

# **PLAN D'INDEXATION EN Z**

## **Commune de MONTMÉLIAN**

---

### ***Catalogue des prescriptions spéciales***

---



### **Légende :**

- **O** : zone considérée comme non exposée aux risques d'origine naturelle ;
- **Z** : zone concernée par un risque d'origine naturelle ;

### **Indications portées en exposant :**

- **Z<sup>N</sup>**, avec **N** pour Non constructible : zone aujourd'hui non bâtie, soumise en l'état actuel du site à un risque fort tel qu'il exclut la réalisation de tout projet de construction ;
- **Z<sup>F</sup>**, avec **F** pour risque Fort : zone aujourd'hui bâtie, soumise en l'état actuel du site à un risque fort tel qu'il justifie le maintien du bâti à l'existant, sans changement de destination, à l'exception de ceux qui entraîneraient une diminution de la vulnérabilité, et sans réalisation d'aménagements susceptibles d'augmenter celle-ci ; peut cependant être autorisé tout projet d'aménagement ou d'extension limitée (sans que cela se traduise par une augmentation de la capacité d'accueil) du bâti existant, qui aurait pour effet de réduire sa vulnérabilité grâce à la mise en œuvre de prescriptions spéciales propres à renforcer la sécurité du bâti et de ses occupants ;
- **Z<sup>M</sup>**, avec **M** pour risque Moyen : zone soumise en l'état actuel du site à un risque moyen tel qu'il autorise l'aménagement et l'extension du bâti existant, et la réalisation de bâtiments nouveaux, sous réserve que tout projet, entre autres ceux entraînant un changement de destination et/ou une augmentation de la vulnérabilité, prenne en compte des prescriptions spéciales, intégrées au projet, propres à assurer la sécurité du bâti et de ses occupants ;
- **Z<sup>f</sup>**, avec **f** pour risque faible : zone soumise en l'état actuel du site à un risque faible tel qu'il autorise l'aménagement et l'extension du bâti existant, et la réalisation de bâtiments nouveaux ; des recommandations de confort peuvent être mises en œuvre afin de protéger le bâti et ses occupants des inconvénients mineurs qui peuvent apparaître lors des manifestations des phénomènes naturels ;

- **Z**<sup>/p</sup>, avec **p** pour protection : zone soumise à un risque d'origine naturelle, et qui, compte tenu de l'existence de dispositifs de protection déportés, est en l'état actuel du site
  - soit librement constructible : "**/p**",
  - soit constructible avec recommandations : "**f/p**",
  - soit constructible sous réserve de prise en compte de prescriptions spéciales "**M/p**",
  - soit en maintien du bâti à l'existant : "**F/p**"
  - soit non constructible : "**N/p**"

### 🔗 Indications portées en indice :

- **Z<sub>B</sub>** : zone soumise à un risque de chutes de blocs,
- **Z<sub>B,G</sub>** : zone soumise à des risques de chutes de blocs et de glissement de terrain, le risque de chutes de blocs l'emportant sur le risque glissements de terrain pour la qualification de la zone.

Les abréviations retenues pour désigner les différents phénomènes sont les suivantes :

- **G** : Glissement de terrain ;
- **B** : Chutes de blocs ;
- **V** : Ruissellement sur versant ;
- **C** : Crue torrentielle.

**Exemples de représentation :**

**Z** <sup>M</sup>  
**B**

(zone soumise à un risque moyen, exposée aux risques de chutes de blocs)

**Z** <sup>F</sup>  
**B,G**

(zone soumise à un risque de chutes de blocs et de glissements de terrain ; ce dernier phénomène, générant un risque fort, l'emporte pour la qualification de la zone)





## ***Remarques préalables :***

### **↳ Remarque générale :**

"Le permis de construire peut être refusé ou n'être accordé que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales si les constructions, par leur situation ou leurs dimensions, sont de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique"

Tel est le contenu de l'article R 111.2 du code de l'urbanisme.

Les termes "sécurité publique" désignent, entre autres, les risques induits par le projet de bâtiment, mais aussi les risques que pourraient subir le bâtiment et ses futurs occupants.

### **Des prescriptions spéciales...**

Celles qui peuvent être mises en œuvre pour assurer la sécurité des personnes et des biens, vis-à-vis des risques d'origine naturelle, en montagne, sont pour la plupart d'ordre constructive, et consistent en un renforcement des façades exposées et des structures des bâtiments.

**Leur mise en œuvre effective est de la seule responsabilité du maître d'ouvrage, autrement dit du propriétaire du bâtiment.**

**Mais, en cas de demande de permis de construire, et en l'absence d'un engagement de celui-ci de mettre en œuvre ces prescriptions de façon clairement formalisée, en particulier dans les pièces réglementaires de la demande telles que les plans de façades, la personne responsable de la décision finale en matière d'attribution de permis de construire peut être amenée à ne pas donner de suite favorable à la demande, considérant que le non respect de ces prescriptions peut entraîner un risque pour les futurs utilisateurs du bâtiment.**

### **↳ Autres remarques :**

#### **Systèmes de protection :**

Toute modification sensible de l'état d'efficacité des systèmes de protection, pris en compte dans l'élaboration du PIZ, doit entraîner sa révision avec de possible répercussion sur le contenu du Plan Local d'Urbanisme.

**Sécurité des accès :**

Il est souhaitable que toute création de voie d'accès soit différée si la voie projetée est menacée par un ou plusieurs phénomènes naturels, visibles ou prévisibles, et ce jusqu'à ce que le danger que représente ces phénomènes soit pris en compte par la mise en œuvre d'un système de protection et/ou dans le cadre d'un plan de gestion du risque reconnu.

**Sécurité des réseaux aériens et enterrés :**

Tels que lignes électriques, les conduites d'eaux potables et usées, etc.

Il est conseillé, pour le confort des usagers, de veiller à prendre toutes dispositions utiles pour soustraire réseaux aériens et enterrés aux effets des phénomènes naturels existants sur leurs tracés.

**Problèmes liés aux fondations et aux terrassements :**

Ils sont de la responsabilité du maître d'ouvrage et de son maître d'œuvre.

Il est cependant rappelé que l'impact de ces travaux peut être sensibles sur la stabilité des terrains, sur le site même des travaux mais aussi à leur périphérie, tout particulièrement là où leur stabilité n'est naturellement pas assurée.

**Implantation des terrains de camping :**

Compte-tenu de la grande vulnérabilité de ce type d'aménagement, tout projet de terrain de camping (y compris habitations légères de loisirs) doit impérativement être envisagé dans des zones situées hors d'atteinte de tout phénomène naturel.

**↳ Prescriptions, recommandations :****Prescriptions :**

Leur mise en œuvre est indispensable pour que soient assurées la pérennité des bâtiments et la sécurité des personnes à l'intérieur des ceux-ci, ce vis à vis des phénomènes naturels retenus comme phénomène de référence.

Les propriétaires de bâtiments exposés sont libres de mettre en œuvre ou non ces prescriptions sur l'existant.

**Recommandations :**

Il s'agit en l'occurrence de mesures de confort pouvant protéger le bâti et ses occupants des inconvénients mineurs qui peuvent apparaître lors des manifestations des phénomènes naturels.

### **↳ Limites du champ d'action du PIZ :**

**Les phénomènes liés aux talus des voies de communication (chutes de pierres ou blocs, glissements de terrain, coulées neigeuses), ainsi que les désordres résultant directement ou indirectement de travaux de terrassement, ne sont pas pris en compte du fait de leur caractère anthropique. Il en est de même des phénomènes liés aux insuffisances éventuelles des réseaux d'évacuation des eaux pluviales (y compris réseau d'assainissement de la voirie).**





## **- NATURE DU PHÉNOMÈNE : Glissement de terrain**

**FICHE N° 1**

SECTEUR : CHAVORT

Phénomène potentiel ou déclaré, intensité prévisible modérée à forte

*Dispositif de protection* : Aucun.

## **- PRESCRIPTION D'URBANISME : Maintien du bâti à l'existant.**

Le risque fort auquel est soumis cette zone justifie le maintien du bâti à l'existant, sans changement de destination, à l'exception de ceux qui entraîneraient une diminution de la vulnérabilité, et sans réalisation d'aménagement susceptible d'augmenter celle-ci. Est cependant autorisé tout projet d'aménagement ou d'extension limitée (sans que cela se traduise par une augmentation de la capacité d'accueil) du bâti existant, qui aurait pour effet de réduire sa vulnérabilité grâce à la mise en œuvre de prescriptions spéciales propres à renforcer la sécurité

## **- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLES :**

### **🔗 Prescriptions pour les projets d'extension du bâti existant :**

- Toute opération de ré-infiltration in situ (eaux pluviales, eaux usées, ou eaux de drainage notamment) proscrite ;
- Adaptation architecturale et constructive du bâtiment de façon à assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de glissement de terrain.
- Une étude géotechnique, de niveau G12 au moins selon la norme NF P 94 500 de classification de missions géotechniques, jointe au projet de construction ou de terrassement (remblais et déblais) définira les mesures à mettre en œuvre pour garantir la stabilité et la pérennité du bâti vis-à-vis des risques de déformations du sol et la sécurité de l'environnement du projet. Cette étude définira également quelles mesures s'appliqueront aux réseaux humides (eau potable, eaux pluviales, eaux usées, de drainage, etc.), dans le même objectif de stabilité et de pérennité des ouvrages et de leur environnement.

✚ **Recommandations pour le bâti existant et pour leurs projets d'aménagement :**

- Toute opération de ré-infiltration in situ (eaux pluviales, eaux usées, ou eaux de drainage notamment) à proscrire ;
- Mise en œuvre de travaux de drainage des sols ;
- Prise en compte des contraintes géotechniques pour les aménagements annexes au bâti (terrassements, remblaiement, accès,...) ;
- Réalisation d'une étude géotechnique, de niveau G12 au moins selon la norme NF P 94 500 de classification de missions géotechniques définissant les mesures à mettre en œuvre pour garantir la stabilité et la pérennité du bâti vis-à-vis des risques de déformations du sol et la sécurité de l'environnement du projet. Cette étude définira également quelles mesures s'appliqueront aux réseaux humides (eau potable, eaux pluviales, eaux usées, de drainage, etc.), dans le même objectif de stabilité et de pérennité des ouvrages et de leur environnement.

## **- NATURE DU PHÉNOMÈNE : Glissement de terrain**

## **FICHE N° 2**

SECTEURS : LES CALLOUDES, CHAVORT, PIED DE VERSANT DU ROCHER DE MONTMÉLIAN, VERSANTS DE PART ET D'AUTRE LE RUISSEAU DE BONDELOGE, SUD-OUEST DE L'HOPITAL

Phénomène potentiel ou déclaré, intensité prévisible modérée à faible

*Dispositif de protection* : Aucun.

## **- PRESCRIPTION D'URBANISME : Zone constructible.**

L'aménagement et l'extension du bâti existant, ainsi que la réalisation de bâtiments nouveaux sont autorisés, sous réserve que tout projet (entre autres ceux entraînant un changement de destination et/ou une augmentation de la vulnérabilité) prenne en compte des prescriptions spéciales, intégrées au projet, propres à assurer la sécurité du bâti et de ses occupants.

## **- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLES :**

### **↪ Prescriptions pour le bâti futur et les projets d'extension du bâti existant :**

- Toute opération de ré-infiltration in situ (eaux pluviales, eaux usées, ou eaux de drainage notamment) proscrite ;
- Adaptation architecturale et constructive du bâtiment de façon à assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de glissement de terrain ;
- Une étude géotechnique, de niveau G12 au moins selon la norme NF P 94 500 de classification de missions géotechniques, jointe au projet de construction ou de terrassement (remblais et déblais) définira les mesures à mettre en œuvre pour garantir la stabilité et la pérennité du bâti vis-à-vis des risques de déformations du sol et la sécurité de l'environnement du projet. Cette étude définira également quelles mesures s'appliqueront aux réseaux humides (eau potable, eaux pluviales, eaux usées, de drainage, etc.), dans le même objectif de stabilité et de pérennité des ouvrages et de leur environnement.

### **↪ Recommandations pour le bâti existant et leurs projets d'aménagement :**

- Toute opération de ré-infiltration in situ (eaux pluviales, eaux usées, ou eaux de drainage notamment) à proscrire ;
- Adaptation architecturale et constructive du bâtiment de façon à assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de glissement de terrain ;

- Réalisation d'une étude géotechnique, de niveau G12 au moins selon la norme NF P 94 500 de classification de missions géotechniques définissant les mesures à mettre en œuvre pour garantir la stabilité et la pérennité du bâti vis-à-vis des risques de déformations du sol et la sécurité de l'environnement du projet. Cette étude définira également quelles mesures s'appliqueront aux réseaux humides (eau potable, eaux pluviales, eaux usées, de drainage, etc.), dans le même objectif de stabilité et de pérennité des ouvrages et de leur environnement.
- Réalisation d'une étude géotechnique spécifique de façon à définir les mesures permettant d'une part de retarder au maximum toute manifestation du phénomène, et d'autre part de définir les dispositions architecturales ou constructives pouvant être mises en œuvre afin d'assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de glissement de terrain.

🔗 **Recommandations pour tout bâti :**

- Mise en œuvre de travaux de drainage des sols ;
- Prise en compte des contraintes géotechniques pour les aménagements annexes au bâti (terrassements, remblaiement, accès,...).

## **- NATURE DU PHÉNOMÈNE : Glissement de terrain**

## **FICHE N° 3**

SECTEURS : LES CALLOUDES, CHAVORT, TALUS DES TERRASSES FLUVIATILES

Phénomène potentiel, intensité prévisible faible à modérée.

*Dispositif de protection* : Aucun.

## **- PRESCRIPTION D'URBANISME : Zone constructible.**

L'aménagement et l'extension du bâti existant, ainsi que la réalisation de bâtiments nouveaux sont autorisés, sous réserve que tout projet (entre autres ceux entraînant un changement de destination et/ou une augmentation de la vulnérabilité) prenne en compte des prescriptions spéciales, intégrées au projet, propres à assurer la sécurité du bâti et de ses occupants.

## **- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLES :**

### **↪ Recommandations pour tout bâti :**

- Adaptation architecturale et constructive du bâtiment de façon à assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de glissement de terrain ;
- Toute opération de ré-infiltration in situ (eaux pluviales, eaux usées, ou eaux de drainage notamment) à proscrire ;
- Mise en œuvre de travaux de drainage des sols ;
- Prise en compte des contraintes géotechniques pour les aménagements annexes au bâti (terrassements, remblaiement, accès,...) ;
- Réalisation d'une étude géotechnique, de niveau G12 au moins selon la norme NF P 94 500 de classification de missions géotechniques définissant les mesures à mettre en œuvre pour garantir la stabilité et la pérennité du bâti vis-à-vis des risques de déformations du sol et la sécurité de l'environnement du projet. Cette étude définira également quelles mesures s'appliqueront aux réseaux humides (eau potable, eaux pluviales, eaux usées, de drainage, etc.), dans le même objectif de stabilité et de pérennité des ouvrages et de leur environnement.

**SECTEUR : ENTRE CIMETIÈRE ET LES CALLOUDES**

Phénomène peu fréquent, intensité forte.

*Dispositif de protection* : Aucun.

**SECTEUR : ROCHER DE MONTMELIAN**

Phénomène fréquent, intensité moyenne.

*Dispositif de protection* : filets, écrans, ancrages, etc. (cf étude IMSRN).

**- PRESCRIPTION D'URBANISME : Maintien du bâti à l'existant.**

Le risque fort auquel est soumis cette zone justifie le maintien du bâti à l'existant, sans changement de destination, à l'exception de ceux qui entraîneraient une diminution de la vulnérabilité, et sans réalisation d'aménagement susceptible d'augmenter celle-ci. Est cependant autorisé tout projet d'aménagement ou d'extension limitée (au maximum 20 m<sup>2</sup> ou 20 % de la SHON telle qu'elle est constatée à la date de réalisation du PIZ) du bâti existant, non destiné à une occupation humaine permanente ou qui aurait pour effet de réduire sa vulnérabilité grâce à la mise en œuvre de prescriptions spéciales propres à renforcer la sécurité du bâti et de ses occupants.

**- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLES :**

**↳ Prescription pour les projets d'aménagement du bâti existant :**

- Adaptation architecturale et constructive du bâtiment de façon à assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque.

**↳ Recommandation pour le bâti existant seul :**

- Adaptation architecturale et constructive du bâtiment de façon à assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque.

**↳ Recommandation pour le bâti existant et pour les projets d'aménagement du bâti existant :**

- La réalisation d'une étude est recommandée de façon à définir les dispositions architecturales ou constructives pouvant être mises en œuvre afin d'assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque.

**- MESURE DE PROTECTION COLLECTIVE (RECOMMANDATION) :**

- Réalisation d'une étude spécifique précisant le risque de chutes de blocs et, le cas échéant, définissant les mesures (protection active ou passive) permettant de sécuriser la zone.

**SECTEUR : COTEAUX DE LA MALADIÈRE**

Phénomène extrêmement rare, intensité potentiellement forte.

*Dispositif de protection* : Aucun.

**- PRESCRIPTION D'URBANISME : Zone constructible.**

L'aménagement et l'extension du bâti existant, ainsi que la réalisation de bâtiments nouveaux sont autorisés, sous réserve que tout projet (entre autres ceux entraînant un changement de destination et/ou une augmentation de la vulnérabilité) prenne en compte des prescriptions spéciales, intégrées au projet, propres à assurer la sécurité du bâti et de ses occupants.

ERP (établissement recevant du public) scolaire, lié à la santé ainsi que la gestion de crise : interdit.

**- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLES :**

**↗ Prescription pour les projets futurs et pour les projets d'aménagement ou d'extension du bâti existant :**

Réalisation d'une étude spécifique permettant de préciser le risque et de définir l'ensemble des dispositions (réalisation d'ouvrages de protections, définitions de mesures architecturales et constructives) permettant d'assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de chutes de blocs.

**↗ Recommandation pour tout bâti :**

Un bureau d'études spécialisé devra se positionner sur la possibilité d'autoriser des extensions ou des annexes à un bâtiment existant si ces extensions ou annexes sont protégées par le bâtiment principal.

**↗ Recommandation pour le bâti existant seul :**

Adaptation du projet permettant d'assurer la sécurité du bâti et de ses occupants vis-à-vis du risques de chutes de blocs (ou encore mise en place d'un dispositif de protection non intégré au bâti).

**- MESURE DE PROTECTION COLLECTIVE (RECOMMANDATION) :**

Une réflexion d'ensemble portant sur la possibilité de réaliser des dispositifs de protection collectifs de préférence à des protections individuelles est recommandée. Ces dispositifs de protection collectifs sont à concevoir après une étude spécifique des zones concernées. L'étude précisera notamment :

- les caractéristiques des dispositifs (nature, position, hauteur, résistance, ...) ;
- les conditions de surveillance et d'entretien de ces dispositifs ;
- les éventuelles dispositions permettant de prendre en compte le risque résiduel dans les zones protégées par les dispositifs...

– Nature du phénomène : Chutes de blocs

Fiche n° 6

**SECTEUR : LES CAILLOUDES,**

Phénomène peu fréquent, intensité moyenne.

*Dispositif de protection* : Merlons.

**SECTEUR : PIED DE VERSANT DU ROCHER DE MONTMELIAN,**

Phénomène peu fréquent, intensité moyenne.

*Dispositif de protection* : Filets, grillages plaqués, écrans, ancrages.

**- PRESCRIPTION D'URBANISME : Zone constructible.**

L'aménagement et l'extension du bâti existant, ainsi que la réalisation de bâtiments nouveaux sont autorisés, sous réserve que tout projet (entre autres ceux entraînant un changement de destination et/ou une augmentation de la vulnérabilité) prenne en compte des prescriptions spéciales, intégrées au projet, propres à assurer la sécurité du bâti et de ses occupants.

ERP (établissement recevant du public) scolaire, lié à la santé ainsi que la gestion de crise : interdit.

**- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLE ET/OU COLLECTIVE :**

**↪ Prescription pour le bâti futur et pour les projets d'extension du bâti existant :**

- Réalisation d'une étude géotechnique et trajectographique de chutes de blocs permettant de préciser le risque et de définir, le cas échéant, les protections (mise en place d'un dispositif de protection non intégré au bâti et/ou dispositions architecturales et constructives sur le bâti) permettant, sur les façades exposées, d'assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de chutes de blocs.

**↪ Recommandation pour le bâti existant et pour les projets d'aménagement du bâti existant :**

- Réalisation d'une étude géotechnique et trajectographique, de niveau G12 au moins selon la norme NF P 94 500 de classification de missions géotechniques permettant de préciser le risque et de définir, le cas échéant, les protections (mise en place d'un dispositif de protection non intégré au bâti et/ou dispositions architecturales et constructives sur le bâti) permettant, sur les façades exposées, d'assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de chutes de blocs.

## **- NATURE DU PHÉNOMÈNE : Chutes de blocs**

**FICHE N° 7**

### **SECTEUR : LES CAILLOUDES,**

Phénomène peu fréquent à rare, intensité prévisible faible à modérée

*DISPOSITIF DE PROTECTION : MERLONS, ENROCHEMENT*

## **- PRESCRIPTION D'URBANISME : Zone constructible.**

L'aménagement et l'extension du bâti existant, ainsi que la réalisation de bâtiments nouveaux sont autorisés. Des recommandations sont proposées, de façon à protéger le bâti et ses occupants des conséquences pouvant être induites en cas d'occurrence du phénomène.

ERP (établissement recevant du public) scolaire, lié à la santé ainsi que la gestion de crise : interdit.

## **- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLE ET/OU COLLECTIVE :**

### **↪ Recommandations pour tout bâti :**

- Sur les façades exposées : adaptation architecturale et constructive du bâtiment permettant d'assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de chutes de blocs (ou encore mise en place d'un dispositif de protection non intégré au bâti) ;
- Réalisation d'une étude géotechnique et trajectographique, de niveau G12 au moins selon la norme NF P 94 500 de classification de missions géotechniques permettant de préciser le risque et de définir, le cas échéant, les protections (mise en place d'un dispositif de protection non intégré au bâti et/ou dispositions architecturales et constructives sur le bâti) permettant, sur les façades exposées, d'assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants vis-à-vis du risque de chutes de blocs.

## **- NATURE DU PHÉNOMÈNE : Ruissellement de versant**

**FICHE N° 8**

### **SECTEUR : ENTRE CIMETIÈRE ET LES CAILLOUDES**

Phénomène potentiel ou déclaré, intensité prévisible modérée à forte

*DISPOSITIF DE PROTECTION : AUCUN*

### **- PRESCRIPTION D'URBANISME : Zone constructible.**

L'aménagement et l'extension du bâti existant, ainsi que la réalisation de bâtiments nouveaux sont autorisés, sous réserve que tout projet (entre autres ceux entraînant un changement de destination et/ou une augmentation de la vulnérabilité) prenne en compte des prescriptions spéciales, intégrées au projet, propres à assurer la sécurité du bâti et de ses occupants.

ERP (établissement recevant du public) scolaire, lié à la santé ainsi que la gestion de crise : interdit.

### **- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLES :**

**NOTA : Les cotes de plancher et de mise hors d'eau sont mesurées en façade aval.**

#### **🔗 Prescriptions pour le bâti futur :**

- Absence de plancher destiné à l'habitation, aux activités artisanales, industrielles ou commerciales, au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,60 m (sont exclus les garages, les terrasses et toutes autres surfaces n'ayant pas vocation à recevoir des biens mobiliers sensibles) ou façades directement exposées à l'écoulement aveugles **et/ou** étanches (rehausse des paliers) sur 0,6 m de hauteur par rapport au terrain naturel ou au terrain fini (opter pour l'option la plus sécuritaire) et résistant de façon homogène à une pression de 5 kPa (0,5 t/m<sup>2</sup>) ;
- Absence de niveau enterré ou semi-enterré, sauf si un cuvelage étanche est réalisable au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,60 m ;
- Les équipements électriques, les brûleurs de chaudières ainsi que l'ensemble des appareils sensibles à l'eau seront placés au-dessus de la cote correspond à celle du terrain naturel majorée de 0,60 m ;
- Stockage de produits dangereux ou flottants hors d'atteinte des écoulements (sauf si le site est équipé d'un dispositif empêchant leur entraînement par les eaux) ;
- Clôtures autorisées avec un rapport vide/plein supérieur à 50%, et murets admis avec une hauteur inférieure à 0,50 m ;
- Camping et habitations légères de loisirs interdits.

#### 🔧 **Prescriptions pour les projets d'aménagement ou d'extension du bâti existant :**

- Absence de plancher destiné à l'habitation, aux activités artisanales, industrielles ou commerciales, au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,60 m (sont exclus les garages, les terrasses et toutes autres surfaces n'ayant pas vocation à recevoir des biens mobiliers sensibles) **ou** façades directement exposées à l'écoulement aveugles **et/ou** étanches (rehausse des paliers) sur 0,6 m de hauteur par rapport au terrain naturel ou au terrain fini (opter pour l'option la plus sécuritaire) et résistant de façon homogène à une pression de 5 kPa (0,5 t/m<sup>2</sup>) ou mise en place d'un ouvrage ou d'un dispositif déflecteur empêchant toute pénétration de l'eau dans le bâtiment et dimensionné pour résister à la pression et à l'érosion de l'eau, sous réserve de ne pas aggraver le risque et de ne pas en créer de nouveaux ;
- Absence de niveau enterré ou semi-enterré, sauf si un cuvelage étanche est réalisable au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,60 m ;
- Les équipements électriques, les brûleurs de chaudières ainsi que l'ensemble des appareils sensibles à l'eau seront placés au-dessus de la cote correspond à celle du terrain naturel majorée de 0,60 m ;
- Stockage de produits dangereux ou flottants hors d'atteinte des écoulements (sauf si le site est équipé d'un dispositif empêchant leur entraînement par les eaux) ;
- Clôtures autorisées avec un rapport vide/plein supérieur à 50%, et murets admis avec une hauteur inférieure à 0,50 m ;
- Camping et habitations légères de loisirs interdits.

#### 🔧 **Recommandations pour le bâti existant :**

- Absence de plancher destiné à l'habitation, aux activités artisanales, industrielles ou commerciales, au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,60 m (sont exclus les garages, les terrasses et toutes autres surfaces n'ayant pas vocation à recevoir des biens mobiliers sensibles) **ou** façades directement exposées à l'écoulement aveugles **et/ou** étanches (batardeaux, rehausse des paliers) sur 0,60 m de hauteur par rapport au terrain naturel ou au terrain fini (opter pour l'option la plus sécuritaire) et résistant de façon homogène à une pression de 5 kPa (0,5 t/m<sup>2</sup>) ou mise en place d'un ouvrage ou d'un dispositif déflecteur empêchant toute pénétration de l'eau dans le bâtiment et dimensionné pour résister à la pression et à l'érosion de l'eau, sous réserve de ne pas aggraver le risque et de ne pas en créer de nouveaux ;
- Absence de niveau enterré ou semi-enterré, sauf si un cuvelage étanche est réalisable au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,60 m ;
- Les équipements électriques, les brûleurs de chaudières ainsi que l'ensemble des appareils sensibles à l'eau seront placés au-dessus de la cote correspond à celle du terrain naturel majorée de 0,60 m ;
- Stockage de produits dangereux ou flottants hors d'atteinte des écoulements (sauf si le site est équipé d'un dispositif empêchant leur entraînement par les eaux) ;
- Clôtures autorisées avec un rapport vide/plein supérieur à 50%, et murets admis avec une hauteur inférieure à 0,50 m ;
- Camping et habitations légères de loisirs interdits.

**SECTEUR : TALWEGS AU NIVEAU DU COTEAU DE LA MALADIÈRE**

Phénomène fréquent, intensité prévisible modérée à faible

*DISPOSITIF DE PROTECTION : AUCUN*

**- PRESCRIPTION D'URBANISME : Zone constructible.**

L'aménagement et l'extension du bâti existant, ainsi que la réalisation de bâtiments nouveaux sont autorisés, sous réserve que tout projet (entre autres ceux entraînant un changement de destination et/ou une augmentation de la vulnérabilité) prenne en compte des prescriptions spéciales, intégrées au projet, propres à assurer la sécurité du bâti et de ses occupants.

ERP (établissement recevant du public) scolaire, lié à la santé ainsi que la gestion de crise : interdit.

**- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLES :**

**NOTA : Les cotes de plancher et de mise hors d'eau sont mesurées en façade aval.**

**↳ Prescriptions pour le bâti futur :**

- Absence de plancher destiné à l'habitation, aux activités artisanales, industrielles ou commerciales, au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,30 m (sont exclus les garages, les terrasses et toutes autres surfaces n'ayant pas vocation à recevoir des biens mobiliers sensibles) ;
- Absence de niveau enterré ou semi-enterré, sauf si un cuvelage étanche est réalisable au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,30 m ;
- Les équipements électriques, les brûleurs de chaudières ainsi que l'ensemble des appareils sensibles à l'eau seront placés au-dessus de la cote correspond à celle du terrain naturel ou au terrain fini (opter pour l'option la plus sécuritaire) majorée de 0,30 m ;
- Stockage de produits dangereux ou flottants hors d'atteinte des écoulements (sauf si le site est équipé d'un dispositif empêchant leur entraînement par les eaux) ;
- Clôtures autorisées avec un rapport vide/plein supérieur à 50%, et murets admis avec une hauteur inférieure à 0,50 m ;
- Camping et habitations légères de loisirs interdits.

#### **🔧 Prescriptions pour les projets d'aménagement ou d'extension du bâti existant :**

- Absence de plancher destiné à l'habitation, aux activités artisanales, industrielles ou commerciales, au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,30 m (sont exclus les garages, les terrasses et toutes autres surfaces n'ayant pas vocation à recevoir des biens mobiliers sensibles) **ou** façades directement exposées à l'écoulement aveugles **et/ou** étanches (rehausse des paliers) sur 0,3 m de hauteur par rapport au terrain naturel ou au terrain fini (opter pour l'option la plus sécuritaire) ou mise en place d'un ouvrage ou d'un dispositif déflecteur empêchant toute pénétration de l'eau dans le bâtiment et dimensionné pour résister à la pression et à l'érosion de l'eau, sous réserve de ne pas aggraver le risque et de ne pas en créer de nouveaux ;
- Absence de niveau enterré ou semi-enterré, sauf si un cuvelage étanche est réalisable au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,30 m ;
- Les équipements électriques, les brûleurs de chaudières ainsi que l'ensemble des appareils sensibles à l'eau seront placés au-dessus de la cote correspond à celle du terrain naturel majorée de 0,30 m ;
- Stockage de produits dangereux ou flottants hors d'atteinte des écoulements (sauf si le site est équipé d'un dispositif empêchant leur entraînement par les eaux) ;
- Clôtures autorisées avec un rapport vide/plein supérieur à 50%, et murets admis avec une hauteur inférieure à 0,50 m ;
- Camping et habitations légères de loisirs interdits.

#### **🔧 Recommandations pour le bâti existant :**

- Absence de plancher destiné à l'habitation, aux activités artisanales, industrielles ou commerciales, au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,30 m (sont exclus les garages, les terrasses et toutes autres surfaces n'ayant pas vocation à recevoir des biens mobiliers sensibles) ou façades directement exposées à l'écoulement aveugles et/ou étanches (batardeaux, rehausse des paliers) sur 0,30 m de hauteur par rapport au terrain naturel ou au terrain fini (opter pour l'option la plus sécuritaire) ou mise en place d'un ouvrage ou d'un dispositif déflecteur empêchant toute pénétration de l'eau dans le bâtiment et dimensionné pour résister à la pression et à l'érosion de l'eau, sous réserve de ne pas aggraver le risque et de ne pas en créer de nouveaux ;
- Absence de niveau enterré ou semi-enterré, sauf si un cuvelage étanche est réalisable au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,30 m ;
- Les équipements électriques, les brûleurs de chaudières ainsi que l'ensemble des appareils sensibles à l'eau seront placés au-dessus de la cote correspond à celle du terrain naturel majorée de 0,30 m ;
- Stockage de produits dangereux ou flottants hors d'atteinte des écoulements (sauf si le site est équipé d'un dispositif empêchant leur entraînement par les eaux) ;
- Clôtures autorisées avec un rapport vide/plein supérieur à 50%, et murets admis avec une hauteur inférieure à 0,50 m ;
- Camping et habitations légères de loisirs interdits.

## **- NATURE DU PHÉNOMÈNE : Ruissellement de versant**

**FICHE N° 10**

### **SECTEUR : LA MALADIÈRE**

Phénomène assez fréquent, intensité prévisible faible

*DISPOSITIF DE PROTECTION : AUCUN*

### **- PRESCRIPTION D'URBANISME : Zone constructible.**

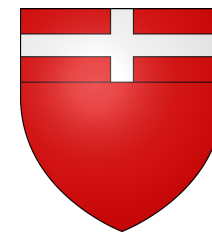
L'aménagement et l'extension du bâti existant, ainsi que la réalisation de bâtiments nouveaux sont autorisés. Des recommandations sont proposées, de façon à protéger le bâti et ses occupants des conséquences pouvant être induites en cas d'occurrence du phénomène.

### **- MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLES :**

**NOTA : Les cotes de plancher et de mise hors d'eau sont mesurées en façade aval.**

#### **🔗 Recommandations pour tout bâti :**

- Absence de plancher destiné à l'habitation, aux activités artisanales, industrielles ou commerciales, au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,30 m (sont exclus les garages, les terrasses et toutes autres surfaces n'ayant pas vocation à recevoir des biens mobiliers sensibles) ou façades directement exposées à l'écoulement aveugles et/ou étanches (batardeaux, rehausse des paliers) sur 0,30 m de hauteur par rapport au terrain naturel ou au terrain fini (opter pour l'option la plus sécuritaire) ou mise en place d'un ouvrage ou d'un dispositif déflecteur empêchant toute pénétration de l'eau dans le bâtiment et dimensionné pour résister à la pression et à l'érosion de l'eau, sous réserve de ne pas aggraver le risque et de ne pas en créer de nouveaux ;
- Absence de niveau enterré ou semi-enterré, sauf si un cuvelage étanche est réalisable au-dessous de la cote du terrain naturel majorée de 0,30 m;
- Surélévation des ouvertures principales et des accès à une hauteur de l'ordre de 0,30 m au-dessus du terrain naturel ;
- Les équipements électriques, les brûleurs de chaudières ainsi que l'ensemble des appareils sensibles à l'eau seront placés au-dessus de la cote correspond à celle du terrain naturel majorée de 0,30 m.



# **PLAN D'INDEXATION EN Z**

**Commune de MONTMÉLIAN**

---

***Document graphique (atlas cartographique)***

---

# Commune de Montmélian

## Plan d'Indexation en Z

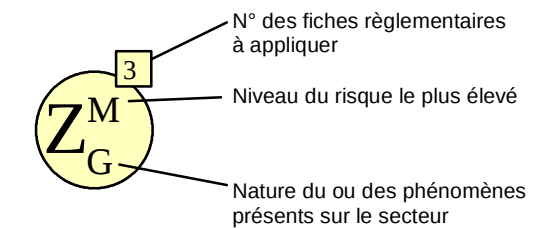


Alp'Géorisques - septembre 2011



### Légende : (prescriptions individuelles et collectives)

-  Zones inconstructibles
-  Zones dans lesquelles le bâti est limité à l'existant
-  Zones constructibles avec mise en oeuvre de prescriptions
-  Zones constructibles faisant l'objet de recommandations
-  Zones non soumises aux phénomènes cartographiés



(cf. catalogue des prescriptions spéciales)

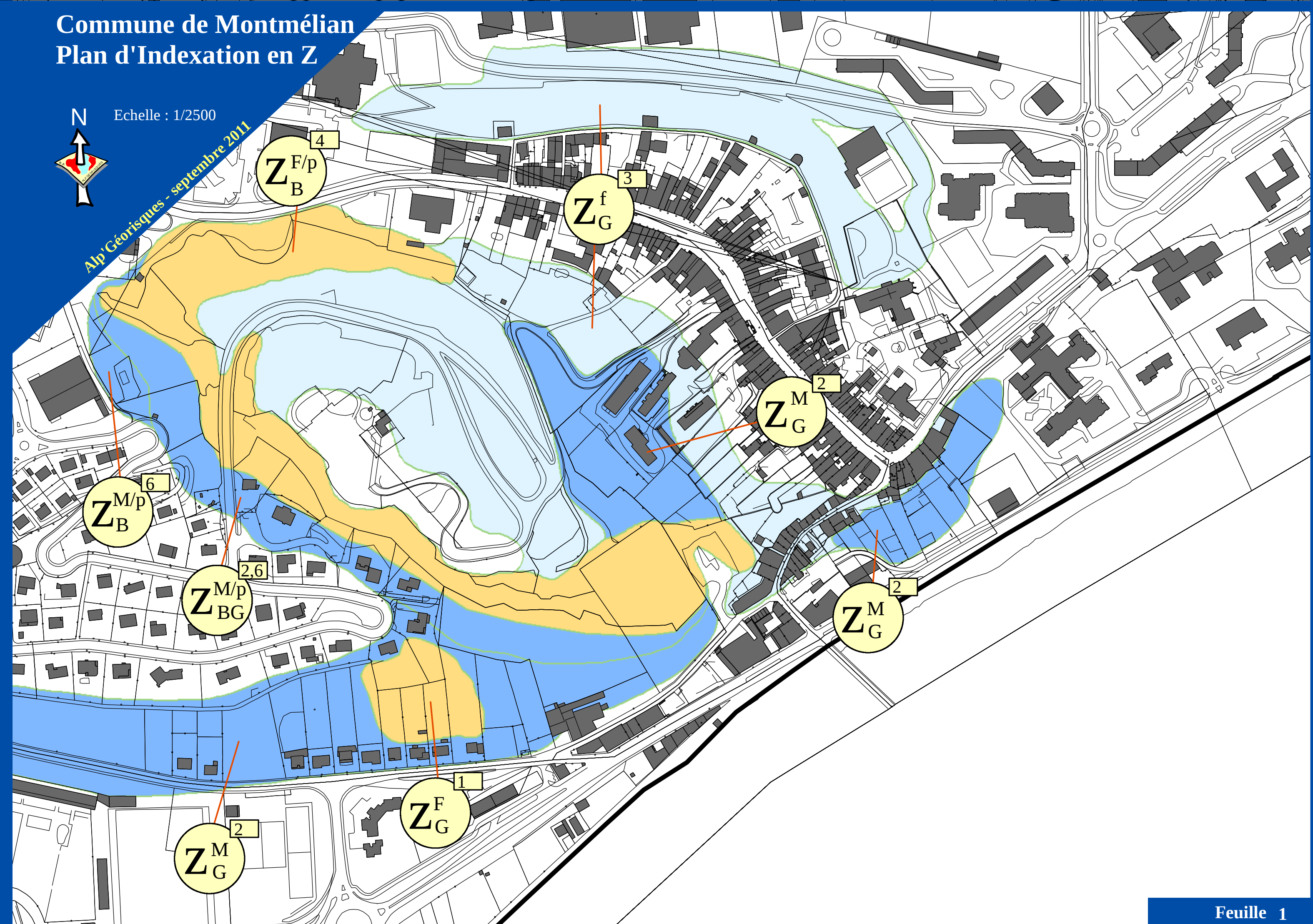
# Commune de Montmélian

## Plan d'Indexation en Z

N Echelle : 1/2500



Alp'Géorisques - septembre 2011

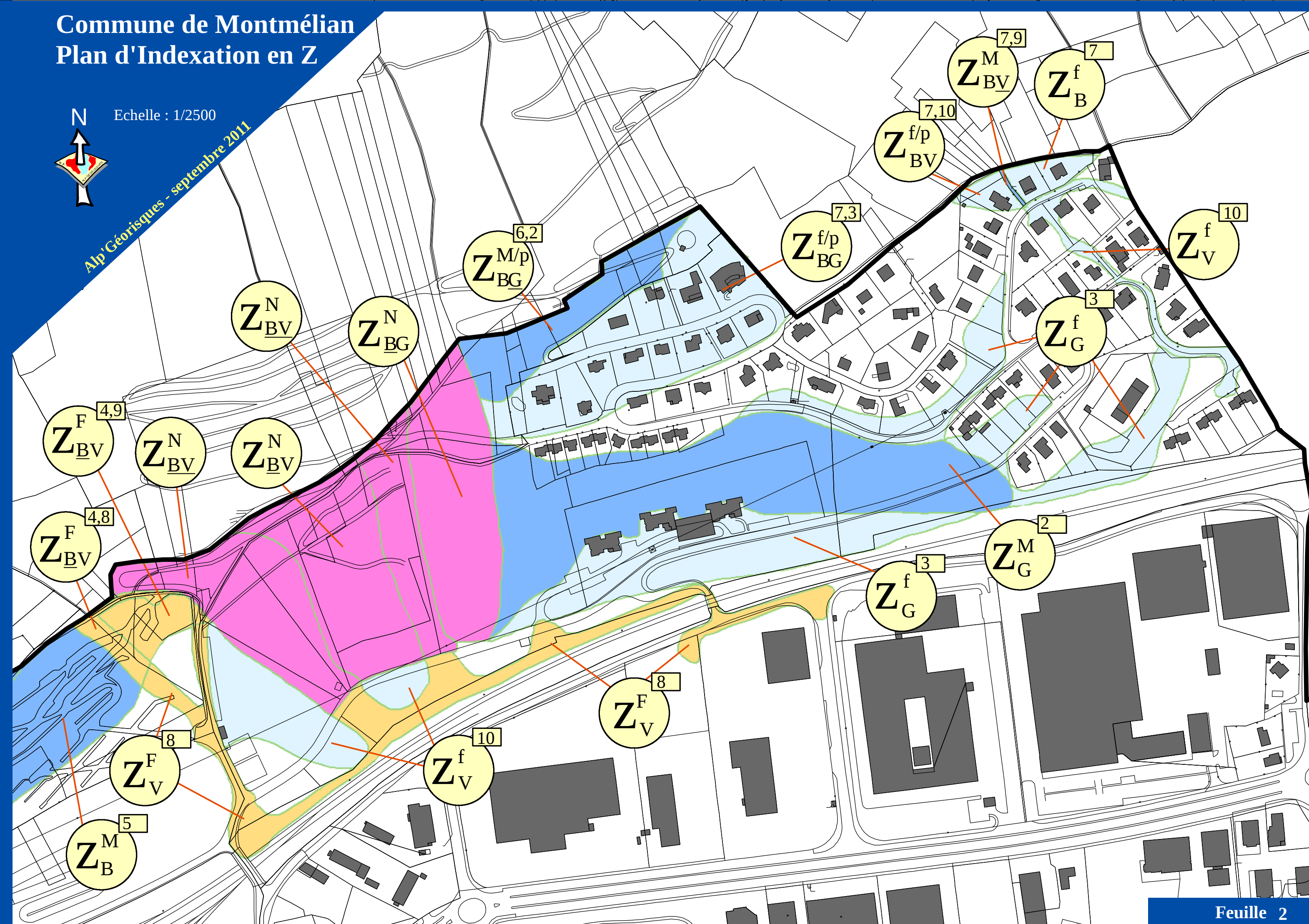


# Commune de Montmélian

## Plan d'Indexation en Z

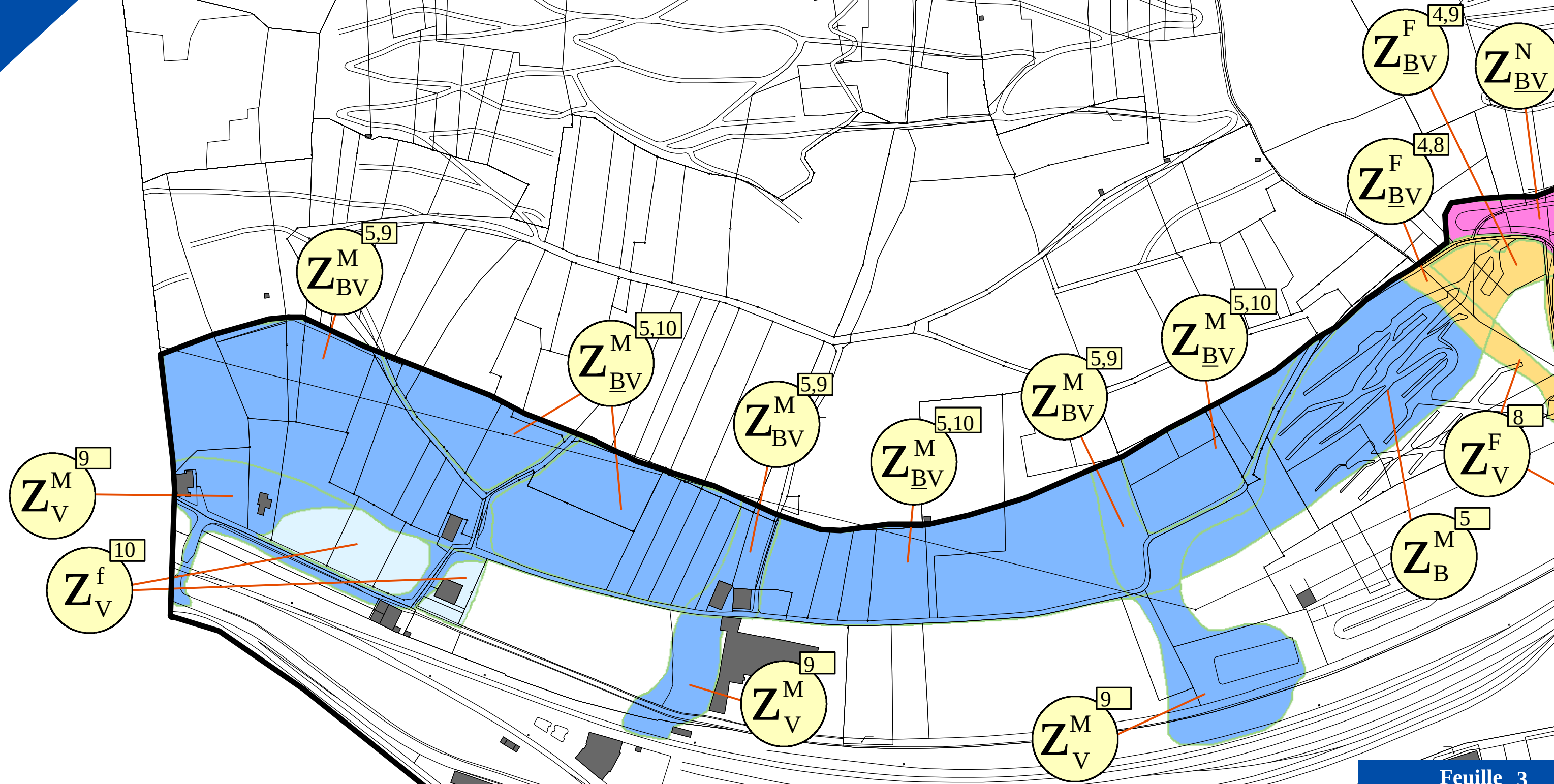
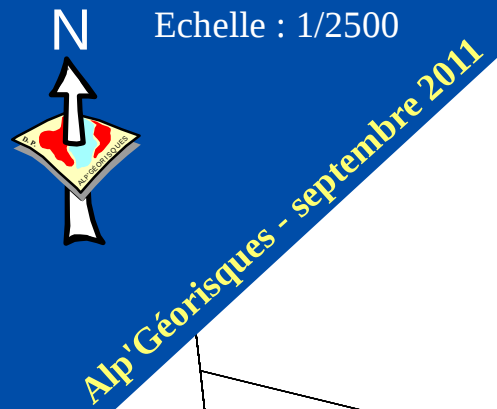


Alp'Géorisques - septembre 2011



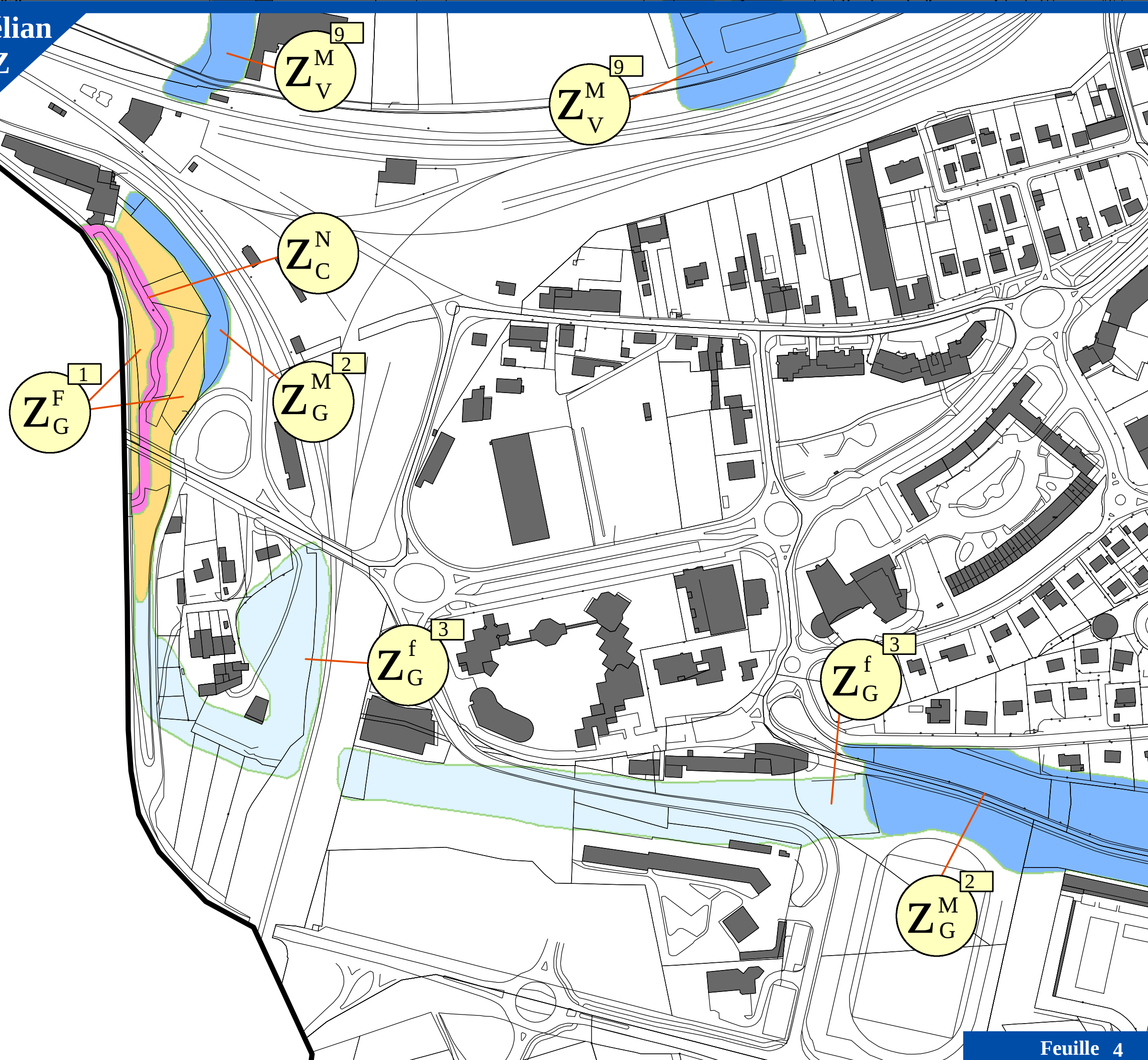
# Commune de Montmélian

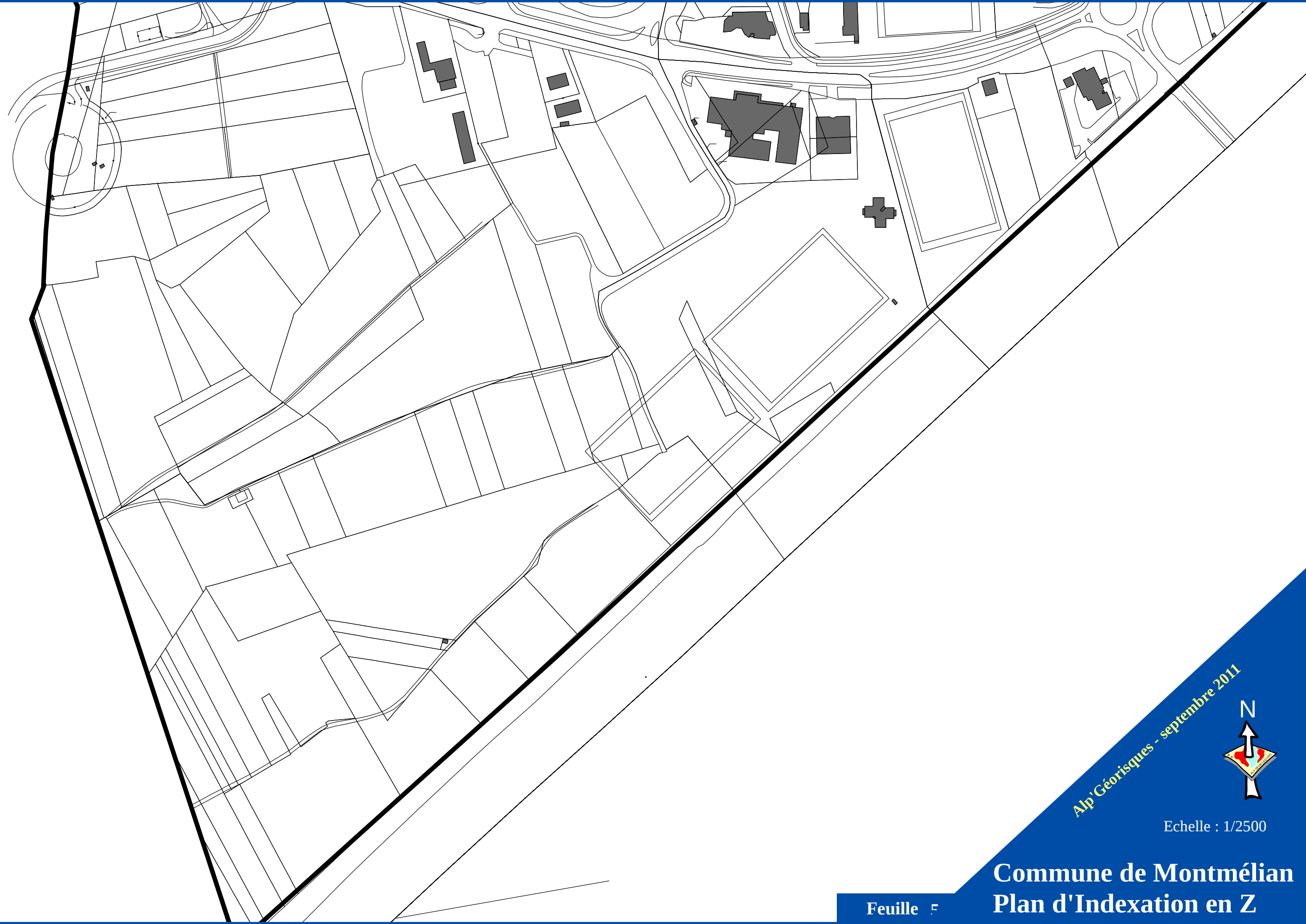
## Plan d'Indexation en Z



# Commune de Montmélian

## Plan d'Indexation en Z





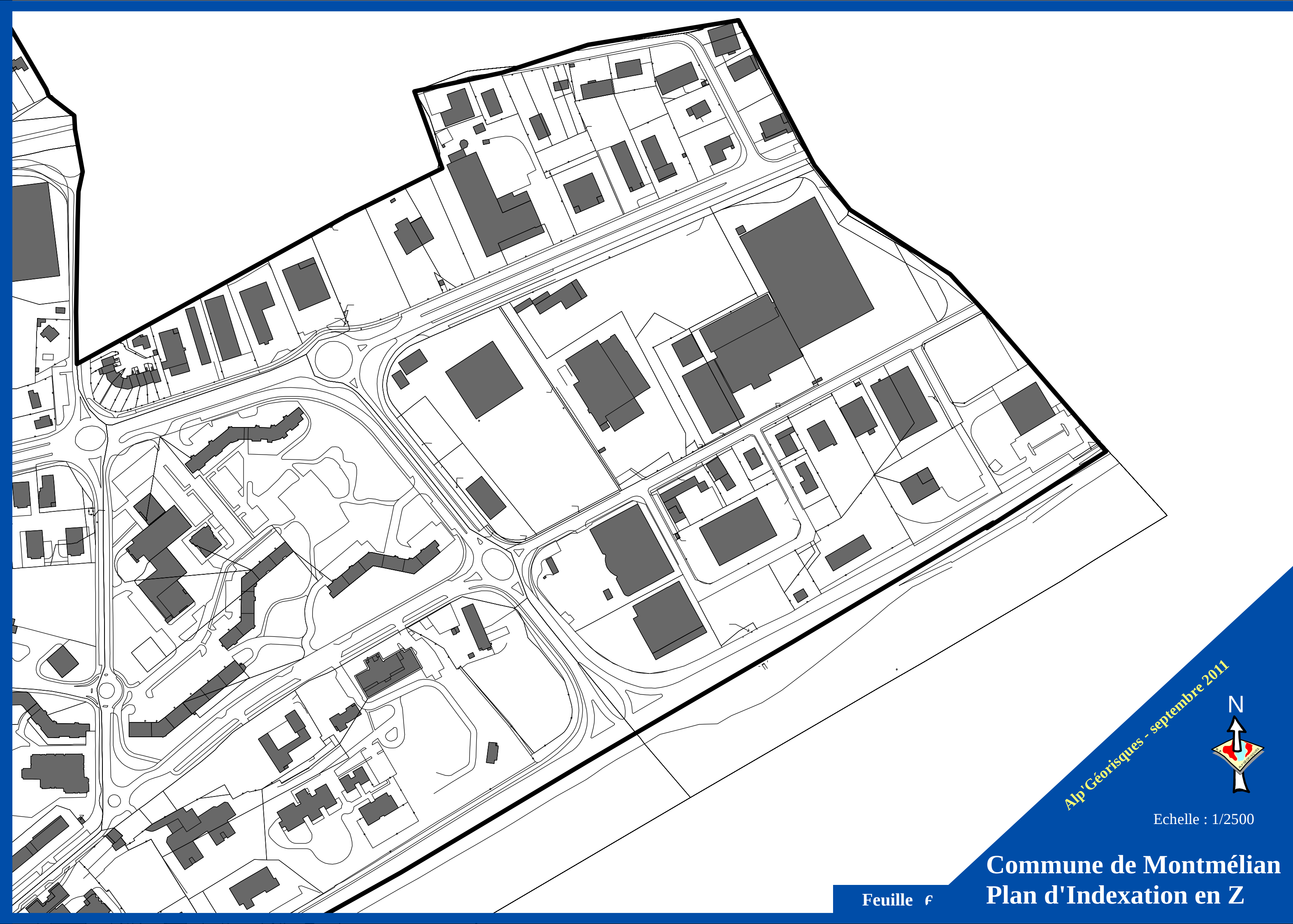
Alp'Géorisques - septembre 2011



Echelle : 1/2500

Feuille F

**Commune de Montmélian**  
**Plan d'Indexation en Z**



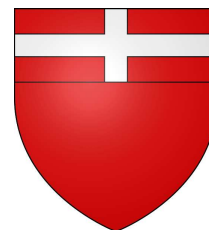
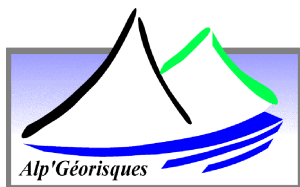
Alp'Géorisques - septembre 2011



Echelle : 1/2500

Feuille 6

Commune de Montmélian  
Plan d'Indexation en Z



**Commune de  
Montmélian**

## **Inventaire des phénomènes naturels**

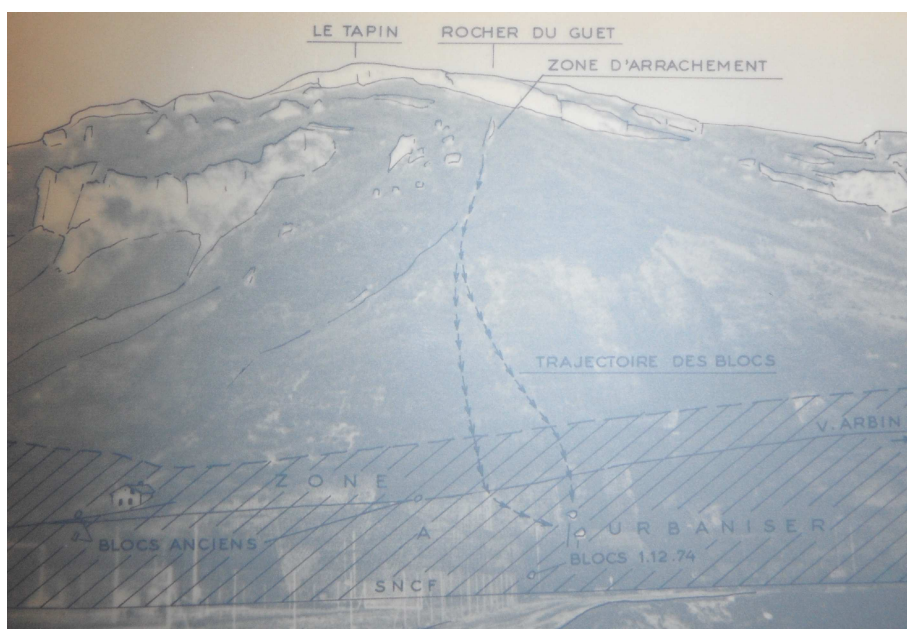
### **Note complémentaire au PIZ**

#### **Commune de MONTMÉLIAN**

---

#### ***Note de présentation***

---



Source : BRGM. Janvier 1975

Réf : 1109947

Version 1

Septembre 2011



# Sommaire

---

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sommaire.....                                                                   | 1  |
| Avant-Propos.....                                                               | 3  |
| 1. Chutes de Blocs.....                                                         | 4  |
| 2. Glissements de terrain et coulée boueuse issue de glissement de terrain..... | 9  |
| 3. Ruissellements, ravinements.....                                             | 12 |
| 4. Crues torrentielles.....                                                     | 14 |
| 5. Inondation de plaine.....                                                    | 14 |
| Annexe 1 : Bibliographie.....                                                   | 15 |
| Annexe 2 : Cartes.....                                                          | 16 |
| Annexe 3 : Extraits d'études.....                                               | 18 |





# Inventaire des phénomènes naturels Historiques, actuels et prévisibles

## Commune de MONTMÉLIAN

### Avant-Propos

---

La commune de MONTMÉLIAN a confié à la société ALP'GEORISQUES la réalisation du Plan d'Indexation en Z (P.I.Z.) communal.

Intervenant dans le cadre de l'élaboration du Plan Local d'Urbanisme, **cet inventaire des phénomènes d'origine naturelle constitue une phase complémentaire de l'élaboration du Plan d'Indexation en Z.** Celui-ci s'intéresse aux seules zones urbanisées ou urbanisables du territoire communal définies par la commune.

Cet inventaire, réalisé en août et septembre 2011, repose sur :

- ♦ l'exploitation de la bibliographie disponible aux archives du service R.T.M. SAVOIE (Chambéry) et en commune ;
- ♦ un travail d'enquête effectué notamment auprès de riverains et des services compétents (DDT, service R.T.M.) ;
- ♦ une analyse par photo-interprétation des principales missions aériennes de l'IGN (1948-2006) ;
- ♦ des reconnaissances de terrain pédestres sur l'ensemble des secteurs concernés.

Remarque : L'étude porte sur l'ensemble des phénomènes naturels susceptibles d'affecter les différentes zones d'étude. *Les phénomènes liés aux talus des voies de communication (chutes de pierres ou blocs, glissements de terrain), ainsi que les désordres résultant de travaux de terrassement, ne sont pas pris en compte du fait de leur caractère anthropique.*

**Les paragraphes suivants présentent succinctement, pour chaque type de phénomène naturel identifié, et sur les secteurs urbanisés ou urbanisables de la commune, les informations historiques recensées ainsi que le ou les phénomènes prévisibles.**



# 1. CHUTES DE BLOCS

---

**Secteur : secteur des Calloudes**

**Études de référence** : n° 03, 08, 09, 11, 13 (cf. réf. bibliographiques en annexe 1)

**Présentation :**

L'ossature du versant dominant au Nord, qui constitue les lieux-dits de la Roche du Guet et le Sorplat, est essentiellement composée de roches du Jurassique :

- calcaires sublithographiques,
- calcaires gris lités en bancs,
- calcaires marneux.

Sur la partie sommitale du versant, le substratum rocheux est bien visible, mais il est très vite recouvert en pied de paroi par des dépôts quaternaires (éboulis anciens et stabilisés) sur des épaisseurs importantes.

Du point de vue morphologique, le versant se caractérise par des déclivités marquées, la pente moyenne étant supérieure à 39°. La zone affleurante est très verticale, et la pente s'atténue progressivement dans le versant jusqu'à la partie supérieure du lotissement des Calloudes (au niveau du réservoir). La zone concernée forme une croupe qui dévie les blocs vers l'Est et l'Ouest, dans des dépressions topographiques qui forment des talwegs. Ces derniers canalisent les éventuelles chutes de blocs.

Une appréciation de l'importance des masses instables a été réalisée dans le cadre des études de référence citées plus haut.

**On distingue :**

- ♦ Dans la partie supérieure, le Sorplat est parsemé de gros blocs (écroulement historique). Celle-ci constitue une zone d'arrêt pour les chutes éventuelles issues de la falaise située sous la Roche du Guet.
- ♦ La pente abrupte en contrebas est couverte d'une végétation dense. Elle ne présente pas de ressauts bien marqués à l'exception de secteurs localisés ou affleurent les éboulis. Seules les bordures de ravins peuvent comporter quelques masses isolées instables (bien qu'aucune n'ait été observée, leur existence ne peut être écartée). Leur chute devrait emprunter les talwegs peu arborés de part et d'autre de la croupe des Calloudes.
- ♦ Au niveau du belvédère, les courbes de niveau forment un bombement qui tend à faire diverger les trajectoires soit vers les pièges à blocs (merlons) à l'Ouest, soit vers la dépression topographique à l'Est.
- ♦ A l'Est du réservoir, des petits ressauts rocheux et des murs de pierres dégradés pourraient se mettre en mouvement dans cette pente relativement abrupte. Des petits blocs sont visibles vers la crête et dans les vignes ce qui témoigne d'une certaine activité (a priori ancienne).

**Éléments historiques recensés :**

Précisément sur le secteur des Calloudes, aucun événement n'est recensé. Néanmoins des zones très proches ont déjà connues des événements (ils seront exposés dans la suite de l'étude).

**Ouvrages de protection :**

Quatre ouvrages existent :

Trois merlons pare-blocs protègent la partie supérieure du lotissement au Nord et à l'Ouest du réservoir. Ils constituent des pièges à blocs sur quelques mètres de hauteur.

Un mur de pierres a été édifié au-dessus d'une propriété entre le Chemin de la Thuile et la rue du Rocher de Manettaz. Celui-ci protège une seule maison.

Ce mur se prolonge en talus (peu marqué) vers l'Ouest sur quelques dizaines de mètres.

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

Une étude du BRGM de 1978 définit deux zones potentiellement exposées aux chutes de blocs : les 2 secteurs de part et d'autre de la crête de Mollard Portier (Est et Ouest de la butte centrale du lotissement). L'étude d'Antéa de 1995 met en évidence la possibilité que des blocs atteignent les parties hautes du secteur des Calloudes.

En présence des aménagements réalisés, le secteur semble aujourd'hui épargné.

En absence d'événement historique et d'indice plus clair sur le terrain, on considèrera les parties hautes des secteurs précédemment cités comme exposés à des phénomènes d'intensité prévisible moyenne. En aval de ces zones, les terrains seront classés en secteurs exposés à des phénomènes d'intensité prévisible faible (ce qui constituera un périmètre de sécurité).

### **↳ Secteur : entre le cimetière et les Calloudes.**

**Études de référence :** n° 12 (cf. réf. bibliographiques en annexe 1)

### **Présentation :**

La géologie du versant en amont est identique à celle du secteur précédent. Notons néanmoins que la partie rocheuse s'étend d'avantage sur le versant.

Du point de vue morphologique, le versant se caractérise par une pente rocheuse fortement marquée sur la partie amont. L'éboulis qui constitue le reste du versant est également très penté jusqu'aux vignes. Le secteur est, de surcroît, drainé par des axes de ruissellement (talwegs – ravins).

### **On distingue :**

- ♦ Dans la partie supérieure au niveau de la Grande Dent, des affleurements rocheux présentent des indices d'instabilités : fracturation importante et géologie défavorable (alternance de calcaires et de formations marno-calcaires).
- ♦ La pente abrupte en contrebas est couverte d'une végétation dense, ou se distinguent des ressauts rocheux notamment au droit du sentier permettant l'accès au Rocher de Manettaz. A travers la végétation, des trainées peuvent s'apercevoir : elles prennent la direction d'un talweg qui canalise les chutes de blocs.
- ♦ En aval sur les coteaux, des blocs d'environ 20 à 30 m<sup>3</sup> ont achevé leur trajectoire dans les vignes.

### **Éléments historiques recensés :**

Un événement est mentionné dans une étude du BRGM de 1975. Il est daté au 1er décembre 1974. La zone de départ se situe à la côte 800 m, les blocs ont été canalisés dans un talwegs avant de s'arrêter dans les vignes jusqu'à la côte 300 m.

### **Ouvrages de protection :**

Aucun.

### **Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

L'historique fait état d'un seul événement, néanmoins compte tenu de l'intensité de celui-ci (blocs d'environ 20 à 30 m<sup>3</sup>), on considèrera le secteur comme exposé à des phénomènes d'intensité prévisible forte.

NB : Seule une étude géologique et géotechnique poussée peut confirmer ces appréciations. L'observation rapprochée des falaises (intervention sur corde ou héliportée) permettrait de définir avec précision les zones sensibles (la taille des éléments de référence étant appréciables par la présence de blocs éboulés). Plusieurs profils trajectographiques permettraient alors de définir les zones d'arrêt des blocs et le cas échéant de proposer éventuellement des mesures de protection.

## **↳ Secteur : Rocher de Montmélian**

**Études de référence :** n° 10, 13 (cf. réf. bibliographiques en annexe 1)

### **Présentation :**

La ville de Montmélian est construite autour d'une vaste butte rocheuse, haute d'environ 90 m, en rive droite dans la vallée de l'Isère. Celle-ci se compose de calcaires marneux en bancs de 10 à 50 cm, alternant avec des lits de marnes. Il s'agit par conséquent de roches relativement friables.

Sur ce rocher, les Ducs de Savoie avaient édifié un fort qui a été démantelé avant la Révolution. Il ne reste aujourd'hui que des vestiges. Ces derniers qui sont constitués de murailles ont été stabilisés.

### **On distingue :**

- ♦ Une falaise qui borde la moitié Sud-Ouest du site.
- ♦ Sur le flanc Sud, avec un lotissement est collé à la paroi rocheuse.
- ♦ La zone Nord-Ouest – Nord où un affleurement domine la Poste.

### **Éléments historiques recensés :**

Un événement est mentionné dans une étude du BRGM de 1980. Il n'est pas daté mais signale des chutes par intermittence de pierres voire de blocs qui ont provoqué des impacts sur un chalet.

### **Ouvrages de protection :**

De nombreux ouvrages ont été aménagés lors de ces 20 dernières années. Ainsi on retrouve des filets pare-blocs, des grillages plaqués, des murs de soutènement. Ceux-ci ont été, en majorité, installés par la société IMS RN.

### **Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

L'ensemble des falaises ainsi que les zones de propagation possible (identifiées à dire d'expert) sont considérées comme exposées à des phénomènes d'intensité prévisible forte. En effet, même si les volumes en jeu paraissent limités, la roche est extrêmement friable et la zone de propagation très courte avant d'atteindre les premiers enjeux.

Sur le flanc Sud-Ouest, ce zonage a été prolongé à l'aval sur une bande de 20 à 40 m de largeur qui correspond à un périmètre de sécurité (la zone concerne du bâti). Ce périmètre est évalué comme exposé à des phénomènes d'intensité prévisible moyenne.

**📍 Secteur : la Maladière (Sur Roches et Mont Tapin)**

**Études de référence :** n° 01, 02 (cf. réf. bibliographiques en annexe 1)

**Présentation :**

Deux barres rocheuses sont à considérer :

- Celle soutenant le lieu-dit « Sur Roches » qui est très fracturée mais les éléments susceptibles de s'en décrocher ne semblent pas pouvoir présenter une taille leur permettant d'atteindre les parcelles concernées par le PIZ. Le seul bloc présent à proximité se trouve 400 m au Nord de la coopérative, posé dans une pente nettement supérieure à celle du vignoble. L'étude du RTM confirme cette hypothèse.
- La barre calcaire en amont constituant le Mont Tapin présente un aspect plus compact, avec des éléments rocheux assez massifs. Les chutes de blocs seront stoppées au niveau de « Sur Roches » ou en amont des coteaux. Néanmoins, la probabilité d'un événement exceptionnel n'est pas à exclure : en cas d'un écroulement en masse, les parcelles concernées par le PIZ pourraient être affectées.

**Éléments historiques recensés :**

Aucun

**Ouvrages de protection :**

Aucun

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

Aucun événement historique n'est recensé pour ce secteur. Néanmoins, compte tenu de l'importante des falaises en amont, le secteur est considéré comme zone pouvant être impactée par un aléa moyen (très faible probabilité mais intensité potentiellement forte).

NB : Seule une étude géologique et géotechnique poussée peut confirmer ces appréciations. L'observation rapprochée des falaises (intervention sur corde ou hélicoptée) permettrait de définir avec précision les zones sensibles (la taille des éléments de référence étant appréciables par la présence de blocs éboulés). Plusieurs profils trajectographiques permettraient alors de définir les zones d'arrêt des blocs et le cas échéant de proposer éventuellement des mesures de protection.

**📍 Secteur : HORS ZONE PIZ : Arbin (Grand-Banc).**

**Études de référence :** n° 05, 06 (cf. réf. bibliographiques en annexe 1)

**Présentation :**

Le Rocher de Manettaz, et plus en aval le Grand Banc se compose de calcaires du Jurassique très friables. La zone de propagation concerne le versant dit de Malatrait sur la commune de Montmélian. Les enjeux pouvant être affectés se localisent sur la commune d'Arbin.

**Éléments historiques recensés :**

Le 12 mars 1993, un éboulement s'est produit avec des blocs de 30 m<sup>3</sup>.

**Ouvrages de protection :**

Un filet ASM a été installé en 2002. A l'Est, deux pièges à blocs (digues avec fosses) ont été aménagés.

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

Non considéré

## 2. GLISSEMENTS DE TERRAIN ET COULÉE BOUEUSE ISSUE DE GLISSEMENT DE TERRAIN

---

 **Secteur : Chavort.**

**Études de référence :** n° 04 (cf. réf. bibliographiques en annexe 1)

### **Présentation :**

A l'Est du Rocher de Montmélian, la butte s'étale sur environ 400 mètres. Celle-ci se compose de formations glaciaires Wurmiennes constituées d'une argile à blocs très compacte.

La nature de ces terrains est relativement favorable aux glissements de terrain, notamment lorsqu'elle est couplée à des résurgences ou des venues d'eau importantes.

Ainsi, le flanc Sud de cette butte, compris entre la rue de Chavort et l'avenue de Girard Madoux, est concerné par le phénomène de glissements de terrain.

### **On distingue :**

- ◆ Un décollement d'une couche de terrain très superficielle sur un substrat argileux et caillouteux d'alluvions anciennes.
- ◆ Des zones humides avec des résurgences ou la présence de source.
- ◆ La possibilité de venues d'eaux en provenance de la rue en amont et plus généralement du versant du Rocher de Montmélian.

### **Éléments historiques recensés :**

Le 1er février 1995, un glissement de terrain a impacté les terrains situés entre les deux rues citées précédemment, à l'aval de l'épingle de la rue de Chavort.

Le phénomène s'est réactivé une semaine plus tard (9 février 1995) sur le même secteur, avec un arrachement couplé à une coulée de boue.

Les deux maisons à l'aval ont été évacuées.

### **Ouvrages de protection :**

Des travaux de drainage ont été effectués à l'issue des événements précités.

### **Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

Malgré la réalisation de travaux de drainage, la zone concernée par les événements de 1995 n'est pas à l'abri de venues d'eaux abondantes en provenance de la rue en amont et du versant du Rocher de Montmélian. Par conséquent ce secteur est considéré comme exposé à des phénomènes d'intensité prévisible forte.

Compte tenu de la mauvaise caractéristique des matériaux qui compose l'ensemble du talus, le reste du flanc Sud de cette butte (compris entre la rue de Chavort et l'avenue de Girard Madoux) est estimé comme exposé à des phénomènes d'intensité prévisible moyenne.

## **📍 Secteur : Rocher de Montmélian**

### **Études de référence :** Aucune

#### **Présentation :**

Outre les zones constituées de parois rocheuses, le Rocher de Montmélian est recouvert par une couche de terrain très superficielle sur un sol meuble.

Par ailleurs, les versants de cette butte sont relativement pentus.

Par conséquent, certains terrains peuvent être affectés par des glissements de terrain.

#### **On distingue :**

- ♦ Des zones particulièrement favorables aux glissements : des petits talwegs, des combes ou des axes de ruissellement.
- ♦ Le pied de versant du flanc Sud-Ouest où s'entremêlent les éboulis issus de la falaise et les formations glaciaires argileuses sont concernés.
- ♦ L'ensemble du flanc Nord-Est est concerné : sur la partie amont où la pente est relativement douce, le phénomène est moins marqué. Le versant proprement dit présente une configuration plus pentue avec la présence partielle de zones humides. On peut d'ailleurs observer des fissures sur du bâti à la rue Antoine Borel notamment sur l'ancienne maison de retraite.
- ♦ En aval, le secteur est marqué par la jonction entre la couche rocheuse du site et la terrasse fluviale ancienne (couverte par les moraines) ce qui est également un facteur favorable aux glissements. La topographie est moins marquée et le secteur est très urbanisé. Il est donc difficile d'observer des signes morphologiques d'instabilité.

#### **Éléments historiques recensés :**

Aucun.

#### **Ouvrages de protection :**

Aucun.

#### **Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

En absence de phénomène de référence, d'historique et d'étude spécifique, le zonage a été établi à dire d'expert. Les zones « amont » et « aval » décrites ci-dessus seront considérées comme exposées à des phénomènes d'intensité prévisible faible.

La partie centrale correspondant à la pente soutenue, a été évaluée comme exposée à des phénomènes d'intensité prévisible moyenne.

## **📍 Secteur : Les Calloudes**

**Études de référence :** Aucune

**Présentation :**

Le secteur est essentiellement composé calcaires marneux, entouré de formations du quaternaire : des éboulis anciens et stabilisés. Une couche de terrain très superficielle recouvre cet ensemble sur un versant relativement pentu.

Par conséquent, certain terrain peuvent être affectés par des glissements de terrain.

**Éléments historiques recensés :**

Aucun.

**Ouvrages de protection :**

Aucun.

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

En absence de phénomène de référence, d'historique et d'étude spécifique, le zonage a été établi à dire d'expert. Les zones les plus pentues, ont été évaluées comme exposées à des phénomènes d'intensité prévisible moyenne.

Sur la même logique, les secteurs ou la topographie est moins marquée, qui correspondent souvent à des talus seront considérés comme exposés à des phénomènes d'intensité prévisible faible.

## **📍 Autres secteurs : Les talus des terrasses fluviales**

**Études de référence :** Aucune

**Présentation :**

Les terrasses fluviales forment des talus de quelques mètres pouvant être sujets aux glissements. Ces dernières sont recouvertes de colluvions.

On les retrouve de part et d'autre de la rue Edouard Baladier, au niveau de l'avenue Paul Lois Merlin, le long du complexe sportif et le long de la rue Edouard Herriot.

**Éléments historiques recensés :**

Un événement est répertorié au niveau du stade omnisports (source : base de données des mouvements de terrain, cf annexe 2 bibliographie). L'événement se serait produit en 1968 mais n'est pas décrit précisément.

**Ouvrages de protection :**

Aucun.

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

En absence de phénomène de référence, d'historique précis et d'étude spécifique, le zonage a été établi à dire d'expert. L'ensemble des talus cités sont considérés comme exposés à des phénomènes d'intensité prévisible faible.

### 3. RUISSELLEMENTS, RAVINEMENTS.

---

#### **Secteur : Maladière**

**Études de référence :** n° 01, 02 (cf. réf. bibliographiques en annexe 1)

**Présentation :**

L'aspect dénudé du vignoble sur les coteaux du secteur, couplé à un versant très pentu, favorise les phénomènes de ruissellement de versant.

L'alignement des plants selon le sens de la pente ce qui est un facteur aggravant.

En revanche, la géologie du terrain de couverture, constituée d'éboulis (pierrailles), ne semble pas propice à l'érosion intensive du sol et au transport de matériaux.

**On distingue :**

- ♦ Trois zones d'écoulements préférentiels sur des dépressions topographiques qui rassemblent l'essentiel des écoulements.
- ♦ Un chemin provenant du cimetière (au niveau des Rouvennes) peut également capter les écoulements.
- ♦ Les terrains de l'ensemble du versant viticole jusqu'à la côte 300 m sont concernés par les ruissellements.

**Éléments historiques recensés :**

Aucun.

**Ouvrages de protection :**

Aucun.

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

En absence d'étude spécifique et d'historique, le zonage est établi à dire d'expert.

L'ensemble des terrains situés au-delà de la côte 300 sont au minimum concernés par des phénomènes d'intensité prévisible faible.

Les zones qui canalisent les écoulements (combe, talweg, chemin, etc.) seront considérées comme exposées à des phénomènes d'intensité prévisible modéré à fort.

**📍 Secteur : entre le cimetière et les Calloudes.**

**Études de référence :** Aucune.

**Présentation :**

Comme la zone précédente, celle-ci est cultivée en vignoble avec les mêmes caractéristiques que celles décrites ci dessus.

On distingue :

- ♦ Deux zones d'écoulements préférentiels sur des dépressions topographiques qui rassemblent l'essentiel des écoulements.
- ♦ Un ravin est relativement marqué en amont du cimetière. Celui-ci s'atténue en traversant le cimetière. La route d'accès aux Calloudes participe également à ce réseau hydrographique.
- ♦ Les terrains de l'ensemble du versant viticole jusqu'à la côte 300 m sont concernés par les ruissellements.

**Éléments historiques recensés :**

Aucun.

**Ouvrages de protection :**

Aucun.

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

En absence d'étude spécifique et d'historique, le zonage est établi à dire d'expert.

L'ensemble des terrains depuis les coteaux jusqu'à la voie SNCF est au minimum concerné par des phénomènes d'intensité prévisible faible.

Les zones qui canalisent les écoulements (combe, talweg, chemin, etc.) seront considérées comme exposées à des phénomènes d'intensité prévisible forte.

## 4. CRUES TORRENTIELLES

---

**↳ Secteur : Ruisseau de Bondeloge**

**Études de référence :** Aucune

**Présentation :**

Le ruisseau s'écoule en limite communal à l'Ouest de Montmélian le long de la RD 1006. Etant relativement encaissé, les débordements sont peu probables. Il peut néanmoins affouiller les berges et provoquer des glissements de terrain sur les talus voisins et par conséquent affecter la RD1006.

**Éléments historiques recensés :**

Aucun

**Ouvrages de protection :**

Aucun

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

Zone naturelle. Le ruisseau est considéré en aléa fort de crue torrentielle.

## 5. INONDATION DE PLAINE

---

**↳ Secteur : Isère**

**Phénomène prévisible et phénomène de référence retenu pour le zonage du PIZ :**

Non considéré dans ce PIZ : cf PPRI Isère.



## Annexe 1 : Bibliographie

---

- 01 **Expertise des risques naturels dans le vignoble.** RTM 73. Octobre 2002.
- 02 **Rapport d'expertise : exposition aux risques naturels des lieux-dits les plâtres et la Maladière.** RTM 73. Juillet 2003.
- 03 **Examen des menaces de chutes de rocher sur la propriété Bruisset.** Antéa. Août 1995.
- 04 **Glissement de terrain à Montmélian. Lieu-dit Chavort le 1er février 1995.** BRGM. Mars 1995.
- 05 **Éboulement du 12 mars 1993 à partir des falaises dites du Grand-Banc dominant Arbin.** BRGM. Juin 1993.
- 06 **Risques éboulements rocheux à Arbin.** BRGM. Janvier 1993.
- 07 **Article du Dauphiné Libéré du 17/02/1990 sur des inondations à Montmélian.**
- 08 **Étude des risques naturels dans le cadre de l'extension de la ZAC des Cailloudes.** Cabinet Jamier Vial Janvier 1985.
- 09 **Étude des risques naturels dans le cadre de l'extension de la ZAC des Cailloudes.** Cabinet Jamier Vial Janvier 1989.
- 10 **Évaluation des risques de chutes de pierres sur la face sud du Rocher de Montmélian.** BRGM. Mai 1980.
- 11 **Délimitation des risques naturels au lieu-dit Les Cailloudes à Montmélian.** BRGM. Septembre 1978.
- 12 **Chute de blocs rocheux sur la zone urbanisée de la Montage à Montmélian.** BRGM. Janvier 1975.
- 13 **Comptes-rendus de chantiers et travaux RTM sur les ouvrages de protection de chutes de blocs.**

### Documents cartographiques :

- A **Cartes topographiques au 1/25000.** « Allevard / Belledonne Nord » 3433OT et « Massif des Bauges » 3432OT. IGN.
- B **Carte géologique au 1/50000.** « Montmélian XXXIII-33 ». BRGM.
- C **Cadastre numérisé** de la commune de Montmélian
- D **Orthophotoplan** de la commune de Montmélian. IGM.
- E **Photographies aériennes.** Consultées au RTM. IGN

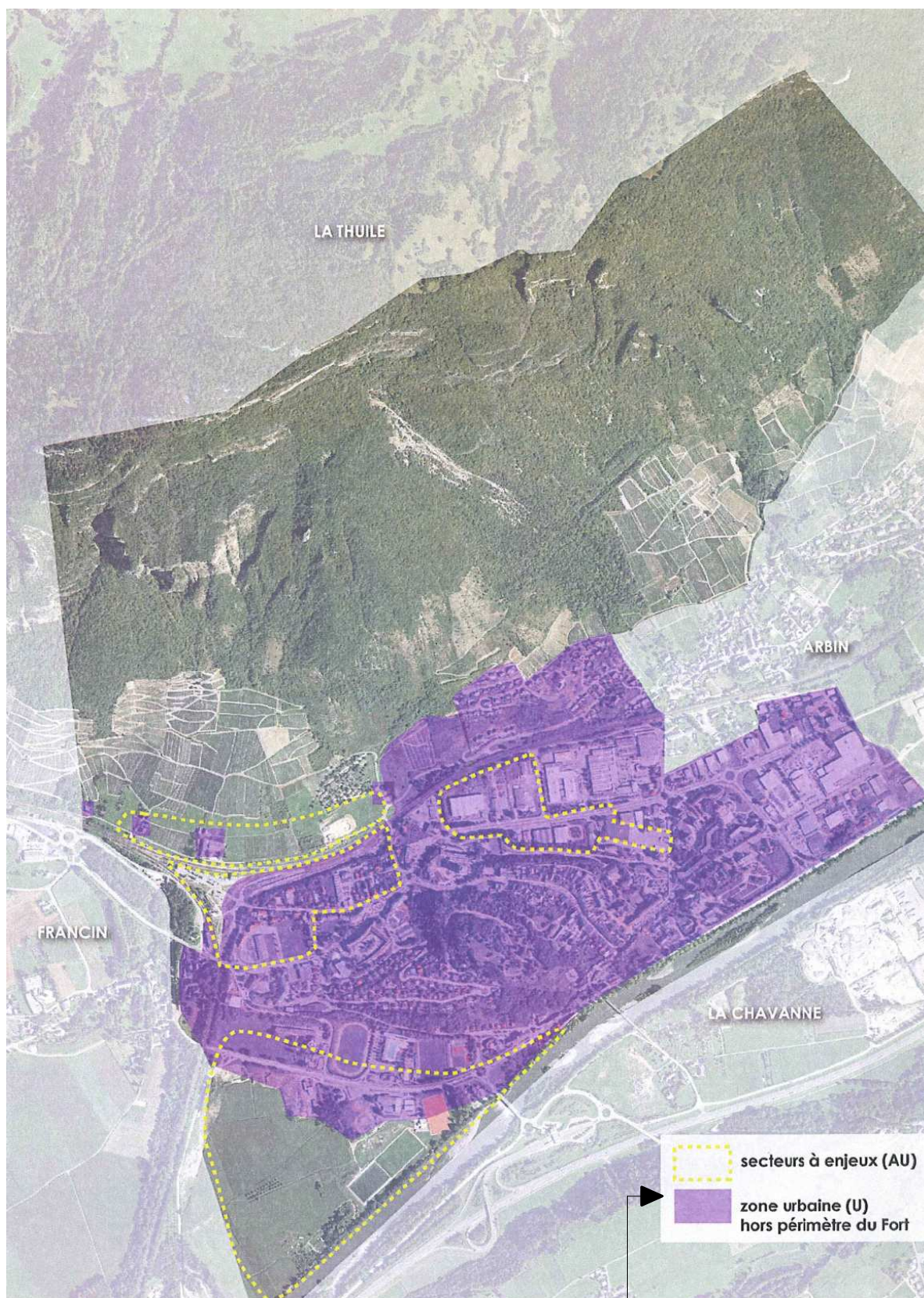
### Sites Internet :

- F Base de données des mouvements de terrain. BRGM. <http://www.bdmvt.net>
- G Site interministériel sur les risques majeurs. <http://www.prim.net>
- H Géoportail. IGN. <http://www.geoportail.fr>
- I InfoTerre : le visualiseur des données géoscientifiques. BRGM. <http://infoterre.brgm.fr>
- J Site de la commune de Montmélian : <http://www.montmelian.com>

## Annexe 2 : Cartes

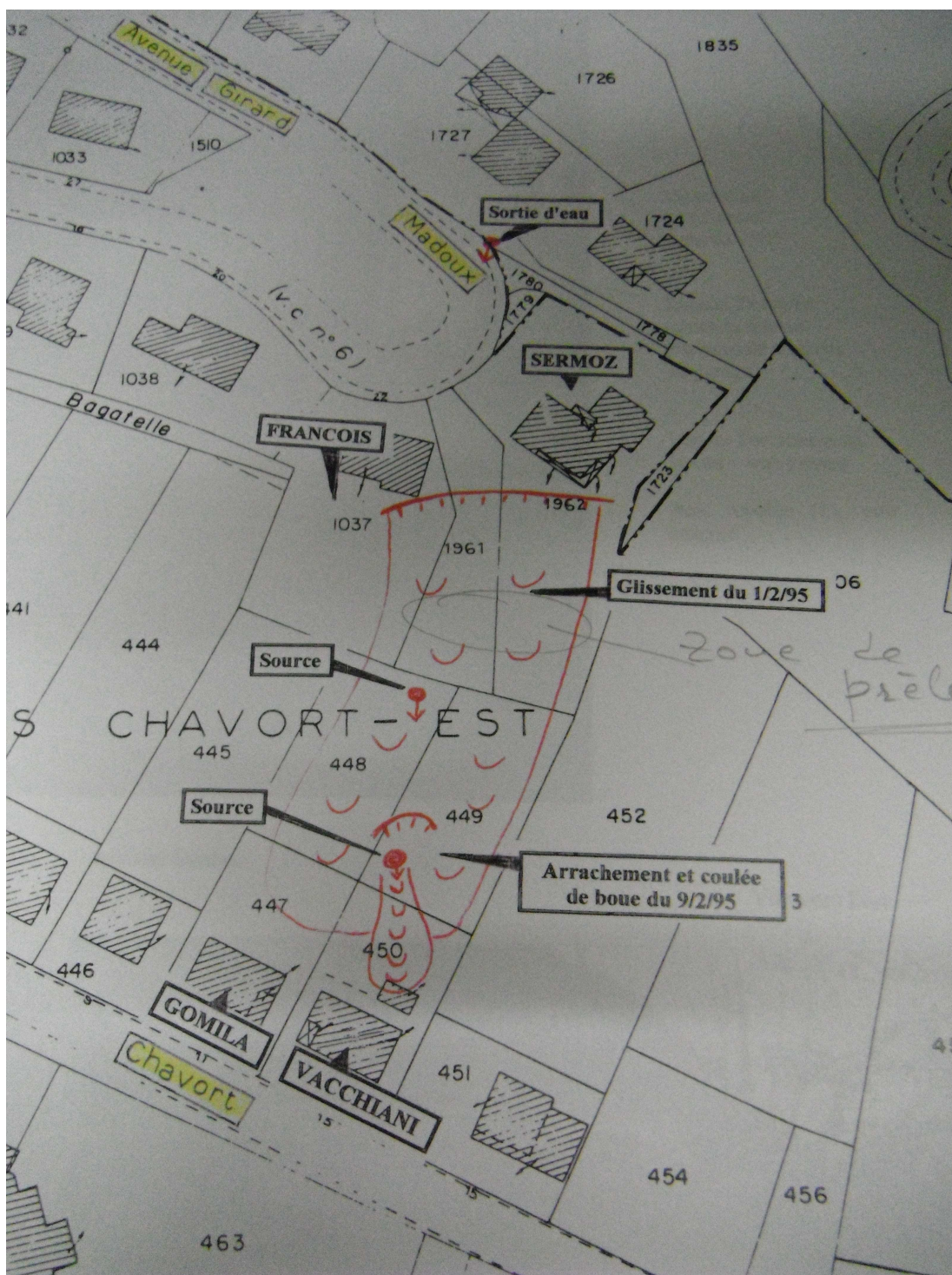


Carte géologique de la commune. Extrait de la carte géologique de Montmélian au 1/50000. BRGM.

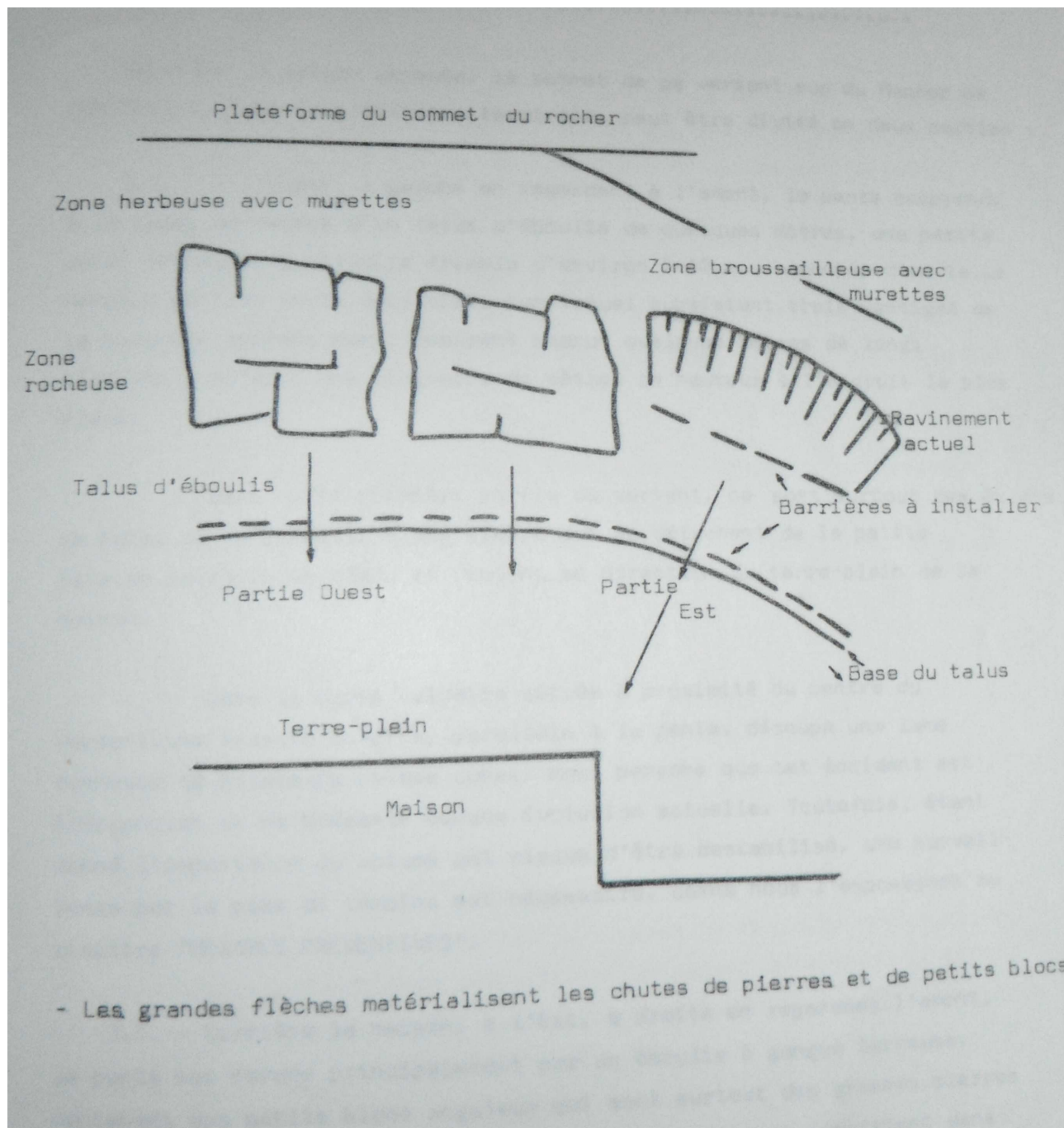


Zones constituant le  
périmètre d'étude du PIZ

## Annexe 3 : Extraits d'études



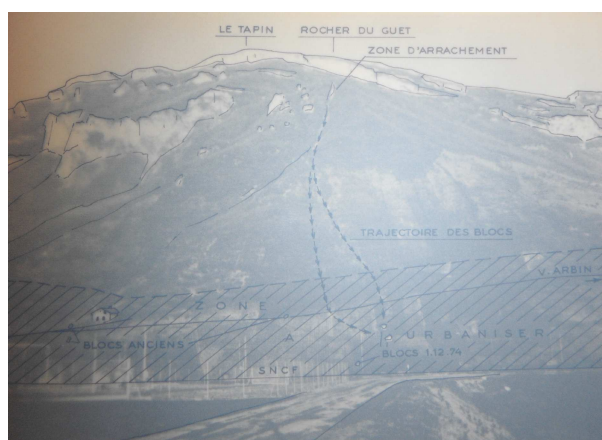
Extrait de l'étude du glissement de terrain à Montmélian. Lieu-dit Chavort le 1er février 1995. BRGM. Mars 1995.



Extrait de l'étude d'évaluation des risques de chutes de pierres sur la face sud du Rocher de Montmélian. BRGM. Mai 1980.



Extrait de l'étude de délimitation des risques naturels au lieu-dit Les Calloudes à Montmélian. BRGM. Septembre 1978.



Extrait de l'étude des chutes de blocs rocheux sur la zone urbanisée de la Montagne à Montmélian. BRGM. Janvier 1975.



## Etude de protection contre les chutes de blocs

### Commune de Montmélian

#### Sites de la Maladière, de Beauvoir et du cimetière



Réf affaire : 2016-LM-73-10

Contact : sebastien.yvart@arias-montagne.com / 06-51-50-34-63

| INDICE | DATE       | NATURE DU DOCUMENT                   | AUTEUR  | VERIFICATEUR | APPROBATEUR |
|--------|------------|--------------------------------------|---------|--------------|-------------|
| A      | 23/03/2017 | Première édition                     | S.YVART | L.MUQUET     | S.ALLAIN    |
| B      | 11/04/2017 | Ajout secteurs Beauvoir et Cimetière | S.YVART | L.MUQUET     | S.ALLAIN    |
| C      | 28/06/2017 | MAJ suite réunion 19/06/2017         | S.YVART | L.MUQUET     | S.ALLAIN    |

SARL ARIAS MONTAGNE / Siège social : rue du Stade - 7 Lotissement les Iris - 38190 Froges

RCS GRENOBLE 818 316 382 SARL au capital de 15 000 € - SIRET : 818 316 382

contact@arias-montagne.com

## SOMMAIRE

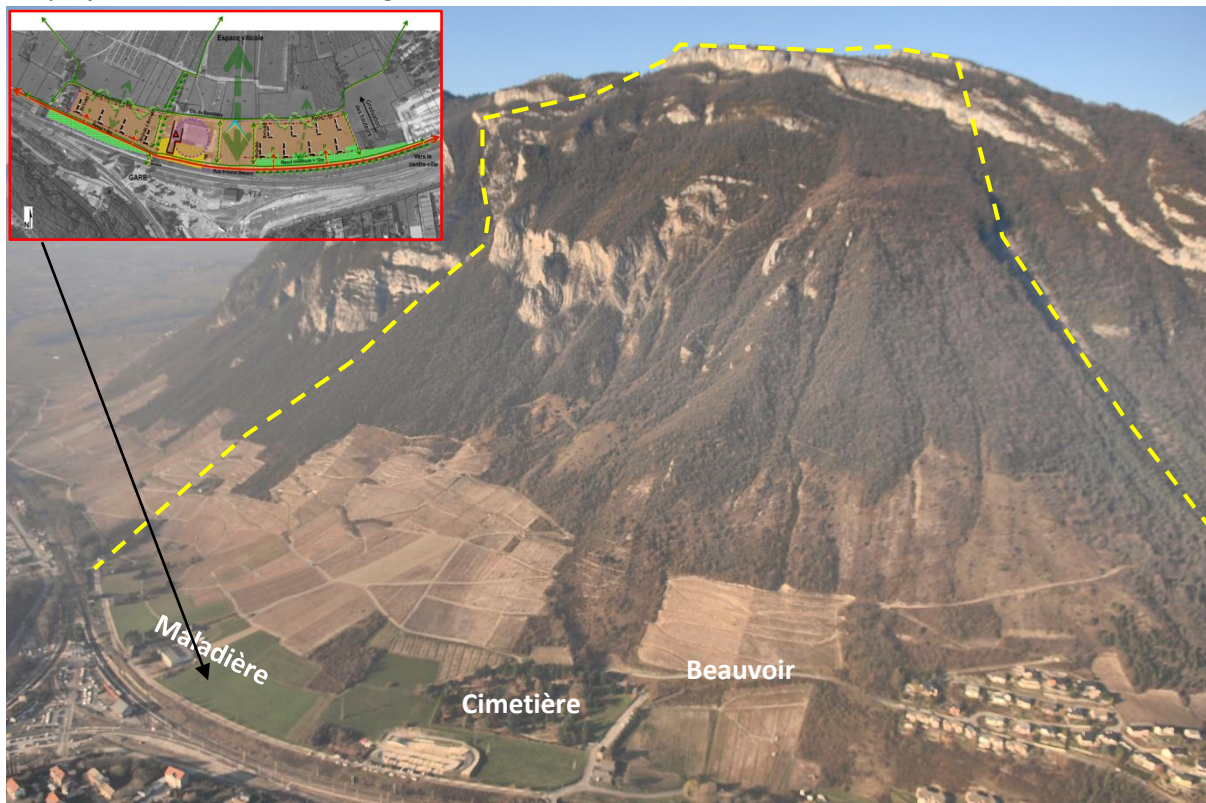
|          |                                                                     |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREAMBULE.....</b>                                               | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>INDICATIONS TECHNIQUES PRELIMINAIRES.....</b>                    | <b>7</b>  |
| 2.1      | PERIMETRE DE L'ETUDE.....                                           | 7         |
| 2.2      | SUPPORTS TOPOGRAPHIQUES.....                                        | 7         |
| 2.3      | INDICATIONS GEOMETRIQUES.....                                       | 8         |
| 2.4      | LOGICIEL DE TRAJECTOGRAPHIE.....                                    | 8         |
| 2.5      | GRILLE DE RISQUES.....                                              | 8         |
| <b>3</b> | <b>GEOMORPHOLOGIE .....</b>                                         | <b>9</b>  |
| 3.1      | GEOLOGIE .....                                                      | 9         |
| 3.2      | MORPHOLOGIE .....                                                   | 11        |
| <b>4</b> | <b>RISQUE DE CHUTES DE BLOCS ET EBOULEMENT EN MASSE.....</b>        | <b>14</b> |
| 4.1      | CLASSES D'INSTABILITES .....                                        | 14        |
| 4.1.1    | <i>Eboulements en masse limités</i> .....                           | 14        |
| 4.1.2    | <i>Chutes de blocs</i> .....                                        | 18        |
| 4.1.3    | <i>Historique</i> .....                                             | 20        |
| 4.2      | ALEA DE PROPAGATION.....                                            | 22        |
| 4.2.1    | <i>Hypothèses de trajectographie</i> .....                          | 23        |
| 4.2.2    | <i>Propagation à l'échelle du versant</i> .....                     | 24        |
| 4.3      | PROPAGATION SUR LE PROJET MALADIERE.....                            | 25        |
| 4.3.1    | <i>Zonage de l'aléa</i> .....                                       | 25        |
| 4.3.2    | <i>Approche quantitative</i> .....                                  | 26        |
| 4.3.3    | <i>Conclusions</i> .....                                            | 26        |
| 4.4      | PROPAGATION SUR LES SECTEURS BEAUVOIR ET CIMETIERE – BMX PARK ..... | 27        |
| 4.4.1    | <i>Zonage de l'aléa</i> .....                                       | 27        |
| 4.4.2    | <i>Approche quantitative</i> .....                                  | 28        |
| 4.4.3    | <i>Conclusions</i> .....                                            | 29        |
| <b>5</b> | <b>PROTECTION DU SECTEUR MALADIERE.....</b>                         | <b>30</b> |
| 5.1      | PRINCIPES .....                                                     | 30        |
| 5.2      | IMPLANTATION .....                                                  | 31        |
| 5.3      | IMPACT ENVIRONNEMENTAL .....                                        | 32        |
| 5.3.1    | <i>Gestion des écoulements</i> .....                                | 32        |
| 5.3.2    | <i>Intégration paysagère</i> .....                                  | 32        |
| 5.4      | CHIFFRAGE ET PLANNING.....                                          | 33        |
| 5.4.1    | <i>Chiffrage</i> .....                                              | 33        |
| 5.4.2    | <i>Planning</i> .....                                               | 33        |
| <b>6</b> | <b>PROTECTION DES SECTEURS BEAUVOIR ET CIMETIERE.....</b>           | <b>34</b> |
| 6.1      | PRINCIPES .....                                                     | 34        |
| 6.2      | IMPLANTATION .....                                                  | 34        |
| 6.3      | IMPACT ENVIRONNEMENTAL .....                                        | 35        |
| 6.3.1    | <i>Intégration paysagère</i> .....                                  | 35        |
| 6.4      | CHIFFRAGE ET PLANNING.....                                          | 37        |
| 6.4.1    | <i>Chiffrage</i> .....                                              | 37        |
| 6.4.2    | <i>Planning</i> .....                                               | 37        |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSIONS.....</b>                                             | <b>38</b> |



# 1 PREAMBULE

La présente étude est réalisée à la demande et pour le compte de la commune de Montmélian. Elle concerne l'étude du vaste versant bauju qui domine la commune, en amont des secteurs de la Maladière, du cimetière et de Beauvoir, afin d'établir un diagnostic et une qualification de l'aléa de propagation vis-à-vis des chutes de blocs.

Un projet immobilier est envisagé sur le secteur de la Maladière.



**Vue d'ensemble des secteurs d'étude et projet immobilier Maladière en vignette**

Ce rapport a donc pour objectifs :

- De décrire le contexte géomorphologique local,
- De décrire et positionner les principales zones susceptibles d'être à l'origine de chutes de blocs rocheux,
- De qualifier l'aléa de propagation de ces blocs dans le versant jusqu'aux secteurs d'étude,
- De définir un zonage de l'aléa sur le Maladière,
- De définir les principes des éventuelles solutions de protection.

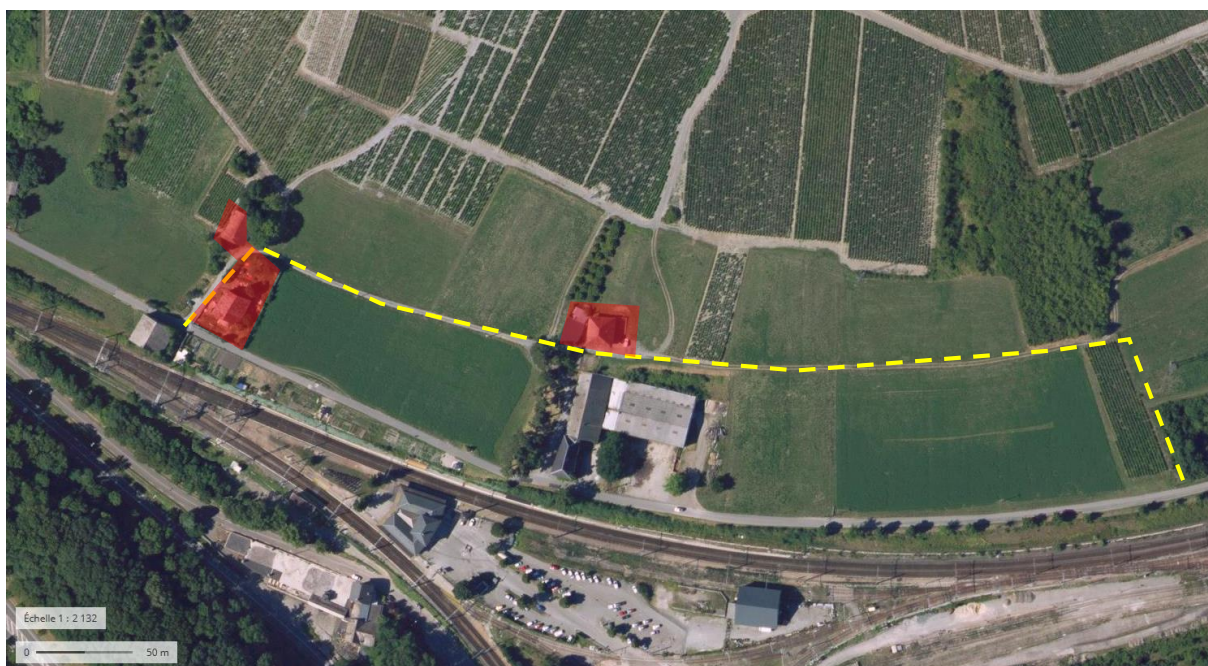
Dans ce cadre, des reconnaissances de terrain ont été effectuées :

- Le 30 novembre 2016, un vol de reconnaissances hélicoptérées durant lequel un plan photogrammétrique a été levé,
- Visites de terrain (y compris sur cordes), en février et mars 2017.

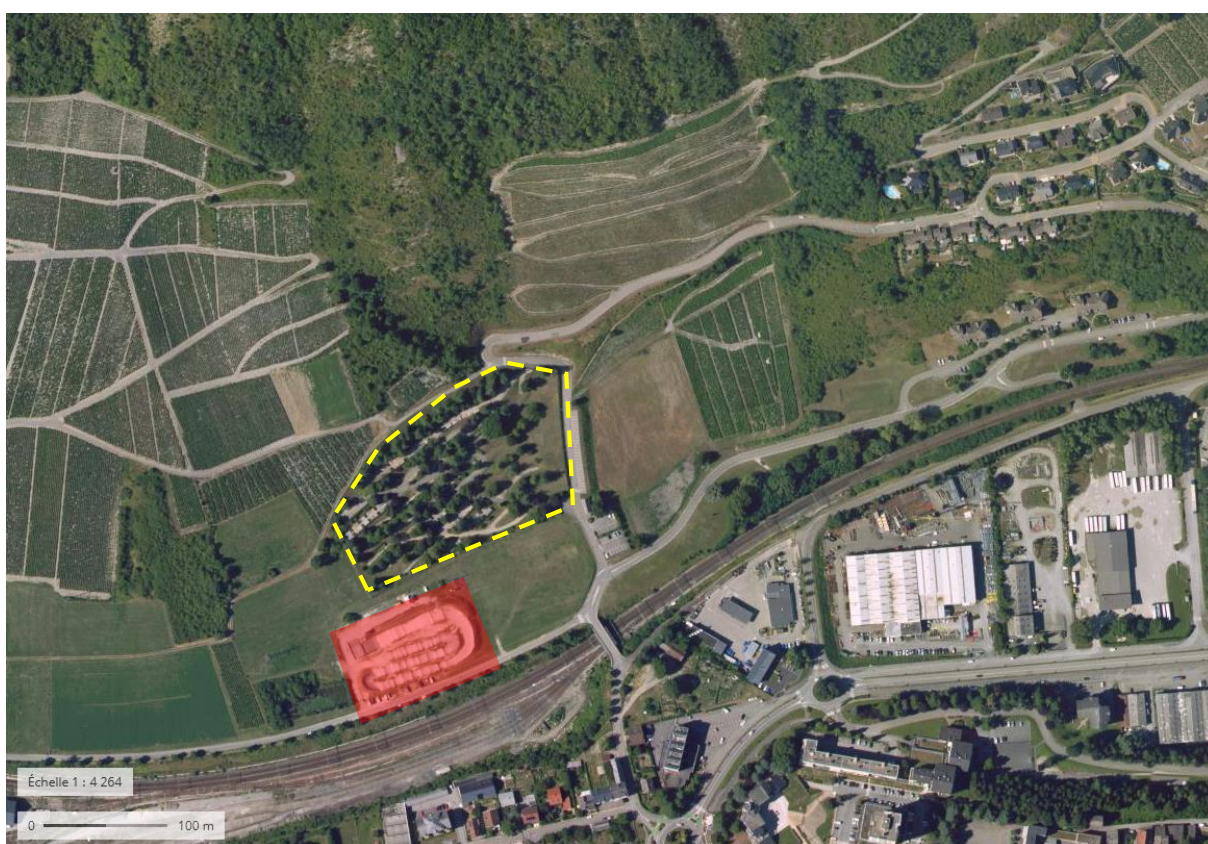
Ce document a été présenté en commission d'urbanisme le 19/06/2017 en mairie de Montmélian, en présence de Mme La Maire et de Mme la Responsable des Services Techniques.

Il nous a été demandé de compléter l'étude en prenant en compte deux points supplémentaires :

- La présence de deux habitations dans le versant à proximité immédiate du projet Maladière (voir illustration ci-après)
- L'extension du secteur Cimetière au BMX Park, situé un peu à l'aval.



**Secteur Maladière – Extension de l'étude aux deux habitations**



**Secteur Cimetière – Extension de l'étude au BMX Park**

L'indice C de ce rapport intègre ces points complémentaires.

Selon la norme NF-P 94 500, ce rapport se rattache à une mission G2 AVP.

Ce document et ses annexes constituent un tout indissociable pour leur exploitation ; ils appartiennent à la commune de Montmélian.

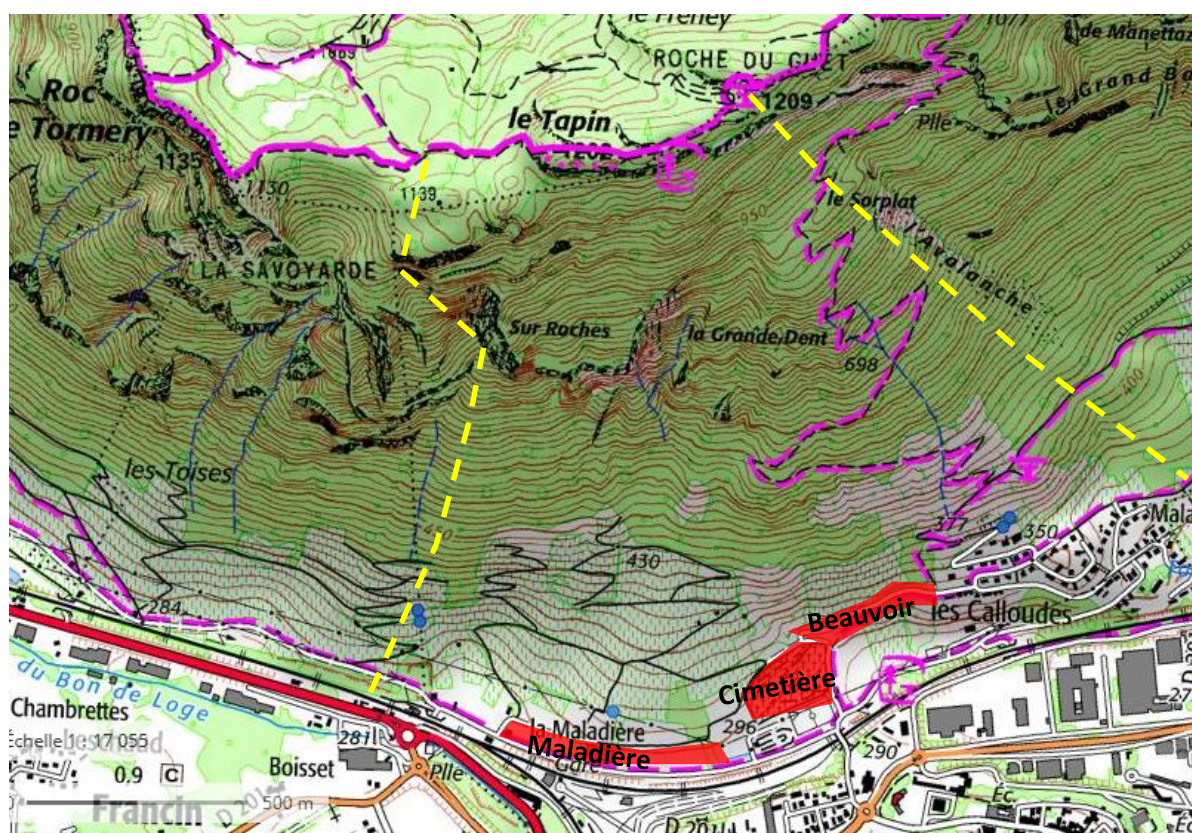
## 2 INDICATIONS TECHNIQUES PRELIMINAIRES

### 2.1 Périmètre de l'étude

Notre étude s'intéresse au versant qui domine les secteurs concernés (Maladière, Cimetière-BMX Park et Beauvoir) et ses falaises et affleurements rocheux.

La limite supérieure est ainsi naturellement déterminée par la ligne de crête rocheuse qui passe par les points hauts que sont Le Tapin (1202 m) et la Roche de Guet (1209 m).

Les limites latérales ont été définies par la morphologie du terrain : nous avons considéré les grands talwegs structurants le versant pour définir les extensions de notre étude. Nous avons ainsi retenu, à l'Est, le couloir de l'Avalanche (qui draine l'ensemble des trajectoires bien au-delà des Calloudes) et à l'Ouest l'imposante dépression sous le lieu-dit Les Roches. Peu identifiable sur IGN, elle forme un mouvement de terrain qui dévie les trajectoires bien au-delà du projet.



Périmètre de l'étude. En jaune les limites, en rouge les secteurs

Il est important de préciser que ces limites définissent les zones de départ et de propagation prises en compte dans notre étude et non les enjeux à l'aval. En d'autres termes, nous avons étudié la propagation sur l'ensemble du secteur d'étude (pour prendre en compte les changements de trajectoires dus au relief rencontré lors de la propagation) mais que la qualification du risque se limitera aux secteurs Maladière, Cimetière et Beauvoir.

La zone d'étude s'étend ainsi sur un linéaire de près de 650 m en crête, pour un dénivelé de 900 m.

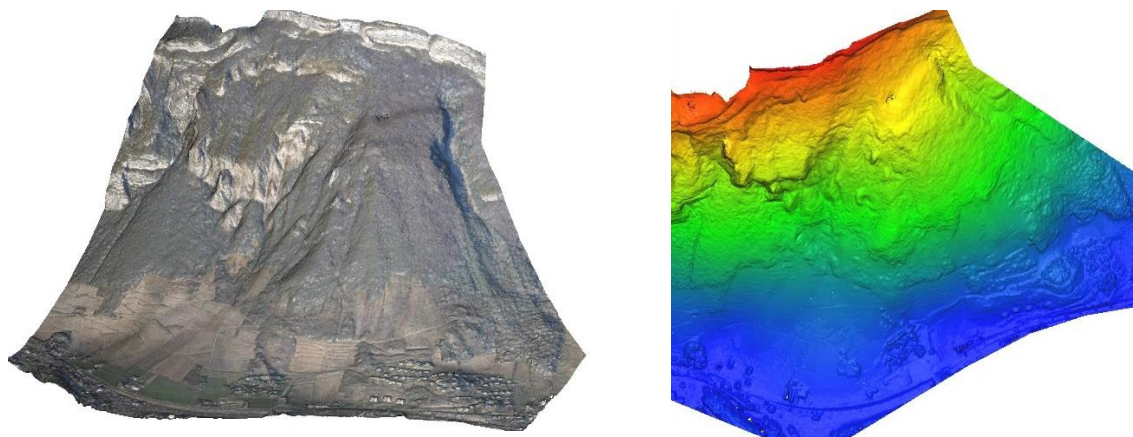
### 2.2 Supports topographiques

Dans le cadre de cette étude, un levé photogrammétrique a été effectué par Arias Montagne lors des reconnaissances héliportées.

Le modèle numérique de surface obtenu a été géo référencé (planimétrie : Lambert93, nivellement RGF93) en utilisant des points de contrôle au sol, répartis sur l'ensemble de la zone levée, dont les coordonnées ont été obtenues par GNSS RTK.

La densité du modèle est de l'ordre de 15 pt/m<sup>2</sup>.

Ce modèle a ensuite été utilisé pour les modélisations trajectographiques 3D.



A gauche le MNS, à droite le modèle utilisé pour les calculs trajectographiques.

## 2.3 Indications géométriques

Les angles énoncés sont donnés en degrés par rapport à l'horizontale.

Les indications **droite et gauche** sont données en regardant le versant depuis le bas (ou lorsque l'on regarde la zone décrite depuis l'aval).

Le terme **largeur (Larg.)** est une mesure prise dans une direction parallèle aux courbes de niveau. Le terme **épaisseur (Epais.)** indique une mesure prise perpendiculairement à l'axe de la plus grande pente ou au plan de glissement de la zone étudiée.

Le terme **hauteur (Haut.)** correspond à la différence d'altitude entre la base et le sommet de la zone décrite ou une mesure prise parallèlement à l'axe de la plus grande pente ou au plan de glissement de la zone étudiée. Les termes rive droite (**RD**) et rive gauche (**RG**) correspondent au sens orographique.

## 2.4 Logiciel de trajectographie

Dans le cadre de cette étude, des modélisations trajectographiques 3D ont été réalisées.

Le logiciel utilisé est Rockyfor3D, développé par le CEMAGREF et l'IRSTEA.

Pour l'utilisation dans RockyFor3D, le MNT a été transformé en raster de taille de cellule 1m x 1m. Il s'agit donc de la maille de terrain la plus petite prise en compte dans les calculs.

## 2.5 Grille de risques

La grille de risque Arias Montagne utilisée dans le cadre de ce rapport se trouve en annexe.

## 3 GEOMORPHOLOGIE

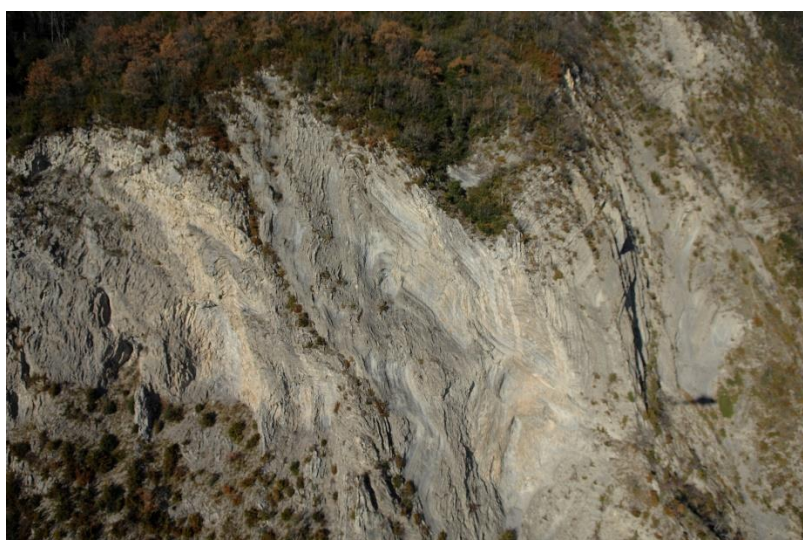
### 3.1 Géologie

La crête rocheuse Tapin – Roche de Guet est le promontoire le plus méridionale du massif des Bauges. Elle s'inscrit dans des formations calcaires massives, à bancs plurimétriques (barre du Tithonique supérieur), modelées par l'anticlinal de la Roche de Guet.



**Tithonique supérieur et la forme adoucie mais caractéristique de l'anticlinal.**

Cette barre sommitale repose sur un versant nettement moins pentu et recouvert de végétation, qui dénivelé sur plusieurs dizaines de mètres (Valanginien : les « Marnes de Narbonne »), avant de reprendre de la vigueur au niveau de Sur Roches : enchainements successifs de Kimméridgien supérieur, moyen et inférieur, présentant un plissement important et dans lesquels l'identification de la stratification est complexe à appréhender, compte tenu des nombreux accidents tectoniques qui recoupent cette zone : faille du Tapin et décrochement du Sorplat notamment.



**Stratification redressée (sub verticale) et plissement à Sur Roche, au passage de la faille du Tapin**

On débouche ensuite sur de vastes éboulis de pente, stabilisés, raides et cultivés (vignes) sur la partie basse, dont la pente finit par s'adoucir en pied de versant.



Eboulis de pente (vignes) du bas du versant



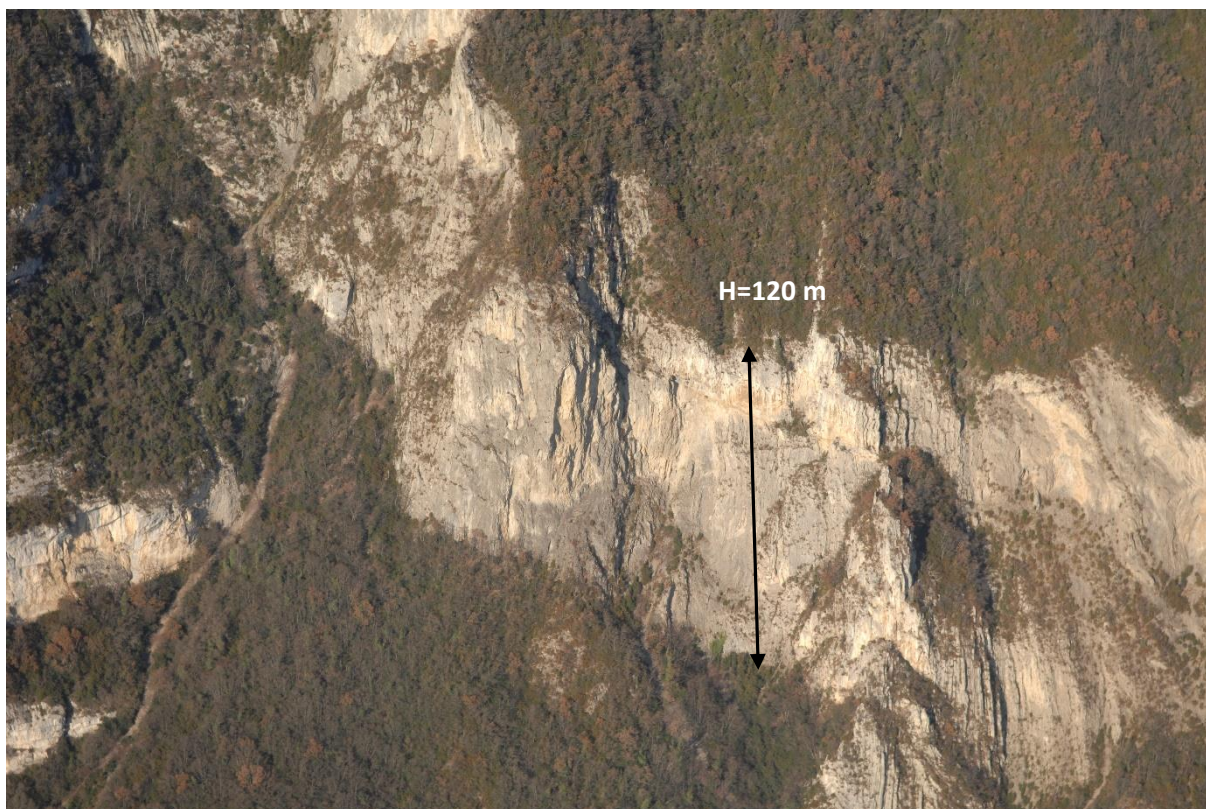
Extrait de la carte géologique (source : IGN ©)

## 3.2 Morphologie

Le grand versant qui domine les secteurs d'études présente un faciès très hétérogène. De vastes sections rocheuses continues (la ligne de crête, ou les falaises de *Sur Roches* par exemple) alternent avec des pentes régulières et raides (déclivité moyenne de l'ordre de 38/39°), densément boisées (buis, petits chênes, hêtres...).



Vue aérienne de la ligne de crête



Paroi de *Sur Roches*

Ces parois sont elles aussi de hauteurs très variables : de l'ordre de 30 à 40 m au niveau de la crête, elles peuvent se développer sur plus de 120 m sur les falaises intermédiaires.

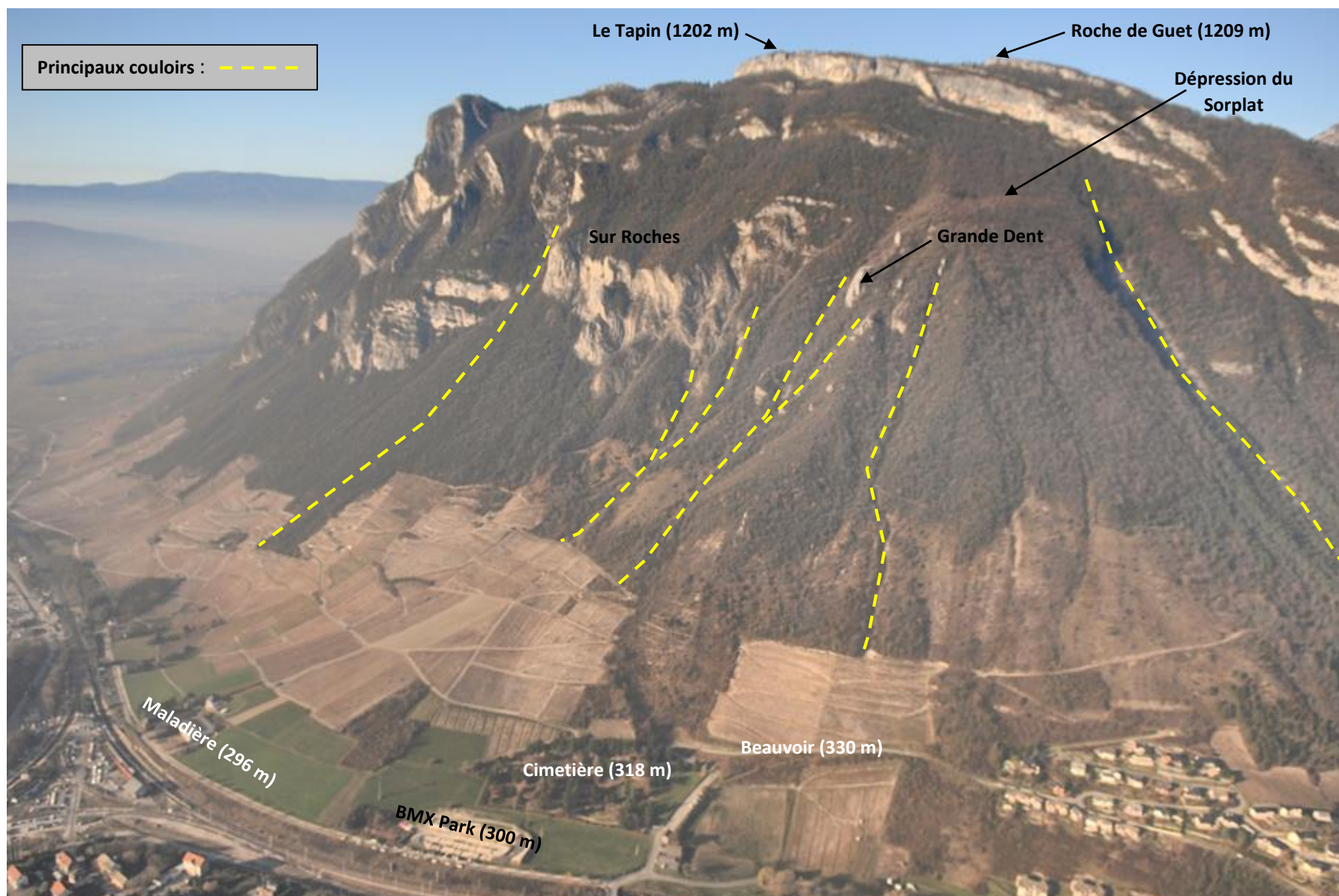
Sur la partie ouest, on note également la présence d'éperons rocheux qui émergent de ce versant ; le plus spectaculaire étant celui de la Grande Dent qui s'élève sur près de 55 m de hauteur.



La Grande Dent

Dans le sens vertical, le versant est rayé par une série de couloirs qui prennent naissance au pied des parois rocheuses et se prolongent jusqu'aux vignes en contrebas.

Enfin, on peut mentionner l'existence d'un replat (voir d'une dépression) bien identifiée au lieu-dit le Sorplat. Si son extension reste limitée à l'échelle du versant, sa position est cependant stratégique, formant un piège à blocs très efficace, comme en témoigne la très grande densité de matériaux rocheux accumulés.



## 4 RISQUE DE CHUTES DE BLOCS ET EBOULEMENT EN MASSE

---

### 4.1 Classes d'instabilités

Dans cette étude, compte tenu de l'ampleur du versant de propagation, les chutes de pierres (éléments rocheux de taille unitaire inférieure à 10 litres) ne sont pas prises en compte.

D'une manière générale, nous n'avons pas réalisé de recensement exhaustif de masses rocheuses (qui n'aurait pas eu de sens vu la taille du versant à parcourir), mais nous avons sélectionné quelques zones représentatives et dimensionnantes.

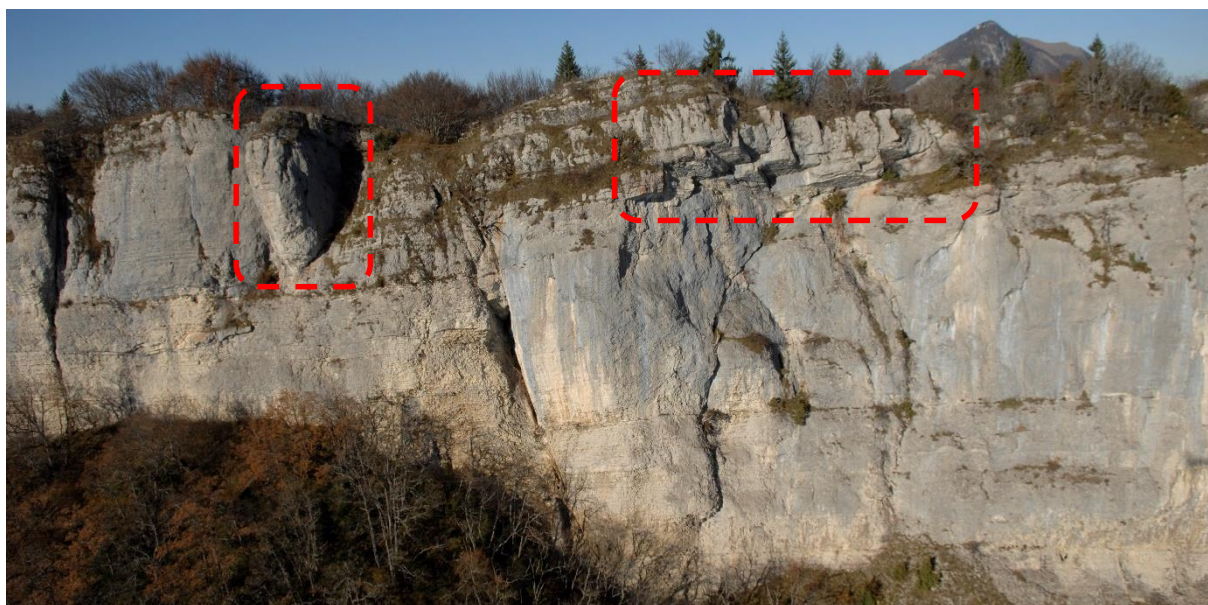
#### 4.1.1 Eboulements en masse limités

Sur ce site, on rencontre deux blocométries distinctes, étroitement liées à la localisation des zones de départ et à leur contexte géomorphologique.

Sur la partie haute, là où le rocher est le plus compact et structuré en bancs pluri métriques massifs, plusieurs compartiments importants ont été identifiés.

Ces zones peuvent produire des blocs en propagation dont le volume unitaire peut atteindre plusieurs dizaines de mètres cube.

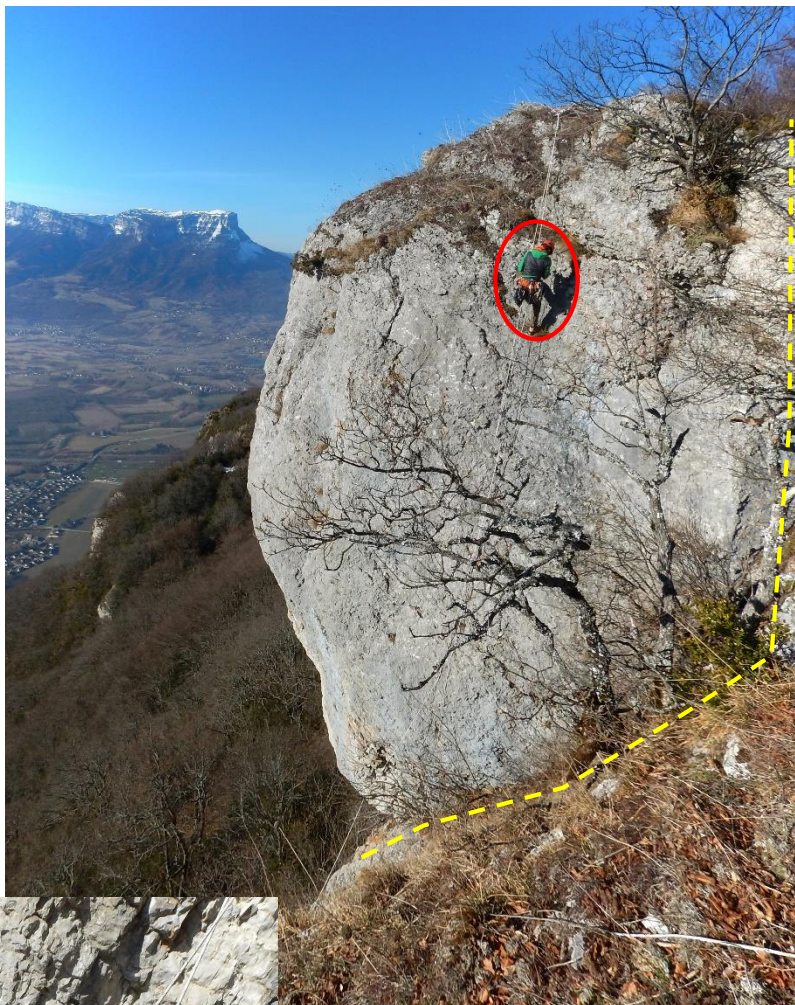
Une zone particulièrement représentative est bien visible sous le sommet du Tapin (ci-dessous) avec sur la gauche une colonne rocheuse bien individualisée et sur la droite un système de surplombs marqués (détails pages suivantes).



Vue de la zone incriminée, sur la ligne de crête



Fissure arrière sur le plateau.



Base de la colonne :



Colonne rocheuse massive de près de 800 m<sup>3</sup>. Elle repose sur un plan incliné. Sa rive gauche, bien visible est presque entièrement décollée. Sa rive droite, plus diffuse montre néanmoins une fissuration franche qui individualise bien ce compartiment. Le pied montre des signes de faiblesses et n'a pas de réelle butée.

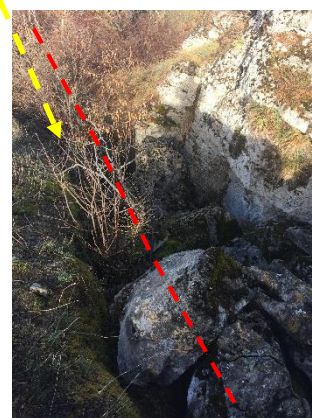
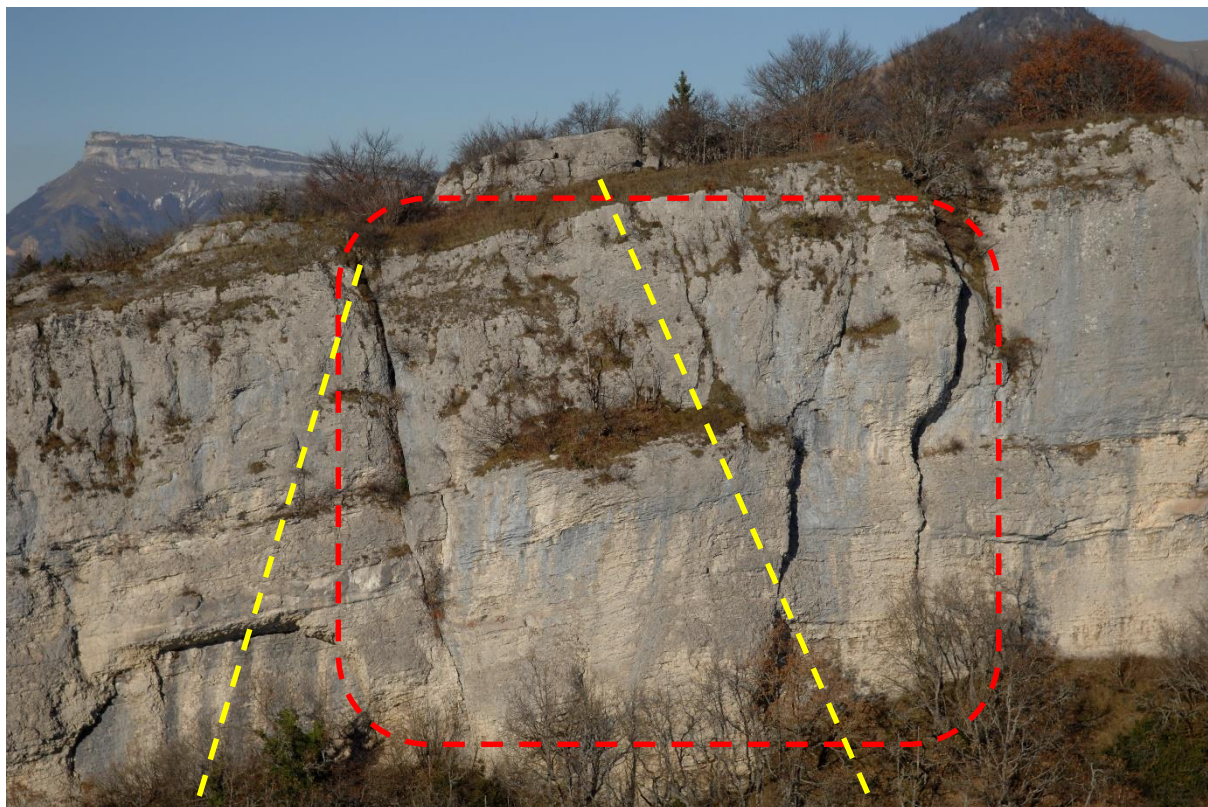
La ruine progressive de cette butée sous l'action des agents d'érosion (infiltrations d'eau, cycles gel/dégel, ruptures des épontes...) entraînera la chute de ce compartiment par glissement. Les blocs unitaires en propagation peuvent atteindre plus de 50 m<sup>3</sup>.



Succession de bancs rocheux en surplombs, reposant sur des plans de glissement raides. L'ouverture en rive gauche est très nette, celle de la rive droite n'est pas marquée. L'absence de butée en pied constatée peut entraîner à terme le glissement du compartiment. Comme précédemment, les blocs unitaires en propagation peuvent atteindre plus de 50 m<sup>3</sup>.



Un peu plus au sud, on note aussi un compartiment bien plus conséquent (largeur 30 m, hauteur 25 m, épaisseur plusieurs mètres), qui présente des signes très nets de mouvements en crêtes (fissures latérales avec une ouverture décimétrique et véritable crevasse sur sa face arrière). En revanche, elle se prolonge jusqu'à la vire qui court à son pied et sur laquelle elle est en butée.



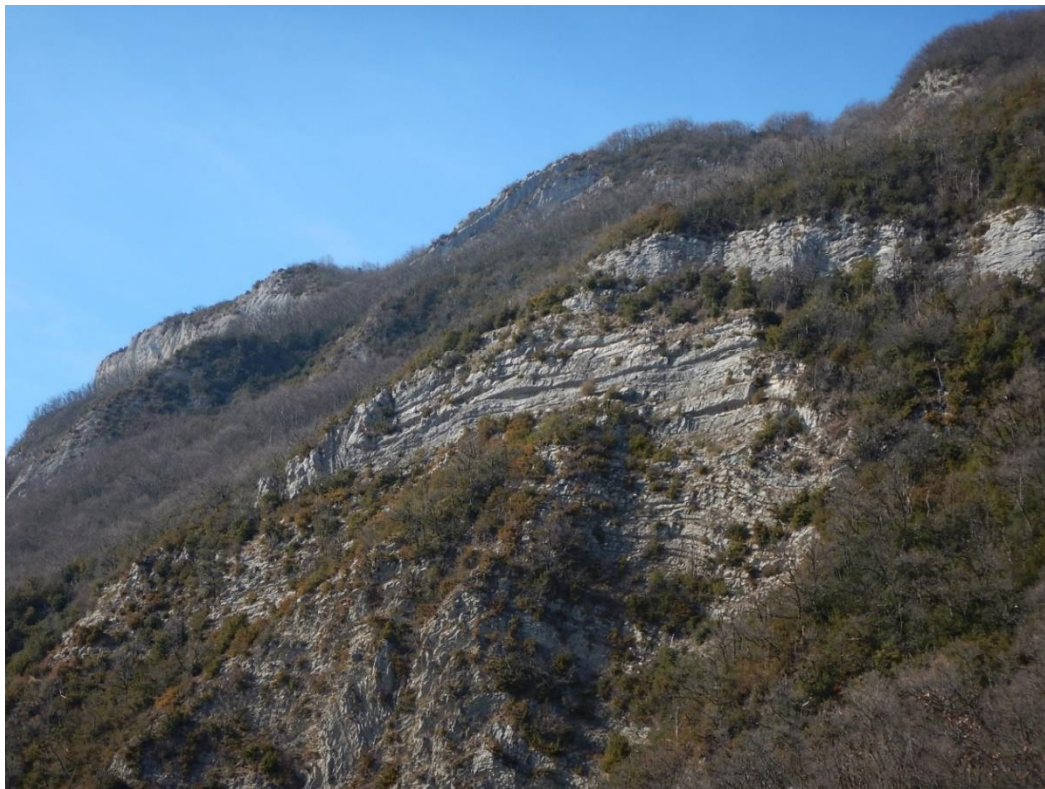
**Vue aérienne du compartiment et détail de ses rives**

Pour l'ensemble de ces masses, la compacité du rocher va considérablement limiter la fragmentation en cours de propagation. On peut s'attendre à des blocs massifs en pied de versant, de l'ordre de 60 à 70 m<sup>3</sup>.

Pour cette classe d'instabilité, l'aléa de rupture est qualifié de moyen.

#### 4.1.2 Chutes de blocs

Sur les grandes falaises de la partie basse, la structure nettement moins compacte de la roche limite le débit des compartiments à quelques mètres cubes.



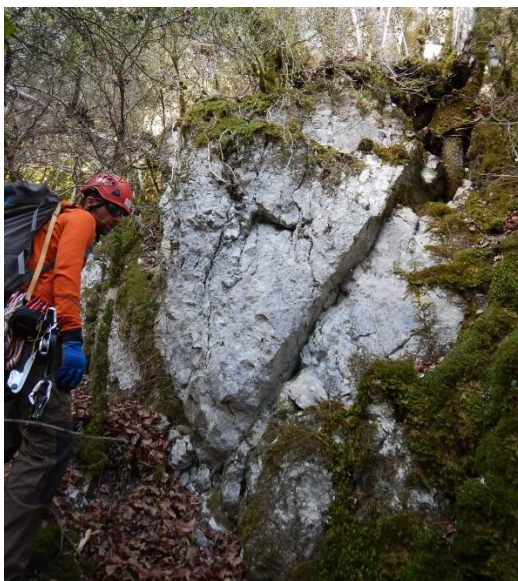
Falaises intermédiaires

Enfin, les affleurements rocheux du côté Est (de part et d'autre du sentier des buis et vers la Grande Dent), s'ils sont à nouveau plus compacts ont des dimensions plus modestes. Les compartiments individualisés sont de l'ordre de quelques m<sup>3</sup> et on peut distinguer plusieurs types de zones instables :

- Soit des amas de blocs (sortes d'embâcles) dans le versant, peu stabilisés et susceptibles de se remobiliser (affouillement de l'assise d'un ou plusieurs blocs par exemple). Dans ce cas, l'équilibre précaire de l'ensemble va précipiter plusieurs compartiments dans la pente.



- Soit des placages de quelques mètres cubes, fortement déstabilisés (ouvertures franches de toutes les rives, absence de butée...) par la végétation vigoureuse qui exploite les fissures et fait levier par le système racinaire.



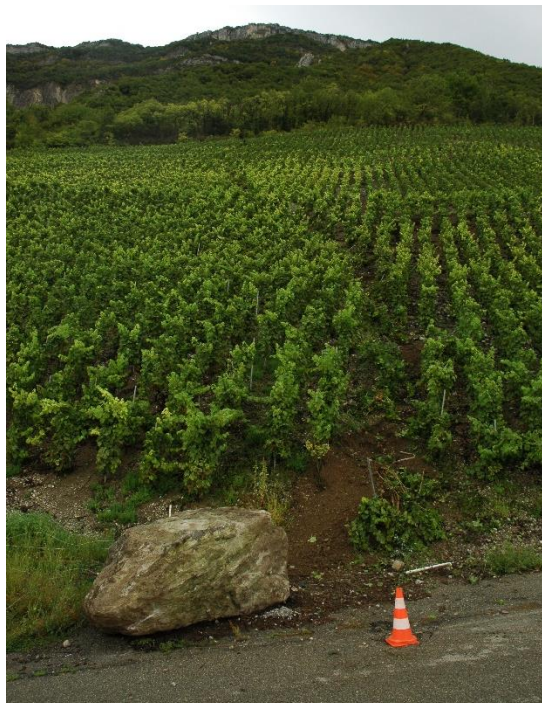
- Soit des compartiments très individualisés et en équilibre précaire sur une base elle aussi instable.



Dans ces derniers cas, l'occurrence de rupture est très importante en raison d'une multitude de zones de départs réparties dans le vaste versant. En revanche, les volumes attendus lors de la propagation et après fragmentation seront nettement plus modestes qu'à l'étage supérieur ; de l'ordre de 2 à 5 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3 Historique

Sur les secteurs Cimetière et Beauvoir, des chutes de blocs ont eu lieu, les dernières recensées ont eu lieu en 2010 (bloc ayant atteint le chemin de Beauvoir), avec une zone de départ identifiée dans les affleurements rocheux de bas de versant et en



Le bloc de 2010

Enfin, pour conclure ce bref tour d’horizon, on signalera que le secteur est depuis longtemps concerné par la prise en compte des aléas rocheux.

En effet, à l’extrémité ouest de la crête, au-dessus de Chignin, des documents d’époques témoignent de travaux de minage et de butonnage d’un gros compartiment rocheux, vers 1913.

Le bloc en question et son buton monumental à parement en pierres taillées sont parfaitement observables en empruntant le sentier du Pas de l’Echelle qui permet d’accéder au plateau.



Les travaux de 1913



Le buton et le bloc conforté, vus depuis le sentier du pas de l’Echelle

## 4.2 Aléa de propagation

Dans cette étude, l'approche trajectographique utilisée est tri dimensionnelle (à opposer avec une approche 2D, où les simulations de propagation sont menées le long d'un profil, sans prendre en compte les phénomènes de divagation latérale).

Pour chaque zone de départ, une succession de simulations sont menées pour déterminer les points de passage des blocs, l'extension maximale de la propagation, la vitesse de déplacement des blocs, les hauteurs de passage, les énergies...

Un mur statistique a été virtuellement dressé au niveau de la limite amont des secteurs (voir ci-dessous). Il permet de collecter les informations nécessaires à la qualification des aléas de propagation et aux pré dimensionnement des éventuelles protections :

- Nombre de blocs franchissant le mur,
- Energies moyennes et maximales des blocs,
- Hauteurs de passage moyennes et maximales des blocs,
- Vitesses de passage moyennes et maximales des blocs.



Position des murs statistiques sur fond de MNT et parcellaire

Sur l'illustration ci-dessus, la limite rouge concerne le secteur du BMX Park.

#### 4.2.1 Hypothèses de trajectographie

##### Zones de départs :

Pour la détermination de la propagation, nous avons retenus plusieurs zones de départs :

- Depuis la crête qui relie le Tapin à la Roche de Guet. Dans ce cas, le volume au départ varie entre 55 et 70 m<sup>3</sup> (le volume est choisi selon une loi de distribution uniforme dans cet intervalle à chaque simulation).
- Depuis la formation rocheuse de Sur Roche. Ici le volume au départ varie entre 2 et 5 m<sup>3</sup> (là encore selon une distribution uniforme),
- Depuis les affleurements rocheux du secteur de la Grande Dent (et des couloirs avoisinants), le volume au départ pris en compte varie entre 1 à 3 m<sup>3</sup>.

##### Nombre de simulations :

1 000 000 de simulations ont été modélisées depuis ces zones de départs selon le protocole suivant :

- Une modélisation est générée à partir de chacune des cellules du MNT retenue comme étant une zone de départ,
- Chaque modélisation est indépendante de la précédente (les blocs chutent donc successivement, sans interaction entre eux),
- Les calculs sont répétés jusqu'à obtenir un million de trajectoires (chaque cellule « source » peut donc être utilisée plusieurs fois comme point de départ).

##### Paramètres de sol :

Afin de modéliser le plus précisément possible le comportement numérique des blocs rocheux lors de leurs phases de rebonds au sol, des zones de terrains homogènes ont été identifiées sur le modèle numérique. Pour cela, nous avons, lors des reconnaissances de terrain, parcourus le versant sur toute sa hauteur afin d'appréhender les différents types de terrains rencontrés.

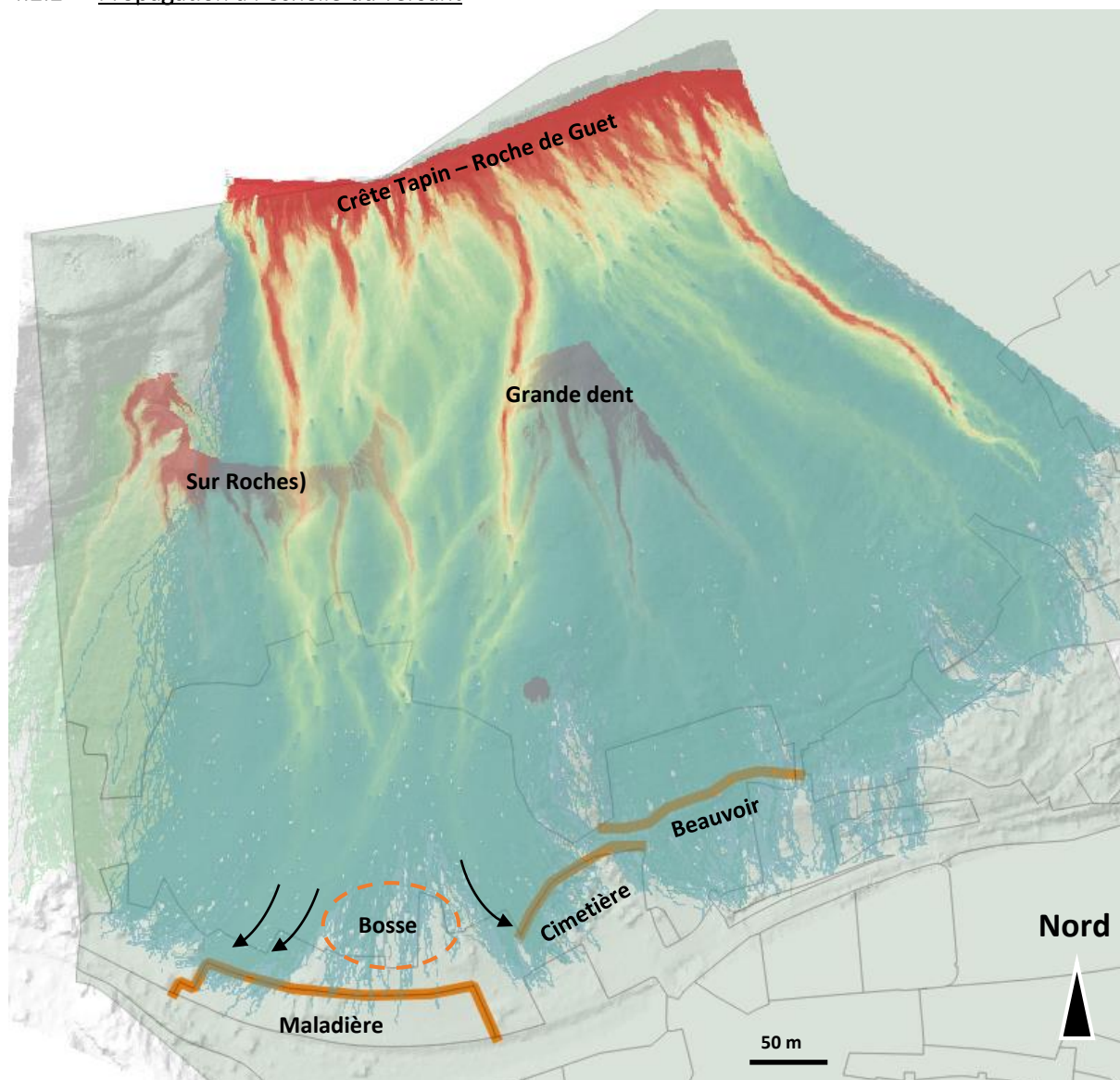
On distingue ainsi plusieurs couches :

- Des zones de terrain rocheux (compact ou altéré), localisés sur les parois rocheuses et les dalles qui en composent le pied,
- Des éboulis de pentes bien stabilisés, recouverts de végétation, avec de multiples ressauts rocheux de faibles hauteurs (avec un rôle d'accélérateur de trajectoires),
- Des éboulis de pentes bien stabilisés, avec une dominante de couverture végétale (substratum rocheux plus en profondeur, influençant peu la propagation),
- Des zones de pelouses sèches, dégarnies de végétation, compactes,
- Les vignes en pied de versant, composées principalement de sols pierreux fins, très compacts,
- Une bande de prés / pelouses humides en pied de versant.



De gauche à droite : rocher compact, éboulis de pente et vignes en pied de versant

#### 4.2.2 Propagation à l'échelle du versant



**Carte du zonage de la propagation à l'échelle du versant**

Sur cette carte, l'échelle colorimétrique utilisée indique en rouge les zones ayant la plus grande densité de passage de blocs, en bleues les zones ayant la plus faible densité. Le fond de plan est le parcellaire de la zone, les secteurs sont délimités en orange. Ainsi, les zones de départs sont bien identifiables (bandes rouges).

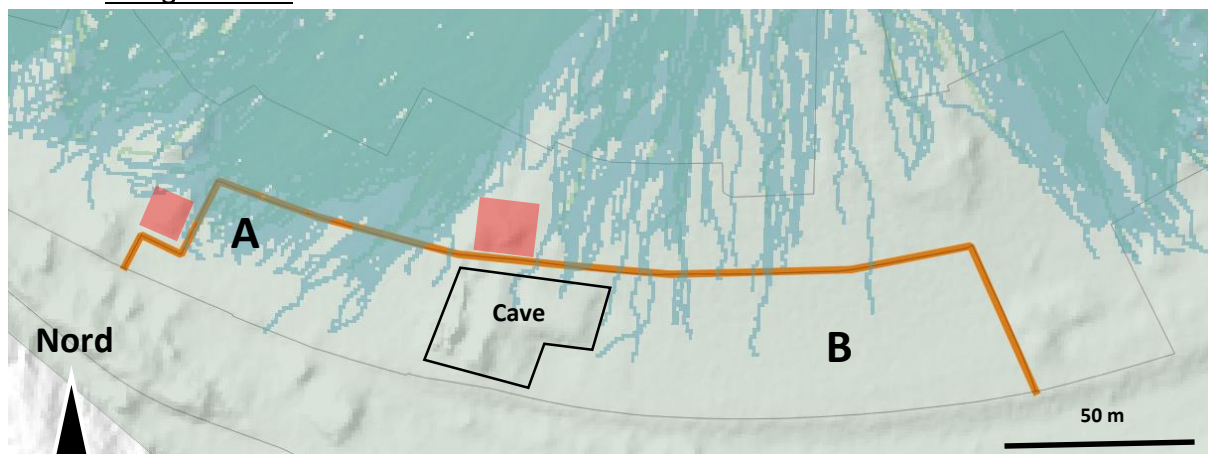
On retrouve sur la simulation les grands talwegs de propagation privilégiés identifiés dans la partie traitant de la géomorphologie.

Sur le secteur Maladière, ils ont un rôle canalisateur évident, jusqu'au débouché dans les vignes où le terrain plus homogène permet la dispersion des trajectoires qui « arrosent » le pied de versant. On notera cependant qu'une "bosse topographique" diffuse, mais cependant bien identifiable sur le terrain, canalise une partie des trajectoires vers la partie Ouest de la zone étudiée, offrant ainsi une protection toute relative au projet.

On remarquera également que les trajectoires atteignent (et dépassent assez nettement) les secteurs Cimetière et Beauvoir, sur tout leur linéaire.

## 4.3 Propagation sur le projet Maladière

### 4.3.1 Zonage de l'aléa



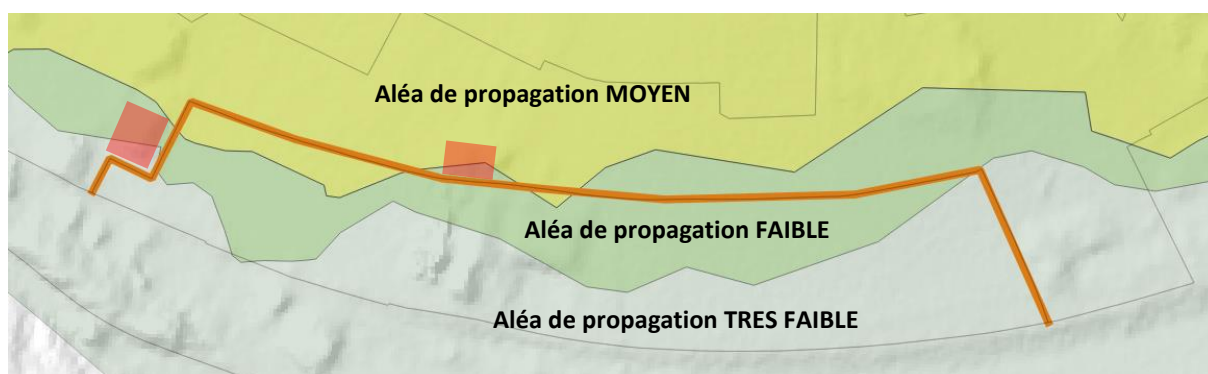
**Carte du zonage de la propagation centrée sur le projet Maladière**  
En rouge, les deux habitations existantes.

En s'intéressant maintenant à cette la carte de zonage mais centrée sur le projet immobilier de Maladière, on constate que l'ensemble de la parcelle est impacté, avec les nuances suivantes :

- L'effet de la bosse topographique mentionné plus haut est plus facilement observable : la cave est (relativement) épargnée,
- La partie gauche (Ouest) du projet souffre de cette effet de déviation et concentre une partie importante des trajectoires (le « A » sur la carte),
- A contrario, la partie de droite (Est) est moins impactée, même si plusieurs trajectoires l'atteignent ; les blocs sont ici rejetés un peu plus à droite (le « B »),
- La parcelle est non seulement atteinte par un certain nombre de trajectoires mais également largement pénétrée : en effet, la quasi-totalité des trajectoires qui atteignent la parcelle, se propage sur plus de la moitié de sa largeur.

Au global, 440 blocs ont été comptabilisés au-delà de la position du mur statistique et ont donc atteint la parcelle.

A l'échelle de la parcelle, le zonage de l'aléa a été mis à jour sur la base des résultats des modélisations.



**Carte du zonage de l'aléa à l'échelle de la parcelle.**

En jaune, la zone d'aléa moyen ; en vert la zone d'aléa faible. Plus à l'aval, la parcelle est en aléa très faible.  
En rouge, les deux habitations existantes.

On constate ainsi que :

- L'angle supérieur NW de la parcelle est classé en aléa moyen.
- Mis à part cette singularité, la parcelle est affectée d'un aléa faible sur tout son linéaire et sur près de la moitié de sa profondeur.
- A l'exception d'une courte zone sous l'aléa moyen, la partie inférieure de la parcelle est en aléa très faible.
- En ce qui concerne les deux habitations faisant l'objet d'une étude complémentaire, la plus au sud se situe en zone d'aléa de propagation faible. Pour l'habitation juste en amont de l'ancienne cave (la plus au Nord), elle se situe majoritairement en zone d'aléa de propagation faible, seule la partie supérieure est située en aléa de propagation moyen. Cependant, cette limite d'aléa est réalisée en « lissant » les points d'atteinte extrêmes des trajectoires pour obtenir un zonage cohérent à l'échelle des parcelles étudiées. Dans ce cas ponctuel, l'analyse locale des points d'arrêts indique que l'habitation est située majoritairement à l'écart des passages des blocs. La zone d'aléa faible peut être ainsi raisonnablement être étendue à cette habitation.

#### 4.3.2 Approche quantitative

Au niveau du mur statistique qui épouse le contour du projet immobilier de la Maladière, les résultats suivants ont été collectés :

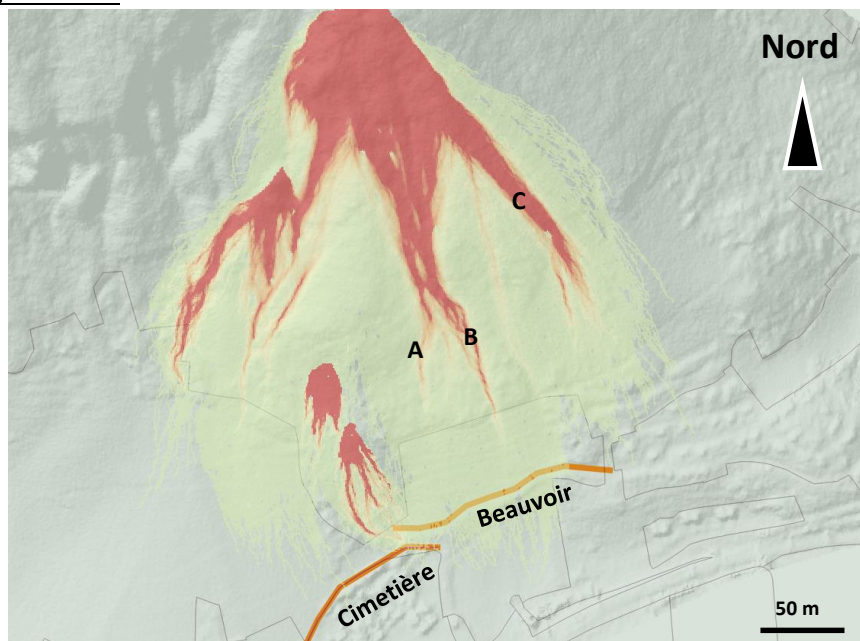
- Energie maximale : 19 500 kJ.
- Hauteur maximale : 3m20 ; Cette hauteur correspond à la hauteur de passage du centre de gravité du bloc considéré. Dans le cas de cette étude, on observe plus des mouvements de type « roulement de blocs », sans véritable rebonds, du moins dans la zone de mesures statistiques proche du projet immobilier.
- Hauteur de mobilisation d'un ouvrage de protection : En considérant un bloc dimensionnant de 70 m<sup>3</sup> (dont le rayon, si on l'assimile à une sphère, est de 2m56), la hauteur mobilisée par le bloc sur le parement d'un ouvrage de protection est de 3m20 (position du centre d'inertie) + 2m56 (le rayon du bloc), soit 5m76 au sens strict.
- Vitesse maximale à l'impact sur l'ouvrage de protection : 12.2 m/s.

#### 4.3.3 Conclusions

Le niveau d'aléa de propagation au niveau de la parcelle et la nature du projet (habitations) imposent la réalisation de travaux de protection sur tout le linéaire du projet du secteur Maladière.

## 4.4 Propagation sur les secteurs Beauvoir et Cimetière – BMX Park

### 4.4.1 Zonage de l'aléa



**Carte du zonage de la propagation au droit des secteurs Beauvoir et Cimetière**

Sur cette carte, l'échelle colorimétrique utilisée indique en rouge les zones ayant la plus grande densité de passage de blocs, en bleues les zones ayant la plus faible densité. Le fond de plan est le parcellaire de la zone, les secteurs sont délimités en orange. Ainsi, les zones de départs sont bien identifiables (bandes rouges).

On retrouve les couloirs de propagation bien identifiés sur le terrain (A, B et C), qui sont issus des zones rocheuses autour de la Grande Dent.

Les affleurements rocheux au-dessus du cimetière (et source de la chute de blocs de 2010) sont également bien visibles.

Au niveau des murs statistiques (figurés en orange sur la carte de zonage de la propagation), on constate une nette différence de franchissement par les trajectoires :

- Le secteur Beauvoir est atteint sur presque toute sa largeur, les trajectoires franchissant la route, quelques une atteignant le bas de la parcelle sous la route,
- Le secteur Cimetière est sensiblement moins atteint. En effet, sa position sous un mouvement de terrain naturel (du même ordre que celui décrit sur le secteur Maladière) l'épargne relativement, même si on constate un franchissement du mur statistique sur sa partie droite assez conséquente (au niveau du chevauchement avec le mur du secteur Beauvoir, dans le virage de la route).

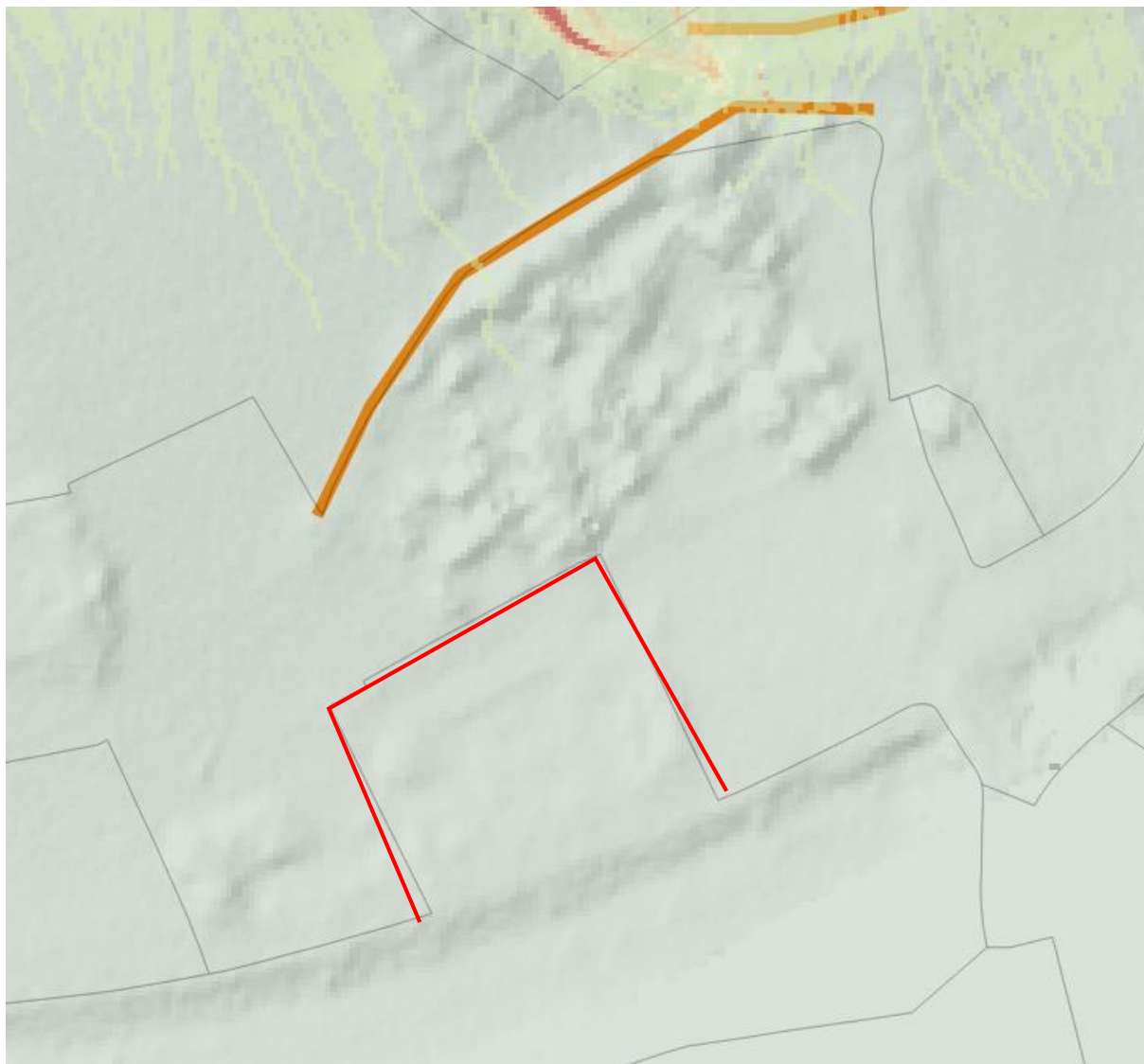
Du point de vue du comptage, on obtient :

- 1093 blocs qui atteignent le secteur Beauvoir (donc ici, la position de la route),
- 19 blocs qui atteignent la position du cimetière (pris en compte ici au niveau du mur amont du cimetière).

Pour rappel, le nombre de simulations effectuées est de 1 000 000.

En ce qui concerne le BMX Park, il se situe en aval du cimetière, quasiment sur la même emprise latérale.

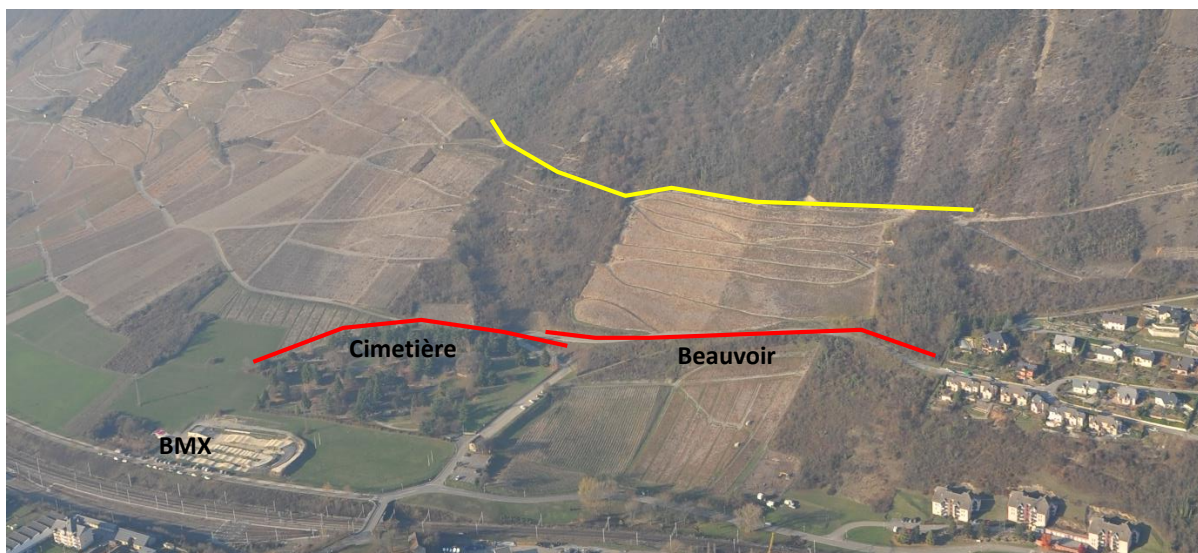
Les simulations indiquent que le secteur du BMX Park n'est pas atteint par des trajectoires de blocs, celles-ci s'arrêtant assez nettement en amont.



Secteur BMX Park en rouge.

#### 4.4.2 Approche quantitative

La collecte des données hauteurs/énergies a été réalisée au niveau de la position prévue d'implantation des éventuels ouvrages de protection, c'est-à-dire en sommet de la parcelle recouverte de vignes (voir photo ci-dessous).



Vue sur les secteurs Beauvoir et Maladière. En rouge, la position des murs statistiques pour la définition de la propagation, en jaune, la position des murs statistiques pour la collecte des données énergies/hauteurs.

On obtient :

- Énergie maximale de passage : 3770 kJ.
- Hauteur maximale de passage : 4.9 m. Cette hauteur correspond à la hauteur de passage du centre de gravité du bloc considéré. Ici, cette hauteur est à majorer de 0.9 m (le diamètre de la sphère assimilée à un bloc de 3 m<sup>3</sup>), soit une hauteur de mobilisation de l'ouvrage de 5.8 m.

#### 4.4.3 Conclusions

La proportion d'atteinte des parcelles Beauvoir et Cimetière justifie la réalisation d'ouvrages de protections.

Le secteur BMX Park n'est pas atteint par les trajectoires. De plus, en raison de sa position, il sera *de facto* protégé par les ouvrages en amont du secteur cimetière.

## 5 PROTECTION DU SECTEUR MALADIERE

### 5.1 Principes

Compte tenu de l'étendue des zones de départs et du volume des compartiments susceptibles d'atteindre les enjeux, la protection s'orientera vers un ouvrage de type merlon, situé juste en amont du projet immobilier.

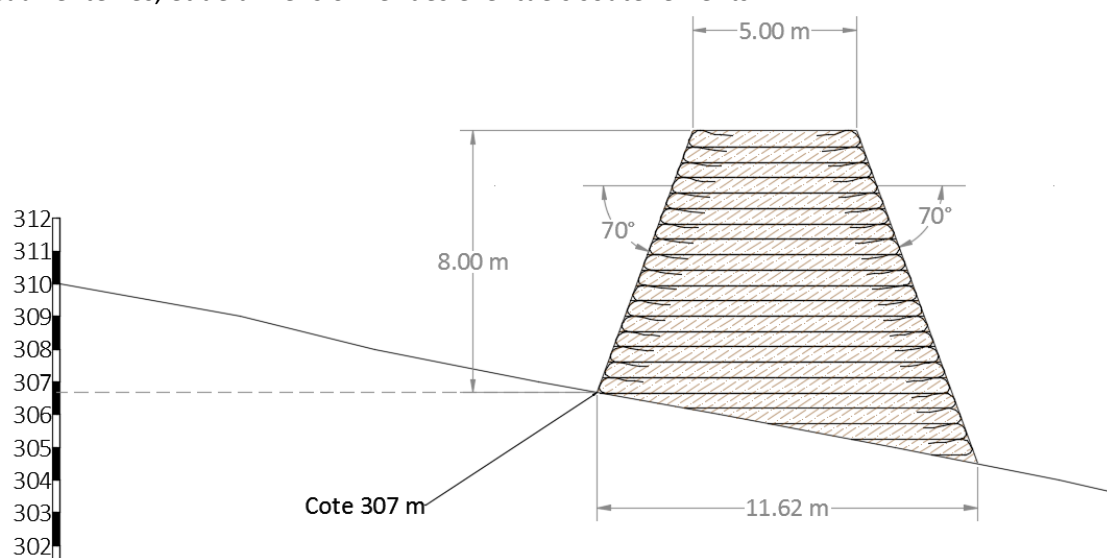
- Des travaux de confortements actifs en falaise (type boulonnages, emmaillotages, minages...) sont à exclure. En effet, il est illusoire d'imaginer effectuer une sécurisation exhaustive de cette manière, de plus la durée et le coût de ces travaux seraient rédhibitoire.
- Des ouvrages de type écrans pare-blocs ne sont pas adaptés, compte tenu des masses en mouvements et des énergies importantes à contenir.

Compte tenu des résultats des simulations et sans rentrer dans le dimensionnement précis qui n'a pas sa place à ce stade de l'étude, on peut indiquer qu'il s'agira d'un ouvrage justifiant une capacité (résistance à l'impact) de l'ordre de 20 000 kJ, pour une hauteur nominale minimale de 6 m. Compte tenu du fait que les blocs peuvent avoir des variation de forme et que des rebonds pourraient tout de même se produire à proximité de la zone d'interception du merlon et afin de limiter la sollicitation du merlon sur sa frange supérieure (moins épaisse), nous recommandons d'augmenter cette hauteur sécuritairement à 8 m.

La largeur en crête sera de l'ordre de 5 mètres s'il s'agit d'un ouvrage en terre armée, 3 à 4 mètres pour un merlon en enrochements bétonnés. Cette largeur pourra être affinée par une modélisation informatique de percussion à réaliser au stade de la conception du merlon.

Pour limiter au maximum l'emprise au sol du merlon, il faudra s'orienter vers un merlon à parement raidi : en terre armée ou en enrochement bétonné, permettant d'atteindre une inclinaison des parements amont et aval de l'ordre de 70°.

Enfin, le dimensionnement définitif de l'ouvrage nécessitera de disposer de données géotechniques de sol (notamment sa portance) suffisantes sur l'emprise de l'ouvrage. Ces données seront obtenues via une campagne d'essais de forages pressiométriques. De plus si le projet comporte des ouvrages au sous-sol, les reconnaissances géotechniques devront permettre d'étudier l'impact du merlon sur ces niveaux enterrés, et de dimensionner des éventuels soutènements.

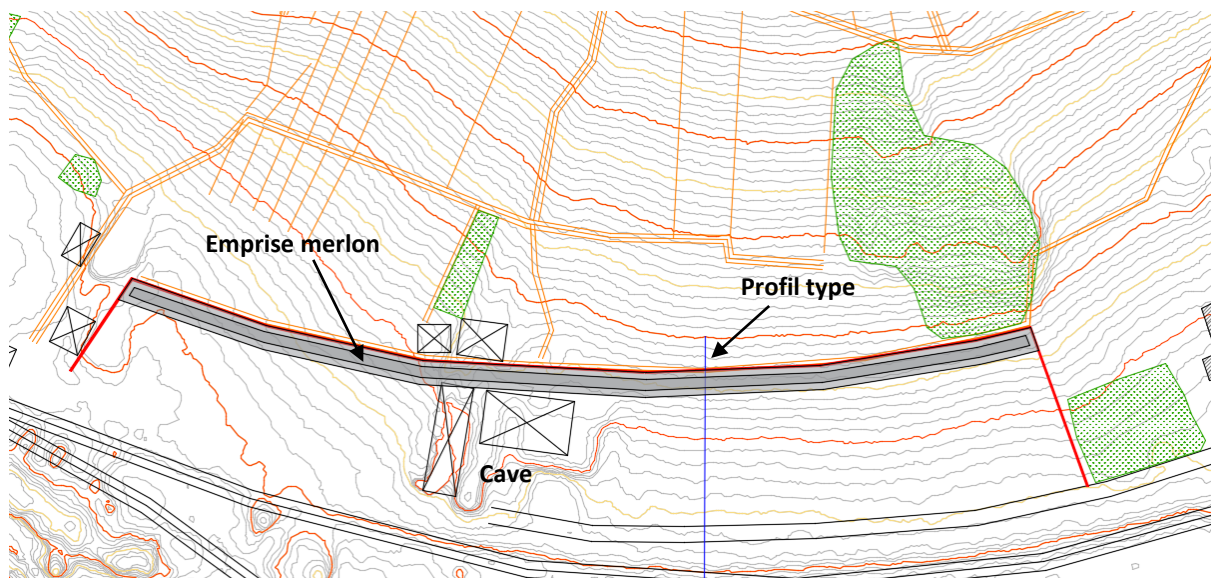


**Vue en coupe de l'ouvrage en terre armée.**

## 5.2 Implantation

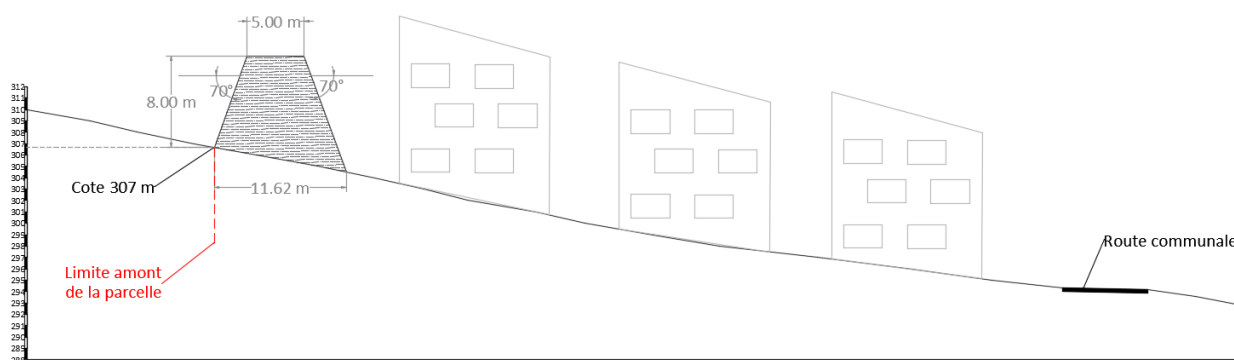
Le classement *a priori* des pelouses sèches en amont de la parcelle du projet immobilier nécessite de positionner l'ouvrage au sein de cette dernière, et donc d'en sacrifier une partie de la surface constructible.

Compte tenu de la répartition des trajectoires sur la presque totalité de la parcelle, le linéaire de l'ouvrage devra couvrir toute la longueur du projet, soit 440 m.



**Vue en plan du secteur du projet (limite amont en rouge) et de l'emprise du merlon (en gris)**

**Le trait bleu indique la position du profil utilisé pour la vue en profil.**



**Vue en profil le long du profil type**

## 5.3 Impact environnemental

### 5.3.1 Gestion des écoulements

Un tel ouvrage forme un écran opaque aux eaux de ruissellement en provenance du versant. Leur gestion via un système de drainage adapté sera nécessaire.

### 5.3.2 Intégration paysagère

La position de l'ouvrage et les techniques de végétalisation des parements permettront une bonne intégration paysagère :

- Depuis l'aval, sa hauteur relativement modeste vis-à-vis d'un ensemble immobilier (même de faible élévation) le rendra très peu visible depuis la vallée. La végétalisation du parement aval et le boisement de sa crête sont des pistes pour en limiter encore la visibilité,
- Depuis l'amont, on peut également réaliser une intégration réussie du merlon : soit en prenant le parti pris d'un parement rocheux adapté au site, soit en réalisant une végétalisation du parement. Les techniques d'hydroseeding permettent d'envisager un ensemencement varié de graminées, avec un aspect naturel.



Exemples de merlons végétalisés à parements raidis (ici la hauteur est de 6 à 8 m)



## 5.4 Chiffrage et planning

### 5.4.1 Chiffrage

Sans les informations des campagnes d'essais géotechniques, le chiffrage proposé ici est estimatif et sera à ajuster (et sans les éventuels ouvrages de soutènement s'il y a des niveaux enterrés dans le projet sur lesquels le merlon appliquerait une contrainte).

| Prix | Désignation              | Quantité | Unité          | PU          | Montant     |
|------|--------------------------|----------|----------------|-------------|-------------|
| 1    | Etude sol                | 1        | Ft             | 20 000 €    | 20 000 €    |
| 2    | Etude merlon             | 1        | Ft             | 15 000 €    | 15 000 €    |
| 3    | Marché                   | 1        | Ft             | 10 000 €    | 10 000 €    |
| 4    | Maitrise d'Œuvre         | 1        | Ft             | 25 000 €    | 25 000 €    |
| 5    | Installation de chantier | 1        | Ft             | 55 000 €    | 55 000 €    |
| 6    | Terrassement assise      | 6000     | m <sup>3</sup> | 5 €         | 30 000 €    |
| 7    | Remblais renforcé        | 37500    | m <sup>3</sup> | 25 €        | 937 500 €   |
| 8    | Drainage                 | 1        | Ft             | 20 000 €    | 20 000 €    |
| 9    | Végétalisation           | 1        | Ft             | 25 000 €    | 25 000 €    |
|      |                          |          |                |             |             |
|      |                          |          |                | Montant HT  | 1 137 500 € |
|      |                          |          |                | TVA (20 %)  | 227 500 €   |
|      |                          |          |                | Montant TTC | 1 365 000 € |

Soit un total de 1 137 500 €, y compris études et maitrise d'œuvre.

### 5.4.2 Planning

En préambule, on peut indiquer que pour des raisons de sécurité et de pratiques, la construction du merlon devra être effective avant la réalisation du projet immobilier.

Le phasage des travaux sera la suivant :

- Réalisation des essais géotechniques : 1 mois, dépouillements compris.
- Dimensionnement définitif de l'ouvrage et plans d'exécution : 1 mois.
- Rédaction du marché public, publications de l'avis, réception des offres, attribution du marché, période de préparation : 4 mois.
- Réalisation des travaux : construction du merlon, drainage, végétalisation... 8 mois.

Soit une durée globale, depuis le début des études de sols et de dimensionnement et en incluant la procédure de passation du marché, de 1 an et 2 mois.

## 6 PROTECTION DES SECTEURS BEAUVOIR ET CIMETIERE

### 6.1 Principes

Les volumes au départ considérés et les énergies et hauteurs de passage des blocs en cours de propagation sont ici plus conventionnels et orientent le choix des ouvrages de protection vers des écrans pare-blocs. De plus, la topographie locale (contexte de pentes assez fortes) rend complexe la réalisation de terrassement pour des ouvrages de type merlons.

La solution des confortements actifs (boulonnages, emmaillotages, minages...) en falaise n'est pas étudiée ici pour plusieurs raisons :

- L'étendue et la dispersion des zones de départs rendent illusoire le recensement exhaustif des compartiments à traiter,
- Coût prohibitif,
- Complexité du chantier (accès, approvisionnement, coupures de circulation en aval...).

En se basant sur le résultat des modélisations trajectographiques, les ouvrages préconisés sont des écrans pare-blocs (en lignes continues ou à scinder en fonction de la topographie locale ou des préconisations constructeurs), positionnés approximativement sur la ligne de niveau qui correspond au sommet de la parcelle recouverte de vignes et justifiant d'une capacité MEL de 5000 kJ et d'une hauteur nominale de 6 m. Il s'agira d'ouvrages ayant subi un test d'impact à grandeur réelle, selon le protocole ETAG 027 et possédant un marquage CE sur les spécifications principales.

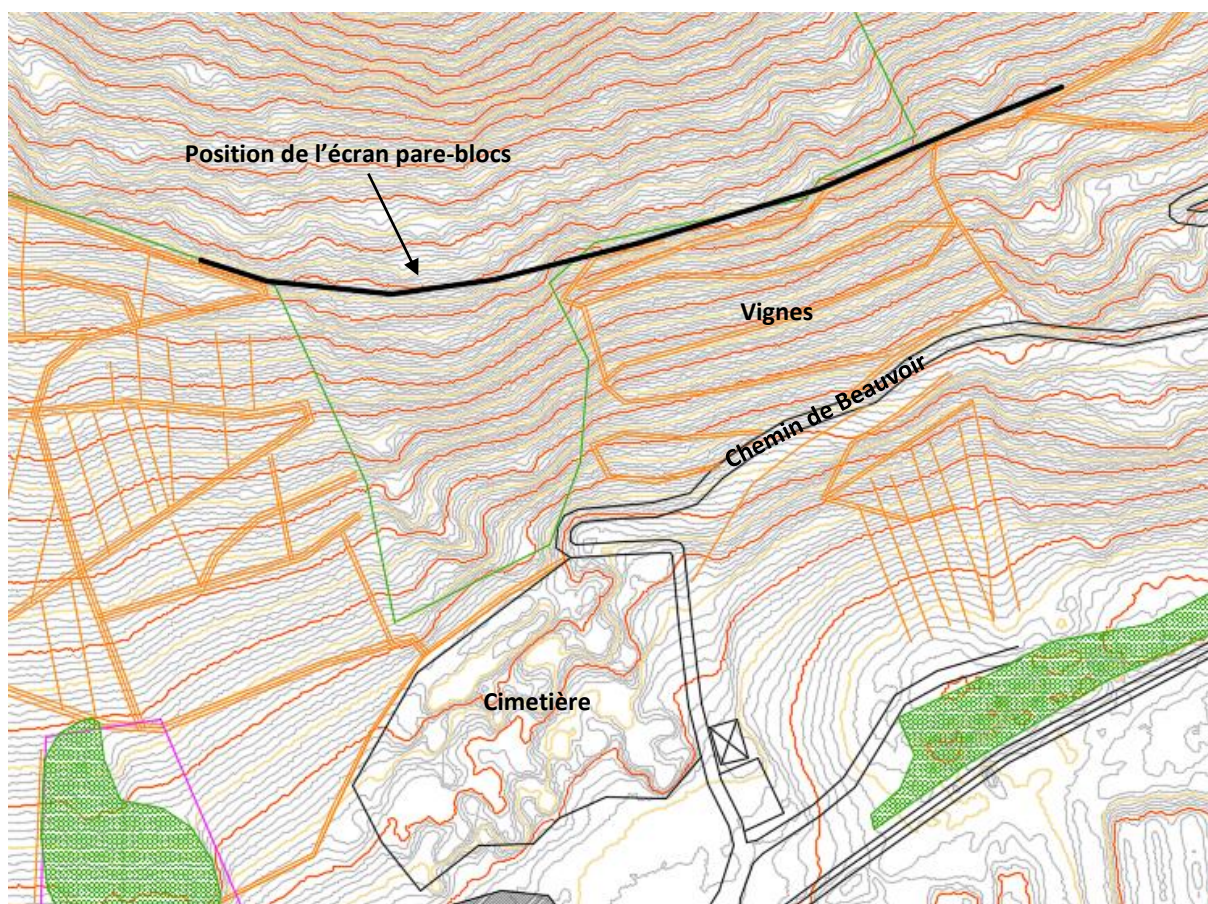
Le linéaire approximatif d'écrans à poser est de l'ordre de 500 m.

### 6.2 Implantation

La position de la ligne d'écrans pare-blocs sera positionnée en partie haute de la parcelle au-dessus du chemin de Beauvoir et du Cimetière. Cette position permet de libérer totalement la surface viticole (l'ouvrage sera en limite haute de parcelle) et de couvrir, de niveau, à la fois le secteur Beauvoir et le Cimetière.



Position de principe de la ligne d'écrans pare-blocs



Vue en plan des secteurs Beauvoir et Cimetière et position de principe de l'écran pare-blocs (3000 kJ, h=6 m).

## 6.3 Impact environnemental

### 6.3.1 Intégration paysagère

Malgré la hauteur de l'ouvrage et le linéaire conséquent à mettre en œuvre, il est possible de réaliser l'ouvrage en prenant des dispositions pour en limiter l'impact visuel :

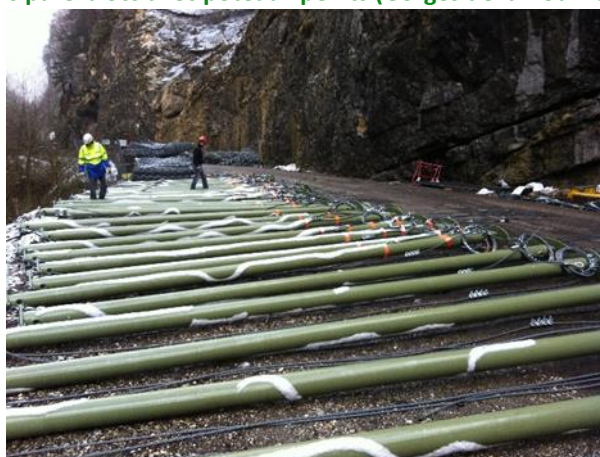
- Un rideau de végétation peut être maintenu à l'aval immédiat de l'ouvrage pour le masquer en partie,
- Les composants de l'ouvrage peuvent être choisis mats pour limiter les reflets,
- Les poteaux peuvent être peints dans une teinte s'intégrant bien au site (vert ou gris selon que l'on veuille se rapprocher de la végétation ou du caractère minéral du versant),



Ecrans pare-blocs (h=6 m) avec rideau de végétation à l'aval (La Buisse – 38)



Ecrans pare-blocs avec poteaux peints (Gorges de la Bourne – 38)



Poteaux peints en attente (CD 38)

## 6.4 Chiffrage et planning

### 6.4.1 Chiffrage

Le chiffrage est réalisé sur la base d'une estimation des caractéristiques des terrains au droit des écrans (dont dépendent directement la géométrie et la nature des ancrages de fondations).

Il sera éventuellement à revoir dans le cas où les terrains s'avèreraient particulièrement lâches).

| Prix | Désignation                                                        | Quantité | Unité | PU          | Montant   |
|------|--------------------------------------------------------------------|----------|-------|-------------|-----------|
| 1    | Etude de projet                                                    | 1        | Ft    | 4 000 €     | 4 000 €   |
| 3    | Marché                                                             | 1        | Ft    | 2 000 €     | 2 000 €   |
| 4    | Maitrise d'Œuvre                                                   | 1        | Ft    | 8 500 €     | 8 500 €   |
| 5    | Installation de chantier,<br>aménagement des accès et<br>documents | 1        | Ft    | 15 000 €    | 15 000 €  |
| 6    | Protection provisoire route<br>et cimetière                        | 1        | Ft    | 10 000 €    | 10 000 €  |
| 7    | Déboisement et évacuation                                          | 1        | Ft    | 15 000 €    | 15 000 €  |
| 7    | Ecrans pare-blocs ETAG027<br>5000 kJ h=6 m                         | 500      | ml    | 1 150 €     | 575 000 € |
| 8    | Essais et contrôles                                                | 1        | Ft    | 7 500 €     | 7 500 €   |
|      |                                                                    |          |       |             |           |
|      |                                                                    |          |       | Montant HT  | 637 000 € |
|      |                                                                    |          |       | TVA (20 %)  | 127 400 € |
|      |                                                                    |          |       | Montant TTC | 764 400 € |

Soit un total de 637 000 €, y compris études et maitrise d'œuvre.

### 6.4.2 Planning

Le phasage des travaux sera la suivant :

- Rapport de Projet, montage du marché, consultation et choix de l'entreprise : 2,5 mois.
- Installation de chantier et aménagement des accès : 1 semaine.
- Pose des protections provisoires : 1 semaine.
- Débroussaillage et déboisement sur l'emprise des écrans (yc évacuation) : 3 semaines
- Réalisation des ancrages de fondation (forage, mise en place, scellement) : 4 semaines.
- Montage des écrans pare-blocs : 3 semaines.
- Repli de l'entreprise.

Soit une durée globale, depuis le début des études de sols et de dimensionnement et en incluant la procédure de passation du marché, de 5 à 6 mois (3 mois de travaux).

## 7 CONCLUSIONS

---

Le diagnostic géotechnique vis-à-vis des chutes de blocs réalisé sur le versant rocheux dominant les secteurs de la Maladière (dans le cadre d'un projet immobilier situé en pied de versant), du chemin de Beauvoir et du Cimetière, sur la commune de Montmélian, a mis en évidence la présence de compartiments rocheux déstabilisés pouvant atteindre des volumes de l'ordre de 60-70 m<sup>3</sup> (en phase propagation) situés essentiellement au niveau de la crête rocheuse qui court du Tapin à la Roche de Guet (soit près de 900 m de dénivelé), et de blocs de 1 à 3 m<sup>3</sup> largement représentés sur les affleurements rocheux du milieu et du bas de versant.

Sur la base du modèle numérique de terrain acquis par levé photogrammétrique, les modélisations trajectographiques en trois dimensions ont permis de qualifier l'aléa de propagation au niveau des secteurs, d'apprécier la répartition spatiale et d'obtenir les caractéristiques géométriques et cinétiques des trajectoires.

Sur le secteur Maladière, les calculs montrent que la parcelle est atteinte par une proportion limitée, mais non négligeable, de trajectoires sur presque tout son linéaire. Une actualisation du zonage de l'aléa à l'échelle de la parcelle a été réalisée. Une (petite) partie du projet est en aléa moyen (l'angle NW), l'essentiel de la parcelle est en aléa faible. Par ailleurs, la pénétration des blocs au niveau de la parcelle est franche, loin d'une atteinte périphérique qui se contenterait « d'effleurer » le projet.

En ce qui concerne les deux habitations existantes situées à l'extrémité sud et au centre du projet Maladière, elles sont positionnées toutes deux en zone d'aléa faible. En l'état actuel il n'existe pas de danger imminent à court / moyen terme susceptible de les atteindre. Pour ces constructions existantes, nous préconisons à moyen terme de ne pas augmenter la vulnérabilité : pas d'extension, pas d'aménagements de combles, pas de rénovations... A long terme, il serait souhaitable d'arrêter l'occupation de ces habitations (pas de revente, pas de nouveau contrat de location...).

Conformément aux observations de terrain, les blocs qui arriveraient jusqu'en pied de versant le font avec des vitesses relativement modeste (de l'ordre de 10 m/s) et sont en phase de roulement. En revanche, les volumes importants pris en compte dans les calculs induisent des énergies conséquentes : de l'ordre de 20 000 kJ à prendre en compte dans le cas d'un impact sur un ouvrage de protection.

Sur les secteurs Beauvoir et Cimetière, les modélisations montrent que les phénomènes rocheux atteignent également largement les secteurs d'études, sur l'ensemble de leurs linéaires, avec cependant une proportion d'atteinte plus importante pour le secteur du chemin de Beauvoir. Le BMX-Park plus en aval du cimetière est à l'écart des chutes de blocs. Les énergies et les hauteurs de passages sont plus « conventionnelles », de l'ordre de 3500-4000 kJ et de 5 à 6 m (en prenant en compte le centre de gravité du bloc augmenté de son rayon).

L'aléa de propagation obtenu associé à l'intensité prévisible du phénomène impose la réalisation de travaux de protection, au niveau des trois secteurs.

Pour le secteur Maladière, un ouvrage de type merlon, d'une hauteur de l'ordre de 8 m, à parements raidis (inclinés à 70° pour en limiter l'emprise au sol), implanté en limite haute de la parcelle, permettra l'interception des compartiments rocheux observés.

Les délais de réalisation (incluant les études de dimensionnement) sont de l'ordre de 14 mois.  
Le chiffrage estimatif est de l'ordre de 1 137 k€ HT.

Diverses solutions techniques existent pour en assurer une correcte intégration paysagère : parement rocheux partiellement végétalisés, ensemencement amont et aval, plantation de végétation en crête...

Pour les secteurs Beauvoir et Cimetière, une ligne d'écrans pare-blocs, justifiant une capacité de 5000 kJ et une hauteur nominale de 6 m (ayant subis avec succès les tests grandeurs réelles du protocole ETAG027) et positionnés en partie haute des vignes, permet l'interception des blocs rocheux.

Les délais de réalisation (incluant les études de dimensionnement) sont de l'ordre de 5 à 6 mois.  
Le chiffrage estimatif (à considérer avec précaution compte tenu de l'absence de données géotechniques à ce stade) est de l'ordre de 637 k€ HT.

Compte tenu de la moindre probabilité d'atteinte du secteur Cimetière, il est possible de scinder les travaux des écrans pare-blocs en deux temps, en priorisant le secteur Beauvoir.

Diverses options sur les ouvrages sont possibles pour en limiter l'impact paysager.

Arias Montagne se tient à la disposition de la Mairie de Montmélian pour toute suite à donner à ce rapport.

# ANNEXE :

**Annexe 1** : Notice du logiciel de trajectographie RockyFor3D

**Annexe 2** : Norme NF P 94-500

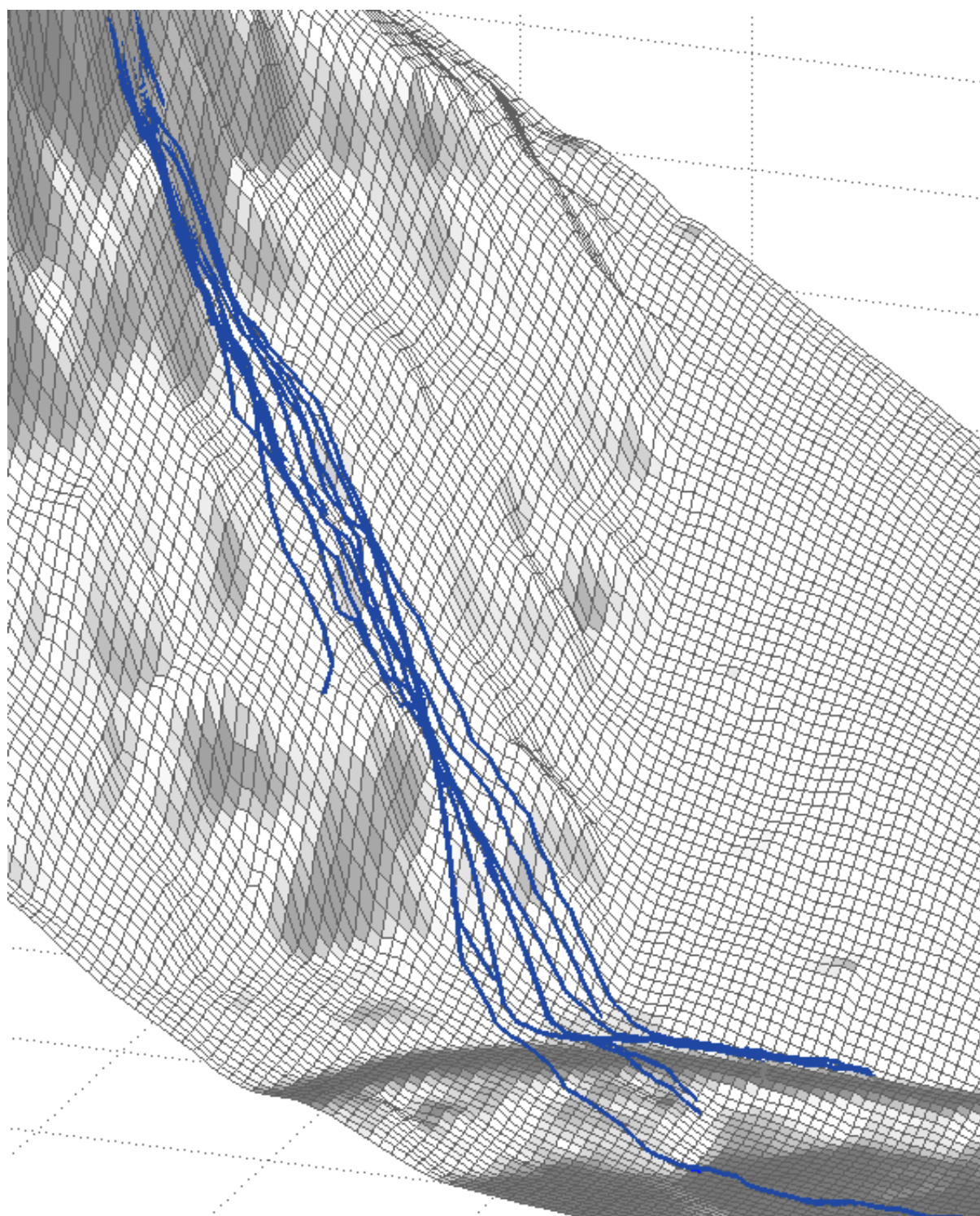
**Annexe 3** : Grille de risques

# ANNEXE 1

Notice du logiciel de trajectographie Drop2D

# Rockyfor3D (v5.1) à cœur ouvert

Description complète du modèle 3D de chutes de blocs



ecorisQ

Experts en chutes de blocs, glissements, avalanches et forêts à fonction de protection

## Colophon

### Auteurs

Dr. Luuk K.A. Dorren (Office fédérale de l'environnement OFEV, CH)  
Dr. Frédéric Berger (Irstea Grenoble, F)

### Experts collaborateurs

Dr. Frédéric Berger (Irstea Grenoble, F)  
Dr. Franck Bourrier (Irstea Grenoble, F)  
Prof. Dr. Willem Bouten (Université d'Amsterdam, NL)  
Dr. Luuk K.A. Dorren (Office fédérale de l'environnement OFEV, CH)  
Mathilde Gallouet (UJF Grenoble, F)  
Roderick Kühne (Université de Berne, CH)  
Uif S. Putters (Université d'Amsterdam, NL)  
Dr. Bahjat Safadi (LIG Grenoble, F)  
Dr. Harry C. Seijmonsbergen (Université d'Amsterdam, NL)  
Dr. Sanneke van Asselen (Université d'Amsterdam, NL)  
Dr. Mark J. van Wijk (Université d'Amsterdam, NL)  
Prof. Dr. Jasper Vrugt (Université de Californie – Irvine, USA)

### Éditeur

Association ecorisQ  
Saint Hilaire du Touvet  
France

### Source

Citation: Dorren L.K.A., Berger F., 2012. *Rockyfor3D (v5.1) à cœur ouvert – Description complète du modèle 3D de chutes de blocs*. Publication d'ecorisQ ([www.ecorisq.org](http://www.ecorisq.org)): 32 p.

© ecorisQ 2012

Version 27.09.2012

Reproduction autorisée, sauf pour un usage commercial, à condition de citer la source.

### Remerciements aux utilisateurs par leurs retours d'informations

Dr. Ulrik Domaas (NGI, NO), Dr. Oliver Jancke (Irstea Grenoble, F), Dr. Jean-Bruno Pasquier (Géoval, CH), Stéphanie Moreau (Traductrice, F)

# Sommaire

|     |                                                                     |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Introduction .....                                                  | 1  |
| 2   | Données d'entrée du modèle et démarrage rapide.....                 | 2  |
| 2.1 | Données d'entrée de base : les rasters.....                         | 2  |
| 2.2 | Simulation avec forêt .....                                         | 9  |
| 2.3 | Simulations avec prise en compte de filets pare-pierres.....        | 11 |
| 2.4 | « Ecrans » de calculs .....                                         | 11 |
| 2.5 | Paramètres de simulation.....                                       | 12 |
| 2.6 | Comment démarrer Rockyfor3D.....                                    | 12 |
| 3   | Principaux composants du modèle .....                               | 14 |
| 3.1 | Forme du bloc.....                                                  | 14 |
| 3.2 | Chute libre parabolique .....                                       | 14 |
| 3.3 | Rebond sur la surface de la pente .....                             | 14 |
| 3.4 | Impact sur un arbre .....                                           | 18 |
| 3.5 | Calcul de la direction de chute .....                               | 20 |
| 4   | Données de sortie du modèle.....                                    | 23 |
| 5   | Références.....                                                     | 26 |
|     | Liste des changements.....                                          | 28 |
|     | Annexe I. La rugosité des sols dans Rockyfor3D .....                | 29 |
|     | Annexe II. Exemples de valeurs de type de sol et de rugosités ..... | 30 |





L'utilisation de Rockyfor3D nécessite comme données d'entrée un jeu de raster ASCII (au format ESRI, c.f. explications au chapitre 2). Ces données définissent la topographie, les caractéristiques de la surface de propagation, ainsi que les paramètres décrivant les conditions initiales de simulations. Le chapitre suivant présente ces données d'entrée ainsi que les instructions nécessaires à l'utilisation de Rockyfor3D par un opérateur. Les principaux composants du modèle Rockyfor3D sont détaillés au chapitre 3. Le chapitre 4 présente les données de sortie de Rockyfor3D.

## 2 Données d'entrée du modèle et démarrage rapide

### 2.1 Données d'entrée de base : les rasters

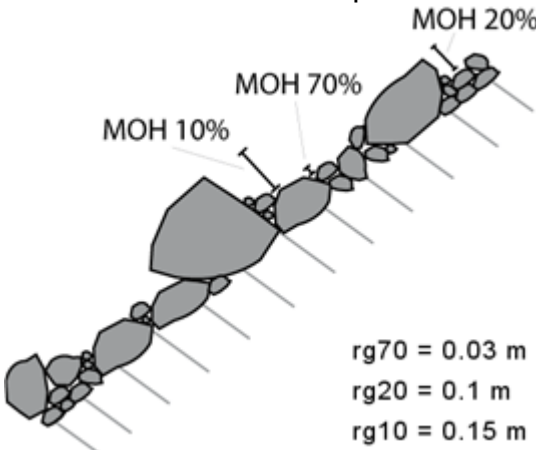
A minima, 10 cartes raster sont nécessaires pour utiliser Rockyfor3D. Toutes ces cartes raster doivent couvrir la même zone géographique, avoir le même nombre de lignes et même nombre de colonnes, et avoir la même taille de maille (résolution). Cependant, quand la résolution augmente, la précision spatiale des données d'entrée, et de fait, celle des résultats diminuent. La résolution optimisée se situe entre 2 m × 2 m et 10 m × 10 m (voir aussi Dorren et Heuvelink 2004). Notre expérience montre qu'une résolution de 1 m × 1 m n'améliore pas la qualité. Les rasters doivent être au format ESRI ASCII Grid, qui peut être lu par tous les éditeurs de texte. Nous présentons ci-dessous l'exemple d'un petit raster dans ce format. L'en-tête renseigne sur le nombre de lignes et de colonnes du raster (*ncols* et *nrows*), la résolution, en anglais *cellsize*, du raster (en m), les coordonnées en x et en y du centre (ou du coin inférieur gauche) de la cellule inférieure gauche (*xllcenter/xllcorner* et *yllcenter/yllcorner*) et la valeur représentant les données indéfinies (*NODATA\_value* ; valeur par défaut = -9999). Les décimales doivent être précédées d'un point (.) et non d'une virgule (,). Ci-dessous un petit exemple d'un raster:

```
ncols 5
nrows 3
xllcorner 123456.123
yllcorner 1234567.123
cellsize 2
NODATA_value -9999.00
1115.81 1114.28 1109.25 1107.74 1105.01
1110.31 1109.35 1107.33 1103.57 -9999.00
1006.55 1005.00 999.62 -9999.00 -9999.00
```

Les 10 rasters nécessaires et suffisants pour utiliser Rockyfor3D sont :

| Nr. | Nom du fichier raster | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | <i>dem.asc</i>        | Un Modèle Numérique de Terrain (MNT, en anglais Digital Elevation Model, DEM) rasterisé qui définit la topographie. Raster de type double précision ; [valeurs de 0 à 8 850,00 m ou indéfinies (NODATA_values)]. Un bon MNT pour Rockyfor3D est généré à partir des données LiDAR (scannérisation laser). À partir de ce MNT, Rockyfor3D calcule une carte des pentes et une carte des expositions d'après Zevenbergen et Thorne (1987 ; voir également Burrough et McDonnell 1998, p.191). Un exemple de fichier <i>dem.asc</i> est donné ci-dessous: |

|             |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |                                                 | <pre>ncols 5 nrows 3 xllcorner 123456.123 yllcorner 1234567.123 cellsize 2.5 NODATA_value -9999.00 1115.81 1114.28 1109.25 1107.74 1105.01 1110.31 1109.35 1107.33 1103.57 -9999.00 1006.55 1005.00 999.62 -9999.00 -9999.00</pre>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2           | <i>rockdensity.asc</i>                          | <p>une carte raster donnant la mass volumique des blocs pour chacune des cellules source ou cellules de départ (<i>rockdensity.asc</i>). Raster de type entier, codé sur 2 ou 4 bytes ; [valeurs de 0 à 3300 kg.m<sup>-3</sup>]. Ce raster définit les cellules qui correspondent aux points de départ (valeur &gt; 0) identifiés sur le terrain. De plus, ce <i>raster</i> définit la masse volumique (en kg.m<sup>-3</sup>) du bloc qui sera simulé à partir de chaque cellule de départ. Les cellules dont la valeur est 0 ne seront pas considérées comme des cellules de départ. À partir des cellules dont la valeur est par exemple 2500 ou 3000, un bloc présentant respectivement une densité de 2500 kg.m<sup>-3</sup> ou de 3000 kg.m<sup>-3</sup> sera simulé.</p> <p><b>Afin d'éviter les effets de bords, les cellules sources ne doivent pas être situées dans les 2 premières ou dernières lignes et colonnes du fichier raster rockdensity.asc. Les cellules sources de ces lignes et colonnes ne sont pas prises en compte lors des calculs.</b></p> |
| 3<br>4<br>5 | <i>d1.asc</i><br><i>d2.asc</i><br><i>d3.asc</i> | <p>trois cartes raster définissant la dimension des trois axes principaux du projectile : hauteur, largeur et longueur (<i>d1.asc</i>, <i>d2.asc</i>, <i>d3.asc</i>) pour chacune des cellules de départ. Raster de type double précision ; [valeurs de 0 à 20,00]. Les données doivent être impérativement saisies en mètre. Les cellules dont la valeur est 0 dans l'un de ces trois rasters ne seront pas considérées comme des cellules de départ. Les trois dimensions de bloc définies dans chaque cellule source varient aléatoirement en utilisant un % de variation (basé sur une variation du volume défini par l'opérateur entre ±0% et ±50%) avant chaque simulation. Cette variation aléatoire est toujours identique pour les trois valeurs de diamètres de bloc d'une même simulation. Cela signifie que si le facteur de variation du volume a été fixé à 5% par l'opérateur, alors les 3 diamètres du bloc sont réduites ou augmentées d'un coefficient appartenant à l'intervalle [0% ; 1.639%].</p>                                                 |
| 6           | <i>blshape.asc</i>                              | <p>une carte raster définissant la forme du projectile pour chacune des cellules de départ (<i>blshape.asc</i>). Raster de type entier ; [valeurs de 0 à 4]. Ce raster peut contenir les valeurs suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0 Pas de forme de bloc définie</li> <li>1 Bloc rectangulaire (les trois diamètres peuvent être complètement différents)</li> <li>2 Bloc ellipsoïdal (les trois diamètres peuvent être complètement différents)</li> <li>3 Bloc sphérique (les trois diamètres sont identiques)</li> <li>4 Bloc en forme de disque (le diamètre le plus petit atteint au max. 1/3 des diamètres du bloc, dont les dimensions sont plutôt comparables)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

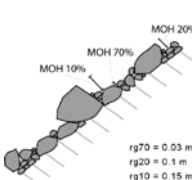
|             |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |                                  | <p>Si aucune forme de bloc n'est définie dans une cellule source (valeur 0), Rockyfor3D simulera un bloc ellipsoïdal ou sphérique, en fonction des diamètres du bloc (attendu que d1, d2, d3, et la masse volumique sont &gt; 0 dans cette cellule raster).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 7<br>8<br>9 | rg70.asc<br>rg20.asc<br>rg10.asc | <p>trois cartes raster définissant la rugosité de la surface (<i>rg70.asc</i>, <i>rg20.asc</i>, <i>rg10.asc</i>). Raster de type double précision ; [valeurs de 0 à 100,00]. La rugosité de la surface de la pente ne représente pas la microtopographie (e.g la présence de terrasse) mais les blocs rocheux-pierres au sol et qui forment des obstacles à la propagation des projectiles. Elle est à déterminer sur le terrain en identifiant des zones homogènes dans la zone étudiée, représentées par des polygones sur une carte. Chaque polygone définit la rugosité de la surface, exprimée par l'étendue du matériau recouvrant la surface de la pente, <b>en regardant de l'amont vers l'aval et dans la ligne de plus grande pente</b>, par trois classes de probabilité de dimensions appelées Rg70, Rg20, et Rg10.</p> <p>Chacune de ces classes est représentée par une carte <i>raster</i> et correspond à la hauteur en m d'un obstacle représentatif (MOH) rencontré par un projectile dans respectivement 70%, 20% et 10% des cas lors d'un rebond dans une zone homogène sur la pente étudiée (Fig. 2). <b>La gamme des valeurs de rugosité varie de 0 à 100 m (c.f. annexe II)</b>. Si la surface de la pente est lisse, on utilisera une valeur de rugosité de 0 m. La valeur de 100 m peut être utilisée pour forcer les blocs simulés à s'arrêter, par exemple dans une rivière. Le choix des valeurs de MOH nécessite une grande attention car Rockyfor3D est sensible à ces paramètres.</p> <p>Les coefficients de rugosité de surface sont utilisés pour calculer le coefficient de restitution tangentiel. Celui-ci est donc uniquement un paramètre qui détermine la perte d'énergie lors d'un impact sur le sol; ce coefficient de restitution tangentiel n'est donc pas une rugosité qui serait ajoutée à la pente, pente qui est représenté via le MNT. Par conséquent, il n'a donc aucun effet sur la hauteur du terrain ou la valeur de la pente locale des cellules de calculs.</p>  <p>Fig. 2. Une visualisation des hauteurs d'obstacle (MOH) représentant 70%, 20% et 10% de la surface au sein d'une zone homogène sur la pente. Le MOH est à mesurer en regardant vers l'aval de la pente.</p> <p>Pour chaque calcul de rebond, l'étendue du matériau rencontré par le projectile rocheux est choisie au hasard à partir des trois classes de probabilité de dimensions, ou de rugosité, en fonction des</p> |

|    |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                     | <p>probabilités qui leur correspondent. Chaque classe de probabilité de dimension est représentée par un <i>raster</i>. Par exemple, les valeurs des cellules dans la carte <i>raster rg70.asc</i> représentent les dimensions du matériau recouvrant 70% de la surface de ces cellules. La rugosité de surface est un important paramètre la fiche de relevé de terrain (tableau 1) permettant de préparer les simulations de chutes de blocs à l'aide de Rockyfor3D. La figure 3 est une aide visuelle à l'estimation du pourcentage de couverture de surface sur le terrain. L'annexe I présente des valeurs de rugosité à partir d'exemples de terrain et l'annexe II explique la précision des valeurs à utiliser.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 10 | <i>soiltype.asc</i> | <p>une carte raster décrivant le type de sol (<i>soiltype.asc</i>). Raster de type entier ; [valeurs de 0 à 7]. Cette carte, qui représente l'élasticité de la surface de la pente, doit également être cartographiée par polygones sur le terrain. Par conséquent, elle est à convertir (en utilisant un SIG) en une carte raster appelée <i>soiltype.asc</i>. Rockyfor3D peut traiter 8 types de sols (types de couverture de surface/sous-sols) énumérés dans le tableau 2. Dans le modèle, ces types de sols sont directement reliés à des gammes de valeurs <math>R_n</math> (= coefficient de restitution normal). Pour décrire les sols, il est recommandé de réaliser une petite fosse de sondage avec un marteau de géologue afin par exemple de retirer la mousse, l'humus, la litière forestière, la couverture végétale au sol...</p> <p><b>Remarque à propos du type de sol n°7 (route goudronnée):</b><br/> A ce jour, nous n'avons trouvé aucune données expérimentales sur la capacité d'absorption d'énergie d'une route goudronnée lors d'un impact dynamique. La valeur de notre <math>R_n</math> (coefficient de restitution normal), variant de 0.32 à 0.39, est légèrement inférieure à celle de 0.4 utilisée par Hoek (1987) et d'autres auteurs. Ainsi, le modèle peut sous-estimer la perte d'énergie lors de l'impact d'un projectile sur une telle route. Si l'opérateur estime que les projectiles se propagent trop loin, alors il peut utiliser un type de sol de 3, 2 ou 1 afin d'augmenter la capacité d'absorption de ce type de route. Nous attendons de la part des utilisateurs qu'ils nous fassent remonter leurs expériences (par envoi d'un mail via le site <a href="http://www.ecosrisq.org">www.ecosrisq.org</a>) à ce sujet afin que nous puissions améliorer le modèle.</p> |

Tableau 2 : les types de sols utilisés par Rockyfor3D et les valeurs  $R_n$  correspondantes

| Soiltype (type de sol) | Description générale                                                                                           | Valeur moyenne de | Gamme de variation de $R_n$ |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 0                      | rivière, marécage, matériau dans lequel le bloc peut pénétrer complètement                                     | 0                 | 0                           |
| 1                      | sol fin (profondeur > 100 cm)                                                                                  | 0.23              | 0.21 - 0.25                 |
| 2                      | sol fin (profondeur < 100 cm), et/ou sol de vallée composé de sables et graviers                               | 0.28              | 0.25 - 0.31                 |
| 3                      | piste forestière, éboulis fin ( $\varnothing < \sim 10$ cm), sol moyennement compacté avec des petites pierres | 0.33              | 0.30 - 0.36                 |
| 4                      | éboulis grossier – talus ( $\varnothing > \sim 10$ cm), sol compacté avec présence de pierres                  | 0.38              | 0.34 - 0.42                 |
| 5                      | roche mère avec couvert fin de matériau altéré ou de sol                                                       | 0.43              | 0.39 - 0.47                 |
| 6                      | roche mère                                                                                                     | 0.53              | 0.48 - 0.58                 |
| 7                      | Route goudronnée (asphalte)                                                                                    | 0.35              | 0.32 – 0.39                 |

Tableau 1 : Fiche de relevé de terrain pour une simulation avec Rockyfor3D

| Générale                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------|
| Date*                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Nr. Polygone**                                                                     |                                                                                                                  | * optionnel ; non requis pour Rockyfor3D!            |             |
| Location*                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Pente*                                                                             | ( ° / % )                                                                                                        | ** zone homogène (en général 25–500 m <sup>2</sup> ) |             |
| Nom*                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Zone*                                                                              | <input type="checkbox"/> départ / source <input type="checkbox"/> transit <input type="checkbox"/> dépôt / arrêt |                                                      |             |
| Caractéristiques du polygone                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| 1. Pierre / Bloc caractéristique                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| Forme                                                                                                                                                                                                                              | <input type="checkbox"/> 1. rectangulaire <input type="checkbox"/> 2. ellipsoïdale <input type="checkbox"/> 3. sphère <input type="checkbox"/> 4. dalle                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| Dimensions des axes (d1, d2, d3) : ..... (m) x ..... (m) x ..... (m)                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| Géologie (pour la densité en kg.m <sup>-3</sup> ) :                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| 2. Type du sous-sol                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| Matériau                                                                                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> rivière, marécage, matériau dans lequel le bloc pénètre profondément <input type="checkbox"/> sol lâche (profondeur > 100 cm) <input type="checkbox"/> sol lâche (profondeur < 100 cm) <input type="checkbox"/> piste forestière, éboulis fin, sol moyennement compacté <input type="checkbox"/> éboulis grossier, sol compacté avec pierres <input type="checkbox"/> roche mère avec couvert fin de matériau altéré <input type="checkbox"/> roche mère <input type="checkbox"/> route goudronnée |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| soiltype                                                                                                                                                                                                                           | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1                                                                                  | 2                                                                                                                | 3    4    5    6    7                                |             |
| <i>Valeurs à utiliser pour Rockyfor3D</i>                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| 3. Rugosité du versant                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| <b>MOH</b> : hauteur en m d'un obstacle représentatif (MOH) rencontré par un projectile dans respectivement 70%, 20% et 10% des cas lors d'un rebond dans une zone homogène. <b>A mesurer en regardant vers l'aval de la pente</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                                                                                                                  | MOH pour 70% de la zone homogène (rg70)              | 0 - 100 (m) |
|                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | MOH pour 20% de la zone homogène (rg20)                                            |                                                                                                                  | 0 - 100 (m)                                          |             |
|                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | MOH pour 10% de la zone homogène (rg10)                                            |                                                                                                                  | 0 - 100 (m)                                          |             |
| Arbres à terre*                                                                                                                                                                                                                    | Hauteur moyenne = m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    | Zone couverte = %                                                                                                |                                                      |             |
| 4. Forêt*                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| Taille de la placette représentative : ..... m x ..... m                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| DHP# (cm)                                                                                                                                                                                                                          | # DHP: diamètre à l'hauteur de la poitrine (cm)<br><i>Notez tous les DHP ≥ 10 cm mesurés dans la placette: p.e. 31, 17, 13, ...</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| Tiges / ha                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| DHP moyen (cm)                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Conifères (%)                                                                      |                                                                                                                  |                                                      |             |
| DBH écart type (cm)                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| Espèces*                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| 5. Indicateurs d'activité de chute de pierres / témoins silencieux*                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
| N° d'impacts sur les arbres*                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Hauteur(s) des impacts sur les arbres (m)*                                         |                                                                                                                  |                                                      |             |
| Profondeur des cratères (m)*                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Présence de blocs frais*                                                           |                                                                                                                  | Oui / Non                                            |             |
| 6. Remarques*                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |
|                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                  |                                                      |             |

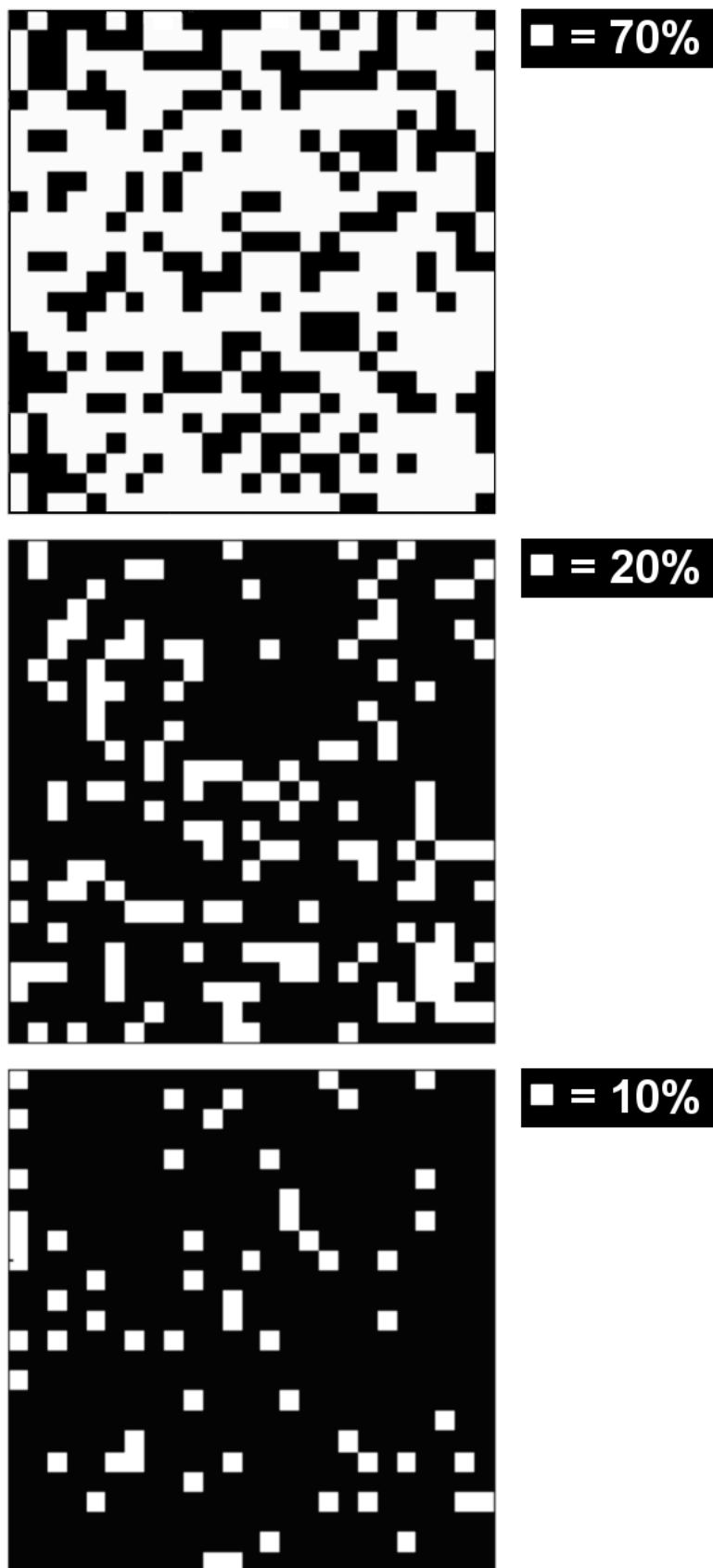


Fig. 3. Images d'aide à l'estimation des pourcentages de couverture de surface sur le terrain

## 2.2 Simulation avec forêt

En cas de réalisation d'une simulation avec forêt, Rockyfor3D dispose de deux possibilités pour intégrer les données forestières :

1. La première option consiste à utiliser un fichier contenant les coordonnées en x et en y de chaque arbre ainsi que les diamètres à hauteur de poitrine (en anglais *Diameter at Breast Height*, DBH, exprimé en cm). En plus de relevés exhaustifs sur le terrain, ces données peuvent s'obtenir au moyen de l'analyse automatique d'un modèle de surface normalisé, dérivé de données LiDAR d'après les méthodes décrites par un grand nombre d'auteurs dont Popescu et al. (2002), Dorren et al. (2007) et Monnet et al. (2010). Un algorithme pour réaliser cette opération peut être obtenu sur le site suivant: [http://ssl.tamu.edu/personnel/s\\_popescu/treewaw/index.htm](http://ssl.tamu.edu/personnel/s_popescu/treewaw/index.htm). Ce fichier d'arbres doit être impérativement nommé *treefile.txt* et doit impérativement être présent dans le répertoire de travail. Il doit présenter le format suivant (sans en-tête !) :

```
136578.55  2236789.45  43
136554.89  2236793.22  27
136531.39  2236801.37  34
...
```

En plus du fichier *treefile.txt*, un fichier raster dénommé *conif\_percent.asc* doit être présent dans le répertoire de travail (raster de type entier; [valeurs de 0 – 100 %]). Dans ce raster, la valeur des cellules représente le pourcentage moyen de la répartition entre les essences résineuses et celles feuillues dans chacune des cellules. Il suffit de saisir le pourcentage des essences résineuses (%) (cf. Fig. 4). Ce raster doit avoir la même emprise géographique et des cellules de la même taille que le raster *dem.asc* (le MNT de la zone d'étude).

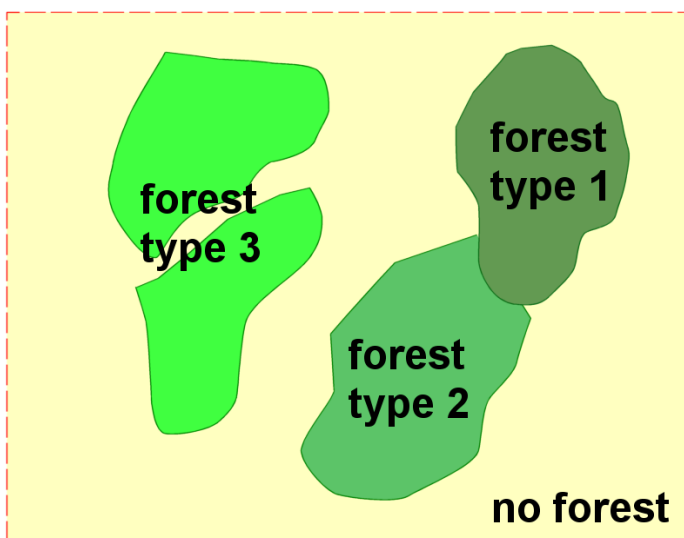
2. La seconde option consiste à représenter la forêt à l'aide de quatre cartes rasters, à savoir :
  - a. *nrtrees.asc* – les valeurs des cellules représentent le nombre de tiges par hectare au sein de chaque cellule. C'est un raster de type entier ; [valeurs de 0 – 10000 ha]
  - b. *dbhmean.asc* – les valeurs des cellules représentent le DBH moyen (en cm) au sein de chaque cellule. C'est un raster de type entier ; [valeurs de 0 – 250 cm]
  - c. *dbhstd.asc* – les valeurs des cellules représentent l'écart type du DBH (en cm) au sein de chaque cellule. C'est un raster de type entier ; [valeurs de 0 à 250 cm]
  - d. *conif\_percent.asc* (Raster de type entier ; [valeurs entre 0% et 100 %]) – dans ce raster, la valeur des cellules représente le pourcentage moyen de la répartition entre les essences résineuses et celles feuillues dans chacune des cellules. Il suffit de saisir le pourcentage des essences résineuses (%)

Avec ces quatre raster (cf. Fig.4), le modèle dispose un nombre donné d'arbres au hasard dans chaque pixel, avec des diamètres donnés. Ensuite, il

élabore un fichier d'arbres avec les coordonnées en x et en y et les DBH de chacun d'eux.

En cas de réalisation d'une simulation avec forêt en utilisant le fichier « treefile.txt », le fichier doit être disponible dans votre répertoire de travail, ce fichier peut être par la suite utilisé pour réaliser d'autres simulations. L'attribution du DBH est basée sur l'utilisation d'une loi de distribution statistique [gamma](#). Les valeurs des paramètres (forme et échelle) de cette loi sont dérivées pour chaque cellule de calcul de la valeur moyenne du DBH et de l'écart type associé saisis par l'opérateur. Toutes les cartes forestières en rasters doivent avoir exactement la même emprise géographique et des cellules de mêmes tailles que le fichier *dem.asc*.

#### Step 1: Digitise a polygon vector forest map



#### Step 2: Enter forest attribute data

| stand | nrtrees | dbhmean | dbhstd | conif_percent |
|-------|---------|---------|--------|---------------|
| 1     | 290     | 32      | 11     | 56            |
| 2     | 400     | 27      | 9      | 26            |
| 3     | 800     | 20      | 5      | 0             |

#### Step 3: Convert the vector map into rasters using the different attribute fields

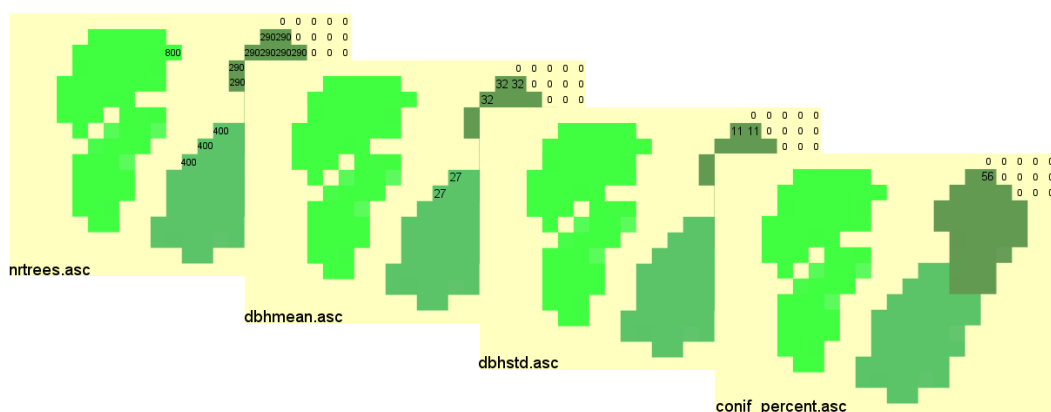


Fig. 4. Les principales étapes pour créer les fichiers forestiers rasters nécessaires à la réalisation de l'option B

L'avantage de l'option A est que la structure horizontale des peuplements forestiers est bien représentée. Ainsi les couloirs de propagations les plus importants sont eux aussi bien représentés. Si le choix c'est porté sur l'option B, alors un long travail de digitalisation très précis est nécessaire pour obtenir la même précision structurale.. L'avantage de l'option B est que les strates forestières situées sous les arbres dominants sont mieux représentées qu'avec des données Lidar. Même si ces strates sont bien souvent constituées d'arbres de faibles diamètres mais en nombre important, elles peuvent avoir une action de protection significative complémentaire de celle des arbres dominants.

### 2.3 Simulations avec prise en compte de filets pare-pierres

Si l'opérateur souhaite réaliser une simulation avec prise en compte de filets pare-pierres, alors les 3 fichiers rasters suivants doivent être présents dans le répertoire de travail :

1. *net\_number.asc* (raster de type entier; [valeurs de 0 – 999])
2. *net\_energy.asc* (raster de type entier; [valeurs de 0 – 20000 kJ])
3. *net\_height.asc* (raster de type entier ou double précision; [valeurs de 0 – 10 m])

Ces rasters peuvent être créés en utilisant la conversion de vecteur en raster d'une ou plusieurs lignes , qui ont les attributs suivants : *net\_number* (-), *net\_energy* (la capacité d'absorption d'énergie du filet en kJ) et *net\_height* (en m, **mesurée selon la normale à la pente !**). Là encore, tous les fichiers rasters correspondant aux filets doivent avoir exactement la même emprise géographique et des cellules de mêmes tailles que le fichier *dem.asc*. Chacune des lignes saisies représentant un filet doit avoir un identifiant (*net\_number*) unique. Il n'y a aucune limitation sur le nombre de filets, mais ceux-ci ne doivent pas se croiser dans la carte raster.

### 2.4 « Ecrans » de calculs

Si une simulation avec des "filets" est réalisée, des informations détaillées sur la cinématique des projectiles sont enregistrées au point de passage des "filets", ceux-ci sont donc des écrans de calculs ou de contrôles. Les données ainsi enregistrées au regard des filets sont sauvegardées dans le fichier "*Rockyfor3D\_v50\_CalC\_SCR\_dd-mm-yy\_HHhMM.txt*".

En utilisant pour les paramètres *net\_energy* et *net\_height* une valeur de 0, on peut ainsi récupérer pour une ligne de filet fictive les paramètres cinématiques des projectiles sans pour autant perturber leur propagation. Même si le paramètre *net\_height* est à 0, les données seront enregistrées chaque fois qu'un projectile entrera et /ou passera par les cellules correspondantes à la localisation de ce filet virtuel. Il n'y a aucune limitation au nombre de filets/écrans de calculs.

Au niveau de chacun des « filets » les données suivantes sont enregistrées pour chacun des projectiles :

- L'énergie cinétique ( $E$  = translationnelle et rotationnelle en kJ)
- La hauteur (normale à la pente) de passage ( $Ph$  en m)
- La vitesse ( $V$  en  $m.s^{-1}$ )
- La vitesse de rotation ( $V_{rot}$  en  $rad.s^{-1}$ )
- L'angle d'impact ( $Imp\_a$  en degrés = l'angle entre la plan horizontal et la trajectoire du projectile, une valeur négative représente une trajectoire descendante et une valeur positive une trajectoire ascendante.

Le nombre total de projectile arrivant dans le "filet" ( $n$ ) est aussi enregistré. Le fichier texte contient les données brutes enregistrées et les résultats d'analyses statistiques réalisées avec les données brutes. Ainsi pour chacune des variables le fichier contient la médiane, les valeurs à 90%, 95% et 98% value (resp. x50, x90, x95 ou x98) de la fonction de la densité de probabilité des variables citées précédemment, et ce pour chacun des écrans de calculs ( $scr\_nr$ ).  $scr\_nr$  est le numéro de la ligne schématisant un « filet » tel que décrit dans la section 2.3.

## 2.5 Paramètres de simulation

Les paramètres de simulation pouvant être définis dans l'interface utilisateur graphique (*graphical user interface*, GUI) de Rockyfor3D sont les suivants :

- Le nombre de simulations par cellule source, c'est-à-dire le nombre de trajectoires de chutes de blocs qui seront simulées à partir de chaque cellule source.
- La variation du volume du projectile en % représente le pourcentage qui est utilisé aléatoirement pour faire varier les 3 dimensions du projectile et ce à chaque simulation d'une trajectoire.
- La hauteur de chute initiale supplémentaire, c'est-à-dire la hauteur (en m) au-dessus de la surface MNT à partir de laquelle le bloc sera initialement lâché. Cela permet à l'utilisateur d'accroître la vitesse verticale initiale du bloc simulé. Cette valeur peut également être utile lors de l'utilisation de modèles MNT de faible résolution, où les petits à-pics sont mal représentés. La valeur minimale est de 0 m.
- Le fait que la forêt soit ou non prise en compte dans la simulation. Dans le cas d'une simulation avec forêt, il convient de définir quelles données seront utilisées (voir section 2.2).
- Le fait que des filets ou des écrans de calculs soient ou non pris en compte dans la simulation (voir section 2.4).

D'autres paramètres initiaux fixés par Rockyfor3D sont les vitesses initiales  $V_{xy} = 0.5$  m/s et  $V_z = -0.5$  m/s. Afin d'accroître la composante de vitesse  $V_z$  lors du premier impact sur la surface de la pente, il est possible d'augmenter la hauteur de chute supplémentaire.

## 2.6 Comment démarrer Rockyfor3D

Pour utiliser Rockyfor3D, le fichier **setup.exe** doit être utilisé pour installer le programme. Une fois cette installation réalisée, le programme peut être ouvert classiquement comme tout autre programme. Après avoir cliqué sur l'icône du programme, l'interface utilisateur graphique (GUI) s'ouvrira. La première étape est de

choisir le répertoire de travail (cf. Fig. 5) qui **doit contenir tous les fichiers rasters des données d'entrées** (*dem.asc*, *d1.asc*, etc.). Après avoir sélectionné le répertoire de travail, l'ombrage du MNT du raster *dem.asc* s'affichera. A ce stade tous les autres paramètres de simulation peuvent être saisis et la simulation lancée en appuyant sur le bouton (Run Simulation). Si une erreur reconnue par le logiciel se produit, alors l'opérateur sera informé par un message d'erreur ; une erreur inconnue du logiciel peut conduire au « crash » du programme. Dans un tel cas, contactez nous via le site [www.ecorisq.org](http://www.ecorisq.org). Quand la simulation est terminée, les fichiers raster contenant les données calculées (cf. chapitre 4) sont sauvegardés dans le répertoire de travail initialement sélectionné par l'opérateur et dans le GUI apparaît une vue "ombrée" sur laquelle le raster *nr\_passages.asc* est drapé. Ces fichiers peuvent être importés ou bien ouverts directement dans un SIG, comme le logiciel libre SAGA GIS ([www.saga-gis.org](http://www.saga-gis.org)), QGIS ([www.qgis.org](http://www.qgis.org)), ou bien ArcGIS d'ESRI.

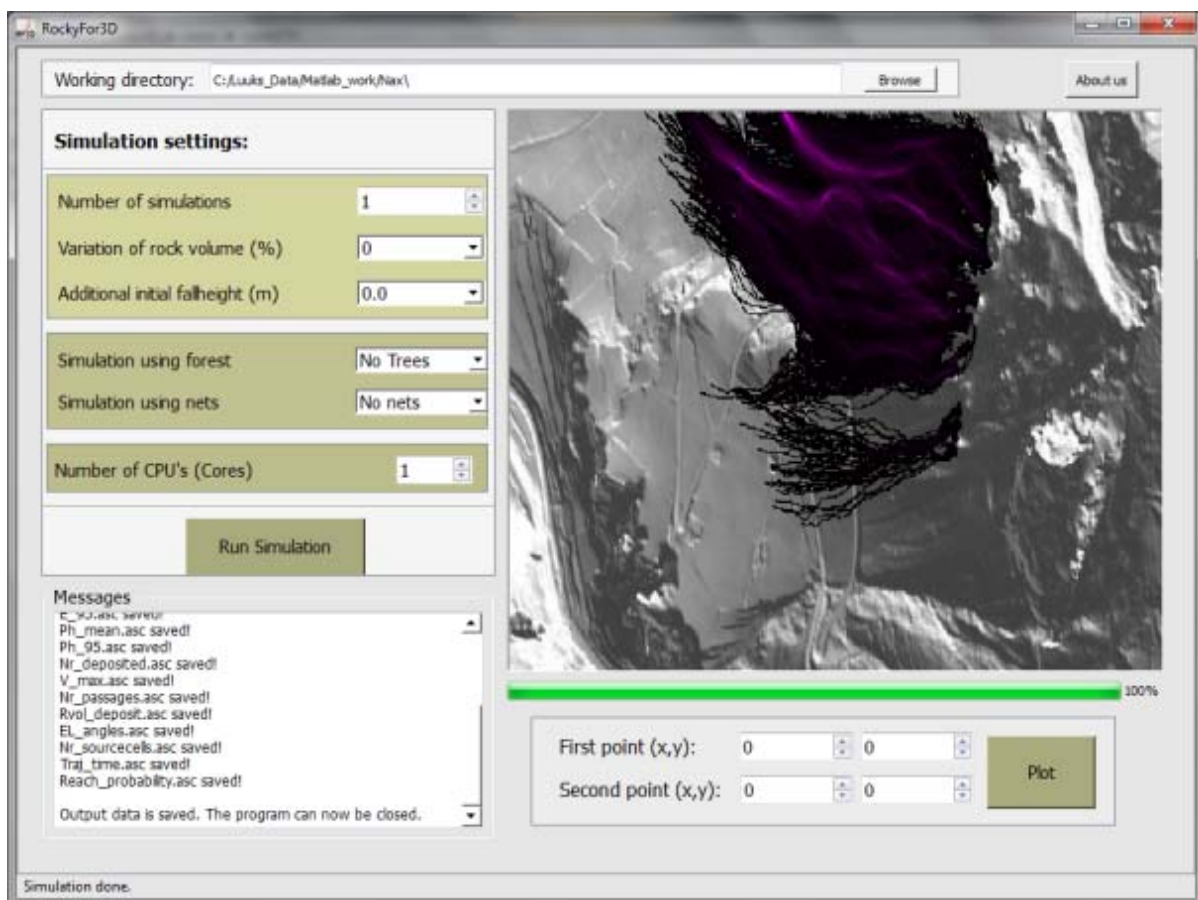


Fig. 5 L'interface utilisateur graphique (GUI) de Rockyfor3D.

Une fois les simulations terminées, il est possible d'effectuer une première analyse des données en utilisant le GUI. L'utilisateur peut visualiser une enveloppe d'énergies, de hauteurs de passage et de zones de propagation simulées dans un profil en 2D à définir par deux points : un point de départ et un point d'arrivée (placer le curseur de la souris sur la carte pour voir comment fonctionne le système). Les coordonnées des deux points doivent être saisies dans les cellules correspondantes puis l'opérateur valide le profil en cliquant sur le bouton plot. Le programme affiche le profil de l'analyse en 2D dans une seconde fenêtre. En parallèle, les données indiquées dans le profil d'analyse seront sauvegardées dans le répertoire de travail sous la forme d'un fichier texte ASCII appelé "*Rockyfor3D\_v50\_ProfileData\_dd-mm-yyyy.txt*".

## 3 Principaux composants du modèle

### 3.1 Forme du bloc

Pour les données d'entrée des simulations, Rockyfor3D offre la possibilité d'utiliser des types de formes de blocs rectangulaires, ellipsoïdaux, sphériques et/ou en forme de disque. Cette forme de bloc définit la façon dont 1) le volume du bloc (et donc sa masse) et 2) le moment d'inertie sont calculés sur la base de trois diamètres de blocs définis  $d_1$ ,  $d_2$  et  $d_3$ . Afin de calculer la position du bloc, le rebond sur la surface de la pente et les impacts contre les arbres, Rockyfor3D emploie toujours une forme circulaire (voir également fig. 4) pouvant présenter 2 diamètres différents : 1) le plus petit des diamètres  $d_1$ ,  $d_2$  et  $d_3$  définis, qui est utilisé pour calculer si le bloc frappe un arbre et 2) un diamètre plus grand, qui est la moyenne des deux plus grands diamètres de  $d_1$ ,  $d_2$  et  $d_3$ . Ce dernier permet de calculer la perte d'énergie lors des impacts sur le sol, c'est-à-dire le rapport entre la rugosité de surface et le rayon du plus grand périmètre du bloc (voir également l'équation 7).

Les autres formes de blocs plus complexes, ainsi que les effets explicites de la forme du bloc sur la direction de chute ne sont pas pris en compte. Cela impliquerait un algorithme qui permette de calculer un nombre de trajectoires statistiquement valable, c'est-à-dire un grand nombre, tout en tenant compte de tous les effets de la forme du bloc sur la nature du rebond se produisant dans la réalité. Il n'existe pas actuellement d'algorithme satisfaisant ces deux conditions. Etant donné que les algorithmes employés pour calculer la direction de chute dans Rockyfor3D sont basés sur des observations sur le terrain, incluant des formes de blocs multiples, la forme est implicitement prise en compte par les algorithmes de direction de chute probabilistes employés dans la simulation.

### 3.2 Chute libre parabolique

La chute libre parabolique se calcule au moyen d'un algorithme standard pour un mouvement parabolique uniformément accéléré dans l'air. Ce calcul permet de déterminer la position et la vitesse à l'intersection au moyen d'une topographie en 3D représentée par le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Ainsi, Rockyfor3D simule une trajectoire en 3D en calculant l'évolution de sa position le long des axes  $x$ ,  $y$  et  $z$ . Ici, l'axe des  $x$  correspond à la direction est-ouest, l'axe des  $y$  à la direction nord-sud, et l'axe des  $z$  à sa position verticale. Au moyen de ses coordonnées en  $x$  et en  $y$ , la trajectoire en 3D est reliée aux cartes *raster* initiales et finales. En connaissant la position du rebond, les caractéristiques de la surface de la pente définies par les cartes *raster* d'entrée à cet endroit, ainsi que la vitesse d'arrivée, il est possible de lancer le calcul du rebond.

### 3.3 Rebond sur la surface de la pente

La vitesse après un rebond sur la surface de la pente, aussi appelé *bounce*, se calcule principalement avec 10 algorithmes. Une première étape importante est la conversion de la vitesse d'arrivée dans le plan horizontal  $xy$  ( $V_{hor}$ ) et de celle dans le

plan vertical  $z$  ( $V_{\text{vert}}$ ) en une vitesse d'arrivée normale  $V_n$  et tangentielle  $V_t$  (par rapport à la pente locale) (voir fig. 6).

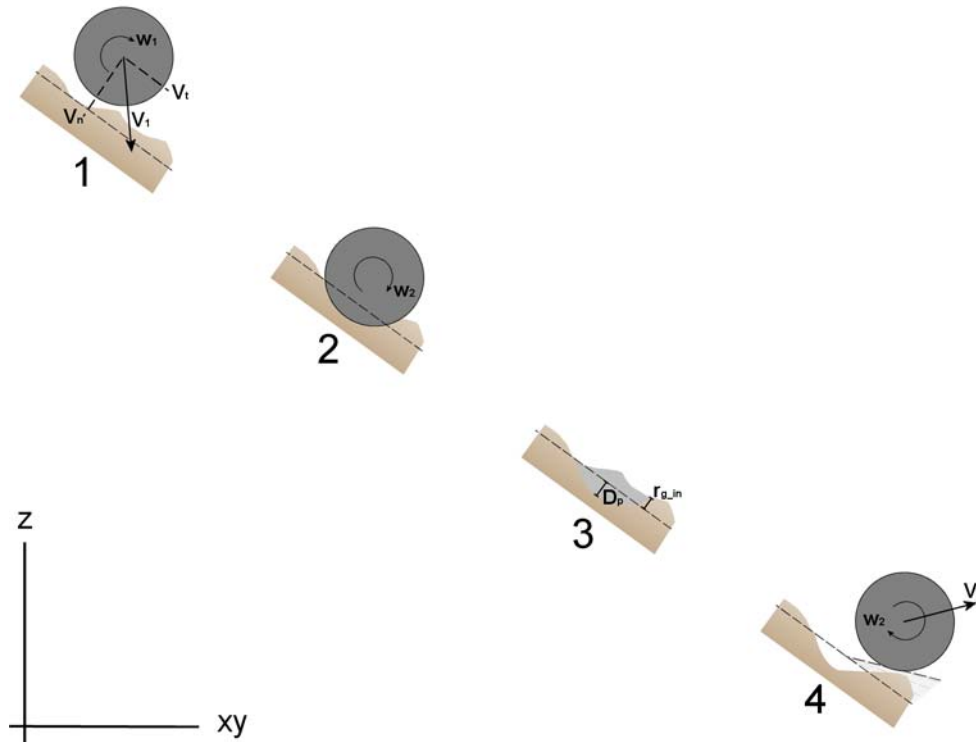


Fig. 6. Le rebond tel qu'il est représenté par les algorithmes employés par Rockyfor3D.

Ensuite, la profondeur de pénétration du bloc sur le lieu de l'impact est calculée d'après les travaux de Pichler et al. 2005 :

Les paramètres d'entrée nécessaires à cet algorithme sont les suivants :

- Le coefficient de restitution normal ( $R_n$ )
- Le diamètre du projectile ( $d$  en m)
- La masse du projectile (RockMass en kg)
- La vitesse d'impact du projectile ( $V$  en m/s)

Les constantes utilisées sont :

- $k = 1.207$  (constante représentant la forme sphérique du bloc)
- $B = 1.2$  (paramètre de compressibilité du matériau touché ; varie peu pour les différents matériaux)

Les principales fonctions de profondeur de pénétration ( $D_p$ ) sont les suivantes :

$$\frac{D_p}{d} = \frac{2}{\pi} N \ln \left[ \frac{1 + I_e / N}{1 + k\pi / 4N} \right] + k \quad \text{pour} \quad \frac{D_p}{d} > k \quad (1)$$

$$\frac{D_p}{d} = \sqrt{\frac{1 + k\pi / 4N}{1 + I_e / N}} \frac{4k}{\pi} I_e \quad \text{pour} \quad \frac{D_p}{d} \leq k \quad (2)$$

où,

$$I_e = \frac{RockMass * V^2}{R_i * d^3} \quad (3)$$

(*RockMass* et *V* désignent respectivement la masse (kg) et la vitesse (m/s) du bloc)

où  $R_i$  est la résistance à l'indentation du matériel impacté (en MPa) et calculé avec la formule,

$$R_i = 55 * 10^9 * R_n^7 \quad (4)$$

Cette fonction donne des valeurs entre 1 - 5 MPa pour des sols fins et de 200 - 250 MPa pour la roche mère.

$$N = \frac{RockMass}{\rho_{soil} * d^3 * B * 0.5} \quad (5)$$

où  $\rho_{soil}$  est la densité du matériel impacté (en kg/m<sup>3</sup>) et calculé avec la formule,

$$\rho_{soil} = 1200 * \ln(R_n) + 3300 \quad (6)$$

Cette fonction donne des valeurs entre 1500 kg/m<sup>3</sup> pour des sols fins et de 2500 kg/m<sup>3</sup> pour la roche mère.

Dans Rockyfor3D, la profondeur de pénétration  $D_p$  ne peut être supérieure au rayon du bloc et la valeur maximale absolue est de 1 m. Une fois la profondeur de pénétration calculée, il est possible de lancer le calcul de la vitesse du bloc après le rebond.

Dans ce but, le coefficient de restitution tangentiel ( $R_t$ , voir Chau et al. 2002) constitue un paramètre important. Dorren et al. (2004) ont démontré que cette valeur  $R_t$  est déterminée par la composition et la dimension du matériau recouvrant la surface et par le rayon du bloc en chute, étant donné que pour des blocs de plus grandes dimensions, la rugosité de surface effective est moins importante que pour les blocs de petites dimensions (voir Kirkby et Statham 1975; Dorren 2003), et analogue au principe du coefficient de variation de pente utilisé par exemple par Pfeiffer et Bowen (1989), Spang et Krauter (2001) et Dorren et al. (2004). Par conséquent, Dorren et al. (2006) ont proposé l'algorithme suivant pour calculer le  $R_t$  :

$$R_t = \frac{1}{1 + ((MOH + D_p) / R)} \quad (7)$$

où MOH est la hauteur d'obstacle représentative à la surface de la pente (m),  $D_p$  est la profondeur de pénétration (m) et  $R$  est le rayon du bloc en chute (m).

Tous les spécialistes savent qu'il n'est pas possible de mesurer le MOH en détail et à chaque endroit sur une pente active de chutes de pierres. Étant donné qu'il est possible de réaliser une carte de polygones présentant les diamètres moyens du matériau recouvrant la surface classée par différentes classes de diamètres, la

valeur de  $R_t$  devrait être déduite d'une telle carte. Nous avons choisi de cartographier trois classes de MOH représentant la hauteur moyenne des obstacles rencontrés par un bloc lors de 70%, 20%, et 10% des rebonds dans un polygone cartographié. Ensuite, l'algorithme de rebond de Rockyfor3D choisit le MOH sur la base des trois classes de couverture dans le polygone en utilisant un nombre aléatoire. Ainsi, les valeurs données par les trois classes de probabilité  $R_{g70}$ ,  $R_{g20}$  et  $R_{g10}$  représentent les valeurs utilisées respectivement dans 70%, 20% et 10% des calculs de rebonds.

La valeur  $R_t$  ainsi obtenue est utilisée pour calculer la composante de vitesse tangentielle du bloc après le rebond ( $V_{t2}$ ) d'après Pfeiffer et Bowen (1989) :

$$V_{t2} = \sqrt{\frac{R^2 * (I * V_{rot1}^2 + RockMass * V_{t1}^2) * R_t}{I + RockMass * R^2}} \quad (8)$$

où  $V_{t1}$  = la composante de vitesse tangentielle du bloc avant le rebond,  $V_{rot1}$  est la vitesse rotationnelle avant le rebond et  $I$  est le moment d'inertie de la forme de bloc définie.

Avant le calcul réel de  $V_{t2}$ , le modèle opère une variation aléatoire de la valeur calculée de  $R_t$  de +/-10% afin de représenter la variance de la rugosité de surface observée dans la nature. Il en va de même pour le coefficient normal de restitution ( $R_n$ ), utilisé pour calculer la composante de vitesse normale du bloc après le rebond  $V_{n2}$  d'après Pfeiffer et Bowen (1989) :

$$V_{n2} = \frac{-V_{n1} * R_n}{1 + (abs(V_{n1})/9)^2} \quad (9)$$

où  $V_{n1}$  est la composante de vitesse normale du bloc avant le rebond. Le facteur  $(abs(V_{n1})/9)^2$  ajuste la diminution du coefficient normal de restitution au fur et à mesure que la vitesse d'impact augmente. Ce facteur représente une transition, à partir d'un rebond plus élastique à de faibles vitesses normales vers un rebond beaucoup moins élastique provoqué par une fracturation croissante du bloc et une formation de cratères à la surface de la pente, à des vitesses normales plus élevées (Habib 1976). Ainsi, le modèle tient indirectement compte de l'effet de l'angle d'impact sur la nature du rebond (voir Wu 1984).

La vitesse rotationnelle après le rebond  $V_{rot2}$  se calcule comme suit :

$$V_{rot2} = \min \left[ \frac{V_{t2}}{R}; V_{rot1} + \frac{(V_{t1} - V_{t2}) * 2}{5 * R} \right] \quad (10)$$

Tout comme dans Pfeiffer et Bowen (1989), l'angle de la pente sur le lieu du rebond est uniformément diminué de façon aléatoire lors de chaque rebond. Cependant, la réduction maximale de l'angle de pente est fixée à 4°. Le roulement est représenté par une séquence de rebonds sur une faible distance, la distance entre deux rebonds est égale au rayon du projectile et avec une valeur minimale fixée à 0.2 m. Ces deux dernières conditions ne sont utilisées que pour des pentes entre 0° et 30°.

### 3.4 Impact sur un arbre

Étant donné que le modèle utilise des solutions analytiques et non des itérations temporelles, la position exacte du bloc simulé est connue à chaque instant. Ainsi, il est possible de calculer la position des impacts sur les troncs et son influence sur la dissipation d'énergie lors de ces impacts. En plus de la position de l'impact sur le tronc de l'arbre, le modèle utilise le diamètre de l'arbre touché, le type d'arbre (conifère ou feuillu) et l'énergie du bloc. Les positions et les diamètres des arbres dans l'entourage immédiat du bloc simulé sont disponibles en permanence dans une sous-liste contenant leurs coordonnées en x et en y ainsi que les valeurs de leurs DBH. En cas d'impact contre un arbre, le bloc perd une fraction de son énergie cinétique d'après quatre fonctions principales visualisées dans la fig. 7. Ces fonctions seront expliquées dans les paragraphes suivants.

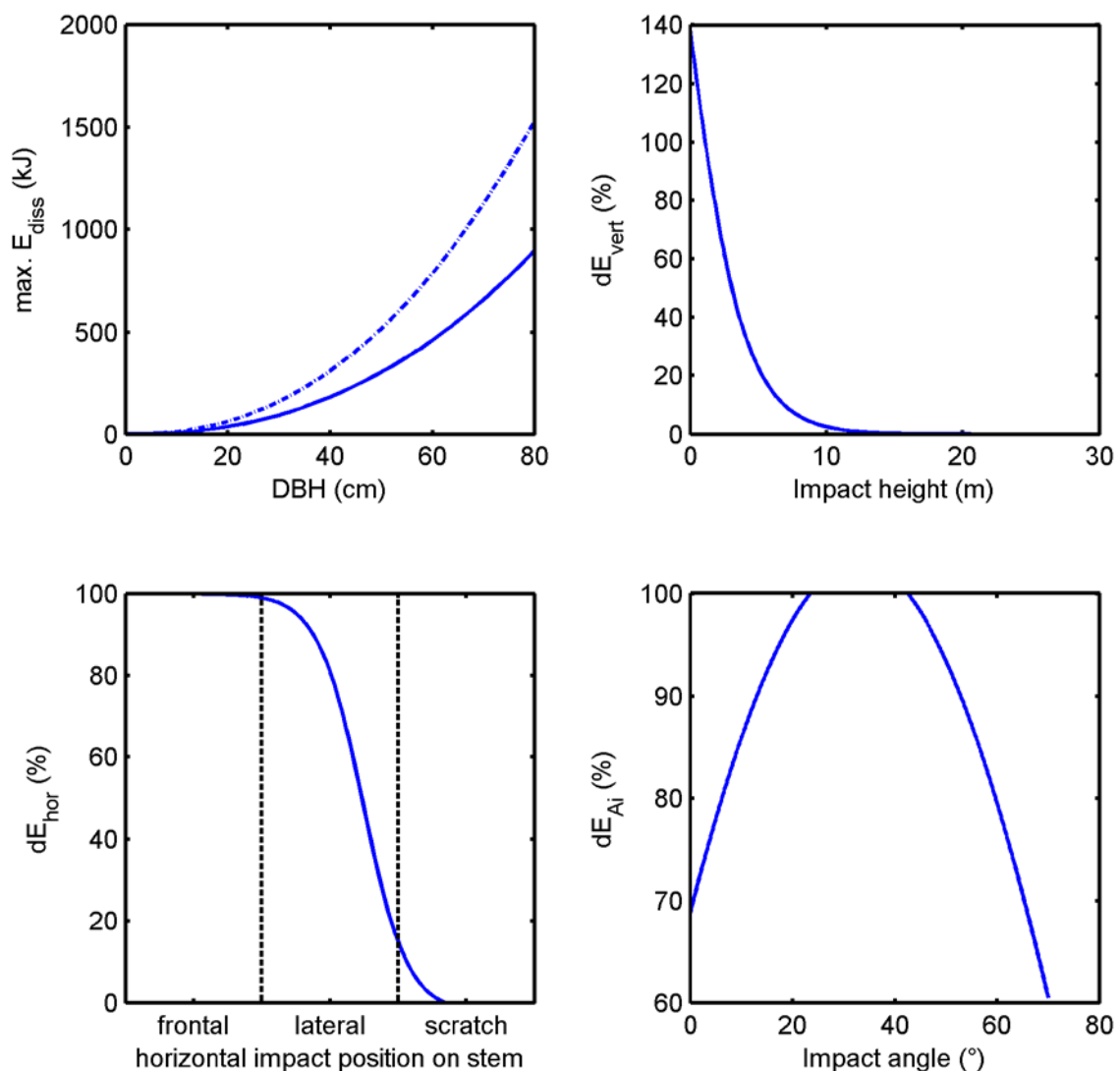


Fig. 7. Visualisation des quatre principales fonctions de calcul de dissipation d'énergie lors d'un impact sur un arbre. Le graphique situé en haut à droite est calculé avec une hauteur d'arbre de ~13 m (DBH = 20 cm).

D'après Dorren et Berger (2006), la quantité maximale d'énergie cinétique ( $E_{dissM}$ ) susceptible d'être absorbée puis dissipée par un arbre se détermine en fonction du diamètre du tronc et du type d'arbre par l'équation suivante :

$$E_{dissM} = FE_{ratio} * 38.7 * DBH^{2.31} \quad (11)$$

où,  $E_{dissM}$  = quantité maximale d'énergie cinétique pouvant être dissipée par l'arbre (en J),  $FE_{ratio}$  = taux d'énergie de rupture du type d'arbre (d'après Dorren et Berger 2006), et le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) du tronc en cm. Rockyfor3D utilise seulement deux valeurs moyennes pour le  $FE_{ratio}$  : 0.93 pour les conifères et 1.59 pour les feuillus.

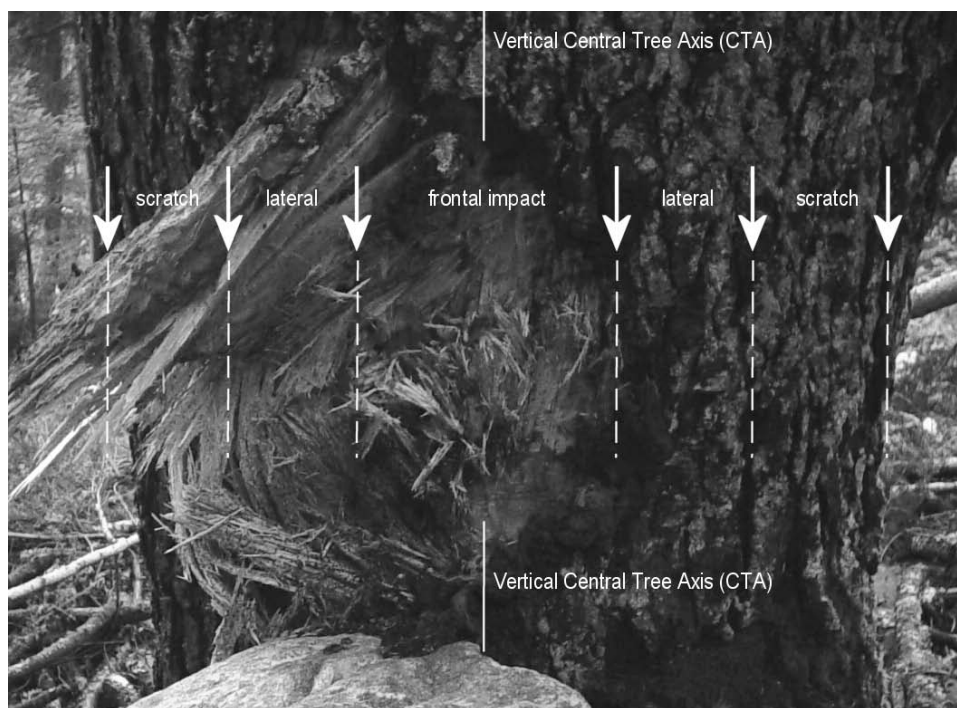


Fig. 8. Trois principaux types d'impact d'après la distance horizontale entre le centre de l'impact et l'axe vertical central de l'arbre (*Central Tree Axis*, CTA), vus depuis la direction de l'impact.

La question de savoir si cette quantité maximale d'énergie est réellement dissipée lors de l'impact dépend de la position horizontale (voir fig. 7) et verticale de l'impact sur le tronc de l'arbre. L'effet de la position horizontale ( $dE_{hor}$  en %) est déterminé par la fonction suivante (d'après Dorren et Berger 2006) :

$$dE_{hor} = -0.046 + \frac{0.98 + 0.046}{1 + 10^{(0.58 - ((Pi - CTA) / 0.5 \times DBH)) \times (-8)}} \quad (12)$$

où,  $dE_{hor}$  = quantité maximale d'énergie pouvant être dissipée par l'arbre, en relation avec la position horizontale de l'impact (en %),  $Pi - CTA$  = distance horizontale entre l'impact et l'axe vertical central de l'arbre (en m), et le DBH (en m).

L'effet de la position verticale, ou hauteur d'impact, se calcule au moyen des trois équations suivantes. Premièrement, la hauteur théorique de l'arbre ( $H_{tree}$  en m) se calcule en fonction du DBH (en cm) :

$$H_{tree} = 1.22 * DBH^{0.8} \quad (13)$$

Ensuite, on calcule le pourcentage de quantité maximale d'énergie pouvant être dissipée par l'arbre ( $dE_{vert}$  [-]), en relation avec la hauteur d'impact ( $Z_i$  en m) :

$$dE_{vert} = 1.62 * \left( \frac{1}{1 + e^{18.04 * (Z_i / H_{tree}) + 0.02 * DBH - 2.35}} - \frac{1}{1 + e^{15.69 + 0.02 * DBH}} \right) \quad (14)$$

Ici, l'équation 11 s'appuie sur l'analyse de centaines d'arbres mesurés dans toutes les Alpes. Les équations 12 et 13 reposent sur une récente analyse de données publiée par Dorren et Berger (2006), Jonsson (2007) et Lundström et al. (2009). Ces fonctions nouvellement développées ainsi que les analyses sous-jacentes seront bientôt publiées par Berger et Dorren.

Le pourcentage de quantité maximale d'énergie pouvant être dissipée par l'arbre, en relation avec l'angle d'impact ( $\alpha_{imp}$  en degrés) du bloc par rapport à la position verticale de l'arbre ( $dE_{\alpha_{imp}}$  en %) se calcule d'après Jonsson (2007) :

$$dE_{\alpha_{imp}} = \min(100, (1.03 * \sin(1.46 * \frac{\min(\alpha_{imp}, 70)}{180} * \pi + 0.73)) \quad (15)$$

Enfin, la quantité totale d'énergie dissipée par l'arbre ( $E_{dtree}$  en kJ) se calcule comme suit :

$$E_{dtree} = E_{dissM} * dE_{vert} * dE_{hor} * dE_{\alpha_{imp}} / 1000 \quad (16)$$

### 3.5 Calcul de la direction de chute

#### *Changement de direction du à un rebond sur la surface de la pente*

Initialement, c'est l'orientation de la cellule source qui détermine la direction de chute du bloc simulé. Ensuite, la direction du projectile change en raison de rebonds sur la surface de la pente ou d'impacts contre des arbres. L'angle de déviation après un rebond sur la surface de la pente est déterminé par la topographie, par la direction de chute du bloc avant le rebond et par sa vitesse.

Lors de chaque rebond, le modèle permet au bloc de dévier de sa direction antérieure au rebond vers la direction de l'orientation de la cellule *raster* dans laquelle il rebondit (fig. 9). L'orientation de la pente est la direction vers l'aval du taux maximum de changement de valeur à partir de chaque cellule d'un *raster* vers les quatre cellules voisines (les 2 cellules au-dessus et en-dessous et les 2 cellules à gauche et à droite). Ainsi, l'orientation représente la direction de pente la plus raide dans chaque cellule et se calcule d'après Zevenbergen et Thorne (1987). Enfin, la déviation du bloc par rapport à sa direction de chute avant le rebond vers l'orientation de la pente dans la cellule *raster* est déterminée par un chiffre aléatoire et par la vitesse du bloc (voir tableau 3).

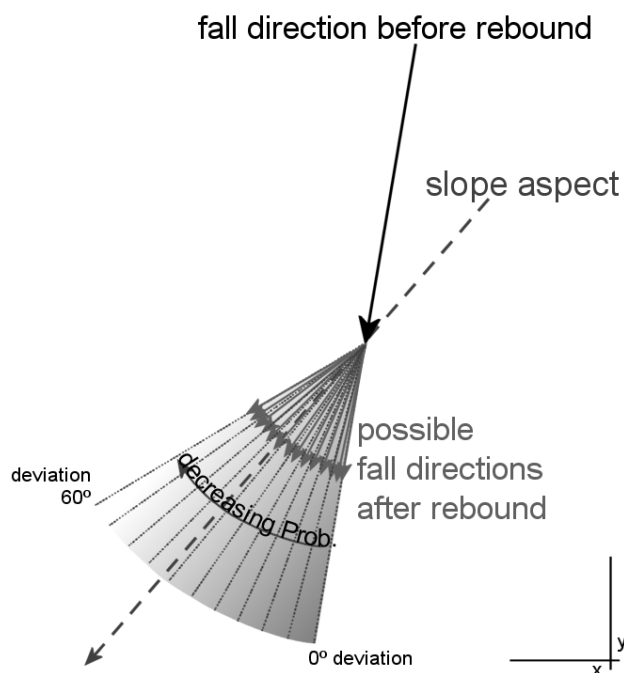


Fig. 9. Le principe de l'algorithme calculant la direction de chute après un rebond à la surface de la pente.

Le chiffre aléatoire définit si la déviation du bloc par rapport à sa direction d'origine est comprise entre 0 et 5°, ou entre 5° et 10°, 10° et 15°, 15° et 20°, ... , 50° - 55°. Tous ces cas de figure s'accompagnent de probabilités d'occurrence prédéfinies et déterminées par la vitesse du bloc avant le rebond comme présenté dans le tableau 3.

Tableau 3 : Probabilités (en %) de gammes d'angles de déviation après le rebond utilisées par Rockyfor3D pour trois classes de vitesse.

| Angles de déviation (°) | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 |
|-------------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $V < 10$ m/s            | 49  | 15   | 9     | 6     | 5     | 4     | 3     | 3     | 3     | 2     | 2     |
| $10 \leq V < 15$ m/s    | 53  | 14   | 8     | 6     | 4     | 4     | 3     | 3     | 2     | 2     | 2     |
| $V \geq 15$ m/s         | 46  | 16   | 10    | 7     | 5     | 4     | 4     | 3     | 3     | 2     | 0     |

Les valeurs du tableau 3 reposent sur des analyses statistiques de trajectoires de chutes de blocs et de vitesses observées lors des expériences présentées dans Dorren et al. (2006). Si le déplacement du bloc est ascendant dans le modèle, les gammes de déviation décrites ci-dessus sont autorisées dans les deux directions latérales à la direction avant le rebond. Si le bloc entre dans un trou (une petite dépression) dans le modèle numérique de terrain (MNT), la direction avant et après le rebond reste inchangée.

#### *Changement de direction du à un impact contre un arbre*

D'après les observations des expériences décrites par Dorren et al. (2005), la trajectoire d'un bloc peut être déviée latéralement jusqu'à 76° par rapport à sa direction initiale de chute suite à un impact contre un arbre. Ceci est valable pour la direction d'arrivée et de départ dans un cercle d'un rayon de 5 m autour de l'arbre frappé. Localement, c'est-à-dire près du tronc, cette déviation entre la direction de

chute avant et après l'impact peut même atteindre 180°. La déviation du bloc après un impact sur un arbre dépend de la position du centre du bloc par rapport au tronc de l'arbre au moment de l'impact. Ainsi, trois principaux types d'impacts ont été définis sur cette base (voir également fig. 8). À l'appui de ces trois types, les probabilités indiquées dans le tableau 4 sont utilisées en combinaison avec un chiffre aléatoire uniformément distribué afin de calculer la déviation.

Tableau 4. Probabilités de déviation de la direction de chute suite à un impact sur un arbre.

| Type d'impact | Probabilités                    |                                     |                                   |
|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|               | Angle de déviation<br>0 – 22.5° | Angle de déviation<br>22.5° - 67.5° | Angle de déviation<br>67.5° - 76° |
| Frontal       | 44                              | 50                                  | 6                                 |
| Latéral       | 11                              | 84                                  | 5                                 |
| Frôlé         | 72                              | 24                                  | 4                                 |

## 4 Données de sortie du modèle

À chaque fois qu'un bloc simulé passe sur une cellule *raster* donnée ou rebondit dessus, les valeurs maximales des différentes variables simulées dans cette cellule sont enregistrées (voir également fig. 10) dans des *raster* distincts dans la cellule concernée. **Ainsi, tous les résultats de Rockyfor3D se présentent en format *raster*, avec la même couverture de zone, la même taille de maille et le même format que les *raster* d'entrée.**

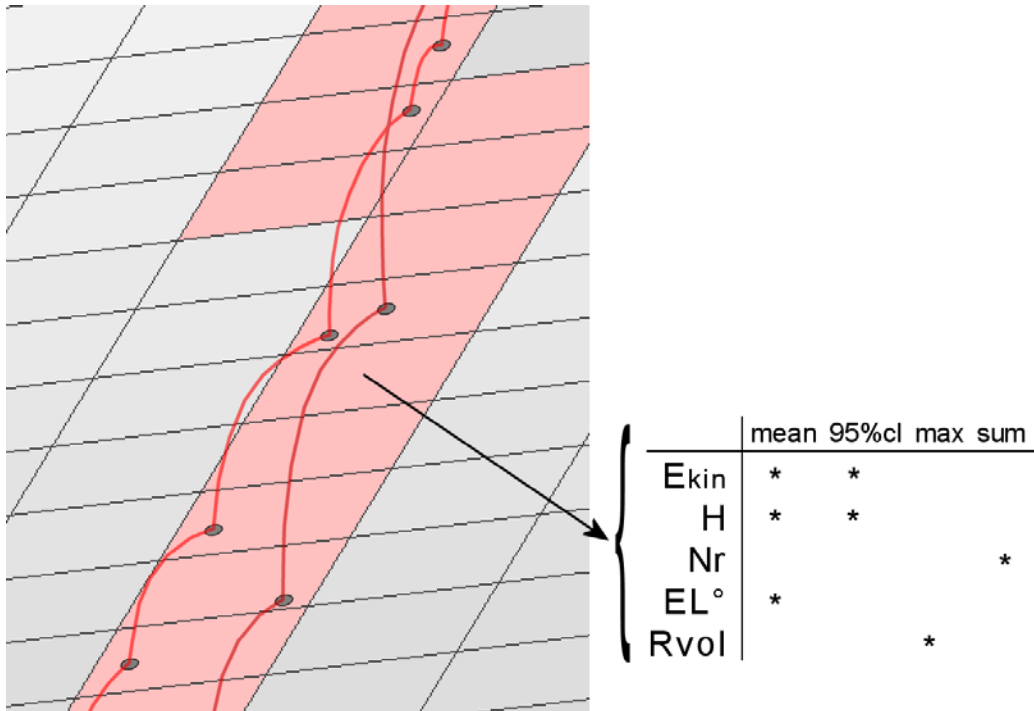


Fig. 10. D'une trajectoire en 3D à des données de sortie en format raster.

Les *rasters* de sortie créés par Rockyfor3D sont les suivants :

- *E\_mean.asc* : la moyenne des énergies cinétiques maximales (translationnelle + rotationnelle, en kJ) par cellule
- *E\_50.asc*, *E\_90.asc*, *E\_95.asc*, *E\_98.asc*, *E\_99.asc* : ces *rasters* représentent resp. le médian, la 90<sup>ème</sup>, 95<sup>ème</sup>, 98<sup>ème</sup> et la 99<sup>ème</sup> percentile des énergies simulées par cellule. Les *rasters* de sortie sont de type entier et correspondent à les limites de classes d'énergie suivantes :  
≤3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 270, 285, 300, 500, 1'000, 1'500, 3'000, 5'000, 10'000, >10'000 (en kJ).
- *E\_95Cl.asc* : le niveau de confiance de 95% (LC) (**95% LC = E\_mean + 2 \* écart type des valeurs maximales dans la cellule de calcul, en supposant une distribution normale**) de toutes les valeurs d'énergie cinétique maximale (en kJ) enregistrées dans chaque cellule. L'écart type ( $\sigma$ ) est calculé dans Rockyfor3D en utilisant la formule:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \left( n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right)} \quad (17)$$

La valeur E\_95CI peut être considérée comme étant représentative de l'énergie maximale enregistrée dans une cellule de calcul. Pour le dimensionnement d'ouvrages de protection nous recommandons d'utiliser le 95<sup>ème</sup> percentile de l'énergie et des hauteurs de passages enregistrées au niveau des écrans de calculs.

- *Ph\_mean.asc* : la hauteur moyenne de passage du centre du bloc (en m, mesurée dans la direction normale par rapport à la surface de la pente) par cellule
- *Ph\_50.asc*, *Ph\_90.asc*, *Ph\_95.asc*, *Ph\_98.asc*, *Ph\_99.asc* : ces *rasters* représentent resp. le médian, la 90<sup>ème</sup>, 95<sup>ème</sup>, 98<sup>ème</sup> et la 99<sup>ème</sup> percentile des hauteurs moyennes de passage du centre du bloc par cellule. Les *rasters* de sortie sont de type entier et correspondent à les limites d'hauteur de passage suivantes : ≤0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, >20 (in m).
- *Ph\_95CI.asc* : le niveau de confiance de 95% de toutes les valeurs de hauteur de passage du centre du bloc (en m, mesurées dans la direction normale) enregistrées dans chaque cellule. Le principe de calcul de Ph\_95CI est identique à celui utilisé pour E\_95CI. Ph\_95CI peut donc être considéré comme étant la hauteur maximale de passage dans chacune des cellules de calcul.
- *Nr\_passage.asc* : le nombre de blocs ayant traversé chaque cellule
- *Nr\_sourcecells.asc* : le nombre de cellules sources alimentant une cellule donnée [-]. La carte ainsi obtenue donne pour chaque cellule de quelles cellules de départ sont issus les projectiles passant par celle-ci.
- *Reach\_probability.asc* : (Nr\_passages\*100) / (Nr\_simulations\_per\_source\_cell \* Nr\_sourcecells) [%]. La traduction cartographique de ce paramètre représente la probabilité d'atteinte d'une cellule par un projectile rocheux. Une forte probabilité correspond au plus forte valeur dans la carte et une faible probabilité correspond au plus faibles valeurs positives.
- *Nr\_deposited.asc* : le nombre de blocs s'arrêtant dans chaque cellule. La traduction cartographique de cette donnée **est une excellente source d'information pour délimiter les zones d'arrêt des projectiles et est une base de la réflexion pour la réalisation de la carte d'aléa.**
- *Rvol\_deposit.asc* : le volume max. de bloc (en m<sup>3</sup>) stoppé dans chaque cellule
- *EL\_angles.asc* : un *raster* contenant les angles moyens de ligne d'énergie par cellule (en °). L'angle de ligne d'énergie, ou angle EL (*Energy Line angle*, tel qu'il est décrit par Heim 1932 ; Scheidegger 1973 ; Toppe 1987 ; Gerber 1998 ; Jaboyedoff et Labiouse 2003), est l'angle de pente d'une ligne directe virtuelle reliant le lieu d'arrêt et le lieu d'origine d'un bloc tombé. Cette carte *raster* peut être utile afin de comparer les angles EL calculés à partir des simulations de Rockyfor3D avec les valeurs d'angles EL communément utilisées (27° à 33° pour des pentes non boisées).
- *Traj\_time.asc* : le temps minimum nécessaire pour atteindre une cellule à partir des cellules de départ alimentant celle-ci [s]
- *V\_max.asc* : la vitesse maximale absolue par cellule de calcul the (m/s). Cette donnée doit être utilisée avec précaution en absence d'information sur la

distribution statistique des vitesses. Ce paramètre a été ajouté à la liste des paramètres calculés à la demande de certains utilisateurs.

Dans le cas d'une simulation avec prise en compte de la forêt, deux rasters supplémentaires sont générés :

- *Tree\_impact\_heights.asc* : la hauteur d'impact maximal par arbre et par cellule de calcul [m]
- *Nr\_tree\_impacts.asc* : le nombre d'impact par arbre et par cellule de calcul [-]

Tous ces fichiers raster sont au format ESRI ASCII Grid et peuvent être directement ouverts et visualisés dans la plus part des logiciels. Dans certain cas la réalisation d'une importation (commande import en règle générale) peut être nécessaire.

Après chaque simulation, Rockyfor3D crée un fichier journal, appelé « *Rockyfor3D\_v50\_logfile\_dd-mm-yyyy\_HHhMM.txt* », qui contient les informations présentées ci-dessous.

---

Rockyfor3D v5.0 - Simulations completed on Tue Jan 24 15:12:39 2012

simulation started on Tue Jan 24 15:12:33 2012

simulation settings:

- rock volume variation = +/- 0
- nr. of simulations per source cell = 1
- nr. of simulated falling rocks (total nr. simulations) = 2382
- additional initial fallheight = 0.000000 m
- Simulation without forest and with nets

Overall simulated block volumes:

- min = 0.100000 m3
- mean = 0.100000 m3
- max = 0.100000 m3

Overall simulated energy values:

- maximum of the mean energy values = 323.900000 kj
- maximum energy value = 462.100000 kj

Statistics on Energy Line Angles recalculated from simulated trajectories:

| EL_angle[°] | frequency[-] | frequency[%] |
|-------------|--------------|--------------|
| 24.00       | 1.00         | 0.04         |

Output rasters (for explanation see also:  
[www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D.pdf](http://www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D.pdf), chapter 4)

REMARKS

---

Il est recommandé d'ajouter des informations spécifiques concernant la simulation terminée dans la section remarques et de sauvegarder ce fichier journal dans un répertoire séparé en plus des *raster* de sortie. Ainsi, il est toujours possible de reconstruire les scénarios utilisés pour la simulation terminée.

## 5 Références

- Azimi, C., Desvarreux, P., Giraud, A. and Martin-Cocher, J., 1982. Méthode de calcul de la dynamique des chutes des blocs - Application à l'étude du versant de la montagne de la Pale (Vercors). Bull. Liais. Lab. Ponts Chauss. 122: 93-102.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A., 1998. Principles of geographic information systems. Oxford University Press, Oxford, Great Britain: 333 p.
- Bozzolo D. and Pamini R., 1986. Simulation of Block Falls down a valley side. Acta Mech. 63: 113-130.
- Bourrier, F., Dorren, L.K.A., Nicot, F., Berger and F., Darve, 2009. Toward objective rockfall trajectory modelling using a stochastic rebound algorithm. Geomorphology 110: 68-79.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C. and Wu, J.J., 2002. Coefficient of restitution and rotational motions of rockfall impacts. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 39: 69-77.
- Descoeudres, F., 1997. Aspects géomécaniques des instabilités de falaises rocheuses et des chutes de blocs. Soc. Suisse Mécan. Sols Roch. 135: 3-11.
- Dorren, L.K.A., 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches. Progr. Phys. Geog. 27(1): 69-87.
- Dorren, L.K.A. and Maier, B., 2001. GIS basierte Felssturz-Modellierung auf regionalem Maßstab im Montafon (Vorarlberg, Österreich). Forschen und Entdecken 9: 227-236.
- Dorren, L.K.A. and Seijmonsbergen, A.C., 2003. Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale. Geomorphology 56(1-2): 49-64.
- Dorren, L.K.A. and Heuvelink, G.B.M., 2004. Effect of support size on the accuracy of a distributed rockfall model. Int. J. Geog. Inf. Sci. 18: 595-609.
- Dorren, L.K.A., Maier, B., Putters, U.S. and Seijmonsbergen, A.C., 2004. Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps. Geomorphology 57(3): 151-167.
- Dorren, L.K.A., Berger, F., Le Hir, C., Mermin, E. and Tardif, P., 2005. Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. Forest Ecol. Manage. 215(1-3): 183-195.
- Dorren, L.K.A. and Berger, F., 2006. Stem breakage of trees and energy dissipation during rockfall impacts. Tree Phys. 26: 63-71.
- Dorren, L.K.A., Berger, F. and Putters, U.S., 2006. Real size experiments and 3D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. Nat. Haz. Earth Syst. Sci. 6: 145-153.
- Dorren, L.K.A., Berger, F. and Maier, B., 2007. Cartographier la structure de la végétation forestière avec un système lidar aéroporté en terrain montagnard, Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection 186: 54-59.
- Falcetta J.L., 1985. Un nouveau modèle de calcul de trajectoires de blocs rocheux. Rev. Franç. Géotech. 30: 1-80.
- Gerber, W. 1998. Waldwirkung und Steinschlag. In: Schwitter, R. (Ed.): Dokumentation der 14. Arbeitstagung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe mit der FAN 1998, unpublished report, Grafenort / Engelberg: pp. 1-15.
- Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R. and Agliardi, F., 2002. STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls, Comp. & Geosc. 28: 1079-1093.
- Habib, P., 1977, Note sur le rebondissement des blocs rocheux. In: Proc. Meet. on Rockfall Dynamics and Protective Works. Bergamo, Italy. ISMES Publ. 90: pp. 123-125.
- Heim, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. Beiblatt Vierteljahrsschrift Naturforsch. Gesell. Zürich, 77: 218.
- Hoek, E. 1987. Rockfall - a program in Basic for the analysis of rockfall from slopes. Unpubl. Notes, University of Toronto/Golder Associates.
- Jaboyedoff, M. and Labiouse, V., 2003. Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data. ISRM 2003 – Technology roadmap for rock mechanics. South African Inst. of Mining and Metallurgy: 575-578.
- Jonsson, M.J., 2007. Energy absorption of trees in a rockfall protection forest, PhD Thesis ETHZ No. 17214: 209 p.
- Kirkby, M.J. and Statham, I., 1975. Surface stone movement and scree formation, J. Geol. 83: 349-362.
- Lundström, T., Jonsson, M.J., Volkwein, A. and Stoffel, M., 2009. Reactions and energy absorption of trees subject to rockfall: a detailed assessment using a new experimental method. Tree Phys. 29: 345-359.

- Meissl, G., 1998, Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Fallbeispiele zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Bayerischen und Tiroler Alpenraum. Innbruck. Geog. Stud. 28: 249 p.
- Monnet, J.-M., Mermin, E., Chanussot, J., Berger, F. 2010. Tree top detection using local maxima filtering: a parameter sensitivity analysis. *Silvilaser 2010, the 10th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems*, September 14-17, Freiburg, Germany, 9 p.
- Pichler, B., Hellmich, Ch. and Mang, H.A., 2005. Impact of rocks onto gravel - design and evaluation of experiments. *Int. J. Impact Eng.* 31: 559–578.
- Pfeiffer T.J. and Bowen T.D., 1989. Computer simulation of rockfalls. *Bull. Ass. Eng. Geol.* XXVI: 135-146.
- Popescu, S.C., Wynne, R.H., Nelson, R.F., 2002. Estimating plot-level tree heights with lidar: local filtering with a canopy-height based variable window size. *Comp. Elec. Agric.* 37:71-95.
- Scheidegger, A.E., 1973. On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mech.* 5: 231-236.
- Spang, R.M., 1988. Empirical and mathematical approaches to rockfall protection and their practical applications. In: *Proc. 5th Int. Symp. Landslides*, Lausanne: pp. 1237-1243.
- Spang, M.R. and Krauter, E., 2001. Rock fall simulation - A state of the art tool for risk assessment and dimensioning of rockfall barriers. – *Int. Conf. Landslides; Causes, Impacts and Countermeasures*, 17-21 June 2001, Davos, Switzerland: pp. 607-615.
- Stoffel, M., Wehrli, A., Kühne, R., Dorren, L.K.A., Perret, S. and Kienholz, H., 2006. Assessing the protective effect of mountain forests against rockfall using a 3D simulation model. *For. Ecol. Manage.* 225: 113-222.
- Toppe, R. 1987: Terrain models - A tool for natural hazard mapping. In: Salm, B. and Gubler, H., (Eds.): *Avalanche formation, movement and effects*, IAHS Publ. 162: pp. 629-638.
- Van Dijke, J.J. and Van Westen C., 1990. Rockfall hazard, a geomorphological application of neighbourhood analysis with ILWIS. *ITC J.* 1: 40–44.
- Wu, S.S., 1984, Rockfall evaluation by computer simulation. *Transportation Research Record, Transp. Res. Board*, Washington, DC, Nr. 1031: pp. 1-5.
- Zevenbergen L.W. and Thorne, C.R., 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surf. Proc. Landforms* 12: 47-56.
- Zinggeler, A., 1990. Steinschlagsimulation in Gebirgswäldern – Modellierung der relevanten Teilprozesse, MSc. Thesis Univ. Bern, Geog. Inst.: 116 p.

## Liste des changements

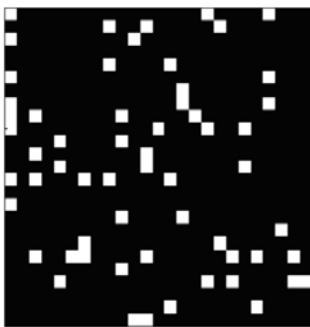
| Rockyfor3D Version | Date       | Changement dans le modèle (m) ou dans cette note (n)                                                                                                                                                                                              |
|--------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5.0                | 24.01.2012 | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Adapté la note pour la version 5.0 (n)</li> <li>– Changé la condition de roulement (petits rebonds) des blocs qui remontent une pente (m)</li> <li>– treefile.txt sans en-tête (m)</li> </ul>            |
| 5.0                | 15.02.2012 | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Changé la valeur Rn pour des routes goudronnées (m / n)</li> </ul>                                                                                                                                       |
| 5.0                | 1.03.2012  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Corrigé la description de la distribution (gamma) utilisée pour les valeurs DHP des arbres (p. 8) (n)</li> </ul>                                                                                         |
| 5.1                | 20.09.2012 | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Adapté la note pour la version 5.1 (n)</li> <li>– Rajouté des données de sortie : E_50.asc, E_90.asc, E_95.asc, E_98.asc, E_99.asc, Ph_50.asc, Ph_90.asc, Ph_95.asc, Ph_98.asc, Ph_99.asc (m)</li> </ul> |

## Annexe I. La rugosité des sols dans Rockyfor3D

Dans Rockyfor3D, la rugosité des unités géomorphologiques est uniquement déterminée par la taille des matériaux présents en surface et dans le sol : du gravier au bloc rocheux (c.f. [http://en.wikipedia.org/wiki/Particle\\_size\\_\(grain\\_size\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_size_(grain_size))). La rugosité, telle que définie dans Rockyfor3D, ne représente en aucun cas la microtopographie (i.e. les banquettes résultantes du passage répété de vaches sur une pente herbeuse). Cette rugosité représente, lors de l'impact d'un projectile rocheux, la capacité du sol impacté à agir comme un obstacle à la propagation du projectile. Nous proposons de n'utiliser que les valeurs du tableau ci-dessous pour caractériser les coefficients Rg70, Rg20 et Rg10.

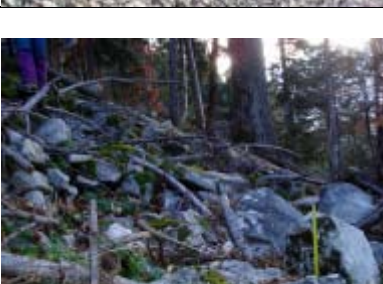
| Taille des éléments constituant la rugosité (MOH) | Valeurs possibles du coefficient de rugosité : Rg (en m) |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Aucune rugosité, aucun obstacle                   | 0                                                        |
| > 0 – 10 cm                                       | 0.03, 0.05, 0.08, 0.1                                    |
| > 10 – 50 cm                                      | 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.5                     |
| > 50 cm – 1 m                                     | 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1                                    |
| > 1 – 2.5 m                                       | 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2, 2.5                          |
| > 2.5 – 10 m                                      | 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10                                  |
| > 10 m                                            | 100                                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>■ = 70%</p><br> <p>■ = 20%</p><br> <p>■ = 10%</p> | <p>Aide visuelle pour la détermination des proportions de 70%, 20% et 10%</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|

## Annexe II. Exemples de valeurs de type de sol et de rugosités

| Photo                                                                               | rg70 | rg20 | rg10 | soiltype |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------|
|    | 0    | 0    | 0.05 | 6        |
|    | 0    | 0.05 | 0.1  | 5        |
|   | 0.25 | 0.5  | 0.9  | 4        |
|  | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 3        |
|  | 0.05 | 0.05 | 0.1  | 4        |

|                                                                                     |      |      |      |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|---|
|    | 0.05 | 0.1  | 0.2  | 4 |
|    | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 3 |
|   | 0    | 0    | 0.05 | 3 |
|  | 0    | 0    | 0    | 7 |
|  | 0.15 | 0.15 | 0.25 | 4 |
|  | 0.1  | 0.35 | 0.15 | 4 |

|                                                                                   |     |     |     |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|---|
|  | 0   | 0   | 0   | 1 |
|  | 100 | 100 | 100 | 0 |

| Soiltype (type de sol) | Description générale                                                                                           | Valeur moyenne de $R_n$ | Gamme de variation de $R_n$ |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 0                      | rivière, marécage, matériau dans lequel le bloc peut pénétrer complètement                                     | 0                       | 0                           |
| 1                      | sol fin (profondeur > 100 cm)                                                                                  | 0.23                    | 0.21 - 0.25                 |
| 2                      | sol fin (profondeur < 100 cm), et/ou sol de vallée composé de sables et graviers                               | 0.28                    | 0.25 - 0.31                 |
| 3                      | piste forestière, éboulis fin ( $\varnothing < \sim 10$ cm), sol moyennement compacté avec des petites pierres | 0.33                    | 0.30 - 0.36                 |
| 4                      | éboulis grossier – talus ( $\varnothing > \sim 10$ cm), sol compacté avec présence de pierres                  | 0.38                    | 0.34 - 0.42                 |
| 5                      | roche mère avec couvert fin de matériau altéré ou de sol                                                       | 0.43                    | 0.39 - 0.47                 |
| 6                      | roche mère                                                                                                     | 0.53                    | 0.48 - 0.58                 |
| 7                      | Route goudronnée (asphalte)                                                                                    | 0.35                    | 0.32 – 0.39                 |

# ANNEXE 2

Norme NF P 94-500

**Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p><b>ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)</b></p> <p>Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :</p> <p><u>Phase Étude de Site (ES)</u></p> <p>Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.</li> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.</li> </ul> <p><u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p><b>ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)</b></p> <p>Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :</p> <p><u>Phase Avant-projet (AVP)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.</li> </ul> <p><u>Phase Projet (PRO)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.</li> </ul> <p><u>Phase DCE / ACT</u></p> <p>Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).</li> <li>— Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.</li> </ul> |

**Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)**

**ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI**

**GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)**

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

**SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)**

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

**DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)**

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'état de l'état général de l'ouvrage existant.

Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie

# ANNEXE 3

Grille de risques

## Méthodologie de détermination du risque relatif aux chutes de masses rocheuses

Avril 2016

La qualification du risque relatif aux chutes de masses rocheuses (ou chute de blocs) dépend de la conjonction entre :

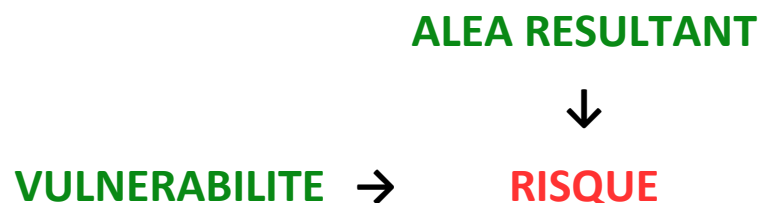
- un phénomène naturel représenté par le décrochement suivi de la chute puis de la propagation d'une masse rocheuse,
- la présence en dessous d'un enjeu caractérisé par une certaine vulnérabilité.

Le phénomène naturel est globalement qualifié par son **aléa résultant** qui est obtenu à partir du croisement entre :

- un **aléa de rupture** qui est qualifié en paroi. Il caractérise la probabilité de rupture, pour un délai donné, d'une masse de roche en place lors de l'étude.
- un **aléa de propagation** qui caractérise les conditions de propagation des blocs de roche vers l'enjeu.

La **vulnérabilité** est fonction de la nature de l'enjeu et des dommages potentiels qui pourraient lui être causé en cas d'atteinte par une trajectoire de blocs.

On retiendra :



# 1 CARACTERISATION DE L'ALEA DE RUPTURE

L'**aléa de rupture** (ou aléa de départ) est en premier lieu caractérisé par la possibilité qu'a une masse rocheuse à se décrocher d'une falaise.

Les masses rocheuses peuvent être :

- Des pierres (pour les éléments ayant un volume unitaire inférieur à 10 litres),
- Des blocs (pour les volumes allant jusqu'à quelques mètres cube),
- Des éboulements en masse pour des volumes atteignant plusieurs centaines voire des milliers de m<sup>3</sup>.

L'analyse géologique, généralement sur corde, d'une masse rocheuse permet d'étudier les différents facteurs déterminant sa chute. Il peut s'agir de sa géométrie (et notamment la position de son centre de gravité par rapport au point de basculement), son niveau de fracturation ainsi que l'état de ces fractures (discontinues ou pas, avec un remplissage ou pas ...), de données structurales telles que le pendage de la surface de décollement potentielle, le mécanisme de rupture envisagé mais aussi l'exposition aux intempéries de la zone étudiée ou la présence de végétation déstabilisante.

On définit ainsi l'aléa de rupture considéré à la date de l'étude.

| Aléa de rupture | Facteurs déterminant la rupture                                                          |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Très faible     | Aucun facteur déterminant n'est formellement reconnu sur site                            |
| Faible          | Les facteurs déterminants reconnus sur le site sont soit diffus, soit minoritaires       |
| Moyenne         | La majorité des facteurs déterminants sont reconnus sur le site.                         |
| Elevée          | Tous les facteurs déterminants sont reconnus sur le site                                 |
| Très élevée     | Tous les facteurs déterminants sont reconnus sur site avec des signes d'évolution active |

Cet aléa de rupture décrit la probabilité de chute d'une masse rocheuse au cours d'un **délai** qui est défini en fonction des besoins de l'étude ou de la durée d'exposition des enjeux considérés.

| Délai       | Description                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------------------|
| Long terme  | Supérieur à 10 ans                                                  |
| Moyen terme | De l'ordre de 2 à 10 ans                                            |
| Court terme | De l'ordre de 1 à 2 ans                                             |
| Imminent    | Le délai est suffisamment court pour imposer des mesures immédiates |

## 2 CARACTERISATION DE L'ALEA DE PROPAGATION

L'aléa de propagation caractérise la probabilité d'atteinte d'un enjeu lors de la propagation de bloc rocheux. Il tient compte de la topographie du site et de la proximité de l'enjeu par rapport à la zone de départ. Sa définition peut provenir soit d'un dire d'expert, ou être déterminé par une modélisation numérique de trajectographie.

| Aléa de propagation |                                                                   |                                                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                     | A dire d'expert :                                                 | Probabilité d'atteinte de l'enjeu par trajectographie : |
| Très faible         | L'atteinte de l'enjeu par une trajectoire semble quasiment exclue | $< 10^{-6}$ (soit $10^{-4}$ %)                          |
| Faible              | L'atteindre l'enjeu par une trajectoire serait exceptionnelle     | De $10^{-6}$ à $10^{-4}$ (soit $10^{-4}$ à $10^{-2}$ %) |
| Moyen               | L'atteinte de l'enjeu est envisageable                            | De $10^{-4}$ à $10^{-2}$ (soit $10^{-2}$ à 1 %)         |
| Elevé               | L'atteinte de l'enjeu par une trajectoire est très probable       | De $10^{-2}$ à 0.8 (soit 1 à 80 %)                      |
| Très élevé          | L'atteinte de l'enjeu par une trajectoire est quasiment garantie  | $> 0.8$ (soit 80 %)                                     |

La définition des zones d'aléa par trajectographie est valable pour des trajectoires ponctuelles (il s'agit de bloc isolé dont la propagation est indépendante d'autres blocs i.e. pas de contact ni d'interactions entre les blocs). Cette définition des aléas de propagation ne prend pas usuellement en compte les phénomènes d'éboulements en masse qui modifient les conditions de propagation des blocs.

Les niveaux d'aléas résultants des calculs de trajectographie sont en générale appliqués de façon synthétique à un secteur d'étude et sont donc représentatifs du comportement de partie de versant ou de falaises vis-à-vis des enjeux situés à l'aval.

### 3 DEFINITION DE L'ALEA RESULTANT

Il est issu du croisement entre l'aléa de rupture et l'aléa de propagation, il sera caractérisé par cinq niveaux d'intensité. Le tableau présenté ci-dessous est une aide à la décision qui permet de statuer sur le niveau d'aléa résultant pour la plupart des cas courant. Cependant, le choix final revient au géologue/géotechnicien chargé de l'étude, suivant son ressenti du terrain et son expérience provenant de cas similaires. Ainsi pour des aléas de propagation et de rupture donnés, le tableau permet plusieurs interprétations possibles laissées à l'appréciation du chargé d'étude.

|                 |             |                     |       |       |        |             |
|-----------------|-------------|---------------------|-------|-------|--------|-------------|
| Aléa de rupture | Très Faible |                     |       |       |        |             |
|                 | Faible      |                     |       |       |        |             |
|                 | Moyen       |                     |       |       |        |             |
|                 | Elevé       |                     |       |       |        |             |
|                 | Très Elevé  |                     |       |       |        |             |
|                 |             | Très élevé          | Elevé | Moyen | Faible | Très faible |
|                 |             | Aléa de propagation |       |       |        |             |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Aléa résultant très élevé  |  |
| Aléa résultant élevé       |  |
| Aléa résultant moyen       |  |
| Aléa résultant faible      |  |
| Aléa résultant très faible |  |

## 4 CARACTERISATION DU RISQUE

On rappelle que la notion de risque résulte du croisement entre la présence d'un enjeu défini par une vulnérabilité et le niveau d'aléa résultant suivant le principe :



Le niveau de vulnérabilité exprime le niveau de conséquences prévisibles du phénomène naturel sur les enjeux. La vulnérabilité est surtout conditionnée :

- Par la gravité des dommages subis en cas d'atteinte par des éléments rocheux.
- Par la durée d'exposition de l'enjeu sous le phénomène naturel rocheux.

D'une manière générale, si la définition de l'aléa résultant est du domaine du bureau d'études, la caractérisation de la vulnérabilité est du ressort du Maître d'ouvrage et donc des indications qui nous sont fournies.

En l'absence d'instruction ou sur demande du Maître d'ouvrage, le risque pourra en première approche être calqué sur le niveau d'aléa résultant, sans tenir compte de l'enjeu.

A titre indicatif, on pourra retenir la classification suivante pour la vulnérabilité :

| Conséquences sur les enjeux                                                                                                                                                                                    |                                                                   |                                                                                                                                                                 | Vulnérabilité   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Bâtiments et infrastructures                                                                                                                                                                                   | Routes                                                            | Personnes                                                                                                                                                       |                 |
| Endommagement sans mise hors service d'une infrastructure, impact de mur ou d'une partie de la structure d'une maison sans perforation                                                                         | Axe départemental d'intérêt local avec déviation possible         | Passage ponctuel à fréquence annuelle sous une zone concernée par des phénomènes de chutes de pierres et de blocs, sans stationnement                           | Limitée         |
| Percussion avec destruction <u>d'une petite partie</u> du bâtiment ou de l'infrastructure (perforation du toit ou du mur par exemple). Il peut conduire à la mise hors service ponctuelle d'une infrastructure | Axe départemental d'intérêt cantonal avec déviation possible      | Passage ponctuel à fréquence mensuelle ou hebdomadaire sous une zone concernée par des phénomènes de chutes de pierres et de blocs, sans stationnement          | Modérée         |
| Destruction ou écrasement complet ou en grande partie de bâtiments, impacts multiples de pierres ou de blocs sur un mur avec perforation certaine. Mise hors service temporaire d'une infrastructure           | Axe d'intérêt départemental (avec déviation complexe à envisager) | Stationnement sous une zone exposée à des chutes de pierres et de blocs durant une période de l'ordre du mois : c'est le cas de figure d'un chantier temporaire | Importante      |
| Le phénomène conduirait à la destruction de l'enjeu ou de l'infrastructure et concerne plusieurs bâtiments (plusieurs parcelles) ou des constructions à forte densité de population (immeubles...)             | Axe départemental structurant, route nationale / Autoroute        | Stationnement permanent sous une zone exposée à des chutes de pierres et de blocs = cas de figure d'un site touristique, d'un passage urbain ...                | Très importante |