

LES RISQUES NATURELS EN RÉGION WALLONNE

R. Michel et F. Van Dijck

Direction générale opérationnelle de l'Aménagement du Territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Energie (DGO4) - Cellule «Aménagement-Environnement»

Résumé

En Région wallonne, il existe quatre principaux types de risques naturels ayant un impact sur la politique de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme. Entre 1994 et 2008, les aléas naturels ont été évalués et cartographiés sur base des contraintes (géo)techniques qu'ils peuvent engendrer. Ces contraintes sont susceptibles d'entraîner des surcoûts, que doivent alors supporter les promoteurs immobiliers ou les simples demandeurs de permis (lotissement, urbanisme, environnement) en cas d'actes et travaux réalisés dans des zones identifiées comme présentant un risque majeur. Dans certains cas, la présence des aléas naturels entraîne des contraintes administratives importantes liées à l'abandon de la mise en œuvre et à la relocalisation d'un projet de zone destinée à l'urbanisation aux plans d'aménagement (plan de secteur, plan communal d'aménagement). L'objectif de cet article est de faire une synthèse du travail déjà accompli grâce à l'étroite collaboration entre notre administration (DGATLPE) et les universités (principalement l'Université de Liège et la Faculté polytechnique de Mons), mais aussi avec une asbl (CWEPESS) défendant la protection du patrimoine naturel souterrain.

Mots-clés

Risque naturel, aménagement du territoire, législation, Région wallonne

Abstract

In the Walloon Region of Belgium, there are four major natural risks with an impact on land and city planning policy. Between 1994 and 2008, analysis and mapping of the natural hazards aimed at define the resulting (geo) technical constraints for land use planning. These constraints can induce additional costs, supported by the real estate developers or individual owners wanting to build or asking for environmental permits within areas defined as hazardous. In some cases, the natural hazard maps also compel to withdraw or relocate projects previously situated in urbanization zones (defined by local or regional urbanization land use planning) which are now demonstrated to superpose with hazardous areas. This article synthesizes the results of collaborations between the General Directorate for Physical Planning, Housing Heritage and Energy of the Public Service of Wallonia and various university departments (Geography, Architecture, Engineering and Geology), but also with an association working for the protection of the underground natural heritage.

Keywords

Natural risk, land planning, legislation, Walloon Region

1. INTRODUCTION

En 1997, la Région wallonne a intégré la gestion des risques naturels dans sa politique d'aménagement du territoire et d'urbanisme (CWATUP), axant ainsi ses priorités sur la prévention. Encore fallait-il que les différents aléas auxquels devait répondre la réalisation des cartes de risques soient inventoriés et cartographiés sur base des connaissances existant à cette époque (géologie, pédologie, hydrogéologie, hydrographie, occupation réelle du sol, etc). C'est pourquoi la Direction Générale Opérationnelle de l'Aménagement du Territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Energie (DGATLPE ou DGO4) s'est lancée dans un vaste programme d'études grâce à la collaboration scientifique de plusieurs équipes universitaires, dont celle dirigée par le Professeur André Ozer, visant la localisation, la description et la délimitation des aléas naturels existant

sur le territoire de la Région wallonne. Cette initiative avait été précédée d'une étude «pilote» sur le territoire de la commune de Sprimont (Closson *et al.*, 1995).

Au fur et à mesure de l'avancement de ces études, il est très vite apparu qu'on pouvait lutter efficacement, et à relativement peu de frais, contre certains risques naturels. Toutefois, une vision à long terme de l'aménagement du territoire doit encore pouvoir autoriser, quand cela est possible, l'implantation de nouvelles activités dans certaines zones à risque, tout en veillant à assurer une protection adéquate des biens, des personnes et de l'environnement.

Quatre aléas majeurs en Wallonie seront analysés ci-dessous, respectivement liés aux inondations, aux éboulements, aux glissements de terrain et aux effondrements karstiques. Bien qu'il ne soit pas négligeable en Wallonie, l'aléa sismique est actuellement moins bien défini et ne sera pas exposé dans cet article. Par

ailleurs, il y aurait lieu de s'interroger sur l'impact des argiles gonflantes (en dehors de celles du Pays de Herve), voire des tourbes qui constituent à elles seules des contraintes géotechniques majeures pour l'habitat.

2. LES INONDATIONS

2.1. Les communes régulièrement sinistrées

En Wallonie, plus de 60 % des communes ont subi au moins 4 inondations entraînant des dégâts aux habitations depuis 1967, suite à des pluies abondantes de longue durée ou de forte intensité. La période de retour d'un sinistre peut y être dès lors évaluée à 10 ans. Par ailleurs, près de 15 % des communes wallonnes ont été inondées au moins 7 fois durant cette même période, ce qui correspond à un sinistre tous les 6 ans.

Entre 1967 et 2008, la Wallonie a été touchée par 7 événements majeurs reconnus en tant que calamité publique au *Moniteur Belge* et couvrant plus du tiers de son territoire. L'un d'entre eux a touché 235 des 262 communes wallonnes. La carte de la figure 1 montre les parties du territoire wallon qui ont été le plus régulièrement touchées par les inondations. Ainsi, on constate que les communes situées dans les vallées de la Meuse et de l'Ourthe jusqu'à la tête de leur bassin versant, ainsi que dans le bassin de l'Escaut sont les plus souvent concernées. Cette carte pourrait dès lors servir de document de base pour fixer des priorités en matière de

politique de prévention des inondations sous l'angle de l'aménagement du territoire.

Par ailleurs, des communes proches, voire limitrophes, qui présentent des caractéristiques géomorphologiques, démographiques (densité de population) et urbanistiques (répartition de l'habitat, des activités et infrastructures) comparables présentent un comportement différent au regard de l'impact subi ou de leur réaction par rapport aux mêmes événements climatiques. Cette constatation est générale, elle peut être faite aussi bien dans les provinces du Hainaut, de Liège, du Brabant wallon que du Luxembourg et reste la même vis-à-vis de diverses variables (affectations légales du sol aux plans de secteur, occupation réelle du sol, densité de population) (fig. 2 et 3).

Même si, au vu du nombre d'événements observés, il est statistiquement logique de constater de tels écarts, il semble malgré tout peu probable qu'ils résultent uniquement de causes liées au milieu physique. Parmi d'autres causes potentielles de ces disparités, on pourrait citer les politiques sociales, la connaissance de la législation, la diffusion ou l'accès à l'information dans les communes concernées, voire le fatalisme de la population sinistrée. L'analyse du nombre de déclarations par sinistre introduites au Fonds des Calamités ou auprès des assureurs et du contenu de celles-ci pourrait permettre, à notre avis, d'identifier les causes des disparités observées au niveau des communes et, dès lors, de mieux cibler les mesures de prévention, de for-

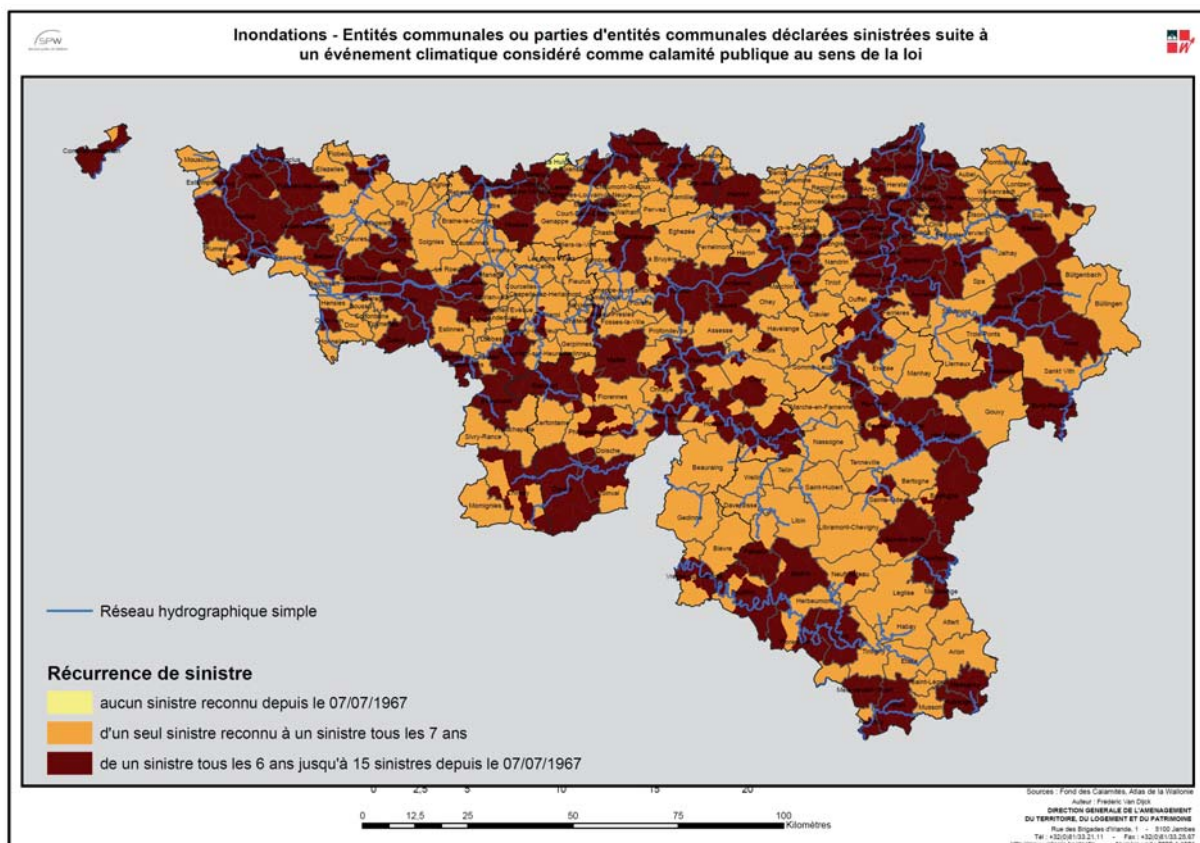


Figure 1. Communes wallonnes les plus régulièrement touchées par les inondations.

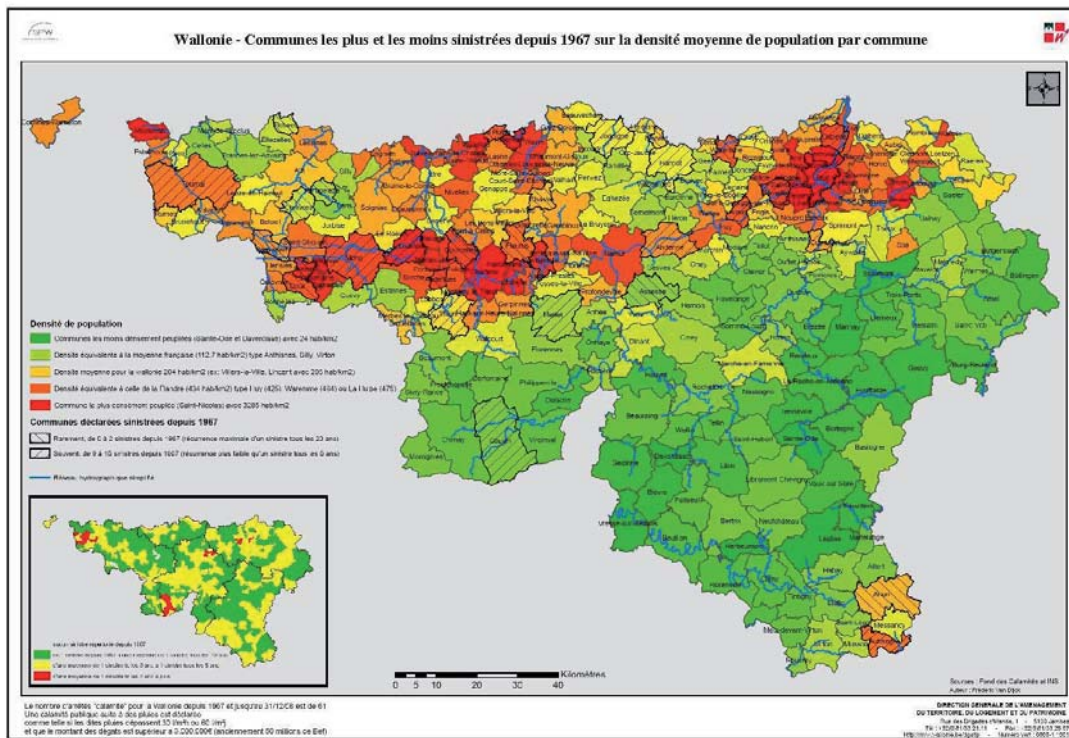


Figure 2. Communes les plus et les moins sinistrées depuis 1967 par rapport à la densité moyenne de la population par commune.

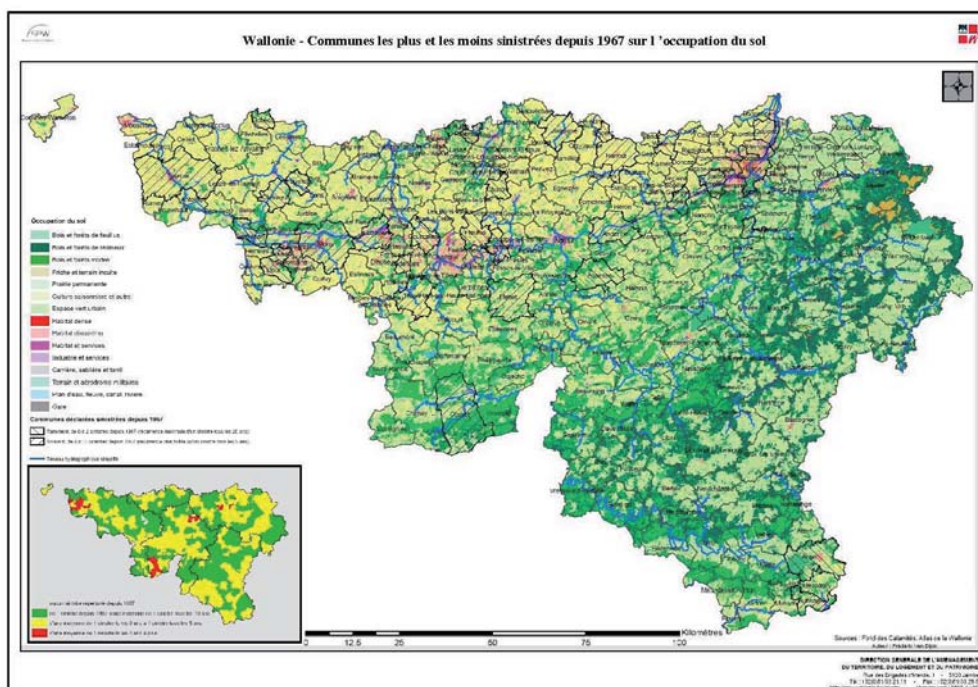


Figure 3. Communes les plus et les moins sinistrées depuis 1967 par rapport à l'occupation du sol.

mation et d'information à mettre en œuvre à l'échelle communale. D'autre part, bien que les données précitées ne permettent pas de conclure que les événements caractérisés par des pluies de forte intensité ont tendance à se multiplier ces dernières années, en l'absence de statistiques et d'interprétation de l'Institut Royal Mé-

téorologique de Belgique pour la période considérée, il y a néanmoins lieu de constater que les événements pluvieux considérés comme calamiteux sont assez fréquents (IRM, 2001; Brouyaux *et al.*, 2004). Au total, 61 événements de type inondation reconnus comme calamiteux ont été répertoriés en Wallonie de-

puis 1967. Ils concernaient en moyenne une dizaine de communes. Alors que ces événements ne sont légalement reconnus comme calamités que lorsque le critère du Fonds des Calamités relatif au montant minimum des dégâts (1250 k€) est atteint, on constate parfois que des événements météorologiques importants, à l'échelle communale, ne sont pas reconnus comme calamité naturelle au sens de la loi, bien qu'ils soient localement exceptionnels en ce qui concerne le volume des précipitations relevé au mètre carré. En effet, des pluies dépassant 100 litres/m² peuvent se produire très localement (à l'échelle d'une commune ou d'une ancienne entité communale), sans qu'elles soient répertoriées par l'IRM. Pourtant de telles pluies peuvent parfois engendrer des dégâts importants, mais ne dépassant pas le montant minimum susvisé.

On constate par ailleurs que durant cette période, les records de précipitations mensuelles furent régulièrement battus de janvier à avril et d'août à décembre, soit les deux périodes pendant lesquelles le couvert végétal est le plus faible. Ces périodes sont particulièrement critiques vis-à-vis des inondations, même pour des pluies considérées comme «non catastrophiques», lorsqu'une partie importante du bassin versant est localisée en

zone agricole à dominante culturale, comme c'est souvent le cas au nord du Sillon Sambre et Meuse (Van Dijk, 2006a).

2.2. Le Plan PLUIES: méthodologie de détermination des périmètres d'aléa 'inondation par débordement de cours d'eau'

Le **Plan PLUIES**, (Plan de Lutte contre les Inondations et leurs Effets sur les Sinistrés) adopté par le Gouvernement wallon le 24 avril 2003, poursuit 5 objectifs au moyen de 30 actions. Les 5 objectifs sont:

- l'amélioration de la connaissance du risque «inondations»
- la diminution et le ralentissement du ruissellement des eaux sur les bassins versants
- l'aménagement des lits des rivières et des plaines alluviales (tout en respectant et en favorisant les habitats naturels, gage de stabilité)
- la diminution de la vulnérabilité à l'inondation en zones inondables
- l'amélioration de la gestion de crise en cas d'inondation.

La réalisation de la cartographie des zones d'inonda-

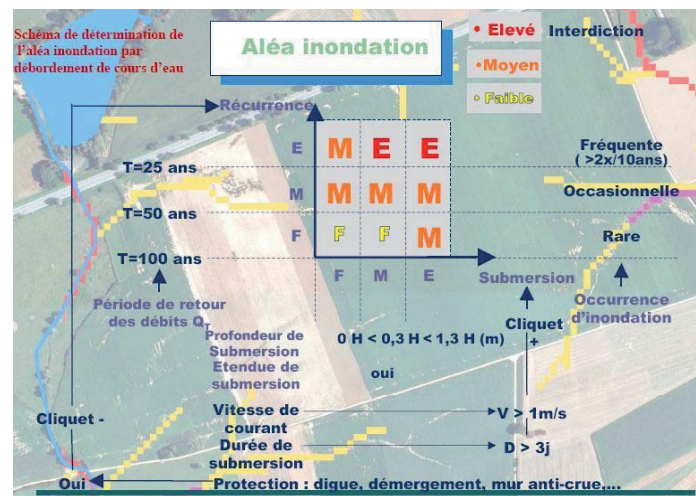


Figure 4. Schéma de détermination de l'aléa 'inondation par débordement de cours d'eau' tel qu'adopté par le Gouvernement wallon (GTI, 2006).

tion constituait l'action «Développement territorial n° 1» du Plan PLUIES (GTI, 2006). Elle avait pour objectif d'identifier les zones d'inondation sur l'ensemble du territoire wallon en valorisant les travaux ou études déjà réalisés (levés topographiques des lits mineurs et majeurs de cours d'eau, détermination de zones inondées lors de crues,...). Pratiquement, deux cartes distinctes devaient être produites:

- la carte d'aléa 'inondation par débordement de cours d'eau
- la carte du risque de dommages dus aux inondations.

Le plan PLUIES sera prochainement amendé en vue de se conformer d'ici 2015 aux exigences de la Directive

«Inondations» (2007/60).

2.2.1. La carte d'aléa 'inondation'

Cette carte reprend les périmètres sur lesquels des inondations sont susceptibles de se produire, de façon plus ou moins étendue et fréquente, pour cause de débordement de cours d'eau. Elle repose sur les deux notions suivantes: la récurrence et la submersion d'une inondation.

La récurrence

La récurrence d'une inondation est caractérisée par la période de retour de débits de crue (Eaufrance, 2008),

ce qui implique des calculs statistiques sur une série historique de débits ou sur une série synthétique reconstituée à partir de mesures de précipitations via un modèle hydrologique intégré. En cas d'indisponibilité de données nécessaires aux calculs statistiques, la récurrence peut être définie par l'évaluation, sur base d'observations et d'enquêtes de terrain, de l'occurrence d'inondation. (GTI, 2006).

Par ailleurs, on peut distinguer le débit de crue utile du débit de crue intolérable (Eaufrance, 2008). En effet, le débit représentatif des crues indispensables à la vie du cours d'eau, ne causant pas nécessairement d'effets intolérables, notamment, vis-à-vis des zones urbanisées, sera qualifié de débit de crue utile car ces «petites crues» jouent un rôle fondamental dans la dynamique et la régénération des milieux naturels ou semi-naturels du lit majeur. De plus, la signification du débit de crue d'une rivière est différente suivant la classe de cours d'eau, car elle dépend des caractéristiques géographiques de chaque vallée. Ainsi, le débit de crue intolérable de la Dyle ne sera pas le même que celui de la Meuse ou de la Lesse, d'autant plus que, sur certains cours d'eau, l'homme a installé des systèmes calibrés pour limiter au moins les effets des crues que l'on qualifierait de normales au sens commun. De ce fait, le débit de crue intolérable n'a pas été défini légalement, ni même d'ailleurs techniquement, tant les paramètres sociologiques peuvent influencer sa définition. Celle-ci relève donc, à l'heure actuelle, de l'appréciation de chaque état.

Trois catégories de récurrence ont été utilisées: les inondations rares, les inondations occasionnelles et les inondations fréquentes. Les limites entre catégories correspondent respectivement à des périodes de retour de débits de crue de 50 ans, limite entre les inondations rares et occasionnelles, et de 25 ans, limite entre les inondations occasionnelles et fréquentes.

La submersion

La submersion d'une inondation est caractérisée principalement par son étendue et sa profondeur. Trois catégories de submersion ont été utilisées: la submersion faible, dont la profondeur est inférieure à 0,3 m, la submersion moyenne, dont la profondeur se situe entre 0,3 et 1,3 m, et la submersion élevée, dont la profondeur dépasse 1,3 m.

L'aléa inondation (faible, moyen, élevé) est issu de la combinaison des niveaux de récurrence et de submersion. L'aléa est d'autant plus élevé que la profondeur de submersion et la récurrence sont grandes. Cependant, l'aléa sera également qualifié d'élevé si, en dépit d'une faible hauteur de submersion, la période de retour est de moins de 25 ans.

La méthode d'aménagement intégré du territoire à l'échelle du bassin versant utilisée en Région wallonne est identique à celle suivie par le CEMAGREF en France (Gillard, 1998). La carte d'aléa résultante ne constitue pas un inventaire des crues historiques, ni des hau-

teurs de submersion, mais plutôt une projection (dans certains cas une modélisation) des crues qui pourraient se produire à court et moyen terme. En l'état, elle ne tient pas compte des changements climatiques.

2.2.2. Méthodologie

Trois approches méthodologiques ont été suivies en fonction des contextes rencontrés.

La modélisation hydraulique (Hachl, 2006)

Elle a été utilisée pour les cours d'eau principaux, pour lesquels les différents services de la Région wallonne compétents en matière de cours d'eau disposaient de suffisamment de données concernant le débit et les profils des lits mineurs. Les principales limites de cette méthode sont d'une part la disponibilité des données (séries de débit) et le coût (près de 2,5 k€/km de cours d'eau).

La méthode pédologique (Dautrebande, 2006)

Cette méthode se base sur les limites renseignées par la carte pédologique pour les sols alluvionnaires et hydromorphes. Elle comportait plusieurs inconvénients découlant de la précision de la carte pédologique (échelle 1:20.000, sondages avec une maille de 50 m), et souffre notamment de l'absence d'information dans les zones qui étaient déjà urbanisées (sols remaniés) lors de l'élaboration de la carte pédologique, soit des zones qui intéressent tout particulièrement l'aménagement du territoire.

Elle a été surtout utilisée le long des cours d'eau non navigables dans les zones non destinées à l'urbanisation, localisées généralement en aléa faible (couleur jaune sur les cartes). De plus, il n'a pas été tenu compte des terrains qui ont été construits, parfois avec d'importantes modifications du relief du sol, depuis le levé des cartes pédologiques. Enfin, la problématique particulière inhérente aux zones karstiques, favorisant parfois des inondations à l'amont des chantoirs ou dans les vallées sèches, n'a pas été intégrée (une convention d'étude avec le CWE PSS vient de débiter).

Les enquêtes de terrain (Donnay et al., 2006)

Ces enquêtes ont visé principalement les riverains des cours d'eau, les administrations communales, les Services Régionaux d'Incendie. Elles ont mis en évidence la subjectivité des personnes interrogées: un propriétaire n'avoue pas facilement que son terrain est régulièrement inondé, par contre un riverain habitant déjà dans le lit majeur a tendance à exagérer l'importance des inondations sur un terrain limitrophe, pour «être tranquille» ou de peur qu'un lotissement qui serait implanté à l'amont n'accroisse le risque pour sa propre habitation. De plus, certaines enquêtes ont été réalisées par des équipes et parfois à des époques très différentes (parfois à 10 ans d'intervalle).

2.2.3. Les implications spatiales de la période de retour

Comme en France, la crue dont la période de retour vaut 100 ans a été choisie comme référence pour la délimitation des périmètres d'aléa (pour rappel, le Schéma de Développement de l'Espace Régional (SDER) avait précédemment fixé une période de retour de 25 ans). C'est pourquoi la crue de la Méhaigne en 2002, dont la période de retour dépassait 100 ans, n'a pas été prise en considération pour la réalisation des cartes d'aléa de son bassin-versant. Par conséquent, les limites d'aléa sur la Méhaigne ne correspondent pas tout à fait à celles des terrains réellement inondés en 2002. Ces dernières ont par contre été prises en compte dans le schéma de

structure communal de la commune de Wanze.

Pour bien comprendre les implications du choix de la période de retour sur la cartographie des périmètres d'aléa, on peut encore prendre à titre d'exemple la Meuse à Liège, où la valeur du débit pour une période de retour de 100 ans a été évaluée à 3184 m³/sec, alors qu'elle serait de 3750 m³/s pour une période de retour de 1250 ans. Si on avait utilisé cette valeur de 1250 ans pour cartographier l'aléa dans le sous-bassin hydrographique de la Basse Meuse, la modélisation aurait classé les quartiers d'Outre-Meuse et de Saint-Léonard en zones d'aléa faible et modéré, avec de lourdes implications au niveau de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme.

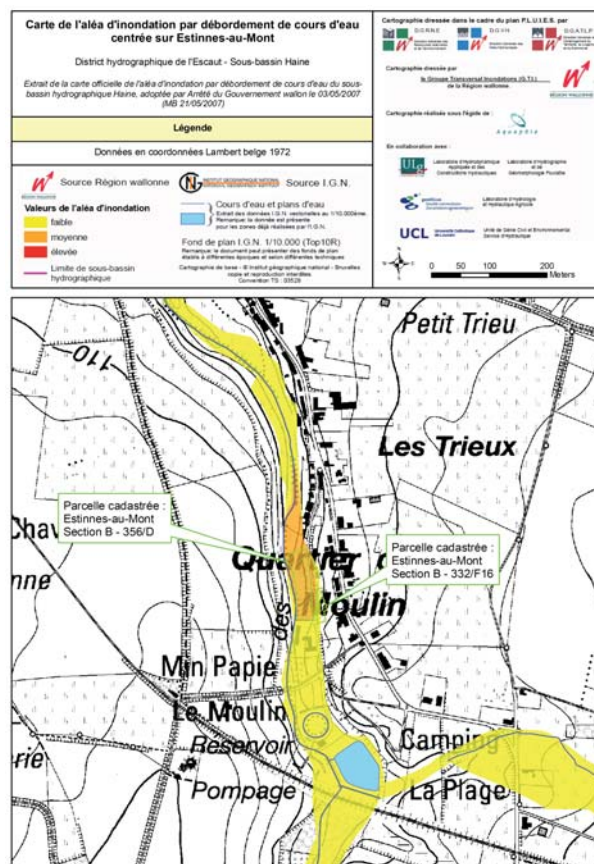


Figure 5 Extrait de la carte d'aléa 'inondation par débordement de cours d'eau' du sous-bassin de la Haine telle qu'adoptée par le Gouvernement wallon en date du 03 mai 2007 (GTI, 2006).

2.2.4. La carte du risque de dommages

La carte du risque de dommages exprime les dégâts potentiels sur les éléments vulnérables, c'est-à-dire sensibles à l'inondation, et implantés dans des zones d'aléa inondation. Cette carte résulte de la combinaison entre l'aléa inondation et la vulnérabilité.

La vulnérabilité exprime le niveau de conséquences prévisibles sur les enjeux, à savoir les personnes, les biens, les activités économiques, le patrimoine susceptibles d'être affectés par les inondations. Elle s'applique aussi bien à l'enjeu existant qu'à l'objet potentiel d'une

demande de permis (Coppin, 2006). Ainsi, une prairie est moins vulnérable aux inondations qu'une habitation occupée ou qu'un équipement collectif permanent (école, maison de repos). L'identification des enjeux, leur représentation cartographique et enfin la détermination de leur vulnérabilité (faible, moyenne, élevée) nécessite donc une utilisation appropriée des données les plus récentes en matière d'occupation du sol.

Le risque de dommages sera maximum pour une habitation implantée et occupée dans une zone d'aléa élevé, et à l'inverse, il sera minimum pour une prairie située

dans une zone d'aléa faible. La carte qui a été adoptée en 2009 par le Gouvernement wallon ne reprend que les périmètres de risque élevé de dommages. Les cartes de risque de dommages ont été peu diffusées puisque, contrairement à la carte d'aléa, elles ne constituent pas des documents à utiliser dans le cadre de la gestion *sensu stricto* des demandes de permis (permis de lotir, permis d'urbanisme, permis unique). Elles apporteront néanmoins une information complémentaire aux responsables de la sécurité et des services de secours afin de les aider à élaborer leurs plans d'urgence. Dès lors, ce sont les bourgmestres et les gouverneurs de province qui sont les principaux destinataires des cartes de risque de dommages.

2.3. La politique du Gouvernement wallon en matière d'aménagement du territoire

2.3.1. Le décret dit «Seveso» du 8 mai 2008 modifiant le décret du 27 novembre 1997

Selon l'article 136 du Cwatup, *«l'exécution des actes et travaux peut être soit interdite, soit subordonnée à des modifications particulières de protection des personnes, des biens ou de l'environnement lorsque les actes, travaux et permis visés aux articles 84, 98 ou 127 se rapportent à: (...) des biens immobiliers exposés à un risque naturel ou à une contrainte géotechnique majeurs tels que l'inondation comprise dans les zones soumises à l'aléa inondation au sens de l'article D53 du Code de l'Eau, l'éboulement d'une paroi rocheuse, le glissement de terrain, le karst, les affaissements miniers ou le risque sismique; (...)»*

Ce type de disposition existe dans le Cwatup depuis 1997. Aucune indemnité n'est due par la Région ou la commune, en cas de refus de permis (art. 70,10° du Cwatup).

2.3.2. La circulaire du 9 janvier 2003 relative à la délivrance de permis dans les zones exposées à des inondations et à la lutte contre l'imperméabilisation des espaces

Cette circulaire a pour objectif la mise en oeuvre des moyens nécessaires pour prévenir et limiter l'ampleur des dégâts dus aux inondations. Elle fait référence au Schéma de Développement de l'Espace Régional (SDER) ainsi qu'aux responsabilités communales.

Le SDER, adopté par le Gouvernement wallon le 27 mai 1999, invite à protéger la population contre les risques naturels en identifiant les zones à risques et en y limitant l'urbanisation et le risque de crue par une gestion des eaux au sein de l'ensemble des bassins hydrographiques. Il interdit ou limite fortement l'urbanisation des terrains exposés à des risques naturels prévisibles. Il suggère également qu'en fond de vallée, les occupations du sol susceptibles de jouer de manière occasionnelle le rôle de zone-tampon d'inondation soient favorisées.

Par ailleurs, la circulaire insiste sur les responsabi-

tés qui incombent aux communes lorsque le Collège communal se prononce sur des demandes d'autorisation (permis d'urbanisme, permis de lotir, permis d'environnement) concernant des terrains exposés à des inondations, quelle qu'en soit la cause. Il souligne qu'il en va de la sécurité des personnes et des biens, de la salubrité, de l'accès des secours,... et que la responsabilité de l'autorité qui délivre le permis pourrait, le cas échéant, être mise en cause.

2.3.3. L'avant-projet de règlement régional d'urbanisme (RRU(I))

Le règlement régional d'urbanisme applicable aux périmètres de risque majeur d'inondation constitue la mesure «A.T et E. n° 3» du Plan PLUIES. Un avant-projet d'arrêté a été adopté en première lecture dès le 27 mai 2004 par le Gouvernement wallon. Ensuite, il a fait l'objet de plusieurs amendements par le Groupe Transversal Inondation (GTI), transmis au Ministre A. Antoine le 23 juillet 2008, mais, à ce jour, le RRUI n'a pas encore été adopté définitivement par le Gouvernement.

Le RRU(I), dont la mise en oeuvre doit s'inscrire dans un cadre global visant à la fois le Code de l'Eau et la Directive 2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des inondations, sera lié à la carte de l'aléa et non à celle du risque de dommages. Il ne sera effectif que lorsque l'ensemble du territoire aura été couvert par les cartes d'aléa et qu'une évaluation, voire si nécessaire une actualisation, aura été réalisée. Par ailleurs, il y aura lieu d'évaluer l'opportunité d'y intégrer les phénomènes connexes de ruissellement et de coulées de boue, ainsi que les aspects particuliers de l'hydrologie en zone karstique qui ne sont pas pris en compte dans la cartographie actuelle. Enfin, il est impératif qu'une étroite collaboration existe entre les gestionnaires des cours d'eau et les administrations communales et régionales concernées par la gestion des divers permis d'urbanisme et d'environnement.

2.4. Le projet ERRUISSOL et les impacts du ruissellement

Le projet ERRUISSOL, qui a débuté en septembre 2005, a débouché sur la réalisation d'une cartographie portant sur la classification des pentes des parcelles agricoles, des axes de concentration des eaux de ruissellement (approche «petit bassin versant»), et enfin des zones à risque naturel d'érosion et à ruissellement diffus, en relation avec la pluviométrie de la région, la nature de l'occupation du sol et le type de sol (Dautrebande et Mokadem, 2006). Ces cartes constituent un outil d'aide à la décision, préventive ou curative, à l'échelle des têtes de bassins versants, du parcellaire ou de la parcelle agricole. Elles contribueront ainsi à la mise en oeuvre des schémas d'aménagement en vue de traiter le plus en amont possible les problèmes de ruissellement et d'érosion.

Le ruissellement concentré dépend principalement de l'intensité des précipitations, de la pente du versant et de la couverture végétale. Toutefois, il a souvent une origine anthropique, via la «canalisation» de tout afflux d'eau après la réalisation d'ouvrages (par exemple, vastes surfaces asphaltées), de modification du couvert végétal (par exemple, cultures sarclées dans le sens de la pente) ou du relief du sol. Le meilleur moyen pour limiter les dégâts dus à ce phénomène est de ralentir le ruissellement en tête de bassin versant, par exemple en construisant un bassin d'orage.

Dans les zones urbanisées, une série de mesures de remédiation peuvent être mises en œuvre pour limiter l'impact de cet aléa. Elles viseront soit à produire un effet tampon (par le raccordement des évacuations des eaux interceptées par les toitures et autres aires imperméabilisées vers des citernes d'eau de pluie), soit à favoriser l'infiltration dans le sol (dalles de béton-gazon pour les aires de parking de véhicules au lieu d'aires asphaltées, bandes enherbées) ou le sous-sol (puits perdants, pour autant qu'il s'agisse d'eau de pluie). Elles atténueront en outre le pic de crue en favorisant l'étalement des eaux sur des terrains dans et en dehors du lit majeur (par exemple, étalement à l'amont de toute forme de barrage même modeste, réduction de pertuis, etc.). D'autre part, en zone agricole, il est nécessaire de réintroduire des pratiques agricoles qui favorisent la rétention de l'eau (couverture hivernale), de limiter les cultures sarclées sur certains versants et d'éviter les labours parallèles à la pente.

2.5. Urbanisme et architecture : les mesures de mitigation

2.5.1. Les objectifs

En matière de sécurité des personnes, la solution idéale est d'évacuer les occupants des habitations situées en zone inondable. Cette mesure radicale ne devrait évidemment être prise que lorsque les risques encourus sont importants et identifiés. C'est généralement le cas là où les crues sont de longue durée (plusieurs jours) avec des hauteurs d'eau importantes (plus de 30 cm) ou bien lorsque la vitesse du flux d'eau est élevée. Ces caractéristiques sont éminemment dépendantes du caractère soudain et de la quantité des précipitations, de la situation topographique du bien (altitude par rapport au lit mineur, proximité du lit mineur), du type de cours d'eau (pente, section du lit mineur, débit de crue, etc.) et de la configuration de son bassin versant (vallée encaissée, fortes pentes, couvert végétal, etc.).

Les mesures de mitigation ont pour objectif de diminuer la vulnérabilité des biens et des personnes. Dans le cas des inondations, on entend par mitigation l'action de diminuer les dégâts provoqués par l'eau. Ces mesures peuvent parfois être simples et peu onéreuses. Pour autant que la construction soit apte à résister durablement à la crue, elles consistent par exemple à mettre en sécurité les personnes et les biens à l'étage (Van Dijck,

2006b), ou à surélever le mobilier sur des parpaings au dessus du niveau qui peut être atteint par l'eau dans le bâtiment. Par contre, elles peuvent impliquer des coûts importants si on est contraint, par exemple, de modifier une installation électrique existante, de déplacer une chaudière, de poser des batardeaux, ou de renforcer les structures d'un bâtiment à construire.

Pour sa part, la limitation des dommages aux biens passe d'abord par une bonne résistance mécanique du bâtiment à long terme, par un choix adéquat des matériaux, équipements et techniques de construction et par des mesures destinées à empêcher la pénétration de l'eau dans le bâtiment. Il est indispensable que la conception de la construction permette un rapide retour à la normale après une éventuelle inondation catastrophique. Les mesures à prendre visent ici à faciliter l'évacuation de l'eau et le séchage, le nettoyage, ainsi que la remise en marche des équipements.

2.5.2. Les règles à respecter dans les constructions susceptibles d'être inondées

Les objectifs de mitigation imposent quelques règles à respecter. Schématiquement, ces règles ont trait à la simplicité de la structure, à la disposition du bâtiment au fil de l'eau, à l'uniformité et la symétrie des volumes, à la résistance vis-à-vis des forces latérales (pression due à la hauteur d'eau et au courant) et de la poussée d'Archimède, et enfin à la qualité des fondations, avec cuvelage des caves si nécessaire.

L'action qui consiste à limiter les dommages aux biens doit avoir pour priorité d'assurer la résistance mécanique du bâtiment à long terme. Un immeuble incapable de résister aux crues du cours d'eau voisin n'assurera évidemment pas, ou mal, la sécurité des personnes et des meubles qu'il est susceptible de contenir au niveau identifié comme inondable. Si, pour la protection d'un bâtiment neuf, il est assez facile d'intégrer des paramètres tels que la distance au cours d'eau et la hauteur d'eau potentielle en vue de définir le niveau habitable ou exploitable «hors eau» par rapport aux crues connues, cela l'est moins en ce qui concerne la récurrence de crue (crue centennale) prise en compte par le Gouvernement wallon pour circonscrire les périmètres d'aléa 'inondation par débordement de cours d'eau'. Avant tout choix de localisation et de conception, il est donc primordial pour un auteur de projet de s'informer sur lesdits périmètres, la hauteur d'eau déjà atteinte sur les terrains considérés, la vitesse du courant, ou encore le caractère des crues (Van Dijck, 2008).

Cette démarche intégrera le principe de précaution dès lors qu'elle se basera sur une analyse objective de la situation. Elle ne doit pas négliger non plus de tenir compte d'autres types possibles d'inondation, par exemple par remontée de nappe (nécessitant éventuellement une approche hydrogéologique), par refoulement d'égout (impliquant une analyse urbanistique, agro-géographique et hydrologique) ou par ruissellement concentré (plutôt évalué par une approche agronomique et pédologique).

Pour les professionnels de terrain, ces études peuvent paraître normales. Cependant, l'analyse des demandes de permis d'urbanisme dans des situations «à risque» (incluses dans les périmètres d'aléa) montre que, fréquemment, ces paramètres sont insuffisamment, voire pas du tout pris en compte par les auteurs de projet et les demandeurs.

Pourtant, y compris en dehors des périmètres d'aléa, une analyse, même succincte, permet bien souvent de faire ressortir le caractère «risqué» d'une situation. Les avis préalables du gestionnaire du cours d'eau, du service d'incendie compétent, voire de la commune en ce qui concerne les travaux déjà entrepris pour pallier l'effet des pluies (même lorsque celles-ci ne présentent pas de caractère catastrophique au sens de la loi), peuvent être très utiles à l'autorité administrative qui doit se forger une opinion sur le caractère réellement inondable d'une parcelle, comme l'a rappelé le Conseil d'Etat (*Arrêts n° 185.612 du 5 août 2008 et 187.450 du 29 octobre 2008*).

Notons que, dans nombre de situations, le problème semble provenir du fait que les zones urbanisables inscrites aux plans de secteur constituent un droit acquis dans l'esprit de la population, qui néglige de considérer que ces zones urbanisables furent adoptées sans prise en compte des contraintes inhérentes aux risques naturels en matière d'urbanisme, tant en fait qu'en droit.

Si la démarche ci-dessus peut être mise en œuvre pour un bâtiment en projet, elle est par contre beaucoup moins aisée pour un bâtiment existant, en particulier quand ce dernier change d'affectation (par exemple en cas de transformation d'une ferme en logements, en cas d'application de la règle dite de «remplissage», etc). Cela résulte d'une situation de fait en termes de techniques de construction utilisées, de localisation du bien et de hauteur d'eau qui peut être atteinte dans le bâtiment. La remédiation sera alors plutôt axée sur le rehaussement du premier niveau habitable (ou fonctionnel), qui sera déterminé par rapport aux plus hautes eaux atteintes et en tenant compte d'une marge de sécurité. Si cette démarche s'avère impossible en pratique, la solution sera d'empêcher par d'autres moyens (batardeaux) l'eau d'entrer, quoique cette option ne puisse être utilisée pour des hauteurs de submersion excédant 70 centimètres. Dans d'autres cas encore, il sera préférable de laisser l'eau entrer et de privilégier la stabilité et l'intégrité du bâtiment plutôt que son maintien hors eau. On pourra alors par exemple poser les meubles sur des parpaings de béton si on connaît la hauteur d'eau qui peut être atteinte. Cette mesure est valable pour des hauteurs d'eau inférieures à 40 cm (soit la hauteur de 2 blocs ou d'un bloc posé verticalement). Au-delà, la stabilité devient précaire et il vaut mieux procéder soit à l'évacuation du mobilier si les délais le permettent, soit, dans le cas d'habitations à plusieurs niveaux, au déménagement du mobilier à l'étage.

Lors de la construction ou de l'adaptation d'un immeuble, concernant les cloisonnements ou le parement in-

térieur, il y a lieu d'éviter les plaques de plâtre. Même les plaques hydrofuges résistent mal au passage de plusieurs inondations surtout si ces dernières sont de longue durée. Elles seront toutefois préférées aux plaques de plâtre normales dont le passage d'une seule inondation suffira à causer la perte. Il peut être intéressant, lors de leur montage, de disposer les plaques à l'horizontale afin que seules celles du bas soient endommagées. Quant au bois, bien que résistant assez bien au passage d'une inondation, il se gorgera d'eau si celle-ci persiste plusieurs jours et, à moyen terme, il risque de pourrir si le séchage ne s'effectue pas rapidement. L'utilisation de matériaux de sol de type carrelage doit donc être préférée aux parquets et aux planchers, d'autant que les carreaux favoriseront l'évacuation de l'eau tout en facilitant le nettoyage (Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction, 2004).

On accordera une importance particulière à l'emplacement du tableau électrique, toujours situé hors d'eau. Une marge de sécurité de 50 cm au dessus des plus hautes eaux connues est impérative. Le placement à l'étage du tableau électrique peut aussi constituer une solution intéressante. En ce qui concerne l'installation électrique, il est préférable de créer un réseau descendant des plafonds plutôt qu'un réseau au sol (par les chapes). On peut aussi créer un réseau séparé pour les pièces potentiellement inondables. A l'instar des pièces d'eau (salle de bain, cuisine, buanderie), ce réseau peut être utilement équipé de différentiels, de façon à assurer la plus grande sécurité en cas de pertes de courant si les matériaux ont été sous eau et qu'un fort taux d'humidité persiste dans les gaines, cloisons et murs.

Les équipements de chauffage central sont souvent très coûteux à remplacer. On a donc intérêt à les disposer également en hauteur. Etant donné qu'ils sont rarement autonomes, il y a lieu de s'assurer que leur alimentation électrique est elle aussi protégée et mise hors eau. Un système de chauffage en ordre de marche après le passage de l'eau permettra en outre d'assécher plus rapidement le bâtiment, notamment les murs, les parements intérieurs et les cloisons. Dans le cas du chauffage au mazout ou au gaz, l'alimentation peut également subir des dégâts et les citernes peuvent être endommagées ou emportées si elles ne sont pas protégées. Le mazout présente également un risque de pollution non négligeable pour l'environnement mais aussi pour les matériaux qu'il est susceptible d'imprégner.

Enfin, pour favoriser un retour rapide à la normale, on doit d'abord s'attacher à faciliter l'évacuation de l'eau et le séchage. L'installation de seuils de portes et portes-fenêtres de faible hauteur permettra une évacuation quasi naturelle de l'eau. Il faut cependant veiller à ce qu'aucun point bas n'existe au niveau inondable de l'immeuble. Si l'habitation doit être adaptée, on peut par exemple relever légèrement le niveau du sol en plaçant de nouveaux carrelages et en créant une légère pente vers l'extérieur. En cas contraire, le placement d'un puisard est indispensable de façon à pouvoir as-

sur la vidange complète du bâtiment au moyen d'une pompe. Enfin, l'installation d'un drain périphérique au bâtiment assurera l'évacuation de l'eau du sol et favorisera un séchage rapide depuis la base des fondations.

3. LES ÉBOULEMENTS DE PAROI ROCHEUSE

3.1. Les éboulements en Région Wallonne

Ces dernières années, plusieurs éboulements rocheux catastrophiques ont affecté des constructions ou des infrastructures en Wallonie. Ce fut notamment le cas le 16 octobre 1995, lorsque la Rue Sous les Roches située à proximité du centre-ville de Dinant, a subi la chute d'une masse rocheuse de plusieurs dizaines de tonnes. Aucune victime ne fut recensée lors de cet événement. D'importants dégâts matériels furent cependant enregistrés et c'est le seul éboulement à avoir jamais été reconnu comme catastrophe naturelle par le Fonds des Calamités. Le déblaiement et la sécurisation des lieux nécessitèrent d'importants travaux de génie civil et, par voie de conséquence, engendrèrent des coûts importants pour la collectivité.

Le 30 avril 1998, un éboulement de plusieurs milliers de tonnes de calcschiste surplombant la ligne de chemin de fer Liège-Namur provoqua le déraillement d'un convoi à Bas-Oha. Cet événement peut être comptabilisé dans les phénomènes naturels qui trouvent leur origine dans la nature et l'état des roches en place, mais aussi dans le choix de l'implantation de l'infrastructure et des techniques de mise en œuvre de celle-ci (fig. 6). Fort heureusement, cet événement ne fit pas non plus de victime.

Le 12 décembre 1998, le train reliant Liège à Gouvy déraila suite à l'éboulement d'un amas rocheux provenant du versant longeant la voie à hauteur de l'ancienne gare de Roanne-Coo (Stoumont). Cette fois, une vingtaine de voyageurs furent légèrement blessés et les dégâts matériels furent importants. Le trafic de la ligne 42 fut interrompu durant plusieurs jours. Le tracé de la ligne a par la suite dû être rectifié en vue de s'écarter de la paroi à risque, ce qui a nécessité l'expropriation d'une scierie installée sur le site de l'ancienne gare. D'autres travaux coûteux de remédiation ont ensuite été réalisés le long de cette ligne de chemin de fer particulièrement sensible à ce type de phénomène, puisque d'autres aménagements ont dû être effectués à seulement 2 km à l'aval (La Venne).



Figure 6. Marche-en-Famenne: stabilisation de parois dangereuses le long d'une ligne SNCB. Situation avant travaux (2004) et après travaux (2007).

Le village de Houx (Yvoir) est également exposé à un risque d'éboulement de blocs rocheux. Ainsi, suite à de nouvelles chutes de pierres en 2006 et aux conclusions d'un expert, trois habitations furent déclarées inhabitables par le Collège communal en date du 5 janvier 2007. Depuis, ces maisons ont été expropriées par la Région wallonne (fig. 7).

Enfin, à la fin novembre 2009, l'instabilité d'un bloc de plusieurs tonnes sur une paroi située le long de la RN 90 à Thon (Andenne), a nécessité la déviation de

la circulation pendant plus d'une quinzaine de jours et la réalisation de travaux de stabilisation de ladite paroi (fig. 8).

Ainsi, régulièrement, la chute de blocs parfois de taille importante atteint des zones fréquentées, voire habitées par la population. Parfois, les mesures de remédiation imposées par l'administration engendrent un impact inattendu vu la taille des massifs en place et leur état de déconsolidation. Ce fut notamment le cas lors de la sécurisation «douce» par peignage des parois de Mar-



Figure 7. Vue des habitations déclarées inhabitables par décision du Bourgmestre d'Yvoir en 2007.

che-les-Dames, où un bloc de plusieurs tonnes dévala la pente lors des travaux de déroctage, traversa la Nationale 959, remonta le talus du chemin de fer avant de s'arrêter sur les voies de la ligne Namur-Liège, juste avant l'arrivée d'un train de voyageurs. Une nouvelle fois cet événement qui aurait pu avoir des conséquences dramatiques, se limita à des dégâts matériels. Pourtant, la paroi rocheuse était localisée à plus de 100 mètres de la voie ferrée.

3.2. La stabilité des parois rocheuses

Les éboulements de paroi rocheuse ou les chutes de blocs, quelle que soit leur taille, sont des mouvements rapides et brutaux résultant de l'action de la pesanteur. Plusieurs facteurs influencent les risques d'éboulement, liés à la nature des roches en place et donc à leurs caractéristiques physiques (dureté, résistance à la compression et à la traction, présence de joints de stratification, de diaclases, de failles).

Sous l'effet de la gravité, les matériaux rocheux tendent vers la pente d'équilibre des éboulis de gravité secs. Celle-ci est en général proche de 35°, sauf dans les cas où lesdits matériaux rocheux se retrouvent mélangés à des matériaux meubles de couverture à forte proportion d'argile et/ou de limon, voire de sable fin, qui réduisent la valeur de la pente d'équilibre, en particulier lorsque les matériaux fins sont saturés en eau. Lors de leur mise en mouvement, l'inertie des blocs rocheux dépend de leur masse et de la hauteur de chute. Parfois, elle peut être diminuée par la présence d'obstacles ou d'élé-

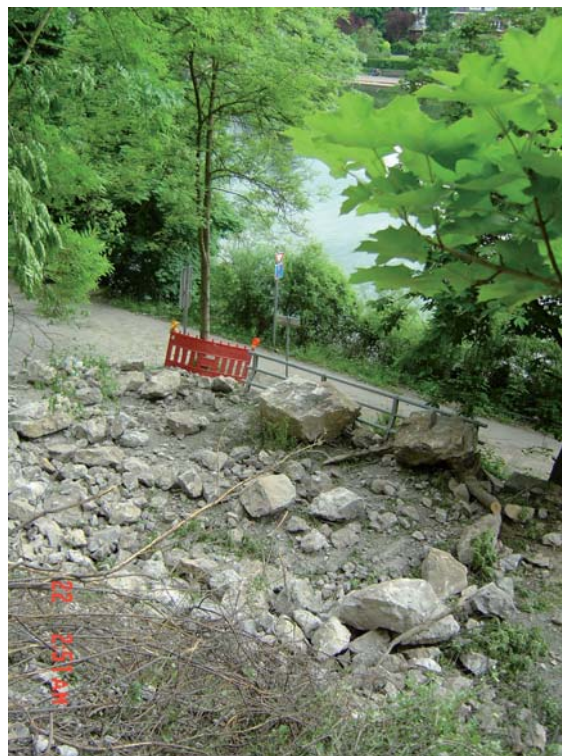


Figure 8. Eboulement massif sur la route Nationale 90 entre Jambes et Profondeville.

ments «sécurisants», dont il faut aussi tenir compte lors de la délimitation des périmètres d'aléa puis, éventuellement, de risque. La stratification et/ou la fracturation des massifs rocheux contribuent quant à elles de façon significative à leur altération naturelle que ce soit par des processus chimiques (argilisation, dissolution) ou physiques (gélifraction, action des racines). L'altération est toutefois aussi dépendante des conditions de milieu (précipitations, exposition), donc de la localisation des parois. Ces divers facteurs contribuent à déliter progressivement les roches cohérentes en blocs et panneaux, préparant le processus d'éboulement (Hoek, 2004).

3.3. Méthodologie

Dans l'analyse du risque d'éboulement, une attention particulière a été portée à la vulnérabilité vis-à-vis de ce type d'aléa. La priorité fut donc accordée au croisement des informations de pente importante (>30°) des terrains et de vulnérabilité élevée. Une chute de bloc pouvant provoquer des victimes, on appréciera différemment la vulnérabilité d'un bien occupé en permanence (habitation) ou seulement en journée (activité économique), ou celle d'un bien non occupé (quoiqu'il faille aussi distinguer les biens de grande valeur patrimoniale). Au sein des périmètres issus du croisement des données, il fallait ensuite définir les niveaux de contrainte et/ou de risque en fonction des éléments dangereux en présence.

Quoique de tels éboulements de parois ne soient pas

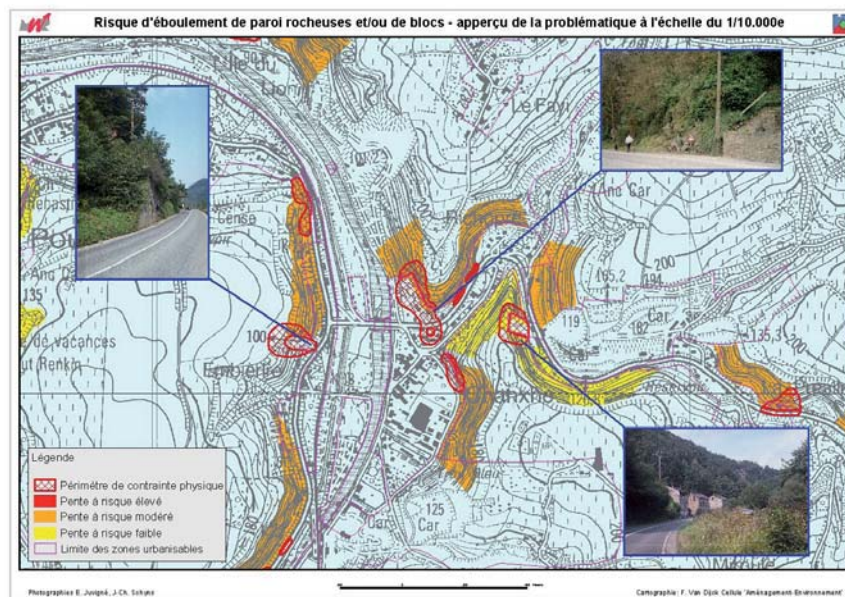


Figure 9. Carte du risque d'éboulement à Chanxhe (photographies de JC. Schyns et E. Juvigné).

des phénomènes nouveaux ou isolés en Wallonie, cette problématique n'avait jamais été appréhendée globalement alors que l'urbanisation et les infrastructures de transport se développaient à proximité de parois dangereuses, générant un risque nouveau de dommages pour la population ou les utilisateurs des infrastructures. Bien que les premières études pilotes portant sur l'élaboration d'une méthodologie globale d'identification des risques naturels en Wallonie datent de 1993-1994, c'est à partir de 1997 seulement que la Direction générale de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine (DGATLP) s'est attelée à la localisation systématique et à la description de tous ces risques, avec le concours du département de géographie de l'Université de Liège, et notamment des professeurs Juvigné et Ozer (Juvigné *et al.*, 2006, 2008). La démarche définie visait en particulier à établir un référentiel susceptible de contribuer à l'élaboration des documents de planification et, dès lors, à faciliter la prise en compte des risques dans les projets d'aménagement tant publics que privés. En termes de superficie et du nombre de communes concernés, on peut classer les éboulements juste derrière les inondations et l'aléa karstique.

La première étape a consisté à localiser les versants présentant une pente supérieure à 30° , supposés seuls capables d'engendrer des éboulements rocheux et des chutes de blocs. Les deux autres étapes ont porté sur la caractérisation et la cotation de l'état des roches nues et des talus de plus de 45° non régularisés, sur base des critères suivants : nature de la roche, taille des éléments présents, orientation et pendage des bancs, fissuration et fracturation du massif, présence d'éléments protecteurs naturels ou non (talus, cours d'eau, fossés, végétation), couverture végétale du massif, présence d'humidité ou d'eau. Enfin, des observations de terrain détaillées

ont été réalisées au sein des périmètres présentant un risque pour les constructions ou les activités humaines localisées à proximité, afin de délimiter un périmètre de contrainte majeure qui peut englober aussi bien le sommet que le pied de la paroi (fig. 9).

La définition de l'aléa et du risque a mis l'accent sur la hauteur maximale du versant, sur la proportion de parois abruptes ou de rochers affleurants, mais aussi sur le degré d'efficacité des mesures préventives mises en œuvre par le passé. Si on tient compte de la pente d'équilibre naturelle des matériaux rocheux, on peut, avec une bonne approximation, exprimer une distance de sécurité au pied d'une paroi par la formule suivante :

$$L = H / \operatorname{tg} 35^\circ$$

où L est la distance horizontale entre l'élément dangereux et la situation du bien ou de l'activité en l'absence de mesures de protection intermédiaire et H la hauteur de l'élément dangereux. Si on veut en outre prendre en compte le possible déplacement plus grand de certains blocs par saltation, on peut, à titre de marge de sécurité, utiliser un angle plus faible (la valeur de 30° a été retenue) que celui de la pente d'équilibre des matériaux rocheux, angle en dessous duquel la probabilité de saltation devient négligeable.

3.4. Résultats

Les périmètres de contrainte varient considérablement, de $\sim 20 \text{ m}^2$ à 12,4 ha. On remarquera aussi que 177 communes wallonnes recèlent des versants dont la pente est supérieure à 30° , pour une superficie totale de $\sim 129 \text{ km}^2$. Parmi celles-ci, 82 sont concernées par la contrainte 'éboulement' à des degrés divers. Linéairement, cette contrainte concerne 127 kilomètres de parois pour une superficie totale de 345 ha (en projec-

tion). Les mesures de surveillance ou de stabilisation à prendre ainsi que l'estimation du coût de ces mesures doivent être considérées individuellement pour chaque paroi dangereuse.

3.5. Les mesures de prévention

En présence d'une paroi dangereuse, trois options sont possibles, à savoir ne pas intervenir sur la paroi, supprimer l'aléa ou limiter les conséquences d'un éventuel éboulement (Schroeder, 2008). Dans le premier cas, on déclarera alors évidemment la zone non constructible, voire inaccessible au public, comme c'est actuellement le cas de la route située au pied du site classé de la Heid des Gattes (Aywaille). On déviara également les routes et autres voies de communication trop proches. Dans le second cas, la suppression de l'aléa résultera de la stabilisation des parois instables (par reprofilage, peignage, murs de soutènement, bétonnage, gunitage, boulonnage, etc) et, si possible, de l'élimination par chute contrôlée des éléments dangereux. Enfin, dans la troisième option, les conséquences d'éventuels chutes et éboulements seront mises sous contrôle par la canalisation des trajectoires de blocs instables, par l'interception des blocs (fosses de réception, filets pare-blocs, etc.), ainsi que par des mesures, parfois lourdes et coûteuses (tunnels, tranchées couvertes), protégeant directement les personnes, les biens et les activités. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour un même site. Dans le choix et le dimensionnement des mesures conservatoires, le principal objectif sera d'obtenir le meilleur équilibre entre une sécurité suffisante, des investissements financiers raisonnables et des impacts environnementaux aussi réduits que possible.

4. LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

4.1. Genèse

Les glissements de terrain sont des mouvements du sol caractérisés par des déplacements en masse de roches meubles le long d'un versant. Ils peuvent avoir diverses origines, fréquemment combinées, résultant le plus souvent de causes météorologiques (précipitations importantes et de longue durée), anthropiques (modification de la pente du versant par terrassement ou surcharge) et parfois sismiques. Souvent de type rotationnel, les glissements de terrain observés en Wallonie répondent donc à une réalité complexe incluant des paramètres peu ou pas maîtrisables.

Parmi les éléments favorisant les glissements de terrain, on distingue les facteurs susceptibles d'accroître l'effort de cisaillement et ceux qui diminuent la résistance à la rupture du versant (Schroeder *et al.*, 2004). La genèse d'un glissement résulte d'une rupture d'équilibre dans un versant suite à une augmentation des contraintes de cisaillement (charges dues à un remblai, construction, etc) ou à une diminution de la résistance des terrains (excavation, augmentation du niveau de la nappe aquifère, présence d'une source, rupture d'une canalisation)

(Ozer *et al.*, 2006). L'apparition des glissements de terrain est en outre conditionnée par de nombreux paramètres des versants tant naturels qu'artificiels qu'ils affectent (lithologie, pente, orientation, degré de saturation en eau, couverture du sol). En raison des variations de pression de pore qu'elles entraînent par infiltration dans les sols, les fortes pluies ont en particulier un effet déterminant sur le déclenchement des glissements de terrain. En effet, les eaux d'infiltration engendrent une élévation du niveau de la nappe aquifère, ce qui a pour effet de faire passer une partie du profil d'une pression interstitielle négative (suction) à une pression positive.

L'identification correcte des facteurs de glissement est déterminante pour délimiter des zones à risque, qu'il s'agisse de la zone de départ du glissement ou de la zone d'accumulation, dont il y a lieu de tenir compte aussi dans la délimitation des périmètres de risque. Les principaux effets des glissements de terrain concernent la déstabilisation ou la destruction, sur des zones éventuellement de plusieurs dizaines d'hectares, de bâtiments, de voiries, et de conduites enterrées (égouts, canalisations d'eau, de gaz).

4.2. Les principales régions concernées

En Wallonie, deux régions ont fait ces dernières années l'objet d'études de grands glissements de terrain anciens, récemment réactivés, à savoir la région des Collines (Ozer *et al.*, 1998) et le Pays de Herve (Demoulin *et al.*, 1999; Ozer *et al.*, 2006).

4.2.1. La région des Collines

La région des Collines contient de nombreuses traces de glissements liés à la présence d'argile du Panisélien et en particulier du niveau argileux du Membre d'Aalbeeke intercalé dans une formation par ailleurs silteuse. Ces glissements sont particulièrement nombreux sur le territoire de la Flandre, mais on en connaît également en Région Wallonne. La commune du Mont de l'Enclus est particulièrement concernée, ayant fait l'objet de l'intervention du Fonds des Calamités suite aux glissements apparus le long de la rue du Renard lors de l'hiver 1993-1994. D'importants glissements de terrain récents existent également sur la commune de Frasne-lez-Avaing. Ils affectent également des constructions et des infrastructures.

4.2.2. Le Pays de Herve

A partir du recensement d'anciens glissements de terrain présents dans les sables et argiles créacés sur les flancs de la crête de Battice-Henri-Chapelle, une première cartographie des zones potentiellement instables dans le centre du Pays de Herve a été réalisée (Demoulin *et al.*, 1999).

Les zones sensibles sont en particulier celles où affleurent la smectite de Herve et, d'une manière plus généra-



Figure 10. Rupture du collecteur d'égouttage traversant le site de Manaihan (Battice) suite à la réactivation du glissement consécutive aux pluies intenses des 13 et 14 septembre 1998 (photographie JC Schyns 1998).

le, les faciès argileux de la Formation de Vaals. Un des 15 glissements anciens identifiés, localisé à Manaihan (Herve), s'est réactivé le 14 septembre 1998, suite à un épisode de pluies intenses (plus de 100 mm en moins de 24 h), provoquant la destruction d'une maison, d'une station de distribution de gaz, d'un collecteur d'eaux usées, ainsi que le basculement de l'annexe d'une menuiserie.

4.2.3. Le cas particulier des terrils

Des glissements affectant les terrils des anciennes exploitations minières ont constitué et constituent encore un risque pour les riverains (Petite Bacnure à Herstal, Héribus à Mons, Hasard à Retinne). Les terrils les plus dangereux sont ceux constitués de cendres volantes provenant des anciennes centrales à charbon. Le terril de Jupille a ainsi causé la perte de plusieurs vies humaines en 1961 et celui de la Héna, à Flémalle, est actuellement sous étroite surveillance après avoir fait l'objet de mesures de sécurisation (système de confortement par poutraison ancrée). La valorisation des cendres en cimenterie devrait permettre de les évacuer totalement d'ici une quinzaine d'années.

On notera cependant que ce type de contexte ne constitue pas un risque naturel *sensu stricto*, puisqu'il trouve directement son origine dans les activités humaines du passé (stockage de déchets ou de résidus d'exploitation minière ou de carrières).

4.3. Principales conclusions des différentes études financées par la Région wallonne

La première étude (Ozer *et al.*, 1998) sur le risque de glissement de terrain a été réalisée dans la région des Collines (commune du Mont-de-l'Enclus) suite au glissement qui s'est produit durant l'hiver 1993-1994, provoquant des dégâts à plusieurs habitations, à une route communale urbanisée et à des conduites. Cette étude fut commandée parce qu'une précédente expertise, réa-

lisée sous l'égide du Fonds des Calamités au niveau fédéral, n'avait porté que sur la partie du territoire communal qui avait fait l'objet du glissement de terrain de 1993. Elle conclut que les précipitations qui ont donné naissance au glissement de terrain ont une période de retour de l'ordre de 50 ans. Ces précipitations mettent l'aquifère perché au dessus de l'argile d'Aalbeke (souvent caractérisé par des suintements ou des sources) sous pression. D'autre part, l'analyse a montré le rôle des pentes fortes sur la localisation du risque de glissement de terrain. L'étude a permis l'adoption d'un Plan Communal d'Aménagement qui interdit les constructions dans certaines zones à risque et impose des normes strictes en matière d'urbanisation pour d'autres zones.

Une deuxième étude a porté sur le Pays de Herve (Demoulin *et al.*, 1999), suite aux observations faites lors de l'étude d'incidences concernant la construction de la ligne TGV. Cette seconde étude a comporté un certain nombre de reconnaissances géophysiques (sondages sismiques et électriques, tomographie électrique), et mécaniques (tests de pénétration au cône). Elle a permis d'imager la structure des glissements de terrain et de localiser les contacts entre formations «sensibles», fournissant une explication globale de l'origine de ces grands glissements, vieux probablement de ~2000 ans. Par ailleurs, une analyse détaillée du glissement de Manaihan réactivé de façon spectaculaire en 1998 a été réalisée. A partir des informations géotechniques de base nécessaires (cohésion, angle de friction), le comportement du glissement a été modélisé et la valeur du facteur de sécurité sur des plans de cisaillement potentiels a été évaluée dans différents contextes (sol saturé ou non, influence statique et semi-dynamique d'un séisme). Quant à l'évaluation à l'échelle communale de l'aléa, une carte de susceptibilité centrée sur les communes de Herve et de Thimister-Clermont a été établie par modélisation probabiliste sur la base de la confrontation des données existantes (les 15 glissements an-

ciens) et de la distribution spatiale de diverses variables environnementales (pente, orientation, lithologie, proximité de failles, proximité d'un drain, altitude).

Une troisième étude eut ensuite pour objectif de trouver une méthode fiable en matière de détection de risque potentiel de glissements afin de pouvoir l'utiliser sur d'autres sites. Elle a porté sur 23 communes du Pays de Herve (Ozer *et al.*, 2004). Les risques de gonflement-retrait de la smectite de Herve ont aussi été évalués. Vu la superficie concernée, il était illusoire de vouloir quantifier de façon détaillée les risques de mouvement de terrain sur base d'une approche déterministe (calcul du facteur de sécurité). Une approche probabiliste ne pouvait pas non plus être entreprise car on ne disposait pas d'une base de données suffisante concernant la distribution des propriétés de résistance et de gonflement des terrains. Cette étude a permis néanmoins de confirmer la pertinence des méthodes de détection et de suivi des glissements de terrain utilisées lors de l'étude précédente.

La cartographie des zones de risques de mouvements de terrain a été réalisée sur base des critères géologiques (présence de formations «sensibles») et des données géomorphologiques (valeur des pentes). L'ensemble des zones du Pays de Herve où affleure la Formation d'Aachen ont dès lors été considérées comme potentiellement dangereuse, tandis que les zones à smectite ont été qualifiées de potentiellement dangereuses sur des pentes supérieures à 5°, soit une valeur conservative présumée *a priori* ne présenter aucun risque de glissement en l'absence de perturbation extérieure naturelle (séisme, érosion fluviale) ou anthropique (creusement d'un talus raide, chargement excessif). Quatre zones de risque relatives aux glissements de terrain seuls ont été définies, deux zones supplémentaires portant sur la conjonction des risques de glissement et de gonflement/retrait des smectites (fig. 11).

Les rapports des trois études décrites ci-dessus ainsi que les données cartographiques qui en sont issues sont consultables à la DGO4 et ne revêtent aucun caractère de confidentialité, au même titre d'ailleurs que l'ensemble des études lancées et financées par cette direction générale.

4.4. Mesures de mitigations

Pour stabiliser des glissements anciens tendant à se réactiver ou prévenir l'apparition de nouveaux glissements, la première mesure à prendre est de limiter l'infiltration de l'eau dans le sol. On veillera donc à évacuer les eaux de pluies en dehors des zones dangereuses, à collecter et évacuer les eaux usées (les puits perdants doivent être interdits), à conserver étanche le réseau d'égouts et à surveiller le réseau d'alimentation en eau. On peut également provoquer un rabattement de la nappe via un puits de pompage ou l'installation de drains subhorizontaux, voire le déblai de la tête du glissement.

Il est par ailleurs essentiel de ne pas charger le sommet

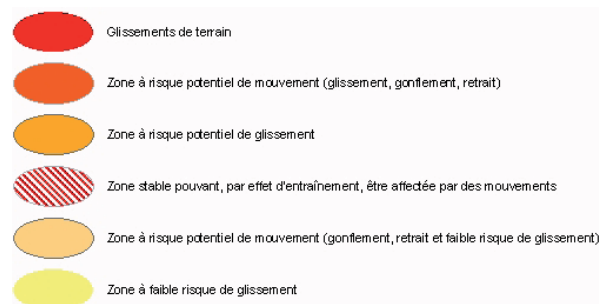


Figure 11. Illustration de la légende des cartes de risque de glissement de terrain et de gonflement/rétraction des smectites.

d'un escarpement de glissement de terrain existant, par exemple en ramenant des terres destinées à remplacer celles qui ont glissé, ce qui ne fait qu'entretenir et renforcer le mouvement. A l'inverse, on évitera de décharger le pied de versants sensibles aux mouvements de masse, par exemple en entaillant inconsidérément un versant lors de la construction d'une route. Il faut être conscient que lorsqu'un glissement de terrain s'est mis en marche, il est souvent très difficile de l'arrêter ou de le stabiliser. De plus, les techniques de remédiation peuvent entraîner des coûts très importants, parfois disproportionnés par rapport à la valeur des terrains et des biens en jeu. L'idéal est donc d'éviter toute construction dans les zones où l'aléa 'glissement de terrain' est élevé.

Seules des constructions dans la frange dite d'accumulation des glissements de terrain, pourraient éventuellement être autorisées, pour autant que la stabilité du versant ne soit pas mise en péril et que la probabilité de glissement sans intervention anthropique soit négligeable.

5. LE KARST

5.1. L'importance de l'aléa karstique

Le terme générique de karst reprend l'ensemble des phénomènes et formes apparaissant à la surface de la terre et sous terre du fait de la dissolution des roches carbonatées. Ses manifestations les plus embarrassantes pour l'aménagement du territoire sont des affaissements et des effondrements d'ampleurs diverses qui peuvent naître brutalement et endommager, parfois même détruire des habitations et les infrastructures établies sur roche calcaire. Ces dernières années, des événements dommageables causés par l'évolution naturelle des massifs calcaires, ont affecté plusieurs habitations et des infrastructures importantes (autoroutes, routes, canalisations, ligne TGV) en Wallonie, et des phénomènes karstiques anciens sont régulièrement réactivés tandis que de nouveaux effondrements apparaissent.

Avant 1997, les interactions du karst avec l'aménagement du territoire n'avaient jamais été étudiés alors que l'urbanisation et les infrastructures continuaient à se développer sur les substrats calcaires qui couvrent près

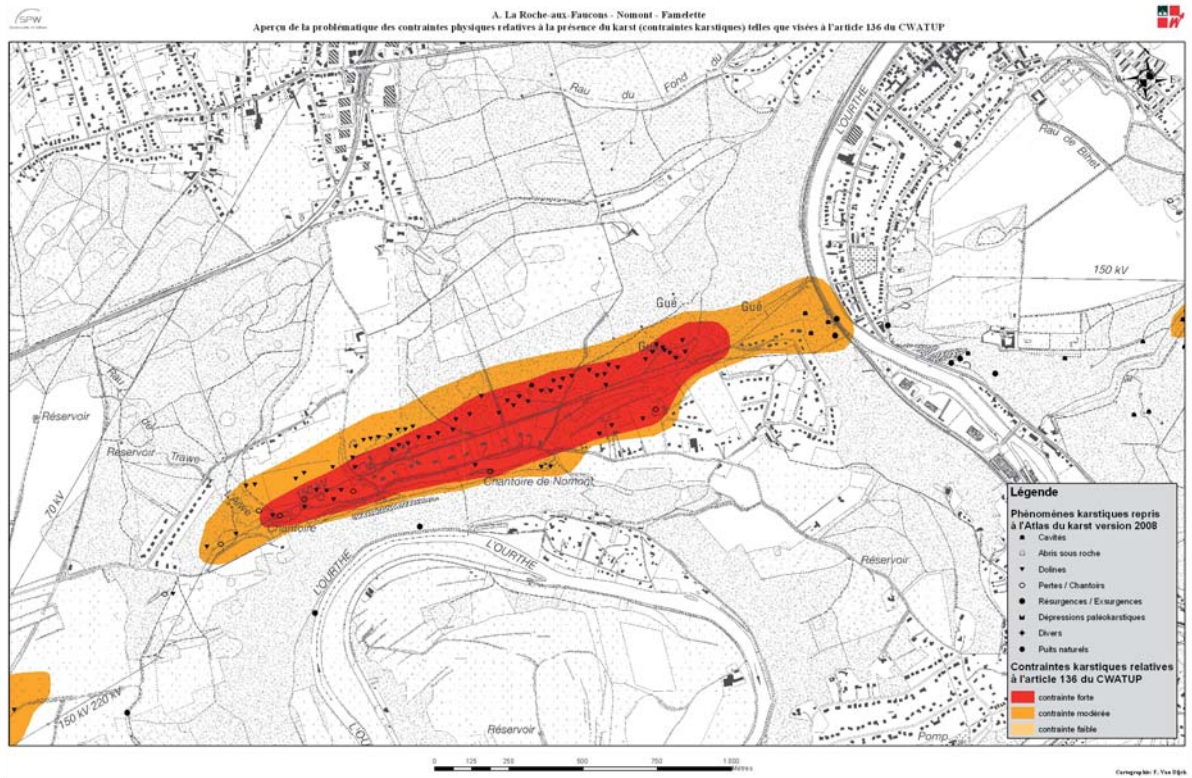


Figure 12. Périmètres de risques naturels et de contrainte géotechniques majeurs de nature karstique à La Roche-aux-Faucons.

de 30 % du territoire wallon, générant dès lors de nouveaux risques (Michel, 1998). L'apparition d'une doline ou d'une perte au milieu d'une zone forestière ou agricole est *a priori* relativement anodine, même si ce phénomène peut être de taille impressionnante. Cependant, quand il touche des zones régulièrement fréquentées par le public, occupées par des activités industrielles, traversées par des infrastructures, ou qu'il affecte des habitations, il existe un risque réel pour les biens et les personnes. Or, le karst et ses contraintes restent peu connus de la population.

C'est pourquoi, la DGATLP a pris l'initiative de faire réaliser une cartographie du risque karstique (Michel, 2006) et de faire inscrire dès 1997 la notion de contrainte physique (actuellement, risque naturel) ou de contrainte géotechnique majeure à l'article 136 du Code wallon de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et du patrimoine (CWATUP). Notons qu'on fait également référence à cette notion dans le Schéma de Développement de l'Espace Régional (SDER) qui a été adopté par le Gouvernement wallon le 27 mai 1999.

5.2. La définition des zones de contrainte

La version numérique de l'Atlas du Karst Wallon (AKWA) (Michel et de Broyer, 2005), qui existe déjà depuis 1994, n'était pas un outil suffisant pour gérer les demandes de permis situées dans les régions calcaires, car il ne proposait qu'une description des karsts 'classiques'. Or, la problématique karstique se présente sous un jour tout à fait différent dans la région du Tournai-

sis (Quinif, 2005). Il était donc indispensable de tenir compte de tous les processus karstiques qui ont une incidence sur l'aménagement du territoire dans le but non seulement d'évaluer le risque karstique à long terme, mais aussi de prendre en compte la protection des ressources naturelles, notamment les aquifères karstiques, qui constituent les plus grandes réserves d'eau de la Région wallonne, et de prévenir la destruction du patrimoine naturel (grottes et réseaux karstiques). Nous pensons notamment au karst recoupé par l'exploitation des carrières (Wellin, Rochefort, Florennes, Ecaussines) et aux points d'accès apparus par effondrement en surface vers un karst jusqu'alors inconnu (Esneux, Ciney, Ecaussines, Floreffe). Dans cette optique, l'inscription de périmètres de contrainte en zone d'extraction doit tenir compte de l'intérêt écologique et de la fonction de réserve naturelle du massif calcaire. Hormis l'impact sur le milieu naturel et les aquifères, l'estimation de la karstification d'un massif doit permettre d'éviter l'exploitation d'une roche fortement altérée (fantômes de roche), qui représente un volume supplémentaire de stériles pour le carrier.

Pour réaliser ce travail, la Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine (DGATLP) devenue depuis la Direction Générale Opérationnelle Aménagement du Territoire, du Logement du Patrimoine et de l'Energie (DGO4) a fait appel à trois équipes: la Faculté Polytechnique de Mons (FPMs), le Département de Géographie de l'Université de Liège (Ek *et al.*, 2006) et la Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains (CWE PSS).

5.3. Les contraintes karstiques en Région wallonne

En matière de risques naturels, le karst vient juste derrière les inondations, en termes de superficie et de nombre de communes concernés. Entre 1997 et fin 2006, le nombre de phénomènes répertoriés est passé d'environ 3700 à 6415, soit une augmentation de près de 75 %. Chaque année, de nouvelles formes karstiques se développent ou apparaissent lors d'aménagements (par exemple, la découverte en 2007 d'un karst lors des travaux du zoning d'Achêne à proximité de l'E411).

Près d'un tiers du sous-sol wallon est constitué de roches carbonatées appartenant au Dévonien, au Carbonifère et au Crétacé, couvrant 172 communes de Wallonie. Certains substrats carbonatés, tels les craies, sont toutefois moins propices au développement du karst. Par ailleurs, le niveau de karstification dépendra souvent aussi de la profondeur à laquelle se trouvent les calcaires, et il sera généralement maximum dans les communes où le calcaire est affleurant ou sub-affleurant. L'importance de la contrainte karstique peut donc varier énormément d'une commune (à sous-sol calcaire) à l'autre.

Pour l'ensemble de la Région wallonne, 449 périmètres de contrainte karstique ont été définis au sens de l'article 136 du CWATUP, représentant une superficie de 270 km². Ces périmètres incluent 2450 sites karstiques (fig. 12). Les phénomènes n'y présentent pas tous le même degré de dangerosité, mais ils constituent néanmoins une preuve patente de karstification. Pour les 3900 phénomènes karstiques non repris dans les périmètres de contrainte, il a été convenu avec les équipes universitaires engagées qu'une surface de 20 mètres de rayon autour de chaque phénomène devait être considérée comme zone de contrainte.

5.4. Evaluation du risque karstique

Il existe des méthodes d'investigation directes et indirectes (par prospection géophysique) du sous-sol qui permettent de localiser la présence de phénomènes karstiques. Avant d'engager des frais importants (plusieurs k€) pour ces investigations, il est nécessaire d'examiner les documents existants pour le terrain concerné afin d'estimer le caractère karstifiable du terrain et de s'assurer qu'on n'est pas en présence d'un autre type de phénomène (minier, par exemple). A cette fin, des documents tels que les cartes topographiques et géologiques, les cartes relatives à d'autres contraintes naturelles, les photos aériennes ainsi que les Plans Photo Numérique Communaux seront utilement analysés, de même que la toponymie de l'endroit.

Ensuite, une visite de terrain permettra d'identifier les indices d'une activité karstique (présence de dépressions, fissuration des bâtiments existants, etc) aux environs de la parcelle à bâtir. Ces études préalables doivent être réalisées avant une éventuelle prospection géophysique du sous-sol, afin de choisir les meilleures techniques disponibles.

5.5. Les mesures de prévention

Bien qu'il ne soit pas possible de passer en revue toutes les méthodes destinées à pallier les risques liés à la présence d'une contrainte karstique, cinq options peuvent être envisagées selon le type de phénomène rencontré, son importance et son environnement:

- **ne pas intervenir et déclarer la zone non constructible:** cette solution est la plus radicale mais elle a des conséquences financières pour les propriétaires des terrains déclassés. Elle été préconisée par la DGO4 pour les périmètres de contrainte karstique forte. Néanmoins, si le demandeur démontre, étude géotechnique à l'appui, que le site peut être normalisé moyennant certaines mesures, l'interdiction de bâtir peut être levée (permis soumis à conditions).
- **délimiter avec précision la zone karstifiée:** cette mesure vise à évaluer l'évolution probable des sites karstiques et leurs conséquences à moyen terme sur la stabilité des terrains. En effet, l'évolution d'un phénomène karstique ou d'une cavité souterraine peut varier très fort. Par exemple, selon sa profondeur, la voûte d'une grande salle de grotte peut s'avérer ou non suffisamment solide pour supporter des constructions en surface. Il faut éviter de construire non seulement à proximité d'un phénomène identifié mais aussi dans la zone vers laquelle il pourrait s'étendre. Des techniques de détection existent pour déterminer l'état de karstification du sous-sol. La Faculté Polytechnique de Mons a réalisé un vade mecum pour l'analyse des demandes de permis d'urbanisme susceptibles de présenter un risque karstique pour les habitations et leurs occupants.
En matière de détection, parmi les méthodes géophysiques, les tomographies électriques en deux et trois dimensions et la microgravimétrie sont les plus utilisées un peu partout dans le monde car elles donnent souvent de bons résultats, particulièrement en combinaison avec des méthodes géotechniques telles que les sondages (destructifs ou carottés) et la pénétrométrie. Bien sûr, la mise en œuvre de profils géophysiques est parfois limitée par le degré d'urbanisation des terrains environnants.
- **supprimer l'aléa:** cette solution vise à traiter les parties instables du sous-sol par des dispositifs qui assurent la stabilité à long terme. Elle est difficilement concevable à des coûts raisonnables pour des phénomènes de grande taille, à moins qu'on ne dispose pas de tracé ou d'implantation alternatifs (par exemple pour les grandes infrastructures publiques).
- **limiter les impacts directs du phénomène:** cette solution vise à laisser évoluer naturellement les parties potentiellement instables du sous-sol lorsqu'un phénomène a été localisé en profondeur et à adapter le projet aux contraintes géotechniques

qui en résultent, de façon à ce que ce dernier puisse résister à la remontée éventuelle de l'effondrement jusqu'au niveau du sol (phénomène de fontis).

- **limiter les conséquences indirectes du phénomène:** lorsqu'un effondrement karstique en profondeur se propage vers la surface, les terrains de couverture, parfois épais, subissent aussi les effets de la gravité. C'est le cas par exemple des puits naturels du Tournaisis (Quinif, 2005). Après un tel affaissement, l'équilibre en surface ne sera retrouvé que lorsque les matériaux de couverture auront atteint la pente d'équilibre, plus ou moins faible en fonction de la nature des matériaux et de la présence d'une nappe aquifère ou d'un cours d'eau.

De toute manière, l'évaluation du risque doit déboucher sur des conclusions claires permettant aux autorités compétentes (commune, région) de prendre une décision en matière d'urbanisme. Notons que la responsabilité civile des édiles est engagée lorsque leur décision va à l'encontre de ce qui est recommandé par la carte du risque karstique.

6. CONCLUSIONS

La maîtrise de l'urbanisation permet de lutter efficacement contre la plupart des risques naturels présentés pour autant que les éléments qui président à leur surveillance soient connus et que la délimitation des périmètres d'aléa ait été réalisée sur base de critères objectifs et si possible scientifiques. Une connaissance régulièrement actualisée de ces aléas est indispensable si on veut évaluer correctement le degré de risque auquel sont soumis les personnes, les biens et les activités économiques, et arbitrer au mieux la coexistence entre différents types d'occupation du sol, en conciliant les enjeux du développement territorial et la sécurité des biens et surtout des personnes. La mise en œuvre d'une vraie politique d'aménagement du territoire en matière de gestion des risques naturels nécessite aussi un cadre juridique, tel par exemple l'article 136 code wallon de l'aménagement du territoire et du patrimoine en Wallonie, et une information continue des principaux acteurs de l'aménagement du territoire (administrations, architectes, promoteurs, population).

Afin d'assurer une gestion efficace des demandes de permis (plus de 40000 par an en Wallonie), il est indispensable d'en réaliser un repérage précis à l'aide d'un système d'informatique géographique permettant de superposer différents couches d'informations cartographiques (aléas, affectation du sol, orthophotoplans, plan cadastral) et d'identifier rapidement les principales contraintes physiques auxquelles est exposé un terrain dit à bâtir.

En date du 24 avril 2003, le Gouvernement wallon a adopté le plan PLUIES, un plan global et intégré dont les principaux effets concrets ont été l'adoption des cartes d'aléas d'inondation par débordement de cours d'eau et celles du risque de dommages. La mise en

œuvre de ce plan s'avère cependant plus difficile que prévu en raison de ses conséquences au niveau foncier, engendrant de nombreux recours et questions parlementaires. C'est pourquoi, il est urgent de trouver un juste équilibre entre la poursuite du développement économique et la protection des biens et des personnes, en proposant, quand cela est possible, des mesures de mitigation. Cet objectif sera toutefois difficile à atteindre dans certaines zones de loisirs (par exemple, les campings localisés en zone inondable) où le principe de précaution vis-à-vis d'un aléa élevé semble devoir primer. A contrario, il est illusoire de vouloir interdire toute nouvelle construction ou reconstruction dans des zones inondables situées au centre des villes régulièrement inondées (Dinant, Huy, ...).

Bibliographie

- Brouyaux, F., Mormal, P., Tricot, Ch. et Vandiepenbeeck, M., 2004 - La Belgique au fil du temps - Les événements météorologiques marquants du vingtième siècle en Belgique - Institut Royal Météorologique de Belgique, Ed. Le Roseau Vert.
- CWATUP (Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine). Décret du 27 novembre 1997. Ministère de la Région wallonne, DGATLP - RW.
- Closson, D., Demoulin, A., Ek, C., Erpicum, M., Mabilie, G., Petit, F. et Pissart, A., 1995. Mise au point d'une méthode permettant de définir les critères de bon aménagement local sur base de l'analyse des contraintes physiques. Etude pilote de la commune de Sprimont. Convention entre la DGPLTP et le Département de Géographie physique et de Géologie du Quatenaire de l'ULG. Rapport final, 84 p.
- Coppin, B., 2006. Les risques majeurs en Région wallonne - Prévenir en aménageant. Le projet de cartographie du risque de dommages dû aux inondations en Région wallonne. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 100-112.
- Dautrebande, S., 2006. Les risques majeurs en Région wallonne - Prévenir en aménageant. Détermination de la "courbe enveloppe" des zones d'inondation par une méthode hydro-pédologique. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 90-97.
- Dautrebande, S. et Mokadem, A., 2006. Les risques majeurs en Région wallonne - Prévenir en aménageant. Erosion hydrique et ruissellement : le projet ERRUISSOL. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 116-122.
- Demoulin, A., Pissart, A., Poty, E., Barchy, L., Marion, J-M. et Chung, C., 1999. Les glissements de terrains du Pays de Herve. Rapport final de la convention DGATLP-ULG. Service de Paléontologie animale. Laboratoire de litho et zoostratigraphique, 146 p.
- Direction générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction, 2004. Les Outils - Inondations - Guide de remise en état des bâtiments. Document réalisé par le Centre Scientifique et technique du Bâtiment, République Française.
- Donnay, F., Mols, J., Petit, F., Snijders, J-P. et Van Campenhout, J., 2006. Les risques majeurs en Région wallonne - Prévenir en aménageant. La cartographie des zones inondées : approche géomorphologique et enquêtes de terrain. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 2006, 44-59.
- EAUFRANCE, 2008. <http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique161>.
- Ek, C., Schyns, J-C. et Ozer, A., 2006. Les risques majeurs en Région wallonne -Prévenir en aménageant. Le karst. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 154-175.
- Gillard, O. 1998. Les bases techniques de la méthode Inondabilité. CEMAGREF: Centre National du

- Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts. France.
- GTI - Groupe Transversal Inondation, 2006. Les risques majeurs en Région wallonne -Prévenir en aménageant. La cartographie des zones d'inondation dans le cadre du plan PLUIES. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 34-40.
- Hoek, E., 2007, Practical Rock Engineering . University of Toronto, Canada, 47p.
- IRM (Institut royal météorologique de Belgique), 2001. Bilan climatologique du 20^{ème} siècle.
- Juvigné, E. , Ozer, A., Schroeder, C. et Schyns, J-C, 2006. Les risques majeurs en Région wallonne -Prévenir en aménageant. Les zones à risques d'éboulement de parois rocheuses en Wallonie. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 180-193.
- Juvigné, E., Ozer, A., Salmon, M. et Schyns, J-C, 2008. Les risques majeurs en Région wallonne – Le risque d'éboulement de parois rocheuses – Prévenir ou soutenir. Cartographie numérique des zones à risque d'éboulement de parois rocheuses en relation avec les zones urbanisables et les voies de communication. Etudes et Documents (DGATLP) 8, 34-75.
- HACHL (Laboratoire d'hydrodynamique appliquée et des constructions hydrauliques de l'Université de Liège), 2006. Les risques majeurs en Région wallonne -Prévenir en aménageant. Modélisation des zones inondables en Région wallonn. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 72-87.
- Michel, R., 1998. Le karst, une contrainte pour l'aménagement du territoire en Wallonie. Les Cahiers de l'Urbanisme, Région wallonne, 21 :42-54.
- Michel, R, 2006. Les risques majeurs en Région wallonne -Prévenir en aménageant. La prise en compte des risques majeurs : une composante essentielle de l'aménagement du territoire en Région wallonne.. Etudes et Documents, 7, DGATLP, 8-11.
- Michel, G. et De Broyer, C., 2005. L'atlas du karst wallon : outil pour une gestion intégrée des régions calcaires. Comptes rendus du colloque international «Karst et aménagement du territoire», Namur, 35-44.
- Ozer, A., Bonino, E., Closson, D., Ozer, P., Petit, F. et Pissart, A., 1998. Etude des contraintes physiques et géotechniques du Mont-de-l'Enclus. Convention DGATLP-ULG. Laboratoire de Géomorphologie et de Télédétection. Rapport final, 87 p.
- Ozer, A., Schroeder, C., Ek, C., Havenith, H. et Schyns, J-C., 2004. Contraintes physiques inhérentes aux glissements de terrain et au karst dans le Crétacé du Pays de Herve. Rapport final de la Convention DGATLP-ULG, Laboratoire de Géomorphologie et de Télédétection.
- Ozer, A., Schroeder, C. et Schyns, J-C., 2006. Les risques majeurs en Région wallonne -Prévenir en aménageant. Les glissements de terrain en Wallonie. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 197-209.
- Quinif, Y, 2005. Les effondrements karstiques hennuyers : causes et résultats. Comptes rendus du colloque international «Karst et aménagement du territoire», Namur, 17-33.
- Schroeder, C., 2008. Les risques majeurs en Région wallonne – Le risque d'éboulement de parois rocheuses – Prévenir ou soutenir. La stabilité des parois – méthodologie d'étude et modes de confortement. Etudes et Documents (DGATLP) 8, 78-159.
- Schroeder, C, Schyns, J.-C. et Ozer, A., 2004. Etude des contraintes physiques inhérentes aux glissements de terrain et au karst dans le Crétacé du Pays de Herve. Convention DGATLP-ULG. Laboratoire de Géomorphologie et de Télédétection. Rapport final.
- Van Dijck, F., 2006a. Les risques majeurs en Région wallonne - Prévenir en aménageant. Les calamités naturelles en Wallonie. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 14-31.
- Van Dijck, F., 2006b. Les risques majeurs en Région wallonne - Prévenir en aménageant. Les mesures de mitigation contre les effets des inondations à l'attention des particuliers. Etudes et Documents (DGATLP) 7, 126-151.
- Van Dijck, F., 2008. Les risques majeurs en Région wallonne – Le risque d'éboulement de parois rocheuses – Prévenir ou soutenir. L'éboulement de parois rocheuses - Prise en compte d'un risque majeur en Région wallonne. Etudes et Documents (DGATLP) 8, 12-31.

