

EVALUATION DES RISQUES QUE PRESENTENT LES TERRILS LE CAS DU TERRIL DE BERNALMONT

COREXENOS PAVLOS

Résumé

Amas de dépôts meubles par définition, les terrils sont mobiles et voient leur forme évoluer au cours du temps sous l'action des agents de transport en masse. Ils constituent de la sorte une véritable richesse pour les géomorphologues mais également un potentiel à risques et une source d'incommodités pour les habitants vivants à proximité. A l'heure actuelle, il n'existe aucun suivi des terrils en Région wallonne, ni d'études scientifiques portant sur leur stabilité. La présente étude tente de remédier à cette lacune en proposant une méthode de travail peu coûteuse portant sur un terril en particulier qui pourra être amenée à être utilisée sur d'autres pour appréhender leur évolution et stabilité mais aussi mieux connaître les processus les affectent ainsi que leurs manifestations morphologiques.

Mots-clés

Terril, géomorphologie, risques, enjeux de l'aménagement du territoire

Abstract

Deposits furniture by definition, terrils are mobile and see their shape evolving in time under the effect of the agents of erosion. They so establish a real wealth for geomorphologues but also a potential at risks for the alive inhabitants near. At the moment, there is no follow-up of terrils in Walloon Region, or scientific studies concerning their stability. The present study tries to remedy this gap by proposing a little expensive method of work concerning a terril in particular which can be brought to be used on the others to show their evolution and stability but also better to know the processes who affect them as well as their morphological appearances.

I. LES TERRILS : UN ENJEU POUR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE WALLON

En 1984, le charbonnage de Roton, dernier charbonnage wallon encore en activité, fermait ses portes. Ainsi, prenait fin après de nombreux siècles d'existence une industrie extractive qui a été extrêmement importante, où le charbon de terre a été la base de l'économie et l'image de la Wallonie. En surface, l'activité charbonnière a rendu nécessaire l'accumulation, aux abords des puits d'extraction, d'importants volumes de remblais artificiels constitués principalement de déchets stériles rocheux. Ces amas ou terrils constituent à l'heure actuelle les traces encore visibles de cette activité, les châssis à molettes et les autres bâtiments de surface destinés à l'extraction ayant en majeure partie été abattus.

La région liégeoise a compté cent quinze terrils. Beaucoup ont disparu, engloutis dans les puits des charbonnages, avalés par les fondations d'infrastructures ferroviaires et autoroutières, exploités pour leurs schistes rouges lorsqu'ils ont été rongés par la combustion ou pour la récupération de leur fraction combustible. Si bien qu'il en reste cinquante huit, mais outre les terrils arasés ou partiellement enlevés, il en subsiste réellement une trentaine. Certains se sont transformés en vignoble, en centre touristique, ou encore en centre d'intérêt scientifique pour leur richesse et originalité floristique et faunistique. Néanmoins, ils nous

rappellent, parfois de façon tragique, qu'ils peuvent mettre des vies en danger lorsqu'ils sont localisés dans le tissu urbain et qu'ils ne constituent pas des éléments stables : c'est le cas du terril de la Petite Bacnure à Herstal dont un flanc qui a été rongé par la combustion s'est effondré le 1^{er} avril 1999.

Les terrils représentent aujourd'hui de véritables enjeux en terme d'aménagement du territoire, dans le sens où, leur aménagement ou intégration au milieu environnant reflète, en outre, la capacité qu'ont et qu'auront les anciens bassins houillers à mener à bien leur nécessaire reconversion. Cependant, ils sont devenus au fil du temps des éléments familiers pour les habitants qui freinent souvent toute mesure d'aménagement qui les vise, et parfois même pour les communes qui semblent parfois les négliger et les oublier. Quant à la Région wallonne, elle semble éprouver des problèmes quant à sa classification sur les terrils, suite à un arrêté rentré en vigueur le 5 octobre 1989, en faisant passer certains d'une catégorie à l'autre.

Les terrils ont déjà été abordés dans de nombreuses études. Néanmoins, ces travaux ne sont généralement que des études de cas généraux ou de cas spécifiques et limitées à un seul aspect des terrils. De plus, bien souvent le facteur humain est négligé, au même titre que les inconvénients que peuvent ressentir les habitants. Des études récentes sont en cours dans la région de Mons, montrant la sensibilisation croissante des communes sur ce sujet. Ces faits montrent que des investigations complémentaires manquent pour permettre aux décideurs de prendre des mesures d'aménagement ou de valorisation des terrils, ou encore de protection pour la population voisine claires et fondées.

II. UNE LEGISLATION QUI REND COMPTE DE LEUR MECONNAISSANCE

La Région wallonne classe tous les terrils présents sur son territoire en trois catégories, suite au décret concernant la valorisation de terrils du 9 mai 1985, modifié par les décrets du 16 décembre 1988, du 6 mai 1993 et du 21 avril 94, exécuté le 29 juillet 1993 par un arrêté du Gouvernement Wallon. Les terrils y sont définis comme " *Tout dépôt, temporaire ou permanent - à l'exclusion de l'assiette du terrain - de substances minérales résultant de l'activité des mines de houille* ". L'ensemble des terrils de la région wallonne y est divisé en trois catégories. La classification ainsi obtenue peut être revue tous les cinq ans. La dernière révision de la classification s'est réalisée au cours de l'année 1995.

Tableau 1. Classification des terrils par la Région wallonne

Catégorie A Terrils qui ne peuvent être mis en exploitation pour des raisons d'aménagement du territoire, de protection de l'environnement et de classement comme site.
Catégorie B Terrils exploitables
Catégorie C Terrils qui semblent intéressants à exploiter mais qui nécessitent des investigations complémentaires

Le tableau 1 révèle que cette classification est basée sur l'exploitabilité des terrils et qu'elle ne tient pas compte, au même titre que le plan de secteur qui les reprend comme « zone d'espace vert » ou plus rarement en « zone naturelle », des risques qu'ils peuvent représenter et des inconvénients qu'ils peuvent engendrer.

Cependant, le décret du 27 novembre 1997 modifiant le CWATUP est entré en application le 1^{er} mars 1998. Il vise une meilleure gestion des risques naturels et des contraintes géotechniques via l'outil de l'aménagement du territoire wallon. Apparaissent alors l'inscription de terrains soumis à une contrainte physique au plan de secteur qui rend impossible toute inscription d'une nouvelle zone destinée à l'urbanisme. La construction de biens immobiliers exposés à une contrainte physique majeure telle que l'éboulement d'une paroi rocheuse, le glissement de terrain, l'effondrement karstique ou minier, le risque sismique et la protection des eaux souterraines, peut être, suite au décret, soit interdite, soit subordonnée à des conditions particulières de protection. On voit dès lors toute l'importance qu'ont prise avec le temps, les préoccupations relatives aux risques naturels. Malheureusement, on ne sait toujours pas si les terrils font partie des risques naturels.

A l'heure actuelle, les autorités communales et la Région wallonne ne définissent pas systématiquement un périmètre de risque naturel prévisible autour des terrils. La preuve en est, que les communes continuent à délivrer des permis d'urbanisme à proximité immédiate de certains terrils. L'établissement de zones de contraintes à proximité des parois rocheuses, s'avèrerait pourtant intéressant à appliquer autour de terrils à titre préventif vu la méconnaissance à leur sujet.

La figure 1 nous montre la localisation et la catégorie à laquelle appartient les terrils situés dans la région liégeoise ; la catégorie " terrils exploitables " englobe les catégories B et C établies par la Région wallonne et la catégorie "terrils protégés depuis le 9 mars 1995" englobe la catégorie A.

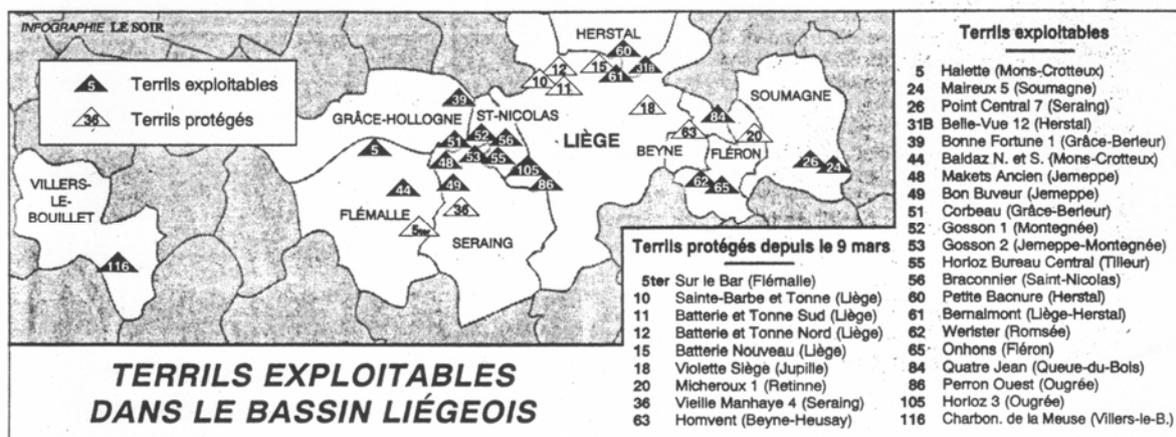


Figure 1. Terrils de la région liégeoise

(Source : Le Soir, 15-03-1995)

III. DELIMITATION D'UNE ZONE D'ETUDE : LE TERRIL DU BERNALMONT

L'évaluation des risques que présentent les terrils nécessite de les prendre au cas par cas. Dans le cadre du présent travail notre choix s'est porté sur le terril du Bernalmont. La méthode mise en place pourra cependant être amenée à être utilisée sur d'autres. Il est localisé à l'extrémité nord de la commune de Liège, au nord du quartier de Coronmeuse, à proximité immédiate d'un tissu urbain relativement dense.

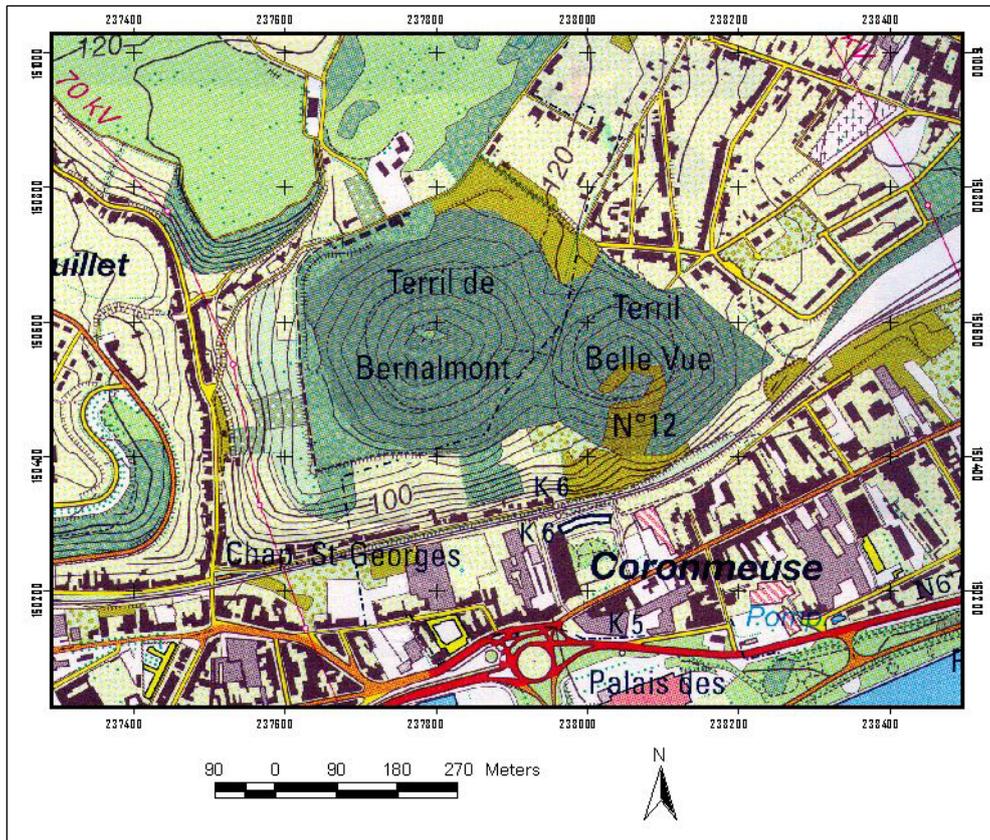


Figure 2. Localisation du terril de Bernalmont

Ce terril appartient à la catégorie C de la classification établie par la Région wallonne. Il faisait partie de la concession de la Grande et de la Petite Bacnure et appartient actuellement à un propriétaire privé à qui appartient le terrain de golf voisin.

IV. EVALUATION DES RISQUES

L'évaluation des risques est basée sur :

- la réalisation d'un modèle numérique de terrain qui rend compte, avec précision, de la morphologie du terril.
- Une étude géomorphologique permettant d'appréhender la dynamique actuelle et passée du terril sur base d'une photographie aérienne de 2001 et de 1971.
- La prise en compte de paramètres pouvant jouer un rôle dans la stabilité des terrains : ruissellement, végétation et combustion.
- La prise en compte d'impacts invisibles mis en évidence par les habitants vivants à proximité du terril.

Le croisement de ces différentes données doit permettre de mettre en évidence les zones d'un terril présentant un danger potentiel.

A. Obtention d'un modèle numérique de terrain

Le premier objectif est de se doter d'une cartographie précise du terril qui servira de document de référence pour son étude. Le modèle numérique de terrain peut, en outre, permettre l'appréhension de manière précise de toute la morphologie d'un terril mais aussi d'obtenir une carte des pentes, ainsi que diverses données à son sujet (masse, volume,

superficie,...). Les différents documents qui témoignent de la morphologie du terril de Bernalmont sont, en effet, rares ou trop peu précis pour la présente étude.

Le levé topographique qui a permis de réaliser le MNT s'est déroulé en trois étapes :

- levé à la station totale de différents points ;
- levé à l'aide du GPS de quelques-uns de ces points pour pouvoir donner les coordonnées de tous les points levés à la station totale dans le système Lambert 72 ;
- levé complémentaire d'un grand nombre de points au clinomètre, afin d'obtenir un semis de points couvrant l'entièreté du terril de Bernalmont ;
- Interpolation des points par triangulation irrégulière ou TIN et validation.

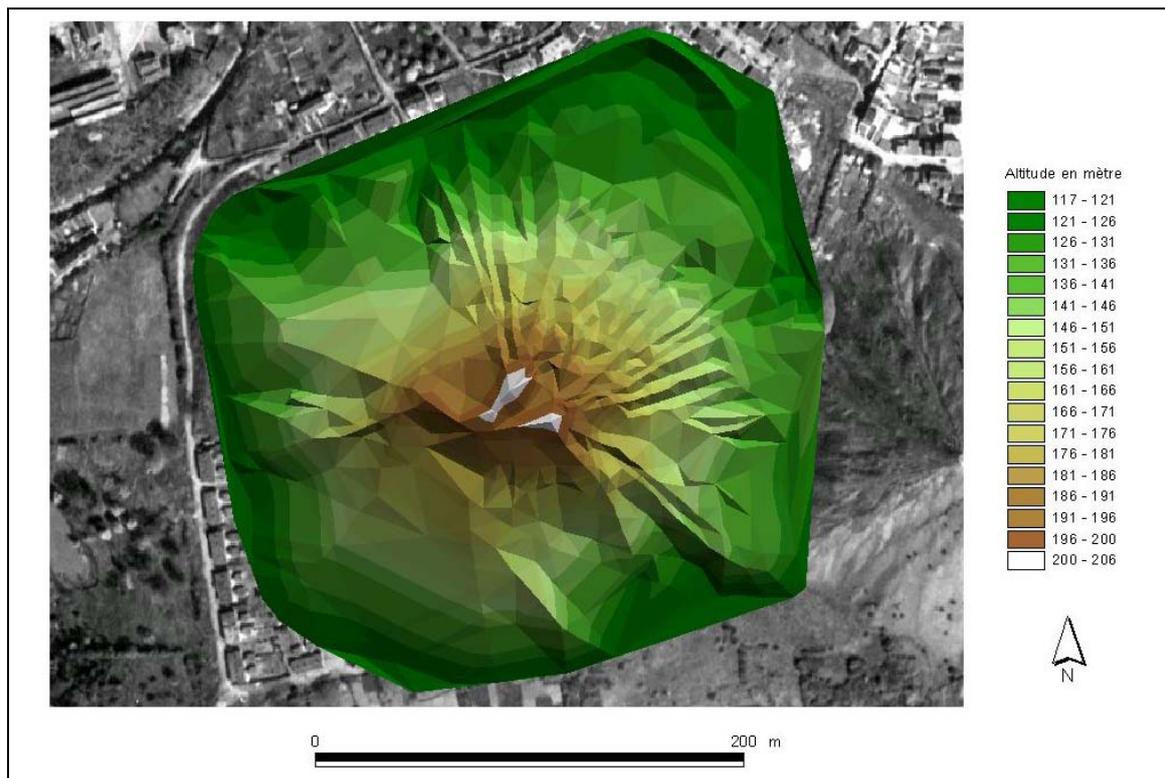


Figure 3. MNT du terril de Bernalmont

B. Morphologie générale du terril de Bernalmont

La forme d'un terril dépend tout d'abord de la manière dont les dépôts ont été déversés, en d'autres termes des techniques d'exploitation. La taille et la forme des terrils que nous observons aujourd'hui sont, en effet, le résultat d'une évolution qui s'étend sur plusieurs siècles (Debehault, 1968, Frankart, 1984 et Franssen 1990).

Avant la révolution industrielle, les terrils n'étaient que de petites « mottes » de quelques milliers de m³, appelés « fourfoyeux » en raison de l'exploitation à caractère artisanal. Ces terrils ont actuellement tous disparu. Dès la deuxième moitié du XVIII^{ème} siècle, la concentration des petites sociétés charbonnières s'est opérée pour réaliser une intensification de l'exploitation du charbon. Ainsi, sont nés des terrils de gabarits beaucoup plus imposants quoique étalés : ce sont les terrils dit " **bombés** ". A la fin du XIX^{ème} siècle, le volume des terrils est devenu important. En effet, en plus d'une intensification de la production, on a commencé à extraire de plus en plus de schistes, parfois même plus de schiste que de charbon du à l'apparition de machines plus de puissance, du lavage du charbon plus perfectionné. Les

terrils de cette époque présentaient néanmoins des volumes encore modestes, dépassant rarement 100 000 m³.

Au XX^{ème} siècle, la Belgique comptait 265 charbonnages en activité, tous situés en Wallonie dans le sillon Sambre-Meuse et en Campine. Les terrils ont alors été aménagés sous la forme de " **cône** " en raison de l'emploi de " **skips** ", wagonnets actionnés par un treuil, circulant sur une rampe qui allait du bas au sommet du terril. Ces wagonnets se déchargeaient dans un échafaudage sommital appelé " **culbuteur** ". Parfois, on plaçait des plaques de tôle, appelées " **glissières** ", sur les versants des terrils afin de faciliter l'étalement rapide des matériaux. L'utilisation de ces glissières était responsable de la succession de crêtes et de ravines sur les pentes. Lorsque des terrils atteignaient une hauteur comprise entre soixante et cent mètres, on cessait de les élever et on déversait alors dans une seule direction, provoquant ainsi la formation d'une crête, donnant les terrils " **à crête** ".

C'est donc réellement à la fin du XIX^{ème} siècle et au cours du XX^{ème} siècle, que sont apparus des terrils plus nombreux, plus volumineux dépassant généralement 1 000 000 m³ et occupant une plus grande surface que leurs " ancêtres ". L'ensemble des terrils qui viennent d'être décrits sont dits " **originaux** ". Ils constituent, avec les terrils " **digités** " obtenus dans certaines conditions par des déversements successifs sur les flancs, le stade ultime de leur évolution morphologique. Ils présentent en général de fortes pentes et une granulométrie hétérométrique.



Figure 4. Le terril à crête de la Petite Bacnure et le terril digité de Batterie nouveau (IGM, 1971)

A remarquer que depuis 1975, des terrils dits " **remaniés** " ont vu le jour, résultant du triage par voie humide des terrils originaux. Ils se caractérisent par l'inclusion de larges bassins à " **schlamms** ", des pentes plus faibles, un relief tabulaire, une absence de combustion, une granulométrie triée résultant du triage et un boisement artificiel prononcé.

Pour ce qui concerne le terril de Bernalmont, les dates de déversement ne sont pas connues avec précision mais une appréciation a pu être fournie par M. Tilkin, géomètre au charbonnage de la Grande et de la Petite Bacnure : les déversements auraient débuté vers 1920 et auraient cessé en 1971. Par contre d'après la DGATLP¹, qui a réalisé un inventaire

¹ DGATLP : Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine.

des terrils qu'elle met à disposition sur son site internet, la date de cessation des déversements se situerait aux environs de 1954. Il a été érigé suite au manque de place rencontré par le charbonnage, qui déversait auparavant sur les sites qui ont donné les terrils de la Petite Bacnure et de Gérard Cloes, ce dernier ayant actuellement disparu. Les sièges d'extraction étaient localisés à Gérard Cloes et au nord du terril de la Petite Bacnure et les matériaux extraits étaient acheminés vers Coronmeuse par l'intermédiaire d'un tunnel. Le siège de Coronmeuse avait pour objet principal le triage et le lavage du charbon. Une fois ces modalités accomplies, les stériles étaient acheminés au sommet du terril par l'intermédiaire d'une rampe qui présentait une partie versant, souterraine.

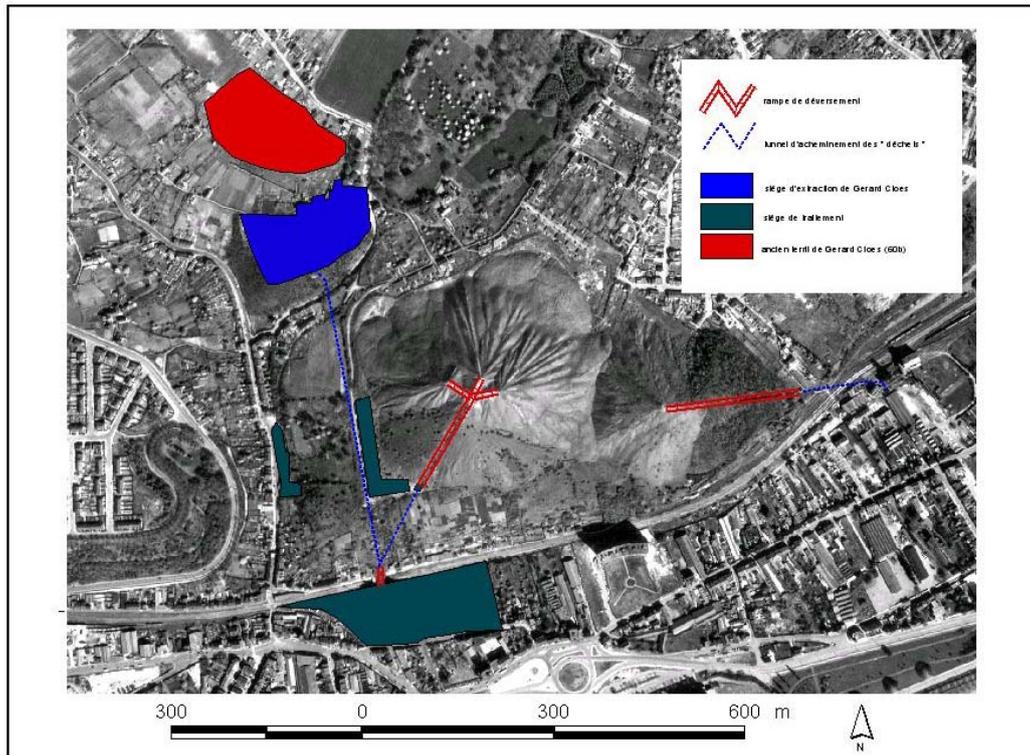


Figure 5. Terril conique et digité de Bernalmont (à gauche) et terril conique de Belle-Vue (à droite)

Il présente une forme conique, obtenue par l'emploi de " skips " et du " culbuteur ", caractéristique des terrils de cette époque. La rampe, sur laquelle ont circulé les wagonnets, apparaît encore clairement sur le versant sud-ouest du terril. Des glissières ont également été utilisées, celles-ci apparaissent encore à l'heure actuelle sur le versant sud du terril. Néanmoins, ce terril ne constitue pas un cône parfait. Il revêt une forme intermédiaire entre le terril conique et le terril digité, mais reste plus proche du premier. L'explication de cette forme réside dans les déversements successifs sur les flancs qui ont été obtenus par la division en trois rampes, au sommet du terril, de la rampe principale ; ceci ayant été réalisé dans le but de l'étaler, afin de ne plus l'élever. Ainsi, il présente un sommet en trois crêtes, et non pas un unique point sommital. Ce terril présente donc les caractéristiques morphologiques des terrils du XXème siècle.

D'autre part, le modèle numérique de terrain a permis de calculer différents paramètres : son volume, sa superficie, ainsi que la surface qu'il occupe au sol :

- volume au-dessus de la surface de 122,5 m (altitude du contact terril – assiette du terrain) = 2.921.972 m³ ;

- superficie de la surface tridimensionnelle : 13,73 ha ;
- surface au sol : 11,55 ha.

Ces valeurs peuvent être comparées à celles fournies par la DGATLP. Le tableau 2 montre que les données obtenues sur base du MNT sont assez proches de celles de la DGATLP.

Tableau 2. Comparaison des données morphologiques de la DGATLP et du MNT

	DGATLP	MNT
Forme	Cône	Cône - digité
Volume (en m ³)	2 837 000	2 921 972
Hauteur (en m)	84	85
Surface au sol (en ha)	11,29	11,55

C. Brèves caractéristiques des éléments constituant le terril de Bernalmont

Le terril étant les accumulations des " résidus " liés à l'extraction du charbon présent dans les terrains du houiller, le terril est constitué de matériaux extraits du bed rock. Il s'agit de schistes, schistes gréseux et grès massifs. Mais aussi de charbon, puisqu'au début des activités des sociétés charbonnières, les techniques pour séparer le charbon des résidus non commercialisables étaient peu efficaces.

Le fractionnement des schistes et des grès est particulièrement visible sur le terril. Les causes principales sont les suivantes : l'extraction des éléments, les chocs qui sont survenus entre les éléments lors du déversement, les changements de volume dus aux variations de température, la gélifraction et les contraintes physiques que les éléments ont pu subir, ou subissent au sein de leurs déplacements. Il résulte ainsi une désagrégation prononcée des éléments constituant le terril, qui évoluent vers des éléments de moins en moins grossiers : le plus gros bloc trouvé atteint environ 80 cm de longueur, 35 cm de largeur et 30 cm d'épaisseur.

La granulométrie des éléments constituant le terril de Bernalmont a été analysée par l'INIEX², suite à un sondage réalisé en 1977, sur le côté nord du terril à une cote d'environ 170 m. La granulométrie du sondage est reprise sur le tableau 3.

**Tableau 3. Composition granulométrique du sondage
(Source : INIEX, 1978)**

Diamètre en mm	% Poids
[0 - 0,5]	26,54
[0,5 - 1]	8,33
[1 - 2]	6,69
[2 - 5]	14,36
[5 - 10]	14,33
[> 10]	29,75

L'analyse révèle que : l'ensemble argile, limon et sable fin représentent environ 25 % du poids, le sable grossier environ 16 %, le graviers fin environ 29 %, le gravier grossier et la blocaille environ 30 %. La fraction fine ne représente donc que 25 % du poids de la totalité des échantillons. De telle sorte, que les matériaux du terril peuvent être qualifiés d'essentiellement grossiers et d'assez hétérogènes (environ 75 % de sables, de graviers et de blocaille). La teneur en humidité globale varie entre 1,99 et 10,48. Les auteurs estiment la

² INIEX : Institut National des Industries Extractives actuellement appelé ISSeP (Institut Scientifique des Services Publics).

teneur en cendres moyenne du terril égale à environ 85,94 %. En outre, le sondage a permis de montrer la présence, entre 30 et 33 m de profondeur d'une " cavité " de 3 m de hauteur. Le sondage ayant été pris à une cote d'environ 170 m, l'altitude de celle-ci est comprise entre 137 et 140 m.

D. Individualisation des unités géomorphologiques et mise en évidence des zones dynamiques

L'individualisation des unités géomorphologiques du terril est issue de la photo-interprétation au stéréoscope à miroirs, qui permet d'avoir une perception du relief de la zone d'étude, d'une paire de photos aériennes de 1971 où l'absence de végétation permet d'avoir une bonne vision de sa surface. Une fois les formes individualisées, des observations sur le terrain, l'analyse de photos aériennes de 2001, et le MNT ont permis d'apporter des informations altimétriques et morphologiques complémentaires des différentes formes observées mais également la manière dont ces formes ont évolué.

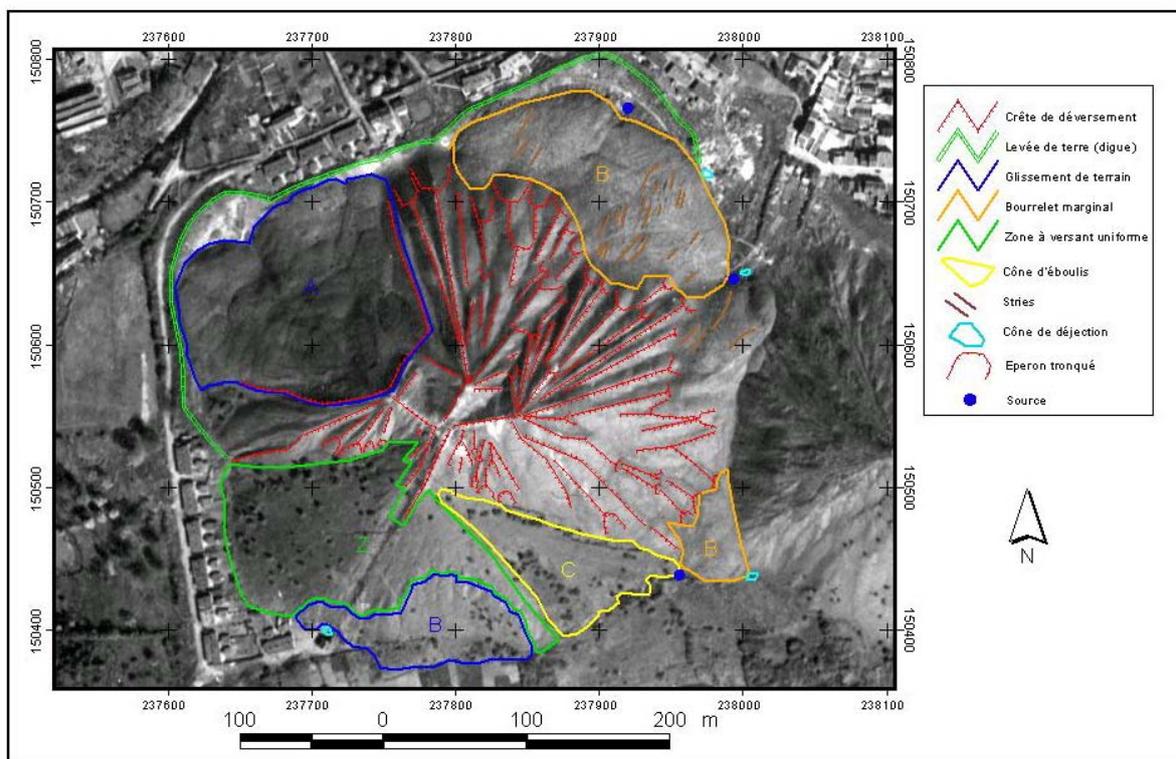


Figure 6. Unités géomorphologiques du terril de Bernalmont

D1. Crêtes et ravines de déversement

La succession de crêtes et de ravines sur le terril est liée à l'utilisation de glissières sur les versants, afin de faciliter l'étalement rapide des matériaux. C'est pour cette raison qu'elles sont appelées " de déversement ". L'axe de chacune constitue un rayon, complet ou non, du terril. Cette succession ne peut cependant être clairement observée que sur une zone comprise entre le nord et le sud-est, où 31 crêtes ont été mises en évidence, ainsi que sur une autre zone qui englobe une petite bande à l'ouest et la partie sommitale du versant sud du terril où 17 crêtes ont pu être individualisées. Mais dans cette dernière, les crêtes et les ravines présentent généralement un axe beaucoup moins long ; il n'existe que quatre crêtes qui vont du sommet au pied du terril. Les autres sont arrêtées par deux " replats " situés au nord-est et au sud-est. A cet endroit, elles présentent toutes une rupture brusque de leur pente, qui était jusque là

relativement faible et constante, qui apparaît, sur le terrain, sous la forme d'un " **éperon tronqué** ". Les crêtes présentent un profil transversal arrondi, mais de forte convexité, alors que les ravines présentent généralement un **profil en " U "** avec des versants pentus. Ce profil des ravines n'est pas l'original puisqu'il résulte de la descente de matériaux superficielle des versants pentus des crêtes. Les profils longitudinaux des crêtes et des ravines sont relativement parallèles, bien que les ravines adoptent un profil légèrement concave et les crêtes légèrement convexes. La différence essentielle se marque au pied du terril. En effet, alors que les crêtes présentent une rupture de pente nette, liée aux techniques de déversement, les ravines terminent leur course en adoptant une pente sensiblement plus faible, rectiligne ou très faiblement concave. Ce phénomène résulte de l'approvisionnement en matériaux des versants ; les éléments de désagrégation dégringolent vers le fond de la ravine et finissent par s'accumuler au pied, sous la forme d'un **cône d'éboulis**. La taille des éléments de ces cônes peut atteindre une longueur de 50 cm. Ils sont en général de gabarits assez modestes. D'autre part, la forme en " éperon tronqué " affecte parfois la crête elle-même. Elle se marque par le terrain par une discontinuité de la crête qui présente plusieurs ruptures de pente. Ce mouvement bien individualisé et bien localisé est désigné par " **glissement en bloc** " (Sharpe, 1938).

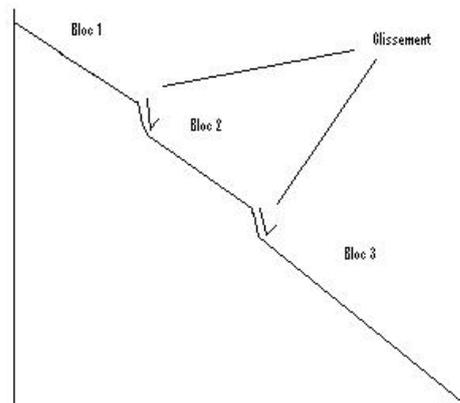


Figure 7. Vue de face et longitudinalement d'un glissement survenu sur une crête laissant une forme en " éperon tronqué "

D2. Rejet latéral de matériaux : " bourrelet marginal "

Ce terme a été utilisé par Hughes, Nef et Prignon (1993), lors d'une étude concernant le terril Saint Antoine dans le Hainaut, où les auteurs observaient que le poids du terril provoquait un affaissement de l'assise limoneuse et calcaire sous-jacente, ayant pour effet de déstabiliser la base du terril. Ceci a provoqué alors un rejet latéral de matériaux du terril mêlés au ceux de l'assise qui ont formé ce qu'ils appellent le " **bourrelet marginal** ". Ils remarquent également que ce dernier a déstabilisé les bâtiments existant plus loin, dans l'axe de l'avancée.

Un tel bourrelet est visible au nord-est, et dans une moindre mesure au sud-est du terril de Bernalmont. Les bourrelets sont visibles en raison de la faible pente qui les caractérise : ils se présentent sous la forme de " replats " de plus au moins grande dimension. Le bourrelet au nord-est du terril dessine une zone en forme de " croissant de lune " d'environ un hectare. Son altitude varie entre 130 et 145 m. Le second est de moins grande dimension.

Le rejet latéral, responsable des bourrelets marginaux, s'est produit à la fin des activités du charbonnage, vers 1967, comme en témoignent certaines personnes ayant travaillé à la Société charbonnière de la Grande et Petite Bacnure. Les deux bourrelets se sont produits au même moment, et très rapidement et résultent du même rejet latéral de matériaux.

La présence d'une cavité de 3 m mis en évidence par le sondage de l'INIEX située entre 140 et 137 m d'altitude sous le versant surplombant le bourrelet, c'est à dire à une altitude comparable à celles des replats, témoigne du " vide " laissé par le mouvement latéral des éléments qui n'ont pas été remplacés. Il s'agit ainsi d'un véritable " sapement " par la base, de matériaux présents à la base du terril mêlés aux matériaux de l'assiette du terrain, c'est à dire de limon, de loess et de cailloutis d'une épaisseur totale de 8 m, provoqué par un glissement latéral des matériaux, dû au poids du terril et au caractère visqueux de la masse en mouvement. En effet, pour qu'un tel rejet puisse se produire il faut que les matériaux, qui vont glisser, se comportent comme une masse visqueuse, rendue possible grâce à une certaine quantité d'eau. Les témoignages confirment cette hypothèse, en relatant que le charbonnage s'inquiétait d'une humidité sans cesse croissante du terril. L'eau a donc joué le rôle essentiel dans le déclenchement du rejet latéral. Le phénomène de saturation du terril de Bernalmont peut être expliqué par le tassement, dû à au poids du terril, de l'assiette du terrain sur lequel il repose, provoquant le renfermement des fissures du bed rock houiller sous-jacent. Il s'est alors créé une saturation des dépôts de la terrasse, qui à leur tour ont provoqué la saturation progressive, du bas vers le haut du terril (Monjoie, 2000). Il faut également souligner que la composition et la granulométrie des matériaux du terril ont été des facteurs qui ont diminué la résistance à la rupture du rejet : faible cohérence des matériaux, matériaux faiblement compactés, éléments de forme lisse (Selby, 1970).

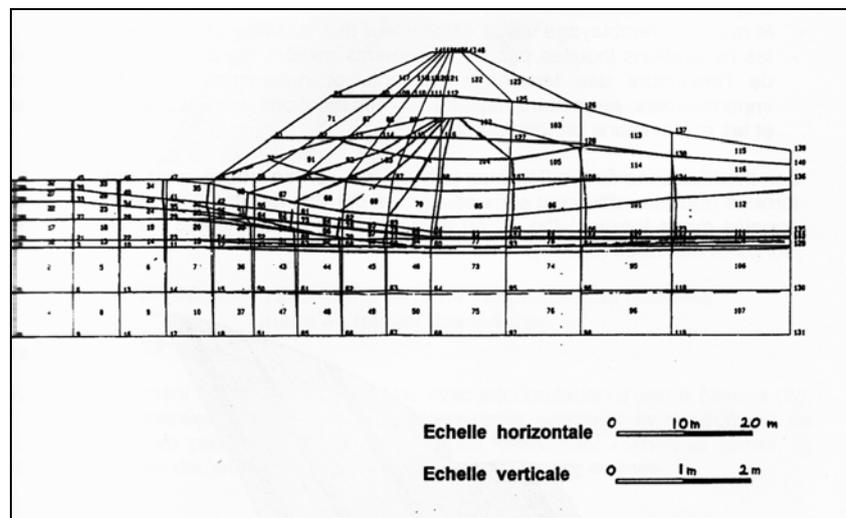


Figure 8. Modélisation des tassements et compaction dus à la surcharge d'un terril
(Source : Monjoie, 2000)

La présence de " **stries** " sur le bourrelet situé au NE, témoignent d'un glissement latéral net et intense entre les matériaux qui ont glissé et ceux au-dessus d'eux. L'altitude du replat constitue donc vraisemblablement la limite qu'avait atteinte la saturation (on peut parler de " **nappe du terril** "), soit environ 145 m. La présence d'une levée de terre, ou digue, de dépôts de deux à trois mètres de hauteur qui a été érigée pour séparer le terril des habitations de la rue de la Crête (actuellement disparues) semble témoigner de la prise de conscience du charbonnage pour le danger que représente ce type de mouvement.

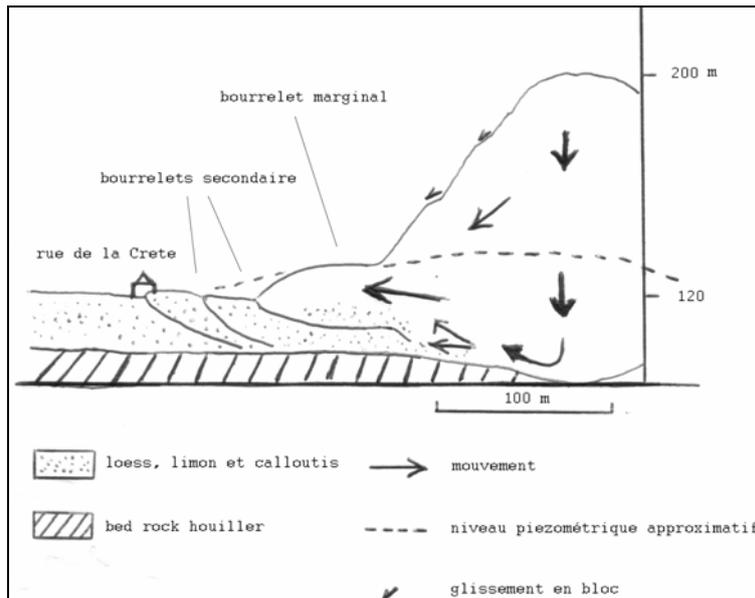


Figure 9. Schématisation du processus du " rejet latéral " du terril de Bernalmont

Parallèlement, la poussée du bourrelet marginal a provoqué, dans les dépôts meubles de la terrasse, la formation de bourrelets « **secondaires** ». Ces bourrelets n'ont pu être identifiés sur le terrain.

D3. Glissement de terrain

Il s'agit d'un glissement de terrain au sens strict du terme qui a affecté tout le versant nord-ouest du terril. Toutes les caractéristiques d'un glissement de terrain apparaissent clairement : escarpement principal très net et très pentu, escarpements mineurs, crevasses transversales, longitudinales et radiales. Néanmoins, ces formes ont été plus au moins " gommées " sur le terrain, à la suite de la désagrégation des éléments et sous l'action des agents de transport en masse. D'après les témoignages, ce glissement de terrain s'est produit quelques secondes après le rejet latéral. Il résulterait de la déstabilisation du versant suite au rejet latéral de 1967. Tout le versant NO du terril aurait ainsi été affecté par une augmentation généralisée de ses pentes. Mais, comme dans le cas précédent, la saturation des terrains de la base du terril, la granulométrie et la composition des matériaux sont également intervenues. Une levée de terre ainsi qu'un fossé ont également été créés à la marge des matériaux qui ont glissé.

D4. Versant à pente régulière

Ce versant s'étend de part et d'autre de la rampe d'acheminement des matériaux (SO du terril). Il résulte des techniques de déversement. Il s'agit d'une zone uniforme liée à l'emploi de glissières disposées parallèlement à la pente. Celles-ci avaient pour but de bien répandre les matériaux sur l'entièreté de la zone. Les matériaux étaient emmenés, depuis la rampe, par l'intermédiaire de deux véritables " **toboggans** ". Ce procédé était utilisé afin de palier le manque de matériaux. Puisque les déversements, qui s'opéraient, dans le sens opposé, avaient pour conséquence de créer un terril à forme dissymétrique, et non conique, et donc plus instable. Le seul accident majeur qui a affecté cette zone est un abrupt situé au pied sud de celle-ci. Il s'agit vraisemblablement de l'escarpement principal d'un glissement de terrain. L'escarpement principal ainsi que les matériaux mobilisés sont visibles sur la photographie aérienne de 1971. Aujourd'hui, les matériaux qui dégringolent le long des pentes ont

pratiquement effacé l'escarpement principal, si bien que le glissement présente une pente à peine plus forte que la zone régulière.

D5. Cône d'éboulis

Il s'agit d'un immense cône d'éboulis, d'une surface d'environ 6300 m². Sur le terrain, on peut observer que la taille des éléments augmente du sommet vers la base du cône. Il résulte de la désagrégation, sur les pentes abruptes situées à l'aplomb de cette zone, de schistes et de grès qui libèrent des fragments qui dégringolent le long de ces pentes. Ce cône s'est développé progressivement et parallèlement aux déversements. La trace d'une mobilisation des matériaux sur le versant situé plus haut n'a, cependant, pu être clairement observée. L'orientation NO-SE du cône d'éboulis a été dictée par la présence de glissières situées parallèlement à son axe.

E. Analyse de la carte des pentes

L'analyse des pentes est essentielle pour la détermination actuelle des zones susceptibles de se mettre en mouvement. En effet, le facteur principal responsable des différentes formes analysées demeure la pesanteur, qui peut agir conjointement à l'humidité du sol. La pente de l'éboulis de gravité sur les matériaux du terril, est comprise entre 27 et 33°. Nous considérerons donc les zones qui présentent une pente supérieure à 33°, comme zones à "risques" ou "sensibles".

L'analyse de la carte des pentes révèle que le bourrelet marginal au NE du terril est un replat. Les pentes présentes sur ce replat sont faibles, elles sont toujours inférieures à 20°. Les versants de ce bourrelet ont des valeurs comprises entre 25 et 33°. La terminaison du bourrelet se présente donc comme une pente d'éboulis de gravité. Seule une petite zone constituant les versants surplombant la source située à l'est du bourrelet, présente une pente d'environ 35°.

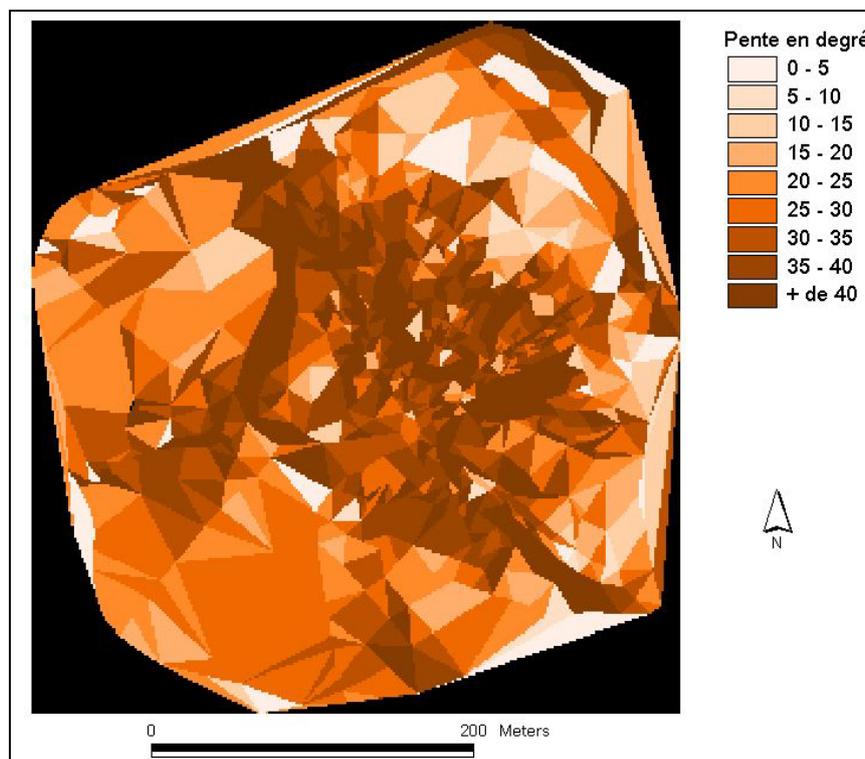


Figure 10. Carte des pentes du terril de Bernalmont

Le replat du petit bourrelet, localisé au SE du terril, présente des pentes comparables. Néanmoins, une petite partie du versant ouest du bourrelet enregistre une pente d'environ 35°. Dans le glissement de terrain au NO du terril, les éléments qui ont été mobilisés présentent des pentes moyennes à faibles, elles sont comprises entre 15 et 32°.

Les pentes les plus fortes sont uniquement localisées aux abords du glissement, c'est à dire qu'elles correspondent à l'escarpement principal du glissement de terrain. Elles sont comprises entre 34 et 38°.

Par le fait même de leur édification, le cône d'éboulis et la zone régulière (au SO du terril), présentent des valeurs de pente également moyennes à faibles : comprises respectivement entre 15 et 30°, avec une moyenne de 24°, et entre 18 et 32°, avec une moyenne de 27°.

Le glissement de terrain situé au sud du terril présente des pentes comprises entre 27 et 33°. Les pentes les plus fortes correspondent à la seule partie de l'escarpement principal encore visible à l'heure actuelle, à l'est du glissement, avec des valeurs comprises entre 35 et 38°.

La majorité des pentes fortes (> 33°) apparaissent clairement dans la zone caractérisée par la succession de crêtes et de ravines et aux escarpements de glissements de terrain. Les pentes qui peuvent atteindre des valeurs parfois supérieures à 40° (mais toujours inférieures à 42°), constituent les versants des ravines. Ces formes constituent donc les « zones sensibles » ou dangereuses.

F. La végétation

Le rôle que joue la végétation dans la stabilisation d'un versant de terril a déjà été mis en évidence par Frankart (1984) :

- les racines de la végétation stabilisent les versants qu'elles colonisent ;
- la couverture végétale diminue les phénomènes d'érosion par sa capacité à intercepter une partie des précipitations.

Les groupements végétaux, souvent pionniers, provoquent une stabilisation de la pente perceptible sur les versants par l'apparition d'une morphologie particulière : les " touffes " et les organes souterrains déterminent, en effet, une retenue du substrat au-dessus de chacune d'elles, tandis qu'en aval, le substrat continue à descendre. Ce phénomène donne ainsi à la pente, une morphologie en **forme "d'escalier"** (Frankart 1984).



Aujourd'hui, le terril de Bernalmont est totalement recouvert par un boisement de bouleaux verruqueux relativement dense. Grâce à son enracinement **traçant**, avec de nombreuses racines latérales étendues, il fixe le versant qu'il colonise, mais son action demeure relativement superficielle. De ce fait, lorsqu'il parvient à s'installer sur un versant affecté par le " creep ", il est déformé par la pression qu'exercent les éléments mobiles au niveau de son collet. Parallèlement, ce que les botanistes appellent le "**géotropisme**" redresse la tige : il résulte que les bouleaux verruqueux sont caractérisés par un collet et des racines coudés, qui font de lui un indicateur de la mobilité d'une pente.

Figure 11. Déformation du collet des bouleaux verruqueux et géotropisme

Les zones mobiles peuvent donc être déterminées indirectement par la présence de géotropisme. Un comparatif avec la carte des pentes permet de se rendre compte que ces zones coïncident avec celles de " forte pente " : l'escarpement principal du glissement NO, les versants des crêtes, le versant qui surplombe le cône d'éboulis. Seul l'escarpement principal du glissement au sud du terril ne présente pas d'arbres déformés. Ceci ne veut pas dire qu'il n'est pas soumis au creep, mais résulte de la présence de chênes qui ont un enracinement (pivotant) beaucoup plus profond que celui des bouleaux. La cartographie ci-dessous reprend les zones où du géotropisme a été observé ainsi que la zone la moins densément boisée du terril.

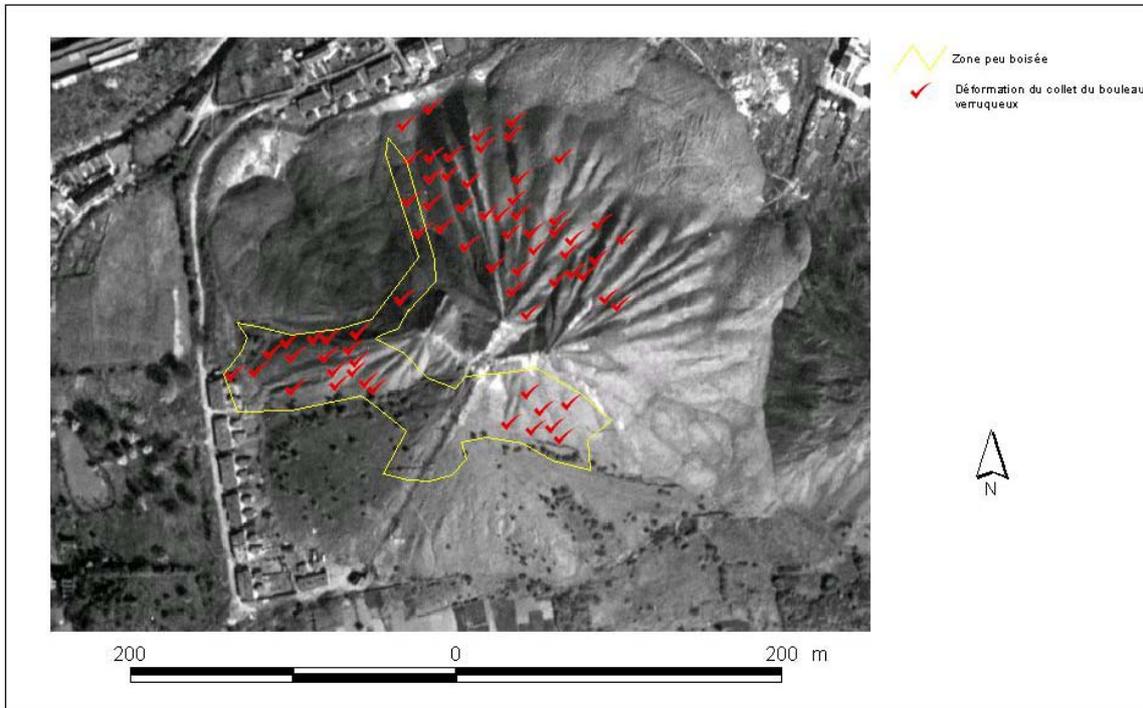


Figure 12. Localisation des bouleaux déformés

G. Le ruissellement



Les impacts du ruissellement ont pu être mis en évidence par des observations sur le terrain qui ont essentiellement eu lieu au cours de deux journées très pluvieuses : le 3 février 2001 (23,8 mm) et le 15 avril 2001 (24 mm). Elles avaient pour but de vérifier si le ruissellement s'opère suivant les ravines dues aux déversements, ainsi que d'évaluation son intensité et l'importance des éléments qu'elle mobilise.

Il ressort que le ruissellement ne suit pas le réseau de ravines de déversement. En effet, le terril présente une perméabilité élevée qui résulte de la grossièreté des éléments qui le constituent. La percolation de l'eau de pluie est très rapide et très importante ; le ruissellement y est faible. Cela veut dire que ce dernier ne peut se développer que sur des surfaces qui présentent des perméabilités plus faibles que les zones voisines.

Nos observations traduisent ce fait. Le ruissellement n'est observé que :

- le long de l'ancienne rampe de déversement où de nombreuses dalles de béton et de glissières ont subsistées ;
- le long du chemin qui est, sans cesse, compacté par le passage des promeneurs.

L'érosion se marque par la formation d'une **ravine de ruissellement** qui peut présenter une profondeur qui peut atteindre 1 m.

Le ruissellement prend en charge des éléments qu'il emmène vers le bas, ceux-ci créent des petits **cônes de déjection** au pied du terril. Une coupe à travers plusieurs de ces cônes de déjection, nous a permis de voir que les éléments qui ont été pris en charge, sont très fins. Ce phénomène provoque ainsi un appauvrissement en éléments fins du sommet au pied des ravines. La dimension restreinte des cônes, le plus grand fait environ 2 x 3 m sur une épaisseur d'un mètre, permet de nous rendre compte que l'érosion par ruissellement est faible sur le terril.

Ce fait résulte, en plus de la grande perméabilité du sol :

- de la présence d'une couverture végétale relativement dense ;
- du fait que les éléments qui forment les cônes proviennent surtout de l'incision du chemin et de la rampe, puisque les ravines sont toutes en inversion de relief ; l'apport en éléments par les versants est faible, même pour le tronçon de chemin qui passe au pied d'une petite partie de versant.

H. Les zones de combustion

Le phénomène de combustion, souvent spontané, peut affecter un terril partiellement ou entièrement. Il est lié à la présence dans les rejets de charbonnage de matériaux combustibles (charbon, hydrocarbures), et d'une grande quantité d'oxygène provenant de l'emprisonnement d'air lors de l'accumulation du terril ainsi que de la percolation rapide de l'eau dans le substrat liée à la structure grossière du dépôt. La réaction initiale est l'oxydation de la pyrite en présence d'oxygène. Cette réaction très exothermique permet le déclenchement d'autres réactions nécessitant une température de quelques centaines de degrés. La combustion finit ainsi par se transmettre à tous les résidus combustibles et donc à toute la masse du terril. Dès que la fraction combustible est brûlée, le phénomène s'arrête. Il est souvent contemporain de la formation des terrils et peut se prolonger pendant plus de 50 ans (Monjoie, 2000). Généralement, les températures sont comprises entre 25 et 60 °C dans les premiers décimètres du sol et passent progressivement à quelques centaines de degrés dans le foyer (de l'ordre de 250 °C à un mètre de profondeur).

Les risques liés à la combustion ne sont pas à négliger : l'accentuation de l'instabilité des pentes résultant du tassement et à l'évaporation des eaux de percolation facilitant la formation de glissements de terrain, les " nuées ardentes ", et le fait que la combustion peut être communiquée à partir de l'extérieur du terril, si celui-ci est suffisamment riche en charbon. Il est donc primordial d'en tenir compte au cours de l'évaluation des risques d'un terril et de les détecter.

Le phénomène de combustion peut se manifester de diverses façons à la surface du terril : zones d'où s'échappent la vapeur d'eau et des gaz sulfureux, présence de groupements végétaux adaptés à un microclimat plus chaud et humide, concrétions de sulfate de fer (croûte blanchâtre en surface), poudre jaunâtre, les débris de schistes et grès de coloration rouge brique, léger tassement du terril si les matières combustibles sont suffisamment importante par rapport à la masse totale.

Ces phénomènes de combustion apparaissent généralement sur les sommets des terrils. A cela il y a une double explication : l'alimentation en oxygène y est meilleure et la chaleur dégagée dans les parties profondes monte vers le sommet. Néanmoins, il existe des zones de combustion faiblement ou moyennement chaudes où il n'y a pas de dégagement de gaz, et où la chaleur se dégage du terril essentiellement par rayonnement infrarouge (Debehault, 1968 ; Frankart, 2000) déterminant de mettre au point une détection tenant compte de cette manifestation invisible.

La recherche de zones de combustion sur le terril de Bernalmont s'est déroulée en trois étapes :

- recherche de travaux déjà réalisés concernant la combustion du terril ;
- prospection sur le terrain afin de repérer les phénomènes les plus visibles : présence de zones d'où s'échappent des gaz, de concrétions, de schistes et de grès rouges et d'un développement anormal de la végétation ainsi que d'un groupement végétal particulier des zones en combustion ;
- levé des températures au sol sur la surface du terril.

En 1977, deux sondages ont été effectués par l'INIEX. Un rapport (1977) décrit ces derniers et indique que le terril de Bernalmont aurait été en combustion partielle équivalant à 10 % de sa masse. Le site de la DGATLP relève aujourd'hui de la présence d'une zone de combustion. Par contre, un autre rapport effectué par l'INIEX en 1978 par le même institut relate également ces sondages. Mais les conclusions sont différentes. Ici, le terril de Bernalmont n'est affecté par aucune combustion. Finalement, un rapport de 1982, ne relate aucune combustion concernant le terril. Pour vérifier ces travaux, quasiment toute la surface du terril de Bernalmont a été prospectée dans le courant de l'année 2001 afin de déceler toute trace passée ou actuel d'une combustion, notre attention s'étant plus particulièrement focalisée sur son sommet. Au cours de cette prospection systématique, aucune des manifestations superficielles d'une combustion n'a été observée.

Pour valider ces observations et tenir compte d'éventuelles manifestations non visibles de combustion, un levé des températures au sol a été réalisé. Il s'est effectué en deux étapes :

- sondage ponctuel systématique de points mesurés à l'aide d'un thermomètre **IR-H2 de Sensycon** ;
- traitement des points relevés afin de réaliser une thermographie de la zone.

Le sondage s'est réalisé entre 4h AM et 6h AM le 03-03-2001, afin que le thermomètre utilisé n'indique que la chaleur émise par le sol en rayonnement infrarouge. C'est en effet, le moment de la journée où le rayonnement solaire global est très faible voir nul. Les résultats ont ensuite été cartographiés. La température moyenne au sol du terril était comprise entre -2 et 0 °C. Cette variation peut être imputée à la différence d'exposition au rayonnement solaire du jour précédant des différentes parties du terril. Des noyaux de chaleur plus élevée (entre + 2 et + 5 °C) sont apparus, d'une part au nord et au sud de l'axe constituant la séparation des deux terrils, et d'autre part au nord du terril. Dans chacune de ces zones, nous avons observé des sources qui dans des dépôts poreux, sont nécessairement entourées d'une zone plus humide. Le coefficient de chaleur spécifique de l'eau, nettement supérieur à celui des roches sèches, explique donc la lenteur relative du refroidissement du sol dans les endroits humides.

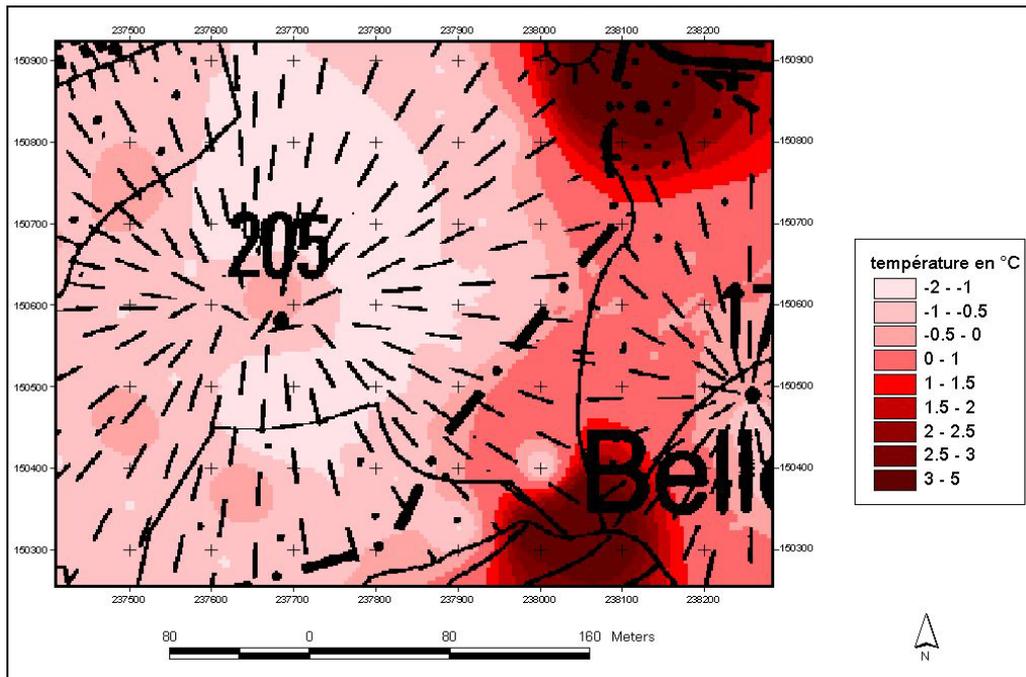


Figure 13. Thermographie du terril de Bernalmont le 3 mars 2001

Les observations effectuées par l'INIEX indiquaient la possibilité de la présence dans le terril de Bernalmont d'un faible foyer de combustion en 1977, en 1978 mais éteint en 1982. Toutes les observations que nous avons faites en 2000-2001 convergent pour indiquer qu'il n'existe pas de foyer de combustion. S'il y avait combustion en 1977, on comprend mal qu'il n'existe aucune trace visible et invisible de cette activité dont l'extinction est apparemment survenue avant 1982. Par contre, cette thermographie nous a permis de délimiter les zones humides qui entourent les sources. La présence de celles-ci témoigne qu'une certaine quantité d'eau est présente à la base du terril. L'écoulement des eaux ne s'interrompt pas au cours de l'année. Il résulte de la compaction engendrée par le terril sur les dépôts de la terrasse.

I. Enquête auprès des habitants voisins du terril

Le but de l'enquête est d'essayer d'établir, à travers les témoignages recueillis au sein de la population voisine du terril de Bernalmont, la répartition et la nature des incommodités imputables, directement ou indirectement à celui-ci. Leur analyse permet ainsi de se rendre compte de conséquences qui ne sont pas perceptibles directement sur le terrain.

La population ciblée réside dans les rues ceinturant les deux terrils, ce qui constitue un avantage dans la mesure où l'on peut disposer d'informations bien réparties.

- Pour le terril du Bernalmont : la rue Jolivet située au pied du versant ouest, la rue Joseph-Truffault au pied du versant sud, la rue des Petites Roches qui prolonge la rue Jolivet, la rue Bois l'Evêque au pied du versant sud.
- Pour le terril de Belle-Vue, la rue Pied des Vignes située au pied du versant sud-est, la rue des Renards, la rue de la Hufnale, la rue Champs des Oiseaux et la rue des Vignes situées au nord-est du terril.

Des réponses ont ainsi été obtenues pour 50 habitations réparties de la manière la plus homogène possible. Le questionnaire a été diffusé directement auprès des ménages. Il comporte trois questions.

1. Dans votre voisinage, avez-vous entendu quelqu'un se plaindre d'une (d') incommodité(s) quelconque(s) imputable(s) aux terrils ou aux mines ? Si oui, quand, pendant combien de temps et laquelle (lesquelles) ?
2. Le terril de Bernalmont ou de Belle-Vue vous pose-t-il, ou vous a-t-il posé, une (des) incommodité (s) ? Si oui quand, pendant combien de temps et laquelle (lesquels) ?
3. Avez-vous déjà souffert (ou souffrez-vous) de dégâts miniers ? Si oui, quand, pendant combien de temps et lesquels ?

Les incommodités citées par les habitants ont été regroupées dans le tableau suivant en fonction de leur nature :

Tableau 4. Inventaire des incommodités citées

Groupe	Incommodité
1. Glissement de terrain	Clôture ou haie qui s'incline ou s'effondre
	Murs qui se fissurent ou s'effondrent
2. Eboulis	Blocs de roche
3. Dégâts miniers	Formation de cavités
4. Dégâts aux habitations	Fissuration des murs de la maison
	Basculement de la maison
5. Incommodités liées à l'eau	Ruissellement d'eau élevé
	Humidité élevée
	Suintement d'eau (Inondation)

La nature des incommodités est variée et les conséquences sont parfois multiples et très importante en terme de dégâts.

Tableau 5. Part de chaque groupe sur l'ensemble des incommodités

Groupe	%
1. Glissement de terrain	26
2. Eboulis	4
3. Dégâts miniers	13
4. Dégâts aux habitations	35
5. Incommodités liées à l'eau	22

Le tableau ci-dessus révèle que les habitants se plaignent en majeure partie de dégâts aux habitations et de glissement de terrain. Dans ce dernier groupe, c'est surtout des fissurations des parois des maisons dont il est question : fissuration : 80 % ; basculement de la maison : 20 %, suivent ensuite, les incommodités liées à l'eau et aux dégâts miniers.

Pour ce qui concerne, la répartition spatiale des incommodités, il apparaît que dans les rues entourant le terril de Belle-Vue, aucune personne ne se plaint d'un problème quelconque.

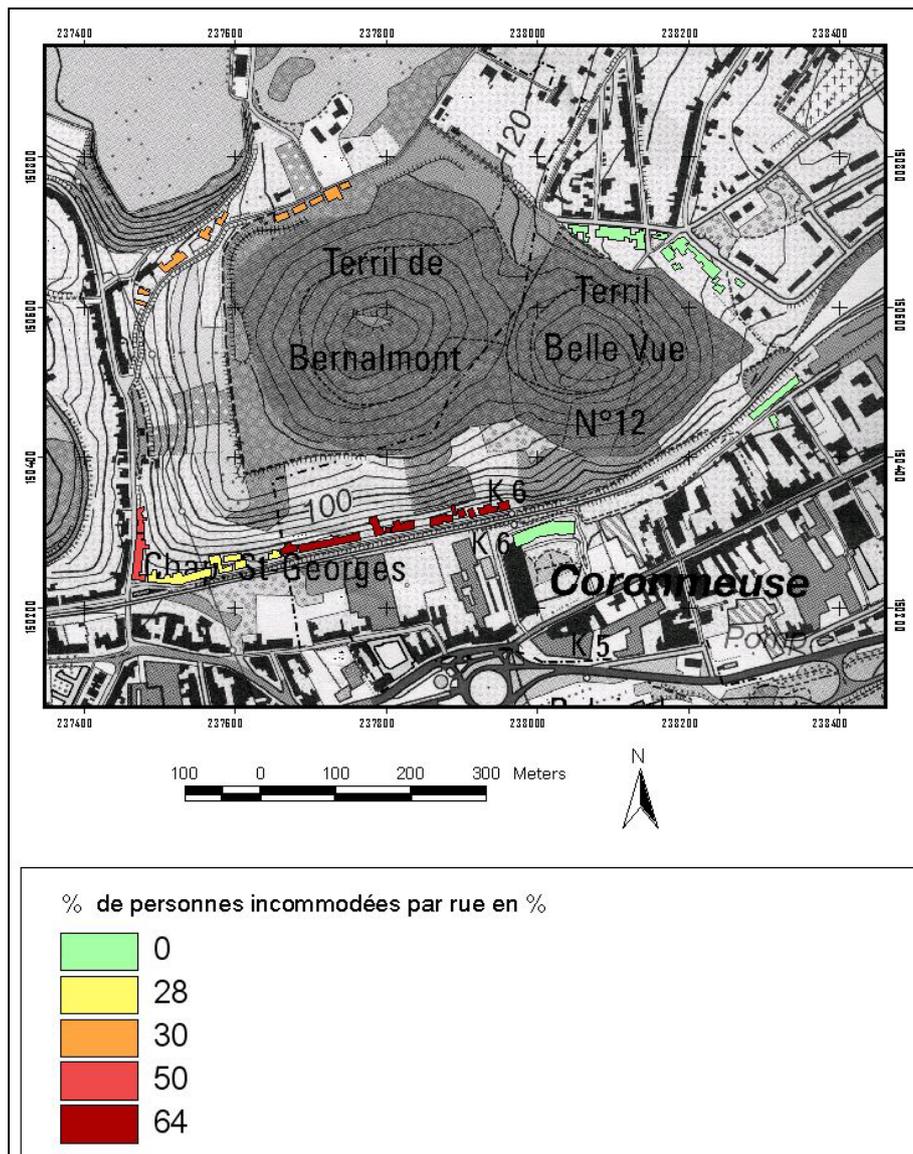


Figure 14. Pourcentage des personnes incommodées par rue

Par contre, c'est totalement différent pour les rues entourant le terril de Bernalmont :

- La rue des Petites Roches obtient 30 %. L'incommodité y est donc moyenne et résulte en majeure partie d'un suintement d'eau nauséabonde coulant continuellement sur la route et incommodant certains ménages de la rue. Les ménages incommodés par son influence apparaissent clairement sur la carte. Il a visiblement été provoqué par la rupture apparue en mars 2001 d'après certaines personnes, il y a des années pour d'autres, d'un égout qui passe à quelques mètres à peine du versant nord-ouest du terril de Bernalmont.
- La rue Joseph-Truffaut obtient 37 %. Mais dans cette rue, les ménages se plaignent surtout de fissures de petites tailles affectant leur maison.
- La rue Jolivet obtient 50%. Les habitants de cette rue se plaignent de fissures qui se créent sur les parois de leur maison et surtout de cavités qui se créent dans leur jardin. C'est le seul endroit où ce phénomène est relaté. Les cavités sont de petites dimensions, peu nombreuses, et ne provoquent pas de dégâts importants.
- Finalement, la rue Bois l'Evêque est la rue qui enregistre le plus grand nombre d'incommodés : 79 %. De plus, quasiment chacun des ménages de cette rue se plaint de plusieurs incommodités. Ainsi, bien que les autres rues enregistrent des

pourcentages moyens, c'est dans cette rue que se regroupent la majorité des incommodités. Elles sont variées, mais les glissements de terrain ainsi que les fissures affectant les murs des maisons sont prédominants. Les ménages nous ont dit que la majorité de ces glissements sont assez lents et s'apparentent donc davantage à du creep. Pour lutter contre ceux-ci, certains habitants ont ainsi construit des murs perpendiculairement à la pente du versant afin de freiner les mouvements de terrain, d'autres rajoutent de la terre dans leur jardin pour compenser les pertes ! Mais ces personnes nous ont révélés que pour être efficaces, leurs efforts doivent être fournis constamment : les murs se fissures et finissent par s'effondrer, la terre descend rapidement vers le pied du versant y formant de petits monticules. D'autre part, on note aussi que deux personnes souffrent d'un basculement de leur maison dans le sens opposé au versant. Le phénomène est continu et ne cesse de s'aggraver. Il existerait depuis plus de 20 à 30 ans. Soulignons également que le revêtement de cette rue est en très mauvais état, bien que celui-ci soit rénové assez régulièrement. Il est important de souligner, que les ménages de la rue qui ne sont pas incommodés se situent au pied des zones densément boisées du versant. Montrant toute l'importance de l'action de la végétation sur la régulation des écoulements d'eau et de leur capacité, grâce à leur racine profonde de fixer la terre.

Ces considérations montrent que les incommodités sont regroupées dans la rue au pied de la partie du versant la plus raide de la terrasse surplombée par le terril. Les agents de transports en masse se produisant essentiellement là où la présence d'eau est omniprésente, peut supposer que le tassement de l'assiette du terrain par le terril peut jouer un rôle dans l'accentuation de la saturation des terrains à proximité et donc sur ces incommodités.



Figure 15. Habitations et jardins dans la rue Bois l'Evêque et fissures qui apparaissent dans la rue Bois l'Evêque

V. CONCLUSION

La morphologie du terril de Bernalmont a d'abord résulté des techniques de déversement ; l'érosion par ruissellement a toujours été faible. Pendant son édification et par après, il a été affecté par de nombreux agents de transport en masse, de plus au moins grande envergure, qui ont modifié sa forme originelle.

A l'heure actuelle, les zones qui peuvent être qualifiées de " sensibles " sont :

- celles qui présentent de fortes pentes, où la végétation est faible et où l'humidité est élevée, elles sont également caractérisées de mobiles en raison du creep observé ;
- la base du terril où une nouvelle mobilisation des matériaux ne peut être totalement écartée : les endroits saturés reposant sur des matériaux meubles ;
- le versant sud de la terrasse.

L'enquête auprès des habitants situés à proximité du terril a permis de révéler que ces derniers peuvent être incommodés directement ou indirectement par le terril et que le terril peut avoir des influences sur des terrains situés à plusieurs centaines de mètres de lui.

En se basant sur ces constatations, nous pouvons qualifier de :

- Zones très " sensibles " : pentes supérieures à 33° , faible couvert végétal et "mobiles", c'est à dire les parties ou les versants qui sont susceptibles d'être affectés par des agents de transport en masse de relativement grande envergure. Comme nous l'avons dit l'humidité ne sera prise en compte que là où elle est connue, c'est à dire aux abords du terril, les zones " humides ".
- Zones moyennement " sensibles " : petites surfaces, pentes supérieures à 33° , couvert végétal relativement dense : elles sont susceptibles d'être affectées par des mouvements très localisés.
- Zones faiblement " sensibles " : les autres zones, dont nous ne pouvons écarter totalement la mobilisation des matériaux, qui pourrait par exemple, être causée par à un rejet latéral.

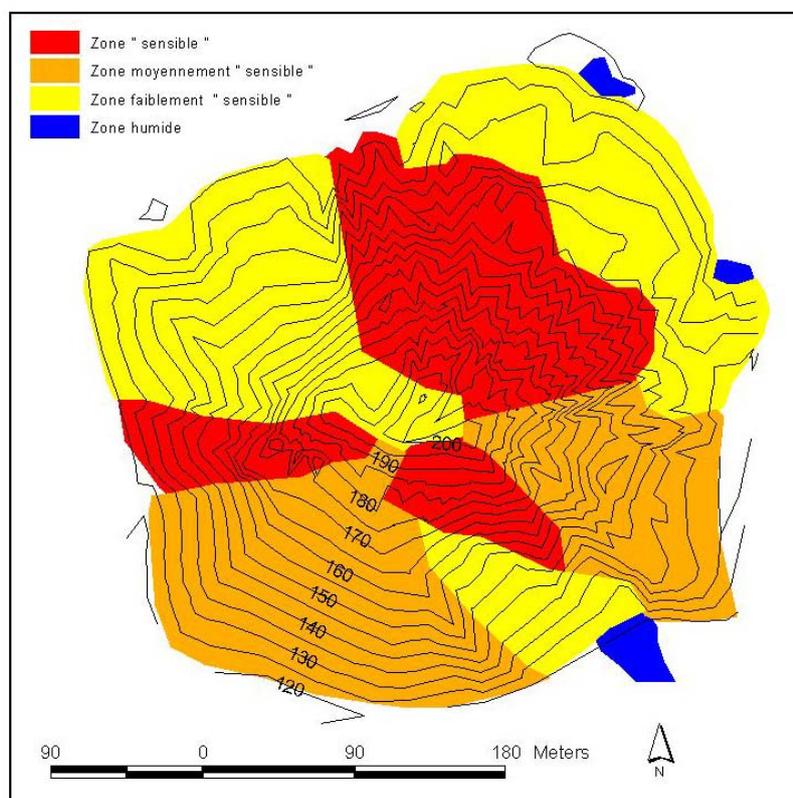


Figure 16. Cartographie des zones sensibles sur le terril de Bernalmont

Cependant, nous n'avons pas pu établir un périmètre de sécurité précis aux abords du terril en raison de l'impossibilité de prévoir avec précision l'ampleur d'une mobilisation des matériaux dans une direction bien précise. Ce fait, nous permet ainsi de mieux comprendre toutes les difficultés que rencontrent la Région wallonne et les communaux pour garantir la sécurité des habitations voisines des terrils.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- ADMINISTRATION DES MINES 1984. *Terrils et sites charbonniers de la région liégeoise. Situation 1978*, non publié, 150 p.
- ANTOINE J. & DUTRIEUX D., 1986. *Terrils. Belle Vue – Bernalmont – La Préalles*, non publié, 6 p.
- ARAUJO BONATTO J., BRASSINE B., CLOSKIN P., EK C., PETIT F. & ROSEN E., 1999. Paramètres hydrologiques et physico-chimiques de sources de Haute Belgique : ébauche d'une typologie régionale, *Bulletin de la Société géographique de Liège. Hommage au Professeur Camille Ek*, n° 37, 1999/2, pp. 47-61
- ARC, 1995. *Etude de projet pour la réhabilitation et la valorisation des terrils " La Préalles " " Belle-Vue " et " Bernalmont "*. Liège et Herstal. non publié, 40 p.
- ARNOULD R. 1997b. *Topographie : instruments et méthodes*, 1e édition. Liège : Laboratoire Surface. Université de Liège. 199 p.
- BARBIER Y. & RASMONT P., 2000. La faune des terrains industriels charbonniers, *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, Vol. 69, 5, pp. 289-307
- BOUCHAT A., 1984. *Les premiers stades de la colonisation végétale des terrils de charbonnages dans la région carolorégienne : phytodynamique, biologie et écologie des populations, phytosociologie*, Thèse de Doctorat en Sciences botaniques, ULB, 460 p.
- CAJOT O., CALEMBERT L., DARIMONT A., FAGNOUL A., MONJOIE A., POLO CHIAPOLINI CL. & SCHROEDER CH., 1975. *Carte Géotechnique. 42.2.7 Liège, 1/5.000*. Liège : Institut Géotechnique de l'Etat, 87 p. + 1 planches h.t.
- CALEMBERT L., LAMBRECHT L. & MONJOIE A., 1974. Cinquante sondages dans le secteur nord de la ville de Liège. Rive gauche de la Meuse. *Service Géologique de Belgique, Professional Paper*, n° 9, Bruxelles, 88 p. + 2 planches h.t.
- CLOSKIN P., 1991. *Variation des paramètres hydrologiques et physico-chimiques de sources se différenciant par la lithologie de leur bassin d'alimentation. Condroz et Condroz ardennais au sud de Liège*, Mémoire de Licence en Science géographique, Université de Liège, 128 p.
- CORNET Y. 2000. *Géomatique appliquée : utilisation d'outils professionnels*, Géomatique appliquée, Université de Liège, inédit.
- DEBEHAULT C., 1968. Les terrils de charbonnage du Borinage. Etude de géographie régionale. *Revue belge de Géographie*, n° 92, pp. 9-122
- DEBEHAULT C., 1969. La végétation particulière des zones en combustion des terrils de charbonnage, *Les Naturalistes belges*, 50 (4), pp.177-193
- DELNOY M., 2000. *Le Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine*, 4^e édition. Liège : Editions de la chambre de commerce et d'Industrie s.a., 234 p.
- DONNAY J-P., 1997. *Traitement d'images numériques en télédétection*, note de cours. Université de Liège, Département de Géomatique, inédit.
- FRANKART P., 1984. *Flore, végétation et écologie des terrils charbonniers de la région liégeoise*, Mémoire de Licence en Sciences botaniques, Université de Liège, 190 p. (inédit).
- FRANKART P., 2000. Aperçu de la flore et de la végétation des terrils de la région liégeoise, *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, Vol. 69, 5, pp. 265-287
- FRANSSEN W., 1990. *Tèris*, non publié, pp. 4, 61.

- FRANSSSEN W., 1996. *Notes concernant le site de Bernalmont*, non publié, 5 p.
- GILES P.T. & FRANKLIN S.E., 1998. An automated approach to the classification of the slopes units using digital data, *Geomorphology*, 21, pp. 251-264
- GHIO C., 1975. Observations sur la végétation des terrils de charbonnages dans la région du Borinage, *Nat. belges*, 56, pp. 350-425
- HASQUIN H., 1975. *La Wallonie. Le Pays et les Hommes. Tome 1, des origines à 1830*. 2^e édition revue et corrigée. Belgique : La Renaissance du Livre, pp. 129-130
- HUGHES R., NEF J.L. & PRIGNON J.C., 1993. *Le terril Saint Antoine*. Mons : Edition Centre d'écologie appliquée du Hainaut, 25 p.
- I.N.I.EX, 1978. *Prospection et échantillonnage des terrils. Terril : Bernalmont à Herstal et Vottem, site charbonnier n° 61*, non publié, 7 p. + 1 carte h.t.
- JUVIGNE E. & RENARD F., 1992. Les terrasses de la Meuse de Liège à Maastricht. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, T. 115, pp. 167-186
- LEDENT P., 1993. *Méthode pour la télédétection satellitaire des terrils. Expérimentation sur la région liégeoise*, Mémoire de Licence en Sciences géographiques, Université de Liège, 162 p. (inédit).
- MACAR P., 1938. Compte rendu de l'excursion du 24 avril 1938 consacrée à l'étude des terrasses de la Meuse entre Liège et Ubagsberg. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, T. 61, pp. B 187-217
- MAISNIL E. & SIMONS-RENSONNET M., 1990. Les terrils du Borinage. *Terrils*. Actes du colloque de Liévin les 16 & 17 octobre 1990, pp. 33-40
- MAISON BEER, 1966. *Calcul approximatif du volume d'un terril conique*, non publié, Jemeppe, 3 p.
- MERENNE-SCHOUMACKER B., 1978. Le problème des sites désaffectés dans les régions de vieille industrialisation. Le cas de la Wallonie, *GEO*, n°4, 2, pp. 29-40
- MONJOIE A., 2000. Le cycle de l'eau et les modifications de l'écoulement en surface et en profondeur suite aux travaux miniers, *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, Vol. 69, 5, pp. 251-264
- PISSART A., 1983. *Les agents de transport en masse*, notes de cours, Université de Liège, Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du quaternaire, inédit, 44 p.
- RENARD F., 1980. *Etude des terrasses de la Meuse liégeoise entre Cointe et Lixhe. Leurs raccords avec les terrasses en amont et en aval*, Mémoire de Licence en Sciences géographiques, Université de Liège, 202 p. (inédit).
- RONDEUX, 1998. *Forêts et Gestion des écosystèmes forestiers*, notes de cours, Gembloux, Eaux et forêts, inédit.
- SAVOIE G., 2000. *Cartographie minière en Wallonie. Précision des plans de surface*, Mémoire de Licence en Sciences géographiques, Université de Liège, 83 p. (inédit).
- SELBY M.J., 1970. *Slope and slope processes*, n° 1 of the Waikato branch of the New Zealand Geogr. Society, 59 p.
- SERET 1986. *Rapport d'expertise. Projet de valorisation des terrils de Bernalmont, Belle Vue et La Préalles*. non publié, 6 p.
- SHARPE C.F.S., 1938. *Landslide and related phenomena*, Columbia Univ. Press, New York, 137 p.
- SIR 1985. *Problèmes environnementaux aux abords des terrils. Brève synthèse de quelques études portant sur la composition chimique des terrils et sur l'impact qu'ils ont sur la nappe phréatique*. non publié, 12 p.
- TIMMERMANS J., 1968. *Glissements et éboulements de terrain*, Mémoire de Licence en Sciences géographiques, Université de Liège, 196 p. (inédit).

Contact
COREXENOS Pavlos
Maître assistant
Haute Ecole Galilée
0498/42.52.64