



Septembre 2016

ETUDE DE BASSIN DE RISQUE Forêt domaniale du Nant des Granges



Missions d'intérêt général relatives aux actions de RTM, confiées à l'ONF par le Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt



OFFICE NATIONAL DES FORETS
Service départemental RTM
42 quai Charles Roissard – 73 026 Chambéry Cedex
Tél. : 04.79.69.96.05- Fax : 04.79.96.31.73
Mail : rtm.chambery@onf.fr - Web : www.onf.fr



Cliché page de garde :*Bâtiments de chez Michaud emportés par le glissement de 1931 (RTM, 16/03/1931)***Etabli par :**

Service de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) de la Savoie
ONF

42 Quai Charles Roissard
73026 Chambéry Cedex
Tel : 04.79.69.96.05 – Fax : 04.79.96.31.73
Mail : rtm.chambery@onf.fr

| Date du dernier enregistrement | Désignation du document | Numéro de devis | Nombre de pages |
|--------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| 12/12/2016 | <i>Etude de Bassin de Risque de la forêt domaniale du Nant des Granges</i> | Sans objet | 95 |

| | Nom Prénom | Fonction |
|---------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| Auteur | Dupire Pierre | Géologue |
| Relu et validé par | David Binet | Responsable de la cellule expertise |
| | Caroline Brobecker | Ingénieur travaux |
| | Laurent Voisin | Chef de service |

Suivi des versions :

| Version | Date | Observations |
|---------|------|--------------|
| V1 | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| SOMMAIRE | 4 |
| TABLE DES FIGURES | 6 |
| TABLE DES TABLEAUX | 7 |
| PREAMBULE | 8 |
| I PARTIE 1 : CONTEXTE ET OBJECTIFS | 8 |
| I.1 Cadre de l'étude | 8 |
| I.2 Equipe de projet | 8 |
| I.3 Objectifs | 8 |
| I.4 Contexte géographique et périmètre d'étude | 9 |
| II PARTIE 2 : HISTORIQUE DE L'ACTIVITE DU GLISSEMENT | 11 |
| II.1 Evénement(s) antérieurs(s) à 1931 | 11 |
| II.2 Glissement de mars 1931 (glissement principal) | 12 |
| II.3 Années 1933 - 1943 | 14 |
| II.4 Glissement de 1944 | 15 |
| II.5 Glissement de 1957 | 15 |
| II.6 Glissement de 1964 | 16 |
| II.7 Glissement du 11 Décembre 1971 (1970) | 16 |
| II.8 Années 1980 - 1990 | 17 |
| II.9 Années 2000 | 17 |
| II.10 Glissement d'avril 2015 | 17 |
| III PARTIE 3 : PRESENTATION DU BASSIN DE RISQUE | 18 |
| III.1 Caractéristiques du bassin de risque | 18 |
| III.2 Contexte géologique | 19 |
| III.3 Contexte hydrologique et hydrogéologique | 21 |
| III.3.1 Le réseau hydrographique | 21 |
| III.3.2 Hydrologie | 21 |
| III.3.3 Hydrogéologie | 21 |
| III.4 Analyse géophysique | 22 |
| III.5 Mécanisme des glissements | 24 |
| III.6 Description géomorphologique - observations de terrain | 25 |
| III.7 Qualification de l'aléa glissement de terrain | 28 |
| III.7.1 Carte de susceptibilité aux glissements | 28 |
| III.7.2 Carte d'activité | 32 |
| III.7.3 Carte de l'aléa glissement de terrain | 33 |
| III.8 Description des peuplements forestiers | 34 |
| III.8.1 Essences | 34 |
| III.8.2 Structures | 36 |
| III.9 Enjeux exposés | 38 |
| III.9.1 Bâti / infrastructures | 38 |
| III.9.2 Enjeux environnementaux | 38 |
| III.9.3 Enjeux culturels et sportifs | 38 |
| III.9.4 Enjeux économiques | 39 |
| III.9.5 Prise en compte du risque dans l'urbanisme | 41 |
| IV PARTIE IV - DESCRIPTION DES DISPOSITIFS DE PROTECTION | 42 |
| IV.1 Boisement – génie biologique | 42 |
| IV.2 Drainage | 44 |
| IV.3 Barrages seuils – canal d'écoulement | 47 |
| IV.4 Plages de dépôt – digue | 49 |
| IV.5 Contrôle des déplacements du glissement de terrain | 52 |
| IV.6 Entretien des ouvrages | 53 |
| IV.7 Synthèse financière des ouvrages et interventions | 54 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| V | PARTIE 5 : EXAMEN DES DISPOSITIFS EXISTANTS | 55 |
| V.1 | Efficacité / état / utilité des ouvrages | 55 |
| V.1.1 | Boisement..... | 55 |
| V.1.2 | Drainages | 56 |
| V.1.3 | Barrage – seuils..... | 57 |
| V.1.4 | Plage de dépôt..... | 58 |
| V.1.5 | Contrôle des déplacements du glissement de terrain | 58 |
| V.2 | Comportement au-delà du scénario de référence..... | 59 |
| V.3 | Comportement en cas de défaillance du dispositif | 59 |
| VI | PARTIE 6 : SYNTHESE SUR LES RISQUES | 61 |
| VI.1 | Bilan sur l'aléa | 61 |
| VI.2 | Bilan sur les enjeux | 61 |
| VI.3 | Bilan sur les risques | 61 |
| VII | PARTIE 7 : PERSPECTIVES / DEFINITION DE LA STRATEGIE DE GESTION ET D'AMENAGEMENT DE LA DIVISION DOMANIALE | 62 |
| VII.1 | Stratégie de gestion | 62 |
| VII.2 | Proposition de travaux et actions..... | 63 |
| VII.3 | Programmation des dépenses et actions | 64 |
| VIII | ANNEXES | 65 |
| VIII.1 | Annexe 1 : bibliographie | 65 |
| VIII.2 | Annexe 2 : analyse hydrologique du Nant des Granges | 68 |
| VIII.3 | Annexe 3 : clichés historiques du RTM | 74 |
| VIII.4 | Annexe 4 : Extrait de l'étude de l'ADRG T | 84 |

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Carte des Bauges (Source PNR des Bauges) - Localisation de la zone d'étude... | 9 |
| Figure 2 : Périmètre d'étude et limite de la forêt domaniale | 10 |
| Figure 3 : Extrait de la carte de l'état-major de 1863 | 11 |
| Figure 4 : Vue d'ensemble de la partie sommitale du glissement de 1931..... | 12 |
| Figure 5 : Coulée de boue sur le cône de déjection au niveau des Granges en 1931..... | 13 |
| Figure 6 : Etalement des coulées de boues 1931 | 13 |
| Figure 7 : Zonage du glissement de 1931 sur la carte de l'Etat-major | 13 |
| Figure 8 : Bâtiments de chez Michaud emportés par le glissement de 1931..... | 14 |
| Figure 9 : Lave boueuse sur le cône des Granges en 1944..... | 15 |
| Figure 10 : Arrachement en amont de la gorge des Manauds en 1957..... | 15 |
| Figure 11 : Coulée de 1964 | 16 |
| Figure 12 : Carte du glissement de 1964..... | 16 |
| Figure 13 : Comparaison des clichés aériens de 1971 et de 1972..... | 16 |
| Figure 14 : Glissement de 2015..... | 17 |
| Figure 15 : Géomorphologie du site..... | 18 |
| Figure 16 : Extrait de la carte géologique du BRGM..... | 20 |
| Figure 17 : Reconstitution schématique de la coupe géologique | 20 |
| Figure 18 : Localisation des profils de prospection mission de 1958 CGG | 22 |
| Figure 19 : Coupes géophysiques des sondages mission de 1958 CGG | 23 |
| Figure 20 : Mécanisme des glissements principaux..... | 24 |
| Figure 21 : Description des mouvements sur la partie haute du bassin | 25 |
| Figure 22 : Zone mouilleuse avec végétation hydrophile | 26 |
| Figure 23 : Arrachement récent..... | 26 |
| Figure 24 : Trainée dans le versant correspondant au glissement de 1971 | 27 |
| Figure 25 : Carte des pentes | 28 |
| Figure 26 : Carte du réseau hydrographique et des sols hydromorphes..... | 30 |
| Figure 27 : Carte de susceptibilités aux glissements | 31 |
| Figure 28 : Activité du glissement..... | 32 |
| Figure 29 : Carte de l'aléa de glissement de terrain..... | 33 |
| Figure 30 : Carte de répartition des essences forestières..... | 35 |
| Figure 31 : Carte de répartition des structures forestières | 37 |
| Figure 32 : Dépliant à destination du public sur l'histoire du site | 39 |
| Figure 33 : Carte des principaux enjeux | 40 |
| Figure 34 : Extrait du PIZ du Châtelard (..... | 41 |
| Figure 35 : Pépinière en 1932 | 42 |
| Figure 36 : Evolution du boisement entre 1937 et 1953..... | 42 |
| Figure 37 : Carte des plantations par secteurs et périodes (1943)..... | 43 |
| Figure 38 : Drains fermés (1932)..... | 44 |
| Figure 39 : Drains à ciel ouvert..... | 45 |
| Figure 41 : Carte du réseau de drains | 46 |
| Figure 42 : Décanteur situé à la jonction d'un drain ouvert / fermé | 47 |
| Figure 43 : « Grand » barrage en amont de la gorge des Manauds..... | 47 |
| Figure 44 : Plan d'exécution du barrage | 48 |
| Figure 45 : Seuils sur la partie supérieure du Nant des Granges..... | 48 |
| Figure 46 : Extrait de la carte des drains– localisation des seuils et du barrage | 49 |
| Figure 47 : Plan de la plage de dépôt en 1948 | 50 |
| Figure 48 : Plan d'exécution du prolongement de digue | 50 |
| Figure 49 : Plan d'exécution de la plage de dépôt de 2009 | 51 |
| Figure 50 : Cliché aérien de la plage de dépôt | 51 |
| Figure 51 : Suivi des déplacements en altitude | 52 |
| Figure 52 : Représentation dans l'espace des déplacements sur les bornes 1 à 10 | 52 |
| Figure 53 : Suivi de déplacement | 53 |

| | |
|---|----|
| Figure 54 : débroussaillage d'un drain ouvert | 53 |
| Figure 55 : Indice de Maîtrise de l'Aléa selon l'IRSTEA | 55 |
| Figure 56 : carte des drains avec zoom sur des secteurs où l'on observe un décalage avec la réalité | 56 |
| Figure 57 : Traces d'érosions sur la digue RD de la plage N°1 | 58 |
| Figure 58 : Situation des postes pluviométriques..... | 69 |
| Figure 59 : Pluies à pas de temps horaires..... | 71 |

Table des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Equipe de projet | 8 |
| Tableau 2 : Répartition de la forêt domaniale du Nant des Granges par bassin versant | 10 |
| Tableau 3 : Répartition de la forêt domaniale du Nant des Granges par commune | 10 |
| Tableau 4 : valeurs caractéristiques du bassin | 18 |
| Tableau 5 : débits du Nant des Granges | 21 |
| Tableau 6 : Démarche de définition des sensibilités des sols en fonction de leur nature et profondeur..... | 29 |
| Tableau 7 : classes de susceptibilité aux glissements | 31 |
| Tableau 8 : grille de qualification de l'aléa glissement de terrain..... | 33 |
| Tableau 9 : répartition des essences forestières (source : inventaires réalisés dans le cadre de l'aménagement forestier 2009-2023) | 34 |
| Tableau 12 : bilan financier estimatif des travaux entrepris | 54 |
| Tableau 13 : programmation des dépenses et des actions..... | 64 |
| Tableau 13: Pluie moyenne annuelle..... | 69 |

Préambule

Le plan ainsi que la méthodologie adoptés dans le présent rapport sont fondés sur la **note de cadrage sur les études de bassins de risques domaniaux relatives aux glissements de terrain**, diffusée le 23 mai 2014 et rédigée par M. Truche, référent national « glissement de terrain » des services RTM.

I Partie 1 : Contexte et objectifs

I.1 Cadre de l'étude

Le présent rapport est initié dans le cadre des études de bassins de risques pour les forêts domaniales RTM financées par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF), et répond à un cahier des charges fixé par la direction technique RTM. Ces études sont réalisées pour apporter des éléments de connaissance approfondis du fonctionnement des bassins versants et des phénomènes qui s'y développent.

Le bassin versant du Nant des Granges est affecté, depuis plus d'un siècle, par des phénomènes de glissements de terrain dont le principal, celui de 1931, fit d'importants dommages. Depuis, de nombreux événements de moindre ampleur ont été répertoriés. Acquis à partir de 1931, les terrains constituant la Division Domaniale ont été reboisés en grande partie, dans un rôle de protection, et de nombreux ouvrages de génie civil et de drainage ont été entrepris dans le bassin versant.

Le but de la présente étude est d'appréhender le niveau de maîtrise de l'aléa atteint par ces dispositifs, et de juger de leur efficacité. Cette évaluation permettra de fixer les règles de gestion de la Division Domaniale pour les années à venir.

I.2 Equipe de projet

Les intervenants en charge de cette étude sont :

| Nom | Fonction | Rôle dans l'étude |
|--------------------|-------------------------------|--|
| DUPIRE Pierre | Géologue | Chargé de l'étude - rédacteur |
| WASZAK Didier | Technicien territorial | Accompagnement visite de terrain, partage des connaissances, information sur l'historique du dispositif et des travaux, relecture. |
| ETCHEVERRY David | Hydraulicien | Analyse hydrologique |
| BROBECKER Caroline | Ingénieur travaux Savoie Nord | Relecture |
| BINET David | Chef de la cellule expertise | Relecture |
| VOISIN Laurent | Chef de service | Validation |

Tableau 1 : Equipe de projet

I.3 Objectifs

Les objectifs de l'étude sont multiples. Au niveau local, l'objectif principal est de définir une stratégie d'intervention pertinente sur les dispositifs RTM s'appuyant sur :

1. une description complète des aléas affectant le bassin versant,
2. un bilan des actions de défense réalisées par le passé,
3. une analyse de risques susceptibles de menacer les enjeux recensés,
4. une analyse de l'efficacité du système de défense,
5. la proposition d'une stratégie de gestion et/ou d'aménagement pour l'avenir.

Dans un cadre plus global, les études de bassins versants ont également pour objectif de rationaliser l'action de l'Etat dans le domaine de la prévention des risques naturels. Il s'agit pour les services RTM d'aboutir à une clef de répartition des crédits de travaux suivant des critères les plus objectifs possibles (qu'une simple logique historico-géographique qui a longtemps prévalu).

1.4 Contexte géographique et périmètre d'étude

La division domaniale RTM du Nant des Granges est située dans le massif des Bauges en plein cœur de cette unité montagnarde. Elle se localise ainsi à une trentaine de kilomètres de Chambéry et d'Annecy.

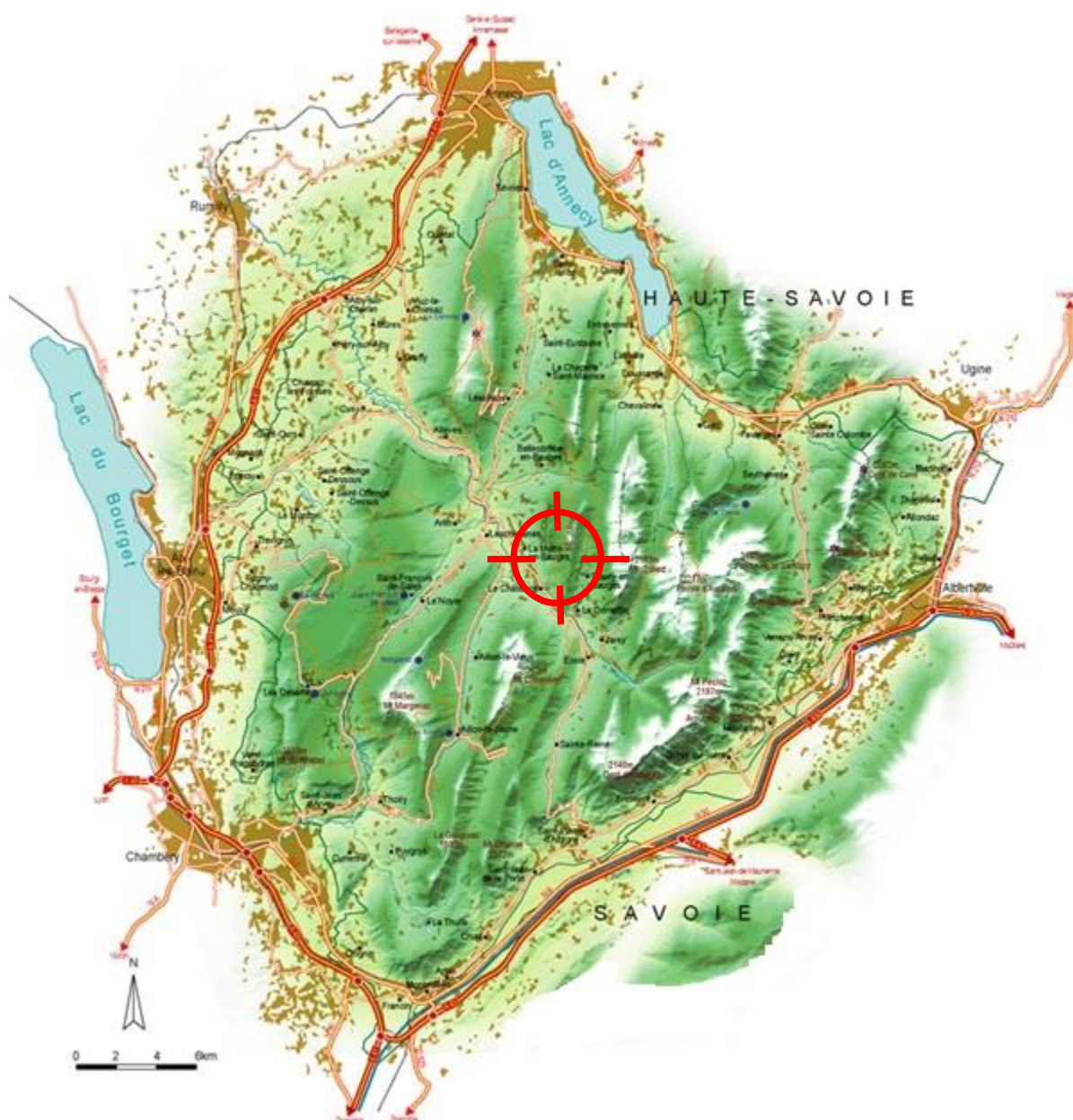


Figure 1 : carte des Bauges (Source PNR des Bauges) - Localisation de la zone d'étude

La forêt domaniale du Nant des Granges s'étend sur quatre bassins versants :

- Le BV du ruisseau de Bellecombe qui concerne une portion de la forêt au Nord du col du Plane ;
- Le BV du ruisseau transitant par le lieu-dit du Picot, qui concerne une partie de la division au Nord au débouché de la gorge des Manauds (commune de la Motte-en-Bauges) ;
- Le BV du ruisseau du Petit Mont sur l'extrémité Sud-Est de la forêt (non loin du Cernis) ;
- Et enfin, **le bassin versant du Nant des Granges** qui concerne l'essentiel de la division domaniale sur lequel la présente étude sera centrée.

La division domaniale du Nant des Granges couvre une surface de 246.84 ha. La grande majorité s'étend sur la commune du Châtelard. Des portions relativement limitées concernent également les communes de Doucy-en-Bauges, La Motte-en-Bauges et Bellecombe-en-Bauges.

| Bassin versant | Surface ha | % |
|--|------------|------|
| Nant des Granges (au niveau de la RD911) | 202,50 | 82 |
| Ruisseau de Bellecombe | 34,30 | 13,9 |
| Ruisseau transitant par Le Picot | 5,93 | 2,4 |
| Ruisseau du petit Mont | 4,11 | 1,7 |
| TOTAL | 246,84 | 100 |

Tableau 2 : Répartition de la forêt domaniale du Nant des Granges par bassin versant

| Commune | Surface ha | % |
|----------------------|------------|------|
| Châtelard | 239,39 | 96,9 |
| Bellecombe-en-Bauges | 4,06 | 1,6 |
| La Motte-en-Bauges | 3,37 | 1,4 |
| Doucy-en-Bauges | 0,02 | 0,1 |
| TOTAL | 246,84 | 100 |

Tableau 3 : Répartition de la forêt domaniale du Nant des Granges par commune

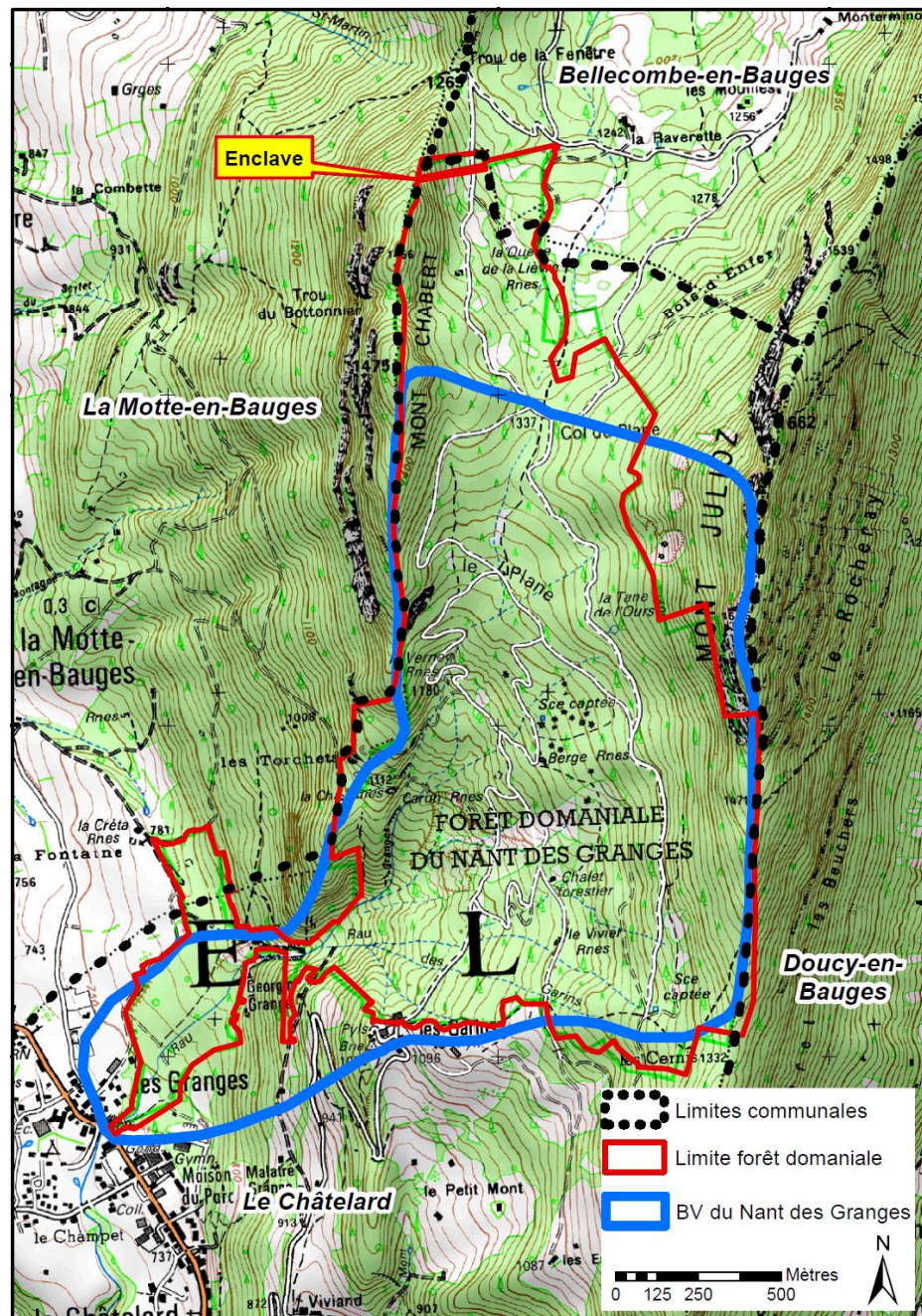


Figure 2 : Périmètre d'étude et limite de la forêt domaniale

II Partie 2 : Historique de l'activité du glissement

NB : une sélection de clichés historiques est proposée en annexe 3.

II.1 Événement(s) antérieurs(s) à 1931

Les premiers mouvements très actifs connus dans ce secteur datent de 1931. Cependant, un premier constat pourrait être évocateur des malheurs du passé avec l'ancien toponyme de l'appareil torrentiel de ce bassin : « Mellessine ». Son étymologie est en effet suggestive puisque du latin « *mala lessia* », soit mauvaise « *leysse* », méchant torrent, Leysse étant un synonyme savoyard de torrent. Ce nom, visible sur la carte d'état-major de 1863 (Granges de Mellessine) et dans un article de la RGA (Revue de Géographie Alpine) de 1931, n'est plus utilisé à partir des années 1970 d'après les diverses données consultées.

Les recherches dans les archives se sont avérées peu fructueuses avant l'événement de 1931. Seuls les éléments suivants sont signalés :

- Une étude de l'ADRGT (cf. bibliographie) de 1985 indique que « *l'examen de l'ancienne carte géologique d'Albertville au 1/80 000 dont le fond de plan date de 1895, montre qu'il existait à cette date un arrachement à l'aval de chez Carron et Verney* ». Affirmation corroborée après consultation de ce document dans nos archives.
- François Gex, dans un article de la revue de géographie alpine de 1931 indiquait qu'un particulier « *a confié que, d'après des archives de famille, il y aurait eu, il y a exactement 306 ans, donc en 1625, une coulée dévastatrice sur le cône des Granges* ».
- Enfin, une étude du BRGM de 1971 indique, sans autre précision, que « *les glissements et les coulées boueuses dans ce secteur sont connus depuis des siècles, on en compte 5 depuis 1930* ».

La carte de l'état-major de 1863 n'apporte pas d'information complémentaire à l'exception de montrer que l'essentiel du vallon n'était alors pas boisé, qu'il était ponctuellement habité, et que le hameau que l'on nomme aujourd'hui les Granges s'appelait bel et bien « Granges de Mellessine ».



Figure 3 : Extrait de la carte de l'état-major de 1863

II.2 Glissement de mars 1931 (glissement principal)

Le phénomène

Dès octobre 1930, des crevasses transversales sont apparues au niveau du Nant des Carons. En décembre, ces fissures s'élargissent et se généralisent jusque dans les bois des éboulis du Julioz et le long du Nant de la Roche. Elles forment alors une ligne de décollement de la masse meuble formant un entonnoir, soit une étendue de 800 m de longueur sur 500 de large. Le 7 janvier 1931, des crevasses toujours plus imposantes entraînent une alerte de l'Administration et des Ponts et Chaussées qui firent planter des témoins. A la fin du mois, le débit des nants s'engouffrait totalement dans les crevasses sans plus reparaître à l'aval. La ligne des témoins au travers des Michauds et des Carons s'éventre ; des fissures importantes apparaissent sur le bâti. L'ordre fut donné d'évacuer les Michauds.

Le mouvement se ralentit lors des froids d'hiver jusqu'aux pluies du début de mars qui déclenchent la débâcle. Le 9 mars, la plupart des maisons des Michauds se déstructurent ; celles des Carons sont chahutées.

Le 12 mars, la mise en mouvement s'opère vers 9h par bandes parallèles successives, larges de 10 à 30 m, et qui, tour à tour, glissaient les unes sur les autres jusqu'à ce que, perdant leur appui sur le gradin de confluence, elles furent emportées dans la pente de la gorge des Manauds. Le départ s'opéra donc non pas par la brusque ouverture d'une unique niche d'arrachement, mais par l'effondrement d'une première frange poussée hors du goulot de l'entonnoir, suivie par d'autres bandes déjà décollées au préalable, qui, obéissant à la pression de la masse amont, se présentaient successivement au vide de la gorge.



Figure 4 : vue d'ensemble de la partie sommitale du glissement (RTM, 1931)

La masse glissée, sous forme d'une coulée mêlée d'un fouillis inextricable de bois et de blocs rocheux issus de la moraine, a formé un bouchon dans le fond du goulot, au-dessus de la cascade. Le cours d'eau mit près de trois heures à l'évacuer. Vers midi, la coulée, presque liquide, déboucha de la gorge sur le cône de déjection. Elle a d'abord été canalisée par le lit faiblement encaissé du Nant des Granges, qu'elle a rapidement rempli et récuré de ses berges (arbres et blocs).

Peu à peu, sa propagation ralentit et à 21 h seulement elle atteignait, sans les toucher, les premières maisons des Granges, où elle s'y stoppait. Mais elle avait déblayé le goulot de la gorge et donc frayé la voie à la masse plus solide qui s'y était accumulée en amont. Cette masse se dégageait avec la pression et débouchait en bloc au pied de la cascade pendant que la coulée des Granges progressait vers le village. Le poids de sa surcharge, faite d'énormes paquets de moraine emmêlée de troncs d'arbres et de blocailles, l'amena à se tasser et à se décharger de tous ses éléments liquides. Ce fut l'origine des autres coulées latérales à celle des Granges qui s'épanchèrent en suivant la génératrice du cône.

En effet, le lit du Nant des Granges étant rempli par les dépôts, au matin du 13 on constata la présence de deux autres coulées beaucoup plus liquides que la première. Elles étaient rendues plus fluides par le torrent qui s'était remis à couler. Elles envahirent d'abord tout le sommet du cône dont elles recouvrirent les prairies et trouvèrent un chenal mieux prononcé plus à l'Est, par où, dans la nuit du 13 au 14, elles s'engagèrent dans la direction du quartier du Pré-de-Foire. Elles y trouvèrent une pente adoucie qui leurs permit de s'étaler en trois pointes très aplaties, mais épatées et nettement offensives contre la route de Lescheraine et ses maisons en bordure : le quartier du Pré-de-Foire, le garage du service automobile des Hautes Bauges et la gendarmerie.



Figure 5 : Coulée de boue sur le cône de déjection au niveau des Granges (RTM, 1931)

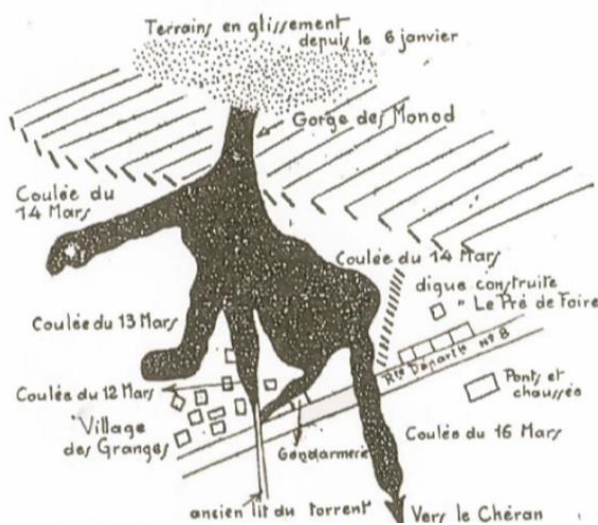


Figure 6 : étalement des coulées de boues (Le Petit Dauphinois du 20 mars 1931)



Figure 7 : zonage du glissement sur la carte de l'Etat-major (RGA, 1931)

Les dégâts

Dans l'entonnoir, la masse morainique, crevassée et ébranlée, affecte une longueur d'environ 800 m principalement le long du Nant des Carons. Tout ce terrain, bouleversé et profondément émietté principalement dans le bas, a perdu toute stabilité et toute valeur.

Depuis le pont du Pommier, la route qui les desservait est gondolée d'abord, puis tordue et emportée. Elle rendra de même impossible l'activité économique du secteur (coupes de sapins, exploitation des prairies).

Le bouleversement de la topographie nécessitera la refonte du plan cadastral, qui sera simplifiée par un achat en bloc et à bon compte par le Domaine ou la commune en raison de la dépréciation des terres, des abandons de propriétés et des difficultés de leur nouvelle délimitation.

Si les pertes foncières sont lourdes dans l'entonnoir, celles de la gorge des Manauds sont insignifiantes. Par contre, elles se retrouvent considérables sur le cône, où la coulée a recouvert les trois quarts du cône sur une étendue d'au moins 10 ha.

Dans l'entonnoir, les 15 ménages du Mont n'ont pas laissé de trace. Le quartier des Michauds est totalement anéanti avec ses 7 maisons d'habitation et leurs dépendances.

Aux Carons, il subsiste 3 bâtiments à demi écroulés. Furent abandonnés aussi les 3 granges des Berges, ainsi que tout le haut quartier des Jacques.

En bas, les 16 ménages des Granges ont fui également devant la menace de la coulée, avec leur mobilier et leur bétail.

Au total, le glissement aura « déraciné » au moins 100 personnes. Six millions de mètres cubes se sont déplacés sur plus de quarante hectares. Sur ce volume, on estime à plus de 100000 m³ les matériaux qui ont atteint le fond de vallée au niveau des Granges.



Figure 8 : Bâtiments de chez Michaud emportés par le glissement (RTM, 1931)

II.3 Années 1933 - 1943

Trois répliques, a priori sans trop d'incidences, sont signalées dans les archives en 1933, 1937 et 1939. Celles-ci seraient comprises dans l'emprise du glissement de 1931 et n'auraient pas causé de dégâts aux enjeux (peu d'éléments dans la bibliographie sur ces événements). Il s'agirait de tassements dans la zone touchée par le glissement de 1931 sans formation de laves.

II.4 Glissement de 1944

On ne dispose pas de récit de cet événement. Les seules précisions indiquent que le glissement s'est déclenché dans l'emprise du glissement de 1931, selon les mêmes caractéristiques : une saturation des sols par infiltration des eaux, provoquant une coulée boueuse au niveau du cône de déjection. Celui-ci s'est produit en deux temps les 11 et 14 novembre. Le dépôt atteignit le 2^{ème} étage d'une maison des Granges et la gendarmerie alors menacée fut évacuée. Une grange s'est effondrée de par la poussée du phénomène. 12 ha de plantations ont été détruits et de légers dégâts ont été relevés sur les constructions. Le volume de matériaux de lave a été estimé à 300 000 m³ par le RTM.



Figure 9 : Lave boueuse sur le cône des Granges (RTM, 1944)

II.5 Glissement de 1957

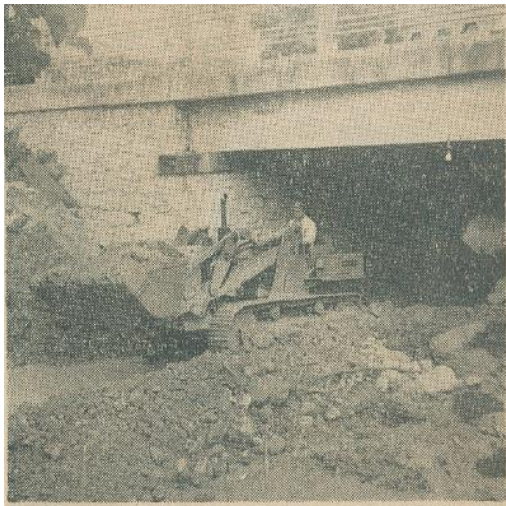
Ce glissement a affecté des terrains qui, en 1931 et 1944, s'étaient déjà mis en mouvement mais cette fois la zone glissée concerne des terrains plus proches de la gorge des Manauds à la cote 1100 m. Il se serait produit dans les mêmes conditions que les précédents, c'est-à-dire par infiltration des eaux provoquant un phénomène de solifluxion.



Figure 10 : Arrachement en amont de la gorge des Manauds (RTM, 1957)

II.6 Glissement de 1964

Un glissement s'est produit en octobre 1964 au niveau du hameau des Carons à 1100 m. Une importante masse remaniée par une poche d'eau souterraine s'est détachée emportant terre, rocher et arbres (1,5 ha de plantation détruits). La coulée s'engouffra dans la gorge des Manauds avant de se répandre sur le cône. Elle atteignit une hauteur de 4 m selon les points. Un bulldozer a dû intervenir pour « découper » la coulée au niveau du Pont des Granges.



Le bulldozer dégage le bouchon formé sous le « Pont des Granges »

Figure 11 : Coulée de 1964
(article DL 1964)

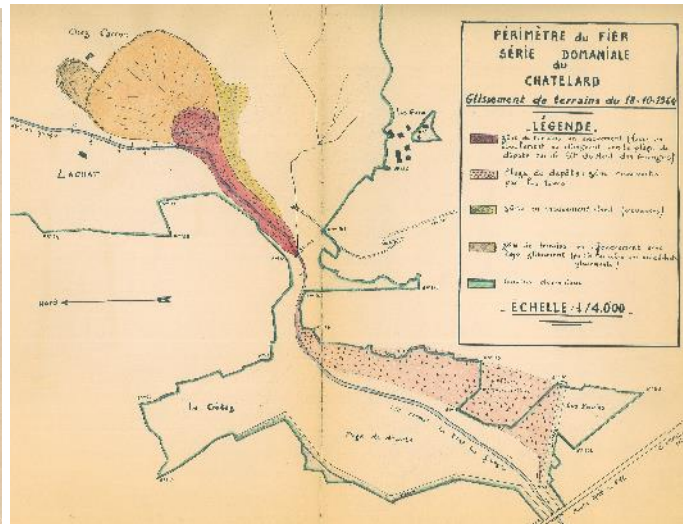


Figure 12 : Carte du glissement de 1964 (RTM, 1964)

II.7 Glissement du 11 Décembre 1971 (1970)

Attribué dans la majorité des documents à l'année 1970, ce glissement s'est pourtant produit le 11 décembre 1971. Le rapport de visite du BRGM ainsi que l'observation des photo-aériennes de l'époque corroborent cette affirmation.

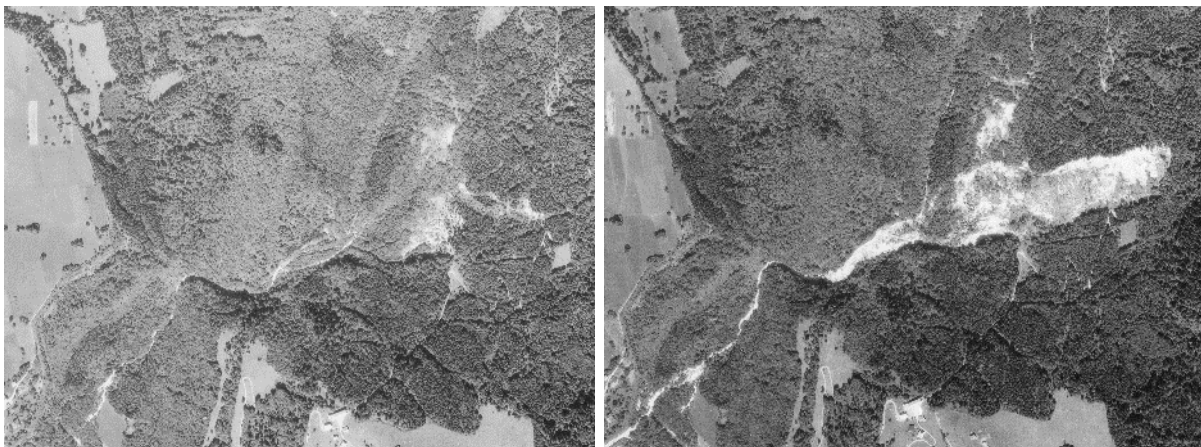


Figure 13 : Comparaison des clichés aériens du 28/08/1971(à gauche) et du 10/08/1972(à droite)

A parti du 11 décembre, un glissement s'est détaché vers la cote 1220 m. Sa zone d'arrachement forme une loupe donnant un escarpement de 50 m environ. La translation a été assez régulière et en masse car les arbres se sont inclinés mais restés debout (témoignant d'un mouvement relativement profond).

Cette langue en mouvement a une largeur de 120 m, une longueur de 500 m sur une épaisseur estimée, à l'époque, de 10 m. Celle-ci pousse des terrains meubles à la confluence de petits vallons ce qui a provoqué une petite réactivation du glissement de 1931.

Le BRGM donne la cause du problème, outre l'instabilité générale du versant, dans la rupture d'une conduite qui a débité dans le sol un certain temps. L'eau a modifié les propriétés physiques des argiles et provoqué une atteinte du seuil de plasticité entraînant un effet « savon ».

Une réplique ponctuelle de ce glissement est signalée en 1974.

II.8 Années 1980 - 1990

Une reprise partielle des mouvements a eu lieu en 1984 à l'aval de chez Verney. Celle-ci correspond sensiblement à une fissure d'arrachement de 1931.

En novembre 1992, de nouvelles fractures du sol s'observent ainsi qu'un tassement de l'ensemble de la zone. Le phénomène se confirme en 1995 puis en 1996 avec une régression et un tassement atteignant 2 m.

II.9 Années 2000

En 2000, une partie du terrain a dévalé la pente en partant des Verney vers 1200 m d'altitude. Ce sont 4 ha qui sont ainsi en mouvement sur le glissement Nord.

En avril 2009, un glissement s'est produit vers la côte 1150, sous la parcelle 8 du Verney, et a coupé le drain 30210 dans l'extension du glissement de 1931. La cause du phénomène a été associée à l'imbibition hivernale et printanière.

II.10 Glissement d'avril 2015

Le glissement a affecté les terrains déstabilisés des événements de 1931, 1944 et 1957. Il ne s'est pas étendu sur l'amont ; il reste limité au pied de « l'arbre bleu » du sentier thématique. Les racines en traction peintes pour le sentier sont toujours visibles ; elles ont été étirées encore plus. L'extension est plus importante coté Sud-Est, les deux passerelles franchissant des drains au droit du sentier thématique sont bousculées, les écoulements d'eaux sont désorganisés.

De nombreux arbres ont été déstabilisés et se sont retrouvés encroués. La zone des mires est entièrement remaniée par le glissement, certaines ont disparu.

L'ensemble s'amortit en partie aval vers la cote 1050-1100 sans incidents notoires. La zone des barrages du Nant des Granges n'est pas touchée ; elle reste protégée par la croupe naturelle.

La longueur du glissement est de l'ordre de 250 m pour une largeur de 100 m environ. On peut estimer le volume déstabilisé à au moins 150 000 m³.

Plusieurs drains sont sectionnés. L'eau de fonte s'écoule directement dans le terrain, provoquant des retenues d'eau. L'installation antérieure de mires a permis de mesurer des déplacements plurimétriques en dénivelée et jusqu'à 26 m en horizontal.



Figure 14 : Glissement de 2015 (RTM, 2015)

III Partie 3 : Présentation du bassin de risque

III.1 Caractéristiques du bassin de risque

Le bassin d'étude s'organise autour du Nant des Granges, affluent rive droite du Chéran, orienté Nord-Est / Sud-Ouest sur 3 km aux confins de Châtelard et de La Motte-en-Bauges.

La limite Nord du périmètre d'étude est marquée par le Col du Plane qui culmine à 1337 m. Le bassin repose entre les deux flancs d'un synclinal perché dont les crêtes urgoniennes qui le bordent sont d'altitudes assez inégales : celui du flanc Est, qui forme le Mont Julioz (1662 m) redressé à la verticale, forme une crête continue alors que celui du flanc Ouest (Mont Chabert culminant à 1475 m), modérément incliné à l'Est, forme seulement un ressaut.

Les crêtes urgoniennes s'infléchissent au Sud ce qui a permis d'abord aux glaciers, puis aux réseaux hydrographiques, d'échancrer une « cluse » (La Gorge des Manauds) sur le flanc Ouest.

Celle-ci débouche sur un cône de déjection qui s'étale sur une terrasse fluvio-lacustre formant un éventail sur environ 500 m suivant la génératrice de la gorge.

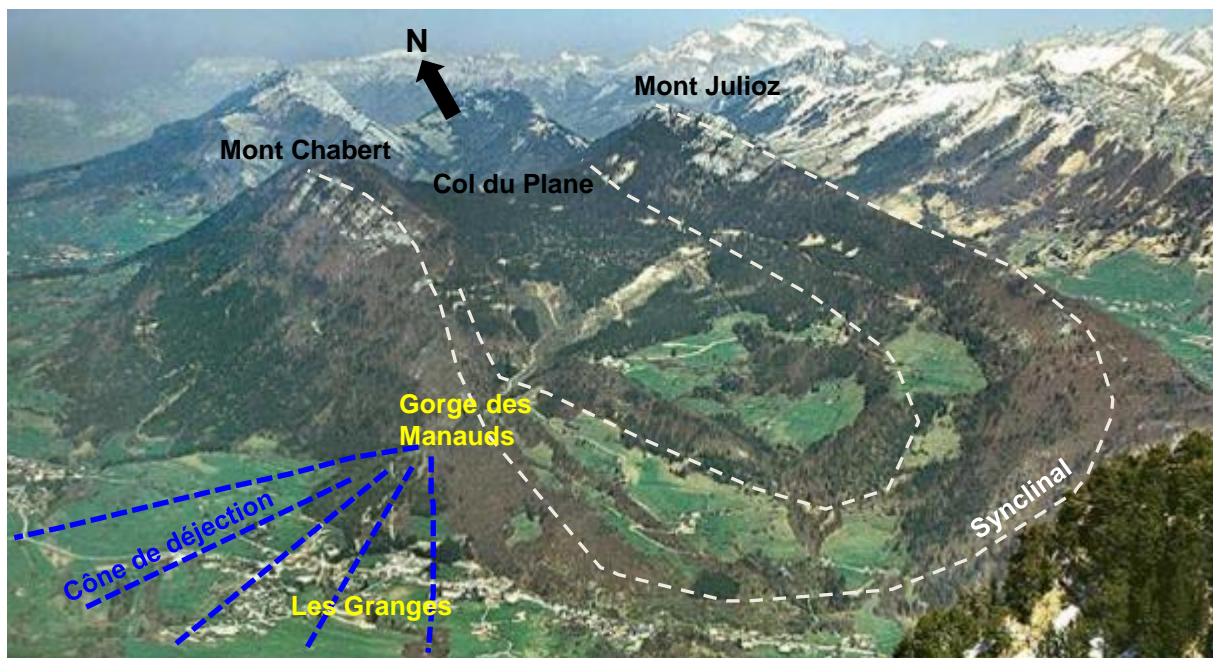


Figure 15 : Géomorphologie du site (cliché source : Gidon – www.geolalp.fr)

Le tableau suivant donne les grandeurs caractéristiques du bassin de risque du Nant des Granges :

| Paramètre | Valeur |
|--|-----------|
| Surface bassin de risque | 252,44 ha |
| Surface forêt domaniale concernée | 202,50 ha |
| Surface forêt domaniale | 246,84 ha |
| Altitude max de la zone d'étude et du BV | 1660 m |
| Altitude min du bassin à la confluence au Chéran | 640 m |
| Altitude min de la zone d'étude (au niveau de la RD911) | 736 m |
| Pente moyenne du bassin | 20° |
| Longueur du plus long chemin hydraulique sur la zone d'étude (au niveau de la RD911) | 2645 m |

Tableau 4 : valeurs caractéristiques du bassin

III.2 Contexte géologique

La zone d'étude se localise dans le massif de Bauges qui, dans l'alignement des massifs subalpins, s'intercalent entre les massifs de la Chartreuse et des Bornes.

Ce massif présente une structure plissée de couches formées par sédimentation marine à l'ère secondaire. Il est également caractérisé par une inversion de relief qui se présente par des anticlinaux érodés formant désormais des points bas et à l'inverse, des synclinaux qui forment les points hauts. Cela tient du fait que les couches subalpines sont formées d'une faible épaisseur de roche dure (Urgonien) reposant sur une épaisse couche de roche tendre (formations marneuses de l'Hauterivien). La surrection des Alpes a entraîné l'élévation et le plissement de ces couches qui se sont rapidement érodés compte tenu de l'épaisseur moindre de calcaire. Il en résulte alors des vals perchés encadrés de crêts externes.

C'est ainsi que s'est formé, à échelle plus locale, le bassin du Nant des Granges.

On y retrouve donc un couronnement urgonien (Barrémien et Aptien) qui présente des bancs calcaires compacts parfois à silex. La patine est toujours claire. Il s'agit pour l'essentiel de calcaires bioclastiques, graveleux ou oolitiques, mais on y trouve aussi des calcaires fins. Ils forment les crêts du Mont Julioz à l'Est et du Mont Chabert à l'Ouest. Ils affleurent également dans la gorge des Manauds.

Ceux-ci reposent sur des formations Marneuses et marno-calcaires (Hauterivien). Couches que l'on peut ponctuellement apercevoir directement au Nord du débouché de la gorge des Manauds.

Au centre du synclinal, les couches géologiques sont plus récentes. Les natures sont successivement (de bas en haut) :

- Gault (Aptien – Albien) : Calcaires biodétritiques grésoglaucieux et grès glaucieux,
- Sénonien (Cénomanien – Maastrichtien) : Calcaires lithographiques clairs à foraminifères planctoniques,
- Nummulitique (Yprésien – Lutétien) : Calcaires à grandes nummulites, calcaires lacustres,
- Flysch (Bartonien – Stampien) : Avec une succession d'abord de marnes à foraminifères, de schistes à Meletta et ensuite de Flysch marno-grésomiacé.

Les reconnaissances faites par CGG (Compagnie Générale de Géophysique) en 1958 ont mis en évidence que le fond du talweg principal est formé de schistes marneux dont l'altération superficielle produit des matériaux argileux.

Ces formations géologiques sont partiellement recouvertes par des matériaux morainiques à dominante silto-argileuse dont l'épaisseur semble varier de 10 à 20 m selon les secteurs (CGG 1958).

Enfin, au débouché de la gorge des Manauds, un cône de déjection s'étale dans la plaine, elle-même tapissée de formations glacio-lacustres.

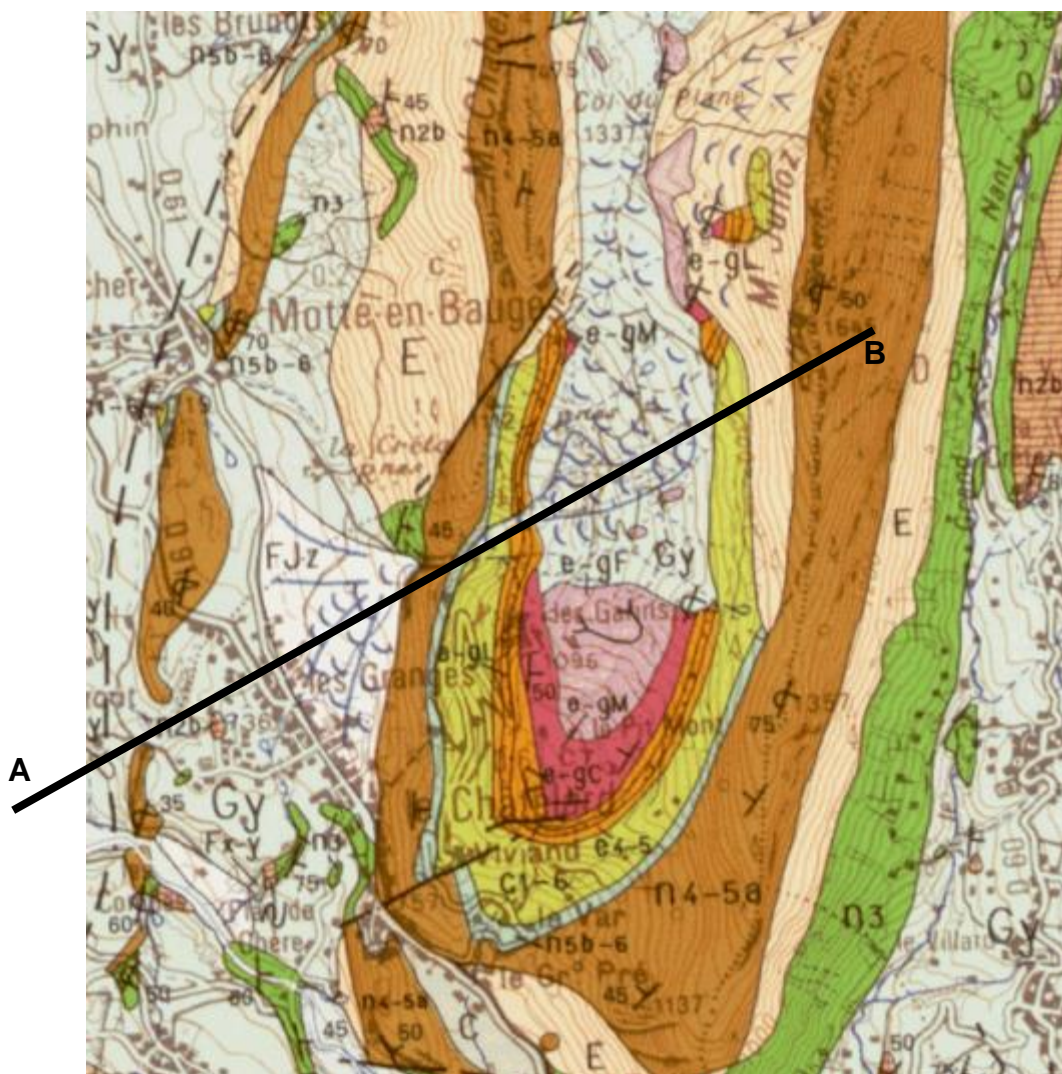


Figure 16 : Extrait de la carte géologique de la feuille 726 au 1/50000 du BRGM

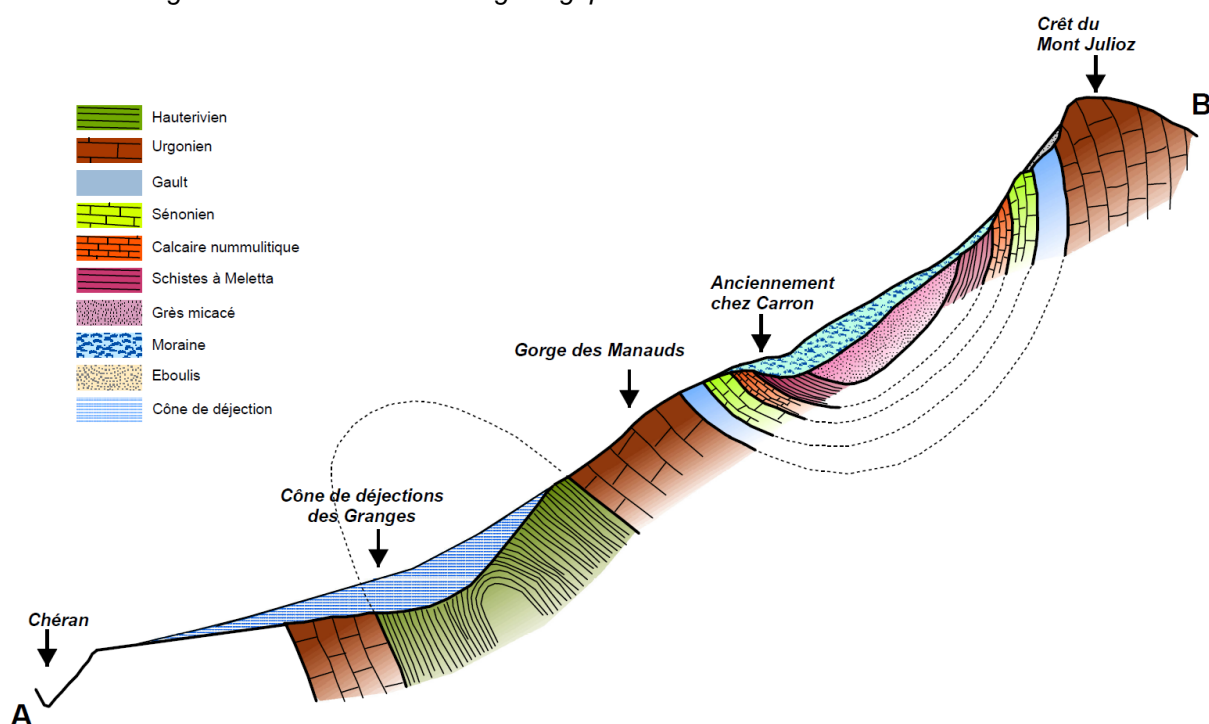


Figure 17 : Reconstitution schématique de la coupe géologique

III.3 Contexte hydrologique et hydrogéologique

III.3.1 Le réseau hydrographique

Le Nant des Granges est l'unité hydrographique principale du bassin. Il trouve sa source quelques dizaines de mètres en aval du col du Plane à environ 1330 m d'altitude. En amont du hameau des Granges, il a subi un affaissement d'axe caractéristique où les eaux ont creusé une gorge profonde : la gorge des Manauds. Il se déverse dans le Chéran affluent du Fier, lui-même affluent du Rhône.

Son affluent principal est le ruisseau des Garins en rive gauche. Un second affluent le rejoint au niveau des ruines de Chez Caron.

Notons que le chevelu des axes hydrauliques du bassin a été considérablement anthropisé au fil du temps avec divers aménagements (notamment des drains).

III.3.2 Hydrologie

Le torrent du Nant des Granges est peu actif concernant ses crues liquides. Seule une crue est mentionnée dans les archives RTM en juillet 1936 avec des dégâts sur les seuils et des drains.

Son régime saisonnier peut être assimilé à un régime nival, caractérisé par une hydrologie maximale résultante de la fonte des neiges sur les mois de mars à mai. Les périodes d'étiages, bien que peu marquées, sont enregistrées à la fin de l'été, principalement au mois d'août et au début de l'hiver en période de gel.

L'eau superficielle est relativement abondante dans ce bassin versant, ce qui s'explique par la valeur relativement élevée des précipitations dans la région des Préalpes, avec en moyenne 1600 mm d'eau par an.

L'analyse hydrologique, présentée en annexe 2, donne les débits de référence suivants :

| Période de retour | 10 ans | 100 ans |
|-------------------|-----------------------|---------------------|
| Débit | 3,5 m ³ /s | 8 m ³ /s |

Tableau 5 : débits du Nant des Granges

III.3.3 Hydrogéologie

De nombreuses zones de sorties d'eau, stagnations ou végétations hydrophiles s'observent sur le site du Nant des Granges malgré l'important réseau de drainage. Cela est en partie dû à un matériau très argileux en surface et aux nombreux replats et contrepentes créés par les mouvements successifs.

Ces eaux sont issues d'une part des eaux météoriques et d'autre part des eaux souterraines d'origine plus lointaine acheminées par un réseau de diaclases.

L'armature urgonienne et le fond du synclinal sont constitués de matériaux très perméables (calcaire, flysh, gault) ce qui permet d'importantes infiltrations d'eau dans le fond de la cuvette du synclinal. En revanche, on trouve des plaquages glaciaires du quaternaire totalement, ou presque, imperméable ce qui engendre une mise sous pression de ces eaux dans le substratum.

De nombreuses sorties d'eau peuvent être liées, selon une hypothèse de l'ADRGT dans son rapport de 1986, à la présence d'une faille d'axe Nord-Sud affectant le centre du synclinal déversé et qui se situerait au voisinage de la cote 1300 m.

III.4 Analyse géophysique

Deux études géophysique ont été réalisées sur le site, l'une en 1958 par la CGG (prospections électrique et sismique) et l'autre en 1985 et 1986 par l'ADRGT (prospections électriques, sismiques et sondages pénétrométriques). Ces missions sont relativement anciennes. Elles mettaient en évidence des zones de glissements actifs et zones de glissements lents, ce qui laisse aujourd'hui présager des évolutions ultérieures pouvant être ponctuellement significatifs, d'autant que des réactivations se sont produites depuis.

Des extraits de la mission de 1958 sont exposés ci-après. Ceux-ci donnent une bonne idée de la composition générale des sous-sols. La mission de l'ADRGT étant plus complète et bien plus technique, nous proposons d'en exposer des extraits en annexe 4 afin de ne pas alourdir la présente partie (les résultats sont intégrés dans l'analyse suivante).

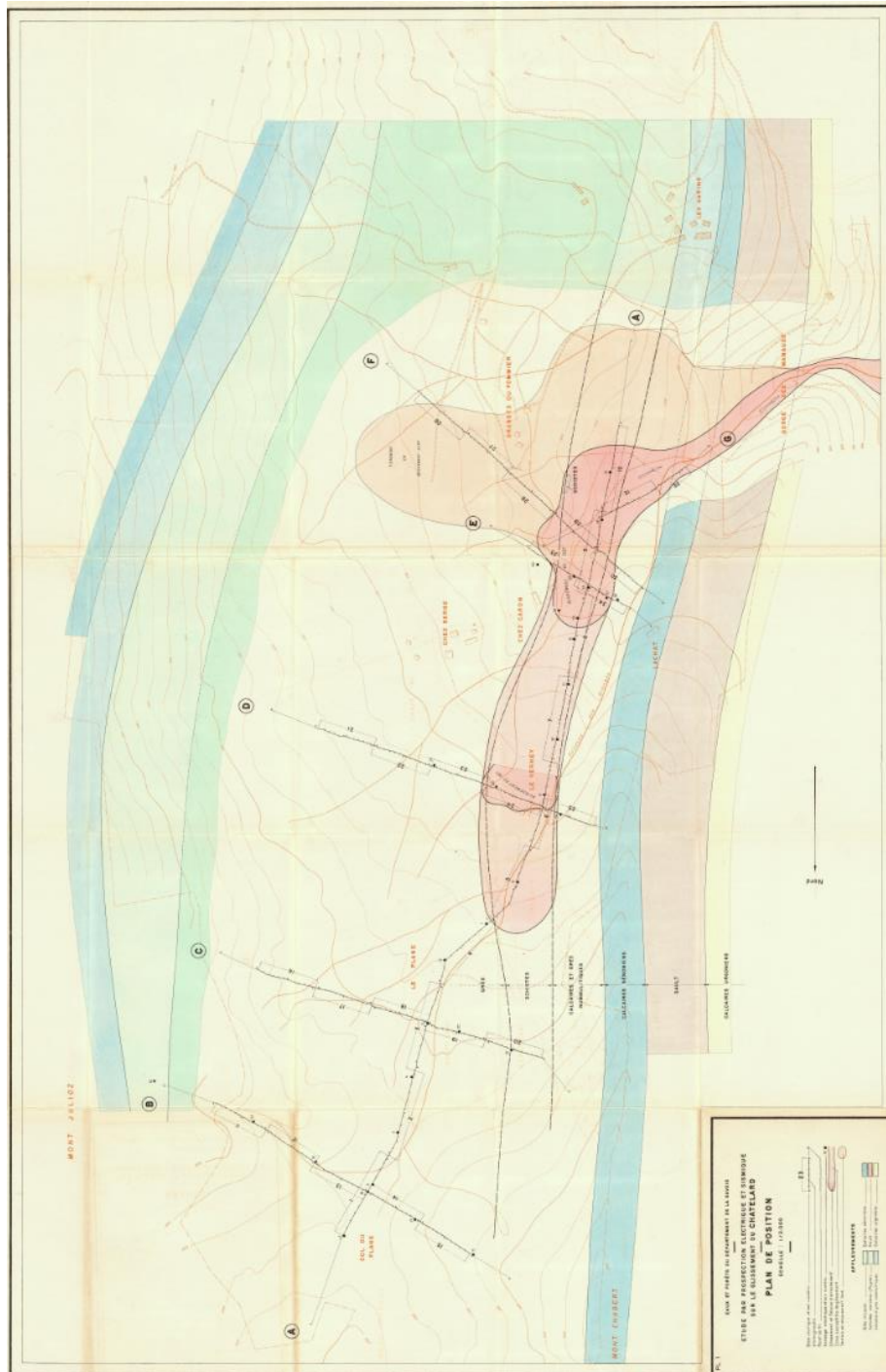


Figure 18 : localisation des profils de prospection mission de 1958 CGG (à associer avec la figure 19)

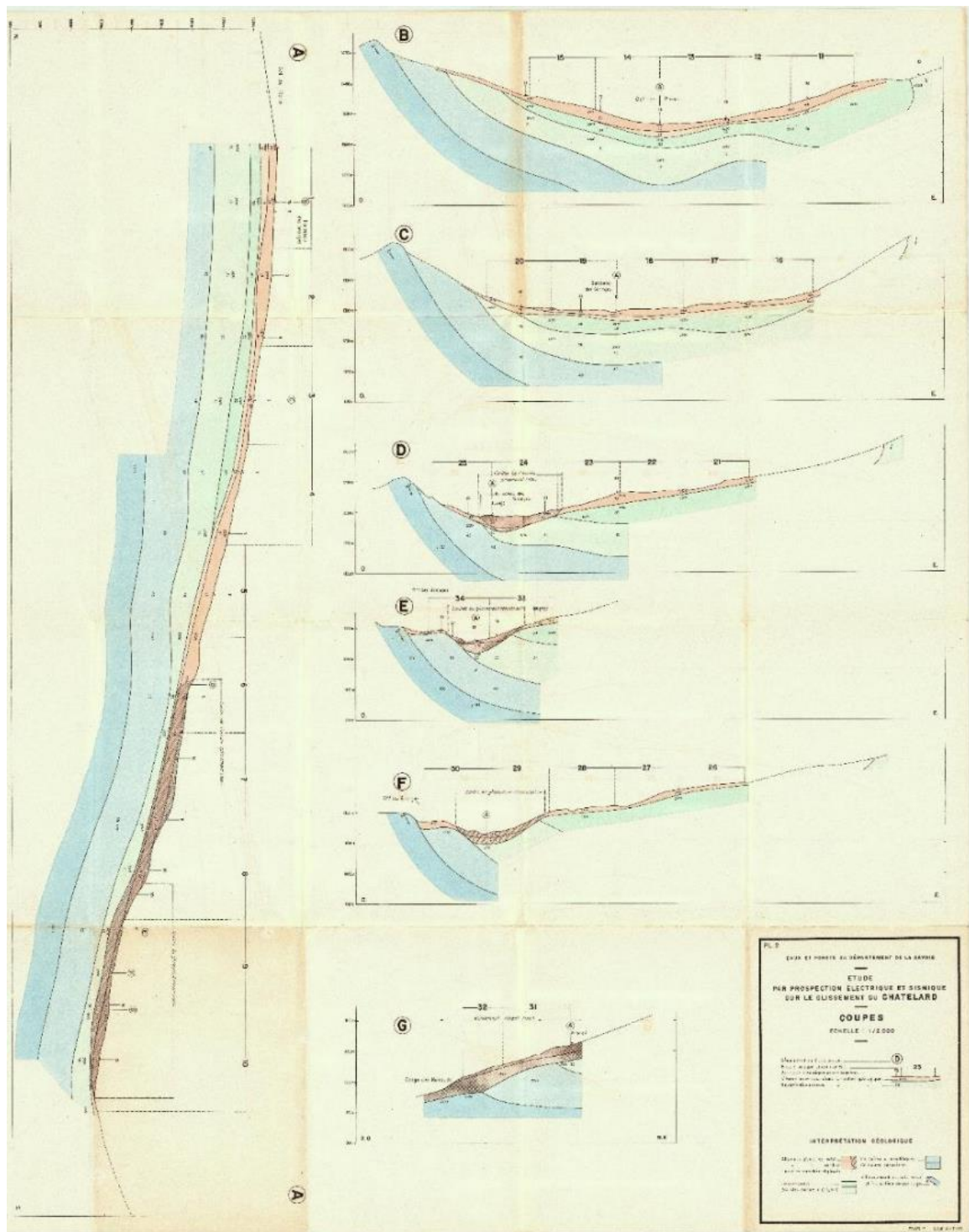


Figure 19 : Coupes géophysiques des sondages mission de 1958 CGG

L'analyse des études de la CGG et de l'ADRGT nous amène aux conclusions suivantes sur la profondeur du glissement et les mécanismes en jeu :

Sur les coupes transversales situées en amont des glissements, vers le col du Plane montrent la structure géologique du synclinal. Les grès micacés, probablement argileux, occupent le fond de cuvette et constituent le substratum général du recouvrement glaciaire. La partie argileuse de base de la moraine étant fréquemment très réduite, le contact moraine-grès n'apparaît pas très nettement. On peut néanmoins estimer l'épaisseur totale de la moraine à une vingtaine de mètres au maximum dans cette partie haute.

En se rapprochant de la zone des glissements, la morphologie du substratum se modifie : une vallée d'érosion se dessine dans les schistes au toit de la couche nummulitique et va en se creusant progressivement vers le Sud dans la zone des glissements actifs de la cote 1100 m. Cela paraît assez logique que ce soit la bande de schistes, plus tendre, que les autres formations du substratum qui ait été davantage atteinte.

En partie basse de la vallée, on constate une accumulation d'argiles qui ont vraisemblablement flué le long de la vallée avant de s'entasser à l'entrée de la gorge des Manauds. La partie basse des profils en long, ainsi que les zones actives montrent une épaisseur de 10 à 15 m de matériaux argileux et/ou de terrains glissés imbibés d'eau.

En bref, les sondages permettent d'observer un substratum schisteux au contact des glissements, une épaisseur de moraine relativement importante (entre 15 et 30 m), une accumulation d'argiles gorgées d'eau en partie basse.

III.5 Mécanisme des glissements

Les mouvements sont essentiellement dus à la présence d'une moraine à dominante argileuse reposant sur un substratum schisto-marneux s'altérant superficiellement en argile. Cet horizon imperméable canalise les eaux d'infiltration à son toit. De plus, cette moraine, de par sa pente, est déjà proche de sa limite de stabilité.

Les mouvements se déclarent donc d'abord en partie basse, près de l'échancrure de la gorge des Manauds. A ce niveau, la pente du terrain naturel s'accroît et les réseaux d'écoulement se concentrent sur une faible largeur saturant ainsi la totalité des matériaux.

Par régression, avec une suppression de la butée aval du versant, ces mouvements de solifluxion déstabilisent les terrains amont selon deux axes principaux :

- l'un, vers le Nord jusqu'à l'ancien lieu-dit du Verney (siège du glissement historique de 1931), avec en amont une déviation vers le Nord-Est en direction du Mont-Julioz,
- l'autre vers l'Est, correspondant au glissement de 1971.

L'aspect très allongé de ces zones en glissement actif montre que ces régressions se sont localisées suivant des axes de circulation d'eau existant en profondeur.

Les réactivations de type cycliques peuvent être expliquées par des montées progressives des pressions interstitielles en partie amont des masses glissées. Ces remontées sont dues à trois facteurs principaux :

- la modification, par les divers mouvements, des réseaux naturels d'écoulement,
- les stagnations d'eaux provoquées par les créations de contrepentes des terrains glissés,
- et l'éventuelle injection ponctuelle de l'eau des drainages dans les terrains chahutés.

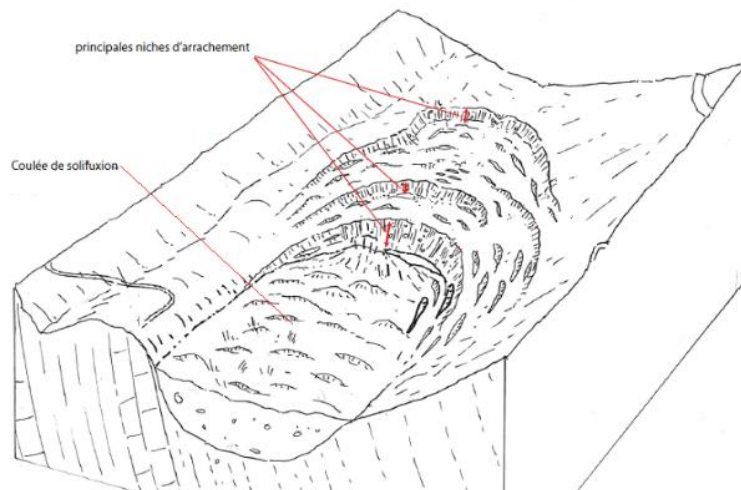


Figure 20 : mécanisme des glissements principaux

Concernant les mouvements des zones situées très en amont, leur origine est essentiellement due à la pente soutenue du terrain naturel comprise entre 30 et 40° (limite de l'équilibre) et aux importantes circulations d'eaux en partie haute du versant Est donnant ainsi des phénomènes de type coulées boueuses.

III.6 Description géomorphologique - observations de terrain

Remarque : Les reconnaissances de terrain s'avèrent aujourd'hui difficiles compte tenu de l'abondante végétation. Un parcours pédestre a été effectué, orienté par les traces visibles par photo interprétation et par l'historique. Par conséquent, il n'a pas été effectué de reconnaissances en « quadrillage » resserré et exhaustif du fait de cette difficulté à se repérer dans la zone boisée et de l'étendue du bassin.

Sur la partie haute, il a été observé une surépaisseur de matériaux morainiques au droit du Col du Plane, côté Est, à l'amont de la piste forestière. Cette surépaisseur disparaît rapidement côtés Nord et Sud, laissant apparaître la falaise du Mont Julioz. Cette accumulation de matériaux morainiques est probablement en mouvement lent (sol moutonné localement boursoufflé). Elle s'appuie sur le Col du Plane pour fluer ensuite lentement vers le Sud en direction de Verney. Plusieurs réactivations relativement récentes (absence de végétation) entaillent cette masse à la cote 1500 m environ. L'arrachement situé le plus au Sud est le plus actif. Il a affecté les matériaux morainiques et d'altération des schistes marneux, mettant à nu un affleurement de marnes schisteuses.

Ces matériaux en glissement ont dévalé la pente sous forme de coulées en direction de Verney et de Caron. Ce glissement allongé, long de 1200 m environ, a une largeur moyenne de 100 m. La profondeur de la surface en glissement, est d'après les études géophysiques d'environ 10 à 20 m. Bien que drainée, cette zone présente toujours des terrains humides avec une végétation hydrophile.

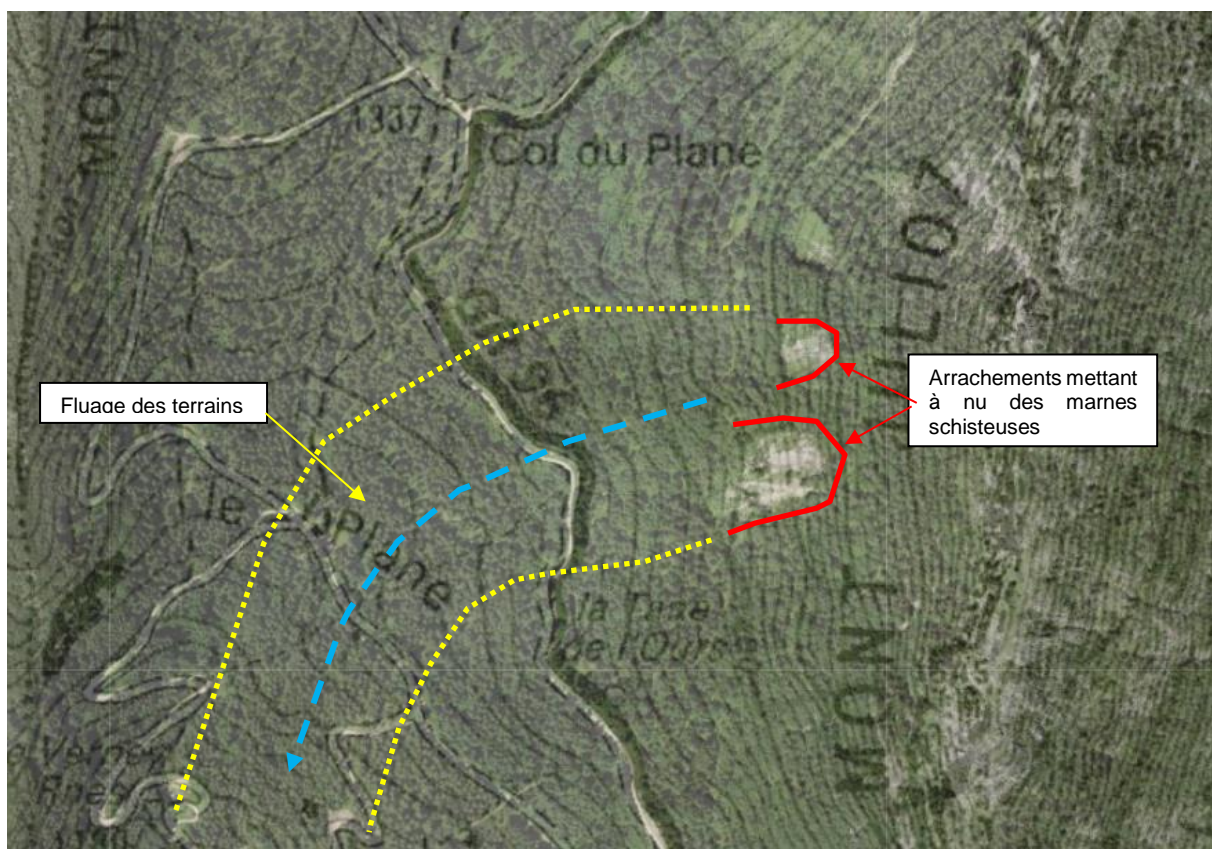


Figure 21 : description des mouvements sur la partie haute du bassin

En aval, entre Verney et Caron, les terrains montrent des mouvements plus actifs dans des formations morainiques ou d'altération de schistes marneux. Cette zone correspond aux

secteurs les plus affectés par les glissements de 1931 et leurs répliques successives. L'épaisseur des matériaux en mouvement serait ici de 25 m selon les reconnaissances géophysiques de CGG. En aval de Caron, les pentes s'adoucissent avec parfois même des replats constitués vraisemblablement de matériaux glissés, présentant alors des terrains particulièrement mouilleux (cf. figure 21). On y distingue la présence abondante de végétation hydrophile ainsi que de nombreuses zones de stagnation d'eau. Des arrachements récents se distinguent autour du sentier thématique des « maîtres du Mont Déserté ». Les plus frais correspondent à la réactivation du glissement d'avril 2015 (cf. figure 22). Dans cette zone, une partie des drains a été arrachée.



Figure 22 : zone mouilleuse avec végétation hydrophile



Figure 23 : arrachement récent

Ces mouvements, qui transitent de manière relativement active jusqu'à la Gorge des Manauds, sont également à l'origine du glissement de 1971. Ceux-ci ont provoqué l'effacement de la butée en pied de versant provoquant alors une régression vers l'Est dans l'axe de circulation d'eau. L'étude de l'ADGRT, mentionne la possible accentuation de ce

mouvement du fait d'une diaclase alignée sur la Gorge des Manauds, le long de laquelle se produisent des sorties d'eau d'origine lointaine. La zone semble aujourd'hui moins active. Les terrains, vestiges du glissement de 1971, ne présentent pas de signe de réactivation. Ceux-ci ont été regagnés par une végétation majoritairement composée de feuillus qui dessinent une trainée sur le versant (cf. figure 23).

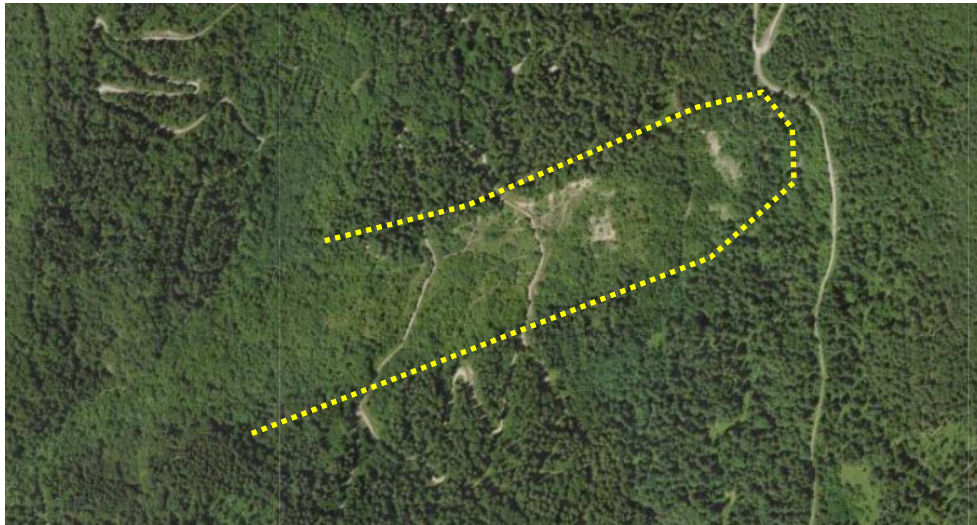


Figure 24 : trainée dans le versant correspondant au glissement de 1971 (Orthophoto IGN de 2012)

Au niveau de Vivier (en amont des Garins), le substratum marneux est subaffleurant. La fine épaisseur de matériau décomprimé est ponctuellement saturée en eau (zones marécageuses visibles). Ce secteur subit donc probablement des mouvements lents par fluage superficiel. Immédiatement à l'amont, une régression reste possible du fait de l'augmentation de la pente.

Entre les glissements de 1931 (et leurs répliques) et celui de 1971, une croupe située sur « Chez Berge » semble plus stable.

En amont de l'ancienne maison forestière (cabane de chasse aujourd'hui), se dessine une butte qui ne présente pas de signe d'instabilité. Le substratum est probablement proche expliquant ainsi ce léger relief.

De manière générale, de nombreux indices d'instabilités ont été remarqués sur le site. Ils correspondent généralement à des mouvements lents. Le flanc Est du synclinal semble plus instable que le flanc Ouest qui est limité par un affleurement en bordure du Nant des Granges. Les secteurs du Verney et de Caron sont toutefois encore relativement actifs. L'événement de 2015 en est un parfait exemple.

III.7 Qualification de l'aléa glissement de terrain

Les glissements de terrain sont, en grande partie, conditionnés par la nature géologique des sols, la présence d'eau et la pente.

Sur cette base, l'analyse qui est proposée vise à la classification qualitative de l'aléa glissement de terrain par croisement de la carte de susceptibilité et la carte de l'activité.

- La carte de susceptibilité est elle-même issue d'un traitement sous SIG qui croise les critères topographiques, géologiques et hydrologiques selon les principes de cartographie du BRGM. Elle représente l'activité théorique potentielle.
- La carte d'activité est dessinée à dire d'expert sur la base des reconnaissances de terrain, des études disponibles, et de l'historique. Elle représente l'activité observée.

Les paragraphes suivants exposent l'ensemble de la démarche.

III.7.1 Carte de susceptibilité aux glissements

Critère topographique

Un traitement du MNT (issu de la BD RGE 5 m de l'IGN) nous a permis de définir des catégories de pentes selon les classes utilisées par le BRGM. On peut y observer que les glissements historiques se sont produits majoritairement sur des pentes comprises entre 10 et 20° (valeur relativement faible, ce qui tend à pressentir des terrains de qualité géomécanique médiocre).

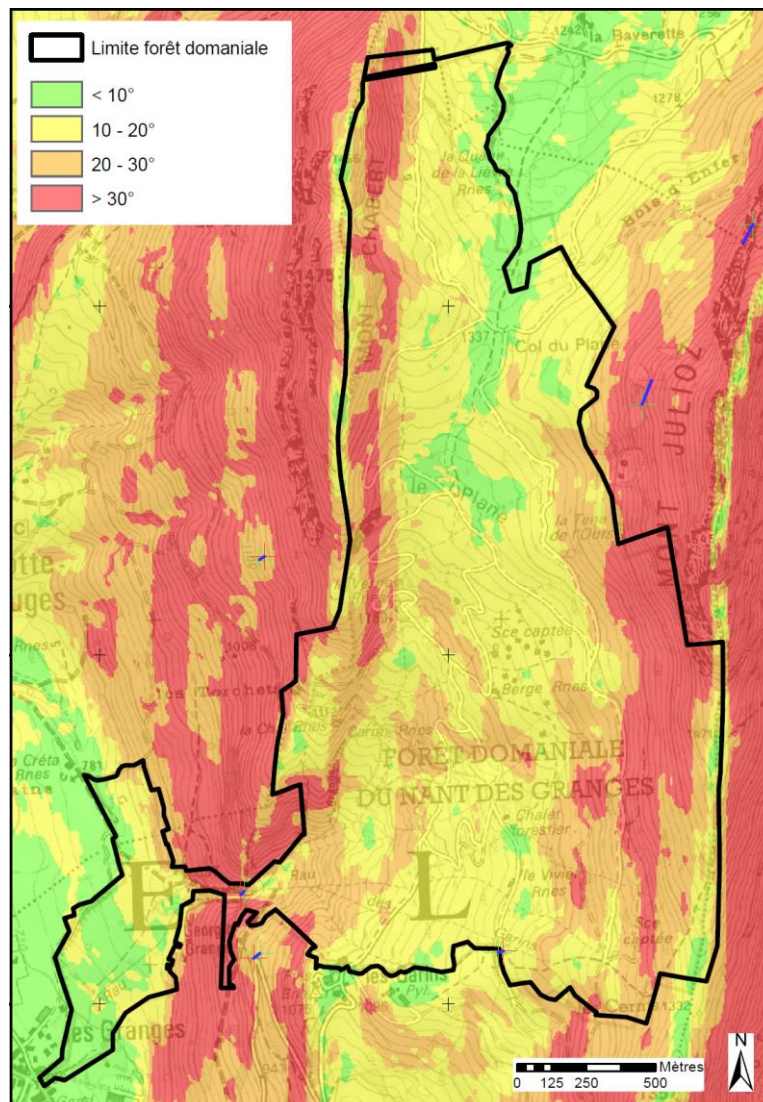


Figure 25 : carte des pentes

Critère géologique

Il s'agit ici de procéder à une classification de terrain selon leurs sensibilités géologiques. Il a donc été utilisé la carte géologique ainsi que les analyses géophysiques des études existantes.

Les études géophysiques disponibles permettent de donner une typologie des glissements par rapport à la profondeur de la surface en glissement définis selon les principes de Latelin (1997) :

- Glissement superficiel : 0 – 2 m,
- Glissement semi-profond : 2 – 10 m,
- Glissement profond : > 10 m.

La carte géologique permet de localiser la lithologie du site.

Il est ensuite possible, par analogie, de proposer une carte de sensibilité des terrains selon leur nature.

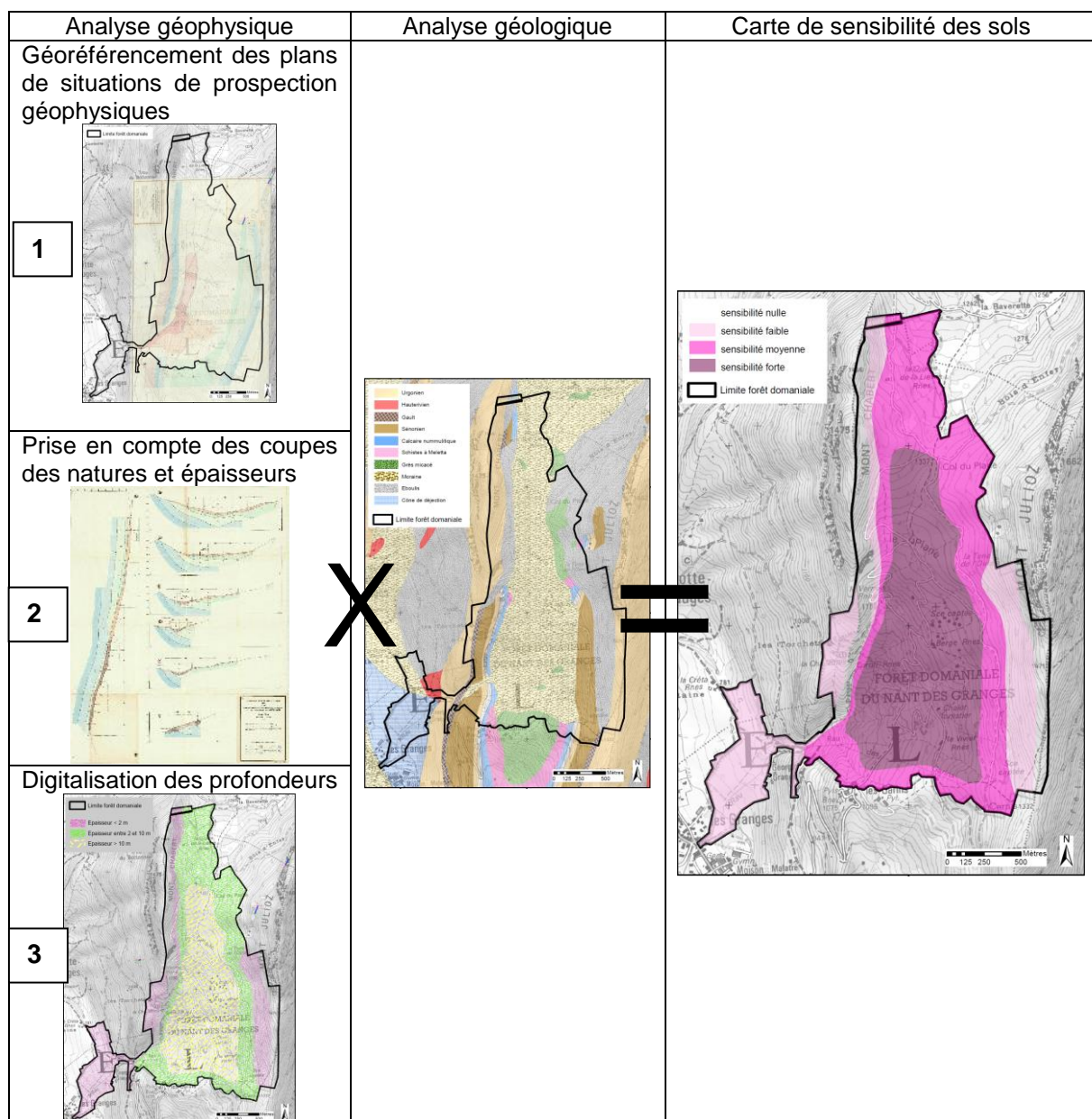


Tableau 6 : Démarche de définition des sensibilités des sols en fonction de leur nature et profondeur

Critère hydrologique et hydrogéologique

La connaissance du réseau hydrographique permet de situer les voies d'alimentations en eaux de ruissellement du bassin. Cette cartographie va également permettre d'établir une zone «tampon» de 20 m de part et d'autre des cours d'eau par un traitement sous SIG.

Ces zones «tampon» permettront de définir les secteurs susceptibles de subir des phénomènes d'érosion ou de ravinement, causés par les circulations d'eaux superficielles dans des terrains relativement meubles.

L'hydrogéologie est un paramètre plus difficile à déterminer. En effet, la localisation des zones d'infiltration d'eau et de ruissellement superficiel dépend à la fois du réseau hydrographique, mais également de la couverture superficielle et de la lithologie. Le cheminement des circulations d'eau souterraines étant quasiment imprédictible à ce stade des investigations, il est donc proposé un report sous SIG des zones identifiées comme humides sur le terrain et des informations diverses attestant d'écoulements au moins passés (ex : sources).

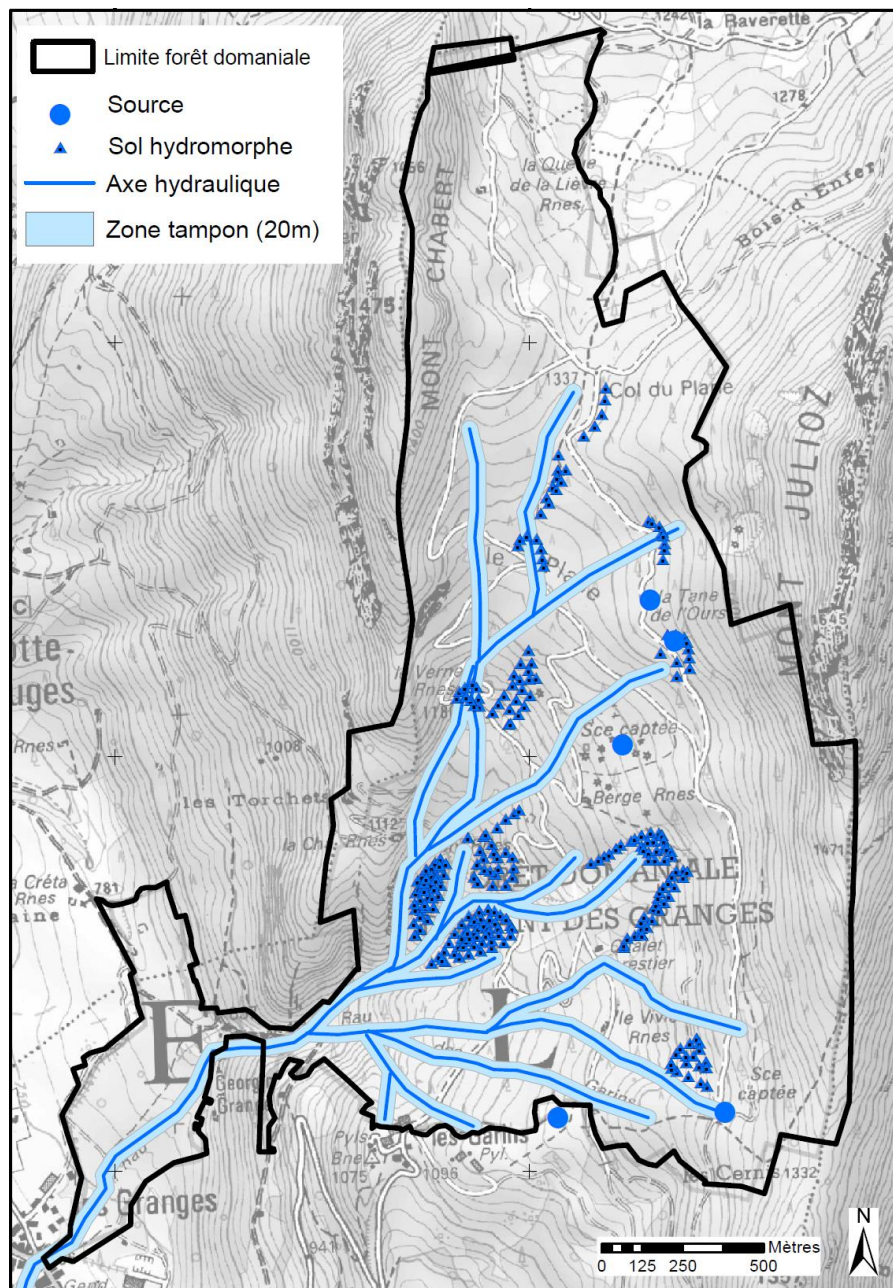


Figure 26 : carte du réseau hydrographique et des sols hydromorphes (données issues de la BDtopo IGN et des observations de terrain) NB : drains non exposés ici.

Susceptibilités aux glissements

Le présent travail consiste à croiser les données précitées afin d'obtenir une carte des susceptibilités aux glissements. Pour se faire, une grille des niveaux de susceptibilité a été établie sur la base de la méthodologie du BRGM. Le croisement de ces données a ensuite été effectué sous SIG selon les notations de ce tableau.

| Sensibilité des sols (nature, profondeur, lithologie) | Présence d'eau (réseau hydrographique, source, zone humide) | Classes de pentes | | | |
|---|---|-------------------|----------|----------|-------|
| | | < 10° | 10 à 20° | 20 à 30° | > 30° |
| Nulle | non | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | oui | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Faible | non | 0 | 0 | 1 | 2 |
| | oui | 0 | 1 | 2 | 3 |
| Moyenne | non | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | oui | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Forte | non | 1 | 2 | 3 | 3 |
| | oui | 2 | 3 | 3 | 3 |

Tableau 7 : classes de susceptibilité aux glissements

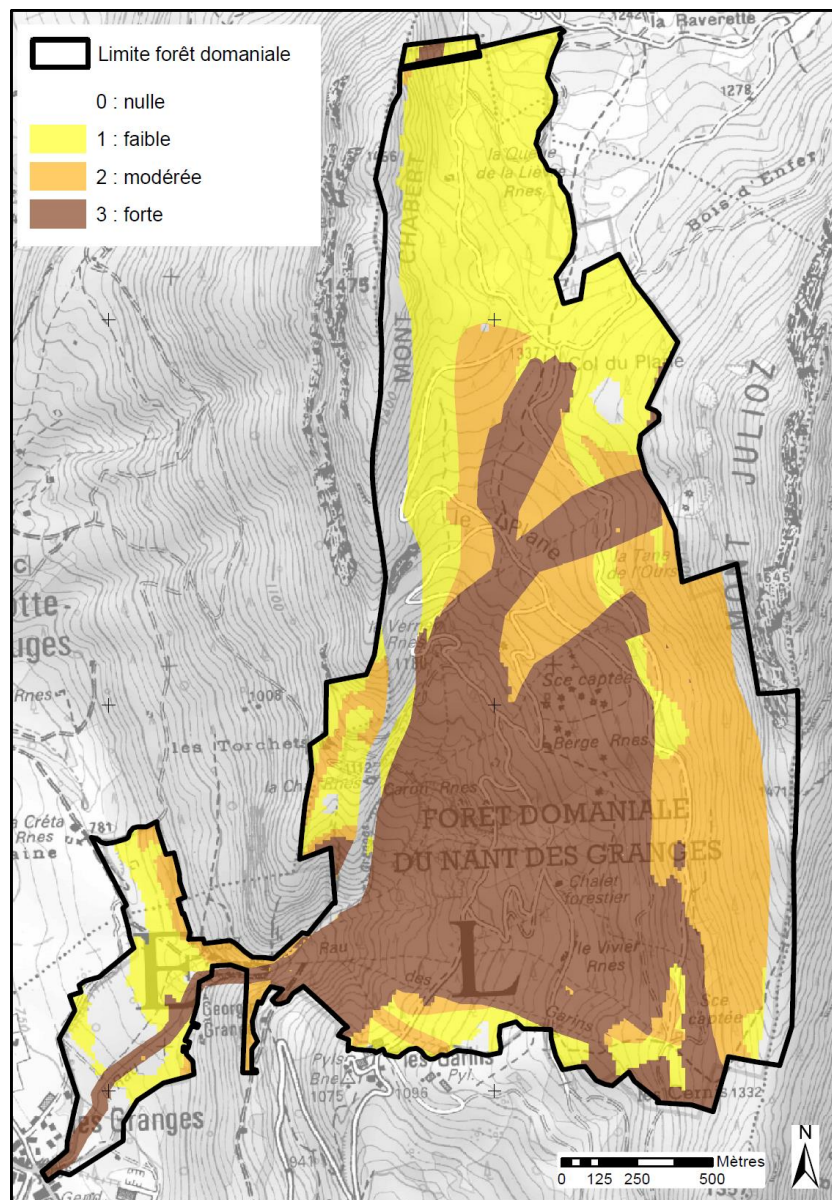


Figure 27 : Carte de susceptibilités aux glissements

III.7.2 Carte d'activité

Remarque : ce type d'expertise repose usuellement sur un dispositif de suivi ou, à défaut, sur une analyse diachronique des clichés aériens.

Il n'y a pas de dispositif de suivi sur l'ensemble du versant. Seule une petite zone a fait l'objet de surveillance topographique. En ce qui concerne la photo-interprétation d'images aériennes de différentes époques, ce travail a été tenté, en vain car la végétation est devenue très vite abondante depuis la fin des années 1930 ce qui rend quasi impossible l'observation de points fixes.

Par conséquent, ce sont les études géophysiques disponibles, l'historique ainsi que les reconnaissances de terrain qui ont été utilisés ici. Ceux-ci permettent de donner une typologie des glissements par rapport à l'activité glissement définis selon les principes de Latelin (1997) :

- Glissement substabilisé, très lent : 0 – 2 cm/an,
- Glissement peu actif, lent : 2 – 10 cm/an,
- Glissement actif (ou lent avec phases rapides) : > 10 cm/an.

Ces valeurs sont « lissées » dans le temps (depuis 1931). Les secteurs ayant connus des coulées sont considérées comme actifs.

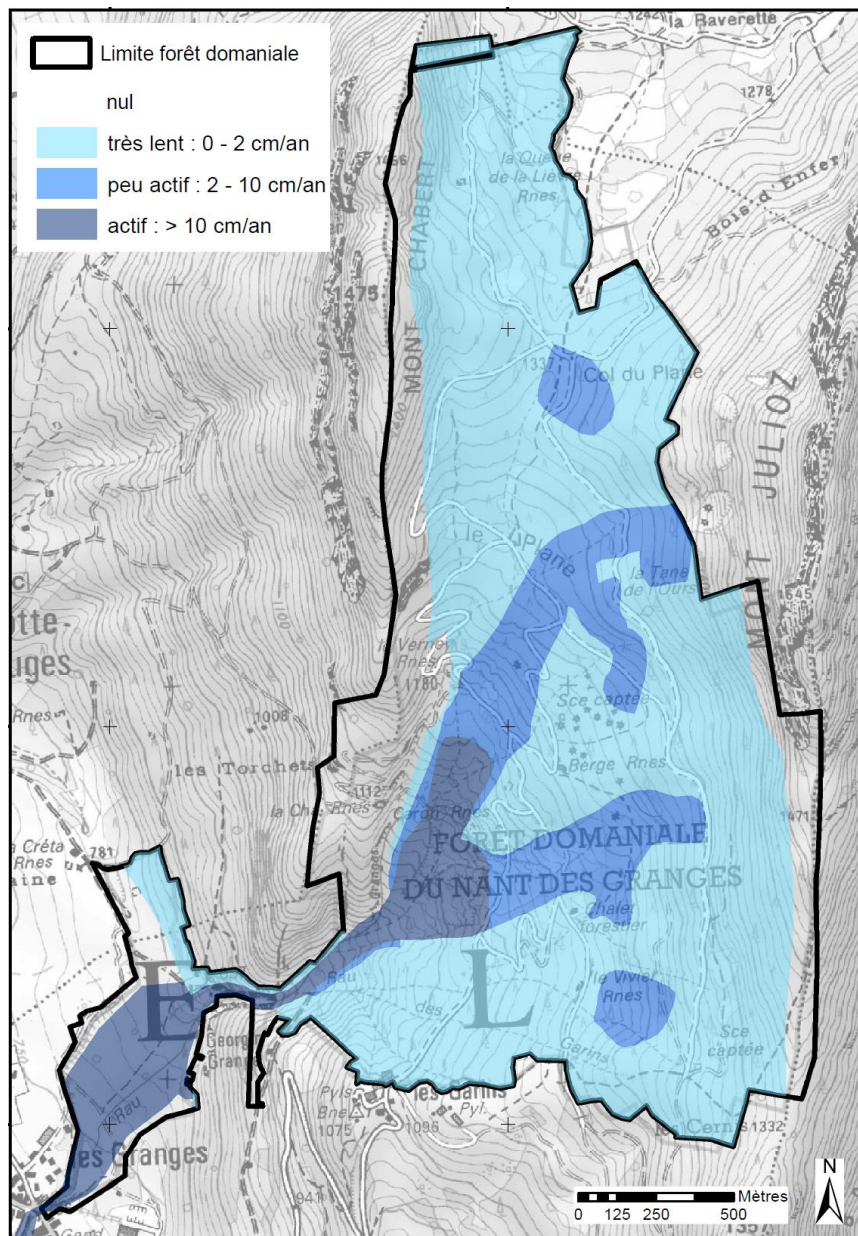


Figure 28 : Activité du glissement

III.7.3 Carte de l'aléa glissement de terrain

La carte proposée est issue du croisement de la susceptibilité des terrains aux glissements avec celle de l'activité. Les niveaux d'aléas sont donnés à partir du tableau suivant. Le croisement cartographique est effectué sous SIG et « lissé » à dire d'expert afin d'homogénéiser le zonage. **Un bilan sur l'aléa de référence est abordé dans la partie VI.**

| Susceptibilité /activité | Faible | Modérée | Forte |
|--------------------------|--------|---------|-------|
| Faible (très lent) | 1 | 1 | 2 |
| Modérée (peu actif) | 1 | 2 | 3 |
| Elevée (actif) | 2 | 3 | 3 |

Tableau 8 : grille de qualification de l'aléa glissement de terrain

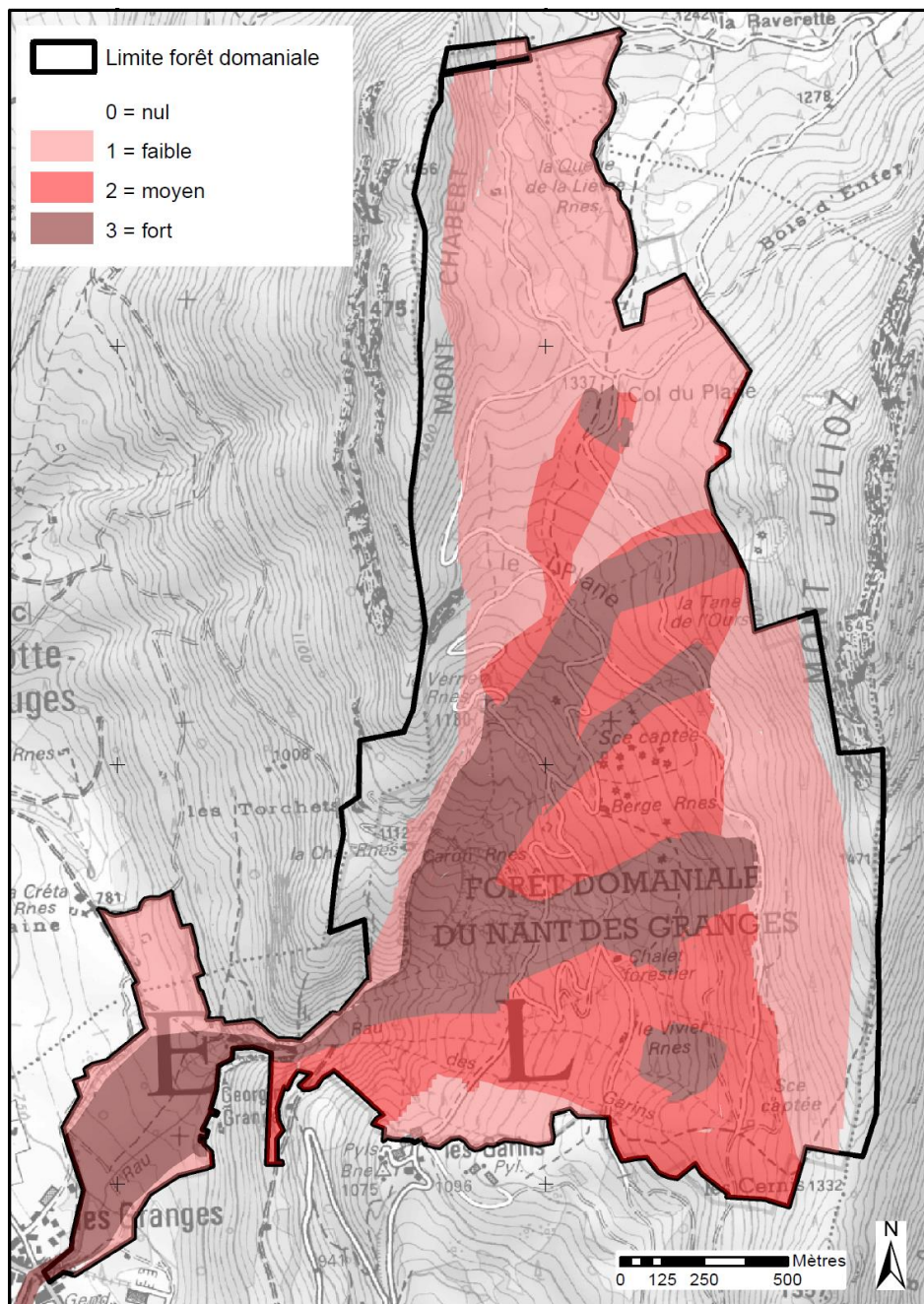


Figure 29 : carte de l'aléa de glissement de terrain

III.8 Description des peuplements forestiers

III.8.1 Essences

La composition des essences reste largement dominée par l'épicéa, du fait de l'histoire du site, avec des plantations massives dans les années 1930. Le document d'aménagement forestier de l'ONF signale, par rapport aux années 90, la diminution du mélèze, la disparition progressive des pins et la légère augmentation du sapin et des feuillus, dont le hêtre et l'érable.

| Essences | Répartition des essences en % du couvert | |
|--------------------------------|--|------------------------|
| | En début d'aménagement 2009 | |
| | % de la surface totale | % de la surface boisée |
| Epicéa | 62 | 68 |
| Sapin | 8 | 9 |
| Mélèze d'Europe | 3 | 3 |
| Résineux divers ⁽¹⁾ | 0 | 0 |
| Hêtre | 12 | 13 |
| Erable sycomore | 2 | 2 |
| Frêne commun | 3 | 4 |
| Feuillus divers ⁽²⁾ | 1 | 1 |
| Pelouses ⁽³⁾ | 0 | |
| Autres espaces non boisés | 9 | |
| TOTAL | 100 | 100 |

Tableau 9 : répartition des essences forestières (source : inventaires réalisés dans le cadre de l'aménagement forestier 2009-2023)

- (1) les quelques résineux divers sont composés de pin sylvestre (81%) et de pin noir d'Autriche (17%). Présence de trois cèdres de l'Atlas parcelle 11.
- (2) Les feuillus divers sont composés d'érable à feuille d'obier et tilleul chacun 17%, 14% de chêne pubescent, 11% de tremble, 10% de saule, 9% de sorbier des oiseleurs, 7% de merisier, alisier blanc et charme chacun 4%, 3% d'aulne blanc, bouleau et orme de montagne chacun 2%.
- (3) Il s'agit de clairières sans couvert arbustif.

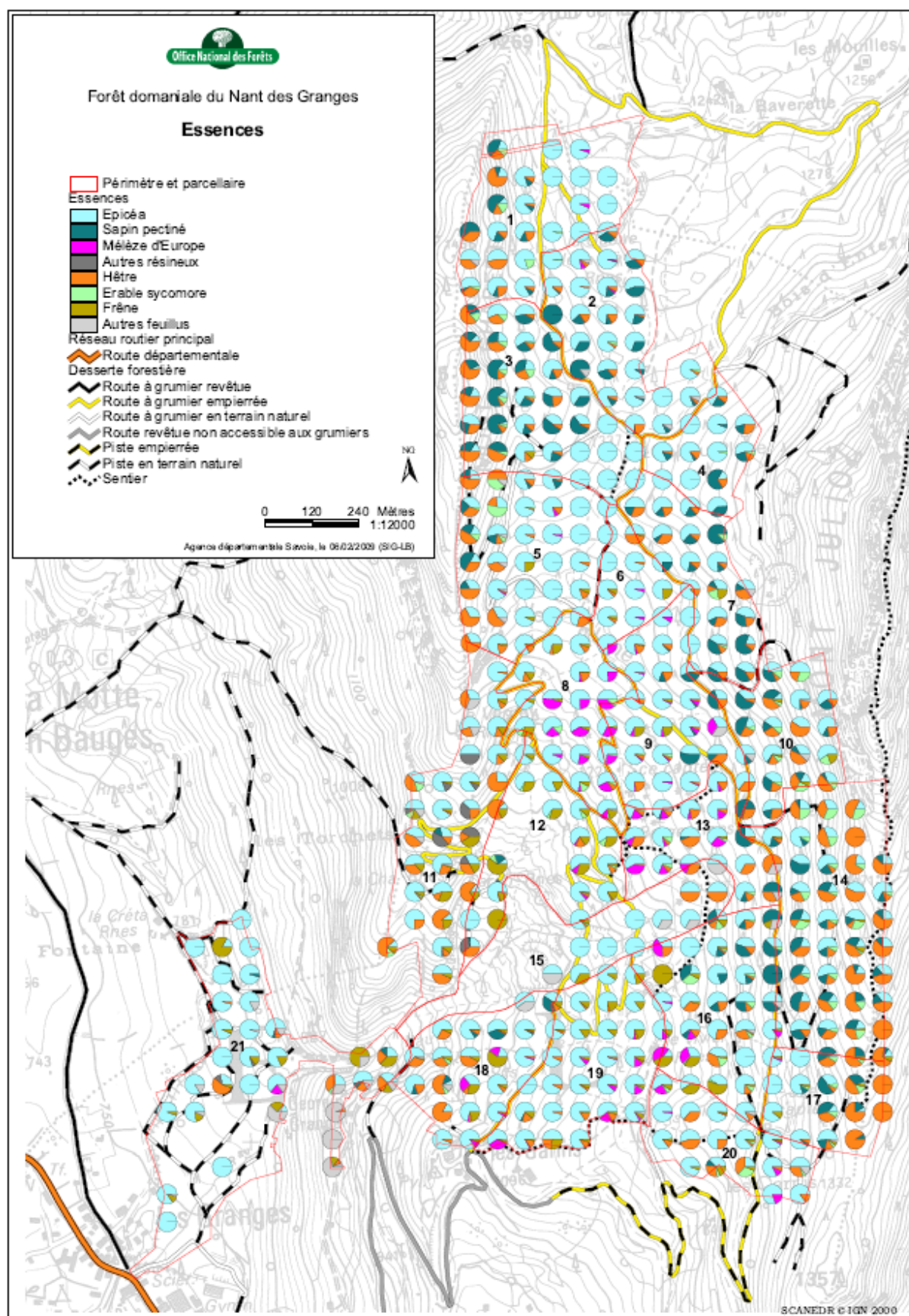


Figure 30 : Carte de répartition des essences forestières (agence ONF 73, 2009)

III.8.2 Structures

Les structures de peuplement sont largement dominées par la futaie régulière adulte, héritage des plantations de 1931 à 1937. Les peuplements riches en gros bois (diamètres 45 à 60 cm) sont localisés dans les peuplements hors plantations.

A signaler l'importance des peuplements clairs (19%) occasionnés après les coupes de chablis et attaque de scolytes fréquentes.

Le taillis est constitué de zones imbriquées dans la futaie résineuse.

| Familles | Jeunes futaies | Futaies adultes | Futaies riches en GB | Futaies à 2 étages | Futaies claires | Futaies jardinées | Taillis et TSF | Peuplements chétifs | Non boisé, peu boisé | Total |
|-----------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|---|----------------------|-----------|
| Surface et % | 22.36 ha | 83.41ha | 25.83ha | 0ha | 47.68ha | 25.57ha | 12.11ha | 7.28ha | 22.60ha | 246.84 ha |
| | 9% | 34% | 11% | 0% | 19% | 10% | 5% | 3% | 9% | 100% |
| Futaie : 204.85ha soit 83% | | | | | | | Taillis : 12.11 ha soit 5% | Hors sylviculture 29.88ha = 12 % | | |

Tableau 10 : répartition des structures forestières (source : inventaires réalisés dans le cadre de l'aménagement forestier 2009-2023)

Le guide de sylviculture en montagne préconise, pour le type de stations forestières rencontrées (stations du montagnard externe), des surface terrières après coupe de 20 à 30 m²/ha ainsi qu'un ratio de gros bois et très gros bois (diamètres 65 cm et plus) de 50 à 60% (après coupe) de la surface terrière totale.

Ces valeurs sont inatteignables en l'état des peuplements, avec une surface terrière des peuplements résineux de 24.3m²/ha avant coupe et un ratio de gros bois et très gros bois en moyenne de 35% de la surface terrière totale.

S'agissant de la régénération naturelle, elle est suffisante à abondante dans les peuplements clairs, vieillis et futaie jardinée mais tend à se raréfier ou disparaître dans les peuplements plus denses (soit 58 % de la surface). L'insuffisance de la lumière directe au sol est sans doute la cause principale du déficit de cette régénération.

La régénération résineuse est concurrencée par la ronce et la régénération feuillue. Sur une surface importante, dans la partie artificielle de la forêt, la régénération est dominée par le frêne.

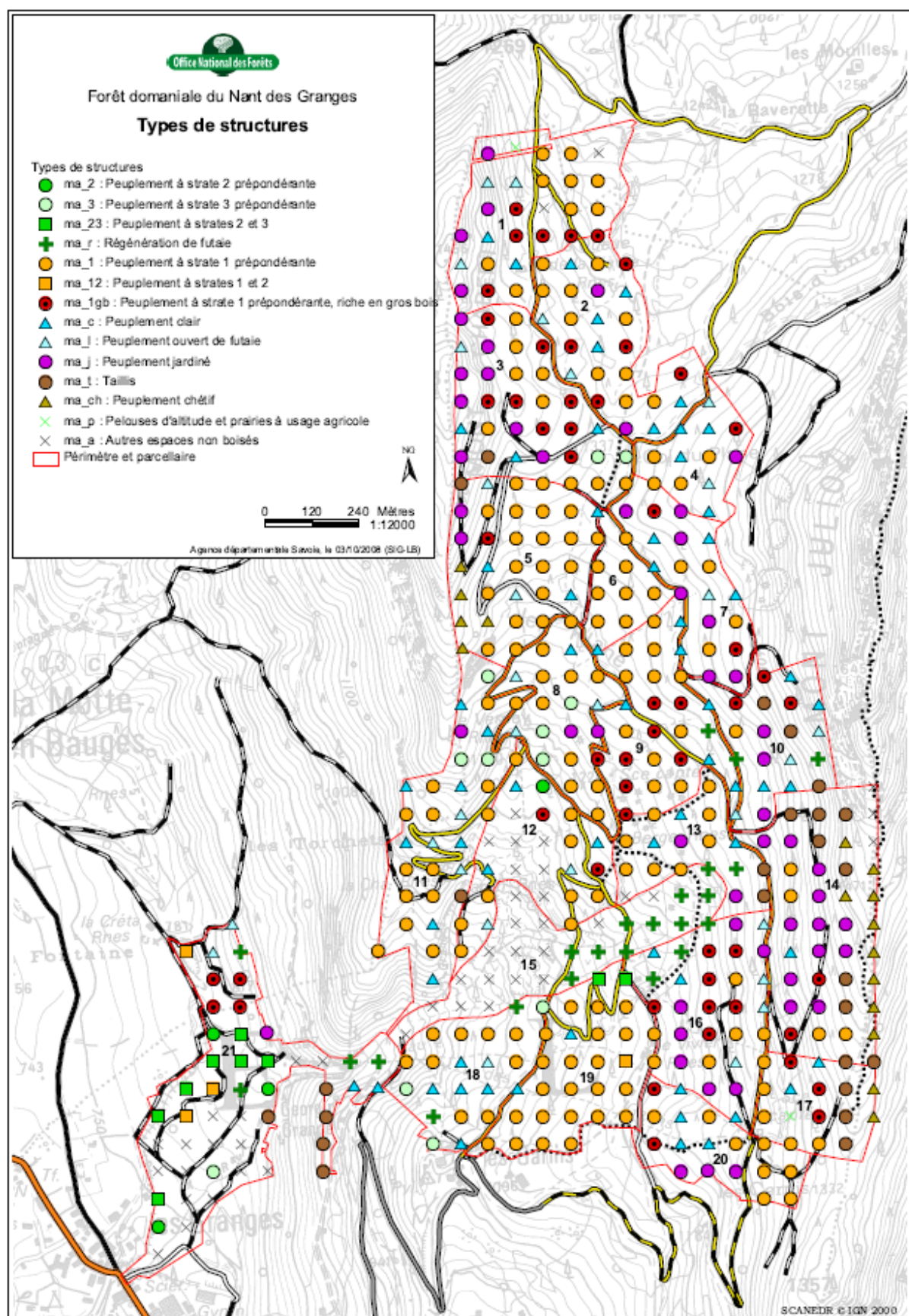


Figure 311 : Carte de répartition des structures forestières (agence ONF 73, 2009)

III.9 Enjeux exposés

III.9.1 Bâtis / infrastructures

A l'intérieur même de la division domaniale, il n'existe pas d'enjeux de type habitation, ni route. Seuls des chemins et sentiers à thème transitent dans le périmètre étudié. Notons toutefois la présence d'une ancienne cabane forestière devenue cabane de chasse.

L'essentiel des enjeux menacés par les glissements du Nant des Granges est situé en dehors des limites de la division.

Il s'agit en premier lieu du hameau des Granges qui rassemble quelques habitations, des commerces (banque, supermarché, garage, etc.), la maison du Parc Naturel Régional des Bauges, des infrastructures de loisirs (tennis, zone de loisir des Cyclamens, gymnase, etc.). Les axes routiers représentent aussi des enjeux vulnérables, notamment la RD 911 qui franchit le ruisseau des Granges. S'ajoutent à cette dernière, une série de routes communales.

Il existe un captage parcelle 16 qui alimente en eau potable le hameau des Garins. Une conduite traverse les parcelles 16, 19 et 20, jusqu'à un réservoir situé parcelle 19.

III.9.2 Enjeux environnementaux

Le périmètre domanial est inclus entièrement dans la ZNIEFF de type 2, N°7307 : massifs orientaux des Bauges caractérisé par une grande diversité des groupements végétaux, un fort dynamisme de la végétation, la présence de plantes rares, une réserve génétique de grands mammifères, une grande diversité ornithologique ainsi que des intérêts géomorphologiques et géologiques.

La forêt est entièrement située dans le Parc Naturel Régional des Bauges (décret de création a été signé le 7 décembre 1995). Le Parc s'est donné pour objectif "d'optimiser les richesses biologiques sur l'ensemble de son territoire et de maintenir sa diversité en protégeant et en gérant les milieux sensibles".

III.9.3 Enjeux culturels et sportifs

Le secteur est prisé des randonneurs. Le sommet du mont Julioz (1662m) qui domine la forêt offre un belvédère sur le massif des Bauges. La forêt, par l'originalité de son histoire, attire un public d'initiés. Un sentier thématique sur l'histoire du site a été aménagé. Notons, à ce titre, la publication d'un dépliant (conception ONF – PNR Bauges) à destination du grand public (cf. illustration suivante).

Un film a également été réalisé par l'IRMA en 2015 sur ce sujet : Les Maîtres du Mont déserté, http://www.risques.tv/video.php?id_DTvideo=402

Suite à l'agrandissement de la plage de dépôt, un sentier sportif a été supprimé mais la parcelle 21, est toujours très fréquentée car elle offre des promenades faciles aux abords du village du Châtelard.

Ailleurs, un sentier de grande randonnée (GR96) et un parcours menant au mont Julioz traversent la forêt.

Les pistes forestières avoisinant le hameau des Garins sont très fréquentées (parcelles 18,19) en période estivale de par la présence d'un centre de vacances à proximité.

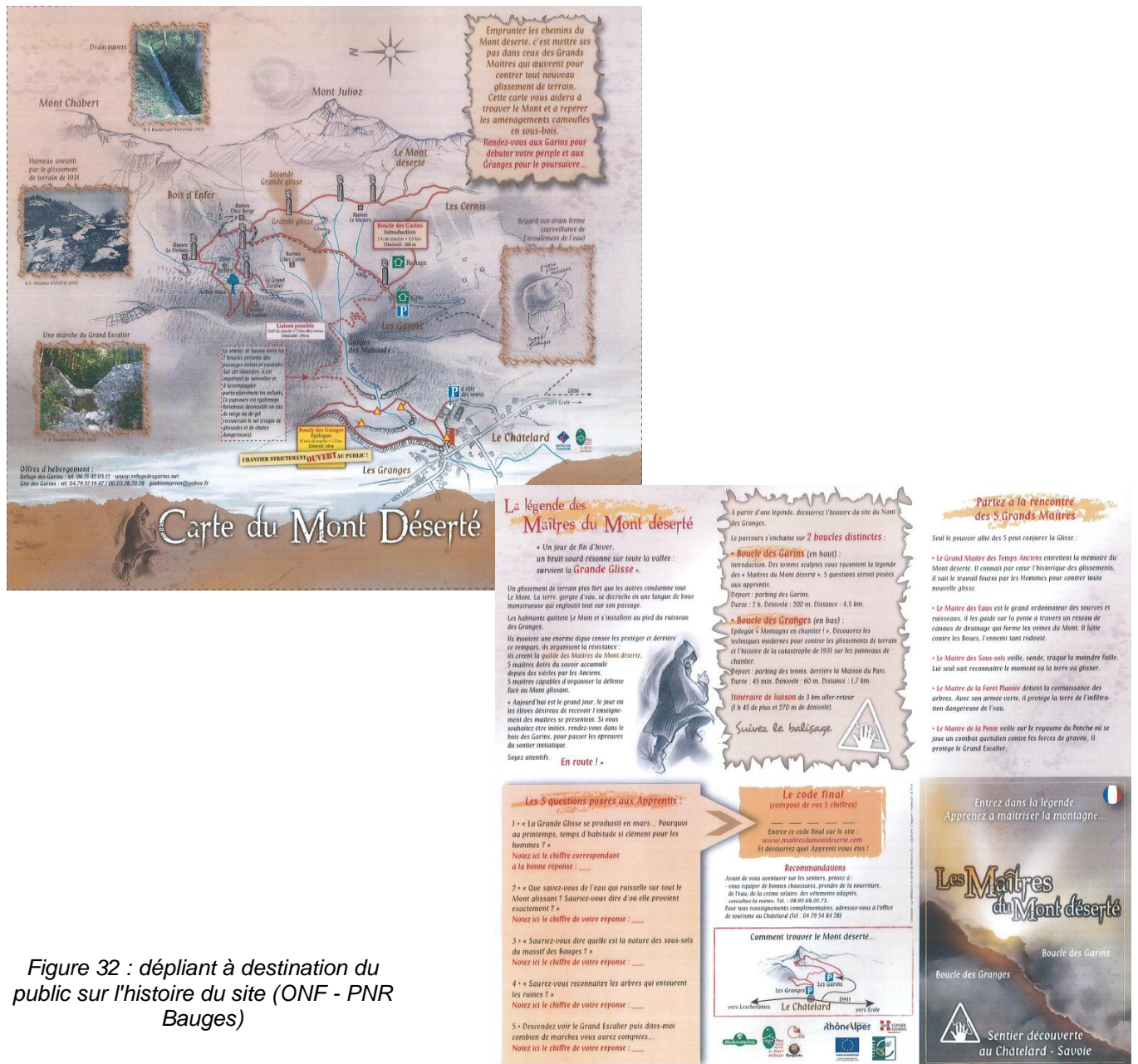


Figure 32 : dépliant à destination du public sur l'histoire du site (ONF - PNR Bauges)

III.9.4 Enjeux économiques

La forêt proprement dite constitue également un enjeu économique pour l'approvisionnement de la filière bois locale (réseau ETF de petites scieries de charpentiers ou de menuisiers).

Ainsi d'après l'aménagement forestier (ONF, 2009), ce sont en moyenne 930 m³ de bois qui seront exploités annuellement, principalement des épicéas (745 m³/an).

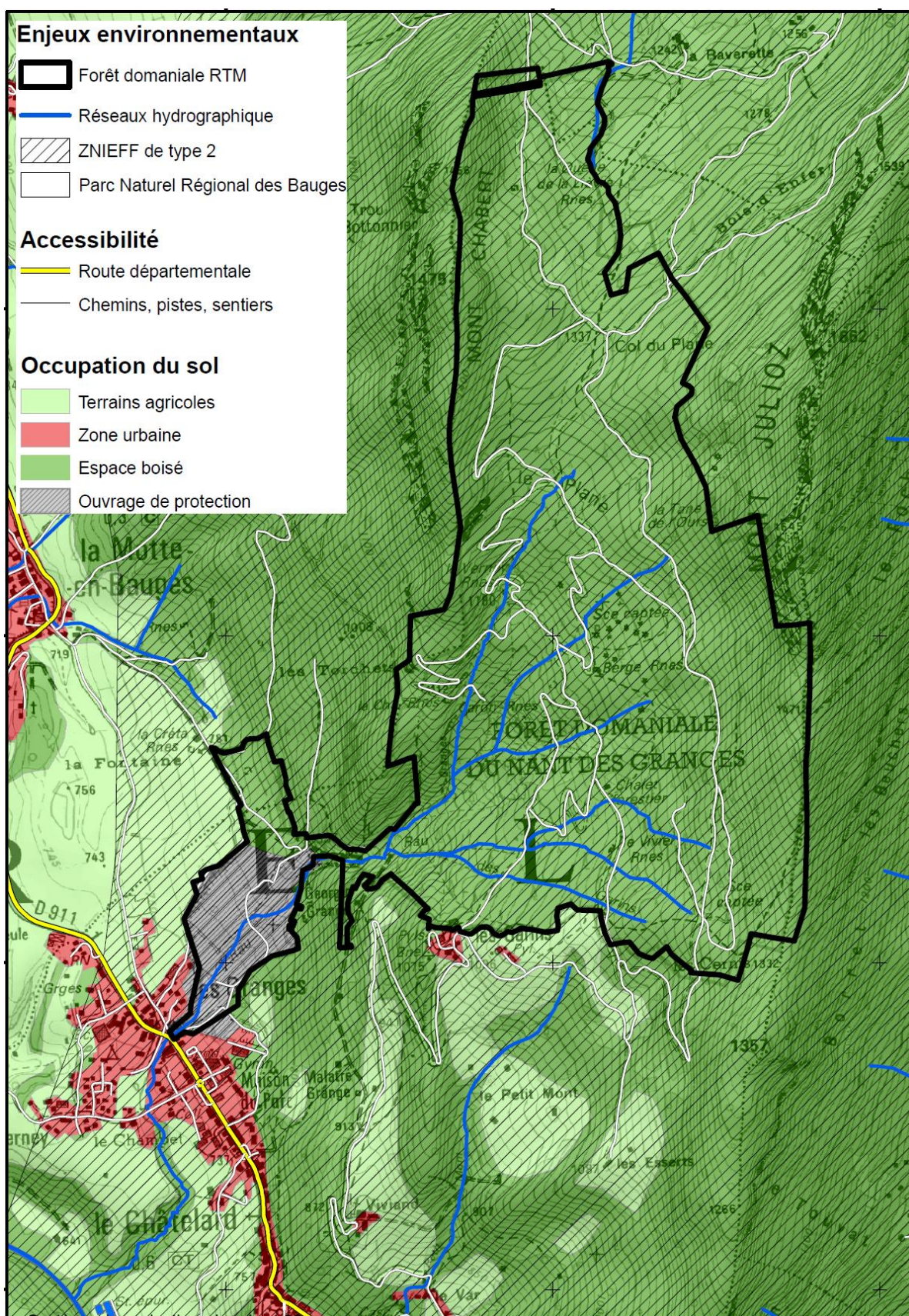


Figure 33 : Carte des principaux enjeux

III.9.5 Prise en compte du risque dans l'urbanisme

Le risque a été pris en compte dans le PLU de la commune à travers un PIZ (Plan d'Indexation en Z, RTM 2009) qui est le document de référence en Savoie en matière de cartographie des aléas dans les documents d'urbanisme (hors PPR).

Ce plan définit une zone inconstructible (indice « N ») dans le lit du ruisseau des Granges sur une largeur d'environ 20 m de part et d'autre de l'axe du cours d'eau ainsi que dans la plage de dépôt.

La zone de loisir des Cyclamens (tennis, etc.) est classée en aléa fort (indice « F », exposant « 5 »). La zone est inconstructible à des fins d'habitations. Elle reste toutefois aménageable pour des infrastructures liées à des loisirs. La mairie doit s'assurer de l'alerte et l'évacuation des occupants en cas de crise.

La parcelle 593 (rive gauche du ruisseau directement en amont de la RD 911) est classée en aléa moyen (indice « M », exposant « 4 ») se traduisant par une constructibilité de cette dernière sous réserve de respect de plusieurs prescriptions.

Le quartier au Nord des Granges ainsi que le lieu-dit de Pré-de-Foire-Nord sont classés en aléa résiduel nul du fait d'une protection (indice « p », exposant « 7 »). La construction y est possible avec la prescription d'«un maintien en l'état actuel d'efficacité des ouvrages de correction déportés ».

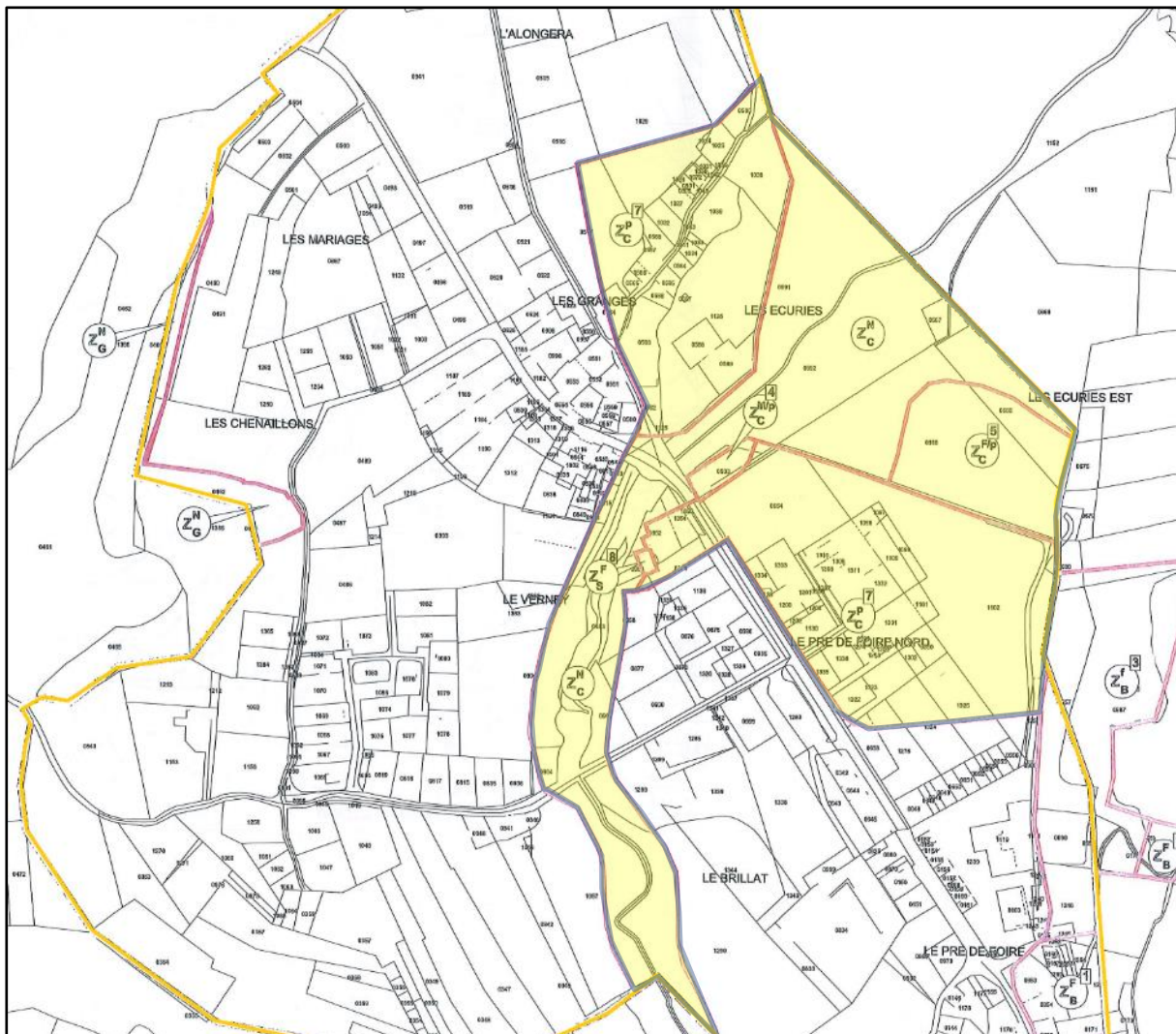


Figure 34 : Extrait du PIZ du Châtelard (RTM, 2009)

IV Partie IV - Description des dispositifs de protection

IV.1 Boisement – génie biologique

A l'issue de l'événement de 1931, toute la surface pouvant être boisée a été plantée, ce qui représente environ 135 ha. Le but était d'une part de stabiliser les terrains en limitant l'érosion, et d'autre part d'assécher une partie des excédents d'eau par évapotranspiration des végétaux.

Les arrachements ont été colonisés en feuillus. Pour le reste du secteur, 2/3 ont été plantés en résineux et 1/3 en feuillus en mélange.

Les « mouilles » ont été plantées en frêne. Les berges vives ont été garnies de cordons de boutures de saules. Les autres feuillus employés sont l'aune, l'érable et le hêtre.

Parmi les résineux, c'est l'épicéa qui a été implanté massivement. Les autres essences résineuses sont le mélèze du fait de sa croissance rapide, le sapin, le pin sylvestre dans les zones rocailleuses et le cèdre.

Une pépinière a été créée en 1932 sur le site. Celle-ci comptait une trentaine d'ares et elle a produit des plants pour le Nant des Granges mais également pour d'autres séries du périmètre du Fier.



Figure 35 : Pépinière en 1932 (RTM)

Au total ce sont environ 440 000 Fr (de 1939) qui ont été investis entre 1931 et 1938.



Figure 36 : évolution du boisement entre 1937 et 1953 (RTM)

Ces reboisements ont été réfectionnés à plusieurs reprises à l'issue de répliques des glissements et/ou de chablis.

La carte ci-dessous retrace l'historique des plantations par section parcellaire.

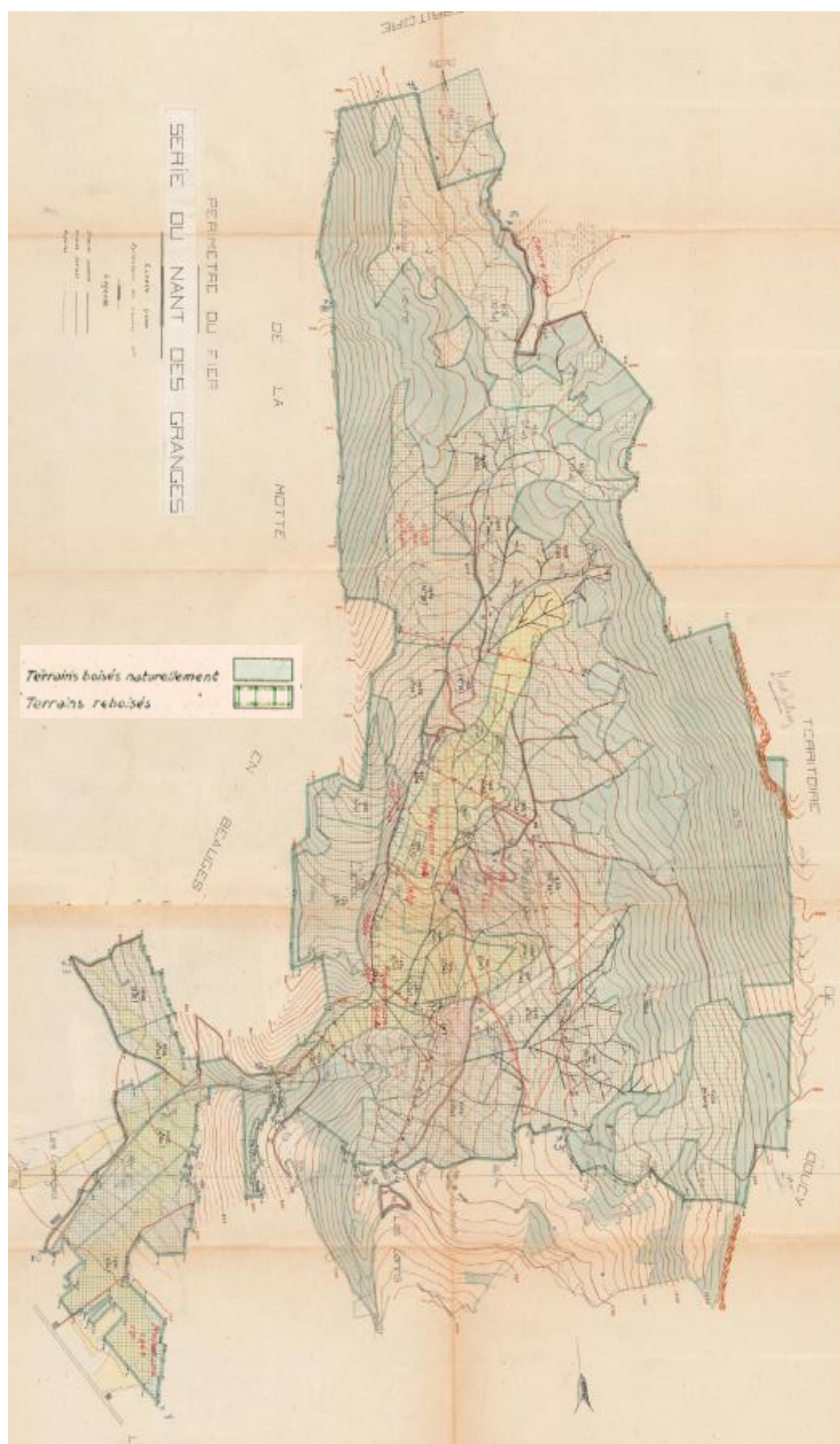


Figure 37 : Carte des plantations par secteurs et périodes (RTM 1943)

IV.2 Drainage

NB : une sélection de clichés historiques de ces ouvrages est proposée en annexe 3.

Parallèlement au reboisement du versant, la série domaniale du Nant des Granges a fait l'objet d'un important dispositif de drainage. Le but était de capter les eaux dans les zones d'infiltration et les conduire le plus directement possible au Chéran. Pour cela, un réseau de drains relativement dense représentant environ 22 km a été aménagé pour que l'essentiel des eaux soient recueilli dans la partie supérieure du bassin et ne puisse s'infiltrer et imbibé la zone déjà bouleversée.

Deux types de drains ont donc été installés entre 1931 et 1975. La majorité d'entre-eux (environ 75%) a été exécutée en 3 ans (de 1931 à 1933) :

- Les drains fermés : ils captent les sources en profondeur dans les zones d'infiltrations. Ils sont destinés à recueillir les eaux de fond. Des incertitudes existent sur leurs profondeurs réelles. Certains documents donnent entre 4 et 5 m, d'autres tels que les plans d'exécution de l'époque (cf. figure 34), tablent sur 2 m. Leur implantation est située sur les parties hautes du versant selon 4 grandes zones : Au Plane, Chez Berge, en amont des Granges du Pommier, et sous Les Garins. On compte aujourd'hui un linéaire de 7100 m de drains fermés. Ils se composent d'un remplissage de pierres. Les matériaux sur place étaient de mauvaise qualité pour la confection des maçonneries (blocs « arrondis » issus de la moraine, ou calcaire difficile à débiter). Il a donc été fait le choix d'utiliser des dalles armées pour le recouvrement de chenal d'écoulement des drains.



Figure 38 : drains fermés (RTM, 1932)

- Les drains ouverts : ils collectent les apports des drains fermés ainsi que les eaux de surface. Leur rôle est d'évacuer très rapidement les eaux, suivant autant que possible les lignes de plus grande pente afin d'utiliser le relief initial et ainsi respecter le cheminement naturel des eaux. Ce dispositif se décompose en deux types :
 - les drains à ciel ouvert qui représentent un linéaire de 8550 m généralement en maçonnerie sèche mais parfois aussi en pavage et en confortement bois.
 - les rigoles (6300 m de linéaire) en pavage en pierres sèches ou en simple fossés en terre.

Les premiers retours montrent que les drains les plus efficaces et robustes sont ceux qui utilisent des calcaires locaux, dégrossis puis façonnés en gros parallélépipèdes, une seule pierre constituant le fond de la fouille. Les deux bords des drains étant maçonnés en grosses pierres sèches, une seule pierre devant atteindre toute la hauteur de maçonnerie. Ce type de drains a donc été adopté pour constituer l'essentiel du réseau à ciel ouvert.

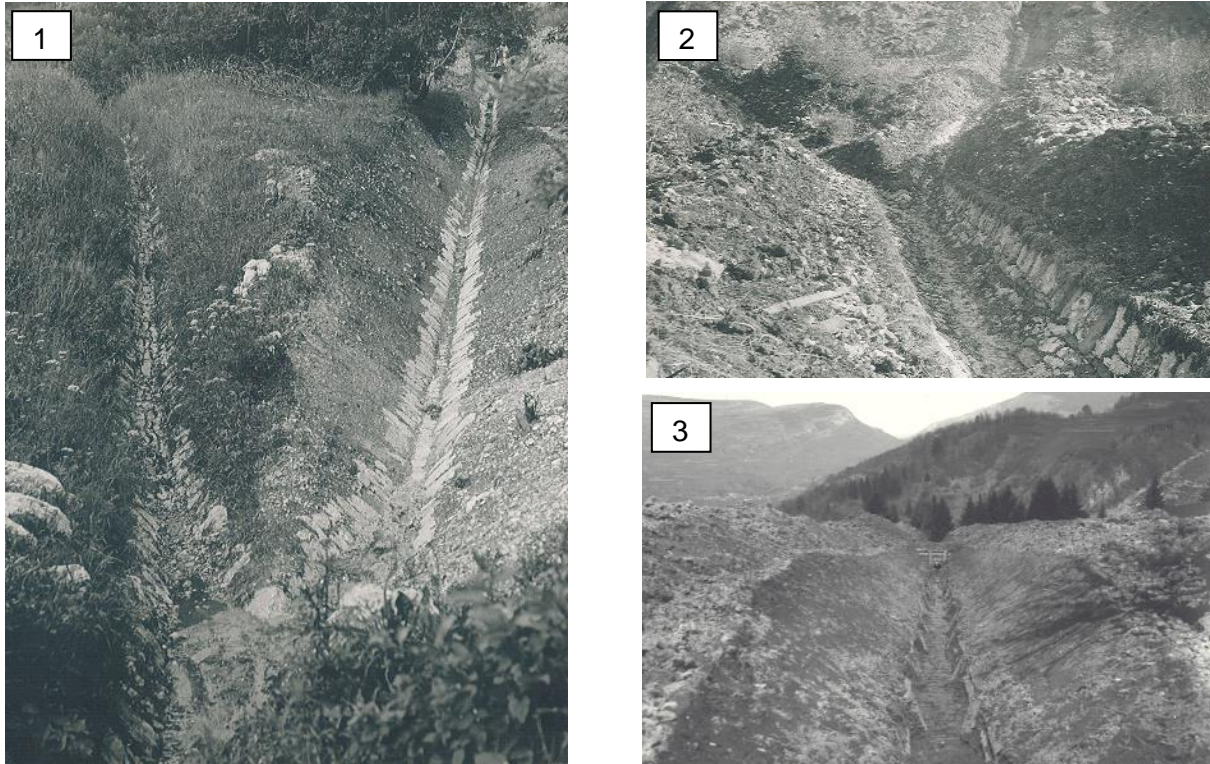


Figure 39 : drains à ciel ouvert (1 : progrès fait au cours du temps avec à gauche drain de 1933 en berceau et à droite un drain à forme trapézoïdale érigé en 1937 // 2 : drains à berceau de 1932 à la cote 1130 // 3 : drain en bois dans la zone des Garins à la cote 1150)

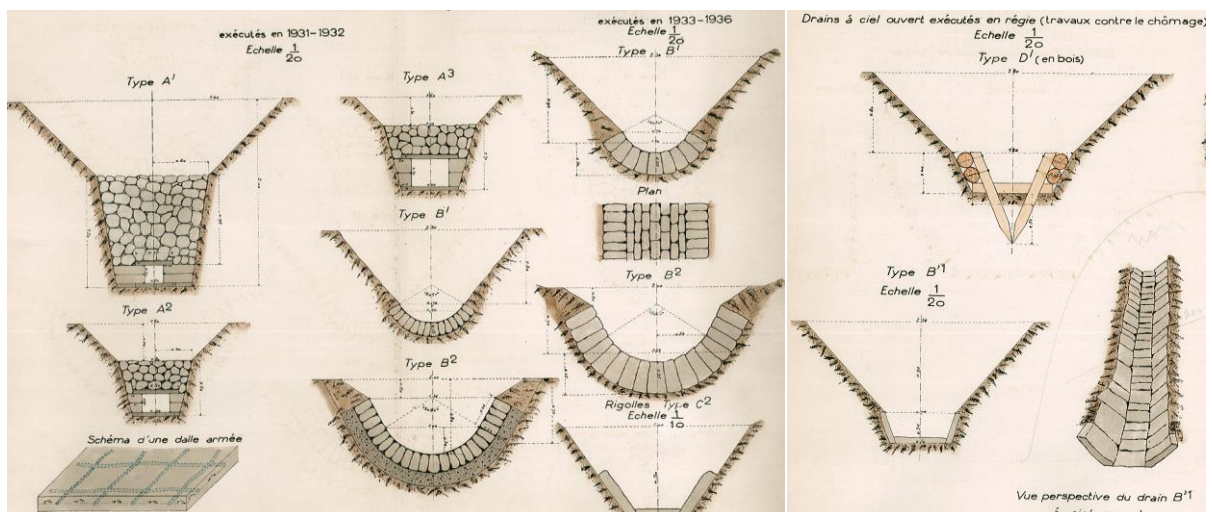


Figure 40 : plans d'exécution des drains (RTM, 1931)

Ce dispositif se chiffrait à plus de 1 500 000 Francs (de 1939) sachant que les travaux étaient effectués en régie (« travaux contre le chômage »).

Une partie des drains posés initialement a été détruite par des glissements. D'autres ont été abandonnés. Sur les 22 km aménagés, restent actuellement un réseau de 8 km de drains fermés et 10 km de drains ouverts. La carte suivante présente le réseau tel qu'il est aujourd'hui.

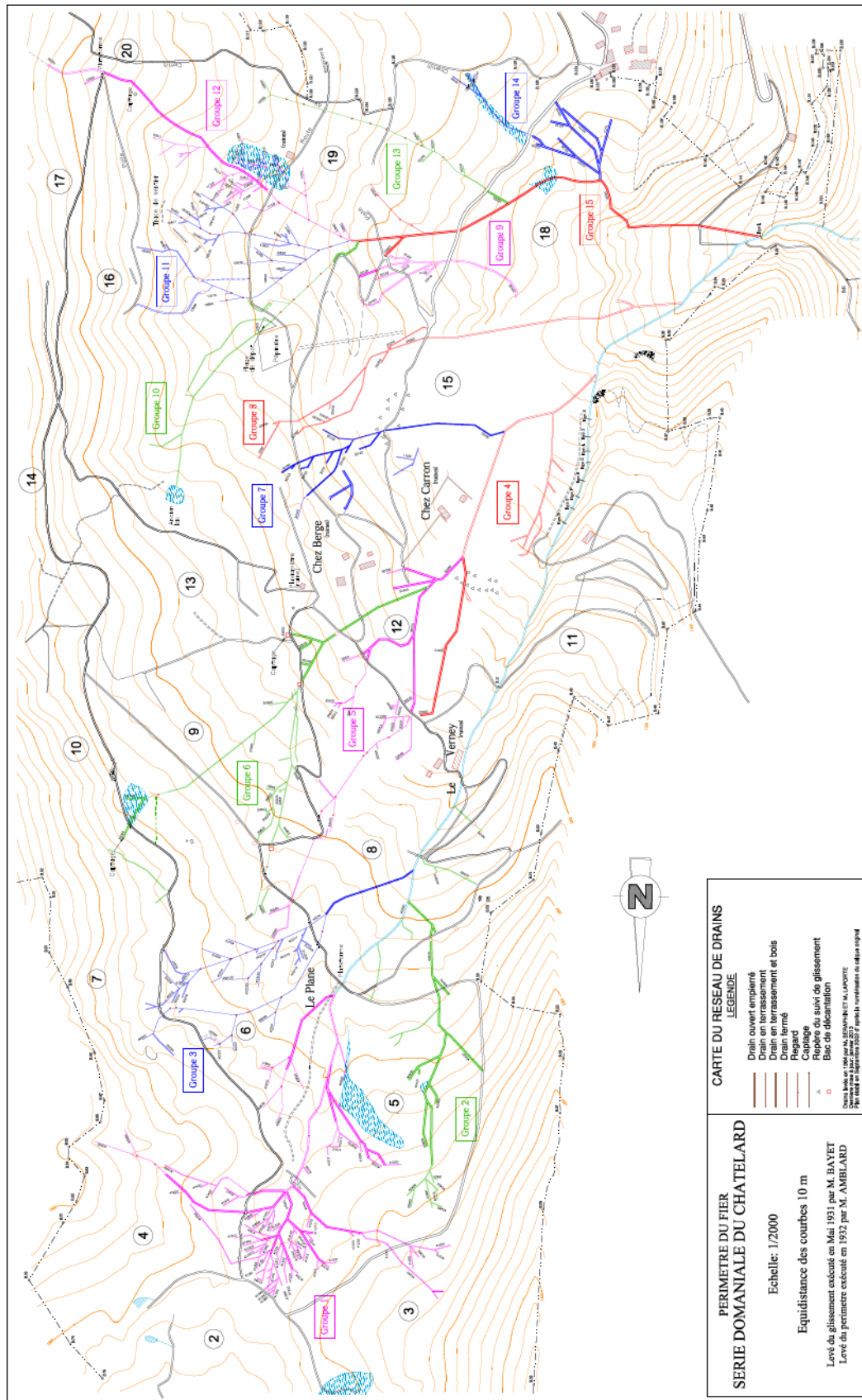


Figure 40 : carte du réseau de drains (RTM, 2013)

Ce dispositif est complété par la mise en place de huit bacs de décantation pour décharger les eaux des particules et des débris transportés afin d'éviter de boucher les drains. Ceux-ci ont été aménagés plus tard dans les années 1990 après avoir constaté, par retour d'expérience, des obstructions sur des drains. Le coût de l'opération a été d'environ 50 000 fr.



Figure 41 : décanteur situé à la jonction d'un drain ouvert / fermé (RTM, 2016)

IV.3 Barrages seuils – canal d'écoulement

NB : une sélection de clichés historiques de ces ouvrages est proposée en annexe 3.

Le lit du Nant des Granges a été partiellement comblé par les différents glissements. Pour éviter un risque d'accumulation de matériaux très instables, un canal d'écoulement a été surcreusé dans le lit du torrent en 1932 pour permettre une évacuation plus importante et sans divagation, lors du passage de coulées de boue.

A partir de 1932, des ouvrages type barrage / seuil ont été aménagés :

En 1932, un grand barrage a été construit en maçonnerie de mortier et gros blocs à l'extrémité amont de la Gorge des Manauds (soit au pied du glissement). Sa hauteur est de 6 m, l'épaisseur au couronnement est de 1,60 m, la cuvette a une longueur horizontale de 4 m, prolongée par des plans inclinés à 45° sur 3 m de longueur. Cet ouvrage est encastré entre 2 berges rocheuses et le fond de fouille. Son objectif était de caler le pied du glissement et d'amorcer une correction du Nant des Granges.



Figure 42 : « Grand » barrage en amont de la gorge des Manauds (à gauche en 1933, à droite en 2016)

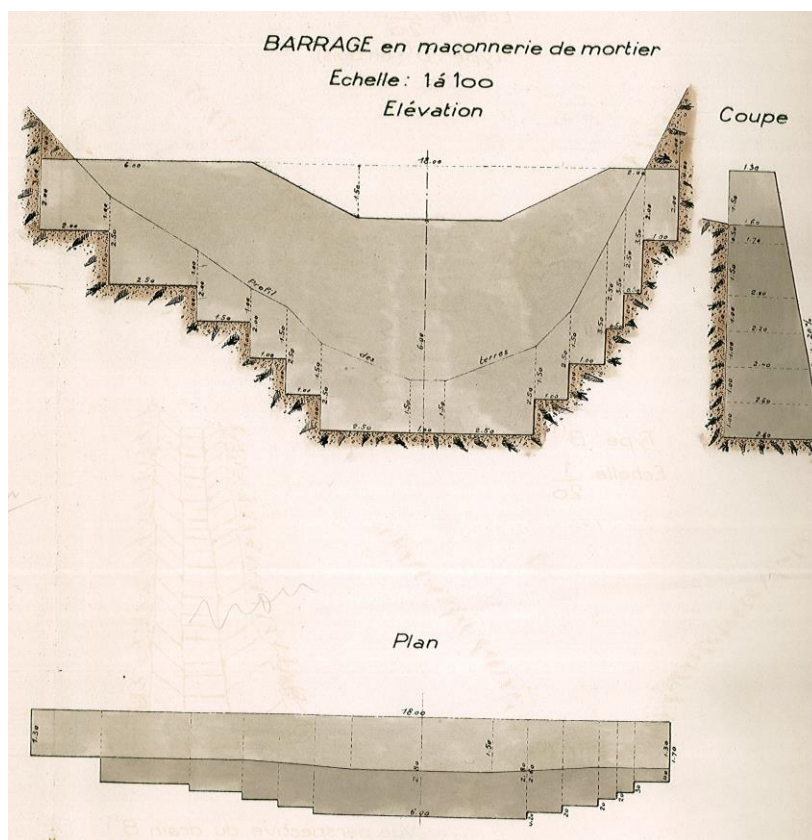


Figure 43 : Plan d'exécution du barrage (RTM, 1931)

S'en est suivi la construction de 11 seuils en maçonnerie de pierres sèches de 3 m de hauteur et 0,7 m d'épaisseur au couronnement. Ils se localisent dans la section supérieure du Nant des Granges où la rive droite est compacte alors que celle de gauche est plus instable. Ces seuils permettent de caler les berges et de s'opposer à l'enfoncement du lit en créant des paliers qui réduisent la pente. Ce processus casse l'énergie du torrent qui se décharge au fur et à mesure de ses matériaux.

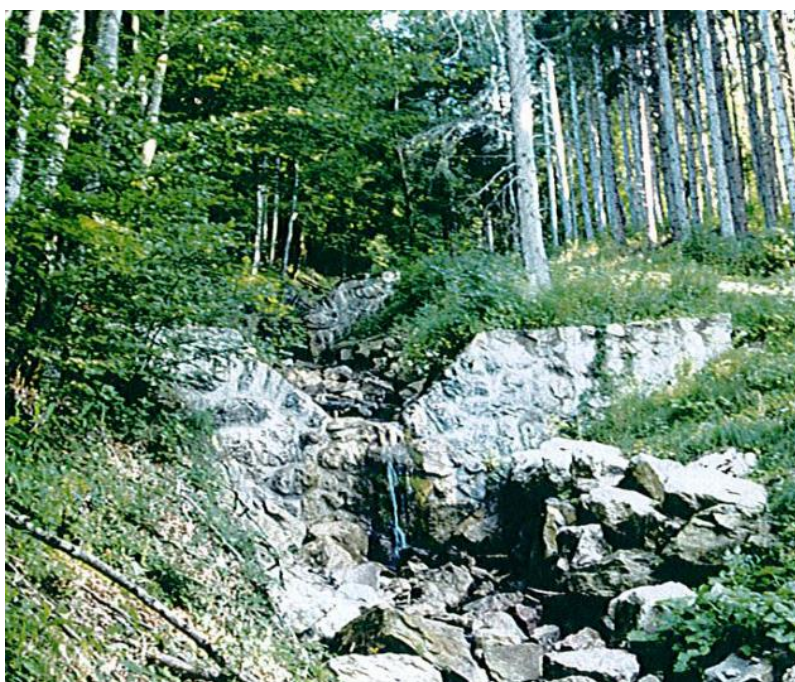


Figure 44 : seuils sur la partie supérieure du Nant des Granges

Le total des dépenses sous la dénomination « barrages » a été de 56000 Fr (de 1939).

Parmi les 10 seuils, 2 d'entre eux ont été détruits par une crue durant un important orage en juillet 1936. D'autres seuils (4 au total) ont été dégradés lors de ce même événement mais réparés dans la foulée.

Il reste donc aujourd'hui 8 seuils ainsi que le grand barrage.

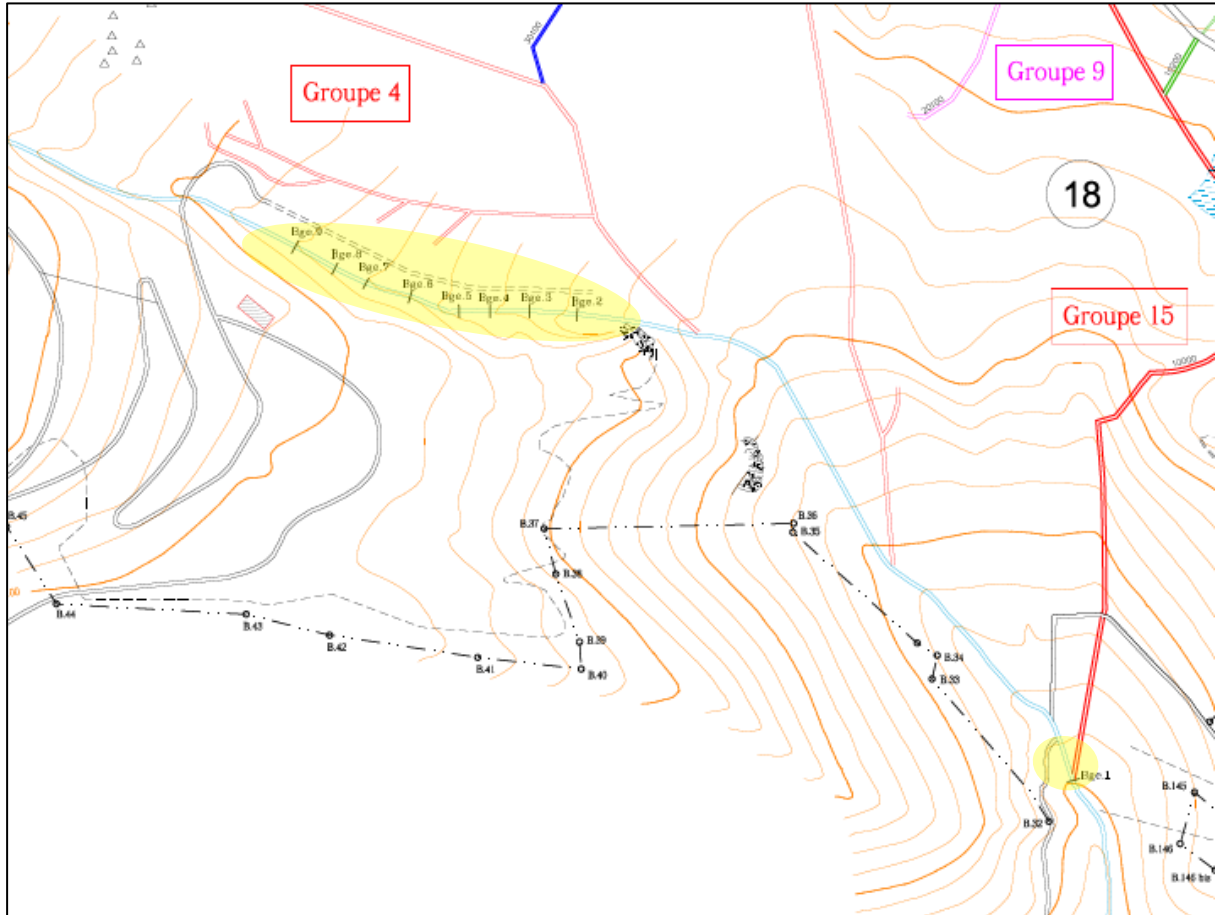


Figure 45 : Extrait de la carte des drains (carte complète en figure 40) – localisation des seuils et du barrage en jaune

IV.4 Plages de dépôt – digue

Suite au glissement de 1944, le RTM a prescrit la construction de digues afin de former une plage de dépôt en amont des Granges pour stocker les coulées de boues.

Dans un premier temps, ces travaux ont consisté à l'aménagement de digues. Ils furent engagés en 1945 grâce aux premières pelles mécaniques et ont été achevés en 1948 pour un montant de 6 500 000 Francs (de 1949).

NB : une sélection de clichés historiques de ces ouvrages est proposée en annexe 3.

Un petit complément a été réalisé en 1974 en rive droite en amont suite à l'événement de 1971 sur recommandation du BRGM (dépense de 55 000 Fr de 1974).

Au total, la digue, localisée en rive droite au débouché de la Gorge des Manauds, atteint 900 m de long sur 6 m de hauteur. La zone endiguée représente une surface de 21,3 ha. La capacité de cet ouvrage est estimée à 2,5 fois le volume des matériaux descendus en 1931.

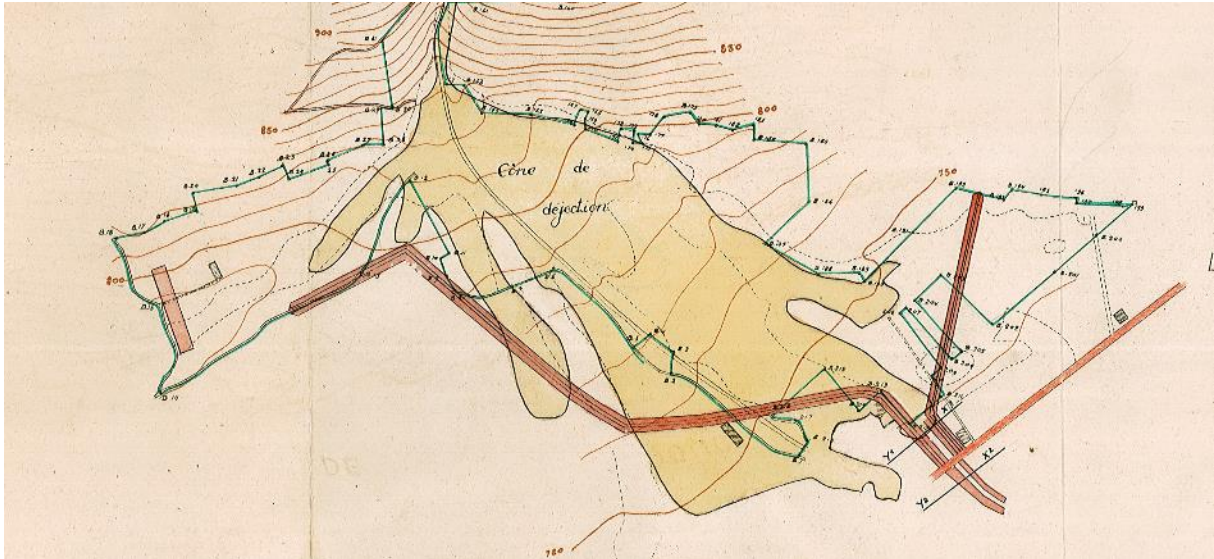


Figure 46 : Plan de la plage de dépôt en 1948 (RTM 1952)

En 1997 et 1998, un réaménagement de cette zone endiguée a été entrepris pour améliorer son fonctionnement. Les travaux ont consisté à :

- Rehausser et prolonger la digue de 1974 en amont de celle de 1948 soit 190 m supplémentaires sur 6 m de hauteur (cf. figure 4). La zone endiguée atteint alors une surface de plus de 23 ha.
- Créer une plage de dépôt (appelée actuellement casier n°3, cf. figures 47 et 50) avec un casier d'une capacité de stockage de 15000 m³ aménagée en partie basse du cône de déjection juste en amont des premiers enjeux. Ce terrassement est associé à un ouvrage grille qui a été construit en aval de la plage de dépôt pour bloquer les éléments grossiers (rochers, troncs).

Le total de ces interventions s'élevait à un montant de 2,5 millions de Francs.



Figure 47 : plage de dépôt n°3 de 1998 (RTM, 1999)

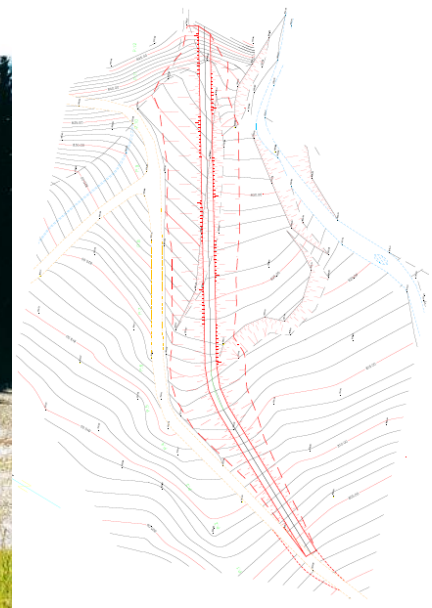


Figure 48 : Plan d'exécution du prolongement de digue (RTM, 1997)

En 2009 (travaux 2007 – 2008), un nouveau dispositif de plage de dépôt voit le jour via deux gros casiers aménagés au sein de la zone endiguée.

L'un d'eux, en amont de celui de 1998 offre une capacité de stockage de 40 400 m³ (pente d'atterrissement de 4% pour une hauteur totale de 6 m au droit de l'ouvrage-fente et de 8 m au droit des digues) appelé casier n°2 lui-même en aval d'un troisième ouvrage dénommé casier n°1 de 48 700 m³ de capacité, sous les mêmes conditions que le n°2.

La capacité totale atteint donc aujourd'hui environ 105 000 m³.

Chaque plage se compose de deux digues latérales enserrant un ouvrage filtrant. Ces ouvrages fentes provoquent un rétrécissement des écoulements et forcent le dépôt. Celui-ci est accentué par le travail de terrassement du corps des plages de dépôt qui abaisse la pente naturelle du lit du ruisseau. Le total de ces nouveaux travaux s'est élevé à environ 600 000 €.

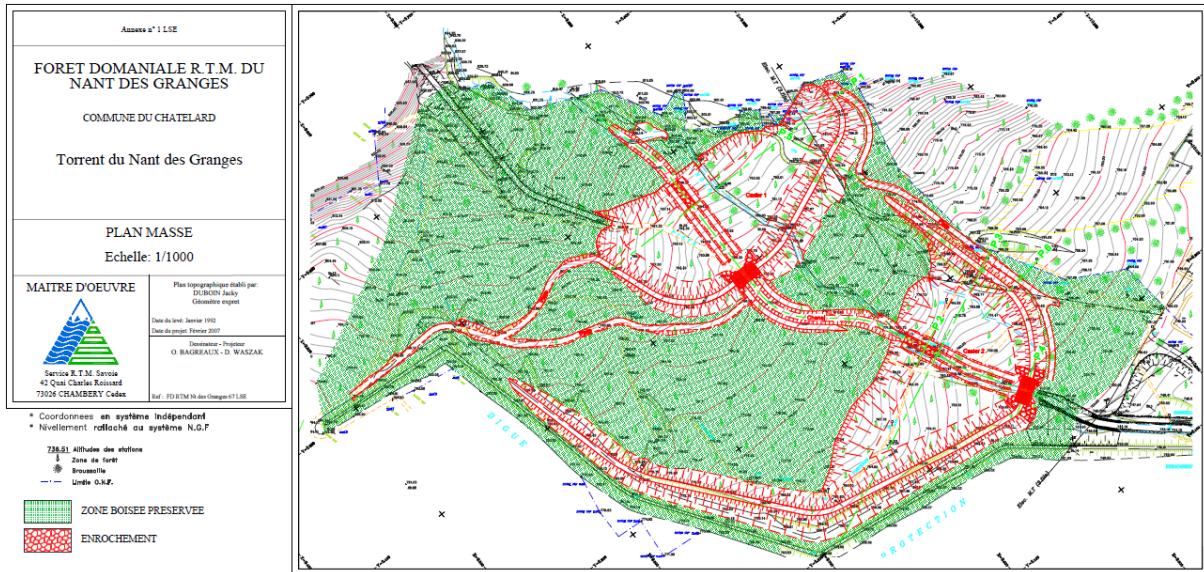


Figure 49 : plan d'exécution de la plage de dépôt de 2009 (RTM, 2006)

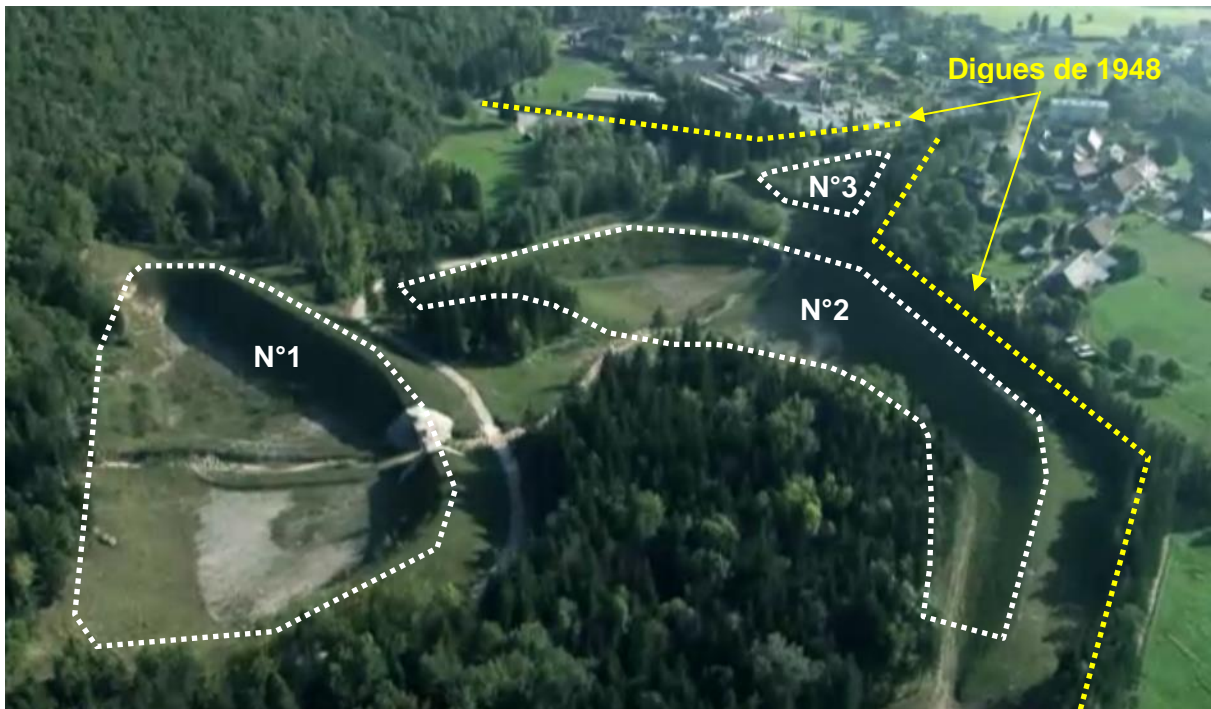


Figure 50 : cliché aérien de la plage de dépôt (source : film les Maîtres du Mont Déserté, IRMa)

IV.5 Contrôle des déplacements du glissement de terrain

Depuis 1992, le RTM a procédé à un suivi des déplacements sur la zone connue comme étant la plus active (entre les ruines de Le Verney et de Chez Caron). Ce sont ainsi 22 bornes qui ont fait l'objet de mesures topographiques périodiques.

Dans un premier temps, les relevés ont été effectués au théodolite depuis des points fixes positionnés à quelques centaines de mètres.

Les mesures ont d'abord été réalisées 6 à 8 fois par an de 1992 à 1996, puis deux fois en 1997, puis une fois par an en 1998, 1999 et 2001.

Sur les 22 points, seuls 12 d'entre eux ont montré des déplacements. Les 10 autres ont donc été abandonnés.

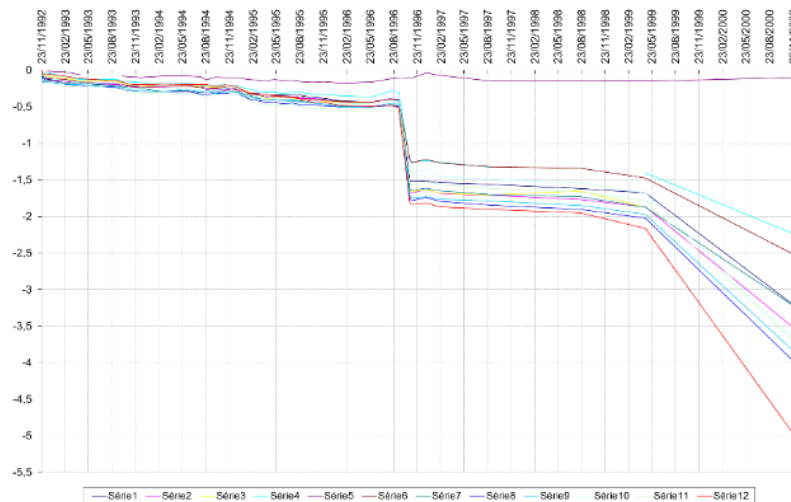


Figure 51 : suivi des déplacements en altitude (en m) pour les 12 points ayant montré des déplacements entre 1992 et 2001

Faute d'activité significative, les levés ont été interrompus entre 2002 et 2012.

Ils ont été repris en 2013, date d'acquisition d'un GPS Trimble au service RTM, ce qui a permis de les géoréférencer en x,y,z et de les rattacher en Lambert 93. Les déplacements mesurés sont très faibles jusqu'au glissement de 2015.

En 2015, les mires n°1 à 7, et 10 ont été directement concernées par le glissement du printemps. Les déplacements mesurés sont importants : plurimétriques en dénivelée et jusqu'à 26 m en horizontal.

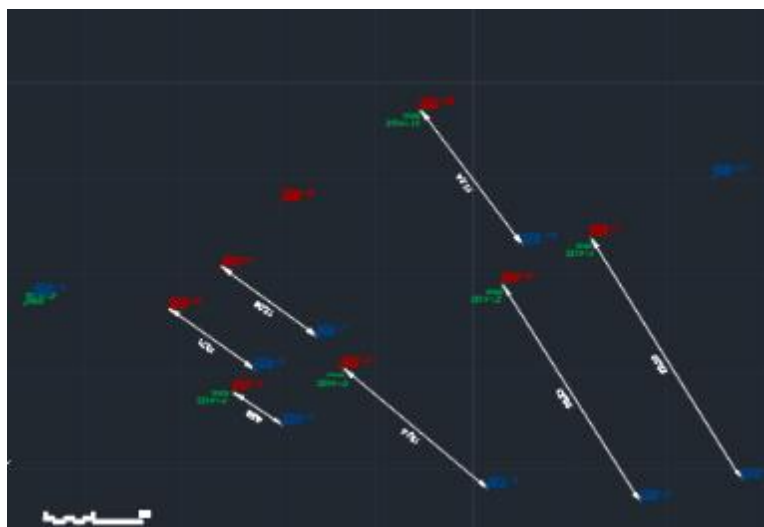


Figure 52 : représentation dans l'espace des déplacements sur les bornes 1 à 10 (en rouge état en 2013, vert en 2014, bleu en 2015)



Figure 53 : suivi de déplacement

IV.6 Entretien des ouvrages

Chaque année, le RTM procède à une auscultation des drains fermés par le biais de cheminées de visite et parcourt l'ensemble des drains ouverts.

Un entretien périodique, usuellement annuel, est mené sur les drains ouverts et sur les berges du Nant des Granges. Episodiquement, cette intervention est parfois plus espacée lorsque des événements nécessitent un redéploiement des crédits vers d'autres actions (exemple : remise en état de drains à la pelle araignée en 2015).

Il s'agit essentiellement d'un débroussaillage afin d'éviter que les drains ne se bouchent et soient déchaussés par des racines, ainsi que de traiter d'éventuels embâcles.

Le temps passé par les ouvriers forestier est d'environ 800 heures pour couvrir le site ce qui représente un montant généralement de l'ordre de 40 000 €/an.

La plage de dépôt est entretenue par le pâturage de bovins par accord avec un éleveur local. Cet ouvrage ne nécessite pas d'autre entretien courant que l'entretien de la végétation.



Figure 54 : débroussaillage d'un drain ouvert

IV.7 Synthèse financière des ouvrages et interventions

Il n'y a pas nécessairement de sens à donner un coût des travaux entrepris depuis 1931 car les prix, le coût de la main d'œuvre, le cours des monnaies successives et les dispositifs mis en œuvre n'ont pas vraiment de correspondances avec ceux de notre époque, même en prenant en compte l'inflation.

Par ailleurs, nombre d'aménagements ont été réalisés en régie dans le cadre d'une politique sociale de l'Etat (= travail comme chômage), ce qui est difficilement quantifiable tarifairement aujourd'hui.

De nombreuses actions (entretien, plantations ponctuelles, réparations partielles de drain, etc.) ont été effectuées en interne (par les « Eaux et Forêts », par l'ONF et le RTM) sans qu'il y ait systématiquement de traces chiffrées précises dans les archives (action parfois simplement citées dans les écrits).

Si l'on s'en tient aux grands travaux emblématiques de la domaniale du Nant des Granges, une estimation donnerait près de 6 M€ d'aujourd'hui.

| Action | Date – période | coût à leur réalisation | Taux d'actualisation (source INSEE) | Estimation montant actuel (actualisation 2016) |
|--|----------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Divers chantier antérieurs à 1939 (<i>curage torrent, chemins, transport, clôtures, construction baraques</i>) | < 1939 | 132 400,00 anciens F | 0,62 | 82 088,00 € |
| Reboisement (<i>y compris semis, pépinière et plantation</i>) | 1931 – 1938 | 440 000,00 anciens F | 0,77 | 340 445,00 € |
| Drainages | 1931 – 1933 | 1 500 000,00 anciens F | 0,65 | 980 000,00 € |
| Grille décanteur | 1970 -1990 | 50 000,00 F | 0,30 | 15 000,00 € |
| Barrage - Seuils | 1932 - 1933 | 55 000,00 anciens F | 0,65 | 35 750,00 € |
| plages de dépôt - digue | 1945 - 1948 | 6 500 000,00 anciens F | 0,11 | 695 000,00 € |
| | 1974 | 55 000,00 F | 0,76 | 42 049,00 € |
| | 1997 - 1998 | 2 500 000,00 F | 0,20 | 490 841,00 € |
| | 2007 - 2009 | 600 000,00 € | 1,08 | 648 000,00 € |
| Entretien périodique drains / forêt / débroussaillage | 1931 - 1939 | 810 000,00 anciens F | 0,16 | 130 200,00 € |
| | 1940 - 1959 | 4 780 100,00 anciens F | 0,08 | 400000,00 € |
| | 1960 - 1974 | 640 900,00 F | 0,62 | 400000,00 € |
| | 1975 - 1994 | 1 450 500,00 F | 0,24 | 343 175,00 € |
| | 1995 - 2001 | 1 070 000,00 F | 0,50 | 540 000,00 € |
| | 2001 -2015 | 450 000,00 € | 1,02 | 459 000,00 € |
| MONTANT en € | | | | 5 601 548,00 € |

Tableau 10 : bilan financier estimatif des travaux entrepris

V Partie 5 : Examen des dispositifs existants

V.1 Efficacité / état / utilité des ouvrages

V.1.1 Boisement

Les points négatifs

- 1) Il est convenu que les glissements présentant une épaisseur supérieure à 2 m ne peuvent pas être stabilisés par les réseaux racinaires de la végétation quelle qu'elle soit. Les divers événements historiques ainsi que les études géotechniques ont montré que l'épaisseur des terrains mobilisables était souvent supérieure à 10 m dans le cas présent. Les nombreuses répliques de glissements à l'issue de celui de 1931 corroborent que les arbres n'ont pas réussi à stabiliser le versant.

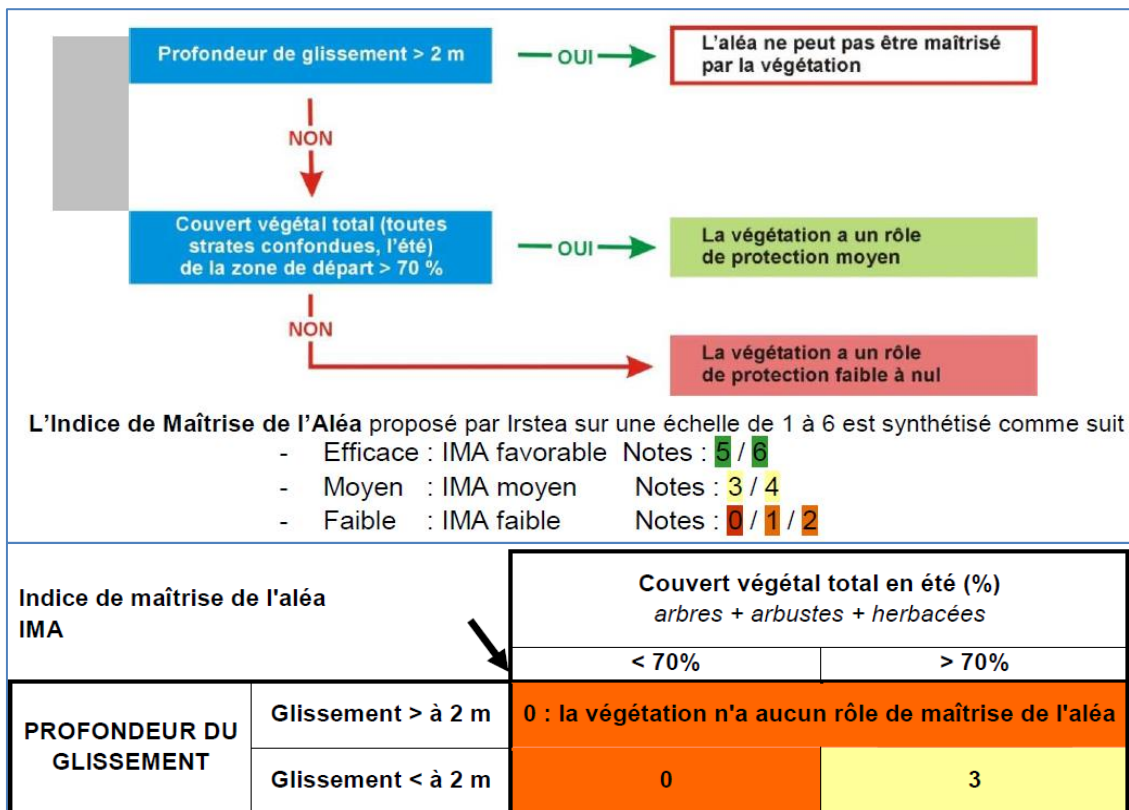


Figure 55 : Indice de Maîtrise de l'Aléa selon l'IRSTEA

- 2) Les bois emportés par un glissement constituent des matériaux qui viennent gonfler les coulées boueuses et contribuent à la formation d'embâcles.
- 3) Les arbres peuvent être des facteurs aggravant lorsqu'ils surchargent des terrains initialement instables et peuvent ouvrir des niches d'arrachement en basculant.
- 4) Les racines des arbres peuvent dégrader les drains fermés et les bois mort peuvent obstruer les drains ouverts.

Les points positifs

Le boisement « pompe » une partie de l'eau du sol ce qui a pour conséquence de diminuer la quantité d'eau infiltrée dans les terrains.

Par ailleurs, la forêt, par l'intermédiaire des systèmes racinaires qui vont agir comme autant d'ancrages, joue un rôle dans la stabilisation des terrains de surface permettant d'éviter les glissements superficiels qui pourraient engendrer des glissements plus importants.

Enfin, l'exploitation de forêt représente un réel enjeu économique aujourd'hui avec une politique volontariste de l'Etat et des collectivités territoriales pour mobiliser davantage de bois et promouvoir sa valorisation. (cf. § III.9.4).

L'état/efficacité

Le couvert forestier est en bon état général. Il a bien évidemment été chahuté ponctuellement par les divers glissements. Pas ou peu d'épisodes de chablis sont évoqués dans les documents consultés.

Synthèse

Le rôle de la forêt n'est pas avéré dans la stabilité de ce versant. En revanche, elle constitue un dispositif complémentaire aux ouvrages si elle reste bien entretenue et bien gérée (assèchement des sols et stabilisation des couvertures de surface).

V.1.2 Drainages

Les points négatifs

L'ensemble du dispositif est vieillissant puisque l'essentiel du réseau remonte aux années 1930. Les conséquences en sont multiples :

- Les mouvements globaux, même lents, du versant, peuvent les dégrader ;
- Certains peuvent être perdus/oubliés ;
- Des colmatages ont pu se créer avec le temps ;
- Leur localisation sur les plans est ancienne et parfois approximative. Deux données SIG résultant de la digitalisation de cartes papier et d'un géoréférencement approximatif ont été trouvées : la couche ouvrage de la BDRTM (en rose sur la carte suivante) et la couche du plan topographique du service (fichier dwg, en jaune ci-après). Les deux données ne coïncident pas entre elles et semblent ne pas correspondre à la réalité du terrain lorsqu'on les superpose sur un orthophotoplan. Cela peut avoir des conséquences à l'avenir dans le suivi futur des ouvrages et à l'occasion de changements de titulaire de poste de techniciens territorial.

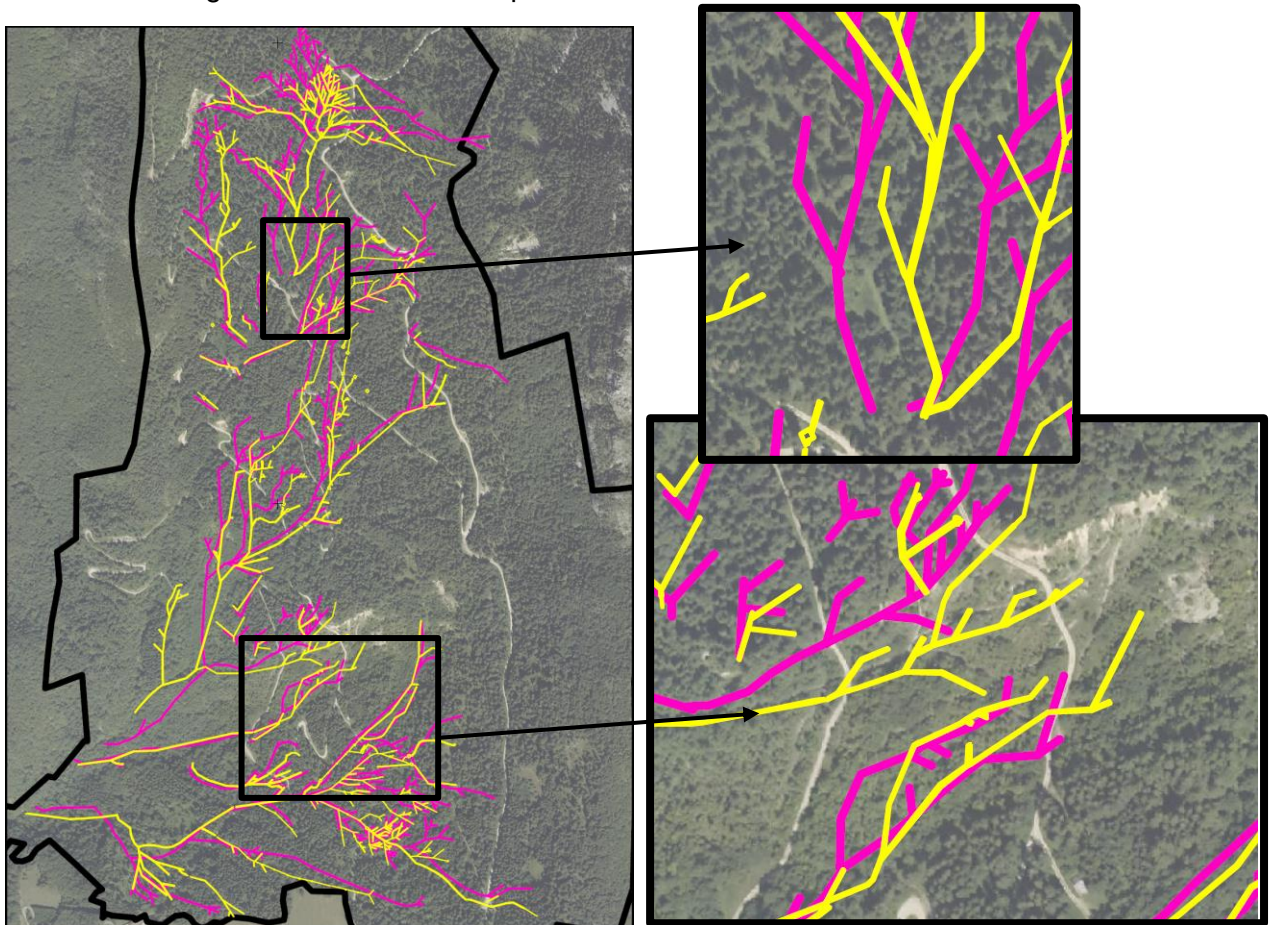


Figure 56 : carte des drains avec zoom sur des secteurs où l'on observe un décalage avec la réalité

Cette absence de localisation précise pose également problème aux ouvriers forestiers dans la gestion et l'organisation de leur travail (drains mal positionnés sur leur carte, drains non cartographiés, drains plus étendus dans la réalité que sur le document, etc.).

Les observations du terrain ainsi que les conclusions des nombreuses expertises (CGG, ADRGT, BRGM et RTM) mettent en avant des désordres assez récurrents. Or, un dysfonctionnement des drainages peut être à l'origine de nouveaux glissements en occasionnant une infiltration des eaux dans les sols. A titre d'exemple, le glissement de 1971 serait dû à la rupture d'une canalisation selon le BRGM.

Enfin, notons que certains bacs de décantation peuvent s'avérer dangereux. C'est notamment le cas de celui situé sur le drain 10200 dans lequel plusieurs chiens seraient tombés ces dernières années.

Les points positifs

Depuis leur réalisation, le réseau a toujours fait l'objet d'une surveillance et d'un entretien qui donnent globalement de bons résultats.

L'état/efficacité

Il est difficile de se prononcer sur les drains fermés qui pourraient, pour certains, être perdus/oubliés, pour d'autres, partiellement colmatés. Toutefois, les écoulements, visibles à la fois par les cheminées de surveillance (regards) et aux débouchés de canaux dans les drains ouverts, témoignent d'une certaine efficacité. Les drains ouverts sont en bon état général et bien entretenus.

Les études géotechniques sont toutefois unanimes pour affirmer que ces drains ont une efficacité toute relative car ceux-ci collectent les eaux superficielles. Or il a été démontré que les écoulements les plus perturbateurs sont plus profonds (au contact avec les marnes).

Synthèse

Le rôle des drains est plutôt positif et contribue en tout état de cause à l'assèchement des terrains à leur surface. Cela nécessite toutefois une surveillance et un entretien accru. Tous dysfonctionnements des drains pourraient en effet devenir un facteur de déclenchement de glissement.

V.1.3 Barrage – seuils

Les points négatifs

Pas de réel effet sur le glissement proprement dit.

Les points positifs

Les seuils donnent incontestablement un profil plus doux à la pente, limitant ainsi l'effet des crues (surcreusement, érosion de berge, etc.). Notons d'ailleurs que depuis leur implantation, il n'y a eu qu'une seule crue (1936) qui a provoqué une coulée torrentielle.

L'état/efficacité

L'ensemble du dispositif, seuils et barrage forme une bonne correction torrentielle. En revanche, le barrage qui avait, à l'origine, également la fonction de caler la butée du glissement ne semble pas remplir cet objectif au regard des divers événements survenus après sa réalisation. Tous les seuils sont en bon état : il n'a pas été observé de pathologie. Concernant le grand barrage, celui-ci semble avoir subi les épreuves du temps. La comparaison du cliché de 1933 avec celui de 2016 (cf. figure 42) témoigne du vieillissement de ce dernier avec des pierres désolidarisées à l'échancrure.

Synthèse

Ces ouvrages interviennent davantage dans la correction torrentielle du Nant des Granges plutôt que dans la stabilisation des mouvements d'ensemble. Cette fonction reste intéressante à maintenir même s'il a été démontré que le rôle du torrent était relativement restreint dans le mécanisme des glissements de ce site.

V.1.4 Plage de dépôt

Les points négatifs

Pas de retour d'expérience sur des événements significatifs. Les effets de cet ouvrage se limitent à la partie aval sans influencer sur la genèse des phénomènes.

Les points positifs

Le dispositif est récent (actualisé en 2009) ce qui constitue un gage d'efficacité. La conception semble en effet robuste, les techniques employées sont reconnues.

L'état/efficacité

Depuis sa réalisation finale (2009), l'ouvrage n'a pas été sollicité. Sa nature récente et son entretien/surveillance périodique lui confère un bon état. Notons toutefois qu'il a été observé des petites zones d'érosion sur les digues de l'ouvrage (cf. figure suivante). Celles-ci n'ont pas d'incidence à ce stade, mais il conviendra de s'assurer que ces dernières ne se généralisent pas et ne s'accroissent pas.



Figure 57 : Traces d'érosions sur la digue RD de la plage N°1

Synthèse

Il s'agit vraisemblablement là du dispositif le plus efficace du site pour la protection des zones anthropisées.

V.1.5 Contrôle des déplacements du glissement de terrain

Les points négatifs

Les outils utilisés jusqu'ici pour le suivi topographique semblent rudimentaires voire obsolètes par rapport à l'objectif de surveillance générale et aux moyens existants aujourd'hui.

Le suivi se concentre sur une petite zone assez restreinte et ne donne pas d'éléments sur l'ensemble du bassin.

La végétation en place provoque des imprécisions dans les relevés au GPS Trimble.

Le pas de temps annuels des relevés ne permettent pas de donner une alerte.

Des bornes peuvent disparaître lors d'un glissement (exemple de 2015).

Les points positifs

Permet d'avoir un ordre de grandeur des vitesses et de la variabilité interannuelle de ces déplacements dans la zone reconnue la plus active.

L'état/efficacité

Le dispositif de suivi a permis de quantifier localement des déplacements liés aux glissements de 2015 et de 1996.

Beaucoup de sources d'erreur sont possibles lors des mesures (imprécision dues à la végétation, imprécision opérateur, etc.) qui peuvent masquer, ou au contraire mettre en avant, un mouvement.

Synthèse

Ce dispositif ne semble pas adapté au site et aux moyens du jour.

V.2 Comportement au-delà du scénario de référence

Le scénario d'un mouvement de grande ampleur tel que celui de 1931, voire au-delà, ne peut pas être totalement écarté même s'il paraît aujourd'hui peu probable au regard des divers aménagements réalisés dans le bassin versant qui contribuent chacun à leur mesure à limiter la fréquence ou l'ampleur des mouvements.

Il n'existe aucune présomption à ce jour d'un glissement supérieur au scénario de référence. En revanche, l'examen des prospections géophysiques montrent qu'il subsiste une couche superficielle relativement épaisse qui pourrait encore être mobilisée.

La mise en mouvement de cette dernière n'aboutirait à un dépassement du scénario de référence que si une vaste surface était concernée. Cela nécessiterait de surcroît, un apport d'eau considérable et/ou la défaillance des ouvrages de drainage.

Si celui-ci devait se produire, il est difficile voire impossible de savoir avec certitude si la plage de dépôt pourra protéger les enjeux efficacement. La seule certitude est que nous disposons aujourd'hui de moyens mécanisés qui permettraient de vidanger rapidement les casiers de stockage de la plage de dépôt en cas de capacité insuffisante. Par ailleurs, s'agissant d'un phénomène à vitesse relativement faible, les populations exposées pourraient être facilement évacuées.

Par conséquent : la survenance d'un aléa supérieur au scénario de référence semble surmontable en l'état actuel des aménagements et des moyens existants.

V.3 Comportement en cas de défaillance du dispositif

Concernant le dispositif de drainage, la possibilité de défaillance est liée soit à un défaut d'entretien des drains existants (colmatage), soit à des conditions hydrologiques telles que les drains ne suffisent plus à évacuer correctement les eaux (débit max atteint) où bien à des mouvements des terrains qui endommageraient les réseaux.

Le premier n'est donc pas pris en compte puisque les drains sont entretenus périodiquement par l'ONF.

Le deuxième cas peut être géré par une surveillance des conditions météorologiques et une visite notamment des secteurs où des émergences sont connues. Si des venues d'eau importantes sont observées, une imbibition des terrains importante est remarquée, une alerte devrait être donnée.

Pour le dernier cas, il n'y a malheureusement pas de solution facile. Seule la surveillance périodique des réseaux peut permettre de déceler des signes avant-coureurs tels que des sols plus humides que d'habitude, des terrains boursoufflés en surface, des fissures etc. Toute détection de drainage défaillant nécessite une réparation rapide afin de ne pas déclencher un glissement par rejet des eaux sur une zone sensible.

Concernant la plage de dépôt, son éventuelle défaillance serait liée à son engravement pour un volume supérieur à 100000 m³ ou un embâcle générant un obstacle au bon fonctionnement

du dispositif. Dans un cas comme dans l'autre, ce scénario est considéré dans les paragraphes de la partie 7.

Concernant le boisement, celui-ci a des effets sur le ravinement et la rétention d'eau malgré des limites déjà énoncées précédemment. Toutefois, une défaillance qui pourrait ici être un chablis par exemple, pourrait donner des bois morts avec donc une alimentation d'une éventuelle coulée en troncs ainsi qu'une ouverture de zones d'infiltrations au droit des systèmes racinaires ayant basculés. Le scénario peut être écarté du fait de l'entretien effectué par l'ONF.

VI Partie 6 : Synthèse sur les risques

Rappelons ici que la notion de risque est la conjonction d'un aléa correspondant à un phénomène naturel avec un ou des enjeux qui peuvent être des biens ou des personnes.

VI.1 Bilan sur l'aléa

L'aléa de glissement est fort sur un ensemble important de la forêt domaniale du Nant des Granges.

Au regard de l'historique, le phénomène de référence reste sans conteste l'événement de 1931. Pour rappel : il s'agit d'un la mise en mouvement de quelques millions de mètres cubes dont plus 100 000 m³ atteignent la vallée. Depuis, de nombreux aménagements et actions ont été réalisés. Ceux-ci jouent un rôle de protection incontestable sur le phénomène. Toutefois, les nombreuses répliques qui ont succédé à leur mise en place, doivent être considérées comme des alertes sur l'activité du site qu'il convient de ne pas négliger. Le glissement de 2015, avec plus de 150 000 m³ de matériaux en mouvement, en est un bon exemple encore récent.

Notons toutefois que, même lors de l'événement de 1931, le phénomène ne s'est pas réalisé de manière brutale. La cinétique était comparée à une vitesse de marche d'homme.

VI.2 Bilan sur les enjeux

Dans le périmètre de la forêt domaniale, les enjeux sont faibles. Seule la forêt proprement dite constitue un enjeu économique et environnemental.

En revanche, au débouché du bassin versant, le hameau des Granges présente une vulnérabilité notoire avec des habitations, des entreprises et des zones d'activités et de loisirs. Celui-ci s'avère donc un enjeu important qui a motivé les travaux réalisés depuis 1931.

VI.3 Bilan sur les risques

Le risque se situe donc au contact des aléas et des enjeux. Or, hormis en cas de défaillance de la plage de dépôt, ce scénario ne devrait pas se produire. Rappelons que cette dernière a été dimensionnée pour un phénomène de référence supérieur à celui de 1931. Notons également que nous disposons aujourd'hui de moyens bien plus efficaces qu'à cette époque. En effet, en cas de glissement majeur, des entreprises de travaux publics pourraient évacuer les matériaux menaçants.

Par conséquent, au vu de la cinétique de l'aléa relativement lente, de la présence des ouvrages (et de leur efficacité jugée globalement bonne) et des moyens d'intervention d'aujourd'hui, le hameau des Granges ne semble pas menacé par un risque « centennal ». Le PIZ (carte des aléas [cf. § III.9.5]) retient également un aléa résiduel nul au niveau du lieu-dit. Cela sous-entend toutefois que le risque ne peut être considéré comme négligeable, que si et seulement si, les ouvrages continuent à être efficaces (donc entretenus).

VII Partie 7 : Perspectives / Définition de la stratégie de gestion et d'aménagement de la division domaniale

VII.1 Stratégie de gestion

a) Maintien et entretien des dispositifs :

Les ouvrages de **drainage** doivent être maintenus puisque toute défaillance pourrait engendrer de nouveaux mouvements. Cela passe par de l'entretien et quelques réfections périodiques. La reprise de quelques bacs de décantation (ou leur sécurisation) doit intervenir dans ce cadre. Il ne semble pas opportun de développer le réseau existant compte tenu de la présence de la plage de dépôt en aval.

Le **boisement** limite l'érosion par ravinement, participe à s'assèchement des sols et forme des ancrages limitant les mouvements superficiels. A cette fin, il conviendra de poursuivre la gestion entreprise par l'ONF dans le cadre de l'aménagement forestier, à savoir tendre vers une structure des peuplements plus proche de la futaie irrégulière, avec notamment un vieillissement des peuplements et, par ailleurs, une réduction des résineux (sapin pectiné et épicéa commun) et une diversification des essences feuillues.

Les ouvrages **seuils et barrage** doivent être périodiquement surveillés et entretenus.

La **plage de dépôt** doit être surveillée et entretenue dans la continuité de ce qui se fait à ce jour.

b) Abandon de dispositif :

Le **contrôle des mouvements** tel qu'il est actuellement effectué peut être abandonné. Nous recommandons de le remplacer par une nouvelle action (détaillée ci-après).

c) Nouveaux dispositifs :

Les données de référence (géophysiques et topographiques) sont relativement anciennes. Il conviendra donc de réactualiser ces données. L'amélioration de la connaissance et l'exploitation d'éventuelles mesures ne peut pas se faire sans s'appuyer sur des missions externes. La localisation des drains n'est pas correctement géoréférencée sur les outils actuels ce qui paraît dommageable à plus long terme.

Une procédure de surveillance (en crise) de la plage de dépôt devrait être envisagée conjointement avec la commune afin que celle-ci puisse prendre les mesures qui s'imposent en cas de défaillance ou de dépassement de sa capacité (détails ci-après).

d) Synthèse de la stratégie proposée :

La stratégie de préservation du rôle de protection de la FDRTM au regard des glissements de terrains se résume en cinq points :

- Surveillance des aléas (contrôle visuel des manifestations superficielles, contrôle après crue des dépôts),
- Surveillance et entretien des ouvrages existants,
- Acquisition de nouvelles données topographiques et géophysiques,
- Mise en place d'une procédure de surveillance de la plage de dépôt en période de crise intégrée au PCS,
- Gestion forestière évoluant vers un traitement en futaie irrégulière,

VII.2 Proposition de travaux et actions

Conformément aux conclusions précitées de cette étude, il n'est pas programmé de travaux importants en dehors de l'entretien courant qui représente un montant d'environ 40 000 €/an. Toutes interventions relevant des « travaux » ne semblent effectivement pas nécessaires puisque celles-ci ont été effectuées par le passé et renforcées encore récemment notamment par l'aménagement de la plage de dépôt en 2009. Seule la création d'un nouveau bac de décantation a été prévue dans le cadre de la programmation 2016 – 2020.

Concernant les actions à entreprendre elles comprennent :

- Pour la surveillance des aléas, le suivi des phénomènes après chaque périodes de pluies ou d'hivers très enneigés et une visite de suivi simple tous les ans par le technicien territorial RTM.
- Pour la surveillance et l'entretien des ouvrages existants, une visite annuelle de simple constat visuel par le RTM complétée par une visite approfondie tous les 5 ans. Le débroussaillage et le nettoyage périodique des ouvrages doit continuer à être mené. L'amélioration des bacs de décantation interviendra dans ce cadre. Notons à ce titre la reprise du bac de décantation du drain 10200 prévue dans le cadre de la programmation 2016 – 2020.
- Pour l'amélioration de la connaissance, nous recommandons :
 - il semble nécessaire de procéder à des nouvelles investigations géotechniques afin d'évaluer l'ampleur des matériaux mobilisables et confronter leur évolution par rapport aux précédentes campagnes.
 - un nouveau relevé topographique nous paraît également utile à l'heure des outils numériques (SIG lidar etc.). Cela permettra de repositionner correctement les drains sur les documents cartographiques. Il permettra également de disposer d'un état initial et de constater des mouvements à l'avenir par comparaison de nouveaux relevés topographiques. A cet égard, de façon à pouvoir comparer 2 lidars entre-eux, il conviendra que ces derniers soient relevés de la même manière (altitude, étendue, plan de vol, densité de points, etc.), il est donc important de définir un cahier des charges précis. Nous recommandons de procéder à de nouveaux levés lidars après chaque événements significatifs.
- Concernant la gestion de crise sur la plage de dépôt, nous recommandons de mettre au point une procédure de surveillance visuelle en cas de remplissage. Il conviendrait par exemple de disposer un repère au-delà duquel une entreprise TP serait contactée afin de pouvoir intervenir rapidement si besoin pour un curage immédiat. Une telle procédure peut être envisagée dans le cadre d'un Plan Communal de Sauvegarde (PCS).
- A long terme (au-delà objectif de l'aménagement forestier : > 2023), un traitement en futaie jardinée apparaît (selon l'aménagement forestier) comme la structure idéale pour répondre aux objectifs poursuivis de protection physique. Cela consisterait à disposer de toutes les classes d'âges, de toutes les strates dans des proportions équilibrées. La structure actuelle ne permettant pas de parvenir à l'état jardiné sans sacrifices d'exploitabilité, il conviendra de tendre, dans un premier temps, vers un traitement en futaie irrégulière, avec la recherche, à long terme, d'une structure globale irrégulière équilibrée qui permettra dans une large mesure d'assurer la stabilité physique souhaitée.

VII.3 Programmation des dépenses et actions

Nous proposons une programmation en fonction des éléments précités de stratégie et sur une période de référence de 5 ans.

| Stratégie de gestion | Objectifs | Opération / programmation | Montant | Priorité |
|--|--|--|---|---------------|
| Surveillance des aléas | Suivi des phénomènes post-événement, | Visite de contrôle tous les ans et lors de phénomènes pluvieux long et importants | MIG RTM | 0 annuelle |
| Surveillance et entretien des ouvrages | Maintien du niveau de protection actuel par le suivi des ouvrages, entretien courant et réparation ponctuelle | - Entretien des drains et bacs de décantation. - Entretien annuel avec contrôle des débits sortant. - Opération de dégagement des ouvrages et des berges. | MIG RTM + 40 000 € HT/an + 28 000 € HT de reprise de certains bacs de décantation | 0 annuelle |
| Amélioration de la connaissance | Acquérir de nouvelles données sur les conditions géotechniques du site. Disposer des données topographiques à jour | - Sondages géotechniques - Relevé topographiques (avec lidar) | estimation de 24 000 € HT d'étude géotechnique + 12 000 € HT de lidar | 1 |
| Suivi topographique | Suivre l'évolution des mouvements et dimensionner les volumes mobilisés | Suivi topographique (lidar), après chaque événement significatif | 12 000 € HT après chaque événement significatif | 3 |
| Mise en place de procédure de surveillance en cas de crise | Disposer d'une procédure d'alerte en cas de crise | Disposer d'un repère au niveau de la plage de dépôt afin de faire intervenir une entreprise lorsque celui-ci est atteint = procédure pouvant être gérée dans le cadre du PCS | Prix d'un PCS (démarche communale) entre 5 000 et 10 000 € HT | 2 |
| Gestion sylvicole adaptée | Maintien d'une végétation contribuant à la protection du site | - Aboutir à une futaie irrégulière - Exploitations des bois adaptés au rôle de protection. | Le document « aménagement forestier 2009-2023 » table sur environ 30 000 € HT/an. | 4 |

Tableau 11 : programmation des dépenses et des actions

VIII Annexes

VIII.1 Annexe 1 : bibliographie

VIII.1.1 Etudes

- ADRGT, 1985, Etude du glissement de terrain du Nant des Granges.
- BRGM, 1971, Compte rendu de visite au glissement de terrain du Châtelard (Savoie) du 11/12/1971.
- Compagnie Générale de Géophysique (CGG), 1958, Etude par prospection électrique et sismique sur le glissement du Châtelard.
- Gex F., 1931, L'éboulement du Chatelard (Bauges, 12 mars 1931). Revue de géographie alpine. Tome 19 N°2. pp. 499-521.
- Joleaud L., 1932, L'éboulement du Châtelard en Bauges du 12 mars 1931
- Moret L., 1931, Les éboulements de terrains en montagnes, à propos du sinistre du Châtelard en Savoie.
- ONF, 2009, Aménagement de la forêt domaniale RTM du Nant des Granges 2009-2023 ;
- Perretier C., 1999, Les drains du Châtelard-en-Bauges : un exemple des actions RTM, mémoire de stage.
- RTM, 2005, De la RTM à une gestion globale des risques naturels en montagne – Le Châtelard et le torrent du Nant des Granges. Plaquette RTM.
- RTM, 2002, Plan d'Indexation en Z.
- RTM, 2009, Mise à jour du Plan d'Indexation en Z.

VIII.1.2 Rapports - Divers

- DDAF, 2007, rapport au CODERST – travaux de protection par plage de dépôt sur le nant des Granges.
- Eaux et forêts, 1936, Fiche événement de la crue de 1936.
- Eaux et forêts, 1945, Rapport suite aux inondations de 1944.
- Eaux et forêts, 1951, Le glissement du Châtelard – avis sur l'évolution du glissement.
- Eaux et forêts, 1959, Le glissement du Châtelard – notice monographique.
- Eaux et forêts, 1964, Rapport suite aux inondations et coulées de 1964.
- Eaux et forêts – RTM, 1931 – 1995, Historique des acquisitions.
- Eaux et forêts – RTM, 1931 – 1995, Historique des travaux.
- RTM, 1964, fiche événement du glissement du 18/10/1964
- RTM, 1986, note de visite de la tournée du Châtelard sur les ouvrages.
- RTM, 1987, note de visite de la tournée du Châtelard.
- RTM, 1990, note de visite de la tournée du Châtelard.
- RTM, 1992, note de visite de la tournée du Châtelard.
- RTM, 1992, Projet de reprise de la plage de dépôt.
- RTM, 1993, Réflexions stratégiques sur le glissement du Châtelard.
- RTM, 1993, étude du profilage de la plage de dépôt du nant des Granges.
- RTM, 1996 – 1998, « dossier travaux » de la plage de dépôt.
- RTM, 2005 – 2009, « dossier travaux » de la plage de dépôt.
- RTM, 2008, Porter à connaissance pour la prise en compte des risques d'origine naturelle.
- RTM, 2009, fiche événement d'un glissement d'avril 2009.
- RTM, 2015, rapport d'événement du glissement d'avril 2015.

VIII.1.3 Cartes - plans

- BRGM, 1985, Carte géologique au 1/80000 et sa notice, N° 169 B feuille d'Albertville.
- BRGM, 1999, Carte géologique au 1/50000 et sa notice, N°726 feuille d'Albertville.

- Eaux et forêts, 1932, Communes du Châtelard et de la Motte-en-Bauges, périmètre du Fier, Torrent des Granges, projet de bornage du périmètre, Plans terrier et parcellaire au 1/4000.
- Eaux et forêts, 1936, Plans terrier et parcellaire au 1/10000.
- Eaux et forêts, 1936, Coupes détaillées du glissement du Châtelard.
- Eaux et forêts, 1936, Dessins d'exécution des ouvrages au 1/20.
- Eaux et forêts, 1952, Série domaniale du Châtelard, Plan au 1/10000.
- RTM, 1958, Série domaniale du Châtelard, torrent du nant des Granges, glissement de 1957, projet de construction d'une dérivation du torrent du Nant des Granges. Plan de situation, profil en long.
- RTM, 1964, Carte du glissement de terrain du 18/10/1964
- RTM, 2007, Plan de masse de la plage de dépôt.
- RTM, 2013, Carte du réseau des drains.

VIII.1.4 Données SIG

- DRAAF, 2012, forêt de protection
- DEAL, 2015, ZNIEFF
- BRGM, 2010, couche vectorisée
- IGN, 2003, EDR25
- IGN, 2015 scan25
- IGN, 2015 RGE alti
- IGN, 2013 BD ortho
- IGN, 2014 BD Topo

VIII.1.5 Autres

Revues de presse

- L'avenir d'Aix les Bains, 14/03/1931 La catastrophe du Châtelard.
- L'avenir d'Aix les Bains, 21/03/1931 Huit jours d'angoisse au Châtelard.
- L'écho de Savoie, 15/03/1931 Le glissement du Châtelard détruit deux villages.
- L'écho de Savoie, 22/03/1931 L'éboulement du Châtelard.
- L'écho de Savoie, 29/03/1931 Les glissements du Châtelard.
- L'Illustration, 21/03/1931 La terre mouvante en Savoie et les hameaux emportés.
- Le Pays de Savoie, 21/03/1931 Le Châtelard-en-Bauges a été très éprouvé par les cataclysmes depuis 15 jours.
- Le Petit Dauphinois, 20/03/1931 Glissement au Châtelard.
- Dauphiné libéré, 18/10/1964 Menacé par une coulée de boue le secteur du Châtelard reste en alerte.
- Dauphiné libéré, 19/10/1964 les abords du Châtelard menacés par un glissement de terrain.
- Dauphiné libéré, 07/09/2009 Le Châtelard, un glissement de terrain sous contrôle.
- Dauphiné libéré, 27/10/2009 Le Châtelard, des travaux pour dompter la montagne.
- Dauphiné libéré, 11/03/2016 Catastrophe du Châtelard : il y a 85 ans une coulée de boue emporte des hameaux.

Sites web

- Portail cartographique de l'IGN : <http://www.geoportail.gouv.fr/>
- Portail cartographique du BRGM : <http://infoterre.brgm.fr>
- Site consacré à la géologie des Alpes : <http://www.geol-alp.com/>
- Site de la commune de Châtelard : <http://www.lechatelard.fr/>
- Site du PNR des Bauges : <http://www.parcdesbauges.com/fr/>
- Site de l'INSEE sur l'actualisation monétaire : <http://www.insee.fr/fr/service/reviser/calcul-pouvoir-achat.asp>

Photographies

- Photographies du RTM depuis 1931.
- Photographies aériennes de l'IGN (disponibles sous Géoportail) : Missions de 1936, 1937, 1939, 1948, 1956, 1969, 1971, 1972, 1982, 1990, 1996, 2001, 2006, 2009.

Film

- IRMA, 2015, « Les Maîtres du Mont déserté », http://www.risques.tv/video.php?id_DTvideo=402
- Dronezone, 2015 vol au-dessus du glissement d'avril 2015.

Dépliant

ONF – PNR des Bauges, 2013, « Les Maîtres du Mont déserté ».

VIII.2 Annexe 2 : analyse hydrologique du Nant des Granges (source David Etcheverry, hydraulicien du RTM 73)

1. Introduction

L'objet de cette note est de présenter une estimation des débits (liquides) de référence du torrent du Nant des Granges.

L'exutoire considéré dans le cadre de cette analyse se situe au droit du pont de la route départementale D911. La confluence du Nant des Granges avec le Chéran se situe environ 1 km plus à l'aval.

2. Données

a) Caractérisation du bassin versant du Nant des Granges

| Paramètres | Valeurs |
|------------------------------|----------------------|
| Surface BV | 2,53 km ² |
| Périmètre | 7560 m |
| Altitude max | 1630 m |
| Altitude min | 738 m |
| Altitude moyenne H50% | 1 230 m |
| H5% | 1 474 m |
| H95% | 774 m |
| Longueur du plus long talweg | 2 360 m |
| Dénivelée total cours d'eau | 547 m |
| Pente moyenne du cours d'eau | 0,231 m/m |
| Indice global de pente | 0,240 m/m |
| Dénivelée | 700 m |
| Dénivelé spécifique | 381 m |
| Coefficient de Gravelius | 1,34 - |

b) Données des pluies annuelles

La précipitation moyenne annuelle sur le bassin versant est issue de l'analyse des données AURELHY sur la période 1981 – 2010 (données de modèle Météo France).

Sur le bassin versant (en bleu) ou à proximité (moins d'un kilomètre), les données disponibles sont les suivantes :

| Altitude | P1an (mm) |
|----------|-----------|
| 1316 | 1601.6 |
| 1238 | 1592.8 |
| 1209 | 1717.5 |
| 1155 | 1563.7 |
| 912 | 1500.3 |

| | |
|-----|--------|
| 796 | 1489.5 |
| 755 | 1505.2 |
| 691 | 1455.9 |
| 664 | 1499.2 |

Tableau 12: Pluie moyenne annuelle

A l'altitude moyenne du bassin versant, la lame d'eau moyenne annuelle précipitée est de l'ordre de **1590 mm**.

c) Données des pluies journalières

La figure et le tableau suivants présentent la localisation des postes pluviométriques situés à proximité du bassin versant étudié et les données pluviométriques à pas de temps journalier recueillies sur les postes situés à proximité du bassin versant.



Figure 58 : Situation des postes pluviométriques

| Poste | Alt. (m) | P _j 10(mm) | P _j 100(mm) | G24h |
|--------------------|----------|-----------------------|------------------------|------|
| ST OFFENGE DESSOUS | 600 | 73 | 104 | 13.1 |
| LESCHERAINES | 590 | 77 | 111 | 14.6 |
| ALBY SUR CHERAN | 422 | 74 | 107 | 14.1 |
| CUSY | 550 | 78 | 113 | 15.1 |
| FAVERGES | 516 | 71 | 103 | 13.6 |
| MONTMIN | 1045 | 77 | 107 | 13.1 |
| LES DESERTS | 1030 | 88 | 126 | 16 |
| AILLON LE JEUNE | 900 | 102 | 149 | 19.9 |

Compte tenu de la proximité du poste de Lescheraines, les données en ce poste seront considérées.

Influence du relief

L'existence de gradients hypsométriques de quantiles de précipitations dans les zones à relief a été révélée par plusieurs études, notamment celles menées dans le cadre du réseau TPG¹ (Desurosne, 1992, Vetter, 2004). Ce gradient est particulièrement marqué au pas de temps journalier, avec des valeurs observées de l'ordre de 4 à 5 mm/100 m d'altitude sur le massif de Belledonne.

Toutefois, le bassin versant du Nant des Granges présente une dénivelée faible, un relief beaucoup moins marqué que sur d'autres massifs comme Belledonne. L'influence du relief sur la précipitation n'est d'ailleurs pas identifiable sur les données annuelles présentées précédemment.

Usuellement, on considère des gradients hypsométriques d'environ 2mm/100m d'altitude pour la pluie décennale et 3,5 mm/100m d'altitude pour la pluie centennale. Corriger les mesures pluviométriques au poste de Lescheraines en considérant ce gradient hypsométrique aboutirait à une pluie journalière décennale d'environ 90 mm et une pluie journalière centennale de l'ordre de 134 mm. Ces valeurs nous paraissent surestimées.

Ainsi, l'influence du relief ne sera pas considérée.

On retiendra donc les données suivantes :

| P_{j10} (mm) | P_{j100} (mm) | G_{24h} (mm/u) |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 77 | 111 | 14,6 |

d) Données à pas de temps horaire

Les données de pluies à l'échelle horaire sont beaucoup plus rares. Seules les données de 3 pluviographes peuvent être exploitées : ceux d'Aillon le Jeune, Thones (74) et Vallières (74).

| T | d (h) | 1 | 2 | 3 | 6 | 12 |
|---------|-----------------|-------|------|------|------|-------|
| 10 ans | Aillon le Jeune | 28,5 | 36,5 | 43,3 | 54,7 | 80,9 |
| | Thones | 28,5 | 35,3 | 42,2 | 55,9 | 73 |
| | Vallières | 27,36 | 31,9 | 37,6 | 49 | 62,7 |
| 100 ans | Aillon le Jeune | 39,9 | 51,3 | 59,3 | 77,5 | 115,1 |
| | Thones | 39,9 | 49 | 59,3 | 78,7 | 102,6 |
| | Vallières | 38,8 | 45,6 | 53,6 | 69,5 | 88,9 |

Le graphique suivant récapitule l'ensemble des courbes $P_{T=10 \text{ ans}}=f(\text{durée})$ et le choix effectué par le service RTM pour l'estimation du débit décennal des bassins versants étudiés :

¹ Transect de Pluviographes pour l'analyse et la modélisation des Gradients hypsométriques.

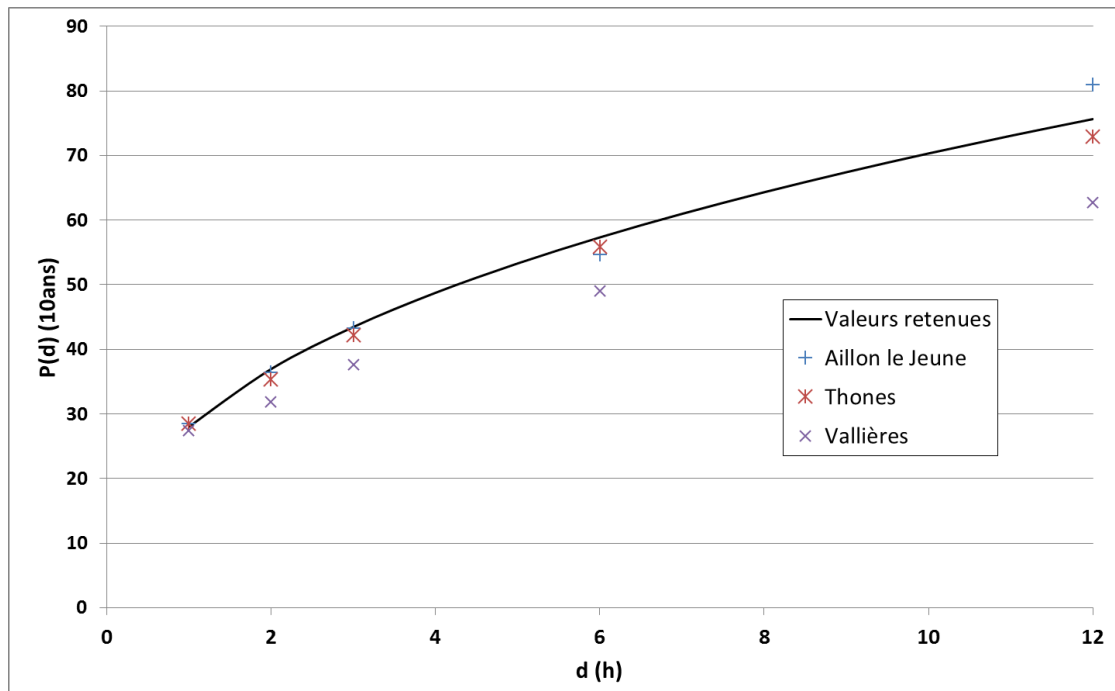


Figure 59 : Pluies à pas de temps horaires

Les coefficients de Montana² correspondant à la courbe choisie sont pour une période de retour de 10 ans et des durées comprises entre 1 et 12 h :

- $a_{10} = 28$
- $b_{10} = 0,60$

De la même manière, pour une période de retour 100 ans, on retient les coefficients de Montana suivant :

- $a_{10} = 40$
- $b_{10} = 0,60$

3. Variables représentatives du temps de transfert

a) Temps de concentration

Le tableau suivant présente l'estimation du temps de concentration du bassin versant à l'aide de différentes approches, et la valeur retenue dans le cadre de l'étude :

| Méthode | Temps de concentration (h) |
|-----------------------------|----------------------------|
| Kirpich | 0,25 |
| Giandotti | 0,62 |
| Turrazza | 0,41 |
| Izzard Meunier (BV Dégradé) | 0,39 |

² Les coefficients de Montana, sont les paramètres de l'équation $P = a \cdot d^{1-b}$, avec d la durée de l'événement pluvieux (h)

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Izzard Meunier (BV végétalisé) | 0,90 |
| Méthode conceptuelle | 0,64 |
| Valeur retenue | 0,5 (soit 30min) |

b) Durées caractéristiques

La durée caractéristique de crue est utilisée pour le calcul du débit de pointe décennal avec la méthode SOCOSE. Elle est également un paramètre clef pour l'estimation du débit de pointe centennal avec la méthode du gradex esthétique.

Deux formules ont été utilisées : la formule SOCOSE adaptée aux bassins versants à forte pente (Ministère de l'Agriculture, 1982) et la formule issue de l'étude de Galea et Ramez (1994) adaptée aux bassins versants rapides. Les résultats sont présentés ci-après :

| Méthode | Durée caractéristique de crue (h) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| BV Rapides [Galea et Ramez, 1994] | 0,98 |
| SOCOSE BV à forte pente | 8,02 |
| Valeur retenue | 1,5 h |

4. Détermination des débits de référence

a) Débit décennal

Le tableau suivant présente l'estimation du débit décennal à l'aide de différentes approches, et la valeur retenue dans le cadre de l'étude.

| Méthode | Qi10 (m³/s) |
|-------------------------------|-----------------|
| Régressions multiples (Alpes) | 2,3 |
| SOCOSE | 3,6 |
| Crupedix (Sud Est) | 2,3 |
| SCS simplifiée | 3,5 |
| Rationnelle | 3,0 |
| Valeur retenue | 3,5 m³/s |

b) Débit centennal

Les bassins versants étudiés sont non jaugés. De nombreuses incertitudes apparaissent dans les calculs réalisés : incertitudes des modèles eux-mêmes, des données relevées aux postes voisins, incertitudes dans les choix des paramètres (coefficient de ruissellement par exemple), incertitudes liées à la géomorphologie des bassins versants (existence de sources, terrains karstiques,...)

Au vu de ces incertitudes, l'évaluation du débit centennal est réalisée à l'aide d'une méthode sommaire (dérivée de la méthode QdF) calée localement.

Elle s'écrit : $Q_{100} = 2.25. Q_{10}$

On retient

$$Q_{100} = 8 \text{ m}^3/\text{s}$$

5. Synthèse

Les débits de références retenus sont les suivants :

| Période de retour | 10 ans | 100 ans |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| <i>Débit</i> | <i>3,5 m³/s</i> | <i>8 m³/s</i> |

VIII.3 Annexe 3 : clichés historiques du RTM

Ci-après est proposée une sélection des clichés historiques et emblématiques du phénomène et des premiers travaux.

Remarque : certaines légendes sont indiquées sur les clichés. Les photos proviennent toutes des archives du RTM



Glissement du Mont. Les coulées de lave dans la vallée du Chéran. Vue générale. 16/03/1931

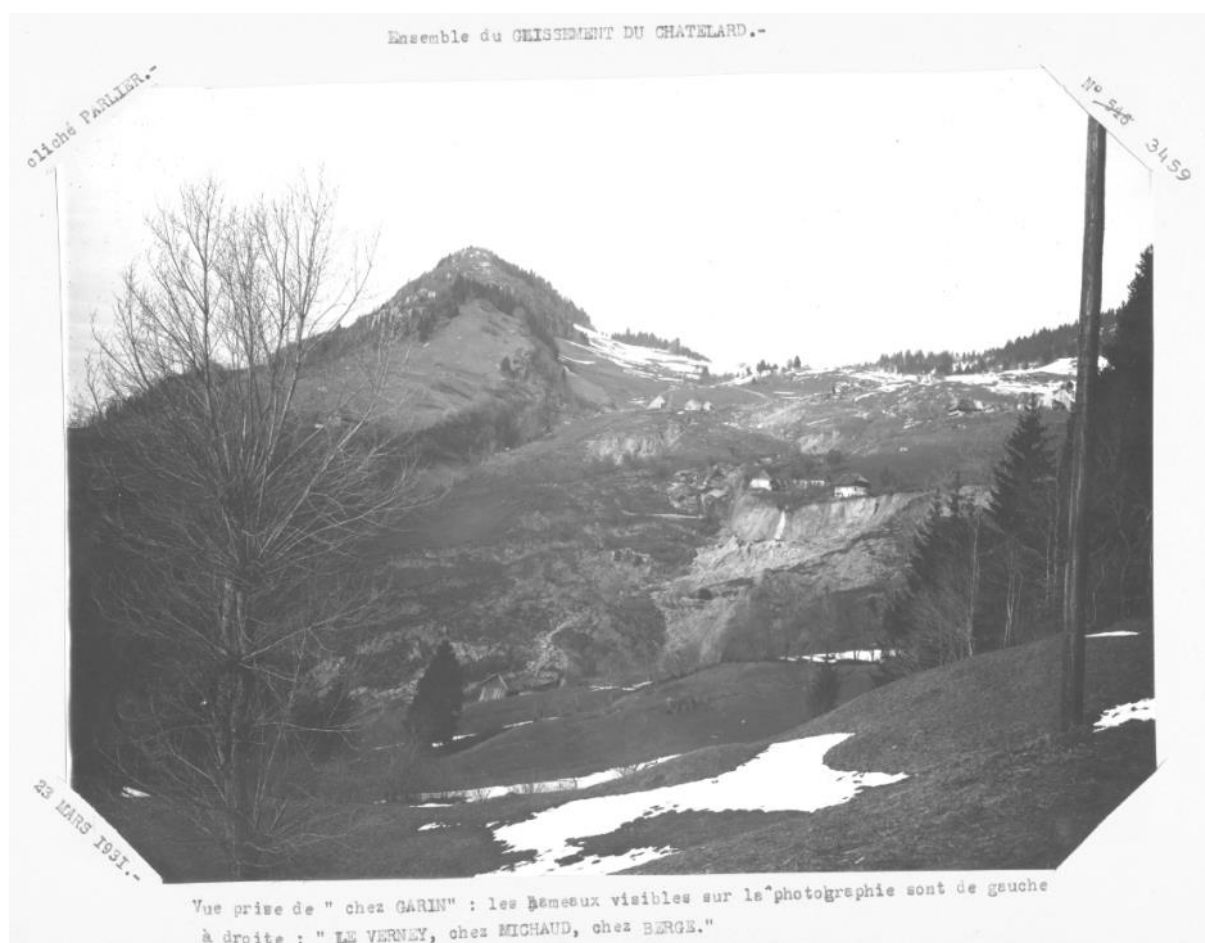




Les bâtiments de chez Michaud emportés et disloqués par le glissement. 16/03/1931



Vue de détail montrant l'épaisseur du décollement à hauteur de la fruitière. 16/03/1931







Glissement du Mont. Travaux de drainage. Entreprise Charles Magnin.
Drain à ciel ouvert de 1 m de profondeur moyenne (type B I). 19/10/1931



Glissement du Mont. Travaux de drainage. Entreprise Charles Magnin. Vue de détail du canal
d'écoulement d'un drain fermé du type A3 (ouverture 0,30 x 0,40) avec dalles en béton. 9/11/1931



Seuil n°1 et 2 et curage de lit dans le Nant des Granges à la cote 1005-1010. 3/08/1932



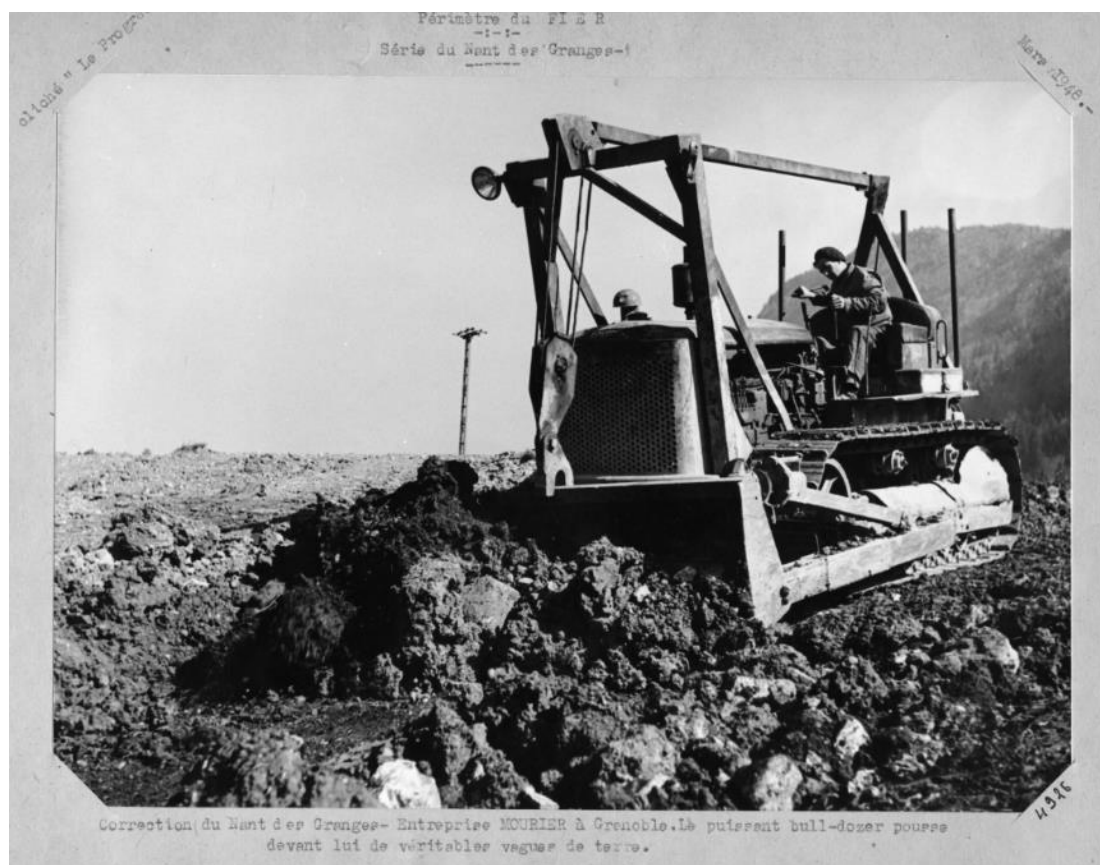
Construction du barrage de base. 7/10/1932

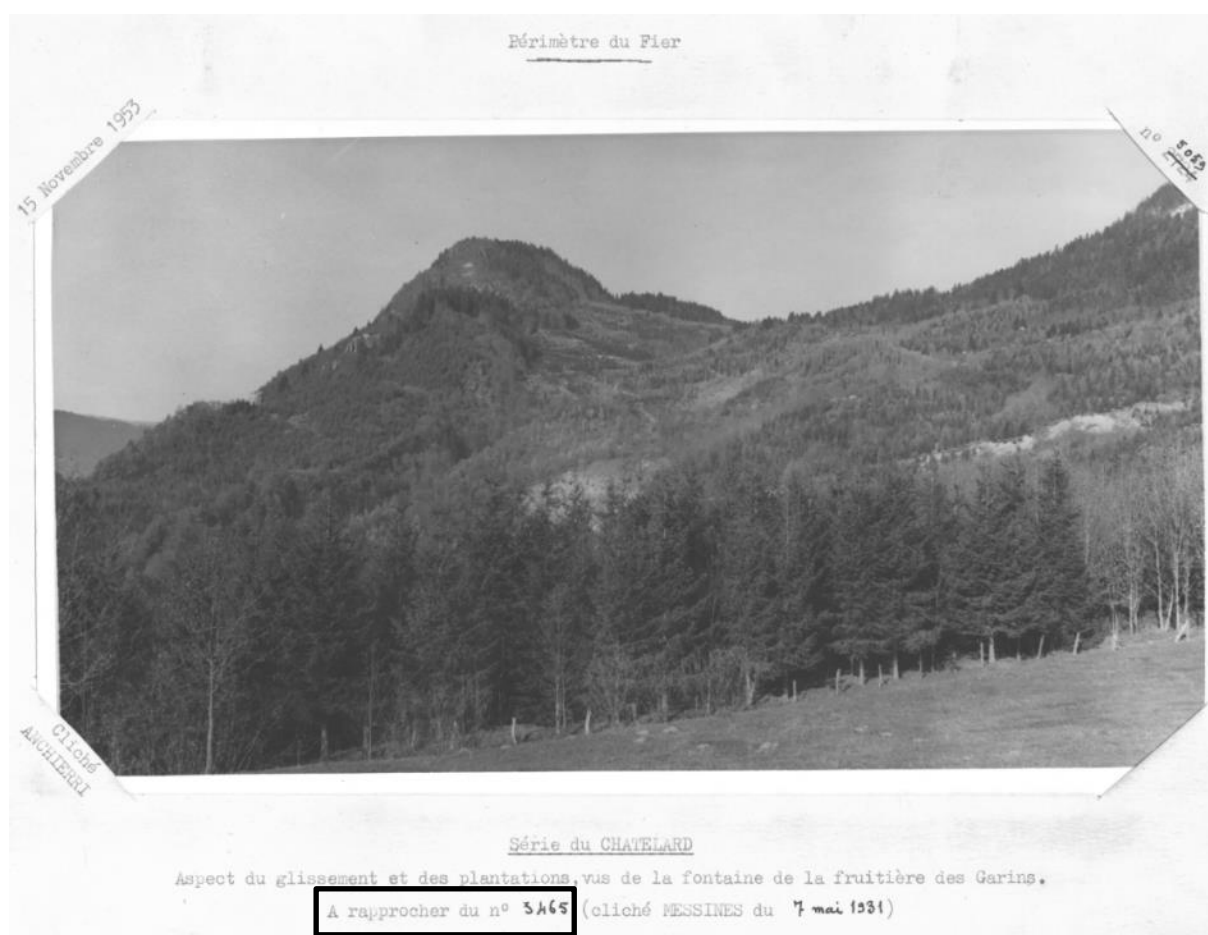




Vue d'ensemble des régions du col du Plane et de la Queue du Lièvre, avec le réseau de drainage, prise du Mont Julioz (cote 1500). 9/06/1933



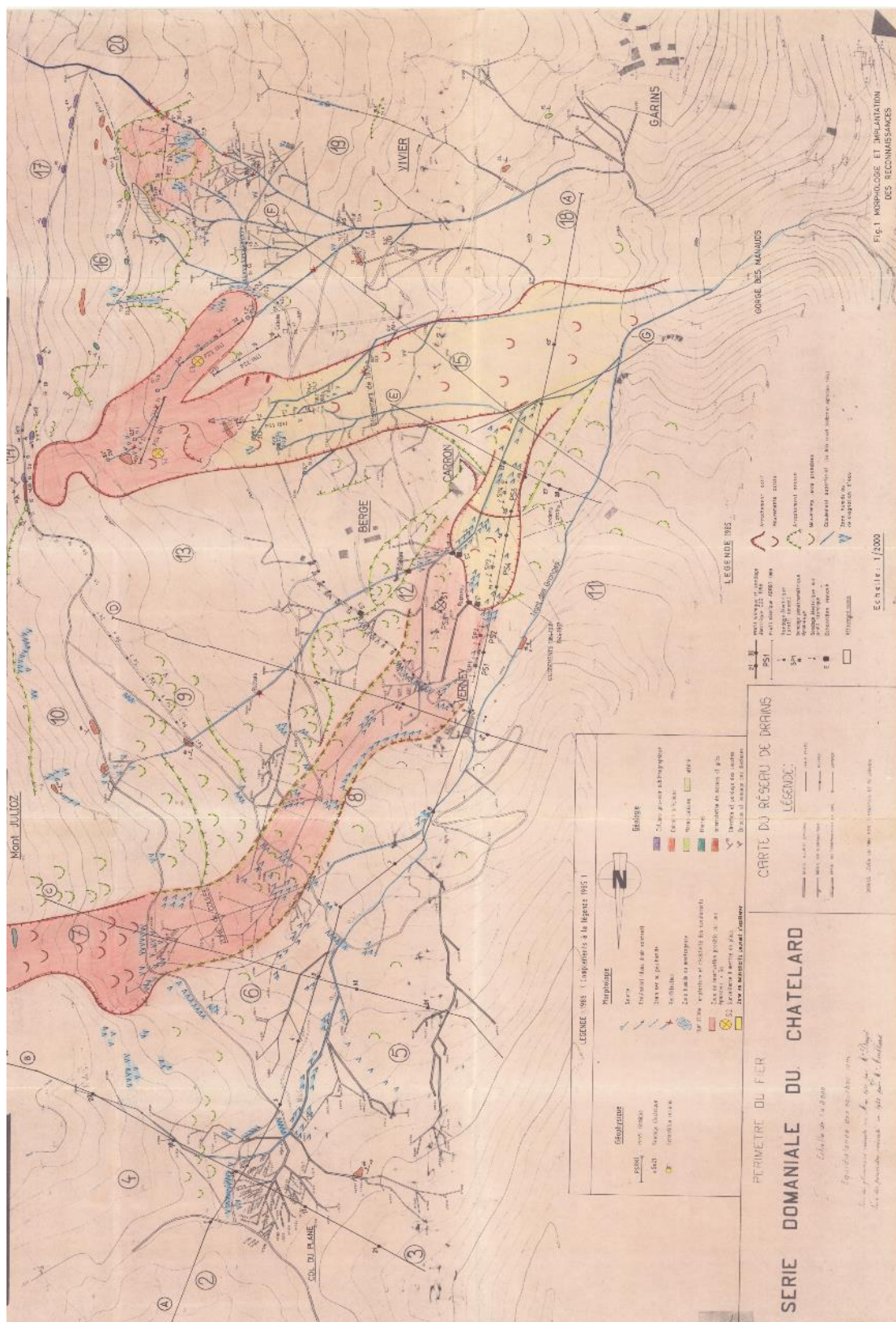




VIII.4 Annexe 4 : Extrait de l'étude de l'ADRGT

Ci-après des extraits issus de l'étude géophysique de l'ADRGT de 1985 et 1986.

Extrait commun à l'étude de 1985 et 1986.



Extraits de l'étude de 1985 (zone des glissements de 1931 et suivants)

VI - ANALYSE DE STABILITE

Par corrélation avec l'indice de plasticité, l'angle de frottement interne de ce matériau morainique peut être évalué à $\phi' \simeq 22^\circ$ (échantillon n° 3).

Sur la surface de glissement, la cohésion est supposée nulle.

Nous avons apprécié la stabilité du terrain en raisonnant sur un glissement plan semi infini. Le coefficient de sécurité F est alors défini par :

$$F = \left[\frac{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_e) y + \gamma_e y_0}{\gamma_{\text{sat}} y} \right] \cdot \frac{\tan \phi'}{\tan \beta}$$

γ_{sat} : densité du matériau saturé,

γ_e : densité de l'eau,

y : profondeur de la surface de glissement,

y_0 : profondeur du niveau hydrostatique (nappe),

ϕ' : angle de frottement interne du matériau,

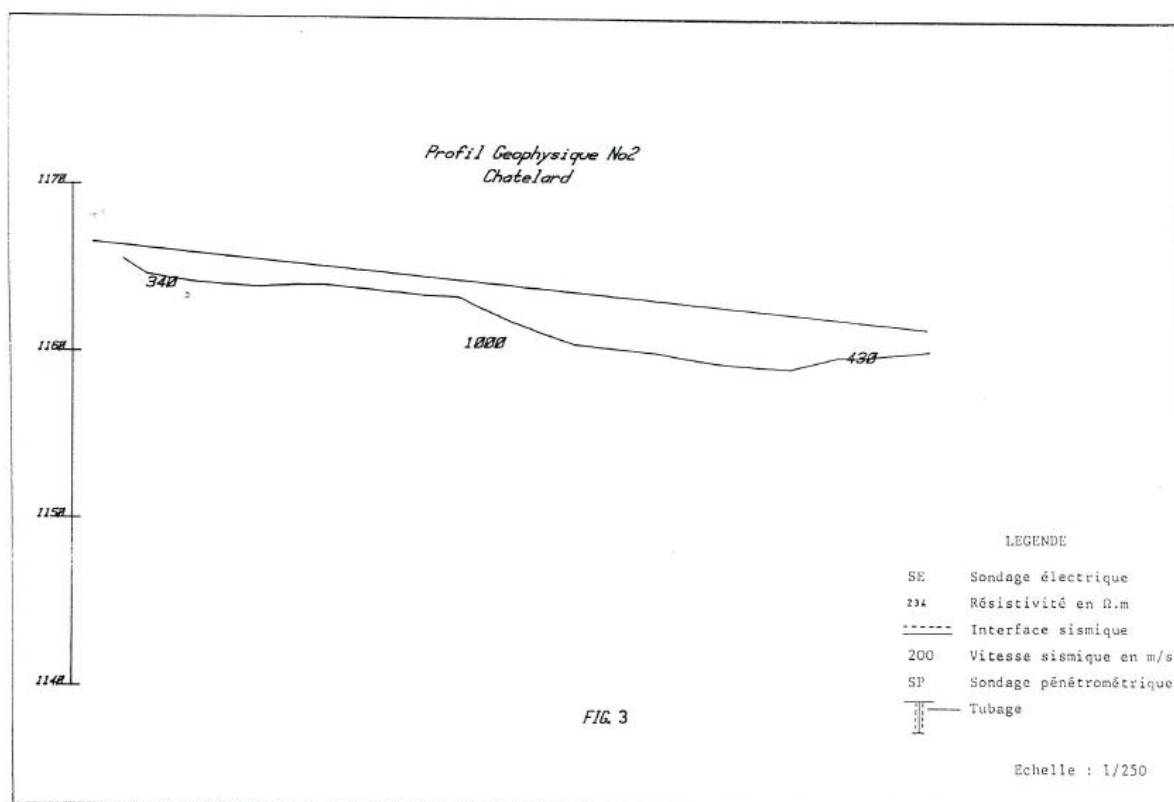
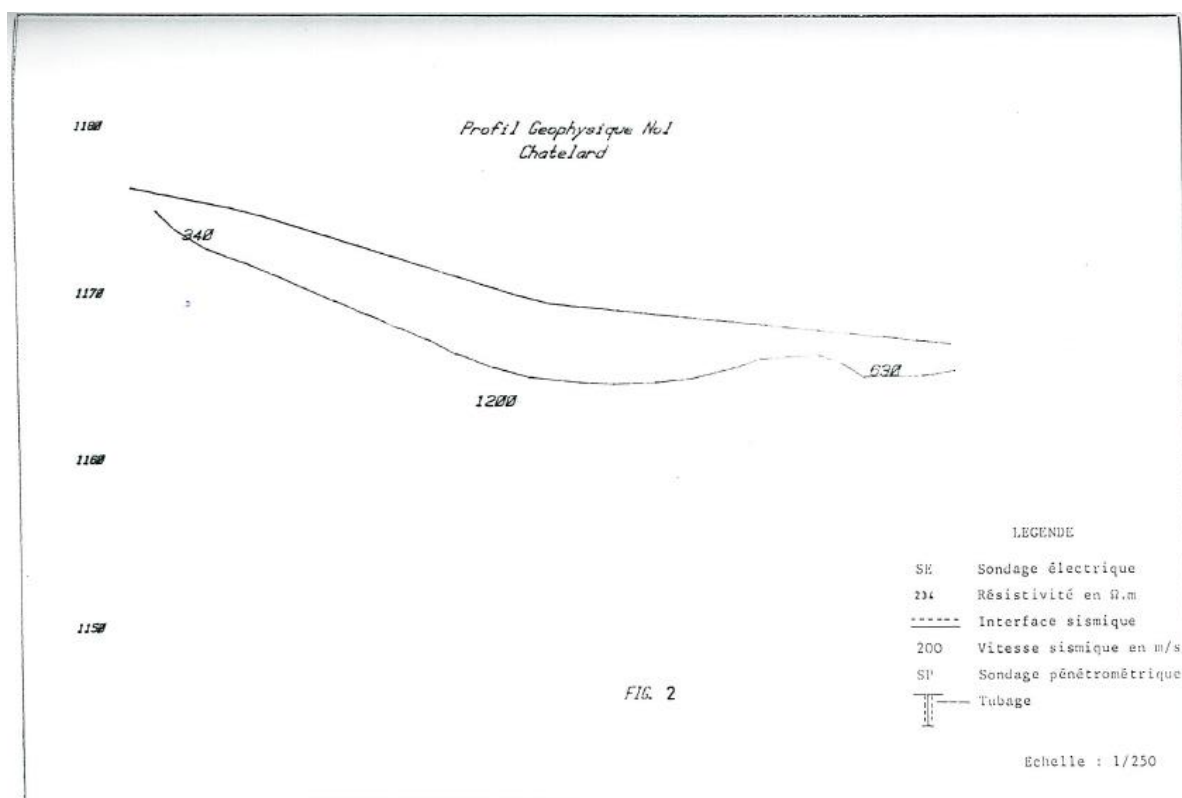
$\tan \beta$: pente du terrain naturel.

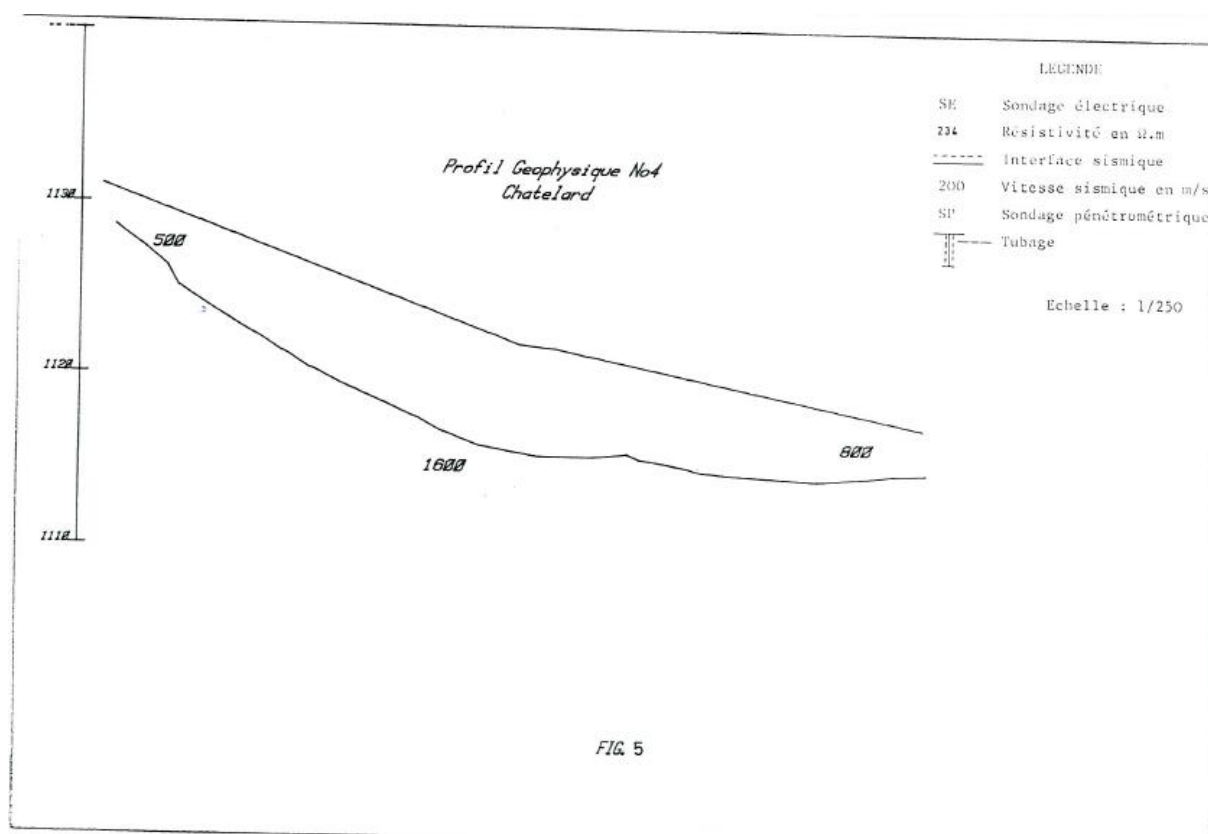
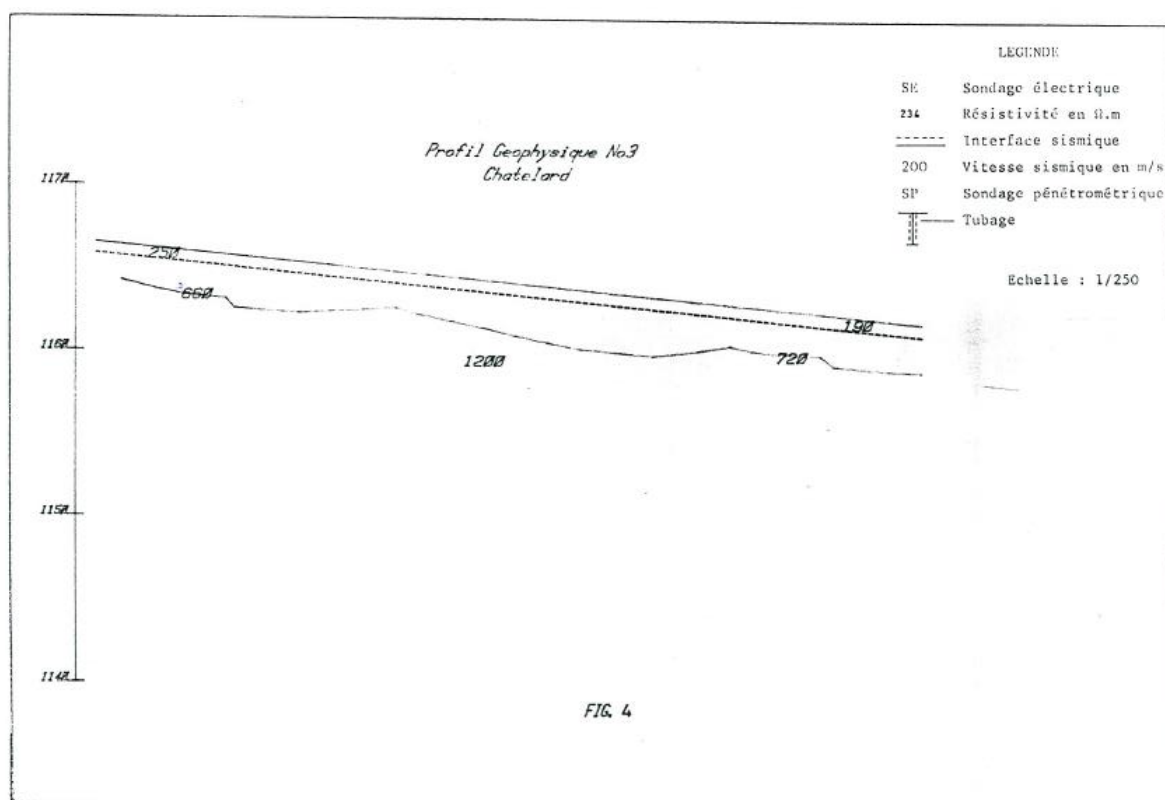
Pour avoir $F = 1,00$ (limite d'équilibre), cela nécessite les niveaux hydrostatiques suivants :

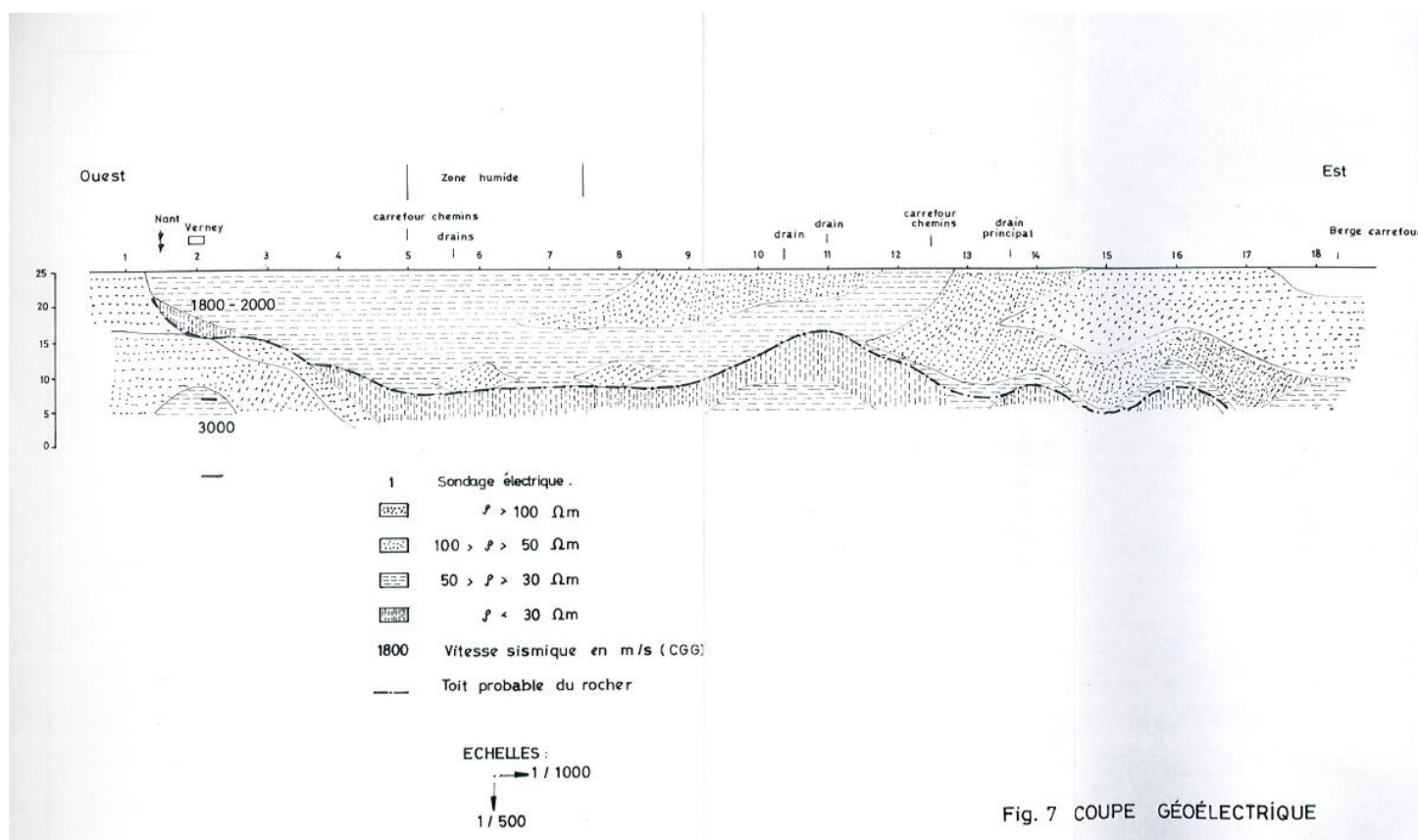
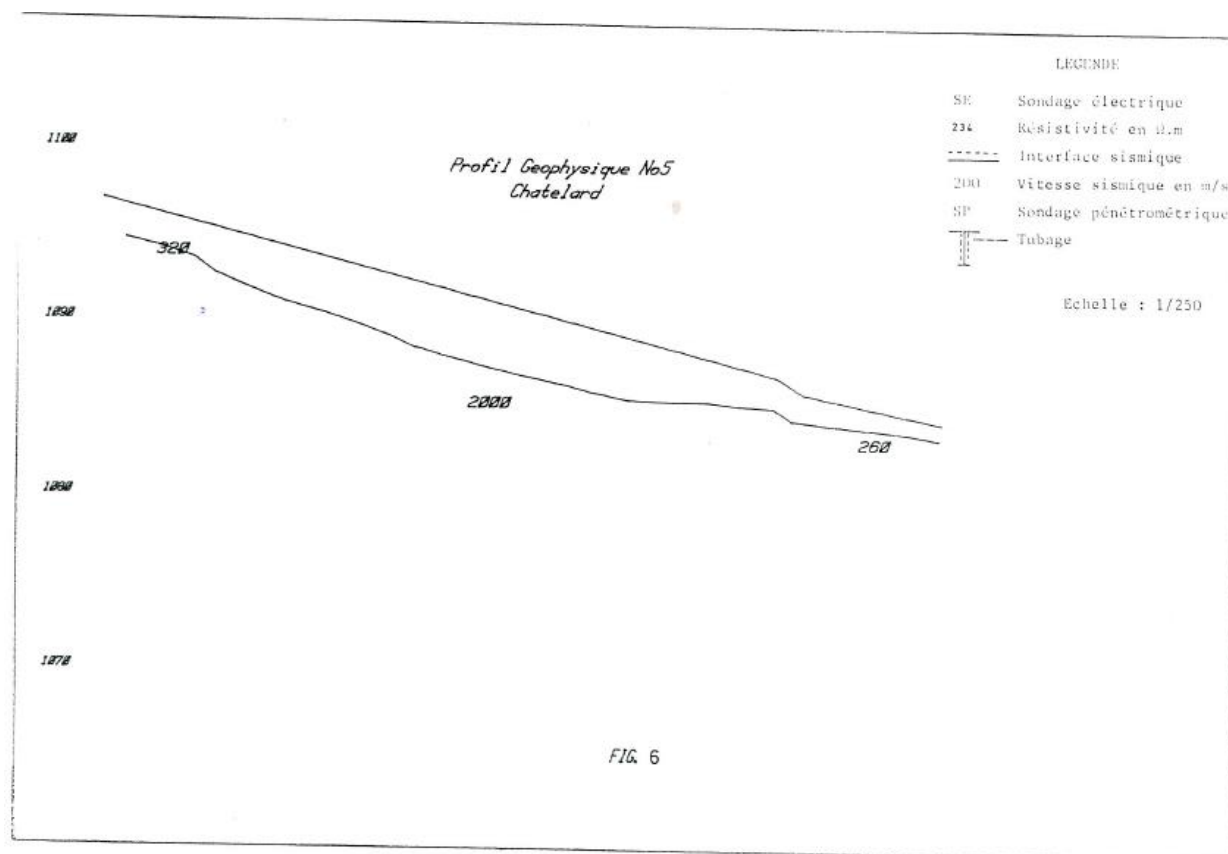
| | Profondeur de la surface de glissement | β | ϕ' | y_0 pour $F = 1,00$ | y_0 pour $F = 1,30$ |
|----------------------------------|--|------------|------------|-------------------------------|-----------------------|
| Réactivation aval: Verney-Carron | 12 m | 18° | 22° | 7,30 m | sans nappe $F = 1,24$ |
| | 20 m | 18° | 22° | 12,20 m | " " " |
| Coulée ancienne | 16 m | 16° | 22° | 6,70 m | 13,50 m |
| | 16 m | 9° | 22° | nappe à la surface $F = 1,27$ | 0,30 m |

Il en résulte que les réactivations à l'aval de chez Verney et Carron sont difficiles à stabiliser car la pente du terrain naturel est proche de l'angle de frottement intergranulaire du matériau. Il est donc important d'éviter que l'eau ne vienne saturer ces terrains.

L'ancienne coulée, située à l'amont du Verney, aujourd'hui très humide, est vraisemblablement en mouvement lent puisque le niveau hydrostatique semble proche de la surface topographique. Seul un drainage profond pourrait améliorer sa stabilité (matériau très argileux). Cependant, plus en aval, le replat situé sous Le Verney assure vraisemblablement une légère réserve de stabilité en l'absence de niveaux d'eau artésiens, vis-à-vis des mouvements de la partie supérieure.







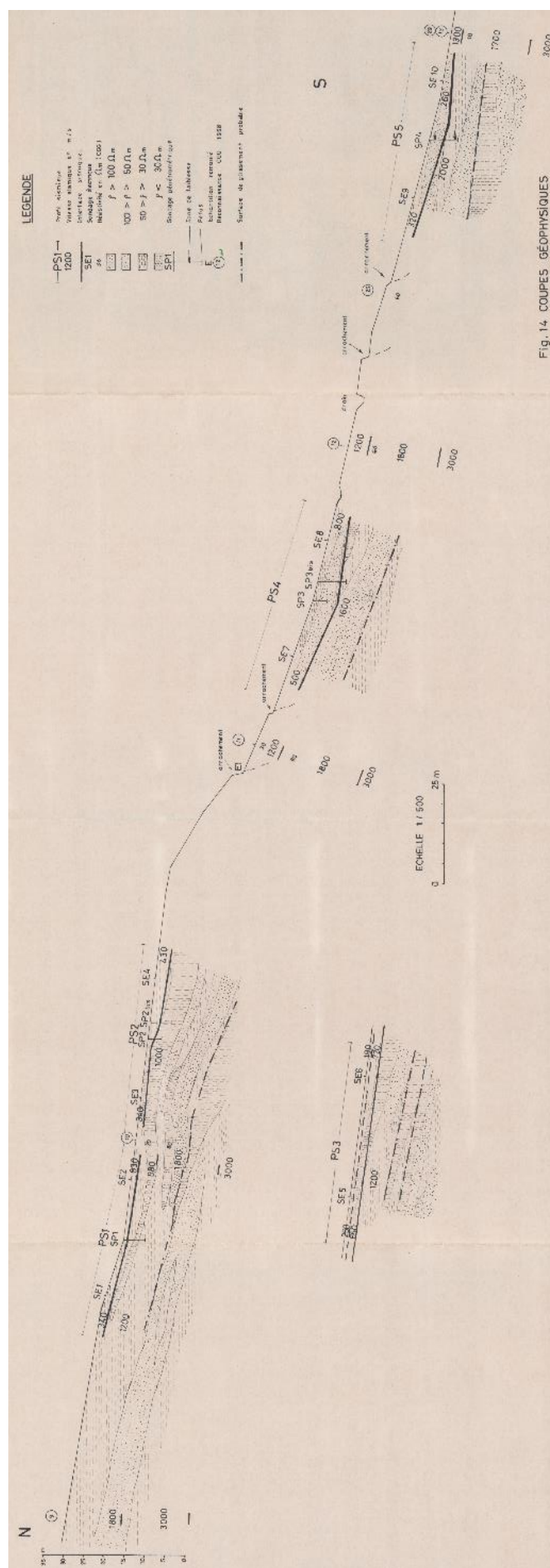


Fig. 14 COUPES GÉOPHYSIQUES

Extraits de l'étude de 1986 (zone du glissement de 1971)

1. Profil géoélectrique (Fig. 2)

Ce profil a été réalisé à l'amont du glissement de 1970 sur la piste forestière. Il recoupe les différentes couches situées à proximité du centre du synclinal. A l'aide des affleurements existant dans les talus de piste, on a pu faire les étalonnages suivants :

- Au droit du Se 1 à Se 5 : Intercalation de bancs de marnes ($\rho < 50 \Omega.m$) et grès ($\rho 50-100 \Omega.m$).
- Au droit de Se 6 à 10 : Dépression au centre du synclinal recouverte d'éboulis à gros blocs ($\rho > 500 \Omega.m$).
- Au droit du Se 11 à 14 : Flanc inverse du synclinal. Couches de grès, marnes et marno-calcaires extrêmement désorganisés et fracturés (ρ variable, 30 à 300 $\Omega.m$).
- Au droit de Se 15 : Calcaire bréchique ($\rho : 300-500 \Omega.m$).
- Au droit de Se 16 à 20 : Calcaire gris-noir sublithographique ($\rho 100-300 \Omega.m$).

2. Profils sismiques et sondages électriques (Fig. 3)a) Glissement de 1970

Deux profils sismiques ont été réalisés dans ce grand glissement, il s'agit des profils PS 1 et PS 4.

Les résistivités électriques, ainsi que les affleurements rocheux visibles à proximité, montrent que le substratum est formé à ce niveau d'une alternance de grès et marnes. Il est surmonté par un matériau d'altération ou un éboulis argilo-graveleux peu compact ($V_l = 350$ à 450 m/s) pouvant être proche de la saturation en profondeur ($V_l = 1400$ à 1700 m/s). Le substratum sain est caractérisé par une vitesse de propagation des ondes longitudinales $V_l \approx 2400$ à 2600 m/s, il se situe entre 8 et 12 m de profondeur au PS 4, et entre 2 et 12 m de profondeur au PS 1. Tous les matériaux situés au-dessus de cet interface peuvent être soumis à des mouvements.

b) Coulée attenante au glissement de 1970

Le PS 3, implanté dans le prolongement du PS 4, a mis en évidence la présence du substratum marneux ($\rho < 50 \Omega.m$) compact ($V_l = 2200$ m/s) à 10 m de profondeur environ. Il est surmonté par un matériau d'altération du substratum marneux

pouvant être proche de la saturation ($V_L = 1300$ à 1600 m/s) et d'un éboulis argileux superficiel peu compact ($V_L = 300$ à 600 m/s).

c) Croupe à l'amont du chalet forestier

Le profil PS 2 implanté entre les PS 1 et PS 3 dans une zone ne montrant pas de signe d'instabilité a mis évidence la proximité du substratum de nature marno-gréseuse à marneuse côté aval. Le substratum compact se situe entre 2 et 4 m de profondeur ($V_L = 2200$ m/s) et est surmonté par une mince couche d'éboulis argileux peu compact ou d'altération du substratum ($V_L = 450$ à 650 m/s).

d) Secteur du Vivier

Le PS 5 a été implanté en zone haute du secteur du Vivier. Le substratum marneux sain ($V_L = 3000$ m/s) a été trouvé entre 10 et 12 m de profondeur. Il est surmonté par un matériau d'altération du substratum marneux pouvant être proche de la saturation ($V_L = 1100$ à 1550 m/s) et d'un éboulis argileux superficiel très peu compact ($V_L = 250$ à 460 m/s).

e) Profil géoélectrique au Vivier

Les résistivités trouvées montrent que dans ce secteur le substratum est constitué uniquement de marnes ($\rho < 50$ R.m).

IV - ANALYSE EN LABORATOIRE (Fig. 5)

Nous avons prélevé deux échantillons remaniés afin de les analyser en laboratoire. Le premier, E1, provient d'une intercalation marneuse située entre 2 bancs de grès affleurant dans le glissement de 1970, à l'amont de PS 1. Le second, E2, est une marne altérée prélevée dans le secteur du Vivier, à proximité de la piste forestière.

Les résultats sont les suivants :

| | E1 | E2 |
|---------------------------------|------|-------|
| $\% < \text{à } 0,1 \text{ mm}$ | 70 | 94 |
| W (%) | 19,5 | 60,8 |
| W_L (%) | 44,5 | 108,8 |
| I_p (%) | 20,8 | 73,8 |

Ces deux échantillons ont donc une dominante argileuse ; E2, avec une limite de liquidité supérieure à 100, l'est particulièrement.

Par corrélation entre les essais d'identification et l'angle de frottement intergranulaire, on peut approximer ce dernier à :

| | | |
|----|--------------------|----------------------|
| E1 | $\phi' = 27^\circ$ | $\phi_r' = 18^\circ$ |
| E2 | $\phi' = 19^\circ$ | $\phi_r' = 13^\circ$ |

ϕ_r' = angle de frottement intergranulaire résiduel (après cisaillement).

