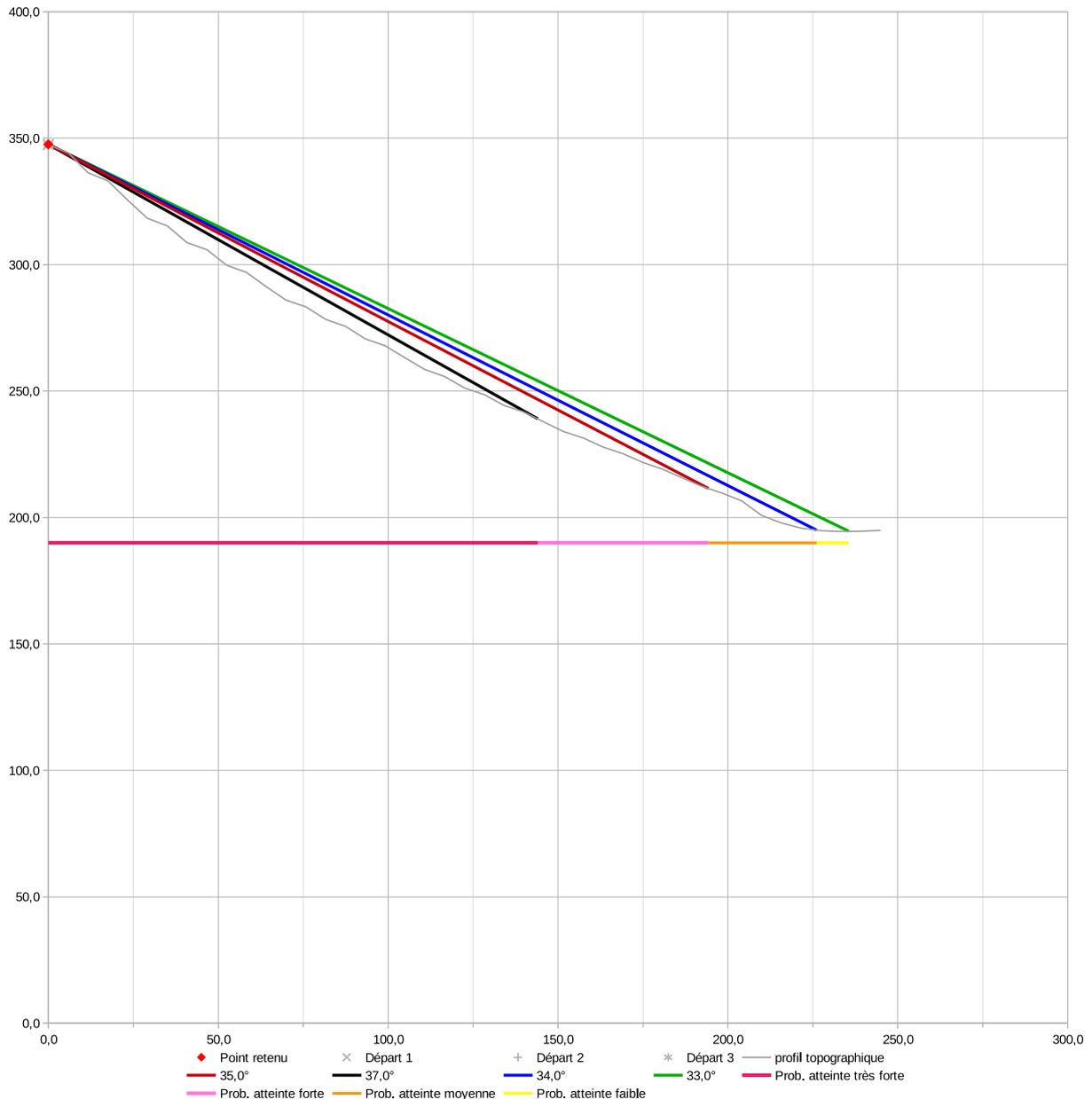
Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	347,5
Départ 2	0,0	347,5
Départ 3	0,0	347,5
Point retenu	0	347,5

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	37,0°	0,0 m	347,5 m	4	4	P4
		144,0 m	239,0 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	35,0°	0,0 m	347,5 m	3	3	P3
		194,3 m	211,5 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	34,0°	0,0 m	347,5 m	2	2	P3
		226,1 m	195,0 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	33,0°	0,0 m	347,5 m	1	1	P3
		235,6 m	194,5 m	Faible	Faible	Fort



numéro	Repères		Beta	Patteinte	X	Z	Z graphe
	X	Z					
Bloc 1		#N/D	#N/D	Prob. atteinte très forte	0 m	348 m	190
		#N/D		Prob. atteinte très forte	144 m	239 m	190 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte forte	144 m	190 m	190 m
Bloc 2		#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	194 m	211 m	190 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte moyenne	194 m	190 m	190 m
Bloc 3		#N/D	#N/D	Prob. atteinte moyenne	226 m	348 m	190 m
		#N/D		Prob. atteinte faible	226 m	348 m	190 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte faible	236 m	195 m	190 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Pont Picard
 n° secteur : 2
 Profil : 13 1
 source profil : INT RGEAlt 5m

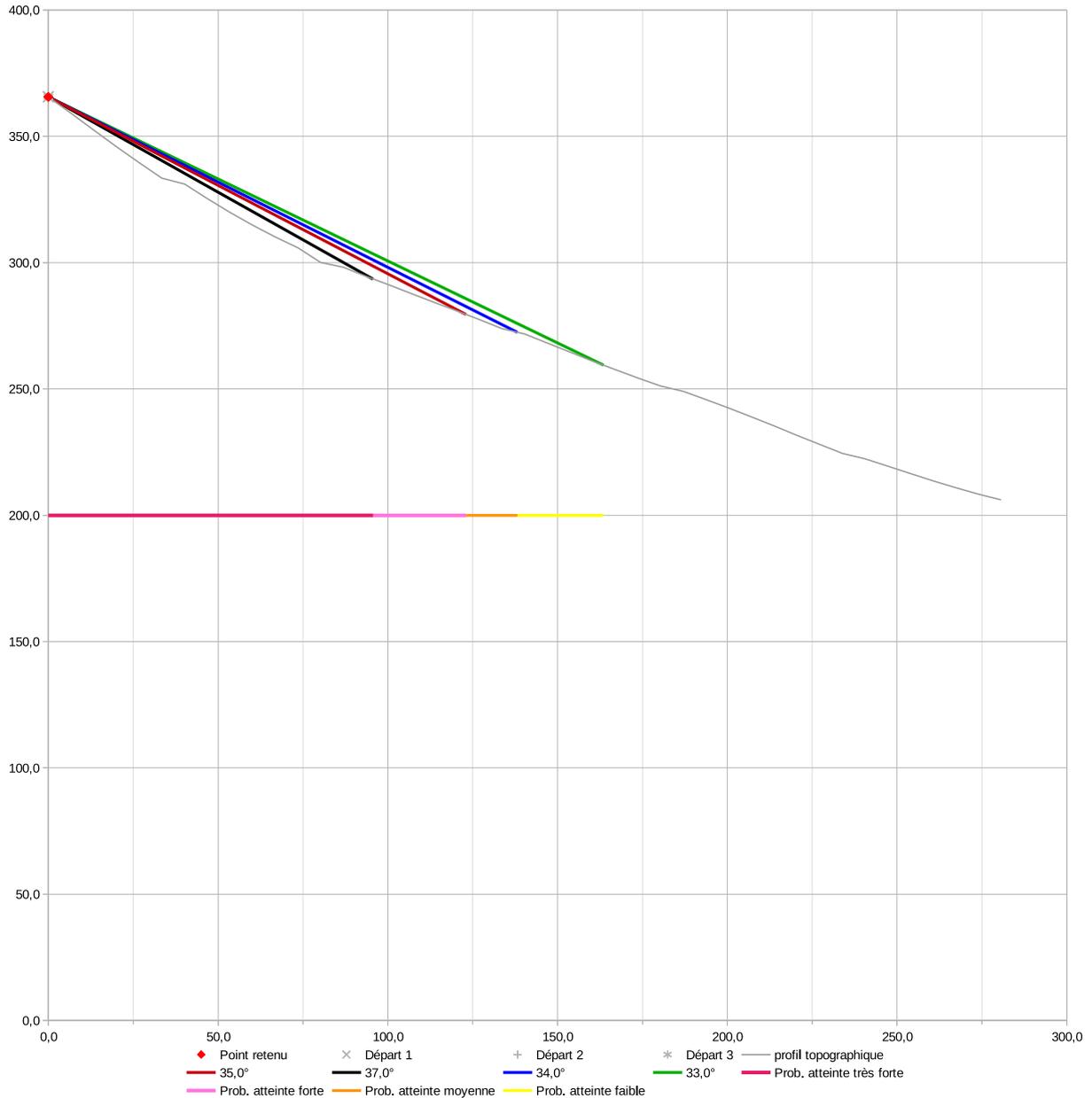
Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	365,6
Départ 2	0,0	365,6
Départ 3	0,0	365,6
Point retenu	0	365,6

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	37,0°	0,0 m	365,6 m	4	4	P4
		95,7 m	293,5 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	35,0°	0,0 m	365,6 m	3	3	P3
		123,1 m	279,4 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	34,0°	0,0 m	365,6 m	2	2	P3
		138,2 m	272,4 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	33,0°	0,0 m	365,6 m	1	1	P3
		163,5 m	259,4 m	Faible	Faible	Fort

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β



numéro	Repères			Beta	Patteinte	X	Z	Z graphe
	X	Z						
Bloc 1		#N/D		#N/D	Prob. atteinte très forte	0 m	366 m	200
	0 m	#N/D			Prob. atteinte très forte	96 m	293 m	200 m
		#N/D			Prob. atteinte forte	96 m	200 m	200 m
Bloc 2		#N/D		#N/D	Prob. atteinte forte	123 m	279 m	200 m
	0 m	#N/D			Prob. atteinte moyenne	123 m	272 m	200 m
Bloc 3		#N/D		#N/D	Prob. atteinte moyenne	138 m	366 m	200 m
		#N/D			Prob. atteinte faible	138 m	366 m	200 m
	0 m	#N/D			Prob. atteinte faible	164 m	259 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Les Garides
 n° secteur : 3
 Profil : 14 1
 source profil : MNT RGEAlt 5m

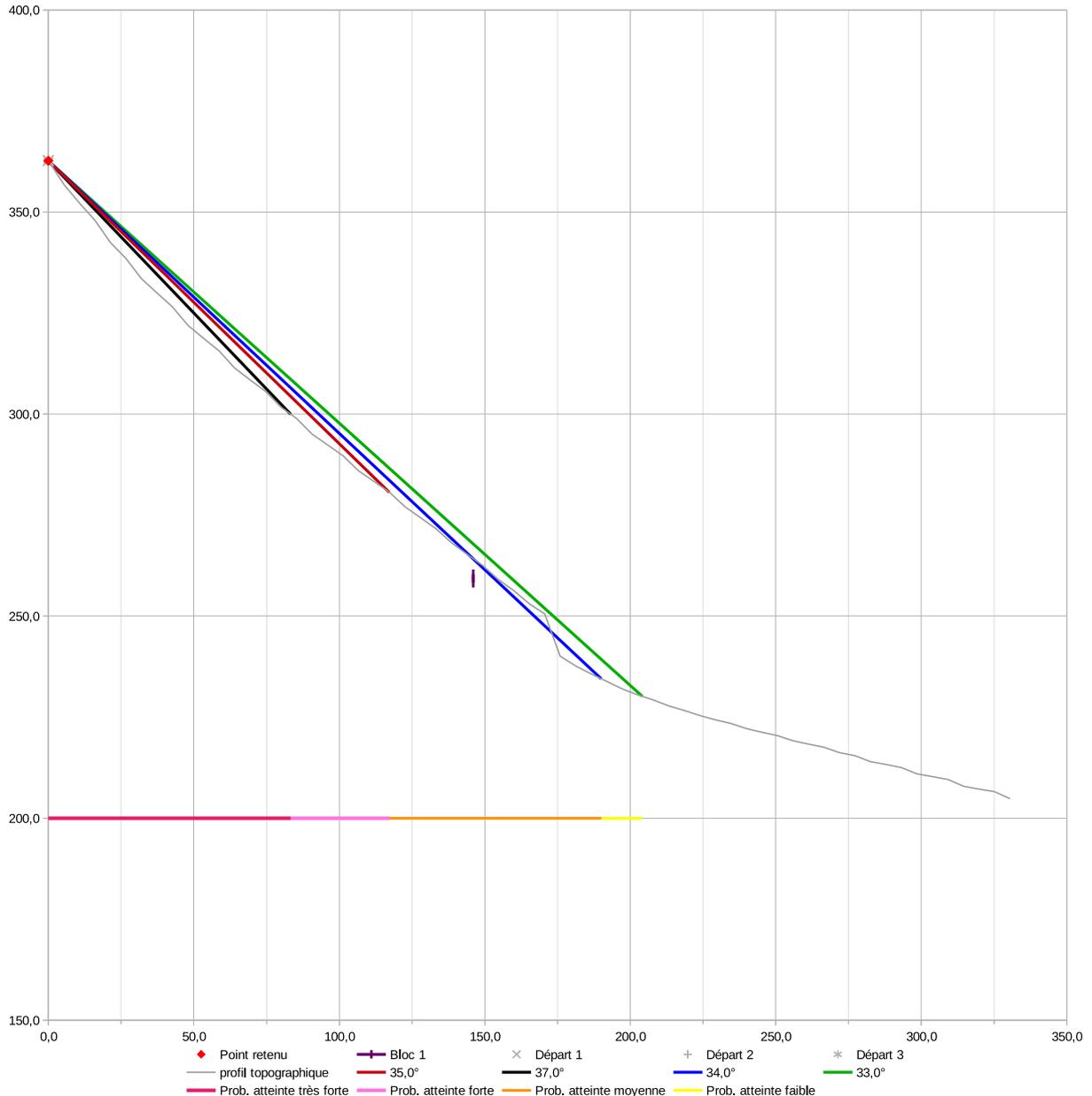
Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	362,7
Départ 2	0,0	362,7
Départ 3	0,0	362,7
Point retenu	0	362,7

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	37,0°	0,0 m	362,7 m	4	4	P4
		83,3 m	300,0 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	35,0°	0,0 m	362,7 m	3	3	P3
		117,2 m	280,6 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	34,0°	0,0 m	362,7 m	2	2	P3
		190,0 m	234,5 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	33,0°	0,0 m	362,7 m	1	1	P3
		204,1 m	230,2 m	Faible	Faible	Fort

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2	par rapport à β



numéro	Repères		Beta	P'atteinte	X	Z	Z graphe
	X	Z					
Bloc 1	146	260,3	35,0°	Prob. atteinte très forte	0 m	363 m	200
	146 m	258 m		Prob. atteinte très forte	83 m	300 m	200 m
Bloc 2		#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	83 m	281 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte moyenne	117 m	235 m	200 m
Bloc 3		#N/D	#N/D	Prob. atteinte moyenne	190 m	363 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte faible	190 m	363 m	200 m
				Prob. atteinte faible	204 m	230 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Les Garides
 n° secteur : 3
 Profil : 15 1
 source profil : MNT RGEAlt 5m

Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

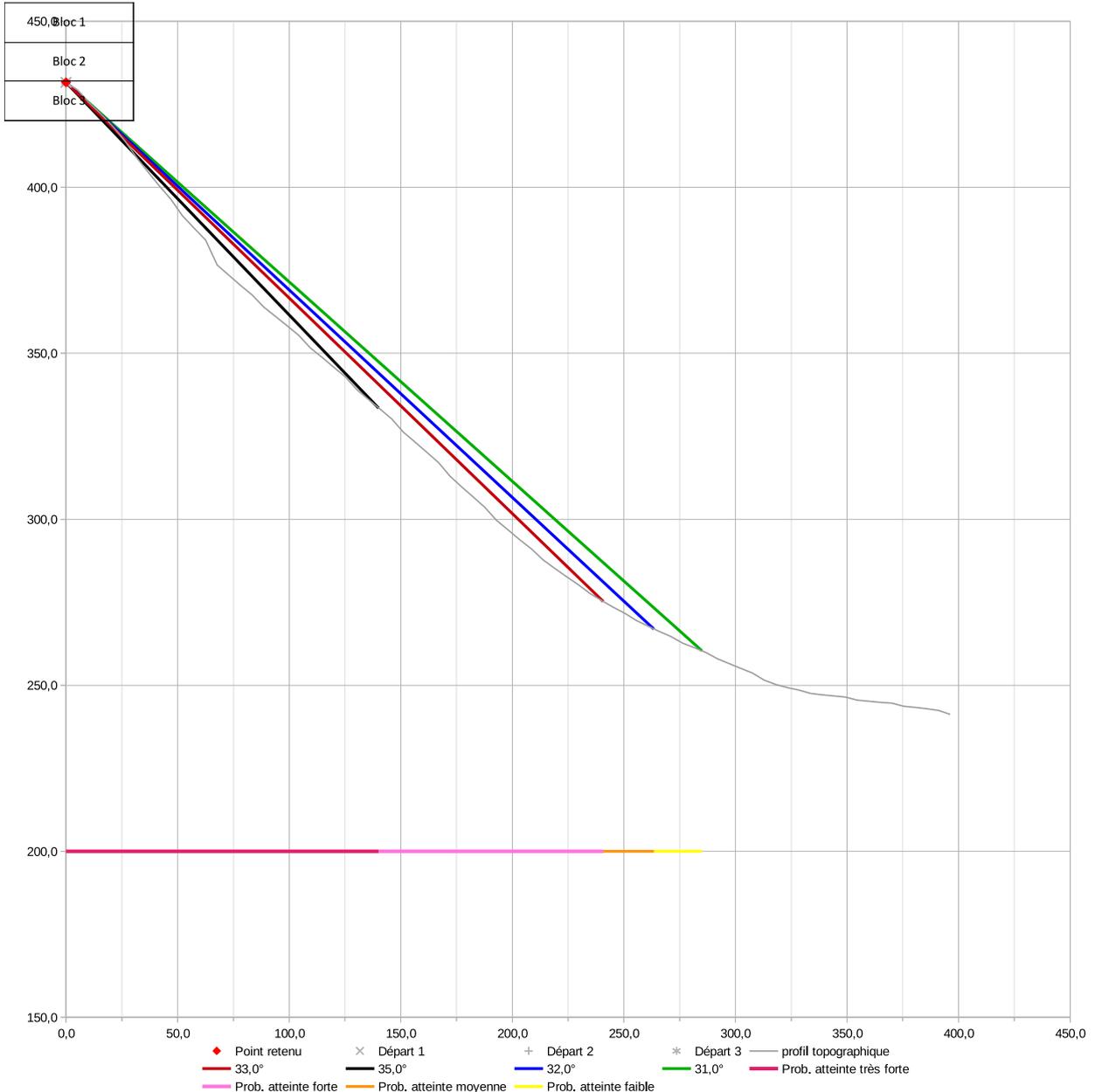
Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	0,0	431,6
Départ 2	0,0	431,6
Départ 3	0,0	431,6
Point retenu	0	431,6

45,5

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	35,0°	0,0 m	431,6 m	4	4	P4
		140,1 m	333,5 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	33,0°	0,0 m	431,6 m	3	3	P3
		240,7 m	275,3 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	32,0°	0,0 m	431,6 m	2	2	P3
		263,5 m	267,0 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	31,0°	0,0 m	431,6 m	1	1	P3
		285,0 m	260,4 m	Faible	Faible	Fort



numéro	Repères		Beta	P. atteinte	X	Z	Z graphe
	X	Z					
Bloc 1		#N/D	#N/D	Prob. atteinte très forte	0 m	432 m	200
		#N/D		Prob. atteinte très forte	140 m	333 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte forte	140 m	200 m	
Bloc 2		#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	241 m	275 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte moyenne	241 m	267 m	200 m
Bloc 3		#N/D	#N/D	Prob. atteinte moyenne	263 m	432 m	200 m
		#N/D		Prob. atteinte faible	263 m	432 m	200 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte faible	285 m	260 m	200 m

Commune : Pont-en-Royans
 Secteur : Les Garides
 n° secteur : 3
 Profil : 16 1
 source profil : MNT REGAltI 5m

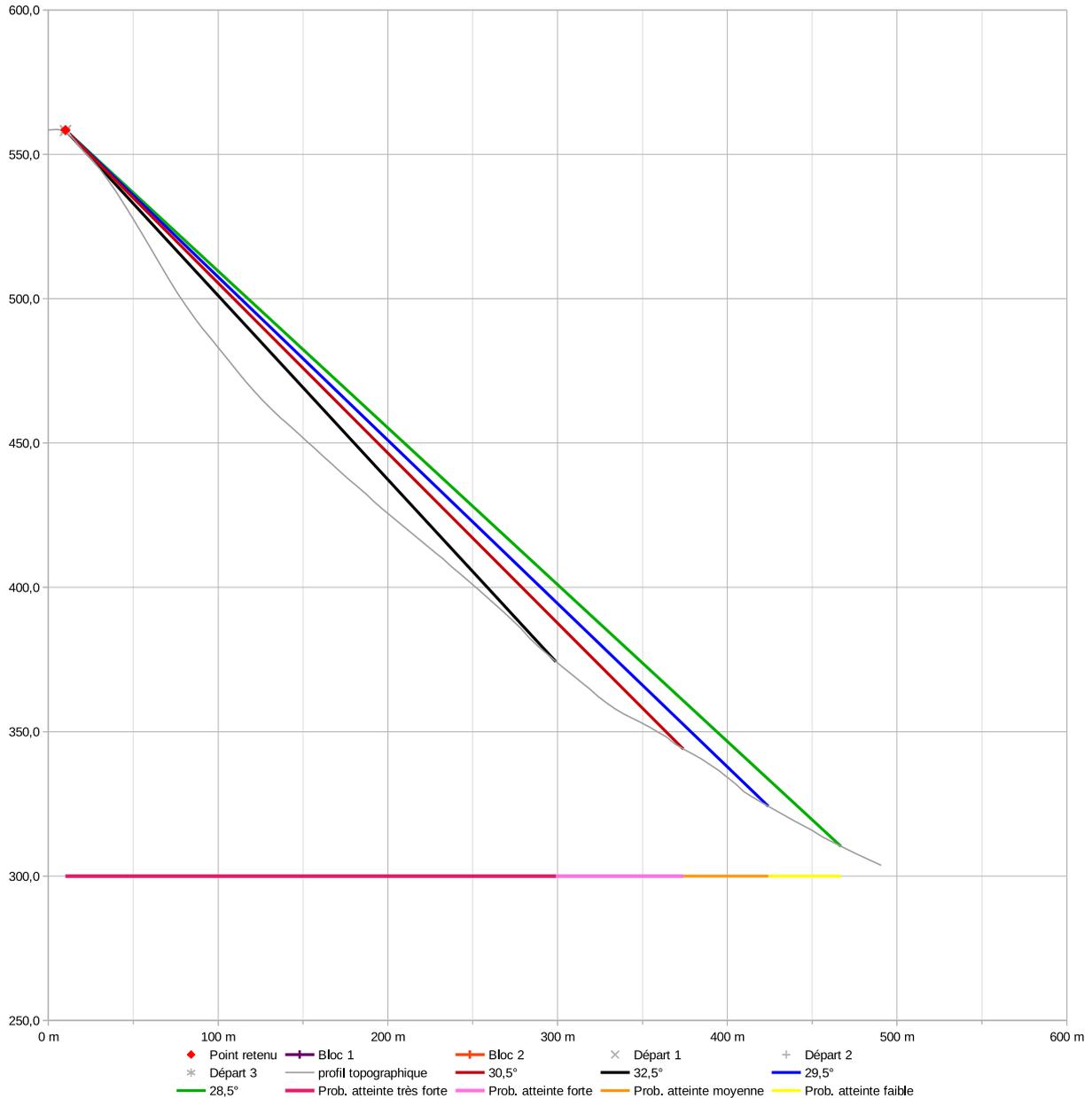
Activité : 1 Faible
 Volume bloc de réf. : 1,0 m³
 Intensité : 3 élevée

Observations :

Points de départ		
	X	Z
Départ 1	10,1	558,2
Départ 2	10,1	558,2
Départ 3	10,1	558,2
Point retenu	10	558,4

Angles ligne d'énergie				Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Aléa
	Angle	X	Z			
Angle 1	32,5°	10,1 m	558,4 m	4	4	P4
		299,1 m	374,3 m	Très forte	Très élevée	Très fort
Référence (beta_ref)	30,5°	10,1 m	558,4 m	3	3	P3
		374,1 m	344,0 m	Forte	Élevée	Fort
Angle 2	29,5°	10,1 m	558,4 m	2	2	P3
		424,1 m	324,2 m	Moyenne	Modérée	Fort
Angle 3	28,5°	10,1 m	558,4 m	1	1	P3
		467,0 m	310,3 m	Faible	Faible	Fort

Estimation angle 1	2°	par rapport à β
Estimation angle 2	-1°	par rapport à β
Estimation angle 3	-2°	par rapport à β



numéro	Repères		Beta	Patteinte	X	Z	Z graphe
	X	Z					
Bloc 1		#N/D	#N/D	Prob. atteinte très forte	10 m	558 m	300
		#N/D		Prob. atteinte très forte	299 m	374 m	300 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte forte	299 m	300 m	300 m
Bloc 2		#N/D	#N/D	Prob. atteinte forte	374 m	344 m	300 m
		#N/D		Prob. atteinte moyenne	374 m	324 m	300 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte moyenne	424 m	558 m	300 m
Bloc 3		#N/D	#N/D	Prob. atteinte faible	424 m	558 m	300 m
		#N/D		Prob. atteinte faible	467 m	310 m	300 m
	0 m	#N/D		Prob. atteinte faible	467 m	310 m	300 m

Annexe 6 Méthode de la ligne d'énergie

La méthode dite de la ligne d'énergie (ou encore méthode des cônes) permet d'estimer, à partir d'une zone de départ de chute de roches, la localisation du point d'arrêt maximal probable des blocs. Elle est basée sur le principe de la ligne d'énergie développé par Heim en 1932.

Principe général (source : note MEZAP)

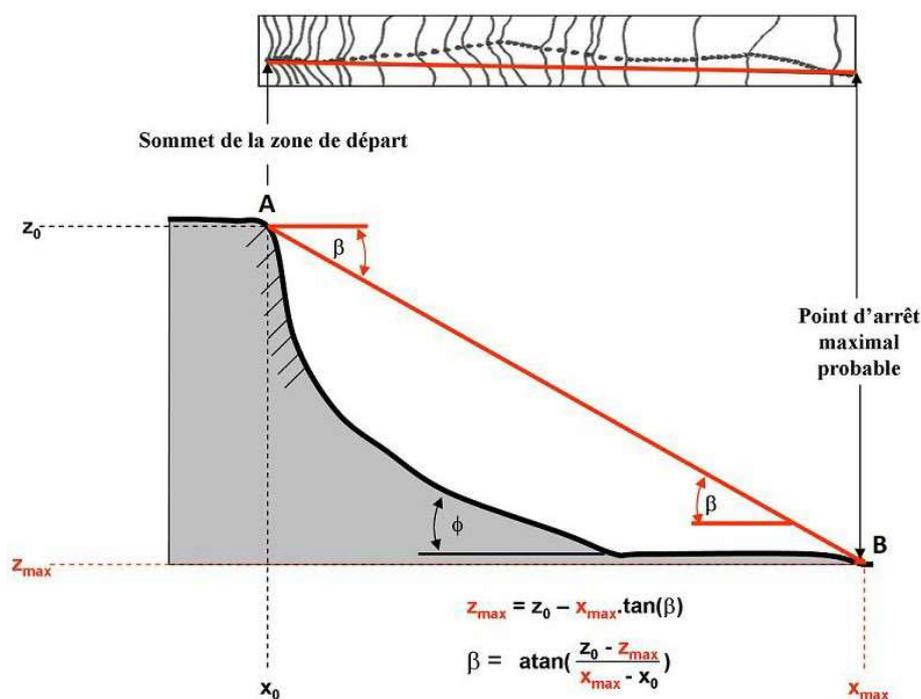


Figure V.6: Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule permettant de déterminer l'angle β (modifié d'après Berger et Dorren, (2008)) - © MEZAP

Le modèle de la ligne d'énergie repose sur le principe simple et trivial selon lequel un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide. Si la pente est supérieure à un angle limite β , le bloc accélère, sinon, il ralentit. Ainsi, un bloc peut se déplacer d'un point de départ A à un point d'arrivée B, point d'intersection de la topographie avec une ligne imaginaire partant du point A et faisant un angle β avec l'horizontale (Figure V.6). Cette ligne est appelée « ligne d'énergie », et l'angle β « angle de la ligne d'énergie ». Pour une zone de départ donnée, connaissant le profil topographique du versant en aval de cette zone, on peut alors, si l'on connaît la valeur de l'angle β , proposer le point maximal probable qu'atteindra tout projectile partant de la zone de départ.

Afin de prendre en compte la possibilité de déviation du bloc par rapport à trajectoire principale (à cause de la forme du bloc ou de la présence d'obstacles), il est possible de définir un cône de propagation des blocs, de sommet A et d'angle β par rapport à l'horizontale.

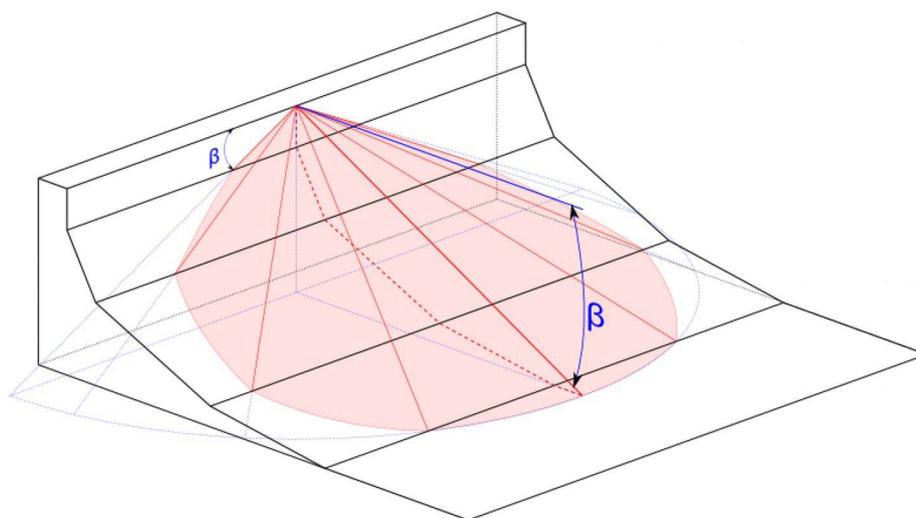


Figure V.7: Exemple de cône de propagation défini selon l'angle β par rapport à l'horizontale.

Cette méthode peut être appliquée « manuellement » ou à l'aide de données numériques. Dans le premier cas, elle sera appliquée via différents profils sur lesquels seront calculés les points maximaux d'arrêt probable, et par interpolation à dire d'expert entre ces profils. Dans le deuxième cas, le logiciel Rollfree, développé sous environnement Matlab par IRSTEA (Toe et Berger, 2004), permet d'appliquer cette méthode à partir d'un modèle numérique de terrain. C'est le logiciel utilisé dans cette étude.

Angle de trajet / angle géométrique

Deux possibilités se présentent quant à l'implantation du profil topographique auquel appliquer le principe de la ligne d'énergie.

Une première école de pensée préconise d'utiliser un profil rectiligne, selon la direction de plus grande pente depuis le point de départ, que l'on peut appeler « profil géométrique » (en rouge sur la figure suivante). L'angle associé à la ligne d'énergie dans ce cas est appelé « angle géométrique ». La topographie entre le point de départ et le point d'arrêt n'est donc absolument pas prise en compte.

Une seconde école de pensée propose d'utiliser le profil en long correspondant au trajet le plus probable par rapport à la topographie du versant, que l'on peut appeler « profil de trajet » (ligne d'écoulement topographique, en bleu sur la figure suivante). L'angle associé est alors appelé « angle de trajet ».

Le point d'arrêt est le même dans les deux cas, mais le profil de trajet est plus long que le profil géométrique, puisqu'il respecte les variations locales de topographie. La différence de longueur entre les deux profils se traduit par une différence entre les angles associés (de quelques degrés d'après MEZAP¹).

Le logiciel RollFree utilise l'angle géométrique. En effet, l'angle de trajet impliquerait d'utiliser ou développer un principe de calcul d'écoulement, ce qui est plus complexe à mettre en œuvre.

1 Groupe de travail « Méthodologie de Zonage de l'Aléa chutes de Pierre » animé par IRSTEA pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.

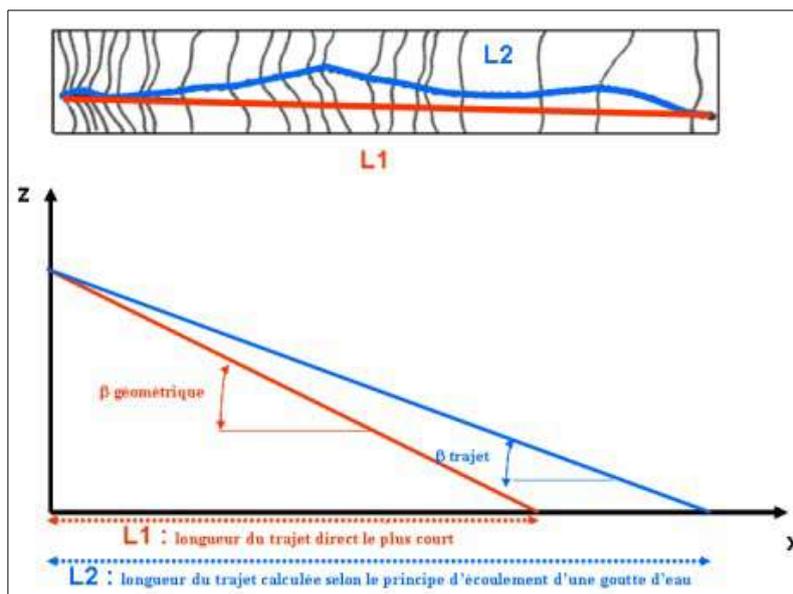


Figure V.8: Principe de l'angle géométrique (rouge) et de l'angle de trajet (bleu). Le point d'arrêt est le même dans les deux cas, mais le profil de trajet est plus long que le profil géométrique, ce qui explique que les deux profils déroulés sur un même axe semblent aboutir à deux points d'arrêt différents.

Angle d'analyse

Afin de prendre en compte la possibilité de déviation de la trajectoire des blocs par rapport à la ligne de plus grande pente, le logiciel Rollfree permet d'appliquer un angle d'analyse de part et d'autre de la/des direction(s) principale(s) de propagation.

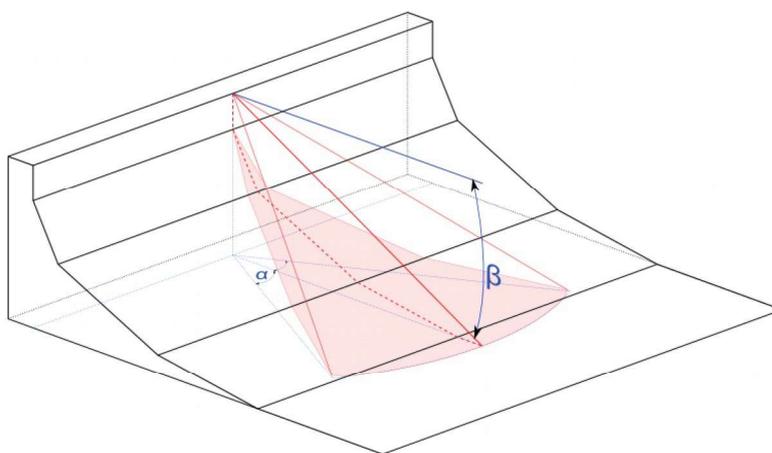


Figure V.9: Exemple de cône de propagation réduit selon un angle d'analyse α de part et d'autre de la direction principale de propagation.

Cet angle peut être appliqué entre 5 et 30°. Les développeurs de Rollfree recommandent d'utiliser un angle d'analyse entre 20 et 30°.

Données bibliographiques et valeurs usuelles de qualification de la probabilité d'atteinte

De nombreux auteurs ont travaillé sur la détermination de l'angle de la ligne d'énergie, par l'analyse de données de terrain (blocs éboulés) ainsi que d'expériences en laboratoire ou grandeur

nature. Le Tableau 2 présente les résultats d'une analyse statistique des valeurs de l'angle géométrique rencontrées dans la littérature, réalisée par le groupe de travail MEZAP. (aucune précision n'est faite sur la signification des qualificatifs « minimal » et « maximal » relatifs aux angles issus des données bibliographiques) :

Statistique	Ensemble des données bibliographiques (1968-2014)		Base de données RTM 2011-2013	Expérimentations à échelle réduite IRSTEA 2014
	Angle géométrique minimal	Angle géométrique maximal	Angle géométrique	
Moyenne	30,68°	43,55°	36,69°	33,47°
Min	23,28°	30°	24,65°	23,28°
1 ^{er} quartile	28,84°	37,93°	33°	27,94°
2 ^{eme} quartile	31,32°	38,90°	36°	31,56°
3 ^{eme} quartile	33°	45,10°	40°	36,62°
Max	36,87°	90,00°	58,42°	90°

Tableau 2: Analyse statistique des valeurs d'angle géométrique rencontrées dans la littérature, réalisée par le guide technique MEZAP. Dans la note MEZAP, aucune précision n'est faite sur la signification des qualificatifs « minimal » et « maximal » relatifs aux angles issus des données bibliographiques.

On remarque que les valeurs de l'angle géométrique s'étalent sur une plage très large de 23,28° à 90°. D'après les résultats statistiques obtenus, le guide technique MEZAP propose, à titre indicatif, des plages de valeurs permettant une quantification de la probabilité d'atteinte (Tableau 3), ainsi que des modulations de ces intervalles d'angles selon des profils types de versant (Figure V.10).

Probabilité d'atteinte d'un point	Intervalles d'angles de la ligne d'énergie
Très forte	35° et plus
Forte	33° - 35°
Moyenne	30° - 33°
Faible	26° - 30°

Tableau 3: Plages de valeurs indicatives des angles géométriques issues de l'analyse statistique des valeurs publiées à ce jour (source MEZAP).

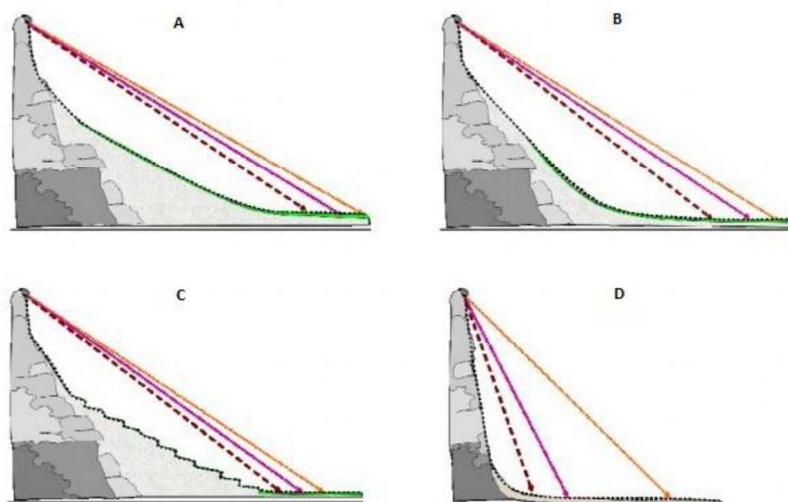


Figure V.10: Profils types et lignes d'énergies associées proposés par le groupe de travail MEZAP (modifié d'après guide technique MEZAP, 2014). A : profil de pente régulière en pied de zone de départ, répartition statistique des blocs régulière selon des valeurs d'angles usuelles (30° - 34°) ; B : Profil de pente régulière en pied de zone de départ avec replat marqué en fin de trajectoire, répartition statistique des blocs régulière selon des valeurs d'angles plus fortes (31° - 38°) ; C : Profil de pente irrégulière en pied de zone de départ, répartition statistique des blocs régulière selon des valeurs fortes (30° - 38°) ; D : Falaise et replat marqué, répartition statistique des blocs très resserrée selon des valeurs d'angle très fortes - © MEZAP

Limites conceptuelles

Influence de la topographie locale le long du versant

La méthode de la ligne d'énergie présente l'avantage d'être une méthode simple d'utilisation puisqu'en théorie, elle ne tient pas compte des caractéristiques du terrain (topographie locale, coefficients de restitution, etc.) entre les points de départ et d'arrivée. En cela, elle n'est pas un modèle de trajectographie.

Cependant, en pratique, on remarque aisément que l'application de la méthode de la ligne d'énergie ne peut se passer d'une analyse de la topographie du versant. Les couples « plages d'angles/profils types de versant » proposés par le guide technique MEZAP (Figure V.10) illustrent parfaitement ce constat. Pour ces profils types, la méthode de la ligne d'énergie s'applique en adaptant les angles choisis selon la configuration du versant.

Or, pour certaines configurations de versant, lorsque la topographie locale influe directement sur l'atteinte maximale des blocs, la méthode de la ligne d'énergie n'est tout simplement plus applicable. C'est le cas pour l'exemple de la Figure V.11, dans lequel un relief, suffisamment conséquent pour faire obstacle aux blocs, réduit considérablement le point d'arrêt maximal probable par rapport au point d'arrêt de la ligne d'énergie. Dans ce cas la méthode de la ligne d'énergie implique un zonage excessif du point d'arrêt maximal probable par rapport à la réalité.

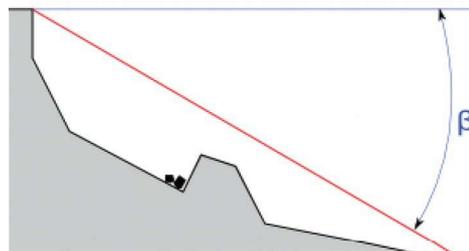


Figure V.11: Configuration topographique pour laquelle la méthode de la ligne d'énergie n'est pas applicable.

Ce cas peut être vu comme la vision en deux dimensions d'autres cas, en trois dimensions, pour lesquels l'application de la méthode de la ligne d'énergie pose problème. Ce sont les configurations de versants qui présentent une topographie chenalisée, influant sur les trajectoires et les points d'arrêt maximal probable, mais transparente au vu de la ligne d'énergie (Figure V.12).

Dans ce cas de versant chenalisé, quel que soit le cône de propagation utilisé, le zonage induit par la méthode de la ligne d'énergie est bien trop excessif par rapport à la réalité (Figure V.12).

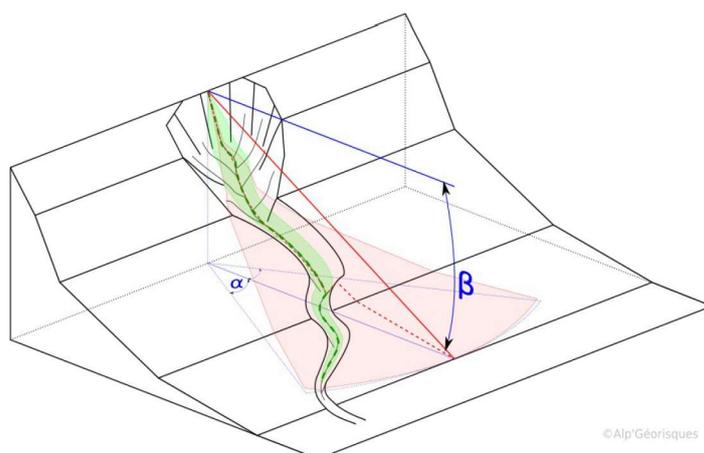
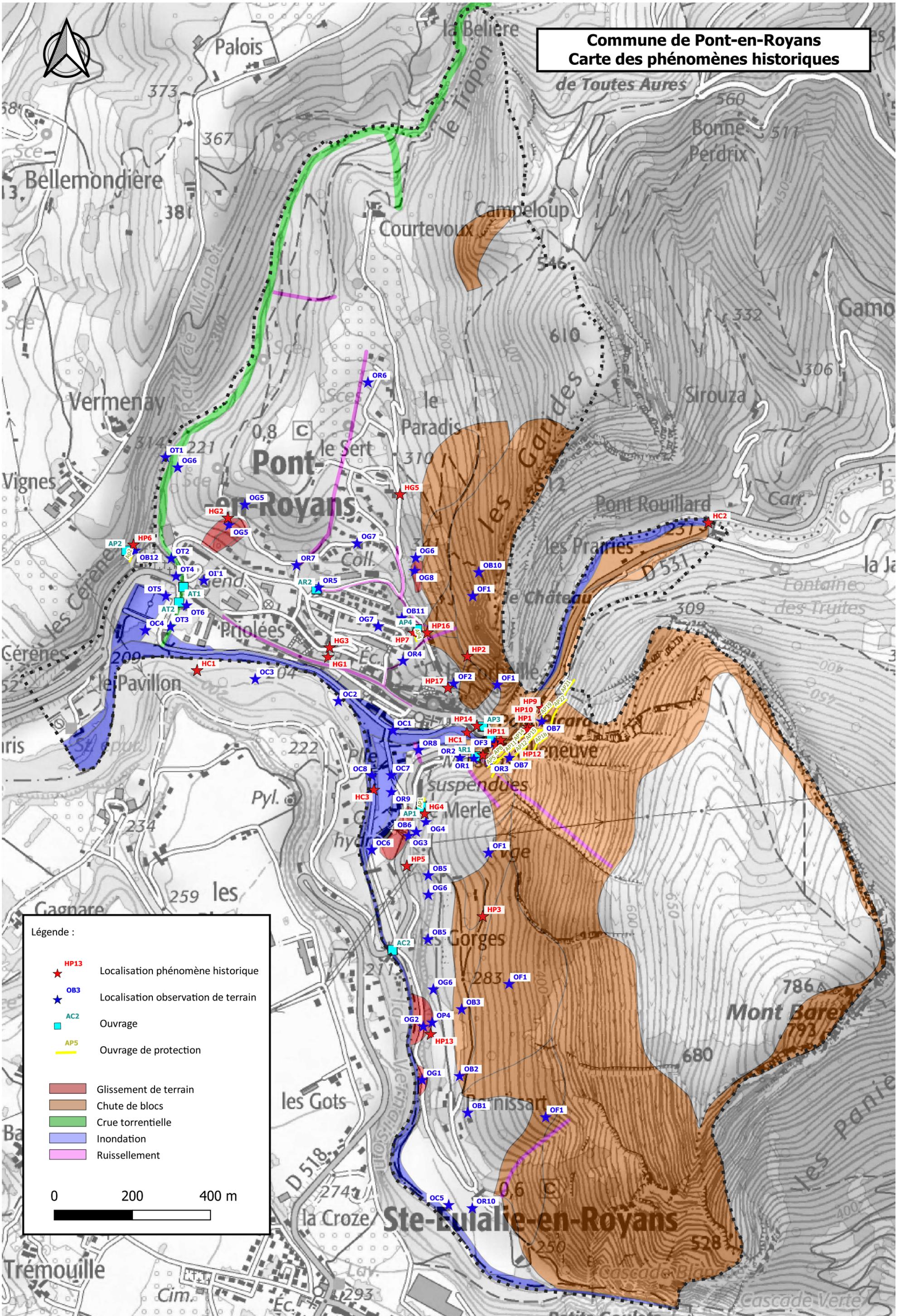


Figure V.12: Application de la méthode de la ligne d'énergie à un versant chenalisé : le zonage des points d'arrêt maximal probable est excessif par rapport à la réalité (en vert la zone d'arrêt réelle des blocs, en rouge le zonage induit par la méthode de la ligne d'énergie).

Le cas du versant chenalisé peut être généralisé à tout versant présentant des variations locales de topographie suffisamment importantes pour dévier ou stopper les trajectoires des blocs de façon brutale, sans pour autant influencer sur la ligne d'énergie. Pour ces cas-là donc, la méthode de la ligne d'énergie telle qu'elle est définie par le principe de Heim n'est pas applicable. Autrement dit, cette méthode n'est applicable que lorsque le versant présente une topographie suffisamment régulière, comme les profils-type proposés par le guide technique MEZAP.

Annexe 7 Carte informative

Commune de Pont-en-Royans
Carte des phénomènes historiques



Légende :

- ★ HP13 Localisation phénomène historique
- ★ OB3 Localisation observation de terrain
- AC2 Ouvrage
- AP5 Ouvrage de protection
- Glissement de terrain
- Chute de blocs
- Crue torrentielle
- Inondation
- Ruissellement

0 200 400 m

Annexe 8 Dossier photographique



Photo 1: La Bourne à l'approche du Pont Picard.



Photo 2: La Bourne au niveau du bourg, à l'aval du Pont Picard.



Photo 5: quai inondable au niveau du bourg.



Photo 6: zone inondable à l'aval du Pont Picard. On notera l'engravement du champ d'inondation (rive gauche).



Photo 3: berges inondables au débouché de la gorge de La Vernaison.



Photo 4: mur protégeant le canal de fuite EDF des débordements de La Vernaison (à droite sur la photo).



Photo 7: pont de la RD518 enjambant la Bourne dans le bourg (Pont Picard).



Photo 8: pont de la RD518 enjambant la Vernaison.



Photo 9: point bas inondable à l'arrière du garage des Alpes (quartier des Priolées).



Photo 10: lit du ruisseau du Rognon à l'amont de la RD518. En arrière plan on distingue le pont de la RD518.



Photo 11: lit du ruisseau du Rognon à l'aval de la RD518 et terrains de sport potentiellement inondables en arrière plan.



Photo 12: pont de la RD518 enjambant le ruisseau du Rognon (quartier des Priolées).



Photo 13: combe du versant nord-ouest de Mont Baret débouchant dans le bourg.



Photo 14: pont d'une des combes du versant nord-ouest de Mont Baret.



Photo 15: combe sans exutoire du versant nord-ouest de Mont Baret, débouchant dans le bourg.



Photo 16: petit caniveau et busage au niveau du collège, destinés à évacuer les ruissellements du quartier.



Photo 17: combe de Paradis au niveau du chemin des Vignes. La combe traverse le quartier des Priolées dans un busage.



Photo 18: glissement du talus aval du chemin de Bernissart.



Photo 19: talus vertical à l'amont du chemin de Bernissart d'où peuvent se détacher des paquets de matériaux et des blocs.



Photo 20: signes de glissement de terrain à l'amont de l'usine électrique d'EDF (RD518 et terrain déformés).



Photo 21: talus vertical dans le quartier du Merle d'où peuvent se détacher des paquets de matériaux meubles depuis le sommet.



Photo 22: zone de glissement de terrain au Petit Clos, à l'amont du quartier des Priolées.



Photo 23: hameau de Bernissart situé à l'aval de barres rocheuses du Mont Baret.



Photo 24: bloc éboulé à proximité du hameau de Bernissart.



Photo 25: petite falaise de sable induré au lieu-dit Le Merle.



Photo 26: quartier du Pont Picard situé sous les falaises de la montagne de Mont Baret.



Photo 27: quartier de Villeneuve situé sous les falaises de la montagne de Mont Baret.



Photo 28: impacts de blocs sur les toitures des maisons du quartier de Villeneuve.

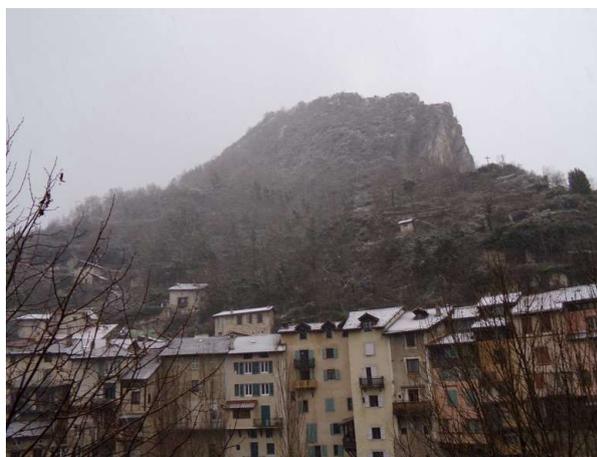


Photo 29: escarpements rocheux des Trois Châteaux dominant le bourg.



Photo 30: couloir des Trois Châteaux dominant le bourg.



Photo 31: affleurement vertical de molasse indurée à l'aval du chemin de la Corbeille.

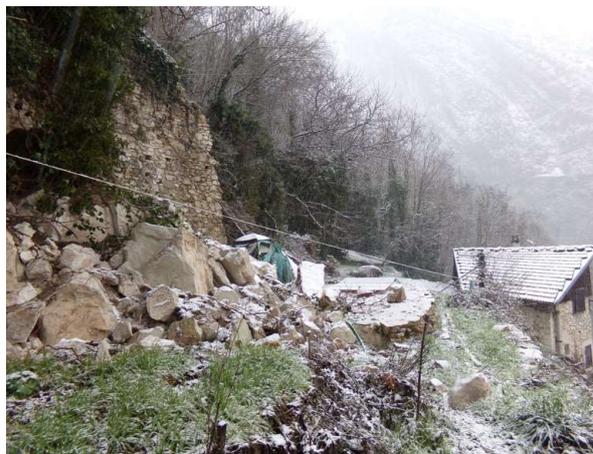


Photo 32: chute d'un petit pan de molasse dans le versant de La Corbeille, en amont du bourg.

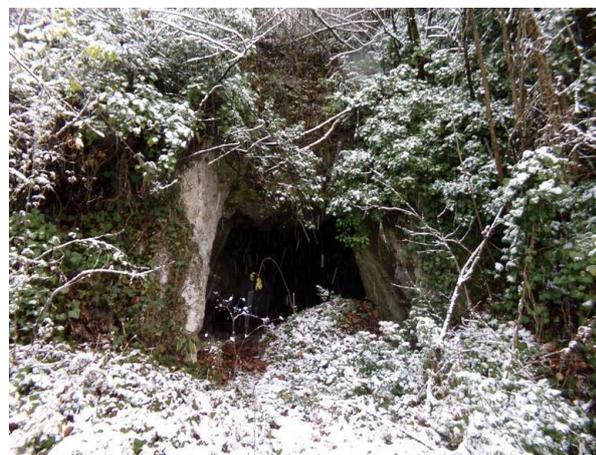


Photo 33: petite cavité dans le versant de la corbeille, à l'amont du bourg ancien.



ALP'GEORISQUES - Z.I. - 52, rue du Moirond - Bâtiment Magbel - 38420 DOMENE - FRANCE
Tél. : 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90
sarl au capital de 18 300 €
Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B
N° TVA Intracommunautaire : FR 70 380 934 216
Email : contact@alpgeorisques.com
Site Internet : <http://www.alpgeorisques.com/>