

# **CARTOGRAPHIE DES ALEAS SOUS-SOL, BASE D'UNE POLITIQUE DE PREVENTION DES RISQUES EN WALLONIE (BELGIQUE) – APPLICATION AUX CAVITES SOUTERRAINES**

## **UNDERGROUND HAZARD CARTOGRAPHY AS A BASIS FOR RISK ASSESSMENT POLICY IN WALLONIA (BELGIUM) – CASE OF UNDERGROUND QUARRIES**

Ali KHEFFI<sup>1</sup>, Daniel PACYNA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institut Scientifique de Service Public, Colfontaine, Belgique*

<sup>2</sup> *Service public de Wallonie, DGO3 - Service Géologique de Wallonie*

**RÉSUMÉ** – En Wallonie, de nombreux objets souterrains menacent la sécurité publique. Inspirée de l'expérience française, la cartographie des aléas de mouvement de terrain a été récemment proposée pour simplifier la gestion existante des risques du sous-sol. Cette méthodologie a été validée sur plusieurs zones test, dont les anciennes carrières souterraines de la Malogne (Mons). Un effondrement y est survenu en 2015 dans une zone préalablement pointée par une première carte des aléas, élaborée 6 mois plus tôt.

**ABSTRACT** – Wallonia has to deal with numerous underground items, as a great issue for public safety and land planning. As a new method, underground hazard cartography should simplify the current risk management; it has been validated on several cases. One of them was the abandoned underground quarries, named “La Malogne”, close to Mons. The underground hazard was mapped while a major ground collapse occurred 6 months later.

### **1. Contextes et enjeux**

Partie méridionale de la Belgique, la Wallonie a notamment hérité d'une géologie très complexe, qui lui a conféré de nombreuses ressources économiquement importantes (charbon, métaux, calcaires, craies, marnes, phosphates,...), intensivement exploitées de nos jours, mais surtout dans le passé. À cela s'ajoutent des formations géologiques carbonatées intensément karstifiées et présentes sur un tiers du territoire régional. C'est pourquoi le sous-sol wallon comporte aujourd'hui tant d'objets souterrains, naturels ou anthropiques (karsts, carrières souterraines, puits, galeries, marnières,...), pouvant engendrer une menace pour la sécurité des personnes et des biens.

Confrontée à une très haute densité de population (205 habitants/km<sup>2</sup> en moyenne et 360 à 1 100 dans les anciennes zones minières) et à un développement urbanistique et économique constant, l'administration wallonne a très vite mis en place une politique de prévention des risques liés au sous-sol. Celle-ci est principalement basée sur la réduction de l'exposition à la menace connue et sur la capitalisation des données relatives aux objets souterrains et à leurs contextes géologique, pédologique et géotechnique (Pacyna et Salmon, 2012).

Cependant, le cadre administratif diffère selon le type d'objet souterrain concerné avec, pour conséquence, une gestion complexe et apparemment inégale. Pourtant, les similitudes géomécaniques dans la ruine de ces objets sont évidentes (création ou ouverture de cavités, mécanismes de ruine, propagation des effets en surface,...) et motivent une généralisation de l'approche de la prévention des risques du sous-sol en

Wallonie. C'est pourquoi la cartographie des zones d'aléas de mouvement de terrain a été proposée.

## 2. Description de la méthodologie

Depuis 2010, le Service géologique de Wallonie diffuse déjà la localisation des objets menaçants affectés d'une zone de consultation des services détenteurs d'informations, sans toutefois hiérarchiser l'importance de la menace. Pour généraliser et simplifier la gestion administrative de ces risques, l'ISSeP et le Service géologique de Wallonie ont développé une méthodologie d'évaluation et de cartographie des zones d'aléas de mouvement de terrain engendrées par les objets souterrains.

Largement inspirée de la méthodologie française (INERIS, 2006 ; Didier et Watelet, 2012), elle vise la production d'un zonage à l'échelle de la Wallonie, distinguant les secteurs selon l'intensité de la menace de déformation du sol (tassements, affaissements ou effondrements). Ne remplaçant pas les études locales, la démarche se veut entièrement qualitative et vise la hiérarchisation des menaces considérées.

Cette approche s'appuie sur la mutualisation des connaissances connues et disponibles au sujet des objets souterrains et de leurs contextes géologique, hydrogéologique et géotechnique.

Les caractéristiques principalement prises en compte pour les objets sont d'ordres géographique (implantation), géométrique (dimensions, profondeur, hauteur, volume des vides), géomécanique (origine de la cavité, méthode d'exploitation, état des piliers ou des parois, fracturation, traitement des vides,...), et hydrogéologique (niveau piézométrique). Étant donné que le sous-sol de la Wallonie a été majoritairement exploité avant 1850, des recherches historiques sont absolument nécessaires pour compléter la caractérisation des objets. Ce type d'expertise est courante et toujours active (Denayer *et al.*, 2011). Pour tenir compte de la nature et de la variabilité de ces données historiques, la méthodologie intègre ainsi une imprécision sur l'existence, l'implantation et la description de ces objets (Kheffi *et al.*, 2014). Finalement, les objets communément rencontrés en Wallonie sont regroupés selon la nature des désordres redoutés en surface.

La caractérisation des contextes prend en compte la géologie locale, l'hydrogéologie, la géotechnique, l'épaisseur des terrains meubles, l'état géomécanique du massif, la fracturation naturelle ou induite, et la présence de facteurs défavorables résultant de l'activité humaine de surface à l'aplomb des objets souterrains. Ces contextes sont globalement interprétés en formations géologiques meubles ou cohérentes, avec une évaluation de leur épaisseur locale. À défaut d'une carte géotechnique couvrant l'entièreté du territoire régional, les données collectées ont été rassemblées dans une proto-cartographie des formations superficielles, complétant la nouvelle carte géologique de Wallonie.

Dans le respect de sa définition, l'aléa est ensuite évalué comme la prédisposition d'occurrence de désordres sur un site donné et avec leur intensité (INERIS, 2006). La prédisposition est appréhendée par la compréhension et l'analyse géomécanique des mécanismes de ruine de chaque type d'objets. Leurs similitudes sont également relevées. L'intensité est considérée de la même façon et répartie en plusieurs classes d'effets basées principalement sur le retour d'expérience du terrain, en considérant l'ampleur des désordres possibles pouvant affecter un bâtiment type « maison d'habitation classique ». Ce classement se trouve aussi conforté par le type de gestion mis en place lors des accidents antérieurs. Le tableau 1 en propose un exemple pour l'effondrement localisé.

Tableau 1. Proposition des classes d'intensité pour l'effondrement localisé

Dimensions Désordre (m)		Classe	Étendue	Enjeux impactés et type de dégâts	Gestion
Min	Max				
-	1,5	Faible	Réduite	Terrains : très limités (petits trous) Bâtiments : très limités (fissures)	Propriétaire seul
1,5	3	Moyenne	Partie de parcelle	Bâtiments : Structurels	Experts consultés + Déclaration à l'Autorité locale
3	10	Élevée	Parcelle entière, voire plusieurs	Bâtiments : Importants	Gestion par Autorités + Experts
10	-	Très élevée	Parcelles, quartier	Bâtiments : très importants (Ruine)	Gestion par Autorités + Experts

Pour évaluer localement l'ampleur finale des désordres, la méthodologie tient à la fois compte de l'épaisseur des terrains meubles et des volumes de vides souterrains disponibles pour une mobilisation des matériaux (Didier et Salmon, 2010). Cette approche pragmatique a l'avantage d'être facilement défendable auprès des autorités et du public. Elle n'oblige en rien l'utilisateur final de la carte d'aléas à connaître les différents types d'objets, ni les mécanismes de ruine : il est directement mis face aux effets tels qu'ils pourraient se manifester.

Pour valider la méthodologie, il a été convenu de l'appliquer préalablement à quelques zones-tests comportant des objets et des contextes représentatifs de la Wallonie, et d'en dresser des cartographies des zones d'aléas. L'une d'elles concernait le site des anciennes carrières souterraines de la Malogne, situées près de Mons. Une cartographie d'aléas, établie en septembre 2014 à partir des quelques éléments disponibles, a mis en évidence plusieurs zones critiques. Le 22 avril 2015, soit 6 mois plus tard, un effondrement généralisé est survenu à l'aplomb d'une des zones.

### 3. Les anciennes carrières souterraines de la Malogne

#### 3.1. L'effondrement du 22 avril 2015

L'effondrement a exclusivement touché des surfaces agricoles, mais il est tangent à la ligne de chemin de fer 96A « Bruxelles-Mons-Quévy-Paris » qui passe en tranchée profonde à l'aplomb des carrières, soit à peine 30 m de l'axe des voies. À cet endroit, les carrières souterraines abandonnées de la Malogne sont situées à 25 m de profondeur.

La zone effondrée, d'allure réniforme, mesure 155 m dans son grand axe (N 80°) et 75 m suivant l'axe perpendiculaire. Elle présente trois zones bien marquées et illustrées à la figure 1 :

- au nord et au nord-est, une zone à fond plat, descendue de 3 m, et cernée de décrochements verticaux très nets,
- au centre, une zone qui s'y raccorde par une rupture de pente et d'une profondeur moyenne de 1,5 m,
- au sud-ouest, une zone affaissée de quelques dizaines de centimètres, en pente douce.



Figure 1. Photographie aérienne de l'effondrement du 22 avril 2015, montrant les zones pleinement (a), partiellement (b) et faiblement effondrées (c) (CACEff, 2015).

### **3.2. Description des carrières**

Les carrières souterraines de la Malogne sont un ensemble d'exploitations de craie phosphatée exploitées par la méthode des chambres et piliers abandonnés, entre 1876 et 1934. Elles s'étendent sur 67 ha et le toit de l'exploitation se situe de 5 à 40 m sous la surface du sol, avec un pendage de 5 à 12° globalement vers le nord et l'est. 40 ha sont encore accessibles (Leclercq et Bouko, 1985).

Géologiquement, ces carrières se situent en bordure sud du Bassin de Mons, zone de subsidence où les formations du Crétacé et du Tertiaire reposent directement sur le socle houiller (Hennebert et Delaby, 2015).

### **3.3. Les carrières, objet à risques**

La typologie et la superficie exceptionnelle de ces carrières les ont naturellement désignées pour tester et valider la méthodologie d'évaluation et de cartographie de zones d'aléas. La figure 2 en détaille les caractéristiques. Vu l'importance d'enjeux critiques (voies ferrées et habitations), la surveillance effectuée en conséquence sur ces secteurs et les informations disponibles depuis 1981, la méthodologie a été appliquée dans le but d'identifier et de cibler les zones les plus sensibles sur l'ensemble du site.

Pour caractériser les carrières et leurs contextes, les éléments suivants ont été pris en compte :

#### 1) Exploitation des carrières et traitement des vides

Vu la méthode utilisée, l'exploitation a laissé un réseau, quasiment régulier de piliers et de chambres de 4 m de côté, divisé en 9 secteurs séparés par des massifs inexploités ou remblayés. Cependant, la puissance variable de la couche exploitée influe directement l'élanement des piliers selon les secteurs : de 0,5 à 2. Ces valeurs ont été qualitativement corrélées avec les phénomènes de ruine observés sur les parois des piliers.

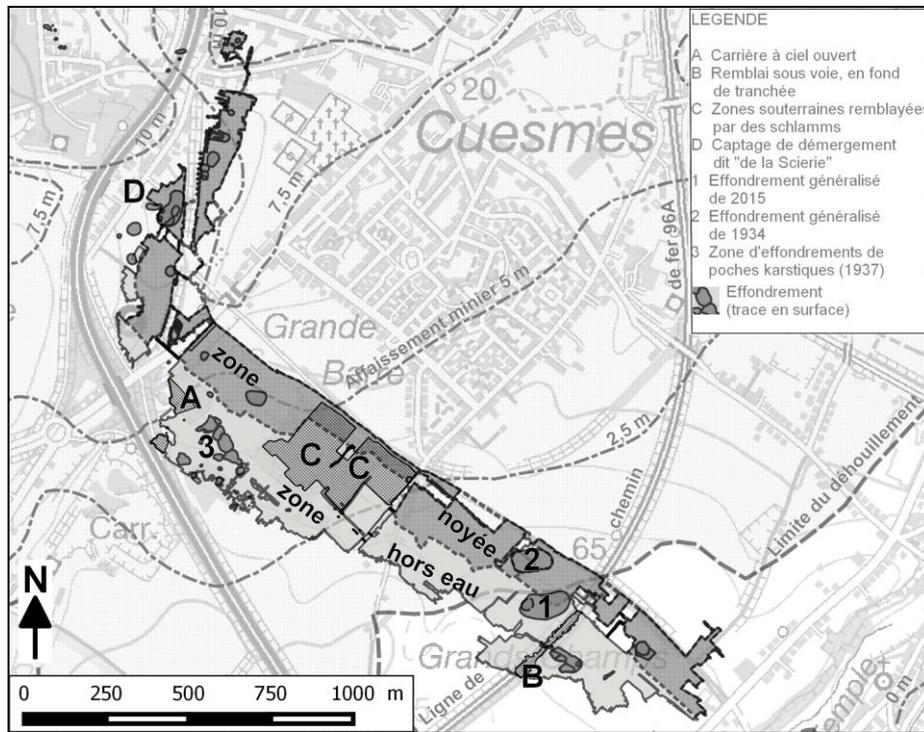


Figure 2. Extension des carrières souterraines de la Malogne.

Plusieurs hectares ont été partiellement, voire complètement remblayés (secteur C – figure 2) renforçant la stabilité locale des piliers, tandis que trois zones limitées ont été totalement dépillées.

A l'ouest, une carrière à ciel ouvert a recoupé les travaux souterrains (Secteur A – figure 2). A l'est, la tranchée de la ligne de chemin de fer Paris-Bruxelles (Secteur B – figure 2) a été creusée en 1962 à une profondeur de 10 à 12 m, avec pour conséquence un remblayage total des carrières le long de son tracé. C'est pourquoi le secteur sud-est est isolé depuis lors.

## 2) Le niveau piézométrique et ses variations

Le bord nord des carrières reste sous eau en permanence, conservant la saturation totale des piliers.

Comme les affaissements miniers ont entraîné la remontée de la nappe dans la région, le démergement du village de Cuesmes est assuré par un captage contigu aux carrières. Son fonctionnement régulé y provoque des variations du niveau piézométrique, comprises entre 1 et 3 m, sur des périodes de 1 à 3 ans (Rorive et Mengeot, 2000). Dans les carrières, la zone de battement de la nappe s'étend de 15 à 40 m en largeur sur 3 km en longueur. Les piliers y sont soumis à des cycles répétés de saturation / désaturation, et donc exposés à une fatigue mécanique précoce.

## 3) La perméabilité des formations tertiaires surmontant les carrières

## 4) Les discontinuités du massif

Le massif comporte de nombreuses failles synsédimentaires, délimitant des horsts et grabens, qui ont conditionné l'épaisseur des dépôts (Vandycke *et al.*, 1991).

Certaines failles ou diaclases déforcent le toit de la carrière, provoquant des alignements de chutes de blocs et départs de fontis au sein des chambres.

D'autres offrent plutôt un passage privilégié à l'eau infiltrée dans le sol et provenant de la surface. Après la traversée aisée des limons et sables tertiaires, celle-ci altère chimiquement le sommet du massif des craies. C'est pourquoi des poches paléokarstiques sont communément observées et peuvent s'étendre jusqu'à 20 m de hauteur (Hennebert et Delaby, 2015).

#### 5) L'influence de l'exploitation minière sous-jacente

Vu l'antériorité de l'exploitation houillère, les affaissements miniers ont commencé à fracturer le massif des craies avant même l'ouverture des carrières. Cette fracturation n'a cessé de s'accroître, provoquant l'instabilité permanente des carrières et l'augmentation des venues d'eau. Ces problèmes, devenus trop importants, ont précipité la fin des exploitations.

#### 6) Une analyse accidentologique

Des informations relatives aux grands accidents précédemment survenus à l'aplomb des carrières ont permis d'en dresser un bref historique et d'en comprendre les causes.

Les effondrements ont commencé dès l'arrêt de l'exhaure et par crises successives. Ils se sont préférentiellement produits dans des secteurs des carrières présentant au moins une de ces caractéristiques : présence de piliers à fort élancement, situation dans la zone de battement de la nappe et proximité d'une discontinuité ayant des conséquences géomécaniques.

### **3.4. La cartographie des zones d'aléas**

La cartographie de la figure 3 représente le zonage des carrières souterraines établi en septembre 2014 selon la classe de l'aléa d'effondrement localisé. Elle se veut être une synthèse simple des quelques éléments disponibles.

Les principaux secteurs d'exploitation des carrières ont d'abord été caractérisés d'après la hauteur des chambres, liant proportionnellement l'élancement des piliers à l'intensité de la classe d'aléa. Quant aux secteurs déjà effondrés, totalement remblayés ou non exploités, l'aléa y a été classé comme très faible.

Ensuite, les carrières sont divisées en trois parties homogènes selon le niveau piézométrique : totalement immergée, totalement émergée et intermédiaire (battement de nappe). Ces parties subdivisent les secteurs précédemment définis en sous-secteurs.

Un examen visuel des secteurs de la zone totalement immergée ne montre pas de chutes de blocs, ni de dégradation des piliers, alors que de nombreuses zones de la partie émergée des carrières présentent ce type de désordres. Ainsi, les sous-secteurs situés dans les zones immergée, émergée ou intermédiaire se voient respectivement accorder un facteur favorable, moyen ou défavorable à leur stabilité. Ce facteur majore ou minore la classe d'aléa initialement attribuée au secteur.

La fracturation importante des piliers, le tracé des discontinuités du massif ont également été pris en compte en majorant la classe d'aléa pour les sous-secteurs concernés.

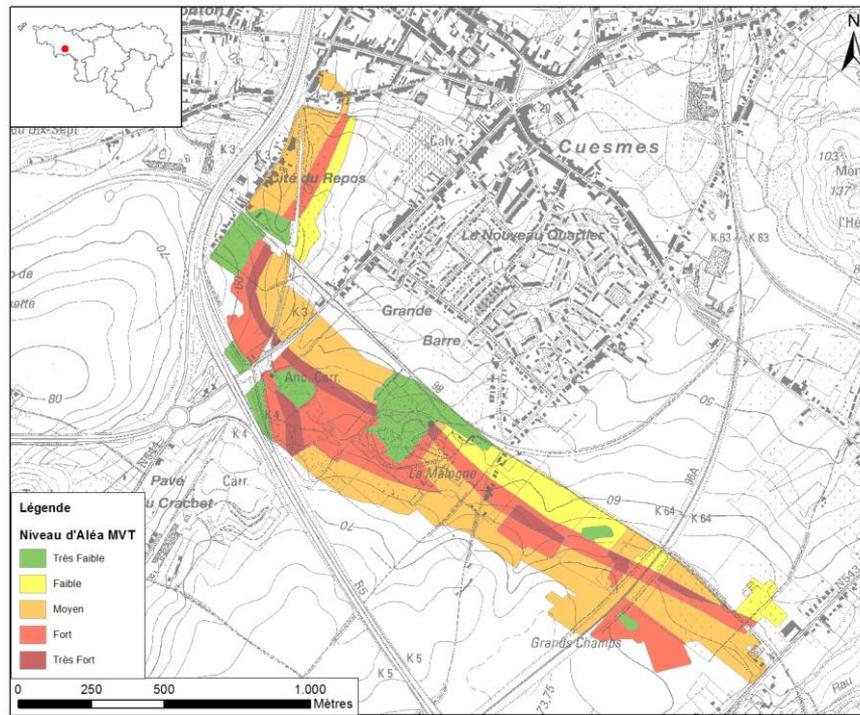


Figure 3. Cartographie des zones d'aléas d'effondrement dressée pour les carrières souterraines de la Malogne.

Les effondrements précédents ont été reportés afin de cibler les zones les plus instables, d'en comprendre les causes et de les extrapoler à d'autres parties des carrières. Ainsi, deux effondrements de grande ampleur s'étaient déjà produits à proximité du secteur effondré en 2015. Sont en cause l'élançement important des piliers soumis au battement cyclique de la nappe et la tranchée du chemin de fer qui modifie la distribution homogène des contraintes dans le toit des carrières. C'est le cumul de ces facteurs défavorables qui avait amené à notamment définir ce secteur en classe d'aléa très élevé. Ces facteurs s'avèreront vérifiés lors de l'analyse des causes de l'incident de 2015 (CACEff, 2015). Un plan de surveillance adapté à l'ensemble du site a été proposé aux autorités locales afin de mieux documenter le site et affiner la cartographie des aléas.

#### 4. Conclusions

Inspirée de l'expérience française, une méthodologie de cartographie des zones d'aléas a été développée pour simplifier la gestion des risques du sous-sol en Wallonie. Dans sa phase de validation, elle a été notamment appliquée aux anciennes carrières de la Malogne afin d'identifier les secteurs critiques. Ce cas d'étude démontre l'utilité d'un tel outil pour la gestion intelligente de l'aménagement du territoire wallon et la sécurité publique.

Dans le cas des carrières de la Malogne, il a été proposé aux autorités locales d'étudier le site dans son ensemble et de mieux le documenter afin de renforcer la cartographie d'aléas de mouvement de terrain, tel un outil destiné à la gestion des risques au voisinage des carrières souterraines.

#### 5. Remerciements

Les auteurs souhaitent sincèrement remercier les agents du Service public de Wallonie associés à la démarche pour l'échange d'expérience et d'informations, Messieurs

X. Dauplet et JM. Wattelet (INERIS) pour leur accompagnement technique, et les Professeurs C. Schroeder (ULB), JP. Tshibangu (UMons) et J. Yans (UNamur) pour leur support scientifique.

## 6. Références bibliographiques

- Cellule Aide et Conseils Effondrements (2015). Carrières souterraines de la Malogne à Cuesmes (Mons) - Effondrement généralisé survenu le 22/04/2015 le long de la limite ouest de l'emprise de la ligne de chemin de fer 96A (Mons-Quévy-Paris) – Rapport d'intervention et de recommandations. *Rapport interne CACEff-009/01, Service public de Wallonie.*
- Denayer J., Pacyna D. et Boulvain F. (2011). Le minerai de fer en Wallonie : Cartographie, histoire et géologie. *Editions du Service public de Wallonie, 312 pp.*
- Didier C. et Salmon R. (2010). Un modèle de calcul des hauteurs prévisibles de remontée de fontis à l'aplomb d'exploitations souterraines peu profondes. *Revue française de Géotechnique, pp. 21-36.*
- Didier C. et Watelet J.M. (2012). Guide méthodologique, Plan de prévention des risques naturels, Cavités souterraines abandonnées. *Éditions du Ministère français de l'Écologie, du Développement Durable et Environnement, 81 p.*
- Funcken L. (2008). Suivi Géotechnique et confortement des anciennes carrières souterraines de craie. *Communication, Journée d'études SBGIMR sur les carrières souterraines de craie du bassin de Mons et environs, 07/05/2008, Mons, Belgique.*
- Hennebert M. et Delaby S. (2015). Carte géologique de Wallonie – Feuille Mons-Givry (45/7-8). *Éditions du Service public de Wallonie, non publié.*
- INERIS (2006). L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers – Guide Méthodologique – Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa : Les risques de mouvements de terrain, d'inondations et d'émissions de gaz de mine. *Rapport d'étude, DRS-06-51198/R01, 140 p.*
- Kheffi A., Pacyna D. et Delforge Ph. (2014). The numerical map of known mine shafts in Wallonia: a useful tool for land planning and risk management. *In Lollino G., Manconi A., Guzzetti F., Culshaw M., Bobrowsky P. and Luino F. (2015). XII IAEG International Congress, Engineering Geology for Society and Territory, Volume 5, Springer International Publishing, Switzerland, pp 933-936.*
- Leclercq F., Bouko Ph. (1985). La Malogne des hommes et la craie au pays du charbon... *Éditions du Ministère de la Communauté française de Belgique, Bruxelles, 63 p.*
- Pacyna D. (1991). Environnement et mise en valeur du site des carrières souterraines de la Malogne (Cuesmes). *Travail de fin d'études, Faculté polytechnique de Mons, 54 p.*
- Pacyna D. et Salmon M. (2012). Gestion des risques miniers en Wallonie (Belgique) : les outils WebGIS au service de la prévention. *Proceedings, GESRIM 2012, 1<sup>er</sup> Congrès international sur la gestion des rejets miniers et l'après mine, 03-06/04/2012, Marrakech, Maroc, 12p.*
- Rorive A., Mingeot A. (2000). Carte hydrogéologique de Wallonie, planchette n° 45/7-8 Mons – Givry. *Ministère de la Région wallonne (DGRNE), édition provisoire.*
- Vandycke S., Bergerat F. et Dupuis C. (1991). Meso-cenozoic faulting and inferred paleostresses in the Mons Basin, Belgium. *Tectonophysics, 192, pp 261-271.*