

COMMUNE DE CROLLES

R.T.M. DE L'ISERE

ETUDE TRAJECTOGRAPHIQUE

**Dimensionnement d'une digue de
protection contre les chutes de blocs**

LE FRAGNES

COMMUNE DE CROLLES

Gières, février 2002 - RP. 2025

SAGE

SOCIETE ALPINE DE GEOTECHNIQUE

2, rue de la Condamine - B.P. 17

38610 GIERES

☎ 04.76.44.75.72 📠 04.76.44.20.18

SOMMAIRE

1 – INTRODUCTION	1
2 – CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE.	
CHOIX DES PROFILS	2
2.1. Description du site d'étude et du projet	2
2.2. Contexte géologique et géomorphologique.....	2
2.3. Historique des chutes de blocs. Instabilités observées	2
2.3.1. <i>Historique</i>	2
2.3.2. <i>Instabilités potentielles</i>	3
2.3.3. <i>Hypothèses de départ</i>	4
2.4. Description des profils.....	5
3 – CALCULS TRAJECTOGRAPHIQUES DE PROTECTION ET	
DIMENSIONNEMENT DES DISPOSITIFS DE PROTECTION	9
3.1. Méthodologie du calcul de protection	9
3.2. Résultats des calculs	9
3.3. Dimensionnement d'une digue de protection.....	10
4 – CALCULS DE VERIFICATIONS DE PROTECTION.....	11
5 – CONCLUSIONS. DEFINITION DES PROTECTIONS PARE-BLOCS	12
5.1. Dimensionnement de la digue.....	12
5.2. Amélioration de l'efficacité des digues existantes	13

...

FIGURES

- Figure 1.** Plan de situation 1/25 000
- Figure 2.** Localisation des profils trajectographiques.
Observations de terrain 1/5 000
- Figure 3.** Photographie d'ensemble de la falaise des Rochers du Luiset.
Localisation des principales instabilités.
- Figure 4.** Définition des travaux de protection 1/5 000.
- Figure 5.** Zonage du risque à l'aval des digues existantes.
- Figure 6.** Schéma de principe de la digue.
- Figures 7A.
et 7B.** Principes d'amélioration de l'efficacité des digues pare-blocs existantes.

ANNEXES

- Annexe 1.** Méthodologie. Conditions d'exploitation du document d'étude.
- Annexe 2.** Résultats des calculs trajectographiques de protection. Profil n° 1.
- Annexe 3.** Résultats des calculs trajectographiques de protection. Profil n° 2.
- Annexe 4.** Résultats des calculs trajectographiques de protection. Profil n° 3.
- Annexe 5.** Résultats des calculs trajectographiques de protection. Profil n° 4.
- Annexe 6.** Résultats des calculs de propagation.
Vérification des ouvrages de 1990.
- Annexe 7.** Planches photographiques.
- Annexe 8.** Résultats des calculs de propagation.
Vérification d'un ouvrage type identique à la digue du Brocey.

■ ■ ■

Demandeur :

Service R.T.M. ISERE pour le compte de la Commune de CROLLES.

Contact :

Cette étude a pour objectif principal de dimensionner une digue de protection contre les chutes de blocs au niveau du secteur **LE FRAGNES** sur la **Commune de CROLLES** en continuité avec la digue du **BROCEY** réalisée en 2000.

Le rapport présente les résultats des observations de terrain, les résultats des calculs trajectographiques de protection sur 4 profils trajectographiques, la vérification d'efficacité des digues existantes, le dimensionnement d'une digue pare-blocs.

Objet :

- Observations géologiques et géomorphologiques des falaises et du bas versant qui domine le site.
- Lever de quatre profils trajectographiques à partir de plans topographiques et photogrammétriques – lever de la partie basse des profils au topofil et clisimètre.
- 4 calculs trajectographiques de protection.
- 1 calcul trajectographique de vérification de protection.
- 4 dimensionnements de protection.

Documents consultés :

- Carte I.G.N. CHARTREUSE SUD TOP 25 n° 3334 OT
- Carte géologique 1/50.000 DOMENE.
- Plan photogrammétrique SINTEGRA 1/5000.
- Photographies aériennes :
 - Mission 1959 A23 feuille 3332-3335 n° 195 et 196
 - Mission SINTEGRA 1989 n° 1927-1928.
- Etude SIMECSOL – Mise en sécurité du sentier du Facteur. Etude géologique et géotechnique, rapport 19/03/1997.
- Etude des torrents de CROLLES (*Hydrologie – Hydraulique – Aménagement*) CEMAGREF RTM – Chargé d'étude : Nicole MATHYS.

- Etude A.D.R.G.T. n° 384 – Septembre 1987. – Protection d'un réservoir de 500 m³ à CRAPONOZ.
- Etude A.D.R.G.T. n° 402 – Avril 1988. – Lieu-dit «Le Fragnès» - Etude des risques de chutes de blocs et moyen de protection correspondant.
- Etude préalable au PER 1990 - Profils 1 et 2 de CROLLES – Document R.T.M. – Extrait des calculs de profils trajectographiques reportés dans le rapport de présentation du PER «BERNIN - CROLLES – LUMBIN» (mai 1990).
- Etude SAGE n° 1271 – Août 1997 – Dimensionnement d'une digue de protection – Secteur du Brocey – Commune de CROLLES.

2 – CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE CHOIX DES PROFILS

2.1. Description du site d'étude et du projet (Cf. figure 2 et 3)

Le secteur d'étude concerne les falaises des ROCHERS DU LUISSET qui dominant les lieux-dits LE FRAGNES et CRAPONOZ, entre l'échancrure du torrent du BROCEY et le torrent de CRAPONOZ.

2.2. Contexte géologique et géomorphologique

La morphologie générale des falaises présente :

- une falaise supérieure de 80 m de hauteur en moyenne qui est formée par plusieurs bancs massifs de calcaire compact du Tithonique.
Ces bancs sont séparés par des couches de calcaires marneux moins épaisses et moins dures qui s'érodent plus facilement si bien que les bancs plus massifs ont une position surplombante.
- une vire boisée, inclinée à 35-38° (*formation du Kimméridgien*) dont la largeur est diminuée localement par des échancrures de la falaise inférieure lesquelles donnent naissance à des torrents à clappes.
- une falaise inférieure de 100 à 120 m de hauteur de calcaires en petits bancs du Séquanien, alternant avec des niveaux marneux.

2.3. Historique des chutes de blocs – instabilités observées

2.3.1. Historique

Les volumes de blocs observés sur les pentes entre les altitudes 265 et 360 m sont de l'ordre de 1 à 150 m³ au maximum. Ils proviennent pour la plupart de la falaise supérieure, la falaise inférieure ne fournissant que des blocs de faible volume à l'arrivée (*inférieur à 20 m³*).

On observe cependant dans le versant vers la cote NGF 470 m un bloc de 320 m³ environ, enchâssé dans la végétation.

Celui-ci résulte, d'un éboulement en masse très ancien sans doute de type exceptionnel. Compte tenu de la rareté d'un tel volume observé, nous ne tiendrons pas compte d'un tel événement.

Après enquête auprès des archives R.T.M. il a été recensé :

- en février 1969, près de l'embranchement de la rue Mr PAUL, un bloc rectangulaire de volume $5,2 \text{ m}^3$ est arrivé à quelques mètres de la route du Fragnès. Ce bloc, compte tenu de sa nature, est vraisemblablement issu de la falaise inférieure (*décrochement d'un surplomb*).
- d'après le témoignage de Monsieur JACOB Maurice, viticulteur, un événement de chutes de blocs au cours de l'année 1954 ou 1955 a eu lieu au niveau du torrent du Brocey.
Les blocs issus de cet événement ne sont à priori plus visibles sur le site car enlevés par les viticulteurs.
- d'après le témoignage de Monsieur Gustave GRANBIN, un éboulement a eu lieu en 1937, au niveau de l'extrémité Sud du site étudié, au droit de la falaise séquanienne laquelle forme un éperon à cet endroit là. Les blocs sont parvenus à proximité des maisons, entre les cotes NGF 285 et 295 (*cf. figure 3*). Les volumes étaient de l'ordre de 1 m^3 au maximum. La zone de départ de cet éboulement est présentée à l'annexe 7 (*planche photographique n° 3*).

2.3.2. Instabilités potentielles

Les risques de chutes de blocs et d'éboulement en masse sont déterminés par les facteurs suivants :

- ⇒ existence d'un système de discontinuités formées par les plans de stratification et les plans de fissuration.
- ⇒ rôle du gel-dégel dans les fissures qui élargit ces dernières. L'altération les agrandit ensuite et permet des mouvements plus importants.
- ⇒ ravinement dû aux pluies intenses.
- ⇒ secousses sismiques.

Une analyse détaillée des zones de falaises a permis de mettre en évidence un certain nombre d'instabilités potentielles. Celles-ci sont reportées sur la figure 2.

■ l'extrémité Sud de la falaise Tithonique concerne l'école d'escalade de SAINT-PANCRASSE.

Des instabilités majeures ont été mises en évidence par le bureau d'étude SIMECSOL en mars 1997. Elles concernent les n° 1 et 3 de la planche photo à la figure 2, à savoir respectivement :

- un éperon de 20.000 m³ (n° 1 rocher du Tambour) lequel est équipé d'un système de surveillance par extensomètres de type VINCHON. Il présente une base amincie, marquée par une fissuration latérale. Les blocs après fractionnement sont estimés à 200 m³ maximum. Compte tenu de la topographie du site, le rocher du Tambour ne concerne pas le site de projet de digue. En cas de trajectoire, les blocs atteindraient le sentier du facteur et du torrent du Craponoz. Ce site nécessite par conséquent une surveillance rigoureuse et les mesures manuelles réalisées jusqu'en 2000 devront être poursuivies.
- une écaille (n° 3 – Secteur le Canyon de l'école d'escalade) d'environ 50 m³ laquelle fait l'objet d'un traitement par clouage dans le rapport SIMECSOL. Les travaux tels que préconisés par SIMECSOL nous semblent nécessaires pour assurer la stabilité de cette masse. Celle-ci concerne le site d'étude.

■ Les instabilités n° 3 à 17 concernent la falaise Tithonique. En général, il s'agit de zones surplombantes mise en évidence par des bancs calcaires plus massifs. Les volumes des instabilités sont appréciés entre 10 et 40 m³.

L'instabilité 6 concerne un risque d'éboulement en masse de volume estimé entre 40.000 et 80.000 m³. Il a été dans le cadre de l'étude sur les risques d'éboulement en grande masse relevé pour le compte du SMESDRG. La probabilité de départ d'une telle masse est toutefois jugée très faible compte tenu de la fissuration actuelle.

■ Les instabilités 18, 19, 20, 21, 29 et 30 concernent la falaise calcaire du Kimméridgien laquelle alterne avec des niveaux de calcaires marneux. Les volumes unitaires d'instabilités sont appréciés à moins de 5 m³.

■ Les instabilités 22 à 39 concernent la falaise calcaire du Séquanien. Des éboulements en masse sont possibles. On observe des colonnes de calcaires dégagées par l'érosion liée au ruissellement torrentiel (n° 36 – 37 – 38).

L'instabilité 26 concerne une colonne très bien délimitée par des fissures latérales, d'un volume estimé à 800 – 1000 m³. Elle est située au droit des digues du réservoir. Dans l'ensemble, on a pour la falaise du Séquanien des risques de départ possible avec des volumes de l'ordre de 1000 m³ à 2000 m³ maximum. Les volumes unitaires des blocs après fragmentation de la masse éboulée semblent pouvoir atteindre 20 m³ au maximum.

Les risques tels que nous pouvons les estimer, d'après cette analyse sont :

- ⇒ des chutes de blocs de 5 à 200 m³ en provenance des falaises supérieures du Tithonique.
- ⇒ des chutes de blocs de 5 à 20 m³ en provenance des falaises inférieures du kimméridgien et Séquanien.
- ⇒ des éboulements en masse de plusieurs milliers de m³ dans les secteurs où la fissuration due à la tectonique est plus marquée. Les blocs unitaires issus de ces éboulements pourraient atteindre des volumes de l'ordre de 150 à 200 m³ pour la falaise supérieure du Tithonique et au maximum 20 m³ pour la falaise inférieure du Séquanien.

2.3.3. Hypothèses de départ

Les hypothèses de calculs qui avaient été retenues dans les études antérieures sont les suivantes :

- ⇒ étude PER (1990), soit au niveau des profils 1 et 2 :
 - les blocs à l'arrivée sont au maximum de 160 m³.
- ⇒ étude du FRAGNES-réservoir (1988), soit au niveau du profil 5 :
 - blocs de 20 m³ au départ au maximum.
- ⇒ étude du BROCEY-digue pare-blocs (1997) :
 - blocs de 75 m² maximum.

D'après l'analyse des risques observés au niveau des falaises, on remarque que la falaise supérieure du Tithonique peut générer des blocs très volumineux, de l'ordre de 150 à 200 m³. La falaise inférieure compte tenu de la nature de la roche (*calcaires marneux en petits bancs*) génère des chutes de blocs de plus faible volume, au maximum 10 à 20 m³.

Notons que ces volumes restent conformes à ceux pris en compte dans les calculs trajectographiques de 1998 qui ont servi en partie à l'élaboration du PER, ainsi que dans les études du secteur.

En conclusion et après homogénéisation avec les études antérieures, les volumes retenus au départ sont compris entre 20 et 200 m³ pour la falaise supérieure et entre 10 et 20 m³ pour la falaise inférieure.

D'autre part, on a vérifié sur chaque profil les zones de départ les plus défavorables vis à vis des caractéristiques de passage des blocs au niveau de la zone d'arrivée. Dans tous les cas on remarque que le point de départ le plus défavorable est la falaise sommitale du Kimméridgien Séquanien. Dans nos calculs, les hypothèses de départ se feront donc depuis les falaises inférieures avec des volumes au départ compris entre 10 et 20 m³.

2.4. Description des profils

Ceux-ci ont été représentés sur le plan figure 2.

Compte tenu de l'extension de la digue sur 1200 m environ, il a été proposé 4 profils de calcul jugés les plus représentatifs.

- **Les profils n° 1 et 2** correspondent à la localisation géographique des profils retenus dans l'étude PER de 1990. Ceux-ci ont été complétés par un lever plus précis (*au topofil et clisimètre*) dans la zone basse, là où est prévue l'implantation de la digue.
- **Le profil n° 3** présente une particularité topographique par rapport aux précédents. Les pentes situées entre les cotes NGF 300 et 350 sont plus fortes ($25^\circ - 30^\circ$) contre $20-21^\circ$ aux profils 1 et 2 entre ces mêmes cotes.
- **Le profil n° 4** correspond à l'extrémité Sud de la zone d'étude. La piste recoupe le profil en plusieurs points. Elle semble jouer un rôle défavorable en favorisant des rebonds plus importants par effet «tremplin».
- **Les profils n° 5A et 5B** correspondent à la zone des deux digues existantes, au droit du réservoir. Le profil 5A correspond au profil de digue allant vers BERNIN entre les cotes 295 m et 300 m, le profil 5B correspond au profil de digue allant vers LUMBIN, située entre les cotes 305 et 325 m.
La partie de ce profil située au-dessus de la cote NGF 357 correspond à celui utilisé dans l'étude A.D.R.G.T. n° 402 d'avril 1988

La description de chaque profil est présentée ci-après :

Profil n° 1 – Description sommaire et hypothèses de départ

Les hypothèses de départ issues des observations sont les suivantes :

⇒ départ des instabilités : cote NGF 810 m (*falaise du Kimméridgien*).

⇒ poids de départ = 25 à 50 T.

Le profil se décompose de la façon suivante :

- cote 900 - 810 m : Falaise calcaire du Tithonique.
- cote 810 - 750 m : Falaise du Kimméridgien au fond d'un petit cirque rocheux.
- cote 750 - 600 m : Falaise inférieure calcaires du Séquanien.

- cote NGF 600 - 450 m : Eboulis vifs – Végétation clairsemée – Buis.
- cote NGF 450 - 375 m : Eboulis affleurants – Forêt de densité moyenne – Pente moyenne 25 - 28°. E
- cote NGF 375 m : Chemin 3,0 m de largeur.
- cote NGF 375-355 m : Eboulis affleurants – Prairie rase.
- cote NGF 355 m : Chemin 3,0 m de largeur.
- cote NGF 355 - 305 m : Eboulis anciens revégétalisés
- cote NGF 305 - 263 m : prairies à pâture.
- cote NGF 263 m et en deçà : route du Fragnès et zone urbanisée.

Profil n° 2 – Description sommaire et hypothèses de départ

Les hypothèses de départ issues des observations sont les suivantes :

- ⇒ départ des instabilités : cote NGF 710 m (*falaise du Séquanien*).
- ⇒ poids de départ = 25 à 50 T.

Le profil se décompose de la façon suivante :

- cote 905 - 820 m : Falaise de calcaire massif du Tithonique.
- cote 820 - 710 m : Vire boisée du Kimméridgien.
- cote 710 - 585 m : . Falaise inférieure du Séquanien.
- cote 585 - 290 m : Eboulis affleurant – Forêt de densité moyenne - Taillis.
- cote 290 m : Chemin de 3,0 m de largeur.
- cote 290 - 260 m : Prairies à pâture.
- cote 260 m et en deçà : zone urbanisée

Profil n° 3 – Description sommaire et hypothèses de départ

Les hypothèses de départ issues des observations sont les suivantes :

- ⇒ départ des instabilités : cote NGF 730 m (*falaise du Séquanien*).
- ⇒ poids de départ = 25 à 50 T.

Le profil se décompose de la façon suivante :

- cote 895 - 775 m : Falaise de calcaire massif du Tithonique.
- cote 775 - 730 m : Vire boisée du Kimméridgien.
- cote 730 -600 m : Falaise inférieure du Séquanien.
- cote 600 - 365 m : Eboulis revégétalisés – Taillis – Forêt moyenne.
- cote 365 m : Chemin 3,0 m de largeur.
- cote 365 - 271 m : Prairie à pâtures.
- cote 278 m et en deçà : Route et zone urbanisée.

Profil n° 4 – Description sommaire et hypothèses de départ

Les hypothèses de départ issues des observations sont les suivantes :

- ⇒ départ des instabilités : cote NGF 830 m (*falaise du Kimméridgien*).
- ⇒ poids de départ = 25 à 50 T.

- cote 900 – 830 m : Falaise supérieure des calcaires massif du Tithonique.
- cote 830- 790 m : Vire boisée du Kimméridgien.
- cote 790 -625 m : Falaise inférieure du Séquanien et Kimméridgien.
- cote 625 - 420 m : Eboulis revégétalisés – Taillis.
- cote 420 m : Chemin largeur 3,0 m.
- cote 420 - 385 m : Prairie à pâtures.

- cote 385 m : Chemin largeur 3,0 m.
- cote 345 m : Chemin largeur 3,0 m.
- cote 385 - 305 m : Prairies à pâture.
- cote 305 m et en deçà : Zone urbanisée.

Profil n° 5 – Description sommaire et hypothèses de départ

Les hypothèses de départ issues des observations sont les suivantes :

- ⇒ départ des instabilités : cote NGF 780 m (*falaise du Séquanien/Kimméridgien*).
- ⇒ poids de départ = 25 à 50 T.

Le profil se décompose de la façon suivante :

- cote 900 - 820 m : Falaise supérieure des calcaires massif du Tithonique.
- coté 820 - 780 m : Vire du Kimméridgien.
- cote 780 -590 m : Falaise inférieure des calcaires du Séquanien et Kimméridgien.
- cote 590 - 380 m : Eboulis revégétalisés – Taillis. – Forêt moyenne.
- cote 380 m : Chemin largeur 3,0 m.
- cote 380 - 357 m : Eboulis revégétalisés – Taillis – Forêt moyenne.
- cote 357 m : Chemin largeur 3,0 m.
- cote 357 m - 299 : Taillis sur sols de prairie.

Profil 5A :

- cote 299 - 295 m : Digue pare-blocs.
- cote 295 et en deçà : Zone urbanisée - Réservoir.

Profil 5B :

- cote 312 - 325 m : Digue pare-blocs.
- cote 312 – 292 m : zone de taillis sur sol de prairie.
- cote 292 met en deçà : zone urbanisée. Lotissement.

3 – CALCULS TRAJECTOGRAPHIQUES DE PROTECTION ET DIMENSIONNEMENT DES DISPOSITIFS DE PROTECTION

3.1. Méthodologie du calcul de protection (cf. annexe 1)

Les calculs ont été réalisés selon la méthode A.D.R.G.T. (*version 2000*) dont une notice technique est fournie en annexe 1.

Pour un ou plusieurs emplacements de dispositifs de protection fixés sur un profil donné, on effectue une série de calculs. Une analyse statistique sur les hauteurs de passage et d'énergie des blocs au droit de chaque dispositif de protection permet de déterminer les caractéristiques des trajectoires au droit de cette protection.

Sur chaque profil de calcul, on a intégré trois écrans fictifs de protection, au sein de la zone admise pour l'emprise de la digue, de manière à pouvoir déterminer le nombre de blocs passant à ces endroits ainsi que les caractéristiques de leurs trajectoires (*hauteurs et énergies de passage*).

On a effectué 4 séries de 1300 essais de chute pour chaque profil. Nous avons retenu la série de calcul la plus défavorable.

On a présenté pour ces profils aux annexes 2, 3, 4 et 5 :

- ⇒ une figure avec la topographie du profil, l'axe des écrans fictifs et quelques trajectoires calculées,
- ⇒ les résultats d'une analyse statistique sur les hauteurs de passage Z_{pas} (m) et l'énergie des blocs E_{pas} (KJ) au droit de ces écrans fictifs.

L'implantation des profils trajectographiques est donnée sur la figure 2 ainsi que sur la planche photographique de la figure 3.

3.2. Principales hypothèses des calculs trajectographiques

- Taille des blocs au départ :
Pour les profils 1, 2, 3 et 4 les volumes de blocs au départ ont été pris variables
entre 10 et 20 m³ compte tenu des départs potentiels au droit des calcaires du Kimméridgien/séquanien.

- Poids volumique de la roche : 2,5 t/m³.
- Forme des blocs au départ : assez arrondie.
- Végétation :
Aucune végétation n'a été prise en compte dans les calculs par sécurité, en cas d'incendie de forêt.
- Nature du sol :
La nature des éboulis, plus ou moins grossiers ou fins en pied de falaises est différente pour chaque profil et a été prise en considération dans les profils.
- Emplacement des protections envisagées : pour chaque profil de calculs, des protections fictives ont été mises en place au droit des zones repérée sur le terrain avec le service R.T.M. sur lesquelles des protections peuvent être envisagées compte tenu des données topographiques dont on dispose actuellement.
- Nombre de séries de calcul :
Pour chaque profil trajectographique 4 séries de calculs ont été réalisées. Seuls les résultats de la série de calcul la plus défavorable sont donnés en annexes 2, 3, 4 et 5.

3.3. Résultats des calculs

Les résultats des calculs sont récapitulés dans le tableau ci-joint (*tableau n° 1*) et dans les annexes 2,3, 4 et 5.

Les hauteurs maximum de passage et énergies maximum de passage sont relativement similaires pour les profils 1 et 2.

Toutefois, on remarque des hauteurs et énergies plus importantes pour le profil 3. Ceci s'explique par la présence de pentes plus fortes à la base de celui-ci (25-30°), lesquelles freinent peu les blocs et favorisent les rebonds. D'autre part, le niveau de la protection est un peu plus élevé en altitude.

- **Pour les profils 1 et 2**, les hauteurs maximales de passage des centres de gravité des blocs sont comprises entre 2,30 m et 3,24 m et les énergies maximales de passage entre 4665 et 7953 kJ, selon le positionnement des écrans dans le versant.

Les vitesses de passage des blocs au droit des écrans fictifs sont comprises entre 16,5 et 21,7 m/s. Celles-ci sont relativement importantes, ce qui nécessiterait un dimensionnement d'ouvrage de type remblai compacté (*parement amont incliné à 40°*) de l'ordre de 8 m à 9 m de hauteur par rapport au terrain naturel actuel.

- **Pour le profil 3**, les hauteurs maximales de passage sont comprises selon le positionnement des écrans dans le versant entre 3,28 m et 4,12 m, les énergies maximales de passage sont très importantes, comprises entre 7764 kJ et 9353 kJ. Les vitesses de passage des blocs aux caractéristiques maximales au droit des écrans fictifs sont comprises entre 18,9 et 19,7 m/s, ce qui implique le dimensionnement d'un ouvrage de type remblai renforcé (*parement amont incliné à 65°*).
- **Au niveau du profil 4**, on a étudié deux solutions de protection : une protection haute à la cote 331 m afin d'assurer la protection d'une maison isolée et une protection basse vers les cotes 305 - 311 m en pied de versant.

On note pour la protection haute à la cote 331 m, des hauteurs de passage relativement importantes (3,68 m) et des fortes énergies de passage (10029 kJ) ce qui implique le dimensionnement d'un ouvrage de type remblai renforcé.

Par contre, en pied de versant, entre les cotes NGF 305 et 311, on a des hauteurs de passage et énergies de passage moindres : H_{max} compris entre 2,32 et 2,55 m et E_{max} compris entre 5473 kJ et 5899 kJ, ce qui permet d'envisager un merlon avec une configuration du parement amont à 40°.

3.4. Choix du type d'ouvrages et implantation de la protection

3.4.1. Continuité avec la digue du Brocey existant plus au Nord

Un calcul de vérification d'ouvrage de type propagation a été réalisé au niveau du profil 2 puisque ce dernier est le plus proche de la digue existante du Brocey.

L'ouvrage vérifié correspond à la digue existante du Brocey soit avec les caractéristiques suivantes :

- hauteur/TN / 5 m.
- hauteur sommet/fond de fosse : 7 m.
- pente amont digue : 80 %.
- pente aval digue : pente amont fosse : 67 %.
- largeur de fosse : 5 m.
- largeur en crête : 3 m.

Les résultats de ce calcul sont donnés à l'annexe 8 ainsi que dans le tableau suivant :

	Profil 2
Nombre de blocs au départ	45.285
Nombre de blocs atteignant l'ouvrage	2.240
Nombre de blocs interceptés par l'ouvrage (fosses à blocs)	2.213
Nombre de blocs dépassant l'ouvrage	15
Probabilité de dépassement	$3,3 \times 10^{-4}$
Efficacité relative (*)	98,8 %

La répartition des blocs dépassant une telle digue est présentée sur le graphe ci-après.

Les calculs montrent que 15 blocs sur 45.285 franchissent le merlon tel que dimensionné pour la digue du Brocey. La probabilité de dépassement est donc de $3,3 \times 10^{-4}$. La distance maximale d'arrêt des blocs est de 19,40 m en aval du pied de digue.

Compte tenu des résultats des calculs de protection réalisés au droit des profils 1, 2 et 3, on aboutit au dimensionnement d'un ouvrage en remblai compacté d'au moins 8 à 9 m de hauteur par rapport au T.N.

Au vu des hauteurs de passage des blocs au droit des niveaux de protection projetés et compte tenu des variations topographiques de la falaise entre les deux secteurs Le Brocey et le Fragnès, nous préconisons la création d'une digue en remblai renforcé laquelle sera réalisée en continuité avec la digue en remblai compacté du secteur du Brocey en tenant compte d'une zone de transition de 50 m entre ces deux ouvrages.

3.4.2. Caractéristiques retenues pour le dimensionnement d'ouvrages

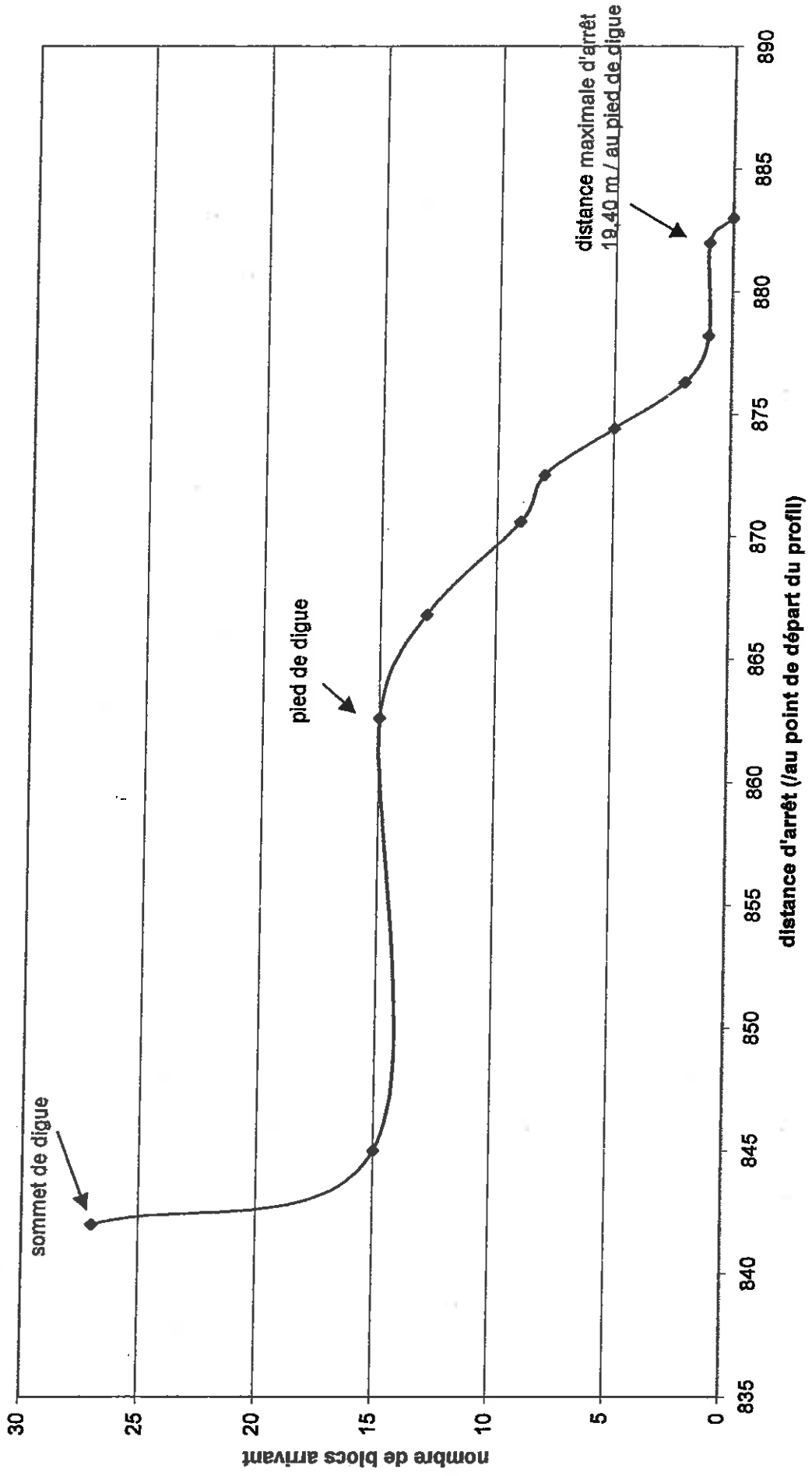
L'altitude préconisée pour la protection ainsi que les caractéristiques de passage des blocs sont récapitulées dans le tableau suivant :

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4 Niveau bas	Profil 4 Niveau haut
Altitude de la protection envisagée	291 m	279 m	309 m	305 m	331 m
Nombre de blocs au départ	1300	1.300	1.300	1.300	1.300
Probabilité d'atteinte de la protection	0,8 %	8,3 %	10,2 %	2,1 %	6,8 %
Hauteur de passage maxi des blocs	2,97 m	2,77 m	4,12 m	2,55 m	3,68 m
Hauteur de passage moyenne des blocs	2,23 m	1,85 m	2,23 m	1,95 m	2,20 m
Energie maxi de passage	7.953 kJ	5.705 kJ	9.353 kJ	5.899 kJ	10.029 kJ
Energie moyenne de passage	3.766 kJ	2.465 kJ	3.697 kJ	2.244 kJ	3.666 kJ
Type d'ouvrages de protection préconisé	Merlon en remblai renforcé	Merlon en remblai renforcé	Merlon en remblai renforcé	Merlon En remblai renforcé	Merlon en remblai compacté ou merlon en remblai renforcé

(*) efficacité relative : nombre de blocs interceptés/nombre de blocs atteignant l'ouvrage.

Crolles profil n°2 vérification de protection identique à la digue du Brocey (résultats annexe 8)

Répartition des blocs près de la digue fictive (sur 45285 blocs au départ)



Les objectifs de ces calculs sont doubles :

- ⇒ vérifier l'efficacité des digues existantes sur les profils P5a et P5b,
- ⇒ analyser le zonage du risque à l'aval des digues.

Les calculs trajectographiques sont de type propagation.

Les principaux résultats obtenus sont reportés dans le tableau n° 2 ainsi que dans l'annexe 6.

On a présenté également dans les graphes ci-joint la répartition des blocs au niveau des digues.

■ Digue vers BERNIN à l'amont du réservoir

Les calculs montrent que 11 blocs franchissent le merlon situé vers BERNIN, sur 45.290 simulations, la probabilité de dépassement de cet ouvrage est donc de $2,4 \times 10^{-4}$.

Sur les 46 blocs qui atteignent l'ouvrage (*probabilité d'atteinte de l'ouvrage* $1,01 \times 10^{-3}$) 35 blocs sont interceptés dans la fosse à blocs.

L'efficacité relative de cet ouvrage (*nombre de blocs interceptés/nombre de blocs atteignant l'ouvrage*) est de **76 %**.

Sur les 11 blocs qui dépassent la digue, 10 s'arrêtent dans les 10 mètres qui suivent le pied de digue. Un seul bloc atteint une distance de 16 m par rapport au pied de digue.

■ Digue vers LUMBIN

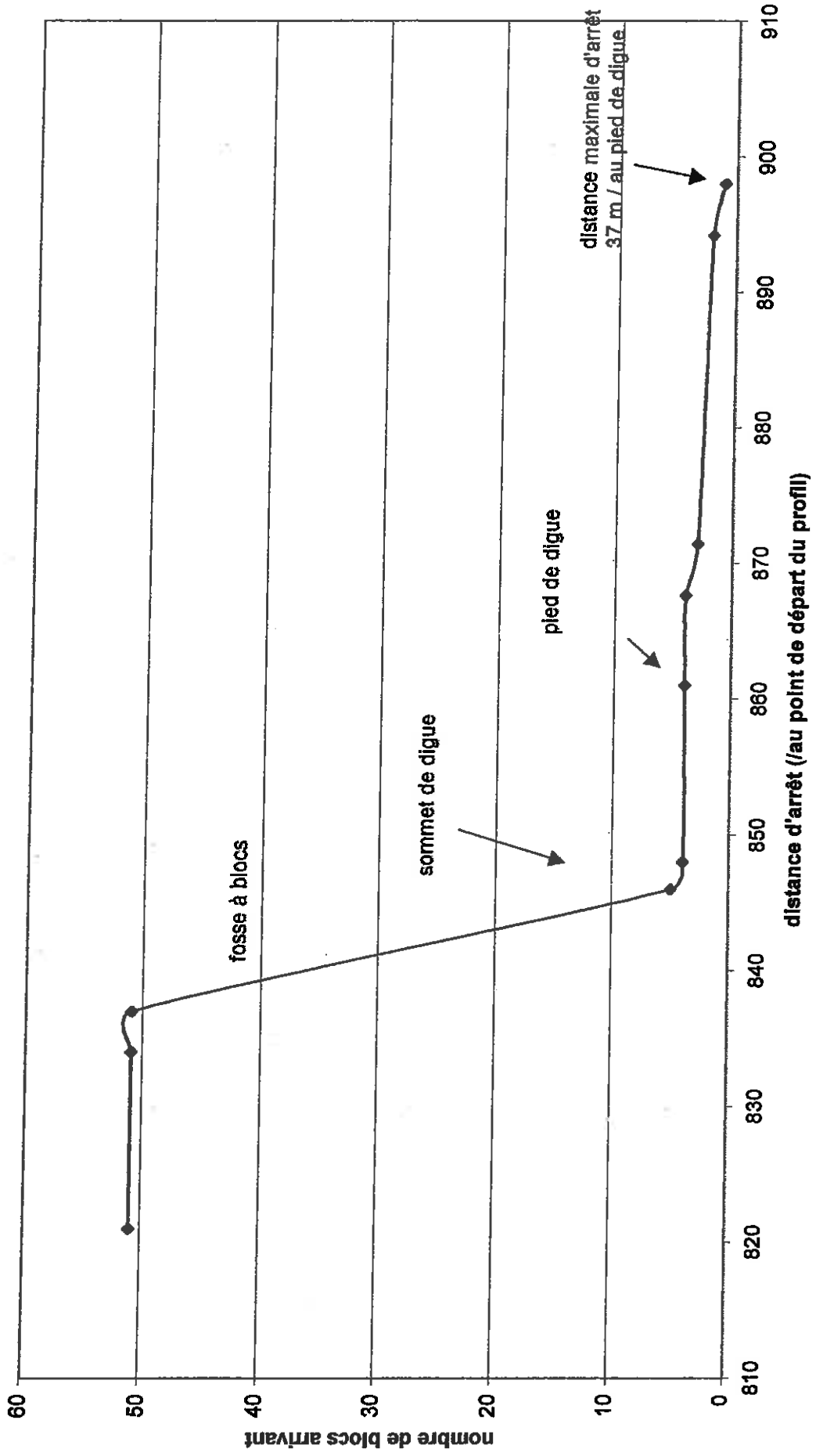
Les calculs montrent que 4 blocs franchissent le merlon situé vers LUMBIN sur 45.297 simulations. La probabilité de dépassement de cet ouvrage est donc de $8,8 \times 10^{-5}$.

Sur les 51 blocs qui atteignent l'ouvrage (*probabilité d'atteinte de la digue* de $1,1 \times 10^{-3}$) 47 blocs sont interceptés dans la fosse à bloc – 42 blocs atteignent le parement amont de la digue.

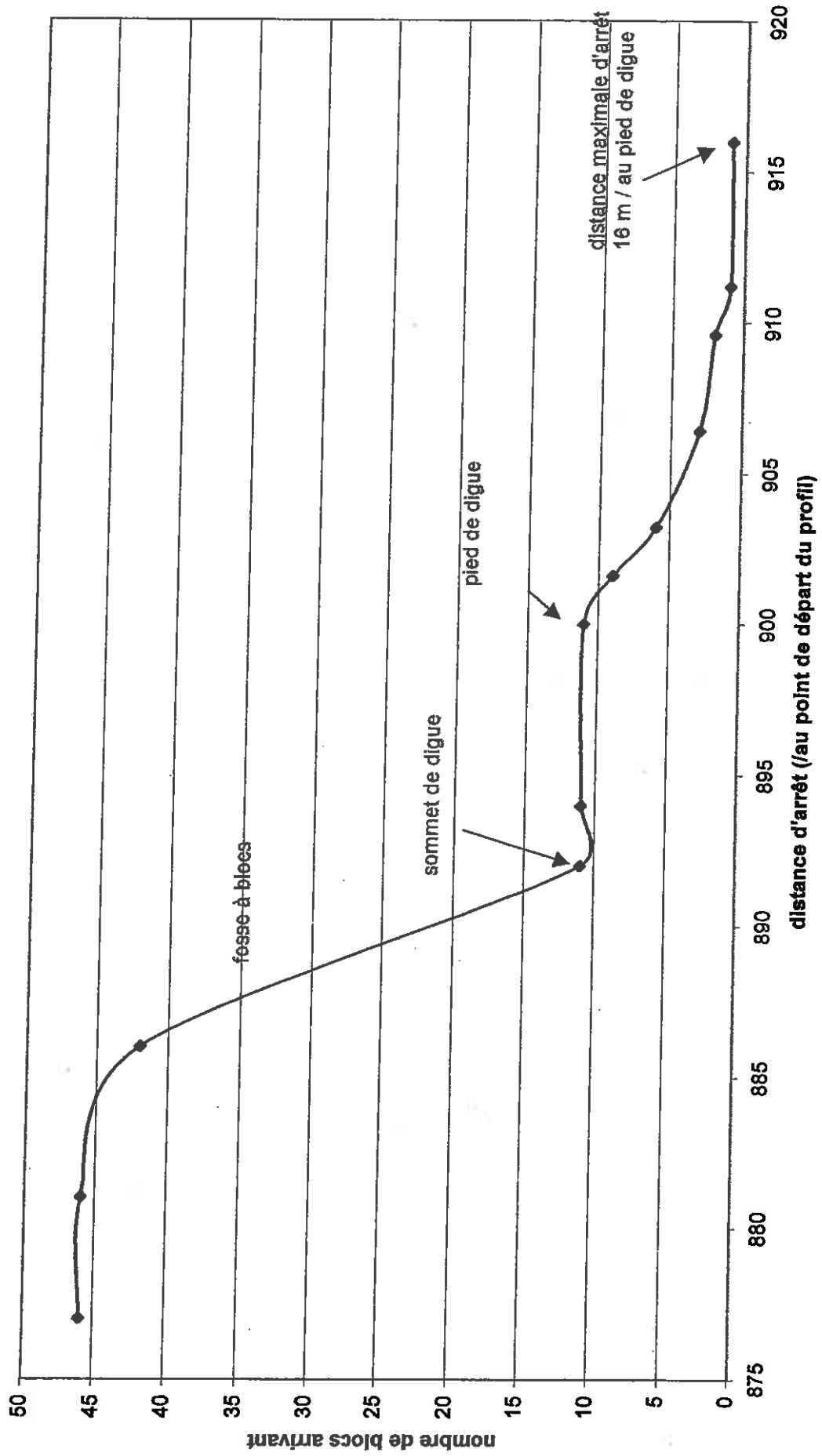
L'efficacité relative de cet ouvrage est de **92,1 %**.

Commentaires : Les calculs de protection réalisés dans l'étude A.D.R.G.T. n° 402 d'avril 1988 avaient abouti à une protection à la cote 355 m, soit bien en amont des digues existantes, au niveau d'une zone à pente plus faible (15 à 20°). Les caractéristiques dimensionnelles alors retenues à l'époque ne sont pas adaptées à la solution de protection retenue en définitive aux cotes 300 et 315 puisque les pentes situées en dessous de la cote 350 se raidissent (30) et favorisent ainsi le rebond des blocs.

Répartition des blocs près de la digue actuelle (sur 45297 blocs au départ)



Répartition des blocs près de la digue actuelle (sur 45290 blocs au départ)



Calculs de vérification de protection
Tableau n° 2

PROFIL	nbre total de simulations	volume au départ m ³	altitude de départ	nbre de blocs atteignant le merlon	nbre de blocs piégés	probabilité de dépassement	X _{max}	efficacité relative
5A	45290	10 à 20	780	46	35	2,43E-04	916	76,09%
5B	45297	10 à 20	780	51 X=821 m	47	8,83E-05	898	92,16%

5 CONCLUSIONS – DEFINITION DES PROTECTIONS PARE-BLOCS

Cette étude réalisée à la demande du Service R.T.M. a permis d'élaborer à partir de calculs trajectographiques un prédimensionnement au niveau APS d'une digue de protection pare-blocs sur le secteur du FRAGNES et CRAPONOZ, en continuité avec la digue existante du secteur Le Brocey et les digues mises en place en 1990.

5.1. Prédimensionnement de la digue

D'après les résultats trajectographiques de protection réalisés au droit des profils 1, 2, 3 et 4 et après homogénéisation, nous proposons de réaliser la digue pare-blocs en plusieurs tronçons de dimensions différentes, respectivement pour les secteurs Le FRAGNES et CRAPONOZ (cf. figure 4). Compte tenu de l'importance du projet et de l'optimisation à réaliser en phase projet des terrassements des merlons, nous préconisons la réalisation d'un plan topographique sur l'ensemble du secteur.

Secteur LE FRAGNES

▪ Zone de transition entre l'ouvrage existant et la digue à créer.

- Profils trajectographiques dimensionnants : profil 2 de l'étude en cours et profil P1 de l'étude SAGE N° 1271 sur le secteur du BROCEY.
- Type de protection : merlon pare-blocs en remblai compacté.
- Principales caractéristiques de la protection.
 - Longueur totale = 50 ml.
 - Hauteur parement amont compacté : $h = 5,0 \text{ m à } 5,10 \text{ m (*)}$
 - Parement amont : 80 %/horizontale.
 - Largeur en crête : 3,0 m.
 - Emplacement côte NGF : 275 m.

(*) hauteur du parement/T.N.

▪ Tronçon ①

- Profils trajectographiques dimensionnants : profils 1 et 2.
- Type de protection : merlon pare-blocs en remblai renforcé.
- Principales caractéristiques de la protection.
 - Longueur totale = 570 m.
 - Hauteur parement amont renforcé : $h = 5,10 \text{ m}$ à $6,10 \text{ m}$ (*)
 - Parement amont renforcé $\alpha = 65^\circ$ /horizontale.
 - largeur en crête : $L_c = 3,0 \text{ m}$.
 - Emplacement côte NGF : 275 m à 290 m

▪ Tronçon ②

- Profil trajectographique dimensionnant : profil 3.
- Type de protection : merlon pare-blocs en remblai renforcé.
- Principales caractéristiques de la protection.
 - Longueur totale = 170 m.
 - Hauteur parement amont renforcé : $h = 6,10 \text{ m}$.
 - Parement amont renforcé $\alpha = 65^\circ$ /horizontale.
 - largeur en crête : $L_c = 3,0 \text{ m}$.
 - Emplacement côte NGF : 290 à 309 m.

Secteur CRAPONOZ

▪ Tronçon ③

- Profil trajectographique dimensionnant : profil 4.
- Type de protection : merlon pare-blocs en remblai renforcé (solution **A**) ou en remblai compacté (solution **B**).
- Principales caractéristiques de la protection.

→ Solution A

- Longueur totale = 170 m.
- Hauteur parement amont renforcé : $h = 4,50$ m.
- Parement amont renforcé $\alpha = 65^\circ$ /horizontale.
- largeur en crête : $L_c = 3,0$ m.
- Emplacement côte NGF : 305 à 310 m.

→ Solution B

- Longueur totale = 170 m.
- Hauteur parement amont compacté : $h = 6,20$ m.
- Parement amont $\alpha = 80\%$ /horizontale.
- largeur en crête : $L_c = 3,0$ m.
- Emplacement côte NGF : 305 à 310 m.

▪ Tronçon ④

- Profil trajectographique dimensionnant : profil 4.
- Type de protection : merlon pare-blocs en remblai renforcé.
- Principales caractéristiques de la protection.
 - Longueur totale = 60 m.
 - Hauteur parement amont renforcé : $h = 5,70$ m.
 - Parement amont renforcé $\alpha = 65^\circ$ /horizontale.
 - largeur en crête : $L_c = 3,0$ m.
 - Emplacement côte NGF : 330 m.

5.2. Amélioration de l'efficacité des digues existantes

Les digues existantes présentent respectivement pour la digue vers BERNIN et la digue vers LUMBIN une probabilité d'être franchie de $2,2 \times 10^{-4}$ et $6,6 \times 10^{-5}$.

Compte tenu des risques de dépassement de ces ouvrages par des chutes de blocs depuis les falaises, nous proposons les modifications suivantes :

■ **pour la digue vers BERNIN (profil 5 A) - figure 7A :**

un raidissement du parement amont à 65° et un rehaussement de 1 m de hauteur de manière à atteindre une hauteur par rapport au pied de fosse de 5,20 m.

■ **pour la digue vers LUMBIN (profil 5 B) - figure 7B :**

un raidissement du parement amont à 65° et un rehaussement de 0,50 m de hauteur de manière à atteindre une hauteur par rapport au pied de fosse de 7,70 m.

La solution qui apparaît la plus efficace dans l'amélioration des digues existantes consiste à démanteler ces ouvrages et à les reconstituer avec un parement amont renforcé.

La Société SAGE se tient à votre disposition pour tout renseignement complémentaire ou assistance technique relative à cette étude.

Le Gérant,



P. STUPNICKI

P. DESVARREUX