

LE KARST

C. EK¹, J.-C. SCHYNS¹ et A. OZER¹

¹ Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection, Université de Liège

I. Les phénomènes karstiques

1. Originalité des régions calcaires

En Wallonie, comme dans le reste du monde, ce sont les grottes qui constituent le trait marquant des régions calcaires. Royaume des rivières souterraines, des concrétions fantasmagoriques, des éboulis inquiétants et des chauves-souris, les cavernes sont nombreuses en Wallonie, de Dinant à Comblain-au-Pont. Un alignement de grottes jalonne en particulier une bande calcaire étirée le long de la bordure nord de l'Ardenne proprement dite, de Couvin à Remouchamps en passant par Beauraing, Han, Rochefort, Hotton, Sy et bien d'autres lieux. Mais les grottes ne sont pas le seul trait caractéristique des régions calcaires. Les dolines (petites dépressions fermées) et les chantoirs ou chantoires (points d'engouffrement de l'eau sous terre) en sont aussi des phénomènes typiques.

Des formes de plus grande ampleur marquent aussi le paysage calcaire : les sections de grandes vallées sèches, comme la Chavée de Han-sur-Lesse et les vallons secs plus modestes comme le vallon des Chantoirs à Remouchamps. Il n'y a pas que le relief qui soit marqué par ce type de roche : la végétation l'est aussi, et profondément : les pelouses calcaires sont constituées d'une flore très particulière, thermophile et xérophile, et les boisements sur calcaire ont leur originalité.

Le trait commun des régions calcaires est la disparition de l'eau, son enfouissement sous la surface du sol. Exploitant les fissures, l'eau s'insinue sous terre, élargit ses conduits, creuse des grottes qu'elle parcourt, et constitue sous terre d'importantes réserves d'eau. La disparition de l'eau de la surface du sol explique le caractère xérophile de la végétation. La circulation souterraine rapide et importante est caractéristique non seulement des calcaires proprement dits mais de toutes les roches aisément solubles dans l'eau. C'est en Belgique le cas, notamment, de deux types de roches de la famille des calcaires : la dolomie et la craie.

2. Les roches solubles de Wallonie : calcaires, dolomies et craies

Les calcaires sont essentiellement constitués de carbonate de calcium. Celui-ci peut être dissous par une eau acide assez aisément ; c'est lui qui, dissous, reprécipite dans les canalisations d'eau de nos maisons, mais aussi sous forme de très belles concrétions dans les grottes. La dolomie est une roche formée de carbonate de calcium et de magnésium. On en trouve également en Wallonie. Enfin, la craie, qui est comme le calcaire constituée de

carbonate de calcium, a la particularité d'être plus poreuse, plus fragile et présente moins de grottes pénétrables, tout en offrant néanmoins des signes d'une dissolution parfois importante.

3. Où sont localisées ces roches en Wallonie ?

La carte (figure1) montre la répartition des roches carbonatées en Wallonie. Les calcaires sont nombreux au nord de l'Ardenne proprement dite : la bande calcaire déjà citée, qui va de Couvin à Remouchamps, est truffée de grottes et autres phénomènes (chantoirs, vallées sèches, etc.) très typiques. Cette bande comporte essentiellement des calcaires, mais aussi quelques niveaux de dolomie. Au nord de cette bande s'étend le Condroz, très riche aussi en calcaires et en dolomies, de même que la région qui le jouxte au nord, l'Ardenne condrusienne. Plus au nord encore, le bassin de Mons, la Hesbaye et le pays de Herve comportent des craies qui ont, elles aussi, subi d'importants phénomènes de dissolution. Au sud de l'Ardenne, enfin, les terrains secondaires de la Lorraine belge comportent aussi quelques formations calcaires, calcaire parfois pur, mais plus souvent mêlé de matériel argileux ou gréseux.

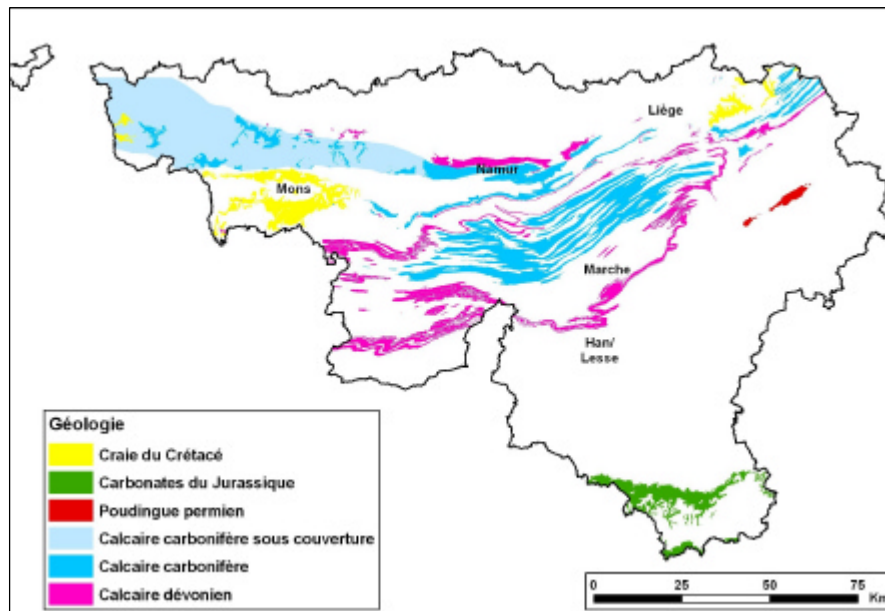


Figure 1: Carte de localisation des régions calcaires de Wallonie.

On voit que les roches solubles de la famille des calcaires affleurent sur une fraction importante de la Wallonie (figure 1). Il n'y a guère que l'Ardenne proprement dite qui en soit exempte, ou presque, car dans la région de Malmédy et Stavelot, un conglomérat très calcaire s'allonge sur une vingtaine de kilomètres : le poudingue de Malmédy.

Toutes ces roches solubles peuvent donner naissance à des phénomènes karstiques.

4. Le karst

Karst est en fait le nom propre (en allemand) d'un plateau calcaire de l'Adriatique, il s'étend dans les Monts dinariques, à travers l'ancienne Yougoslavie et plus particulièrement en Slovénie, en Croatie et en Bosnie-Herzégovine. Etymologiquement, le mot viendrait de la racine indo-européenne krs, qui désigne un terrain rocheux. On dit kras en slovène, mais cette région a fait l'objet d'études géographiques au XIX^{ème} siècle de la part des chercheurs de

l'Empire austro-hongrois et c'est la version germanique Karst qui est dès lors rentrée dans l'usage. Le sens du mot s'est élargi, il désigne maintenant une région calcaire, ou plus largement encore une région de roches solubles dont le paysage est marqué par les effets de la dissolution. On dit une roche karstique, un paysage karstique, une région karstique.

5. Les formes typiques du karst de Wallonie

Les processus qui engendrent les phénomènes karstiques ne sont pas sans influence sur les entreprises humaines. Le tassement progressif du sol, là où l'eau entraîne les matières fines dans des fissures, les effondrements de plafonds de grotte, l'assèchement de lits de ruisseau par l'absorption du cours, les inondations liées à l'obstruction de points d'enfouissement des eaux, la pollution de sources karstiques sont autant de périls qui peuvent guetter les œuvres de l'homme en terrain soluble. Il est donc primordial de pouvoir identifier les zones karstiques. En bien des endroits, des critères clairs permettent de détecter et de délimiter ces terrains : les formes de surface et la morphologie souterraine présentent en terrain karstique des caractères originaux.

a. En surface

Le karst se reconnaît surtout, en surface, à l'existence de dépressions fermées dans lesquelles l'eau peut s'infiltrer directement dans le sous-sol. On appelle ces dépressions des dolines (figure 2). Les dolines sont fréquemment plus ou moins circulaires et leur diamètre, en Belgique, peut aller d'un mètre à plusieurs dizaines de mètres ; dans d'autres pays, ce diamètre peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Elles peuvent être dues à une dissolution lente et à une absorption progressive du sol superficiel à travers des fissures ; elles ont alors des formes douces. Leur origine peut aussi se trouver dans l'effondrement d'un toit d'une cavité souterraine et elles présentent des formes vives (figure 10). Si le calcaire est sous-jacent à une couverture de roches non solubles (grès ou schistes par exemple), l'effondrement peut se manifester à travers ces dernières ; ce qui peut surprendre l'aménageur ou l'entrepreneur vu que la roche soluble est cachée sous une autre roche non soluble. C'est pourquoi, l'étude des contraintes karstiques ne peut se limiter aux seuls terrains où affleurent les roches carbonatées, mais aussi dans leur voisinage immédiat.

Les cours d'eau, ruisseaux ou rivières, peuvent s'enfouir sous terre, temporairement, ou périodiquement, ou de façon permanente. Ces pertes portent en Belgique des noms dialectaux évocateurs : chantoir (ou chantoire), agolina, adugeoir, etc. (voir figure 3). Les eaux enfouies laissent généralement à sec le lit du cours d'eau, ce qui donne naissance à une vallée sèche. La réapparition des eaux donne lieu à une résurgence que l'on peut prendre pour une source. Attention toutefois : le fait que cette eau ne provient pas d'une nappe aquifère filtrée dans des roches poreuses mais bien d'un cours d'eau de surface qui s'est enfoui, augmente nettement les risques de pollution.



Figure 2 : Doline-perte d'un ruisseau à Florennes (FPMs, décembre 2004).

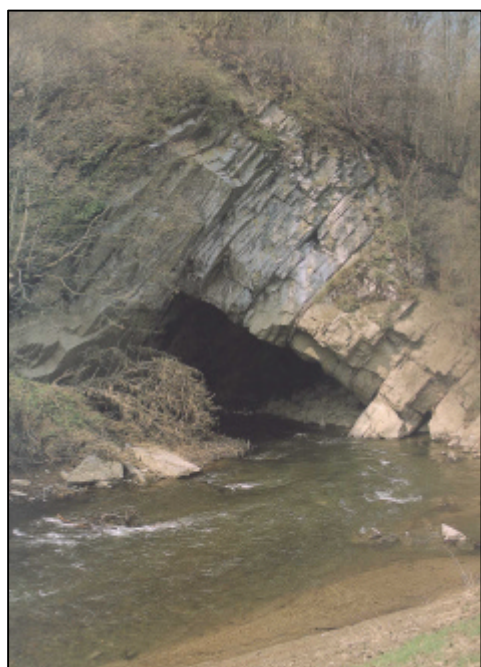


Figure 3 : Perte de la Lesse au niveau du Gouffre de Bellevaux. Photo cwepss

b. Sous terre

Le paysage souterrain est plus explicite que le paysage de surface pour la localisation et l'évaluation du risque karstique. Aussi l'exploration spéléologique est-elle une méthode reine pour préciser la nature et le degré des risques éventuels. Les grottes comportent des galeries qui peuvent être subhorizontales ou en pente, qui peuvent être sèches ou parcourues par un cours d'eau (figure 4). Les passages peuvent présenter des fissures. Les cavités souterraines peuvent aussi comporter des conduits verticaux, puits ou cheminées, avec ou sans écoulement d'eau, avec des micromorphologies de paroi montrant les traces d'un passage lent ou rapide de l'eau. Les salles (figure 5) sont généralement le résultat d'effondrements et peuvent montrer sur leur plancher des blocs éboulés. L'eau courante et l'eau stagnante laissent des

traces ; un courant peut laisser sur les parois des coups de gouge (petites concavités décimétriques sur une paroi) donnant le sens du courant et des indications sur sa vitesse ; une eau stagnante peut laisser des bourrelets de concrétions indiquant le niveau et permettant de le dater par des méthodes d'étude de la radioactivité.

Lorsque des parties de réseaux sont inaccessibles à l'Homme, par exemple parce qu'elles sont noyées et comportent des passages trop étroits, le traçage du cours souterrain par des colorations peut indiquer la direction suivie par l'eau, la vitesse du parcours, la rencontre d'affluents éventuels, etc.

Diverses méthodes de prospection géophysique (voir chapitre III) apportent aussi leur contribution à la connaissance des grottes. La connaissance approfondie des cavités permet d'apprécier leur impact éventuel sur la surface du sol et donc sur les entreprises humaines en matière d'affectation du sol, d'aménagement du territoire ou de protection de l'environnement.



Figure 4 : Débordement de la Lesse souterraine à Han-sur-Lesse (Ek, 1986).

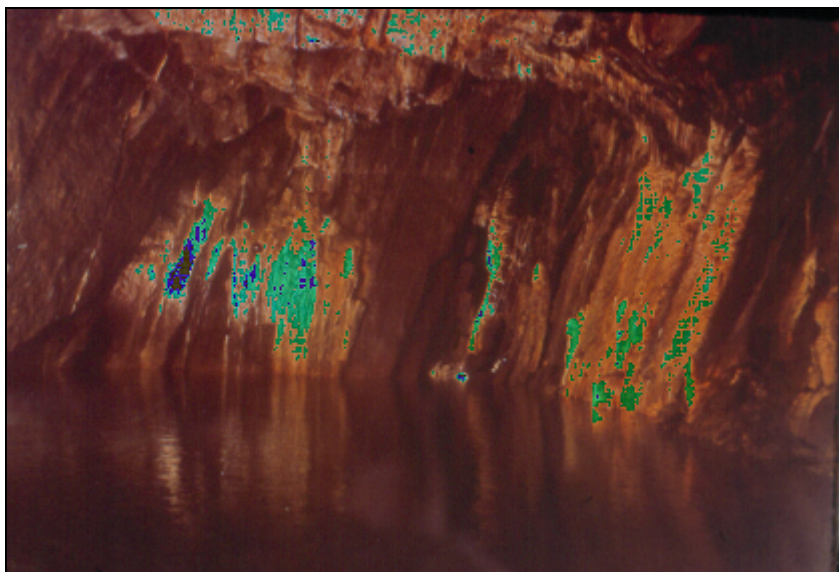


Figure 5 : Lac de la Fontaine de Rivière - largeur moyenne : 20m (photo Joseph Godissart et Michel Philippe).

c. Un cas limite : les dolines d'effondrement

Il arrive qu'un phénomène souterrain émerge à la surface du sol. C'est le cas quand le plafond d'une salle de grotte connaît des effondrements qui, progressivement, provoquent l'exhaussement du plafond jusqu'à ce que celui-ci crève la surface. Les dolines d'effondrement ne sont pas rares au Tournaisis. Depuis le début du 20^{ème} siècle, on en a recensé plusieurs centaines, se produisant dans les zones sous lesquelles le calcaire carbonifère est présent à faible profondeur. Mais si on ne se limite pas au Tournaisis, on peut compter de nombreuses centaines de "puits naturels" dans le bassin houiller du Hainaut.

Les "puits naturels" du Tournaisis ont une profondeur de plusieurs mètres, couramment une dizaine de mètres, parfois plus, et un diamètre de l'ordre du mètre, ou d'une dizaine, ou parfois de plusieurs dizaines de mètres (figure 6). Leurs bords verticaux attestent qu'ils se forment par effondrement. Dans un mémoire de licence de 1983, N. Delattre cite plusieurs témoignages directs et formels de la soudaineté de leur apparition. Ils peuvent évidemment être très dangereux si on pense qu'un d'entre eux est apparu dans la cour d'une école (un jour de congé), un autre en bord de route sous une conduite de gaz, d'autres enfin dans le lit de l'Escaut, dont une partie du cours s'engouffrait alors dans le puits (Delattre, 1985).

Tous ces puits vont en fait de la surface du sol au calcaire paléozoïque sous-jacent présent à faible profondeur, et à partir duquel se propagent vers le haut les vides provenant de la chute de la couverture secondaire et tertiaire dans les cavités du calcaire. Toutefois, on notera que la corrélation évidente entre leur fréquence et les pompages abusifs entraînant un abaissement de la nappe aquifère montre que, dans les périodes où ces puits ont été abondants depuis 1950 au moins, leur qualificatif de "naturel" est *euphémique* car les pompages à usage industriel ont clairement été à l'origine de la multiplication des effondrements. Les puits naturels, leur mode de développement et leurs conséquences ont été l'objet de nombreuses études fouillées par les chercheurs de la Faculté polytechnique de Mons, sous la direction d'Yves Quinif (voir notamment Quinif, 2006).



Figure 6: Effondrement au nord de Tournai, la taille des hommes dans les ellipses donne une idée de l'échelle (FPMs, 2003).

6. Les processus karstiques

Les processus de la karstification se déroulent essentiellement dans la masse de la roche, au sein de celle-ci, et ne sont donc en général pas directement perceptibles en surface, sauf lorsqu'ils se propagent depuis la profondeur jusqu'à l'affleurement ou lorsque l'eau, trouvant des fissures, s'y perd et abandonne à la surface une vallée qui devient curieusement sèche. Dans bien des cas, la prospection spéléologique est la seule méthode d'observation directe des processus de karstification. Elle seule permet, notamment, de distinguer la part de travail qui revient à la dissolution de la roche (processus physico-chimique) et ce qui est dû à l'érosion (processus mécanique), ce qui importe évidemment pour le traitement des problèmes.

a. Le stade initial de la karstification

Lorsque l'eau commence à s'infiltrer dans la roche - dans ses fissures ou dans les pores de sa masse - la dissolution seule agit. Le débit de l'eau dans ces conditions est si faible que le liquide ne peut avoir d'action mécanique et, surtout, la vitesse d'écoulement de l'eau dans les pores et dans les fissures est trop basse pour que l'eau puisse rien éroder. La dissolution est donc le phénomène initial.

b. Les stades ultérieurs

Lorsque les fissures s'élargissent, l'eau peut y couler plus vite et l'érosion mécanique s'installe, finissant, dans beaucoup de cours d'eau souterrains, par être plus importante que la dissolution. Le sable et les cailloux transportés usent le lit des rivières souterraines. Lorsque des conduits s'élargissent et que naissent des salles, des écroulements de plafond s'ajoutent - ou succèdent - à l'action de l'eau. Lorsque, par effondrements successifs, la cavité atteint la surface du sol, une catastrophe peut survenir.

c. Une autre origine de la karstification : "les fantômes"

Une genèse particulière du karst a été observée par l'équipe de la Faculté Polytechnique de Mons (FPMs), sous la direction d'Yves Quinif, dans les calcaires carbonifères du Hainaut. Dans ces calcaires, s'observent, en de nombreux endroits, non pas des conduits souterrains vides mais "des zones altérées où des galeries renferment non pas des alluvions ou remplissages divers apportés par l'eau souterraine dans des vides, mais des altérites (matériel altéré, n.d.a.) dérivant de l'altération chimique de la roche saine in situ (Quinif, 1999 ; Quinif *et al.*, 1993 ; Vergari et Quinif, 1997)". Les matériaux insolubles, comme la silice, et les éléments plus difficile à dissoudre, comme certains fossiles ou des veines de calcite, restent en relief. La matrice de la roche, constituée de calcaire fin, est dissoute et la porosité est ainsi fortement augmentée, pouvant même atteindre 45%, il ne subsiste donc du massif rocheux originel qu'une sorte de "fantôme de roche". Ce type de genèse a maintenant été observé dans d'autres formations géologiques et d'autres régions du monde.

II. Karst et aménagement du territoire

1. L'origine des problèmes

a. Solubilité, fissuration

Les phénomènes karstiques sont caractéristiques des roches solubles. En Wallonie, il s'agit des calcaires, des dolomies et des craies. Dans ces roches, même en circulant lentement, les eaux acides peuvent attaquer la roche en la dissolvant. Le développement de cavités souterraines est fortement favorisé par la fissuration de la formation géologique: dans les fissures, l'eau peut se concentrer, alors que sa dispersion dans les pores d'une roche non fissurée ralentit l'évolution. En général, les discontinuités, diaclases, joints de stratification et failles, sont susceptibles de favoriser la circulation de l'eau et donc la karstification.

b. La dynamique des processus

La dissolution progresse très lentement, l'érosion par les eaux courantes souterraines est aussi, en général, un processus lent, qui ne progresse qu'à une échelle de temps "géologique". Par contre, une fois des vides constitués, les effondrements peuvent se produire de façon imprévue et instantanée.

Une importante source de dommages consiste dans les changements rapides liés, par exemple, à l'obstruction d'une perte par des sédiments ou plus souvent par des branchages, feuillages et autres débris végétaux obstruant un passage : on a dans ce cas la source d'une inondation en amont. Au contraire, l'évacuation soudaine, lors d'une crue, d'un remplissage (sable, limon ou autre) d'une cavité comblée peut favoriser l'affaissement de son toit. Les eaux superficielles peuvent entailler la couverture meuble et exhumer des roches fissurées par où l'eau peut s'infiltrer, d'où la naissance soudaine d'une perte. D'autres fois, ce sont les activités humaines qui débouchent l'orifice d'un ancien chantoir comblé et disparu. On croit voir là l'œuvre soudaine des processus karstiques alors que l'homme n'a fait que rouvrir un conduit abandonné. Ce sont là des processus beaucoup plus rapides que les précédents, et parfois la source de catastrophes.

c. La notion de contrainte karstique

Ce sont ces processus qui ont amené la notion de **contrainte karstique dans la politique d'aménagement du territoire de la Région Wallonne**. Pour bien aménager, il ne suffit pas de favoriser tel ou tel usage du sol. Il est aussi important de tenir compte des contraintes naturelles qui peuvent favoriser ou défavoriser tel type d'urbanisation à certains endroits. Il faut tenir compte aussi des interactions entre l'homme et le karst. La « nature » peut imposer de déplacer, dans un but de sécurité, l'implantation d'une construction ou infrastructure. Dans tous les cas, il faut interdire de construire sur une doline.

Il peut également arriver qu'une construction ou une affectation du sol soit susceptible d'être dangereuse, non pour l'homme, mais pour son milieu : une décharge en terrain karstique fissuré peut polluer les eaux, une construction faisant obstacle à l'écoulement d'un ruisseau peut provoquer une inondation en amont de la zone concernée, etc. L'établissement d'un projet d'aménagement suppose donc que l'on tienne compte des influences possibles des

phénomènes karstiques sur les travaux des hommes, mais aussi des effets possibles des entreprises humaines sur le milieu.

d. Gouverner, c'est prévoir

Une fois une construction ou un aménagement réalisés, il arrive souvent qu'on éprouve le besoin d'ajouter, en fonction du développement de l'entreprise ou du site, un muret, un puits ou une voirie avec un revêtement hydrocarboné. Ces actes et travaux peuvent avoir des effets néfastes (le plus souvent sur l'écoulement des eaux) qui ne sont pas la conséquence du projet initial, et qui sont dangereux pour le milieu ou l'établissement lui-même. L'impact desdits travaux complémentaires doit aussi faire l'objet d'une attention particulière.

2. Exemples de cas

a. Affaissements

Dans le village de Xhoris (commune de Ferrières), de nombreux phénomènes karstiques ont été cartographiés dont plusieurs au cours des dernières années. Ceux-ci sont liés à la présence d'une circulation d'eau souterraine. En effet, la totalité des eaux d'un ruisseau en provenance du sud, se perdent dans le chantoir de Xhoris, vaste dépression située à l'est du village. Ces eaux rejoignent l'Ourthe par le biais de conduits souterrains passant sous Xhoris. Cette circulation entraîne, en surface, l'apparition d'effondrements. C'est notamment le cas de la doline n°3 de En Jehoge située non loin du chantoir de Xhoris. Il s'agit d'une doline de tassement remblayée et sur laquelle une maison a été construite il y a une trentaine d'années.

Cette doline a récemment rejoué avec pour conséquence la déstabilisation, par décrochement d'une partie des fondations, de l'habitation construite au-dessus de celle-ci (figure 7). Cette habitation était, en 2005, en cours de consolidation car de nombreuses fissures sont apparues sur la façade de celle-ci suite à cet événement. Il s'agit d'un exemple d'affaissement karstique qui, par sa localisation, a eu des conséquences importantes en surface. Ce cas démontre aussi que le remblaiement de dépressions karstiques ne cause nullement l'arrêt de l'activité de dissolution du calcaire. D'autres cas de constructions humaines endommagées par des affaissements d'origine karstique ont été rencontrés dans le Tournaisis et dans la région de Feluy notamment (figure 8).



Figure 7: Dégâts à la maison située sur la doline n°3 de En Jehoge - Xhoris (Schyns, 2005).

Figure 8: Effondrement sous un garage dans la région de Feluy (FPMs, début des années 2000).

b. Effondrements

Fin janvier 2006, un effondrement cylindrique de 8m50 de diamètre et 4m de profondeur (dont 3m sous eau) est survenu à hauteur de Stambruges (Beloeil). Il a perforé le chemin de halage et une des berges du canal Blaton-Ath et a fait communiquer le canal passablement pollué avec l'eau de la nappe pompée pour l'alimentation en eau potable de Stambruges et Beloeil provoquant du même coup la pollution et l'arrêt de la fourniture d'eau potable dans la région (figure 9).

Il est intéressant de noter qu'un mois plutôt (fin décembre 2005), un autre effondrement avait eu lieu à 5m environ de cet effondrement, dans un champ un peu en retrait du canal (~3m50 de diamètre, ~2m50 de profondeur, à sec). Il avait été rebouché avec de l'argile mais avait déjà rejoué donnant naissance en surface à un petit effondrement conique de 1m80 de diamètre et 1m de profondeur visible sur le terrain. Cet effondrement dans le champ a été accompagné quelques jours après d'un autre effondrement à 3m de l'effondrement actuel. Cet effondrement a détruit la moitié du chemin de halage cette fois-là, avec déjà perte des eaux du canal dans la nappe. Il avait été remblayé et le chemin de halage réparé avec du "stabilisé". Cet effondrement rejoue également, le stabilisé était à l'heure actuelle fissuré.

De nombreux autres puits naturels ont été observés dans le Tournaisis comme à Templeuve ou dans la région de Florennes, pour ne citer que ces exemples. Un effondrement très important a aussi été observé dans la région liégeoise, à Amostrenne (commune d'Esneux) plus précisément (figure 10).



Figure 9 : Effondrement survenu à Stambruges (FPMs, 2006).

Figure 10 : Effondrement d'Amostrenne (C. Ek, 2002).

c. Inondations

Le Trou du Moulin (à Sprimont, entre les hameaux d'Adseux et de Deigné) est un chantoir qui absorbe les eaux du ruisseau du Fond Bastin, descendant du versant ardennais (le versant est) du vallon des Chantoirs.

Le ruisseau, venant de l'est, une fois arrivé au fond du vallon, fait un coude vers le sud, et s'écoule dans un ravin encaissé d'environ quatre mètres sous le fond plat du vallon des Chantoirs.

Les eaux du Fond Bastin s'engouffrent dans le Trou du Moulin et la résurgence des eaux se fait dans l'Amblève, à plus de 4 kilomètres à vol d'oiseau du point d'engouffrement. Le fait a été montré par coloration.

Toutefois, lors de crues exceptionnelles dues à des averses orageuses, il arrive que le Trou du Moulin ne soit pas capable d'absorber la totalité des eaux. Le ravin encaissé du Fond Bastin se remplit et, parfois, déborde alors dans le fond assez plat du vallon des Chantoirs. Van Den Broeck, Martel et Rahir, qui ont étudié la région en détail au début du 20^{ème} siècle, rapportent qu'en 1859, un "terrible cyclone" gonfla les eaux du Fond Bastin au point qu'elles débordèrent dans le vallon des Chantoirs, l'inondèrent et descendirent jusqu'à l'Amblève (Van Den Broeck *et al.*, 1910, vol. 1, p.514). Vers 1872 ou 1873, elles débordèrent à nouveau (*ibidem*). Au cours du 20^{ème} siècle, d'autres crues, dues à des averses orageuses, ont entraîné des débordements d'eau à l'aval du chantoir. Ces phénomènes de remplissage de la vallée aveugle et de débordement d'une partie des eaux du ruisseau dans le vallon sec se sont produits notamment lors des étés 1952, 1980 et 1998 (figures 11 et 12).

D'autres exemples d'inondations dans des régions karstiques sont connus notamment à Han-sur-Lesse, Verviers et Sprimont, entre autres.



Figure 11 : Le Moulin du Rouge-Thiers - vue générale vers l'ouest (Schyns, 2005).

Figure 12 : Le Moulin du Rouge-Thiers lors d'une inondation le 21 juillet 1980 (photo : M. Etienne).

d. Pollutions

La grotte du Chalet, à Aywaille, a été explorée sur quelque 500m. Elle contient une importante résurgence qui a naguère alimenté la commune d'Aywaille en eau. Un traçage a montré en 1931, et d'autres ont confirmé en 1966, que la "source" était en grande partie alimentée par des chantoirs situés à quelque 4 km au sud-ouest de la résurgence, aux abords immédiats de la ferme de Piromboeuf. Malgré cela, l'ex-Société Nationale des Eaux avait installé à la grotte du Chalet un important captage.

Les déversements abondants de lisier et de purin dans les chantoirs en question polluèrent tellement les eaux de distribution que le captage du être abandonné en 1999. Outre le lisier et le purin, dans un des chantoirs, des détritiques de toutes sortes furent déversés, provoquant une pollution qui n'était pas uniquement organique (nitrates, etc.). En septembre 2004 encore, lors d'une crue importante, les eaux qui dévalaient dans un des chantoirs étaient, au dire des spéléos qui l'exploraient, brunes et puantes (Polrot et Dumoulin, 2004). Des cas de pollutions semblables sont nombreux ; nous ne citerons, à titre d'autre exemple, que le cas de la vallée

karstique de la Chawresse à Esneux (Evens et Evens-Naport, 1996). Ces déboires ont toutefois eu des conséquences positives : des études sont en cours dans le bassin de la résurgence du Chalet pour suivre l'évolution actuelle des teneurs en matières organiques dans l'eau, grâce à des mesures de fluorescence (figure 13), pour analyser aussi la qualité des eaux au point de vue des normes de la législation européenne, et de nouveaux traçages sont programmés pour déterminer plus précisément les contributions de chacun des chantoirs incriminés à la pollution de la résurgence (Meus, 2005).

Les traçages constituent un outil précieux pour l'étude des communications chantoir-résurgence et donc pour la recherche des possibilités de transmission des pollutions (Michel *et al.*, 1999).



Figure 13 : Colorant de traçage dans une rivière souterraine (photo : P. Meus).

III. Contraintes karstiques : que faire ?

1. La carte

En 1997, l'article 136 du CWATUP comporte une disposition qui permet d'interdire ou de soumettre à condition les actes et travaux qui visent des terrains présentant un risque naturel (contrainte physique), tel que le karst. C'est pourquoi, la Région Wallonne a fait appel aux équipes de l'Université de Liège, de la Faculté Polytechnique de Mons et de la Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains (CWEPS), pour réaliser une cartographie des sites karstiques. A l'heure actuelle, les phénomènes karstiques présents sur l'ensemble des éléments au plan de secteur, à l'exception d'une partie des zones forestières et de parcs, ont été cartographiés.

Le résultat de ces études est un ensemble de cartes, réalisées à l'échelle du 1/10.000^{ème}, des sites karstiques et des contraintes liées à ces phénomènes pour toutes les zones calcaires de Wallonie (figure 14).



Figure 14 : Mission de terrain - cartographie des contraintes karstiques à Sprimont (Schyns, 2003).

Sur ces cartes, les phénomènes karstiques sont représentés grâce à l'utilisation de symboles permettant de différencier la nature des phénomènes comme les cavités, dolines, pertes et puits naturels. Chaque symbole couvre un diamètre de 30m (3mm sur la carte) où les auteurs de l'étude préconisent généralement une interdiction de construction (figure 15).

Certains phénomènes karstiques (essentiellement des dolines et des chantoirs avec une vaste dépression autour du point de perte) présentent des diamètres en surface nettement supérieurs à 30m. On ne peut donc limiter la zone de contrainte liée à ces phénomènes à la seule dimension du symbole censé les représenter.

Dès lors, ces phénomènes karstiques de grande taille sont représentés sur la carte par le périmètre exact du phénomène et non par un symbole de 3mm. Sur les cartes, la surface couvrant ce type de phénomène karstique est appelée « dépression karstique » et est représentée par un polygone au bord noir et au fond quadrillé noir.

Deux types de zone de contrainte (dépassant le simple diamètre du phénomène karstique) ont été définis :

Les zones de contrainte forte, zones dans lesquelles toute construction doit être évitée, voire interdite, car les risques liés au karst y sont importants. Une zone de contrainte forte est définie lorsque la présence de plusieurs phénomènes karstiques très proches les uns des autres justifiait la coalescence de leurs aires de contraintes; lorsque l'on est en présence d'une zone où la formation de nouveaux phénomènes karstiques est très probable (ex: un vallon sec sous lequel le soutirage et la dissolution liée à la circulation d'eau souterraine peuvent induire des effondrements); lorsque les phénomènes karstiques étudiés sont actifs ou réactivés et que l'on peut prévoir la manière dont ils risquent d'évoluer; lorsqu'une cavité présente des risques d'effondrement du toit; etc.

Les zones de contrainte modérée sont délimitées dans les lieux qui sont affectés par des phénomènes karstiques dont les dimensions, la densité et l'inactivité (pas de rejeu récent connu ni de formation de nouveaux phénomènes à proximité) impliquent des risques inférieurs à ceux situés dans les zones de contraintes fortes.

Par ailleurs, dans bon nombre de cas, des zones de contrainte modérée ont été définies autour des zones de contrainte forte afin de constituer un périmètre de sécurité (principe de précaution).

Dans ces zones, les demandes de permis ne devraient pas être systématiquement refusées, mais plutôt faire l'objet d'investigations complémentaires en vue de vérifier et de garantir la stabilité du sol et des fondations.

Dans le cas particulier du Tournaisis et de ses effondrements qui sont liés le plus souvent aux pompages des eaux des nappes aquifères, la combinaison "densité d'effondrement et dénoyage des calcaires" permet d'obtenir un bon indicateur spatial et temporel du risque d'effondrement. Trois zones de contrainte décroissantes sont définies :

- Une zone de contrainte forte (en rouge) qui correspond à toutes surfaces où la densité d'effondrements est supérieure à 15 unités/km²;
- Une zone de contrainte modérée (en orange vif) qui correspond à toutes surfaces où la densité d'effondrements est comprise entre 1 et 15 unités/km² ainsi que celles où le dénoyage du socle calcaire est supérieur à 10m;
- Une zone de contrainte faible (en orange clair) qui correspond à toutes surfaces où la densité est inférieure à 1 unité/km² ainsi que celles où le dénoyage est supérieur à -5m. Elle n'a pas d'équivalent dans les cartes de contraintes de risques karstiques «classiques». Cette zone a été introduite pour tenir compte de l'approximation des différents modèles et du caractère évolutif de la surface piézométrique.

Les roches calcaires peuvent être corrodées par les eaux acides. Le risque n'y est jamais nul et c'est la raison pour laquelle, sur les cartes de contraintes karstiques, tous les affleurements calcaires ont été repris afin d'attirer l'attention des gestionnaires du territoire sur la particularité du sous-sol de ces zones.

Chaque carte des contraintes karstiques est accompagnée d'une fiche explicative dans laquelle les phénomènes sont décrits de manière approfondie et les définitions des zones de contraintes sont argumentées.

La carte des contraintes karstiques répond précisément aux besoins des constructeurs, urbanistes, promoteurs et propriétaires désireux de construire ou de modifier le relief du sol. Il est bon d'ajouter toutefois, que d'autres documents doivent être consultés avec grand intérêt s'ils sont disponibles : cartes topographiques, géologiques, hydrogéologiques, géotechniques, pédologiques, photos aériennes récentes et anciennes, etc. Tous ces documents sont susceptibles de donner des informations intéressantes.

La première chose à faire, avant d'envisager de modifier l'occupation du sol ou l'affectation d'un terrain, est donc de vérifier sur la carte des contraintes karstiques, si l'endroit est situé ou non sur substratum calcaire, et dans l'affirmative, s'il présente des contraintes karstiques.

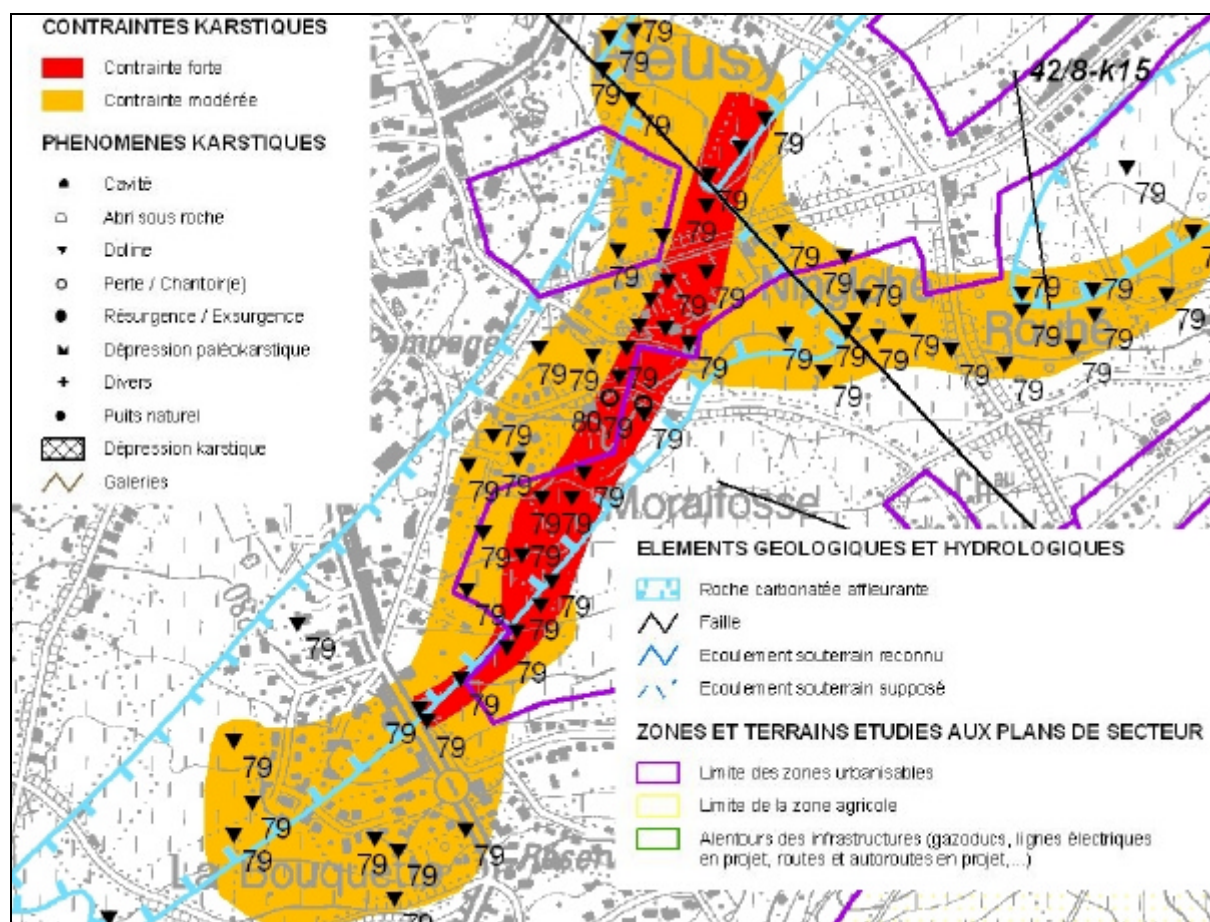


Figure 15 : Extrait de carte des contraintes karstiques (région de Heusy - commune de Verviers).

2. Le terrain

L'observation de terrain est une opération primordiale qui fournit des informations immédiates. Y a-t-il des irrégularités dans le relief, des dépressions ? Voit-on des infiltrations d'eau de pluie ou d'eau de ruissellement dans le sol ? Et aux environs, à proximité du terrain concerné, dans les vallons et les vallées proches, y a-t-il des pertes de cours d'eau dans le sol, des grottes ? Peut-on voir des affleurements calcaires ? Une enquête auprès des voisins et des autorités communales permet-elle de soupçonner des comblements récents de trous, d'effondrements ou de dépressions ?

Comme on le voit, l'examen du terrain apporte des renseignements directs, aisés à obtenir et de très grand intérêt. Avec l'examen des documents existants énumérés au paragraphe précédent, l'observation du terrain doit précéder toute investigation coûteuse, géotechnique ou géophysique. Ce sont les conclusions de l'examen des documents et de l'étude de terrain qui guideront les opérations suivantes.

3. Les prospections géotechniques et géophysiques

Si la carte des contraintes karstiques indique un aléa sur un terrain donné ou si l'observation du sol révèle la présence de phénomènes karstiques à proximité, il faut alors procéder à une étude approfondie. On peut distinguer deux catégories de méthodes

d'investigation : les méthodes directes donnent, comme leur nom l'indique, une information tangible directe sur les risques éventuels. Ce sont des méthodes géotechniques mécaniques. Les méthodes indirectes, essentiellement des méthodes géophysiques, fournissent une information sur des caractères physiques du sous-sol, d'où l'on déduit par interprétation la présence ou l'absence de phénomènes karstiques.

a. Les méthodes géotechniques

Les méthodes géotechniques comprennent notamment les forages (destructifs ou non), les essais de pénétrométrie et les opérations de découverte (par des engins de la famille des pelles mécaniques).

- Les forages donnent des renseignements précis (sur la présence de cavités, ou d'eau, ou de roche altérée, par exemple) mais l'information fournie est purement ponctuelle car limitée au trou de sondage.
- Les opérations de découverte consistent à enlever les dépôts superficiels qui masquent le calcaire pour pouvoir mettre celui-ci à nu afin de pouvoir l'observer.
- La pénétrométrie permet de connaître la résistance du substratum à la pénétration, c'est déjà là une connaissance plutôt indirecte de la qualité du substratum.

Les méthodes géotechniques d'investigation sont toutes, on le voit, des méthodes de type mécanique.

b. Les méthodes géophysiques

Les méthodes géophysiques d'investigation du terrain se sont fortement développées au cours des dernières décennies. Elles donnent des informations sur des paramètres physiques des milieux prospectés, paramètres qu'un géologue averti peut interpréter. Conformément au canevas décisionnel (Quinif *et al.*, 2004), nous distinguerons quatre grands groupes de méthodes géophysiques.

- Les méthodes électriques (tomographie électrique, polarisation spontanée, etc.) renseignent sur la nature des terrains (figure 16), leur caractère plus ou moins argileux ou plus ou moins humide (avec des effets très différents selon la teneur de l'eau en sels dissous).
- La microgravimétrie détecte les anomalies de gravité (jusqu'à un milliardième de la pesanteur), liées, par exemple, à des vides souterrains ; elle ne peut préciser le type de vide, mais localise avec beaucoup de précision l'anomalie.
- Les méthodes électromagnétiques (radar, etc.) détectent des contrastes de réponses électromagnétiques des terrains, parfois liés, par exemple, à des variations de l'humidité ou de la teneur en argile des formations traversées.
- Les méthodes sismiques, en testant les réactions du sol à des explosions, des chocs ou des vibrations, et en restituant le trajet des ondes, donnent des informations sur la succession des couches traversées et peuvent dans certains cas déceler des anomalies liées à des vides.

Toutes ces méthodes géophysiques sont dites "indirectes" en ce sens qu'elles ne renseignent en général pas directement la présence d'un vide ou d'un milieu karstifié. Elles donnent des informations sur des anomalies ou sur des variations de paramètres physiques qu'un géologue compétent peut interpréter de façon à élaborer une ou des hypothèses qu'on peut vérifier par une investigation directe (mécanique).

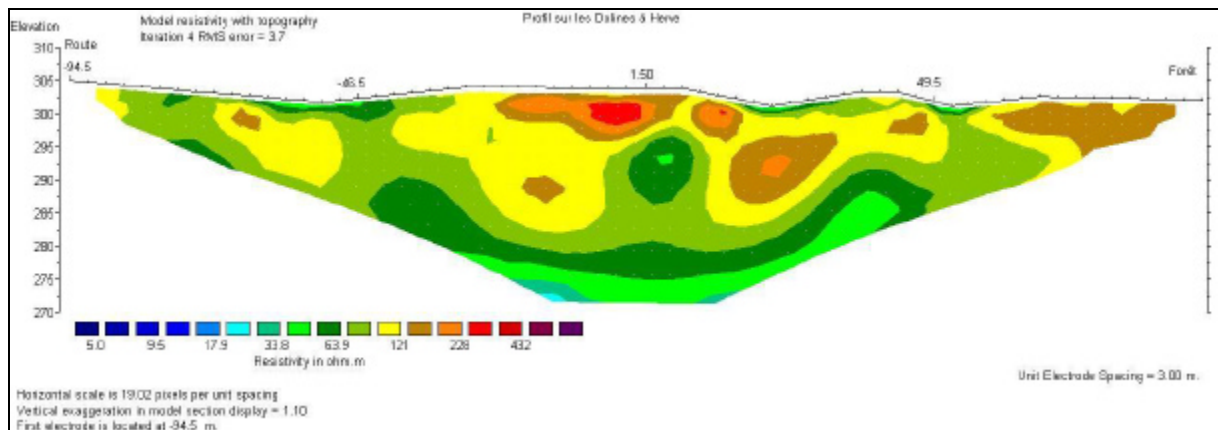


Figure 16 : Tomographie électrique réalisée sur une doline dans le Pays de Herve (Schroeder, 2004)

4. Les traçages

Les traçages d'eau au moyen de colorants (figure 13) ou d'autres traceurs peuvent avoir de nombreuses utilités :

- 1) la détermination d'une connexion entre deux sites, le plus souvent un chanoir et une résurgence ;
- 2) la délimitation d'un bassin d'alimentation karstique, par injection en différents endroits ;
- 3) la détermination de la vitesse d'un écoulement souterrain ;
- 4) le calcul du débit d'un cours d'eau à partir de mesures de la dilution du traceur ;
- 5) la vérification de la provenance d'une pollution, l'estimation de son taux de transmission, etc.

On trouve une excellente revue des traceurs en usage dans Ford et Williams (1989). Outre les colorants, on peut citer : le sel, les spores, les levures, les isotopes (radioactifs ou non, naturellement présents ou non), etc. Les traçages permettent, par des mesures et des calculs nombreux, de déterminer de très nombreux paramètres des écoulements. Il est bon, si c'est possible, de faire des traçages à plusieurs reprises, par des types de temps différents (sécheresse, pluie fine, orage, gel, etc.) car en fonction des données de la météorologie, les comportements hydrologiques (et par exemple les chemins suivis par l'eau) peuvent différer. Une fois la question qualitative (il y a ou non connexion) résolue, on peut passer à des opérations quantitatives (vitesse, débit, taux de conservation des traceurs ...) qui requièrent un hydrologue très compétent et expérimenté, un matériel sophistiqué, des méthodes élaborées et de nombreuses collaborations.

La Région Wallonne a développé une politique cohérente d'études hydrogéologiques par traçages. Les traçages ont l'avantage d'être probants, de fournir une information directe et tangible et d'être aisément compris de tous. On trouvera un excellent exemple en Région Wallonne dans Michel *et al.*, 1999.

Une fois les études ci-dessus terminées, étude des cartes, examen de terrain, investigations géotechniques et géophysiques s'il y a lieu, traçages s'il y a lieu, le maître de l'ouvrage sera à même de décider si on peut ou non construire, si on peut envisager des mesures de

remédiation. Si la réponse est positive, il faudra s'entourer d'un architecte ou d'un ingénieur-architecte compétent.

5. Les travaux

Les travaux nécessités par les contraintes karstiques peuvent être très variés et ce n'est pas ici le lieu de les étudier. Il nous faut cependant rappeler les principes généraux du traitement des eaux sur substrat karstique. Il ne faut pas essayer d'empêcher l'infiltration des eaux dans le sol en remblayant les chantoirs. Les eaux de ruissellement trouvent toujours alors un autre point où s'infiltrer et les dommages se déplacent et s'étendent. Il est préférable de trouver le lieu où l'eau peut s'enfouir sans trop de dégâts et d'aménager des dispositifs (grilles, bassins de décantation...) prévenant les obstructions souterraines, plus difficile à traiter que les problèmes de surface.

Il faut savoir aussi que ces "travaux peuvent diminuer les risques, mais non les annuler" (Briffoz, note inédite, 2006).

Il faut prendre en compte aussi que le danger ne réside pas seulement dans des travaux inadéquats, mais que même les ouvrages bien faits sont sans efficacité si leur entretien n'est pas assuré en permanence. Les dommages les plus fréquents résultent d'un manque de vigilance -prévisible- dans la maintenance.

IV. Conclusions.

Le caractère original du karst est la solubilité de la roche dans laquelle le phénomène se développe ; celle-ci est, d'autre part, soumise aux mêmes processus physiques (érosion, effondrements, etc.) que les autres roches. Dans le karst, l'hydrologie et le relief sont intimement liés. Le drainage souterrain et les formes de la surface évoluent en constante interaction. Une partie des eaux du karst circulent rapidement et se concentrent en conduits importants. Ceci pousse l'homme à les rechercher et les exploiter intensivement. C'est la source de problème de pollution et autres. Des facteurs naturels (variation du niveau piézométrique, instabilité des voûtes, crues brutales ...) et humains (constructions insuffisamment étudiées, pompes excessives...) se conjuguent pour accumuler des aléas. Il est donc fondamental d'être prudent quand on doit construire ou développer une activité dans une région karstique.

L'étude préalable à toute construction ou urbanisation est de la plus haute importance. Une action efficace est conditionnée par **une information suffisante** sur les données du milieu et celles du projet (Ek, 1993). Les quatre exemples de cas que nous avons exposés plus haut (chapitre II) – nous aurions pu en décrire cent en Région Wallonne – montrent l'importance des démarches que nous préconisons (chapitre III). Dans toutes les investigations, un point important est l'échange et la **diffusion des informations**. Nous écrivions il y a près d'un quart de siècle que ceux qui ont à mener « une enquête préliminaire arriveront à une connaissance bien plus exhaustive si leur mission est publiée : les enquêtes menées au grand jour moissonnent plus de faits et d'informations que des recherches discrètement menées » (Ek, 1983). Le milieu karstique présente tant d'interactions que c'est, de façon très typique, un lieu où s'impose une **approche systémique** des problèmes (Ek, 1985).

Ouvrages cités :

- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, FACULTE POLYTECHNIQUE DE MONS ET UNIVERSITE DE LIEGE, 1999. *Etude cartographique des contraintes karstiques situées dans les zones urbanisables de la Région Wallonne*. Convention subsidiée par la DGATLP (Région Wallonne).
- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, FACULTE POLYTECHNIQUE DE MONS ET UNIVERSITE DE LIEGE, 2000. *Etude cartographique des contraintes physiques inhérentes au karst wallon en liaison avec les carrières, les transports de fluides, les réseaux de transports publics et les sites karstiques d'intérêt scientifique patrimonial pour les provinces du Hainaut, de Liège, du Luxembourg et de Namur*. Convention subsidiée par la DGATLP (Région Wallonne).
- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, FACULTE POLYTECHNIQUE DE MONS ET UNIVERSITE DE LIEGE, 2001. *Cartographie numérique des périmètres de contraintes physiques inhérentes au karst wallon en zone agricole (1^{ère} partie)*. Convention subsidiée par la DGATLP (Région Wallonne).
- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, FACULTE POLYTECHNIQUE DE MONS ET UNIVERSITE DE LIEGE, 2003. *Cartographie numérique des périmètres de contraintes physiques inhérentes au karst wallon en zone agricole (2^{ème} partie)*. Convention subsidiée par la DGATLP (Région Wallonne).
- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, FACULTE POLYTECHNIQUE DE MONS ET UNIVERSITE DE LIEGE, 2005. *Etude des contraintes physiques inhérentes au karst wallon en zones forestières, naturelles, d'espaces verts et de parcs*. Convention subsidiée par la DGATLP (Région Wallonne).
- C.W.A.T.U.P., 1984. Code wallon de l'Aménagement du territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine, *Moniteur Belge*, 19/05/1984, p. 6939 (+ erratum : *Moniteur Belge* 25/05/1984, p. 7636).
- DELLATRE N., 1985. Les puits naturels du Tournaisis. *Annales de la société géologique de Belgique*, 108 : 17-123.
- EK C., 1983. L'eau dans le Vallon des Chantoirs: une leçon sur les collaborations nécessaires. *Hydrogeographica, Société nationale des Distributions d'Eau*, 1-2 : 7-14.
- EK C., 1985. De la connaissance du milieu karstique à sa gestion. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 108 : 3003-304.
- EVENS A. & EVENS-NAPORT P., 1996. Approche de la pollution chimique du système hydrogéologique Chawresse-Saint-Anne. *Regards* (Bulletin de l'U.B.S.), 24 :2-6.
- FORD D. & WILLIAMS P., 1989. *Karst geomorphology and hydrology*, London (Unwin Hyman), 601p.
- MEUS P., 2005. *Système karstique du Chalet (Aywaille). Campagne de traçages* (poster).
- MICHEL G., MEUS P., THYS G. & EK C., 1999. Le traçage : un outil pour l'établissement des zones de surveillance en terrain karstique. Le cas de Hastière (province de Namur, Belgique). *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 37 : 33-45.
- POLROT F. & DUMOULIN P., 2004. Contribution à l'étude du système karstique du Chalet à Aywaille. *Regards* (Spéléo-Info), 57 : 4-11.

- QUINIF Y., VERGARI A., DOREMUS P., HENNEBERT M., CHARLET J.-M., 1993. Phénomènes karstiques affectant le calcaire du Hainaut. *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 102 : 379-394.
- QUINIF Y., 1999. Fantômisation, cryptoaltération et altération sur roche nue, le triptyque de la karstification. *Etudes de géographie physique*, Travaux 1999 – Suppl. XXVIII, Cagép, Univ. De Provence : 159-164.
- QUINIF Y., KAUFMANN O., SABBE A., GEUSE A. & MICHELON S., 2004. *Canevas décisionnel en matière d'étude préalable à prescrire dans le cadre de demandes de permis d'urbanisme et de permis de lotir dans le cas d'habitations et visant les terrains situés en zones de contraintes karstiques*, Rapport final de la convention d'étude DGATLP-FPMs.
- QUINIF Y., 2006. Les effondrements karstiques hennuyers : causes et résultats. *Comptes rendus du colloque international "Karst et aménagement du territoire"*, pages
- VAN DEN BROECK E., MARTEL E., ET RAHIR E., 1910. Les Cavernes et les Rivières souterraines de la Belgique, 2 tomes, Bruxelles, 1750 p.
- VERGARI A., QUINIF Y., 1997. Les paléokarsts du Hainaut. *Géodynamica Acta*. 10, 4 :175-187.

Pour en savoir plus :

- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, 1996. Atlas du Karst Wallon, Province de Liège, Tome I, II & II, CWPSS.
- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, 1996. Atlas du Karst Wallon, Province de Hainaut (Partie occidentale), CWPSS, 436pp.
- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, 1996. Atlas du Karst Wallon, Province de Hainaut (Partie orientale), CWPSS.
- COMMISSION WALLONNE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES SITES SOUTERRAINS, 1999. Atlas du Karst Wallon, Haute Meuse, Province de Namur, CWPSS, 547pp.
Une trentaine de planchettes à 1/25000 localisent les calcaires et les phénomènes karstiques. Cet atlas, précieux et précurseur, est accompagné d'une dizaine de volumes qui présentent, pour chaque province, les caractères du karst, l'hydrogéologie, les grottes, etc. Chaque chapitre est rédigé par un spécialiste. Chaque site karstique est l'objet d'une fiche descriptive normalisée. S'ajoutent à ces documents une foule de renseignements précieux, y compris les données chiffrées et une bibliographie qui dans certains volumes dépasse les 30 pages ! Ouvrage de base, ouvrage de référence.
- EK C., 1995. Grottes et rivières des régions calcaires, 178-193 in : *L'Ardenne, essai de Géographie physique* (éd. Sc. A. Demoulin), Département de Géographie physique de l'Université de Liège.
Généralités sur les phénomènes karstiques de la Belgique.
- MICHEL R., 1998. Le karst, une contrainte pour l'aménagement du territoire en Wallonie. *Les Cahiers de l'Urbanisme*, Région Wallonne, 21 :42-54.
Mise au point claire et précise sur la nature des contraintes que fait peser le karst sur l'aménagement du territoire.
- QUINIF Y., 1977. Essai d'étude synthétique des cavités karstiques de Belgique. *Revue belge de Géographie*, 101 :115-173.
Belle synthèse sur l'origine des grottes de notre pays.
- VERGARI A., 1998. Nouveau regard sur la spéléogénèse : le "pseudo-endokarst" du Tournaisis (Hainaut, Belgique). *Karstologia*, 31 : 12-18.
Présentation claire et simple de la genèse des "fantômes de roches".