

LES IMAGES SATELLITAIRES PRISES EN PÉRIODES DE SÉCHERESSE, OUTIL UTILE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE DE LA BELGIQUE

Marc SALMON, André OZER et Albert PISSART

Résumé

Des études antérieures ont montré que, en Wallonie, des limites lithologiques de certaines formations primaires peuvent apparaître sur des photos aériennes prises en période de sécheresse. La très haute résolution de certaines images satellitaires actuelles (0,61m en panchromatique et 2,44m en multispectral) permet également de distinguer la structure géologique sur des images saisies dans des conditions de sécheresse similaires.

Ainsi, l'image Quickbird couvrant la région de Wellin et Beauraing (provinces de Luxembourg et Namur) et datant du 21 juillet 2006, soit après 51 jours d'absence de précipitations, montre de façon particulièrement visible la structure géologique dans les roches finement litées de l'Eifelien.

Mots-clés

Cartographie géologique, image satellitaire, Quickbird, photogéologie, sécheresse, Wallonie

Abstract

Previous studies in Wallonia indicate that lithological divisions between certain geological formations are apparent on aerial photographs taken during dry periods.

High resolution satellite imagery (0.61 panchromatic; 2.44 multispectral) also permits identification of geologic structure from images taken during similar dry periods.

For example, a Quickbird image covering the region of Wellin and Beauraing (Luxembourg and Namur provinces) and dated July 21, 2006, follows upon 51 days with an absence of precipitation. This image clearly shows the geological structure of thinly-bedded Eifelian formation.

Keywords

Photogeology, Drought, Wallonia, Quickbird, Satellite imagery, geological cartography

INTRODUCTION

Pendant 36 ans, deux des auteurs (A.P. puis A.O.) ont enseigné la photo-interprétation aux étudiants ingénieurs géologues de l'Université de Liège. Il s'agissait alors principalement, par l'examen des formes du relief, de reconnaître non seulement les formations quaternaires mais aussi la structure géologique. Mis à part les pays désertiques où les structures géologiques sont directement visibles, le travail d'interprétation n'est en Wallonie pas aisé, les reliefs sont peu contrastés et une couverture limoneuse plus ou moins remaniée recouvre partout la surface du sol.

En 1973, José Donnay observe pour la première fois, près de Bastogne, sur des photos aériennes prises en 1968 au moment d'une grande sécheresse que des couches géologiques apparaissent à la surface suite au stress de la végétation causé par les têtes de banc (Donnay *et al.*, 1976). Cette observation a conduit A. Pissart à louer un petit avion à Spa à la fin de la période de sé-

cheresse de 1976, ce qui lui a montré qu'effectivement la structure géologique apparaissait clairement dans la région d'Eupen, en bordure nord de l'Ardenne (Ozer et Jacques, 1985) alors que rien n'était visible dans les Hautes Fagnes. En revenant de ce vol, il a observé en outre que les structures géologiques vue d'avion étaient aussi reconnaissables au sol. De même, l'interprétation de photographies aériennes obliques prises lors d'exercices de routine par la Force aérienne belge a permis de souligner la présence de structures circulaires dans la région de Loyers (Namur) (Ozer et Jacques, 1985).

C'est seulement 15 ans plus tard que de nouvelles sécheresses sont apparues. En 1991, puis par la suite en 1994 et 1995, de nouveaux vols accomplis au-dessus du Condroz, de la Famenne, de la bande calcaire et de l'Ardenne ont permis d'indiquer les différentes formations où la géologie apparaissait clairement (Quoilin *et al.*, 2001).

Les photos prises lors de ces vols sont exploitées pour réaliser la nouvelle carte géologique de Wallonie car la Région wallonne a acquis en 1996 de très nombreuses

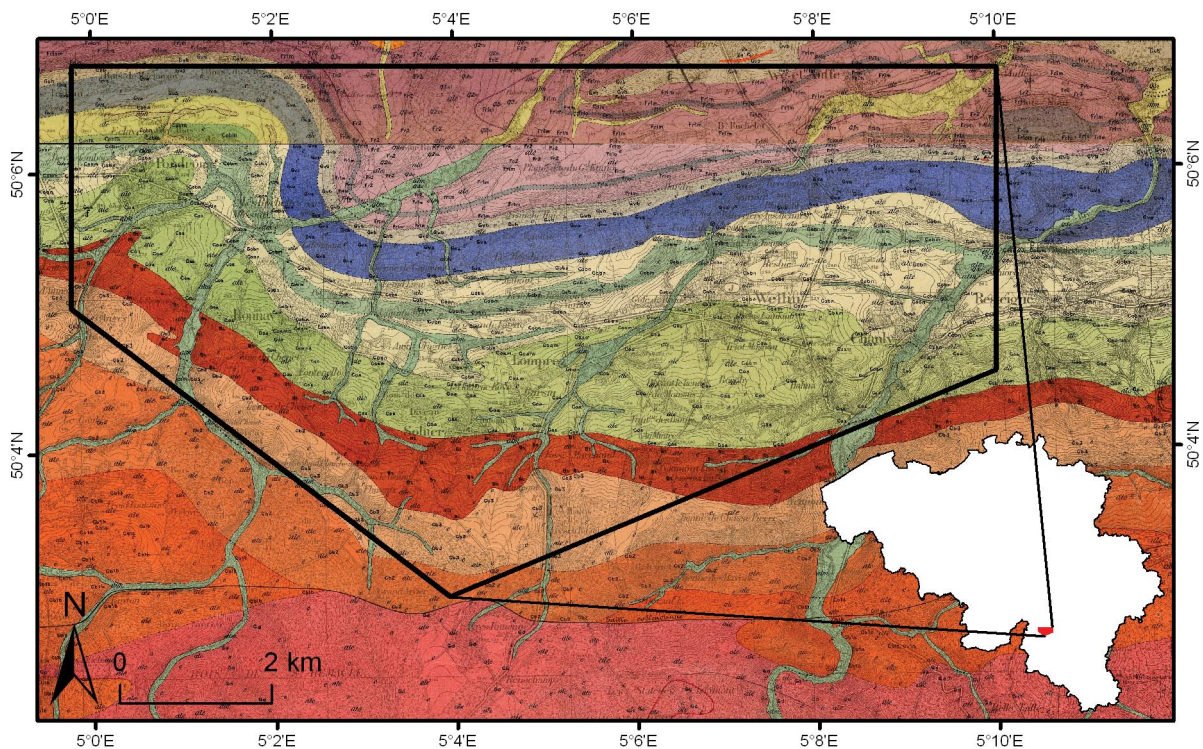


Figure 1. Carte géologique de 1895 actuellement disponible (planches 185 de Houyet et 194 de Pondrôme) et localisation de l'extrait analysé de l'image Quickbird



Figure 2. Structure géologique de l'Eifelien clairement visible sous les cultures et les prairies immédiatement au sud de Wellin sur une partie de l'image Quickbird prise le 21 juillet 2006. L'image (canal rouge) est si évidente qu'il n'est pas nécessaire de proposer une interprétation. Elle a bénéficié d'un filtre de convolution accentuant les limites (intégré dans nombre de logiciels grand public)

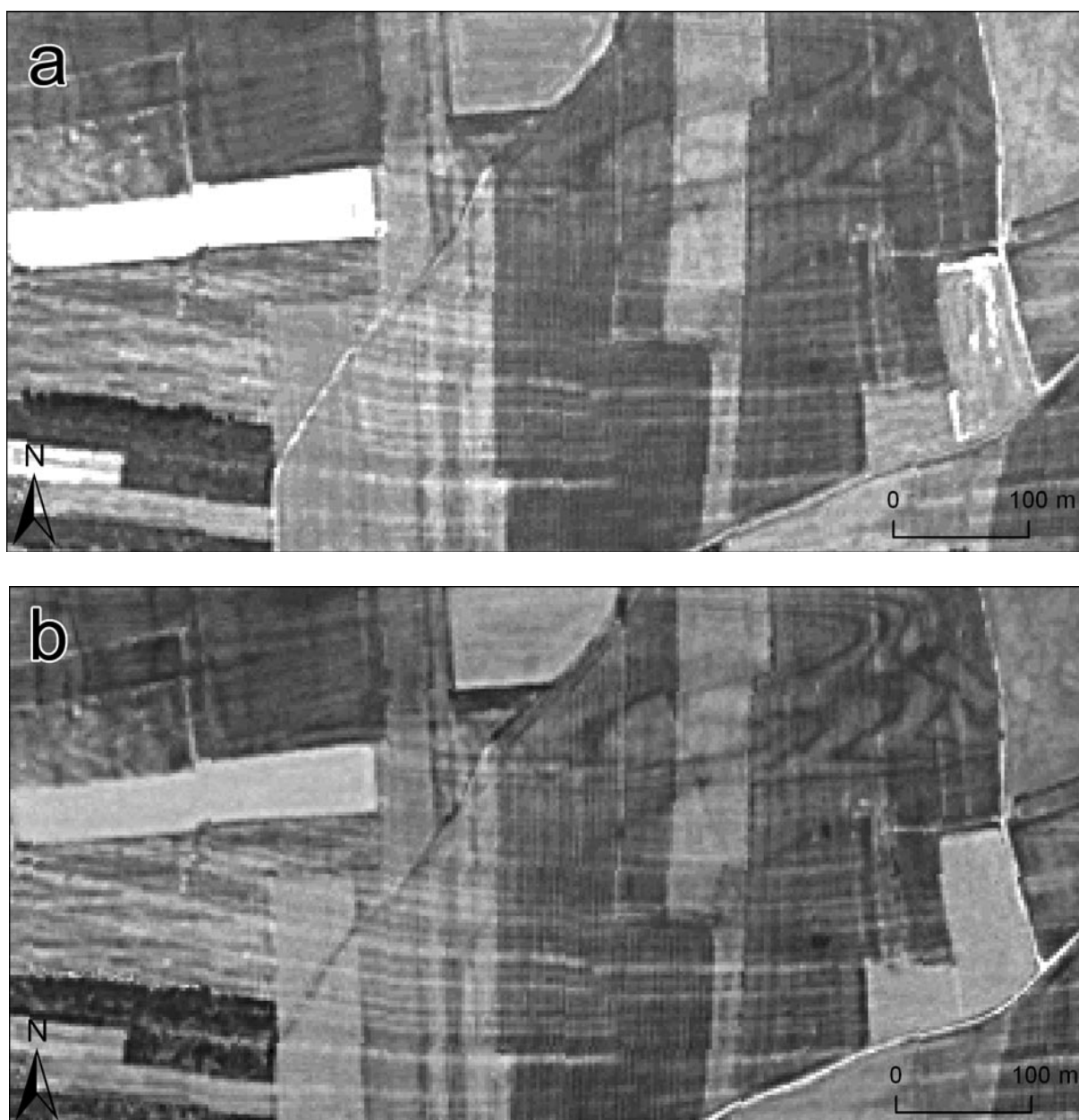


Figure 3. Comparaison entre l'image issue du canal rouge avec amélioration du contraste (Fig. 3a) et l'image issue de la soustraction du canal rouge par l'infrarouge (Fig. 3b), ce qui permet de faire mieux ressortir les structures dans les parcelles très végétalisées

photos obliques prises à basse altitude par A. Pissart, A. Ozer, Y. Cornet et H. Quoilin. Afin de reconnaître si ce qui apparaissait bien sur les photos était visible sur les images satellitaires disponibles en 1996. L'examen de ces images a été entrepris et a amené à la conclusion que la résolution n'était pas suffisante pour distinguer la structure géologique.

Des progrès considérables ont été réalisés aujourd'hui dans ce domaine car les images du satellite Quickbird ont une résolution de 0,61 m en panchromatique et de 2,44 en couleur qui permettent de voir distinctement les tracés géologiques recherchés. Ces images présentent ainsi un grand intérêt comme nous le montrons en décrivant une image Quickbird acquise le 21 juillet 2006

dans la région de Wellin (Figures 1 et 2). Les archives géologiques devraient conserver les images des périodes de sécheresse qui se produiront étant donné que les tracés géologiques n'y paraîtront pas de manière identique en fonction de l'état de la sécheresse, du développement de la végétation et de l'affectation du sol.

I. LES AVANTAGES DES IMAGES SATELLITAIRES

a) L'utilisation d'images satellitaires permet d'avoir une couverture acquise d'une façon homogène d'un vaste territoire. Les images Quickbird couvrent en effet une superficie de 270 km² alors qu'une carte géologique récente de Wallonie couvre 160 km².

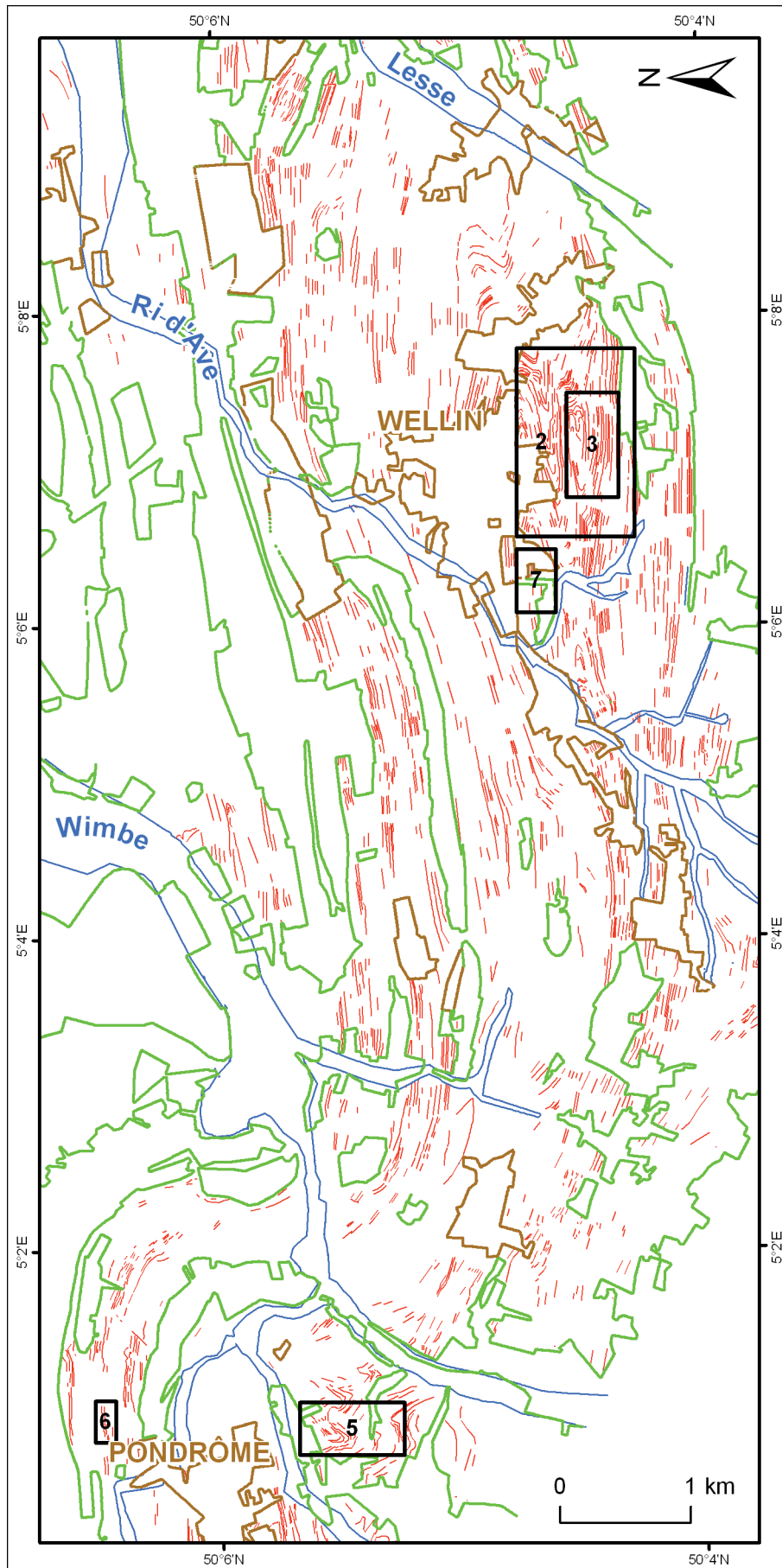


Figure 4. Vue d'ensemble des traces des structures géologiques repérées sur l'extrait de l'image satellitaire examiné. Cette vue de l'image reprend tous les traits géologiques distingués sur l'image du canal parfois aidée par l'examen simultané de l'image panchromatique. Sont entourées de vert les zones de forêts, de bleu les plaines alluviales, et de brun les villages et les carrières, soit les zones où les structures géologiques ne peuvent être aperçues par télédétection. Les cadres montrent la localisation des autres figures et leur numérotation

b) Les déformations géométriques des images satellitaires sont corrigées avec précision moyennant l'utilisation d'un modèle numérique de terrain. Il est ainsi très facile de reporter sur les cartes les tracés visibles sur les images. Un tel report était par contre très malaisé à partir des photos obliques que nous avons prises en 1995.

c) Les opérations simples appliquées à des images satellitaires par des logiciels de traitement d'images de grande diffusion ou spécialisés permettent d'améliorer les contrastes et de bien faire ressortir les différences d'intensité que l'on veut étudier. Par ailleurs, en soustrayant la bande 4 (infrarouge) de la bande 3 (rouge), les contrastes apparaissent très bien et la structure géologique ressort mieux dans certaines parcelles fort végétalisées (Figure 3).

d) La préparation nécessaire pour la prise de vue des images est minimale et est donc susceptible de permettre des acquisitions au moment les plus favorables. Par

ailleurs, le prix de ces images est sans comparaison avec le coût d'une couverture par photos aériennes. Actuellement, pour l'ensemble des canaux (panchromatique et multispectral), une image Quickbird d'archive coûte 20 euros par km² pour une surface minimale de 25 km², soit 500 euros minimum, et une image programmée coûte 25 euros par km² pour une surface minimale de 64 km², soit 1 600 euros minimum.

II. LES DIFFICULTÉS DE L'INTERPRÉTATION

Sur l'image (Figure 2) d'une partie du territoire situé immédiatement au sud de Wellin, les tracés des couches géologiques sont directement visibles et sont incontestables. Toutefois, en certains endroits l'interprétation est beaucoup plus difficile. Par exemple, quand des chenaux remplis de colluvions plus humides masquent l'allure des roches sous-jacentes et peuvent être pris comme indiquant la direction des strates. Des images



Figure 5. Comparaison des images panchromatique (Fig. 5a) et rouge (Fig. 5b), ainsi qu'une interprétation d'une partie de l'image située au sud de Pondrôme (Fig. 5c). Les images sont basculées de 90° vers l'ouest, de telle sorte que le nord est à gauche. L'image supérieure est la vue en panchromatique. La structure est à peine visible bien que la résolution soit de 0,61 m. L'image au milieu est la vue par le canal rouge dont la résolution est de 2,44 m. La structure est ici beaucoup plus apparente. En bas, est donnée l'interprétation extraite de l'image du canal rouge

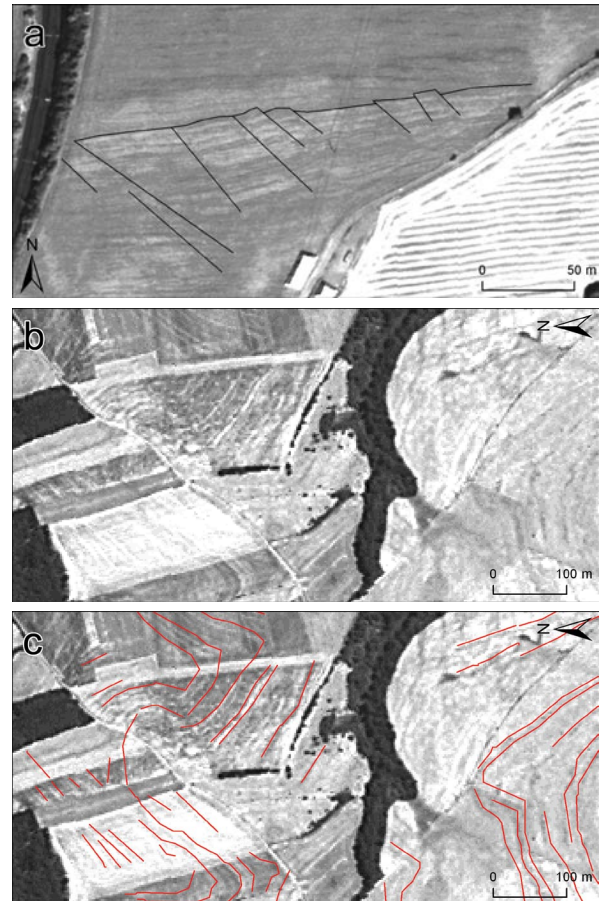


Figure 6. Au nord-est de Pondrôme, la structure géologique apparaît en détail sur l'image panchromatique (Fig. 6a) Les petites failles qui hachent les roches sont bien visibles. Sur le canal rouge et la composition colorée vraies couleurs (Fig. 6b et 6c) dont la résolution est de 2,44 m, le contraste est plus marqué et la structure géologique apparaît, mais pas avec le même détail



Figure 7. Photo aérienne oblique prise le 18-8-1995 par A. Ozer (Fig. 7a) et, pour comparaison, une partie de l'image panchromatique Quickbird du 21-7-2006 (Fig. 7b) de la même zone au sud de Wellin (Les repères A, B et C aident à une meilleure localisation). Ces images expriment qu'avec une résolution de 0,61 m, on observe bien la grande majorité des structures géologiques. Il est à noter également que les changements d'affectation entre les deux dates ont une influence sur la perception de la signature géologique

Tableau 1. Satellites d'observation actuels ou planifiés dans un futur proche et présentant un capteur dont la résolution est inférieure à 2,5m**Satellites actuels**

Satellite	Nation	Société	Date de lancement	Résolution spatiale au nadir (m)		Fauchée au nadir (km)	Dépointement latéral max. (deg.)	Stéréoscopie instantanée	Altitude (km)
				Pan	MS				
Ikonos	Etats-Unis	GeoEye	24/09/1999	0,82	3,20	11,3	26	Par tangage	681
Eros-A1	Israël	ImageSat	05/12/2000	1,80	n.d.	14,0	45	Par tangage	500
QuickBird	Etats-Unis	DigitalGlobe	18/10/2001	0,61	2,44	16,5	25	Par tangage	450
Spot-5	France	CNES	04/05/2002	2,50	10,00	60,0	27	Par tangage	822
Orbview-3	Etats-Unis	GeoEye	26/06/2003 à 04/03/2007	1,00	4,00	8,0	50	n.d.	470
Formosat-2	Taïwan	NSPO	21/05/2004	2,00	8,00	24,0	45	Par tangage	891
Cartosat-1 (IRS-P5)	Inde	ISRO	05/05/2005	2,50	n.d.	27,5	26	2 instr. (+26° et -5°)	618
Alos	Japon	JAXA	24/01/2006	2,50	10,00	35,0 / 70,0	44 (MS)	3 instr. (+23,8°, 0° et -23,8°)	692
Eros-B1	Israël	ImageSat	25/04/2006	0,70	n.d.	14,0	45	Par tangage	500
Resurs-DK1	Russie	Sovinform-sputnik	15/06/2006	1,00	2,50	28,3	30	n.d.	350
Kompsat-2	Corée du Sud	KARI	28/07/2006	1,00	4,00	15,0	30	Par tangage	685
Cartosat-2	Inde	ISRO	10/01/2007	0,80	n.d.	9,6	45	n.d.	637
WorldView-1	Etats-Unis	DigitalGlobe	18/09/2007	0,46	n.d.	16,0	45	Par tangage	450

Satellites futurs

Satellite	Nation	Société	Date de lancement	Résolution spatiale au nadir (m)		Fauchée au nadir (km)	Dépointement latéral max. (deg.)	Stéréoscopie instantanée	Altitude (km)
				Pan	MS				
GeoEye-1	Etats-Unis	GeoEye	Début 2008	0,41	1,64	15,2	35	Par tangage	684
Theos	Thaïlande	GISTDA	Début 2008	2,00	15,00	22,0 / 90,0	45	Par tangage	822
WorldView-2	Etats-Unis	DigitalGlobe	Début 2008	0,46	1,84	16,0	40	Par tangage	770
Pleiades-1	France	CNES	Mi 2008	0,70	2,80	20,0	30	Par tangage	694
Pleiades-2	France	CNES	Début 2010	0,70	2,80	20,0	30	Par tangage	694

n.d. : non disponible

satellitaires stéréoscopiques peuvent aussi être acquises ce qui faciliterait beaucoup l'interprétation. Nous n'en avons toutefois pas disposé.

Plus gênant encore et limitant l'interprétation est aussi l'affectation du sol. D'une parcelle à l'autre, la couverture végétale diffère et les tracés géologiques qui sont extrêmement clairs sur une parcelle, peuvent disparaître complètement sur les parcelles voisines. Quand des tracés sont visibles, ils changent d'aspect avec la couverture végétale de telle sorte que la continuité d'un banc d'une parcelle à la voisine est souvent difficile à tracer. Les pratiques culturales (le passage des tracteurs, la dispersion des engrais et du lisier, ...) par ailleurs laissent des traces qui peuvent être confondues avec les tracés géologiques. L'interprétation d'un linéament comme trace géologique est généralement la mieux étayée par la continuation d'un tracé d'une parcelle à sa voisine. Sur l'image étudiée, le parcellaire est influencé par la géologie et les limites des parcelles, comme d'ailleurs les limites des forêts, épousent souvent la direction des strates. L'interprétation en est ainsi délicate du moins si on ne dispose pas d'une résolution spatiale adaptée à la taille des objets analysés comme l'épaisseur des couches.

Les tracés donnés sur la figure 4 sont donc des interprétations. Les figures 5, 6 et 7 montrent bien ce que l'on peut attendre des différents canaux. Elles devraient donc être comparées avec les données de terrain et ne suffisent évidemment pas pour dessiner une carte géologique. Ce que nous démontrons ici, est seulement que des images satellitaires peuvent aider considérablement le géologue dans le dessin de ses tracés.

III. SÉCHERESSE ET FORMATIONS GÉOLOGIQUES

Les structures n'apparaissent toutefois que pendant des périodes de sécheresse suffisamment longues et seulement sur des formations particulières. Le 21 juillet 2006, 51 jours de sécheresse ont précédé la prise de vue de l'image Quickbird (7 mm au total de précipitations pendant cette période à la station de Rochefort en excluant la pluie d'orage du 6 juillet - 17,7 mm - qui était vraisemblablement une pluie locale). Les températures ont aussi été souvent élevées pendant cette période spécialement à partir du 10 juin. Dans son fascicule (IRM, 2006), l'IRM mentionne que juin 2006 a été caractérisé à Uccle par « un excès très anormal de la température moyenne, un déficit très anormal du total des précipitations et un excès anormal de la durée d'ensoleillement ». Le mois de juillet 2006 a été aussi à Uccle le plus chaud enregistré depuis 1833.

Les photos prises en 1995 (Quoilin *et al.*, 2001) ont montré, comme on peut le voir sur l'image que nous présentons, que les formations de l'Eifelien (anciennement Couvinien) montrent très bien la structure. Il en va de même des roches du Frasnien et du Famennien supérieur ; des structures sont aussi parfois visibles sur le Famennien

inférieur (Quoilin *et al.*, 2001). Il est clair cependant que suivant l'affectation agricole des parcelles et aussi le degré de la sécheresse, les structures apparaissent plus ou moins clairement. La couverture végétale donnant les images les plus remarquables est le maïs dont les racines pivotantes descendent profondément et sont plus influencées par la nature des roches si celles-ci ne sont pas à très grande profondeur.

Le tableau qui suit montre les progrès dans la résolution spatiale des images satellitaires disponibles actuellement et aussi celles qui le seront dans un avenir proche. Ces images fourniront des images permettant ainsi des interprétations de plus en plus fines qui seront utiles dans de multiples domaines et spécialement en géologie et en archéologie.

Cet article est une note préliminaire qui tient à montrer les apports innovants des images satellitaires très haute résolution pour les géologues en charge de la cartographie géologique auxquels nous ne voulons pas nous substituer. Nous sommes conscients que d'autres traitements d'image pourraient être réalisés comme la fusion d'images, et que ce type d'image pourrait être également utile à d'autres domaines comme la prospection archéologique. Ces points feront l'objet de futures recherches.

BIBLIOGRAPHIE

- DONNAY, J., MACAR, P., OZER, A. et PISSART, A. (1976). Photos aériennes et structures périglaciaires en Ardenne centrale. *Biuletyn Peryglacjalny*, 26, 205-209.
- IRM (2006). Observations climatologiques, *Bulletin mensuel de l'Institut Royal Météorologique de Belgique*, Juin - Partie I, 44 p.
- 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, 83-88.
- QUOILIN, H., OZER, A., CORNET, Y., PISSART, A. (2001). La photographie aérienne en période de sécheresse comme source de renseignements géologiques en Wallonie. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 40 (1), 33-40.

Adresse des auteurs :

Marc SALMON
msalmon@ulg.ac.be
André OZER
aozer@ulg.ac.be
Albert PISSART
A.Pissart@ulg.ac.be

Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection
Département de Géographie
Université de Liège
Allée du 6 Août, 2 – Bât. B11
B-4000 Liège