



Méthode de qualification des aléas dans le cadre de l'élaboration des PPR mouvements de terrain et traduction réglementaire

JUIN 2013



Laboratoire de Nice
service Risques Géologiques,
Géotechnique et Chaussées

Table des matières

1 - METHODOLOGIE DE QUALIFICATION DES ALEAS.....	3
1.1 - Etablissement de la carte des aléas.....	3
1.2 - Définition des aléas.....	3
1.3 - Le principe général.....	4
1.4 - Probabilité d'occurrence.....	4
1.5 - L'intensité des aléas.....	7
1.6 – Le degré des aléas.....	10
1.7 – Exemples de dommages attendus par degré d'aléas.....	12
1.8 - Synthèse des aléas – représentation cartographique.....	13
2 - TRADUCTION EN ZONAGE REGLEMENTAIRE.....	14
2.1 - Evaluation des enjeux.....	14
2.2 - Eléments de cartographie.....	14
2.3 - Zonage réglementaire.....	15
3 - Annexe : Méthode de la détermination de la ligne d'énergie.....	17

1 - METHODOLOGIE DE QUALIFICATION DES ALEAS

1.1 - Etablissement de la carte des aléas

L'établissement de la carte d'aléas se fait au travers de l'établissement de différentes cartes thématiques:

- la carte géologique de la commune;
- la carte des indices géomorphologiques et phénomènes connus (indices de traces de mouvements, phénomènes connus sur la commune, recensement cat-nat, ouvrages de protection, sources...);
- la carte des pentes;

La carte d'aléas ainsi établie est fonction d'un aléa de référence. Cet aléa de référence dans le cadre du PPR est fixé à **100 ans**. Cet aléa se définit comme la probabilité d'apparition du phénomène cartographié dans cette période de temps donné.

L'ensemble de la cartographie est faite en faisant abstraction de la végétation, du bâti ainsi que des protections en place.

1.2 - Définition des aléas

Les phénomènes étudiés sont:

- Les chutes de blocs : **Eb**
- Les éboulements rocheux en masse : **Em**
- Les glissements : **G**
- Les coulées : **C**
- Les effondrements : **E**
- Le ravinement : **ra**

Chute de blocs:

Phénomène affectant des falaises ou escarpements. Les discontinuités du massif rocheux permettent l'individualisation de masses rocheuses potentiellement instables susceptibles de s'ébouler. Les mécanismes conduisant à cette rupture sont nombreux, glissement plan, dièdre, basculement, rupture de pied...

Lors d'un éboulement, les blocs ainsi produits vont se propager dans le versant avec des vitesses plus ou moins élevées et s'arrêteront plus ou moins loin de leur zone de départ. Cette propagation est fonction du type de terrains rencontrés lors de la propagation (éboulis, gros blocs, versant cultivé...) et de la morphologie du versant (pente, route, restanques...).

Les éboulements rocheux en masse

Grands mouvements de versant, de volumes supérieurs à la centaine de mètres cubes. Les énergies en jeu et des processus physiques qui interviennent au cours du déplacement des masses déstabilisées (vaporisation précoce de l'eau interstitielle le long de la surface de rupture, fluidisation des masses rocheuses écroulées par interaction des blocs) sont complexes. Actuellement aucune solution technique ne permet de s'en prémunir.

Glissement:

Phénomène affectant le sol. La masse de terrain affectée est bien délimitée, elle est le résultat d'une rupture par défaut de résistance au cisaillement localisée le long d'une surface (surface du glissement). Cette surface peut avoir différentes géométries, généralement plane ou circulaire.

Dans un glissement, il est distingué la zone d'arrachement (niche), une zone appelée corps du glissement où se localise de fortes déformations des terrains et suivant l'ampleur du glissement, une zone dite de pied avec un bourrelet ou une langue de matériaux correspondant à la matière déplacée.

Coulée:

Phénomène affectant le sol. Il s'agit d'un déplacement rapide de matière à l'état visqueux. Le déclenchement de tel phénomène peut être dû à un glissement mais aussi à un phénomène de claquage hydraulique dans certaines formations géologiques.

Effondrement:

Phénomène affectant le sol. Il se caractérise par l'apparition brutale d'une dépression plus ou moins circulaire aux bords quasi verticaux. Il résulte de l'évolution de vides/cavités en profondeur. Ces cavités ont souvent pour origine la dissolution d'une roche (en général gypse ou calcaire dans les Alpes Maritimes).

Ravinement:

Phénomène affectant le sol. Il s'agit d'un phénomène résultant de l'érosion du sol, avec pour conséquence le creusement irrégulier de la surface topographique, typiquement par de nombreux petits talwegs à flancs raides (ravines), entaillant des matériaux meubles.

Pour chacun de ces phénomènes, sont appréciés au regard de différents facteurs et paramètres, la probabilité d'occurrence et l'intensité du phénomène.

1.3 - Le principe général

L'aléa est la conjonction de 4 paramètres de base qui sont:

- la nature du phénomène,
- l'extension spatiale,
- le probabilité d'occurrence (occurrence / probabilité d'apparition du phénomène),
- l'intensité (ampleur du phénomène),
- le degré de l'aléa établi par croisement entre probabilité d'occurrence et intensité, sur une échelle de 1 à 4 (faible à exceptionnel).

1.4 - Probabilité d'occurrence

La probabilité d'occurrence est la traduction de la probabilité qu'un phénomène se produise. Elle est définie soit par la présence du phénomène sur une zone géographique soit par la probabilité d'apparition du phénomène sur un territoire donné sans préjuger de la date de déclenchement.

La probabilité d'occurrence est fonction de la présence ou non de facteurs déterminants propres à chaque phénomène:

Facteurs déterminants principaux pour les glissements, coulées:

- lithologie (nature des roches d'une formation géologique),
- pente,
- hydrologie,
- indices géomorphologiques.

Facteurs déterminants principaux pour les chutes de blocs et les éboulements en masse:

La méthode utilisée est celle de la ligne d'énergie précisée en annexe.

Facteurs déterminants principaux pour les effondrements:

- lithologie,
- hydrologie,
- indices géomorphologiques.

Facteurs déterminants principaux pour le ravinement:

- lithologie,
- pente,
- eau de surface,
- indices géomorphologiques.

Le niveau sera évalué par une qualification faible/moyen/fort.

• **Glissement:**

Probabilité d'occurrence	Description
Fort	<ul style="list-style-type: none"> - Glissement actif avec traces de mouvements récents - Glissement ancien connu - Glissement potentiel (sans indices), situation lithologique identique à celle d'un glissement actif avec des pentes supérieures à 25°*et une hydrologie équivalentes.
Moyen	<ul style="list-style-type: none"> - Glissement potentiel (sans indices), situation lithologique identique à celle d'un glissement actif, avec une pente supérieure à 25°*et absence du facteur hydrologie. - Glissement potentiel (sans indices), situation lithologique identique à celle d'un glissement actif, avec une pente inférieure à 25°* et facteur hydrologie reconnu.
Faible	<ul style="list-style-type: none"> - Présence d'une lithologie sensible au phénomène de glissement et pente comprise entre 15 et 25°*

* Cas général. Valeur pouvant être très inférieure dans le cas de lithologies particulières (terrain très plastique).

Chutes de blocs :

La méthode de la ligne d'énergie s'applique aux falaises et escarpements présentant des traces de départ et/ou avec la présence de blocs dans le versant considéré. La méthode de l'évaluation de la probabilité d'occurrence par la détermination de la ligne d'énergie est présentée en annexe.

Probabilité d'occurrence	Description (méthode de la ligne d'énergie – exemple de valeurs angulaires)
Forte	Valeur de l'angle de la ligne d'énergie supérieure à 34°
Moyenne	Valeur de l'angle de la ligne d'énergie comprise entre 30° à 34°
Faible	Valeur de l'angle de la ligne d'énergie comprise entre 27° à 30°

- **Eboulements en masse**

Il est estimé que la probabilité d'occurrence est toujours élevée compte tenu du caractère imprévisible de ce phénomène.

Niveau	Description
Fort	- zones exposées à des éboulements dont la probabilité d'occurrence est inférieure à 100 ans. Présence en pied de falaise d'éboulis vifs, de blocs dans le versant, de traces de départ en falaise, zones de départ avec des blocs potentiellement instables visibles.

- **Effondrement**

Probabilité d'occurrence	Description
Forte	- zone soumise à un effondrement existant; - zone avec présence d'une formation lithologique sensible au phénomène effondrement et présence d'indices géomorphologiques (dépression, aven...).
Moyenne	- zone avec présence d'une formation lithologique sensible au phénomène effondrement et connaissance du facteur hydrologie. - zone d'auréole autour d'une zone de probabilité d'occurrence forte (zone d'influence).
Faible	- zone avec présence d'une formation lithologique sensible au phénomène effondrement.

• **Coulées**

Probabilité d'occurrence	Description
Forte	- zone de coulée ancienne connue - zone potentielle de coulée avec des caractéristiques (lithologie, de pentes et d'hydrologie) identiques à une zone déjà soumise à une coulée
Moyenne	- zone potentielle de coulée, avec une pente inférieure à celle d'une zone de même lithologie à hydrologie équivalente déjà soumise à une coulée.
Faible	- zone potentielle de coulée, la lithologie et la pente sont favorables à l'apparition du phénomène; le facteur hydrologique n'a pas été reconnu sur site.

• **Ravinement**

Probabilité d'occurrence	Description
Forte	- zone de ravinement identifiée. L'ensemble des facteurs est reconnu sur la zone
Moyenne	- zone d'auréole autour d'une zone de probabilité d'occurrence forte (ravinement potentiel) - zone potentielle de ravinement, l'ensemble des facteurs à l'exception du facteur indices est reconnu et identique à une zone déjà soumise au ravinement.
Faible	- zone d'auréole autour d'une zone de probabilité d'occurrence moyenne

1.5 - L'intensité des aléas

L'intensité des aléas correspond à l'ampleur du phénomène. Cette ampleur est évaluée différemment selon les phénomènes étudiés. Elle porte sur des paramètres physiques, sa détermination est faite à dire d'expert s'appuyant sur des critères de terrain.

Les différents paramètres physiques entrant en ligne de compte pour la détermination de l'intensité d'un phénomène sont différents suivant les phénomènes:

- Paramètres physiques principaux de l'intensité d'un glissement:
 - volume mobilisé
 - vitesse moyenne de déplacement (constat après visites sur site : altération d'un bâti, modification de la structure végétale, ouverture rapide de niches d'arrachement, ...)
- Paramètres physiques principaux de l'intensité d'une chute de blocs:
 - volume type potentiellement instables pouvant se propager dans le versant après fragmentation
 - potentialité d'atteinte (*en réunion: possibilité d'atteinte*)
- Paramètres physiques principaux de l'intensité d'une coulée:
 - volume potentiellement mobilisable

NB: ce paramètre sera établi par analogie avec des phénomènes connus en l'absence d'étude précise.

- Paramètres physiques principaux de l'intensité d'un effondrement:
 - diamètre du fontis
 - dénivelée de la zone effondrée par rapport au TN
 - genèse du phénomène (brutal, lent...)

NB: pour les phénomènes non apparus les différents paramètres seront établis par analogie avec des phénomènes connus de même probabilité d'occurrence.

- Paramètres physiques principaux de l'intensité du ravinement:
 - aire concernée
 - profondeur des entailles/ravines

NB: l'intensité est fonction de la conjugaison aire/profondeur. Pour les phénomènes non apparus l'intensité sera établi par analogie avec des zones de phénomènes connus de même probabilité d'occurrence et à dire d'expert.

L'échelle retenue pour l'intensité est:

- Faible
- Modérée
- Élevée
- Très élevée

Glissement de terrain:

Intensité	Description
Très élevée	- Glissement de terrain dont le volume mobilisé et la vitesse de déplacement sont très importants (aire géographique > au km ²) - échelle d'un versant. - Glissement de terrain dont le volume mobilisé est très important sur une aire géographique > au km ² .
Élevée	- Glissement de terrain dont le volume mobilisé intéresse une aire géographique supérieure à 1000 m ² . - Glissement de terrain dont la vitesse est rapide ou à tendance à s'accélérer. - Glissement de terrain dont le volume et la vitesse sont importants sur une aire géographique d'environ 1000 m ² .
Modérée	- Glissement de terrain dont le volume mobilisé est superficiel et la vitesse de déplacement moyenne sur une aire géographique comprise entre 100 et 1000 m ² . - Glissement de terrain dont le volume mobilisé intéresse une aire géographique réduite (inférieure à 100 m ²) et la vitesse de déplacement moyenne.
Faible	- Glissement de terrain dont le volume mobilisé intéresse une aire géographique < à 100 m ² et la vitesse de déplacement faible. - Glissement de terrain dont le volume concerné est superficiel et intéresse une aire géographique réduite.

Effondrement

Intensité	Description
Très élevée	- fontis dont le diamètre est supérieur à 10 m avec une genèse brutale - effondrement en masse généralisé d'une exploitation en carrière
Élevée	- fontis dont le diamètre est d'environ 10 m mais avec une genèse brutale - fontis potentiel inférieur à environ 10 m, zone affaissée et genèse brutale
Modérée	- fontis avec un diamètre inférieur à 10 m à genèse lente - fontis de diamètre inférieur à environ 5 m, affaissement et genèse brutale
Faible	- fontis avec diamètre inférieur à 3 m - effondrements auto-rembayés à proximité de la surface - affaissement et genèse prévisible lente

Chute de blocs:

Intensité	Description
Très élevée	- le volume unitaire pouvant se propager dans le versant dépasse la dizaine de m ³ et s'étend sur la totalité du versant*.
Élevée	- le volume unitaire pouvant se propager dans le versant est supérieur ou égal à 1 m ³ et la possibilité d'atteinte de ces blocs est la totalité de la zone. - la zone concernée est la zone d'arrêt des blocs de volume supérieur ou égal à 10 m ³
Modérée	- le volume unitaire pouvant se propager dans le versant est inférieur à 1 m ³ et la possibilité d'atteinte de ses blocs est la totalité de la zone. - la zone concernée est la zone d'arrêt des blocs de volume supérieur ou égal à 1 m ³
Faible	- la zone concernée est la zone d'arrêt des blocs de volume inférieur à 1 m ³

*pas d'arrêt dans le versant, atteinte du point bas du versant.

Eboulements en masse :

Intensité	Description
Très élevée	- le volume unitaire pouvant se propager dans le versant dépasse la centaine de m ³ et s'étend sur totalité du versant.

Coulées

Pour le phénomène « coulées », seules les intensités élevée et très élevée sont actuellement envisageables en raison du peu de connaissance sur ce type de phénomène. Le caractère d'ampleur d'une coulée est difficile à prévoir.

Intensité	Description
Très élevée	- le volume mobilisé est très important sur une aire géographique supérieure à 1 millier de m ² - le volume potentiellement mobilisable est équivalent au volume déjà mobilisé sur une aire géographique supérieure à 1 millier de m ²
Élevée	- le volume mobilisé est important mais sur une aire géographique inférieure à 1 millier de m ² - le volume potentiellement mobilisable est équivalent au volume déjà mobilisé sur une aire géographique inférieure à 1 millier de m ²

Ravinement:

Intensité	Description
Élevée	- Les ravines ont des profondeurs supérieures ou de l'ordre du mètre, l'aire géographique de répartition est supérieure à la centaine de m ²
Modérée à faible	- les ravines ont des profondeurs inférieures au mètre, l'aire géographique de répartition est supérieure à la centaine de m ²

1.6 – Le degré des aléas

Le degré est obtenu par croisement entre la probabilité d'occurrence et l'intensité d'un aléa. Le degré est évalué sur une échelle de 1 à 4

- 1 = faible
- 2 = moyen
- 3 = fort
- 4 = très fort

- Glissement

Intensité	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Probabilité d'occurrence				
Faible	1	2	3	4
Moyenne	2	3	3	4
Forte	2	3	4	4

- Effondrement:

Intensité	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Probabilité d'occurrence				
Faible	1	2	2	4
Moyenne	2	3	3	4
Forte	2	3	3	4

- Chutes de blocs:

Intensité	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Probabilité d'occurrence				
Faible	1	2	3	4
Moyenne	2	3	3	4
Forte	3	3	3	4

- Eboulements en masse

Intensité	Très élevée
Probabilité d'occurrence	
Forte	4

- Coulées:

Pour le phénomène « coulées » seules les intensités élevée et très élevée sont actuellement envisageables en raison du peu de connaissance sur ce type de phénomène.

Intensité	Elevée	Très élevée
Probabilité d'occurrence		
Faible	3	4
Moyenne	3	4
Forte	4	4

- **Ravinement:**

Pour ce phénomène l'intensité sera appréciée suivant deux grandes tendances de faible à modérée et d'élévée à très élevée. La limite entre les deux est donnée par la profondeur des ravines observées, cette profondeur est de l'ordre du mètre.

Intensité	Faible à modérée	Elevée
Probabilité d'occurrence		
Faible	1	2
Moyenne	2	3
Forte	3	3

1.7 – Exemples de dommages attendus par degré d'aléas

- **Glissement :**

Degré d'aléas	Exemples de phénomènes attendus
1	Glissements pelliculaires, affaissements de faible amplitude. Gros oeuvre très peu touché. Pas d'accident ou accident très improbable.
2	Glissements d'ampleur modérée, affaissements de grande amplitude, effondrements ponctuels de faible diamètre. Gros oeuvre atteint mais réparation possible. Fissuration modérée. Accident isolé.
3	Glissements de grande ampleur, effondrements généralisés. Gros oeuvre touché avec réparation très coûteuse. Quelques victimes.
4	Gros oeuvre fortement touché (voire destruction totale) rendant inutilisable la construction. Réparation quasi voire impossible. Quelques dizaines de victimes ou plus.

- **Effondrement:**

Degré d'aléas	Exemples de phénomènes attendus
1	Affaissements de faible amplitude. Gros oeuvre très peu touché. Pas d'accident ou accident très improbable.
2	Affaissements de grande amplitude, effondrements ponctuels de faible diamètre. Gros oeuvre atteint mais réparation possible. Fissuration modérée. Accident isolé.
3	Effondrements généralisés. Gros oeuvre touché avec réparation très coûteuse. Quelques victimes.
4	Gros oeuvre fortement touché (voire destruction totale) rendant inutilisable la construction. Réparation quasi voire impossible. Quelques dizaines de victimes ou plus.

- **Chutes de blocs:**

Degré d'aléas	Exemples de phénomènes attendus
1	Chutes de pierres isolées. Gros oeuvre très peu touché. Pas d'accident ou accident très improbable.
2	Chutes de pierres voire de blocs de l'ordre du m ³ . Gros oeuvre atteint mais réparation possible. Fissuration modérée. Accident isolé
3	Chutes de blocs dépassant le m ³ . Gros oeuvre touché avec réparation très coûteuse. Quelques victimes.
4	Gros oeuvre fortement touché (voire destruction totale) rendant inutilisable la construction. Réparation quasi voire impossible. Quelques dizaines de victimes ou plus

- **Eboulements en masse**

Degré d'aléas	Exemples de phénomènes attendus
4	Gros oeuvre fortement touché (voire destruction totale) rendant inutilisable la construction. Réparation quasi voire impossible. Quelques dizaines de victimes ou plus.

- **Coulées:**

Degré d'aléas	Exemples de phénomènes attendus
3	Gros oeuvre touché avec réparation très coûteuse. Quelques victimes.
4	Gros oeuvre fortement touché (voire destruction totale) rendant inutilisable la construction. Réparation quasi voire impossible. Quelques dizaines de victimes ou plus

- **Ravinement:**

Degré d'aléas	Exemples de phénomènes attendus
1	Ravinements superficiels. Gros oeuvre très peu touché. Pas d'accident ou accident très improbable.
2	Ravinements modérés. Gros oeuvre atteint mais réparation possible. Fissuration modérée. Accident isolé.
3	Forts ravinements. Gros oeuvre touché avec réparation très coûteuse.

1.8 - Synthèse des aléas – représentation cartographique

L'aléa sera représenté sur les cartes d'aléas par des zones homogènes affectées d'une lettre (phénomène) et d'un chiffre (degré de l'aléa). Une trame ou un code couleur sera affecté à chacun des degrés.

Dans le cas d'un secteur soumis à plusieurs phénomènes, la trame « couleur » sera celle du phénomène dont le degré est le plus élevé.

2 - TRADUCTION EN ZONAGE REGLEMENTAIRE

Le zonage réglementaire du PPR repose sur l'estimation des risques qui dépend de l'analyse des phénomènes naturels susceptibles de se produire (qualification des aléas), et leurs conséquences possibles sur l'aménagement du territoire et la sécurité publique (l'évaluation des enjeux).

2.1 - Evaluation des enjeux

Les enjeux pris en compte sont les espaces urbanisés ou à urbaniser et aux espaces non directement exposés aux aléas dans lesquels la réalisation d'aménagements ou de constructions pourraient aggraver les risques ou les déplacer, tels que définis dans le guide méthodologique en vigueur.

2.2 - Eléments de cartographie

Il est identifié :

- des zones à risque modéré, où des aménagements et des constructions sont autorisés sous réserve de prendre des mesures adaptées aux risques.
- des zones à risque fort où le principe général est l'inconstructibilité. Les constructions nouvelles y sont interdites à l'exception de quelques aménagements énoncés dans le guide méthodologique. Elles sont traduites en zone rouge R.
- Dans certains cas tels que le glissement de La Clapière et les glissement/coulée de Roquebillière, la qualification des aléas peut amener à classer des zones à risque majeur où le principe est l'inconstructibilité et où ne peuvent être admis que des travaux d'entretien sur les constructions existantes. Elles sont traduites en **zone rouge foncé (R_M)**.

Au regard du contenu du règlement du PPR, la cartographie réglementaire sera matérialisée comme suit :

- pour les secteurs soumis à un risque modéré, les lettres rappelant le ou les phénomène(s) en présence seront mentionnées,
- pour les secteurs soumis à un risque fort et majeur de chutes de blocs, seront mentionnées respectivement les lettres R et R_M
- pour les secteurs soumis à un risque fort et majeur d'un phénomène autre que les chutes de blocs, seront mentionnées respectivement les lettres R* et R_M*,
- pour les secteurs soumis à un risque fort et majeur d'un phénomène de chutes de blocs accompagné d'autres phénomènes, seront mentionnées respectivement les lettres RR* et R_MR_M*.

Les zones étoilées (*), sont des zones où le sol est sensible à l'infiltration des eaux d'assainissement eaux usées ou pluviales et *a fortiori* aux vidanges des bassins et piscines. L'apport supplémentaire d'eaux remettrait en question la stabilité précaire du sol. Ces secteurs sont concernés par les aléas « glissement », « effondrement », « coulées » et « ravinement ».

En outre, la zone E* bien que caractérisé par un degré d'aléas moyen, présente un aléa à cinétique rapide. En conséquence, il est nécessaire de le cartographier en zone étoilée pour éviter l'infiltration d'eaux supplémentaire dans le sol.

2.3 - Zonage réglementaire

Les zones à risque modéré (G, E, ra, E* et Eb), s'accompagnent dans le règlement de l'obligation pour le pétitionnaire de réaliser une étude hydrogéologique et géotechnique à la parcelle pour déterminer les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation des projets, permettant de s'assurer qu'ils ne remettent pas en cause la stabilité du terrain. Ces études seront produites à tout moment par le pétitionnaire et en dernier lieu à l'appui d'une demande d'autorisation d'urbanisme au titre du PPR approuvé en tant que servitude d'utilité publique dans le délai d'un an suivant la date de son approbation ou après l'expiration de ce délai, dès lors que ce dernier est annexé au document d'urbanisme de la commune. Dans les autres cas, ces études seront produites à tout moment par le pétitionnaire et en dernier lieu à l'appui d'une demande d'autorisation d'urbanisme afin de répondre à la connaissance du risque au titre de l'article R.111-2 du code de l'urbanisme.

Le contenu de ces études est spécifié dans le règlement pour chaque zonage réglementaire.

Par ailleurs, bien que l'étude des aléas glissement/effondrement ait été menée conjointement, compte tenu de la soudaineté du phénomène d'effondrement, l'analyse des risques de ces 2 phénomènes a été séparée.

- Glissement

Enjeux	Espaces urbanisés ou à urbaniser	Espaces non urbanisés
Degré d'aléas		
Faible		
Moyen		
Fort à très fort		

- Effondrement

Enjeux	Espaces urbanisés ou à urbaniser	Espaces non urbanisés
Degré d'aléas		
Faible		
Moyen		
Fort à très fort		

Les espaces urbanisés ou à urbaniser soumis à un aléa moyen sont classés en zone E ou E*.

Le zonage E* sera privilégié lorsque les secteurs concernés sont dénués de réseaux collectifs d'eaux usées et d'eaux pluviales. Ce classement permet de sécuriser la zone en évitant l'infiltration d'eaux pouvant aggraver la stabilité du terrain. Dans le cadre de projets d'extension de réseaux ce zonage s'apparente au zonage E dès mise en oeuvre des réseaux d'assainissement eaux pluviales et eaux usées.

Le zonage E sera acté lorsque les secteurs sont pourvus de réseaux d'assainissement collectif d'eaux usées et d'eaux pluviales, avec une obligation pour les nouvelles constructions de se raccorder à ces réseaux. Cela permet de s'assurer de la non-aggravation des risques par des rejets anthropiques et naturels concentrés.

- Chutes de blocs:

Enjeux	Espaces urbanisés ou à urbaniser	Espaces non urbanisés
Degré d'aléas		
Faible		
Moyen		
Fort à très fort		

Le phénomène « chutes de blocs » a une capacité plus ou moins importante à causer des victimes. Cette notion de gravité a été traduite en particulier par un zonage R pour les espaces urbanisés ou à urbaniser soumis à un aléa moyen.

- Eboulements en masse

Enjeux	Espaces urbanisés ou à urbaniser	Espaces non urbanisés
Degré d'aléas		
Très fort		

- Coulées:

Enjeux	Espaces urbanisés ou à urbaniser	Espaces non urbanisés
Degré d'aléas		
Fort à très fort		

- Ravinement:

Enjeux	Espaces urbanisés ou à urbaniser	Espaces non urbanisés
Degré d'aléas		
Faible		
Moyen		
Fort		

3 - ANNEXE : MÉTHODE DE LA DÉTERMINATION DE LA LIGNE D'ÉNERGIE

Il existe un type de modèle dit statistique qui permet d'estimer à partir d'une zone de départ la localisation du point d'arrêt maximal probable d'un projectile et qui ne nécessite pas à proprement parlé de détermination des coefficients de réponse des sols. Ce modèle est basé sur le principe de la ligne d'énergie développée par HEIM A. en 1932 et repose sur un principe simple : « un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide ».

Ainsi, si la pente est supérieure à un angle limite β , le bloc accélère. Si elle est inférieure à β , le bloc ralentit. En partant de ce constat, un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle β avec l'horizontal (Cf. Figure. 1). Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle β , l'angle de la ligne d'énergie.

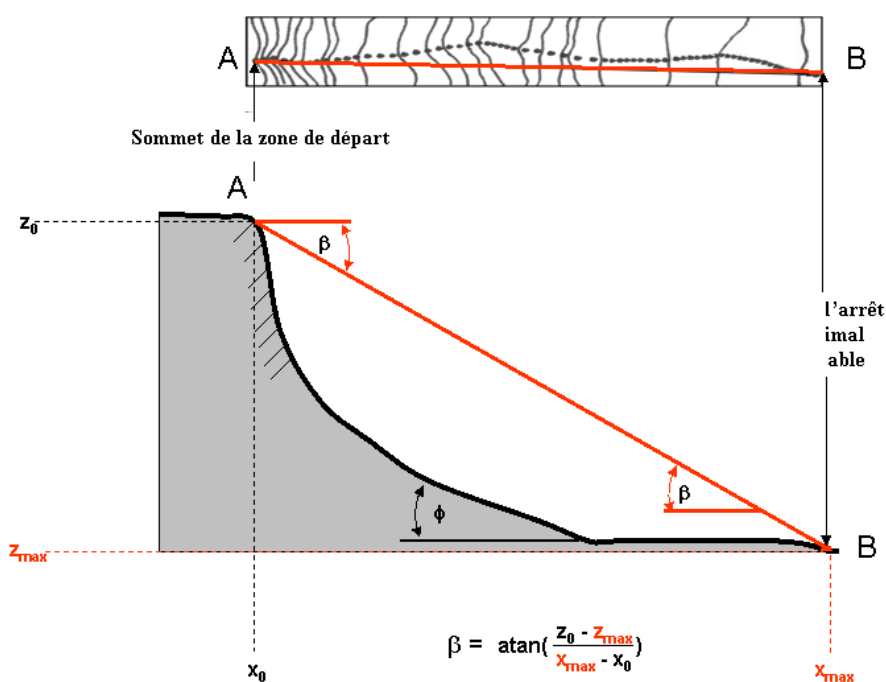


Fig. 1 : Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle β

A partir du profil en long de la pente à partir d'une zone de départ, connaissant la valeur de l'angle β , il est déterminé le point maximal probable qu'atteindra tout projectile qui se détachera de la zone de départ.

Compte tenu de la possibilité de déviation des trajectoires des blocs que ce soit à cause de leur forme ou des obstacles rencontrés, ils peuvent donc progresser dans un cône, appelé cône de propagation. Ce cône a une pente β et son sommet est placé au niveau de la zone de départ A.

Depuis sa formalisation, ce principe a fait l'objet de nombreuses études.

Auteur/Source	Valeur de l'angle de la ligne d'énergie (entre parenthèse valeur de l'angle géométrique)	
	Minimum ou intervalle	Moyenne
Shreve (1968)	(26.57° - 38.66°)	---
Hsü (1975)	31° (32°)	---
Onofri & Candian (1979)	28.34° - 40.73° (28,84 ° - 41,73°)	---
Grunder (1984)	32.6° - 33.4° (33.1° - 34.4°)	---
Moser (1986)	33° - 42° (34° - 43°)	---
Domaas(1985 in Toppe 1987)	32° (33°)	---
Mac ewen (1989)	(30.96°) ≈ (31°)	---
Gerber (1994)	33° - 37° (33.5° - 38°)	---
Meissl (1998)	29° - 47,5° (29.5° - 48.5°)	38° (38°)
Heinimann et al. (1998)	33° - 37° (33.5° - 38°)	---
Focardi & lotti (2001)	27° - 29° (27.5° - 30°)	---
Ayala-carcedo et al. (2001)	(29.1° - 38.9°)	(31,9°) pour la valeur minimale
Jaboyedoff & Labouise (2003)	32° (33°)	---
Jaboyedoff & Labouise (2011)	(32,6° - 35,6°)	34°
Corominas et al. (2003)	26° - 54° (27° 55°)	---
Dorren & Berger (2005,2006)	31.3° - 37° (31.9° - 38 °)	---
Copons et al.(2009) site a	(36.87° - 56,3°)	---
Copons et al.(2009) site b	(28.81° - 42.0°)	---
Hutter et al. (2005) modèle réduit	(30° - 37°)	---
Scheidegger (1973)	(29.68° - 39,69°)	---
Marquinez et al. (2002) cas 1	(32.5° - 40.9°)	(31.5° - 40.2°)
Marquinez et al. (2002) cas 2	(29.4° -38.5°)	
Antoniou & Lekkas (2009)	(35°)	---
Deparis et al (2008)	(31,61° - 47,20°)	---
Hyndman & Hyndman (2009)	(33°)	---
Berger et al. (2009) sans forêt	(27.67° - 33.88°)	---
Berger et al. (2009) avec forêt	(31.32° - 37.86°)	---
Berger et al. (2009) modèle réduit	(32.57° - 48.99°)	---

Tableau 1 : Valeurs de l'angle β (trajet et géométrique) suivant différents auteurs.

Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse statistique réalisée sur les données du tableau 1.

Statistique	Angle géométrique minimal	Angle géométrique maximal
Moyenne	31.14°	39.30°
Min	26.57°	30°
1 ^{er} quartile	29.45°	36.97°
2 ^{ème} quartile	31.61°	38.58
3 ^{ème} quartile	33°	41.80°
Max	36.87°	48.99°

Tableau 2 : Analyse statistique des données du tableau 1.

Au regard des expériences grandeur nature de chutes de blocs du Cemagref sur le site de Vaujany (Isère) (Dorren L.K.A et al., 2005), des valeurs du tableau 3 et des résultats que obtenus lors des travaux d'expertise et de contre-expertise des PPRn de Veyrier-du-lac et de Talloires, les analyses des résultats font ressortir les critères d'angle suivants pour le calcul de la ligne d'énergie selon les principes de l'angle géométrique et de Heim (1932) :

Qualification de la probabilité de propagation de l'aléa chutes de blocs	Angles de la ligne d'énergie	Valeurs seuil de l'angle géométrique
Forte	33,88°	$\geq 34^\circ$
Moyenne	30,22°	$30^\circ \leq < 34^\circ$
Faible	27,67°	$27^\circ \leq < 30^\circ$

Tableau 3 : Valeur des angles géométriques pour le calcul de la ligne d'énergie obtenus par la rétro analyse de phénomènes passés et le zonage de PPRN.

Ces valeurs « seuil » de l'angle géométrique restent théoriques et sont une première approche pour la qualification de la probabilité de propagation de l'aléa chutes de blocs. Dans la pratique, le bureau d'études précisera les valeurs « seuil » pris en compte pour chaque type de falaises et justifiera le choix fait.