

LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE EN PÉRIODE DE SÉCHERESSE COMME SOURCE DE RENSEIGNEMENTS GÉOLOGIQUES EN WALLONIE

Hélène QUOILIN, André OZER, Yves CORNET et Albert PISSART

Résumé

Des photos aériennes prises en Wallonie pendant des périodes de sécheresse se sont révélées d'un grand intérêt pour la cartographie géologique. Près de 500 photos permettent, par l'intermédiaire du stress hydrique auquel les plantes sont soumises, de reconnaître la structure géologique d'endroits où n'existe aucun affleurement. La direction de la stratification et aussi localement des plis et le tracé de failles, apparaissent dans des zones où, à faible profondeur (jusqu'à plus de deux mètres), la nature différente du substrat détermine des variations dans le stress subi par les plantes. Les structures visibles varient en fonction du développement de la sécheresse et aussi en relation avec le type d'occupation du sol. Jusqu'à présent, les images satellitaires n'ont pas permis d'observer ces structures, mais l'accroissement de leur résolution permettra de travailler directement avec ces documents et de disposer, lors de la prochaine sécheresse, d'images prises au bon moment et couvrant complètement de grandes régions.

Mots-clés

photo-interprétation, photogéologie, sécheresse, Wallonie

Abstract

Aerial photographs taken in Wallonia during periods of drought have been shown to be of great interest for geological mapping. Nearly 500 pictures allow, by means of hydrologie stress to which the plants are subjected, recognition of the geologic structure of areas where there is no outcrop. The direction of stratification, and also locally the folds and fault traces, appear in the zones where, at shallow depth (up to more than two metres), the different natures of the bedrock determine variations in stress that plants are subjected to. The visible structures vary as a function of the development of the drought and also in relation to the type of occupation of the soil. Up to the present, satellite images do not permit us to observe these structures, but improvements in resolution will make it possible to work, during the next drought, directly with satellite images taken at the right time and completely covering large areas.

Key Words

photo interpretation, photogeology, drought, Wallonia

I. HISTORIQUE

En 1973, dans un mémoire de fin d'études en Sciences géographiques (ULg), José Donnay observe près de Bastogne, sur des photos aériennes IGN prises le 20-04-68, soit au moment d'une grande sécheresse, des structures particulières qui sont interprétées après une campagne de fouilles sur le terrain comme des traces de phénomènes périglaciaires. L'attention est ainsi attirée sur les possibilités de voir des phénomènes particuliers au moment où « des différences d'humidité du sol reflétant les conditions géologiques profondes se marquent par l'intermédiaire de la couverture végétale » (Donnay et al., 1976).

À la fin de la grande sécheresse de 1976, A. Pissart loue un avion et survole les Hautes Fagnes et une partie de la région d'Eupen pour voir si les conditions exceptionnelles de sécheresse ne faisaient pas apparaître des struc-

tures géologiques. Aucune observation particulière n'a retenu l'attention dans les Fagnes. Par contre, en bordure de l'Ardenne, et notamment dans la région d'Eupen, la stratification du Famennien apparaissait clairement. Le même jour (9-7-76) en revenant du champ d'aviation, A. Pissart observe que la stratification du Famennien est aussi bien visible au sol dans des prairies près de Dolembreux. Une des photographies prises alors près d'Eupen a été publiée par A. Ozer et C. Jacques (1985) en même temps d'ailleurs qu'une autre photo prise au cours de la même sécheresse par la Force aérienne sur la commune de Loyers-Namur. Cette dernière photo montrait des structures circulaires dues également à des différences lithologiques dans le substratum houiller.

Il a fallu attendre 1991 pour que de nouvelles conditions de sécheresse réapparaissent et ce n'est qu'en septembre de cette même année, lors d'un vol réalisé par A. Pissart et A. Ozer, qu'il a été possible de vérifier com-

ment apparaissait, en condition de sécheresse, la stratification du Famennien, entre autres, dans la région de Dolembreux et d'Esneux. Quand une sécheresse s'est représentée en 1994, A. Pissart et Y. Cornet étaient certains de ce qu'ils allaient voir en survolant le Condroz à l'est de la Meuse de Dinant. Un an plus tard, une nouvelle période sèche se produisant en août, deux vols furent accomplis les 10 et 18-8-95 par A. Ozer, H. Quoilin et A. Pissart. Au total, près de 500 photos obliques prises d'une altitude variant entre 100 et 400 m principalement dans le Condroz ont été à l'origine d'un mémoire de fin d'études en Sciences géographiques qui a été présenté à l'Université de Liège en septembre 1996 par l'un de nous (H. Quoilin). Toutes les photos ont été prises avec des appareils photographiques ordinaires sous forme de diapositives jusqu'en 1994 et en tirages papier en 1995. Seuls ont été photographiés des endroits où la structure géologique apparaissait clairement depuis l'avion.

En considérant ces très nombreuses photos, il est possible de préciser les formations géologiques qui laissent apparaître la structure ainsi que de définir les conditions climatiques et les cultures qui les font le mieux apparaître.

II. LES ASSISES GÉOLOGIQUES OÙ DES STRUCTURES ONT ÉTÉ OBSERVÉES

Les itinéraires des missions photographiques réalisées en 1994 et 1995 sont donnés sur la figure 1. Nous considérerons successivement, par ordre stratigraphique, les assises géologiques où des structures ont été observées.

A. L'Eifelien (anciennement Couvinien)

Au bord sud du synclinorium de Dinant, l'Eifelien, essentiellement schisto-calcaire avec de fines alternances lithologiques, fait apparaître un aspect finement lité à la surface du sol (Photo 1). La photo 2 montre mieux l'apport de tels clichés à la cartographie géologique dans une zone où la structure de l'Eifelien est plus complexe.

B. Le Givetien

Le nombre de photos que nous avons prises dévoilant la structure du Givetien est réduit, aussi nous est-il malaisé de caractériser simplement les aspects que peut présenter en photogéologie les formations qui constituent cet étage. Toutefois la photo 3 montre que le Gva comprenant des calcaires avec de minces intercalations argileuses s'inscrit dans un faciès plus fin que le Gvb (formation de Fromelennes) qui se caractérise par des bandes plus larges.

C. Le Frasnien

L'étage frasnien présente des faciès variés bien que les schistes et les calcaires forment de loin la masse principale.

Des structures géologiques apparaissent quelquefois sur les photos de la formation de Matagne constituée de schistes noirâtres ou verdâtres. Mais, le plus souvent, la signature géologique apparaît à la base du groupe de Frasnes constituée de schistes à nodules argilo-calcaireux (Photo 4).

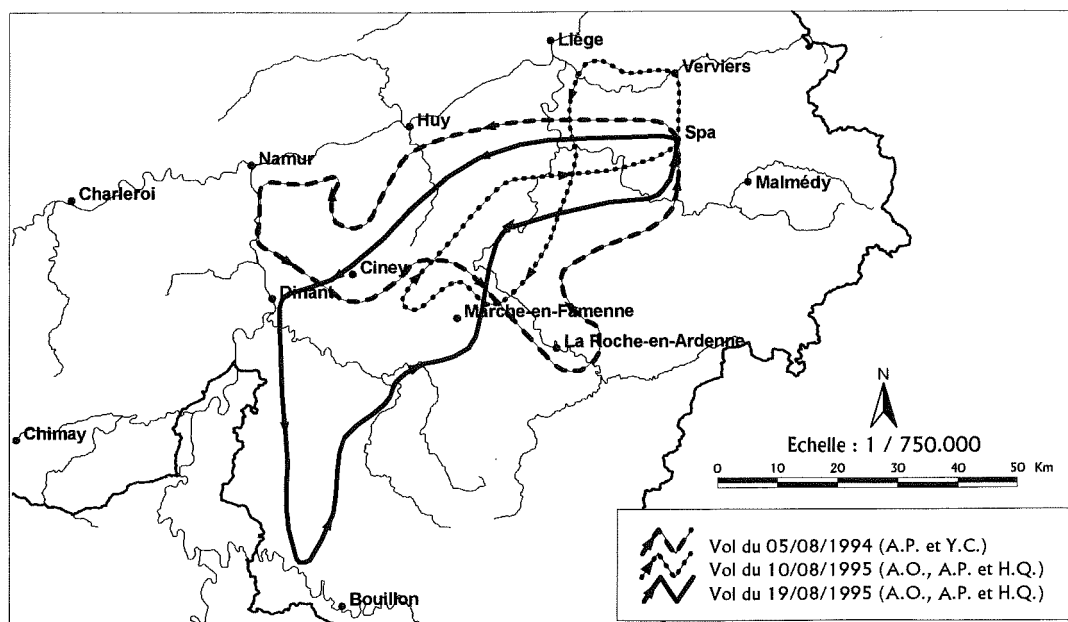


Figure 1. Itinéraire des vols de 1994 et 1995 au cours desquels les structures géologiques apparaissant des deux côtés de l'avion ont été photographiées.



Photo 1. Photo montrant la structure géologique finement litée de l'Eifelien au sud de Wellin, au lieu-dit « Devant le Tienne de Monsais ».



Photo 2. Vue de la structure complexe de l'Eifelien au nord de Chanly. La structure géologique disparaît dans le thalweg plus humide qui, depuis l'autoroute, se dirige vers le coin inférieur gauche de la photo.



Photo 3. L'espace cultivé entre la route et le bois au bas de cette photo prise au nord de Resteigne permet de voir l'aspect du Gva et du Gvb des anciennes cartes géologiques. Le Gva apparaît en surface comme un faciès finement lité (près du bois au bas de la photo) tandis que le Gvb (près de la route) correspond à une bande beaucoup plus large de calcaire.



Photo 4. Photo prise le 18-08-95 au nord de Tohogne. Les couches particulièrement bien visibles à l'avant-plan de la photo seraient dues à l'alternance de schistes et de calcaires noduleux au sein du Groupe de Frasnes.



Photo 5. Photo du 10-8-95 à l'est de Sinsin (N-O de Marche-en-Famenne). La fine stratification correspond d'après la carte géologique aux formations situées entre l'assise inférieure du Fa 1 (anciennement, assise de Senzeille) et le sommet du Frasnien (autrefois assise de Matagne) là où les premiers schistes alternent encore avec quelques lits calcaires.



Photo 6. Vue au sol de la structure géologique visible à l'est de Fontin (Esneux) en 1995. Le château d'eau visible sur cette figure est apparent sur la figure 8.



Photo 7. Photo prise à l'est de Fontin (Esneux) le 5/8/94 et montrant la signature géologique du Famennien supérieur ainsi qu'une faille localisée à peu près au centre de la photo. La figure 7 a été prise près de l'extrémité supérieure de cette photographie mais dans la direction opposée.



Photo 8. Pli complexe des couches du Famennien supérieur apparaissant dans un champ de betteraves à l'ouest de Scy.



Photo 9. Photo du 18-08-95 montrant à l'est de Sovet (Ciney) l'assise de Dinant et plus précisément la sous-assise V 1 constituée de marbre noir (Formation de la Molinee). Le dessin en forme de treillis est la manifestation du réseau de diaclases (N-S) et de joints de stratification (E-W) du calcaire.



Photo 10. Photo prise le 5 août 1994 montrant la structure géologique plissée du Famennien supérieur qui apparaît parfaitement sous les betteraves (en vert), transparait à gauche dans un champ de froment en cours de récolte et n'est absolument pas visible à droite dans un champ de céréales entièrement récolté.

D. Le Famennien

Le Famennien inférieur (schistes de la Famenne) essentiellement schisteux présente des différences lithologiques moins prononcées que celles d'autres assises (Photo 5).

Le plus grand nombre de photos laissant apparaître la structure géologique correspond au Famennien supérieur c'est-à-dire aux psammites du Condroz qui se divisent en formations de Montfort et d'Evieux. C'est l'alternance entre des couches schisteuses et gréseuses plus ou moins perméables qui apparaît (Photos 6, 7 et 8).

E. Le calcaire carbonifère

Le Tournaisien et le Viséen constituent un ensemble de dépôts épais d'environ 1 000 m dans lequel il n'y a presque que des roches carbonatées (calcaire et dolomie), très peu de roches péliques et pratiquement pas de roches arénacées. La structure géologique est rarement visible sur ces formations. Quand elle apparaît, elle présente un dessin en forme de treillis qui est la manifestation du réseau de diaclases et de joints de stratification du calcaire (Photo 9). Cette structure disparaît évidemment où existent des poches de sables oligocènes remplissant les dépressions karstiques.

F. Les autres étages survolés

Sur la faible surface de Houiller survolée, nous n'avons recueilli aucune donnée ayant trait à notre étude. De même, sur les terrains du Dévonien inférieur (Gedinnien, Siegenien, Emsien), nous n'avons observé que très sporadiquement des structures qui traduisent l'allure des formations géologiques.

III. COUPES RÉALISÉES POUR VÉRIFIER À QUOI CORRESPONDENT LES STRUCTURES GÉOLOGIQUES OBSERVÉES SUR PHOTOS

Dans le cadre d'un contrat SPPS signé en 1993, le Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire a, en collaboration avec J. F. Cremer, licencié en Sciences géologiques, réalisé des tranchées pour déterminer l'origine des bandes sèches et moins sèches visibles sur des photos prises à basse altitude, le 15-9-91. Ces tranchées perpendiculaires aux structures observées sont descendues jusqu'au bedrock, soit 2 à 3 m sous la surface du sol. Elles ont été creusées à la pelle mécanique au sud de Dolembreux dans des niveaux famenniens dénommés sur l'ancienne carte géologique Fa2a (schistes noduleux et psammites) et Fa2b (bancs de psammites massifs).

Les coupes ont permis de vérifier que les bandes de terre où la végétation était desséchée correspondaient soit aux endroits où le substrat peu altéré était plus proche de la surface du sol, soit à des bandes où le substrat sableux retenait moins d'humidité que les substrats argileux voisins résultant de l'altération de schistes.

Cette recherche ne laissait planer aucun doute, et démontrait que c'était bien la stratification qui apparaissait sur les photos que nous avons prises.

IV. LES CONDITIONS CLIMATIQUES PERMETTANT L'APPARITION DES STRUCTURES GÉOLOGIQUES

Seul un vol pendant une période de sécheresse provoquant dans les plantes, un stress hydrique permet d'observer les structures géologiques dont nous venons de montrer des exemples. La majorité des photos aériennes

nes de l'IGN et des Travaux Publics ne permettent aucune observation semblable, car elles ont été généralement prises en dehors de périodes de sécheresse. Signalons toutefois, parmi les exceptions, les photos prises par l'IGN le 19-8-1947 qui couvrent à l'échelle du 1/10 000 les planches 42 et 43 ainsi qu'une petite partie septentrionale des feuilles 49 et 50, de même que les photos prises le 20-4-68 au 1/16 000 sur la feuille 65 (Donnay et al.).

Le stress hydrique des plantes ne se produit évidemment pas de la même manière et au même moment en tous les endroits. Au début de la sécheresse, des structures apparaissent seulement sur les sols peu profonds ayant des réserves d'eau limitées. Plus tard, alors que les sols sont devenus complètement secs dans les premiers sites et que la structure géologique y a de ce fait disparu, des sols plus profonds font seulement apparaître des signatures significatives. Une sécheresse très prolongée dévoile enfin la structure géologique en des endroits où elle n'apparaît presque jamais. La lisibilité des structures est donc temporaire : les structures apparaissent et disparaissent selon les sites au cours du développement de la sécheresse.

Au sol, lorsque ces structures sont reconnues, leur tracé est généralement difficile à restituer. L'observation au sol, en des endroits où elles ont été reconnues précédemment, permet toutefois de déterminer les moments propices pour effectuer des prises de vues aériennes.

La démonstration de l'importance de la sécheresse dans l'apparition de restes archéologiques enfouis a été par ailleurs remarquablement mise en évidence en France au cours de l'année 1976 où la sécheresse subsista exceptionnellement pendant cinq semaines. L'étude des photos aériennes prises pendant cette période a permis de doubler le nombre de sites archéologiques connus en France (Goguey, 1977; Jalmain, 1977).

Deux facteurs déterminent la sévérité de la sécheresse au sol, à savoir l'absence de précipitation, mais aussi l'importance de l'évaporation. Ces deux facteurs associent leurs effets pendant l'été lorsqu'un temps anticyclonique s'installe. Les périodes de sécheresse sévère qui ont permis l'apparition des structures géologiques ont ainsi eu lieu en juillet en 1976, en août en 1947, 1994 et 1995, et en septembre en 1991. Les périodes sans ou presque sans précipitation antérieure aux prises de vue se sont prolongées dans tous les cas entre 5 et 8 semaines. On peut prédire que ce sera toujours au coeur de l'été qu'apparaîtront les circonstances les plus favorables à la manifestation des structures géologiques étudiées.

V. LA COUVERTURE VÉGÉTALE ET LES STRUCTURES GÉOLOGIQUES

Sous le couvert forestier, aucune observation n'a été possible. Non seulement le sol ne peut être observé, mais,

en outre, le réseau racinaire d'un arbre s'étend largement et ils ne peuvent donc faire apparaître les brutales différences spatiales d'humidité qui traduisent, dans les champs cultivés et les prairies, des limites lithologiques.

Les centaines de photos aériennes qui ont été examinées ont permis de reconnaître les affectations les plus aptes à traduire en surface les variations lithologiques du substrat. Dans un ordre décroissant, ce sont la betterave sucrière, le maïs, les céréales arrivées à maturité, mais pas encore récoltées, les prés de fauche et prairies, l'engrais vert, toutes céréales moissonnées (froment, orge, colza...).

Les structures les plus apparentes, les plus précises et les plus fines apparaissent dans les champs de betteraves. Les différences d'humidité en profondeur influencent considérablement le développement de cette plante dont la racine pivotante se prolonge fort loin verticalement. Le maïs fait aussi apparaître la structure géologique, car l'approvisionnement en eau est un facteur essentiel de son développement surtout 15 jours avant et 15 jours après la floraison (qui se produit normalement entre le 10 juillet et le 10 août). Les racines du maïs aussi bien traçantes que plongeantes explorent un volume de plusieurs m³. On ne peut donc espérer que cette plante indique d'une manière aussi tranchée que la betterave les différences lithologiques.

La majorité des photos que nous avons considérées ont été prises au cours du mois d'août. Nous n'avons de ce fait que peu d'observations concernant les céréales qui sont normalement récoltées fin juillet. La photo 10 montre toutefois que, même au moment de la récolte, des graminées qui ont souffert de la sécheresse au cours de leur croissance peuvent dévoiler l'allure de la structure géologique.

Dans les prairies, les différentes plantes jouent des rôles variables dans le processus conduisant à l'apparition finale de l'influence lithologique. Alors que l'herbe ordinaire est complètement brûlée, les pissenlits avec leur racine pivotante profonde restent toujours verts, car ils peuvent se ravitailler en eau à plus grande profondeur. Ces pissenlits, épars, n'apparaissent toutefois pas sur les photos aériennes.

CONCLUSION

En temps de sécheresse, la structure géologique apparaît parfois en surface, car les différences de lithologie se marquent dans la couverture végétale. Ce phénomène a pu être observé dans un grand nombre de formations géologiques du Dévonien moyen et supérieur. C'est sur le Famennien supérieur psammitique que les phénomènes apparaissent le plus souvent et le plus clairement. Ces structures ne sont que rarement visibles, et seulement lors de sécheresses qui durent plus de 5 semaines entre juillet et septembre. Elles disparaissent rapidement lorsque des précipitations surviennent. Les structures

apparentes changent d'aspect au cours du développement de la sécheresse et surtout n'apparaissent que si la couverture végétale est favorable. En conséquence, les photos dont nous avons disposé, n'ont montré qu'une partie des structures potentiellement visibles, celles qui correspondent aux zones où l'affectation du sol était favorable au moment de la prise de vue et au degré de sécheresse atteint.

Les endroits où ces structures ont été observées se trouvent presque toujours sur les plateaux où les affleurements sont très rares. La photogéologie est ainsi un outil qui sert actuellement dans les levés de la nouvelle carte géologique de Wallonie. Une copie de nos meilleures photos est dans ce but conservée à la Direction Générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Division de la gestion du sous-sol du Ministère de la Région wallonne. Par ailleurs, un séminaire destiné à sensibiliser les géologues travaillant à cette cartographie a eu lieu à leur demande au laboratoire de géomorphologie de l'Université de Liège en janvier 1994.

Une scène SPOT, panchromatique (10 m de résolution) datée du 3 août 1995, soit pendant une période où nous avons pris des photos aériennes, n'avait ni la résolution spatiale, ni la résolution spectrale suffisante pour pouvoir y reconnaître les structures géologiques apparentes sur les photos aériennes. Le parcellaire est particulièrement gênant du fait des réflectances variées des différentes parcelles, et nous ne sommes pas parvenus à isoler les signatures recherchées. L'oeil pour sa part prolonge aisément d'une parcelle à l'autre, indépendamment de l'affectation du sol, les linéaments qui se poursuivent. L'accroissement constant de résolution spatiale des images satellitaires permettra lors d'une prochaine sécheresse de travailler à partir de ces documents. Ainsi, les capteurs montés à bord du satellite IKONOS permettent déjà aujourd'hui des saisies à 4 m de résolution en mode multispectral (3 bandes dans le visible et une dans le proche infrarouge) et à 1 m en mode panchromatique. Par ailleurs, les techniques de fusion d'images permettront d'injecter l'information à haute résolution spectrale dans les données à basse résolution spatiale, mais plus riche en informations spectrales.

REMERCIEMENTS

Monsieur J.-M. Marion a eu l'obligeance de relire le manuscrit et de nous indiquer la terminologie qu'il convenait d'utiliser pour désigner les différents ensembles géologiques. Nous l'en remercions vivement.

BIBLIOGRAPHIE

- DONNAY J., 1973. *Les photos aériennes comme moyen d'études de la région de Bastogne. Étude de géographie physique*, Mémoire de licence en Sciences géographiques, Université de Liège, inédit, 102 p.
- DONNAY J., MACAR P., OZER P. et PISSART A., 1976. Photos aériennes et structures périglaciaires en Ardenne centrale. *Biuletyn Per yglacjalny*, 26, pp. 205-209.
- GOGUEY R., 1977. Est : recherches aériennes de la Loire au Rhin en 1976. *Dossier de l'Archéologie*, 22, pp. 48-56.
- JACQUES CH., 1983. *Contribution à l'étude géomorphologique du sud-est namurois*, Mémoire de licence en Sciences géographiques conservé à l'Université de Liège, inédit, 193 p.
- JALMAIN D., 1977. Beauce : réflexion sur la recherche archéologique et la sécheresse de 1976. *Dossier de l'Archéologie*, 22, pp. 22-27.
- OZER A. et JACQUES C., 1985. L'importance des conditions climatiques dans l'apparition des structures géologiques sur les photos aériennes. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 21, pp. 83-88.
- QUOILIN H., 1996. *Apport de la télédétection dans la reconnaissance des structures géologiques en période de sécheresse dans le Condroz et en Famenne*, Mémoire de licence en Sciences géographiques, Université de Liège, inédit, 130 p.

Adresse des auteurs :
Laboratoire de géomorphologie et télédétection,
Institut de géographie,
Université de Liège,
Allée du 6 Août, 2 - Bât. B 11
B-4000, Sart Tilman, Liège