

Deuxième partie
Itinéraire géologique

Journée n° 0 : Samedi 10 Février

Journée de voyage

Décollage de CDG à 19h35, vol AF 992 pour Johannesburg



En arrivant dans l'aéroport, regardez autour de vous les différentes roches qui forment les dallages et les ornements des murs. Vous y verrez de nombreuses roches que nous allons visiter dans les prochains jours ! De mémoire, le dallage de la salle où l'on fait la queue pour le contrôle d'immigration est formé de gneiss migmatitiques avec des grenats, qui doivent être les Gneiss de Baviaanskloof, de la Zone Marginale Sud de la Ceinture du Limpopo (cf. chapitre ??). Les roches noires que l'on voit sur les piliers et les murs un peu partout dans l'aéroport sont des gabbros ("Pyramid gabbro-norite") de la "Zone Principale" du Complexe du Bushveld (chapitre 7, fascicule "géologie régionale").

Journée n° 1 : Dimanche 11 Février

Voir carte 1, page 3.

Arrivée à Johannesburg à 7h25. Location de voiture à l'aéroport, et route vers l'Est en direction de **Badplaas**.

Quitter l'aéroport de Johannesburg vers le Sud, en direction de Boksburg. Après environ 4 km, tourner vers l'Est dans un échangeur autoroutier sur la N12, direction Benoni, East Rand, Witbank, Nelspruit. La route traverse alors les banlieues Est de Johannesburg (East Rand) ; vous y verrez ça et là des grands "terrils" jaune pâle, qui sont les stériles des mines d'or du Witswatersrand.

Arrêt logistique (pour faire les courses) quelque part dans ce secteur . . .

Suivre la N12, qui rejoint la N4 à Witbank (135 km depuis l'aéroport). 15 km plus loin, on passe au péage de Middleburg. Depuis que nous nous sommes dégagés de l'agglomération de Johannesburg, et jusque vers Belfast, la route traverse principalement les sédiments du Supergroupe du Karoo, ici riches en charbon, comme en témoignent les quelques mines que l'on peut apercevoir, les centrales électriques (thermique à charbon) et . . . les poids lourds sur la route.

100 km après le péage, tourner à droite vers Machadodorp ; traverser le village et continuer sur la R36 en direction de Badplaas. Nous sommes maintenant sur les grès et les dolomies du Supergroupe du Transvaal, qui commencent à affleurer. Ces roches résistantes "arment" l'escarpement qui, dans cette région, borde le plateau du Transvaal et sépare le "high Veldt" du "low Veldt". Au col de Skurwerberg, la route descend dans la vallée de la Komatii ; on voit bien ici les couches horizontales du Supergroupe du Transvaal. Une douzaine de kilomètres après le col, la vallée s'élargit en une petite plaine alluviale ; on est toujours dominé par les sédiments du Supergroupe du Transvaal, mais sur la droite de la vallée on voit apparaître des collines formées de roches plus sombres, plus massives, qui marquent le début du terrain Archéen (petit lambeau de CRV de **Kalkkloof**, voir panneau sur la droite \pm 20 km après le col). La route est maintenant sur les gneiss Archéens (pluton de Nelshoogte), tandis que les montagnes droit devant correspondent à la CRV de Barberton proprement dite.

Parcourir 60 km depuis Machadodorp. La route rejoint une "T-junction", tourner encore à droite en direction de Badplaas. A l'entrée de Badplaas (5 km plus loin), prendre à gauche direction Lochiel sur la R541.

Arrêt n° 1.1	S25.99173 ; E 30.66297
Panorama sur la C.R.V. de Barberton	
Introduction à la géologie locale	
Accès : Environ 11 km après Badplaas, la route traverse un ruisseau et monte une longue côte. Au sommet de celle-ci, prendre une piste sableuse sur la droite, face au chemin d'accès de la ferme Inyoni ; stopper environ 500m plus loin, traverser la clôture sur la droite et gagner le sommet d'une petite colline à une centaine de mètres	
Trajet total : 300 km depuis l'aéroport, environ 3h plus les pauses	
Temps sur l'affleurement : 30 mn + repas	

Contexte :

Ce panorama permet de repérer les principaux éléments qui forment le terrain de Barberton : la ceinture de roches vertes (3.5–3.2 Ga), les gneiss qui l'entourent (3.4–3.2 Ga), les plutons "récents" (3.1 Ga) et la couverture sédimentaire du groupe du Trasvaal (2.4 – 2.1 Ga). On se situe ici sur la zone de cisaillement d'Inyoni, où nous reviendrons (jour 3) ; elle sépare les gneiss entourant la CRV en deux blocs, un bloc plus ancien (3.4 Ga) à l'Est et un bloc plus récent (3.2 Ga) à l'Ouest.

Faisant face au Nord (la direction de la route principale), on peut observer, de gauche à droite :

- Les sommets plats qui dominent l'horizon sur la gauche (Ouest), au-dessus de Badplaas, correspondent à l'escarpement du rebord du high-Veld, d'où nous venons : ce sont les sédiments du Supergroupe du Transvaal.
- Les montagnes plus irrégulières, en face de nous plein Nord et sur la droite, correspondent aux laves et sédiments de la CRV de Barberton proprement dite (on voit surtout les laves ultrabasiques du groupe d'Onverwacht dans cette partie).
- au premier plan et sur la droite, la plaine herbeuse avec peu d'affleurements, d'où émergent quelques "tors" (amas de boules granitiques) est sous-tendue par les gneiss (TTG) du pluton de Stolzburg (3.45 Ga) à droite, de Badplaas (3.29–3.22 Ga) à gauche.

En se tournant vers le Sud, on peut maintenant observer :

- Droit devant nous, des petites collines arrondies, formées de roches sombres, qui sont des petits fragments de sédiments et d'amphibolites coincés dans la zone de cisaillement d'Inyoni ;
- De nouveau, l'essentiel du paysage et de la topographie plane est formée par les gneiss TTG, Stolzburg à l'Est (gauche) et Badplaas à l'Ouest (droite) ;
- Les reliefs les plus importants sont formés par les plutons à 3.1 Ga : au fond, les grands affleurements arrondis sur le rebord d'un plateau correspondent au

batholithe de Mpuluzi, tandis que à gauche le sommet proche, triangulaire est le pluton syénitique de Boesmanskop.

Arrêt n° 1.2	S25.97217 ; E30.83744
<p>Vallée de la Komati Coulées de komatiites (pillow-lavas et texture spinifex), proche de l'endroit où elles ont été définies. Cet affleurement est un affleurement de référence — merci de ne pas utiliser de marteaux !</p>	
<p>Accès : Regagner la R541 et la poursuivre sur environ 2 km. Tourner à gauche vers Tjakastad, et continuer encore 12 km environ. Traverser Tjakastad, continuer sur la piste qui se dirige vers le pont sur la Komatii. Tourner à droite une centaine de mètres après le pont, continuer 1400 m avant de s'arrêter. L'affleurement se situe dans le lit du ruisseau, une centaine de mètres à droite (Est) de la route. Environ 4 km plus loin sur la même route, il est possible d'échantillonner dans des blocs éboulés.</p>	
<p>Trajet total : 15 km, 30 mn Temps sur l'affleurement : 1h30</p>	

Contexte :

Cet affleurement se situe à environ 1 km du site où les komatiites ont été définies pour la première fois, en 1969 (Viljoen and Viljoen, 1969). Les komatiites sont des laves ultramafiques, riches en MgO ; leur composition est proche de celle d'une olivine, qui en est le minéral dominant. L'olivine forme souvent de grands cristaux (croissance rapide dans un milieu en surfusion), ce qui cause le développement de textures typiques, dites "spinifex", du nom d'une graminée australienne.

Dans le contexte géologique local, on se trouve ici à la base du groupe d'Onverwacht, dans des roches probablement vieilles de 3500 Ma environ.

Cet affleurement se situe au Nord de la faille de la Komatii, qui passe entre nous et le château d'eau de Tjakastad, que l'on peut voir en aval. Les roches sont en faciès schiste vert (350 ± 50 ° et 2.6 ± 0.6 kbar, (Cloete, 1999)); au château d'eau, on trouve des schistes à grenat-disthène, en faciès amphibolite (7.4 ± 1 kbar et 560 ± 20 ° (Diener et al., 2005)). La faille de la Komatii apparaît donc comme un contact géologique majeur, une limite sur laquelle plusieurs kilomètres de croûte manquent...

Il est possible de faire ici les observations suivantes :

1. Dans le lit de la rivière, proche du gué : On observe une superposition de coulées fines (environ 1 m) de komatiites. La plus jolie permet de voir de bas en haut une succession de zone cumulative à olivine, zone à texture spinifex, et brèche de sommet de coulée. Le (paléo-)haut est vers l'amont.

2. Une centaine de mètres en amont : de jolis pillows (avec de nouveau des critères de polarité très nets indiquant la direction du haut, vers l'amont) de komatiite.
3. Dans le talus de route, 4 km plus loin : nombreux blocs déchaussés de komatiite à texture spinifex, avec des cristaux pouvant atteindre une dizaine de centimètres. Notez les différents types de texture : spinifex orientés ou à disposition aléatoire. On trouve aussi quelques blocs à olivine cumulative.

Hébergement	S26.04249 ; E31.00382
Kromdraai Camp, Songimvelo Nature Reserve	
Accès : Revenir sur ses pas, traverser Tjakastad et tourner à gauche vers une petite zone commerciale (eLukwatini), à une dizaine de kilomètres. La route traverse des grands affleurements de trondhjemitite du pluton de Theespruit (3.44 Ga). Tourner à gauche dans eLukwatini, et continuer sur environ 30 km. La route devient non-goudronnée ; tourner à gauche vers eKulindeni, longer le village ; suivre les panneaux "Songimvelo Nature Reserve" et entrer dans la réserve. Le camp se situe à 3 km de la grille.	
Trajet total : 40 km, 45 mn	

Hébergement en bungalows de 8 places, "self-catering"

Bibliographie

- M. Cloete. *Aspects of volcanism and metamorphism of the Onverwacht group lavas in the southwestern portion of the Barberton greenstone belt*, volume 84 of *Memoir of the Geological Survey of South Africa*. 1999.
- Johann Diener, Gary Stevens, Alex F.M. Kisters, and Marc Poujol. Metamorphism and exhumation of the basal parts of the barberton greenstone belt, south africa : Constraining the rates of mid-archaeon tectonism. *Precambrian Research*, 143 : 87–112, 2005.
- M.J. Viljoen and R.P. Viljoen. The geology and geochemistry of the lower ultramafic unit of the onverwacht group and a proposed new class of igneous rocks. *Geological Society of South Africa Special Publication*, 2 :55–86, 1969.

Journée n° 2 : Lundi 12 Février

Voir carte II, page 4.

Arrêt n° 2.1	S26.04249 ; E31.00382
Coupe le long de la Komati, Songimvelo reserve Coupe dans le groupe d'Onverwacht (formations d'Hooggenoeg et de Kromberg), montrant les lithologies typiques : laves basiques/ultrabasiques altérées et cherts	
Accès : Rejoindre le pont sur la Komatii, à 800 m au NW du camp, et remonter la rivière sur environ 1800 m en rive droite (Sud), jusqu'à un rétrécissement	
Trajet total : 2.6 km	
Temps sur l'affleurement : 4 h	

Contexte :

Le groupe d'Onverwacht représente la partie inférieure de la CRV de Barberton. Il est principalement formé de laves basiques et ultrabasiques (dont les komatiites, que nous verrons demain), avec des intercalations mineures de différentes autres lithologies : de rares grès et conglomérats, et surtout des cherts (sédiments chimiques siliceux), dont certains contiennent des structures interprétées comme des microfossiles (Walsh, 1992, cyanobactéries)

La carte détaillée et le log correspondant (Hofmann et al., 2004) indiquent les principaux sites d'intérêt le long de la coupe, et sont brièvement repris ici :

Loc. 1 (S26.02303 ; E30.98765) : Un épais niveau de basaltes en pillows. Observer les critères de polarité, les vacuoles albitisées, ainsi que des veines de cherts recoupant les pillows. Ici et là, on peut trouver des traces d'altération hydrothermale des laves (fuschite, vert vif).

Loc. 2 (S26.02423 ; E30.99881) : L'unité "H6" est un des niveaux de cherts et de conglomérats (bien échantillonnés ici, par M. de Wit et son équipe — University of Cape Town) intercalés dans la séquence de laves basaltiques et komatiitiques. Les cherts sont ici, en partie, des grès silicifiés.

Loc. 3 et 4 : Roches ultrabasiques (petit niveau de komatiites) de la base de la formation de Kromberg, avec des intercalations de chert. Les roches ultrabasiques sont très altérées, silicifiées et riches en fuschite.

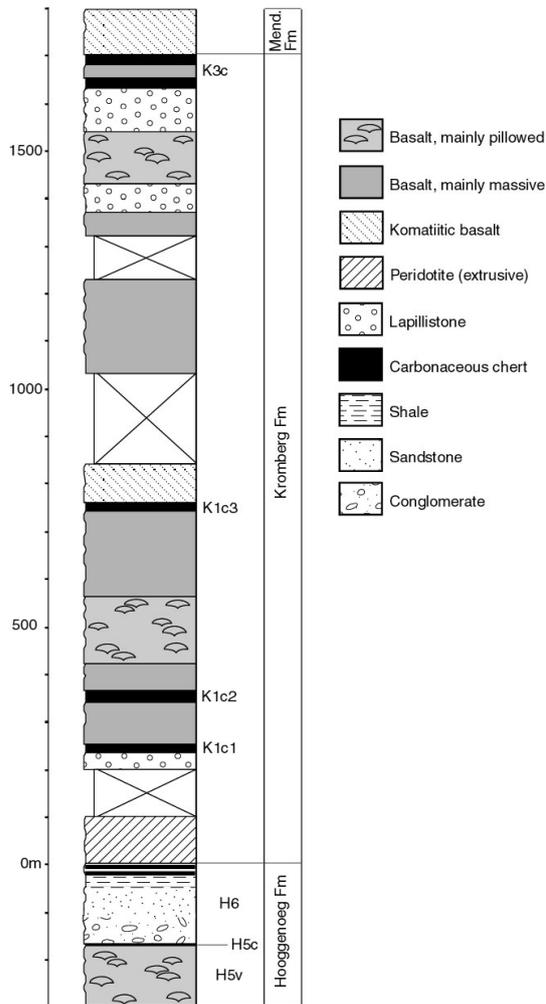


Fig. 2.1: Log dans le groupe d'Onverwacht (formations de Hooggenoeg, Kromberg et Mendon), correspondant à la coupe le long de la Komatii dans la réserve de Songimvelo (Hofmann et al., 2004)

Loc. 5 (S26.02851 ; E30.99031) : Unité de chert dite “K1c2”. Les niveaux noirs (“black cherts”) sont riches en carbone, sans doute de l’ancienne matière organique, et contiennent des structures interprétées comme des cyanobactéries.

Loc. 6 (S26.02892 ; E30.99074) : Jolis pillows basaltiques.

Loc. 7 (S26.03109 ; E30.99295) : Pillows silicifiés.

Loc. 8 et 9 : Unités ultramafiques altérées, assez mal exposée.

Loc. 10 : Cherts.

Loc. 11 : basaltes komatiitiques et cherts.

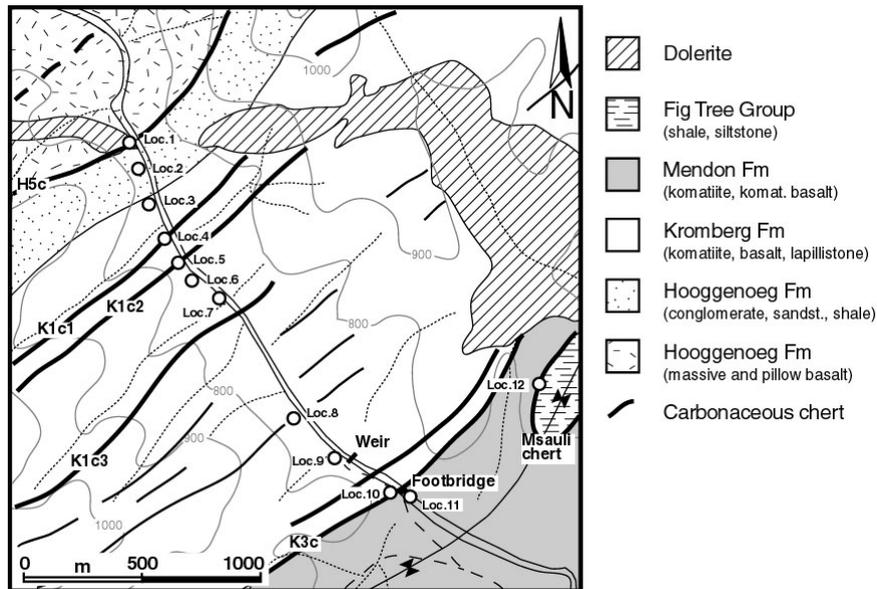


Fig. 2.2: Carte géologique détaillée le long de la Komatiï dans la réserve de Songimvelo (Hofmann et al., 2004)

Arrêt n° 2.2	S25.9971 ; E30.6774
Panorama sur CRV de Barberton, près de Josefsdal	
La structure d'ensemble de la ceinture : synclinaux perchés et discordances internes	
Accès : Rejoindre les véhicules ; quitter le camp de Kromdraai et retraverser eKulindeni. Tourner à gauche sur la route principale (en terre) en direction de Josefsdal et Barberton. Traverser le village de Kranskop ; la route commence à s'élever sur des pentes raides principalement dans le groupe d'Onverwacht, dont on voit encore des éléments (laves basiques/ultrabasiqes et cherts) dans les talus. 20 km après le camp de Kromdraai (17 km sur la route principale), s'arrêter face à un sommet proéminent (p.c. 1760 sur la carte), entouré de falaises formées par les molasses du groupe de Moodies	
Trajet total : 20 km, 30 mn	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

La CRV de Barberton est formé de trois unités principales, les groupes d'Onverwacht, de Fig Tree et de Moodies. L'ensemble est plissé et faillé au cours de nombreux épisodes ; le groupe de Moodies est significativement discordant sur les deux autres. Le groupe de Moodies est formé de grès et de conglomérats résistants, qui apparaissent dans des synclinaux perchés

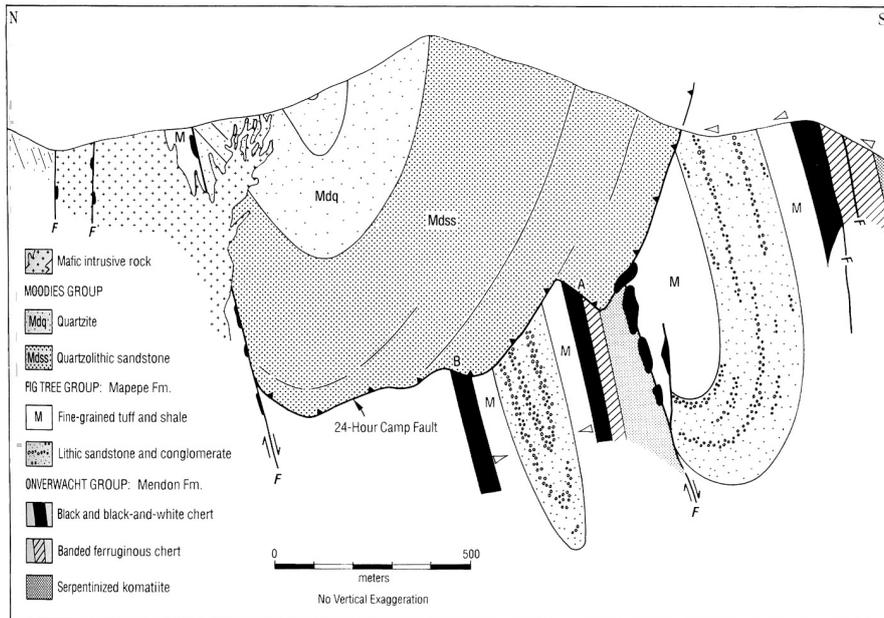


Fig. 2.3: Coupe dans le Synclinal de Maid of the Mist (une dizaine de kilomètres à l'Ouest de cet affleurement) (Lowe et al., 1999), illustrant le style tectonique dans la CRV. Les groupes d'Onverwacht et de Fig Tree sont plissés de façon isoclinale, et recouverts en discordance par le groupe de Moodies, lui même plissé

Le sommet en face de nous est un synclinal perché de grès de Moodies. Dans les pentes en dessous, on peut distinguer les niveaux du groupe de Fig Tree (ce sont aussi des grès, mais moins massifs, en petits bancs finement lités); ils semblent contenir des plis de petite taille, que l'on ne retrouve pas dans la partie "Moodies". Le groupe d'Onverwacht occupe la base des pentes, et n'affleure que très mal ici.

Arrêt n° 2.3	S25.90487 ; E31.09307
Carrière en bord de route	
"Banded Iron Formations" du Groupe de Fig Tree et roches associées	
Accès : Continuer sur la même route encore 3 km, puis tourner à gauche sur la R40 vers Barberton, pendant 8 km. La route traverse alternativement les différentes formations de la CRV (beaucoup de groupe de Fig Tree par ici), parmi lesquelles on reconnaît surtout le groupe de Moodies, qui forme les falaises dominant la topographie. S'arrêter dans une petite carrière sur la droite après un virage prononcé à droite	
Trajet total : 11 km, 15 mn	
Temps sur l'affleurement : 30 mn + repas	

Contexte :

Le groupe de Fig Tree (env. 3.25 Ga) est un ensemble assez hétérogène, latéralement variable, composé pour l'essentiel de sédiments volcano-détritiques (des grès peu matures) et de sédiments chimiques, allant des cherts aux BIFs. Ici, on observe des BIFs assez altérés; des roches similaires sont exploitées pour le fer à Ngwane, au Swaziland, juste de l'autre côté de la frontière.

Par ailleurs, le téléphérique que nous croisons à plusieurs reprises sert à transporter de l'amiante (sans doute produit de l'altération des roches ultramafiques du groupe d'Onverwacht) depuis la mine de Havelock au Swaziland, jusqu'à la ville de Barberton.

BIF (jaspilites) assez friables, formant des plis serrés. Attention, affleurement instable.

Arrêt n° 2.4	S25.87811 ; E31.08814
Carrière de Schoongezicht	
BIFs et grès volcanodétritiques.	
Accès : Continuer la R40 en direction de Barberton sur 4 km; stopper dans une petite carrière, face à un panneau indiquant "Schoongezicht depot".	
Trajet total : 4 km, 10 mn	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

Cette petite carrière se situe elle aussi dans le groupe de Fig Tree. Ici les BIF sont très altérés, c'est peut être une ancienne tranchée d'exploration (prospection pour le fer). On observe ici les grès volcanodétritiques qui constituent la majeure partie du Groupe de Fig Tree

Sur la droite de la carrière, on retrouve des BIF. A gauche (sans doute en contact faillé), on trouve des grès fins, assez riches en minéraux ferro-magnésiens ; il s'agit probablement des grès volcano-détritiques qui composent l'essentiel du groupe de Fig Tree

Arrêt n° 2.5	S25.79195 ; E31.08415
Groupe de Moodies en bord de route	
Sédiments détritiques classiques avec figures de sédimentation (3.22 Ga)	
Accès : Poursuivre environ 16 km sur la R40. Le trajet s'effectue principalement sur les grès massifs du groupe de Moodies ; la route traverse obliquement le synclinal de Saddleback, puis retrouve le goudron (au bout de 13 km) avant de commencer la descente sur Barberton, au travers d'une séquence géologiquement complexe, où l'on retrouve les trois Groupes de la C.R.V., plissés et faillés dans le système de faille d'Inyoka. Après 3 km sur le goudron, la route tourne à droite à 90 ° au pied d'une forte pente.	
Trajet total : 16 km, 20 mn	
Temps sur l'affleurement : 45 mn	

Contexte :

Le groupe de Moodies (3.24 – 3.21 Ga) représente la troisième unité de la CRV. Il s'agit principalement de grès et de conglomérats, déposés de façon post- à syn-tectonique dans des petits bassins limités par des failles : ce sont en fait des molasses. Ce sont des dépôts détritiques de faible profondeur, qui préservent de superbes structures sédimentaires parmi les plus anciennes connues, ce qui témoigne de conditions de sédimentation —présence d'eau libre, en particulier— finalement peu exotiques. . .

L'affleurement montre une alternance de bancs gréseux et argileux. Chaque “doublet” grès-argile présente un granoclassement net, depuis la base conglomératique, jusqu'au sommet argileux.

L'ensemble de l'affleurement montre une évolution similaire, les niveaux conglomératiques prennent de plus en plus d'importance en allant vers la droite (Nord-Ouest).

On peut observer ici et là des stratifications oblique dans les bancs de grès ; sur les surfaces de banc, on voit des figures de dessiccation polygonales et des “ripple-marks”.

Arrêt n° 2.6	S25.78673 ; E31.08326
Panorama sur la vallée de Fig Tree	
Aperçu structural de la CRV ; faille d'Inyoka	
Accès : Continuer environ 1 km vers le NW. S'arrêter dans une épingle à cheveux sur la gauche.	
Trajet total : 1 km	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

Les différentes formations de la C.R.V. sont plissées, dans un ensemble structural compliquée. La structure d'ensemble est (très globalement) synforme. Des failles verticales (ou verticalisées) suivent les flancs des synformes. Parmi celles-ci, le système de faille d'Inyoka-Saddleback, au flanc Nord du synclinal de Saddleback, représente une limite structurale majeure. De part et d'autre, ni le groupe d'Onverwacht, ni le groupe de Fig Tree ne peuvent être corrélés —en dépit de leur apparente similarité. Par exemple, le groupe d'Onverwacht, vieux de 3.5 à 3.4 Ma au Sud-Est, est vieux de seulement 3.3 Ga environ au Nord-Ouest. Cette structure tectonique correspond probablement à une limite entre des terrains d'origines géographiques différentes, assemblés tectoniquement.

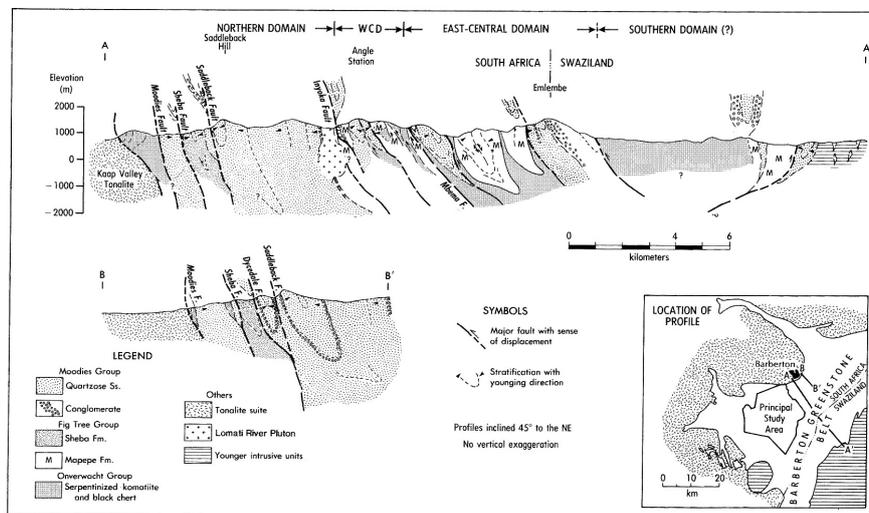


Fig. 2.4: Coupe le long de la R40, de Josefsdal à Barberton (itinéraire du jour 2) (Lowe et al., 1999).

Le panorama dans la vallée de Fig Tree permet de voir le rôle morphologique

majeur du groupe de Moodies. On peut suivre différents niveaux dans le paysage, appartenant à différentes unités de la CRV, mais on ne peut hélas que deviner la structure en plis isoclinaux, les charnières n'apparaissant pas clairement.

En descendant le long de la route, on observe des grès très fracturés (Fig Tree sans doute) ; on se situe ici sur le tracé de la faille d'Inyoka.

Hébergement	S25.95174 ; E30.56437
Aventura Resort, Badplaas	
Accès : Continuer la R40 vers l'Ouest. La route descend brutalement vers la vallée du Kaap où se niche Barberton ; le creux topographique correspond au pluton de Kaap Valley (Kamo and Davis, 1994 , 3227 Ma). Au bout de 5.5 km, laisser sur la droite la route de Kaapmuiden, que nous prendront après-demain ; encore 7 km plus loin, prendre la R38 sur la gauche vers Badplaas. Au bout d'une quinzaine de kilomètres, la route s'élève dans la forêt, atteint un plateau, puis (\pm 33 km après le carrefour) franchit le petit fragment de C.R.V. qui forme la limite entre les plutons de Baplaas et de Nelshoogte (Kamo and Davis, 1994 , 3212 Ma). Après 19 km, nous retrouvons sur la droite l'embranchement de Machadodorp par où nous sommes arrivés hier ; 6 km plus loin et la route entre dans Badplaas. L'Aventura se situe sur la droite, juste avant le garage B.P. (on ne peut pas le manquer).	
Trajet total : 74 km, environ 1h230	

Chalets "self-catering" confortables dans un grand camp de vacances. Ne pas manquer les piscines chaudes, soit celle à l'extérieur (accès libre), soit celles du "hydro spa" dans la boutique au-dessus de la piscine (entrée 10 R par personne, ferme à 20h45).

Bibliographie

- A. Hofmann, C. R. Anhaeusser, K.A. Eriksson, and A. Dziggel. Excursion guide to the geology of the barberton greenstone belt. Technical report, Economic Geology Research Institute, University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2004.
- S. L. Kamo and D. W. Davis. Reassessment of archean crustal development in the barberton mountain land, south-africa, based on u-pb dating. *Tectonics*, 13(1) : 167–192, 1994.
- D. R. Lowe, G.R. Byerly, and C. Heubeck. Structural divisions and development of the west-central part of the barberton greenstone belt. *geological Society of America Special Paper*, 329 :37–82, 1999.
- M. M. Walsh. Microfossils and possible microfossils from the early archean onverwacht group, barberton mountain land, south-africa. *Precambrian Research*, 54 (2-4) :271–293, 1992.

Journée n° 3 : Mardi 13 Février

Voir carte II, page 4.

Arrêt n° 3.1	S26.02095 ; E30.74394
Vallée de la Theespruit Intrusion "lit par lit" du pluton de Stolzburg dans des amphibolites appartenant au groupe d'Onverwacht (?)	
Accès : Tourner à gauche en sortant de l'Aventura, puis à droite sur la R541 direction Lochiel. Après 13 km, laisser sur la Gauche l'embranchement vers Tjakastad. La route longe la Theespruit en la laissant au Sud. ± 5.5 km après l'embranchement, s'arrêter sur le bord de la route, en vue du confluent de la Theespruit avec un ruisseau venant du Sud. L'affleurement se situe à ± 800 m de la route au niveau de ce confluent ; marcher en direction du bosquet d'arbres, et traverser la Theespruit à gué.	
Trajet total : 18 km, 30 mn Temps sur l'affleurement : 2 h (accès compris)	

Contexte :

On se situe ici sur la marge Sud du pluton de Stolzburg (3445 Ma, ([Kamo and Davis, 1994](#))) ; il est intrusif dans des amphibolites appartenant à un petit lambeau hectométrique de "ceinture de roches vertes". Bien que l'ensemble ait été déformé ultérieurement (lors de l'épisode à 3.2 Ga et du métamorphisme amphibolitique), l'essentiel de la déformation correspond ici à un étirement vertical, si bien que les surfaces horizontales apparaissent quasiment non-déformées, et préservent des relations intrusives nettes, évoquant plutôt une mise en place assez superficielle en conditions cassantes. L'ensemble est assez typique des relations dans le domaine de haut-degré du Sud ("Stolzburg terrane")

L'affleurement consiste en de spectaculaires alternances de granitoïdes (trondhjémite du pluton de Stolzburg) et d'amphibolite. Dans les détails, vous pouvez observer des relations clairement intrusives où la trondhjémite recoupe la foliation des amphibolites ; des filons leucocrates qui bréchifient les amphibolites ; mais aussi des boudins de trondhjémite dans l'amphibolite (effet de la déformation à 3.2 Ga ?).

Arrêt n° 3.2	S25.9967 ; E30.66331
Inyoni Shear Zone	
La zone de contact entre le terrain à 3.4 Ga et le terrain à 3.2 Ga : la plus ancienne limite de plaques connue, avec roches métamorphiques de haute pression	
Accès : Regagner les véhicules. Revenir sur la R541 vers l'Ouest pendant 8 kilomètres, en repassant devant l'embranchement de Tjakastad. Face à l'entrée de la ferme "Inyoni", tourner à gauche (Sud) sur une piste sableuse. Stopper après 1200 m face à un portillon dans la clotûre. Rentrer dans le champ à droite (Ouest) ; plusieurs sites intéressants sont présent dans un rayon de 500 m autour du portillon.	
Trajet total : 8 km, 10 mn	
Temps sur l'affleurement : 2h30 + repas	

Contexte :

La zone de cisaillement d'Inyoni représente la frontière entre un terrain ancien (le bloc de Stolzburg, > 3.45 Ga) à l'Est, et un terrain plus récent (ca. 3.2 Ga, en fait sans doute un "arc plutonique") à l'Ouest. C'est essentiellement une zone très déformée, qui enregistre plusieurs épisodes de déformation successive, le dernier et le mieux observable correspondant à l'exhumation du terrain de Stolzburg. Les roches observables ici sont principalement des éléments très déformés du terrain de Stolzburg : gneiss (équivalents des plutons) et éléments de CRV (comme à l'arrêt précédent) ; l'ensemble a été déformé, fondu, et métamorphosé dans des conditions de relativement haute pression et basse température.

Diverses observations intéressantes sont faisables dans cette zone : les gneiss déformés de la zone de cisaillement d'Inyoni ; les amphibolites fondues associées ; les roches métamorphiques présentes.

3.2.a (S25.99726 ; E30.66355) : Descendre vers un arbre isolé en haut d'une petite ravine, à 200m du portail. Sous cet arbre, on observe des granites injectant (lit par lit) des amphibolites ; il s'agit sans doute de filons tardifs lors de la fin de l'exhumation.

3.2.b (S25.99671 ; E30.66331) : Partir vers la droite ; à quelques dizaines de mètres sur la pente on observe des éléments dispersés de roches métamorphiques, qui corespondent à des fragments métamorphisés de ceinture de roches vertes (groupe d'Onverwacht) : métasédiments, roches ultrabasiques, BIFs. Ces roches donnent des conditions métamorphiques de 8–11 kbar et 650–700 ° (Dziggel et al., 2002), que nous interprétons maintenant comme correspondant au début de l'exhumation.

3.2.c (S25.99520 ; E30.66286) : Proche d'un petit bosquet, observer des blocs d'amphibolite fondue in-situ, et des "poches" d'une étrange roche blanche à gros cristaux (jusqu'à plusieurs cm.) d'amphibole automorphe : nous interprétons ce "mush" comme le produit d'une réaction de fusion incongruente d'amphibolite en présence d'eau, formant liquide + amphiboles de seconde génération.

3.2.d (S25.99584; E30.66165) : Sur la rupture de pente à peu près en dessous, de grands affleurements arrondis sont formés de gneiss déformé. On y observe plusieurs phases, dont au moins un faciès à gros grain assez déformé (sans doute des gneiss de type “Stolzberg” déformés) et un faciès à grain plus fin, en filons syntectoniques. Ces filons ont donné un âge de 3229 ± 5 Ma (Dziggel et al., 2005), interprété comme l’âge de la déformation. On peut aussi trouver quelques éléments d’amphibolite (que nous verrons mieux au point suivant), et un gros filon sécant de granite blanc, sans doute de l’épisode à 3.1 Ga. La déformation est caractérisée par une foliation verticale, replissée par des plis ouverts aux axes verticaux, et

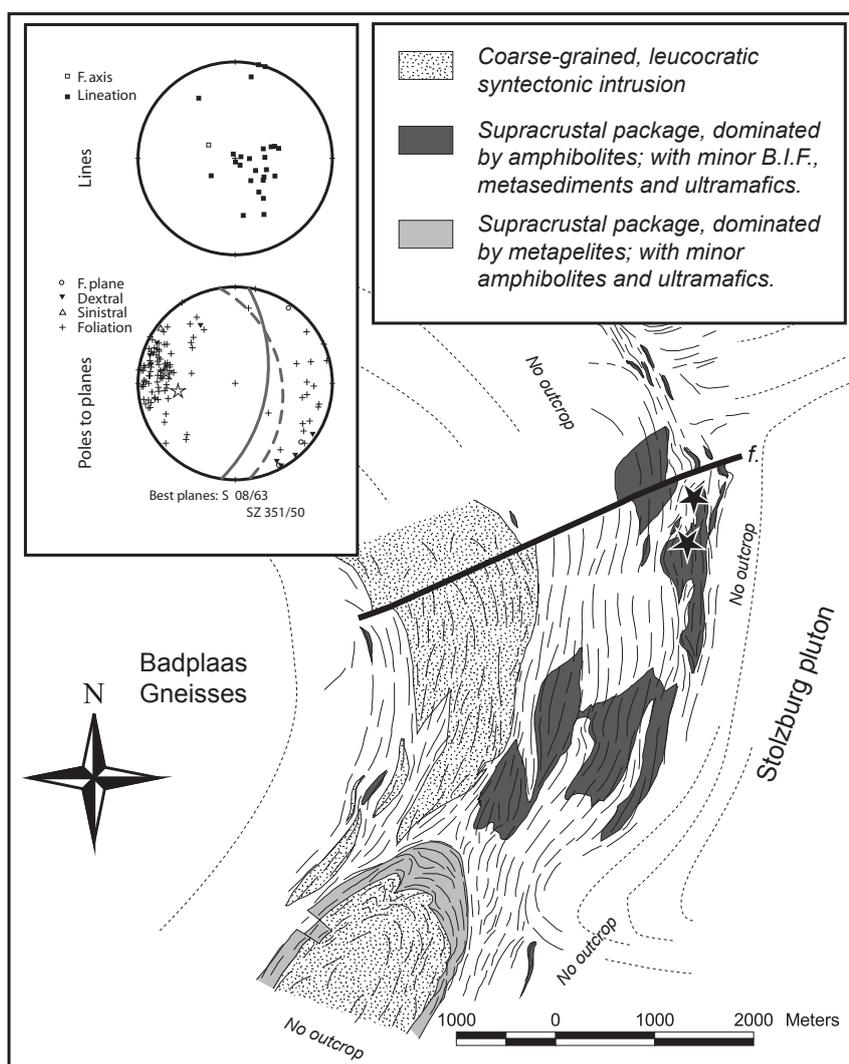


Fig. 3.1: Carte géologique de la zone de cisaillement d’Inyoni. Les étoiles sont les sites d’amphibolites de haute pression

parallèles à la linéation.

3.2.e (S25.99827 ; E30.66121) : Revenir sur la gauche et traverser le vallon. Les gros affleurements qui le dominent en rive gauche sont de nouveau formé de ce gneiss complexe. Il contient ici des enclaves d'amphibolites à grenat (dont certaines ont été échantillonnées par nos soins en Août 2005). Des enclaves analogues 500 m plus au Sud ont montré des textures de croissance simultanée de grenat et d'albite, qui témoignent de conditions métamorphiques de l'ordre de 12–15 kbar et 600–700 ° (Moyen et al., 2006), les plus hautes pressions et les géothermes les plus froids enregistrés dans des roches Archéennes in-situ.

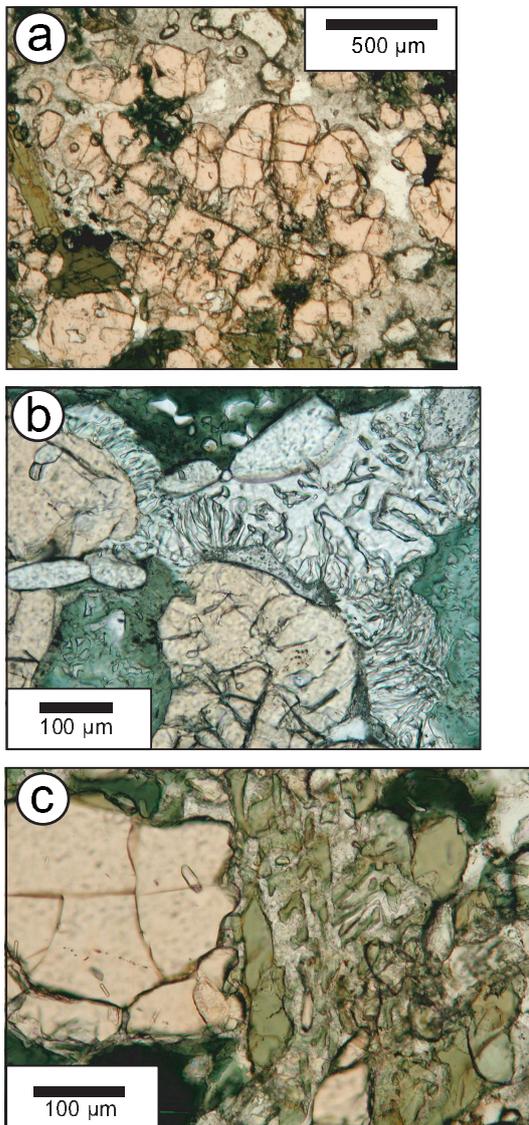


Fig. 3.2: Textures dans les amphibolites de la zone de cisaillement d'Inyoni. A : Croissance de grenats automorphes entourés d'albite. B : symplectites (amphibole - quartz) autour des grenats : textures de destruction du grenat. C : Reliques d'amphibole (sodique) dans les sites de croissance des grenats. Les photos A et C viennent d'échantillons prélevés environ 800 m au Sud de ce site ; la photo B vient d'un échantillon au Nord de cette localité (près du site 2.c).

3.2.f (S25.99978 ; E30.66163) : Remonter vers la piste (Est). Sur le replat, on

trouve de nombreux petits affleurements de roches métamorphiques variées. Noter en particulier un boudin métrique d'une amphibolite très riche en grenat, qui semble apparaître dans le coeur d'un pli (P1) d'axe horizontal. Les coeurs de ces grenats contiennent des inclusions qui définissent elles aussi des conditions métamorphiques de l'ordre de 12–15 kbar et 600–700 ° (Moyen et al., 2006, échantillon INY21). Ce sont les premiers indices concluant de haute pression (> 12 kbar) que nous avons trouvé dans le secteur, en Juillet 2004.

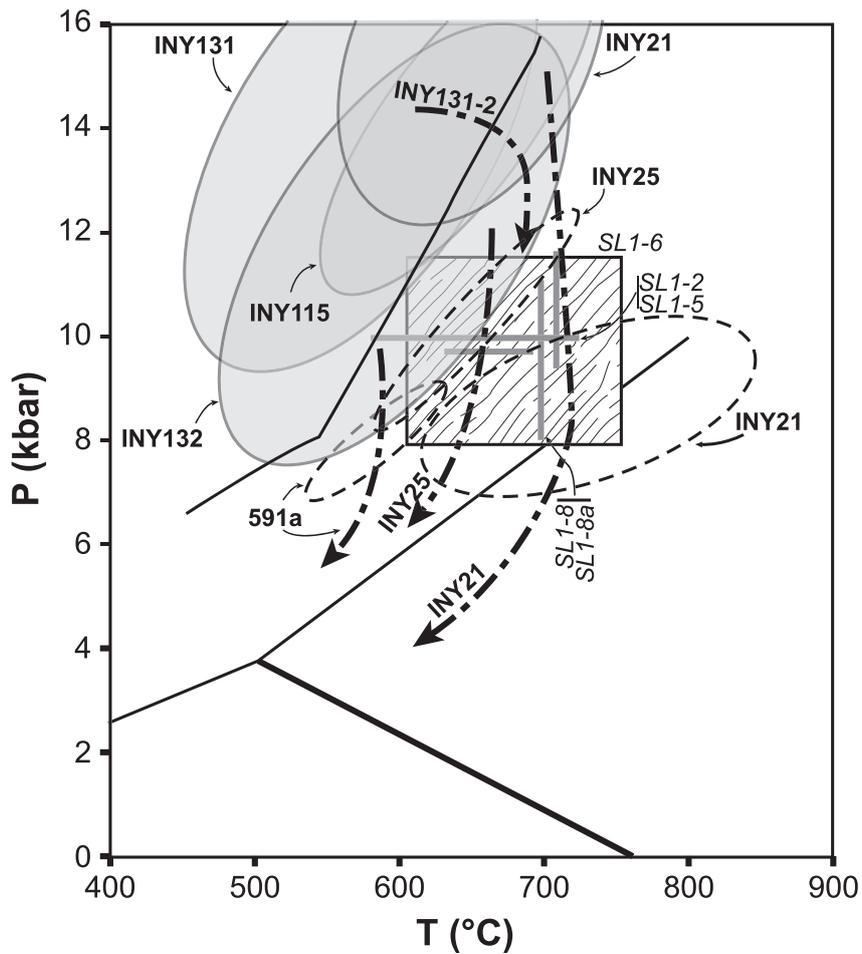


Fig. 3.3: Résumé des estimations P–T dans la zone de cisaillement d'Inyoni (Dziggel et al., 2002; Moyen et al., 2006). Les hachures indiquent les estimations sur les métasédiments, les ellipses grisées sur les amphibolites.

Coupe dans la faille de la Komati, Nkomasi Wilderness

Zone faillée au contact entre le terrain en faciès amphibolite de Stolzburg et la ceinture de roche verte proprement dite

Accès : Revenir sur ses pas jusqu'à la route principale. Tourner de nouveau à droite, puis à gauche vers Tjakastad ; quelques kilomètres plus loin, tourner à gauche au niveau d'un portail dans une grille qui entoure "Nkomasi Wilderness", une réserve privée. Si tout va bien, les gardes à l'entrée sont avertis de notre venue (!). Rentrer dans la réserve, suivre la piste jusqu'à la "lodge" principale (± 5 km). Laisser les véhicules et marcher environ 600 m plein Ouest, vers un lit de rivière.

Trajet total : 11 km, 45 mn

Temps sur l'affleurement : 2h00

Contexte :

L'affleurement se situe sur le contact Sud de la C.R.V. de Barberton proprement dite, c'est à dire la limite entre les laves et sédiments peu métamorphisés (vus hier et ce matin) et les plutons (avec enclaves supracrustales) en faciès amphibolite, visités aujourd'hui. On peut ici voir que ce contact correspond à une zone mylonitique d'environ 500 m à 1 km d'épaisseur, dans laquelle on trouve des éléments de roches en faciès amphibolite, plus ou moins rétro-morphosés en faciès schiste vert. L'ensemble témoigne de la remontée du bloc Sud le long de cette zone de faille, qui appartient à la faille de la Komati (Kisters et al., 2003)

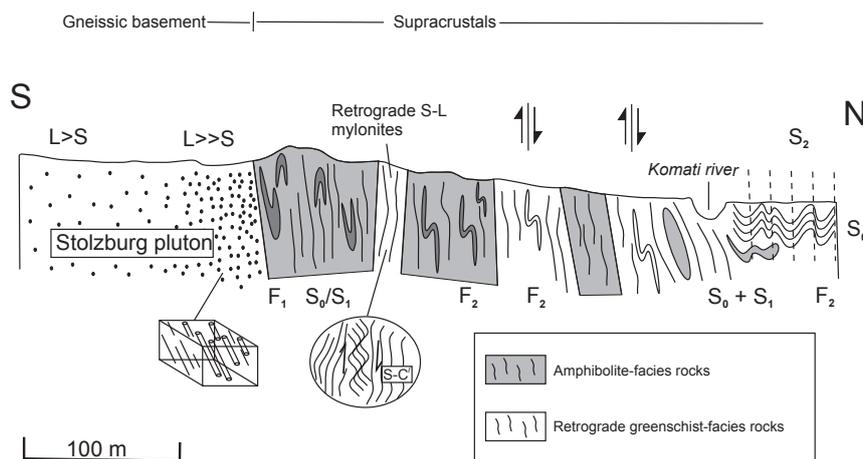


Fig. 3.4: Coupe au travers du contact entre la CRV de Barberton et le pluton de Stolzburg (Kisters et al., 2003), dans Nkomasi Wilderness ("Donga section")

- Du Sud au Nord, c'est à dire du pluton de Stolzburg vers la CRV, on observe
- Des orthogneiss à gros grain, du pluton de Stolzburg, montrant un fort étirement sub-vertical (fabrique $L>S$) ; on y observe, de plus en plus fréquemment vers le Nord, des petites “shear zones” centimétriques.
 - Une zone de mylonites, où l'on peut reconnaître des fragments intercalés de gneiss, d'amphibolites, de schistes . . . Des fragments en faciès amphibolite sont préservées dans un ensemble globalement rétro-morphosé en faciès schiste vert. Le sens de mouvement que l'on peut déduire des asymétries et des structures S-C' indique une forte composante décrochante.
 - Au Nord du contact, on rentre dans la CRV proprement dite, en faciès schiste vert et peu déformée. Des pillows-lavas déformés mais déjà reconnaissables sont présents quelque centaines de mètres au Nord du contact.

Hébergement	S25.95174 ; E30.56437
Aventura Resort, Badplaas	
Accès : Regagner les véhicules, et suivre la piste jusqu'à l'entrée de la réserve. Prendre à droite la route vers Badplaas, sur environ 15 km ; à gauche dans Badplaas vers Carolina, et à droite pour rentrer dans l'Aventura.	
Trajet total : 25 km, 45 mn	

Comme hier



Aventura Badplaas

Bibliographie

- A. Dziggel, Gary Stevens, Marc Poujol, C.R. Anhaeusser, and R.A. Armstrong. Metamorphism of the granite-greenstone terrane south of the barberton greenstone belt, south africa : an insight into the tectono-thermal evolution of the 'lower' portions of the onverwacht group. *Precambrian Research*, 114 :221–247, 2002.

- A. Dziggel, R.A. Armstrong, Gary Stevens, and L. Nasdala. Growth of zircon and titanite during metamorphism in the granitoid-gneiss terrain south of the barberton greenstone belt, south africa. *Mineralogical Magazine*, 69 :1021–1038, 2005.
- S. L. Kamo and D. W. Davis. Reassessment of archean crustal development in the barberton mountain land, south-africa, based on u-pb dating. *Tectonics*, 13(1) : 167–192, 1994.
- Alex F.M. Kisters, Gary Stevens, A. Dziggel, and R.A. Armstrong. Extensional detachment faulting and core-complex formation in the southern barberton granite-greenstone terrain, south africa : evidence for a 3.2 ga orogenic collapse. *Precambrian Research*, 127 :355–378, 2003.
- Jean-François Moyen, Gary Stevens, and Alex F.M. Kisters. Record of mid-archaeon subduction from metamorphism in the barberton terrain, south africa. *Nature*, 443 :559–562, 2006.

Journée n° 4 : Mercredi 14 Février

Voir cartes II et III, pages 4 et 5.

Arrêt n° 4.1	S25.7112 ; E31.16034
Sheba Creek Contact faille entre des conglomérats du groupe de Moodies, et le groupe de Fig Tree	
Accès : Tourner à gauche en sortant de l'Aventura, en direction de Barberton (R38), et retracer la route d'avant-hier au travers du pluton de Nelshoogte, du col du même nom, puis dans la dépression de Kaap Valley. 66 km après l'Aventura, tourner à droite vers Barberton ; 7 km plus loin, prendre à gauche la R38 vers Kaapmuiden. Parcourir 20 de kilomètres ; noter les embranchements vers les mines d'or de Fairview, Clutha et New Consort. Passé le col de Ezzy's pass, tourner à droite vers "Sheba gold mine". La route serpente dans les collines (formées par le groupe de Moodies) ; au bout de 3.5 km elle tourne à droite dans une vallée latérale (celle du Sheba creek). Parcourir encore 500 m et stopper dans un élargissement juste avant un pont peu visible sur le Sheba Creek ; descendre sous le pont dans le lit de la rivière	
Trajet total : 93 km, 1h15 Temps sur l'affleurement : 1h00	

Contexte :

On se trouve ici sur le flanc sud du synclinal de Eureka, dont le cœur est occupé par le groupe de Moodies. Le flanc sud est faille, et la faille de sheba met en contact le groupe de Moodies et celui de Fig Tree. Cette faille a drainé des fluides qui ont précipité des veines de quartz aurifère, exploitées dans la mine de Sheba voisine.

La rive gauche de la rivière est formée de conglomérats du groupe de Moodies, très photogéniques. Notez les galets de diverses origines : granitoïdes, cherts, fuschite, roches basiques. . . .

A droite du ruisseau, les petites falaises sont formées par des laves ou des roches volcano-détritiques appartenant au groupe de Fig Tree. Le contact se fait par faille, et on peut observer la zone broyée à peu près au fond de la vallée.

Arrêt n° 4.2	S25.70075 ; E31.16757
Grès du groupe de Moodies	
Dépôts détritiques avec stratifications entrecroisées et litages tidaux.	
Accès : Revenir en direction de la R38 (route principale) sur env. 1.5 km et stopper au niveau de petites falaises coté droit	
Trajet total : 1.5 km	
Temps sur l’affleurement : 30 mn	

Contexte :

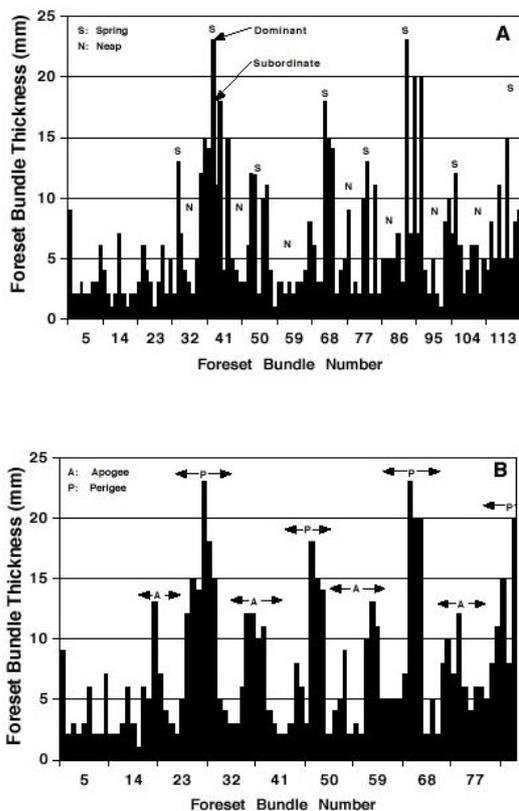


Fig. 4.1: Analyse des cyclicités dans les grès du Groupe de Moodies, d’après Lowe, repris par Hofmann et al. (2004). Les deux diagrammes représentent l’épaisseur de chaque lit en fonction de sa position “stratigraphique”. En haut, données non filtrées ; on constate en particulier des paires de cycles épais-fins, correspondant aux deux marées (l’une plus importante que l’autre) dans un cycle diurne. En bas, données filtrées de cette micro-cyclicité. On observe des variations de l’épaisseur selon des cycles d’une vingtaine de jours, qui correspondraient à des mois lunaires.

Les sédiments du groupe de Moodies (ca. 3.2 Ga) préservent des figures sédimentaires classiques : stratifications entrecroisées et litages rythmiques. Ces litages, formés d’un doublet (millimétrique) grès-argiles, sont interprétés comme des dépôts tidaux (de marée). Une analyse des fréquences de ces cycles conduit à la conclusion que le mois lunaire Archéen durait seulement une vingtaine de jours (contre 28 à l’heure actuelle) (Eriksson and Simpson, 2000)

Observer les figures de stratification et les litages dans les différents blocs.

Arrêt n° 4.3	S25.68402 ; E31.16666
Ezzy's pass	
Conglomérats déformés du groupe de Moodies	
Accès : Revenir à la route principale (R38), puis tourner à gauche. Stopper au pied des affleurements en talus coté gauche de la Route (Sud), 800 m après l'embranchement	
Trajet total : 3 km	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

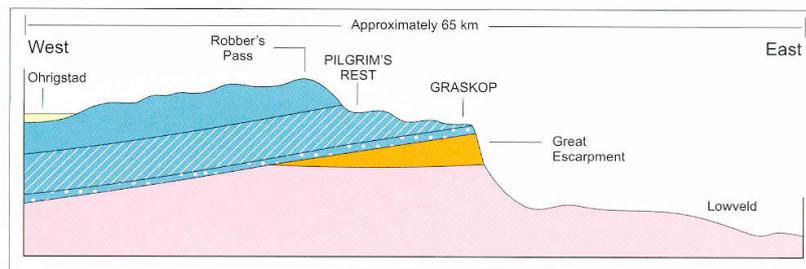
On se situe ici sur le flanc Nord du synclinal d'Eureka. Ici, le conglomérat est très déformé et les galets sont étirés, définissant une linéation verticale

Comparer les galets étirés de ce conglomérat avec ceux de l'affleurement 4.1

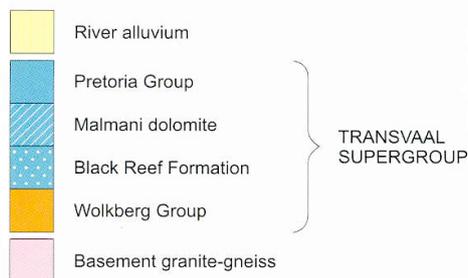
Arrêt n° 4.4	S25.38027 ; E30.71962
Sudwala pass	
Stromatolithes dans le groupe du Transvaal	
Accès : Continuer sur la R38 en direction de Barberton, sur 20 km. Retrouver l'embranchement de la R40 et prendre à droite vers Nelspruit. La route reste sur le pluton de Kaap Valley, qui affleure très mal, pendant environ 23 km, avant de s'élever pour franchir un petit fragment de CRV, puis de continuer sur un plateau parsemé de blocs arrondis appartenant au batholithe (potassique) de Nelspruit (env. 3.1 Ga). On atteint Nelspruit \pm 70 km après l'affleurement.	
Quitter Nelspruit par la N4 vers l'Ouest, en direction de Johannesburg. Après env. 25 km, tourner à droite sur la R539, vers Rosehaugh et Sabie. 8 km plus loin, dépasser l'embranchement menant aux grottes de Sudwala (Sudwala caves). Stopper quelques kilomètres plus loin, au niveaux de grands affleurements dans le talus routier en haut du col.	
Trajet total : \pm 110 km, plus arrêt à Nelspruit	
Temps sur l'affleurement : 30 mn + repas	

Contexte :

Le supergroupe du Transvaal (ca. 2.6 – 2.2 Ga) représente un bassin intracratonique qui recouvre une bonne part du craton du Kaapvaal. Il témoigne de la stabilisation du continent à la fin de l'Archéen. Sa base est formée de quartzites et de conglomérats (groupe de Wolkberg); on passe ensuite à des formations chimiques (dolomies et BIFs), intracratoniques (groupe de Chuniespoort), puis on revient à des associations de marge passive (sédiments détritiques et basaltes du groupe de Pretoria). L'affleurement se trouve ici dans les dolomies du sous-groupe de Malmani, Groupe de Chuniespoort.



This region of panoramic scenery owes its existence to a fortuitous combination of geology and climate. At the escarpment edge hard, resistant and almost flat-lying quartzites of the Transvaal sequence overlie more easily weathered Archaean Basement granites and gneisses of the Lowveld. Millions of years of rain from moisture-laden air coming off the Indian Ocean have rapidly eroded the Basement rocks, leaving a spectacular retreating scarp. West of Pilgrim's Rest, gently west-dipping resistant quartzite beds of the Pretoria Group have acted in a similar manner, forming the elevated terrain.



From God's Window looking south along the edge of the Great Escarpment, the flat-lying quartzite formation is part of the Wolkberg Group.

Fig. 4.2: Coupe de l'escarpement du Mpumalanga, dans la région de Graskop (Norman and Whitfield, 2006).

Les stromatholithes sont des précipitations de carbonates dues à l'activité photosynthétique de cyanobactéries ($CO_2 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + O_2$). La mise en solution des ions HCO_3^- à son tour induit la précipitation de carbonates, $CaCO_3$. Le voile bactérien se retrouve "étouffé" par le film de carbonates, et de nouvelles cyanobactéries s'installent sur la surface, créant une structure formée de couches concentriques.

On observe ici dans le talus routier des immenses dômes stromatholitiques.

L'activité photosynthétique des cyanobactéries, en libérant de l'oxygène dans l'atmosphère, a permis la transition vers une atmosphère oxydante aux alentours de 2.0 Ga.

Arrêt n° 4.5	S24.67135 ; E30.81412
Bourke luck's potholes Erosion en "marmites de géant" dans les quartzites du groupe de Wolkberg ("black reef quartzites")	
Accès : Poursuivre sur la R539 vers le Nord jusqu'à Rosenhaugh (12 km). Après 19 autres kilomètres, tourner à droite vers Sabie (8 km), et poursuivre sur la R532 vers Graskop (25 km), où nous logerons ce soir. Dépasser Graskop, en suivant toujours la R532 vers le Nord, et s'arrêter après 35 km au site touristique des "Bourke Luck's Potholes", signalés sur la route.	
Trajet total : 100 km, 1h00 Temps sur l'affleurement : 2h00	

Contexte :

Les quartzites du groupe de Wolkberg sont à la base du Supergroupe du Transvaal, et témoignent probablement d'une période de rifting vers 2.6 Ga, sans doute à rapprocher de la fin de l'orogénèse du Limpopo.

L'érosion de ces roches par des galets, entraînés dans des tourbillons dans le courant de la rivière, crée ces "marmites de géant".



Fig. 4.3: Bourke luck's Potholes.

Site touristique assez fréquenté. Parcourir les sentiers et les ponts au-dessus de la gorge et admirer les “potholes”.

Hébergement	S24.94425 ; E30.84177
Panorama Rest Camp, Graskop	
Accès : Revenir sur vos pas jusqu'à Graskop (35 km) ; quitter Graskop par le Sud, sur la route de Hazyview. Le “Panorama Rest Camp” se situe sur la gauche à 1.5 km du village	
Trajet total : 36 km, environ 30 mn	

Chalets “self-catering” dominant l’escarpement. Admirez la vue depuis la piscine!

Bibliographie

- K. A. Eriksson and E. L. Simpson. Quantifying the oldest tidal record : The 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Geology*, 28(9) :831–834, 2000.
- A. Hofmann, C. R. Anhaeusser, K.A. Eriksson, and A. Dziggel. Excursion guide to the geology of the Barberton Greenstone Belt. Technical report, Economic Geology Research Institute, University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2004.
- N. Norman and G. Whitfield. *Geological journeys – a traveller’s guide to South Africa’s rocks and landforms*. Struik publishers, Cape Town, 2006.

Journée n° 5 : Jeudi 15 Février

Voir carte III, page 5.

Arrêt n° 5.1	S24.87683 ; E30.89012
God's window Panorama sur le Low-Veldt depuis l'escarpement	
Accès : De nouveau, quitter Graskop par le Nord. Après 2 km, tourner à droite sur la R534 (route panoramique), et s'arrêter après 6 km à "God's Window".	
Trajet total : 10 km, 10 mn Temps sur l'affleurement : 1h00	

Contexte :

Le grand escarpement d'Afrique du Sud sépare le plateau central du Haut-Veldt (l'ancien Transvaal) des plaines du Bas-Veldt. C'est principalement un effet du rifting de l'Océan Indien et des phénomènes associés à la rupture du Gondwana ; mais à l'échelle locale, la position et la forme de l'escarpement sont clairement liés à des couches résistantes, ici les quartzites du groupe de Wolkberg qui sous-tendent l'escarpement dans toute la région.

Admirez le panorama, si le temps n'est pas trop brumeux. . .

Arrêt n° 5.2	S24.60098 ; E30.81291
Three Rondavels Célèbre point de vue sur le canyon de Blyde River	
Accès : Poursuivre sur la R534 ; regagner la route principale (R532) au bout de 8 km. Prendre à droite ; après 27 km on repasse devant les "Bourke Luck's potholes". Après 18 autres kilomètres, on arrive au point de vue, bien signalé, des "Three Rondavels"	
Trajet total : 53 km, 40 mn Temps sur l'affleurement : 1h30	

Contexte :

Arrêt touristico-panoramique



Fig. 5.1: The “Three Rondavels”, Blyde River Canyon

Point de vue sur le canyon, ici entaillé principalement dans le groupe de Wolkberg : les quartzites du sommet forment les falaises, les shales de la base correspondent aux pentes plus molles en pied de falaise.

Hébergement	S24.00753 ; E31.74036
Olifants Rest Camp, Parc National Krüger	
Accès : Poursuivre la R532 vers le Nord. Au bout de 17 km (parcourus dans les dolomies du sous-groupe de Malmani), on tourne à droite. Après une quinzaine de kilomètres, on traverse le col d’Abel Erasmus, de nouveau entaillé dans les quartzites du groupe de Wolkberg. La route débouche maintenant dans le Low-Veldt, au climat tropical, construit sur des grani-toïdes Archéens mal connus (3.1 – 2.7 Ga). On atteint Hoedspruit 70 km après le col ; on prend à gauche la R40 vers le Nord-Ouest, en direction de Tzaneen. Après 27 km, on atteint la localité de Mica, construite dans des collines qui correspondent à des lambeaux de CRV, collectivement décrits comme C.R.V. de Murchison (3.0 – 2.7 Ga). Peu après Mica, on prend à droite la R530 vers Phalaborwa, que l’on atteint au bout de 37 km. Tourner à droite sur la R71 vers le centre ville et le Parc Krüger, 9 km plus loin. 87 km séparent encore la porte de Phalaborwa, et le camp de Olifants.	
Trajet total : 289 km dont 87 dans le parc, environ 5h00 (dont 3h dans le parc).	

Chalets self-catering dans le “Olifants Rest Camp”.

Journée n° 6 : Vendredi 16 Février

Voir carte IV, page 6.

Journée de transit vers le Nord du Parc Krüger.

Le matin : promenade dans le bush avec les rangers du parc (5h30–8h00 probablement).

Arrêt n° 6.1	S23.98336 ; E31.1303
Mine de Cuivre de Phalaborwa Pipe de carbonatite, et roches associées	
Accès : Quitter Olifants Rest Camp en suivant la route empruntée hier jusque vers la porte de Phalaborwa (87 km). Tourner à gauche environ 1.5 km après la sortie du Parc, la mine se situe à 6 km de la route principale (R71)	
Trajet total : 95 km, environ 3h Temps sur l’affleurement : 1h00	

Contexte :

La mine de Phalaborwa est construite sur un pipe de carbonatites (associées à d’autres magmas alcalins et hyper-alcalins), vieux de 2050 Ma. Le complexe, d’environ 3 km sur 8, est principalement composé de pyroxénites ; au centre, le pipe lui-même fait environ 1 km sur 2 et se compose d’un coeur de carbonatites, entouré d’une roche (sans doute formée par les réactions entre les carbonatites et les pyroxénites) appelée “foskorite”, du nom de la compagnie qui exploitait la mine (FOSKOR), formée d’apatite et de magnétite. Aux alentours, des petits pipes secondaires (de syénites surtout) sont observés.

Le complexe de Phalaborwa contient une variété de minéraux exotiques, certains connus dans une poignée de localité au monde. Les carbonatites du coeur sont riches en cuivre ; la foskorite est exploitée pour le phosphore. Un certain nombre d’autres minéraux sont des intéressants sous-produits de l’exploitation : de l’uranothorianite (qui est aussi riche en terres rares) et de la baddeleyite (un oxyde de zirconium, utilisé comme abrasif). La magnétite est aussi potentiellement exploitable.

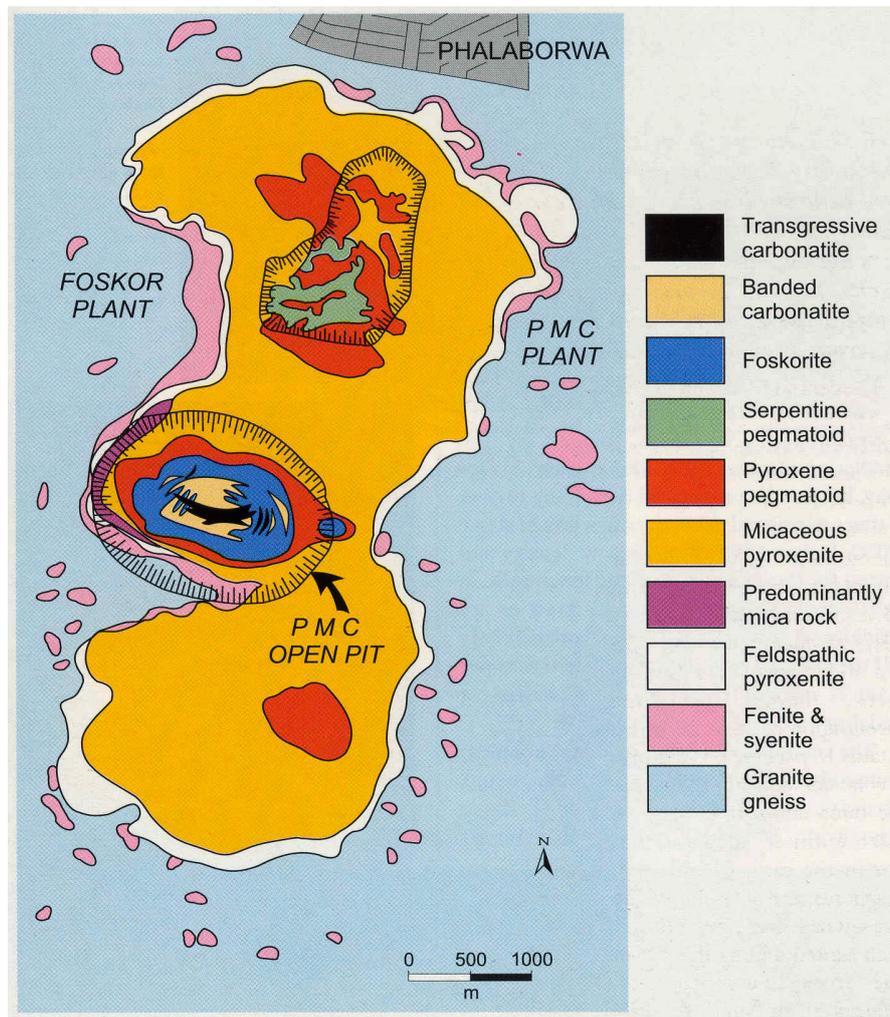


Fig. 6.1: Carte du complexe de Phalaborwa (Viljoen and Reimold, 1999)

Le gisement de cuivre est connu depuis longtemps, il était probablement déjà exploité vers 800–1000. Les opérations modernes ont débuté dans les années 50, et la production en 1965 ; la carbonatite est exploitée par PMC (Palabora mining company, qui appartient au groupe international Rio Tinto) tandis que la foskorite, un “stérile” du point de vue du cuivre, est rachetée et traitée par FOSKOR, à l’origine une compagnie appartenant à l’état Sud-Africain. FOSKOR extrait aussi de l’apatite des pyroxénites, dans un autre puits, immédiatement au Nord.

De 1965 à 2000, le puits principal a atteint une profondeur de 760 m (et le pipe continue plus bas). Comme il est nécessaire, pour garantir la stabilité des parois, de ne pas dépasser un angle de pente de 50° , il est alors devenu plus rentable de continuer l’exploitation de façon souterraine.

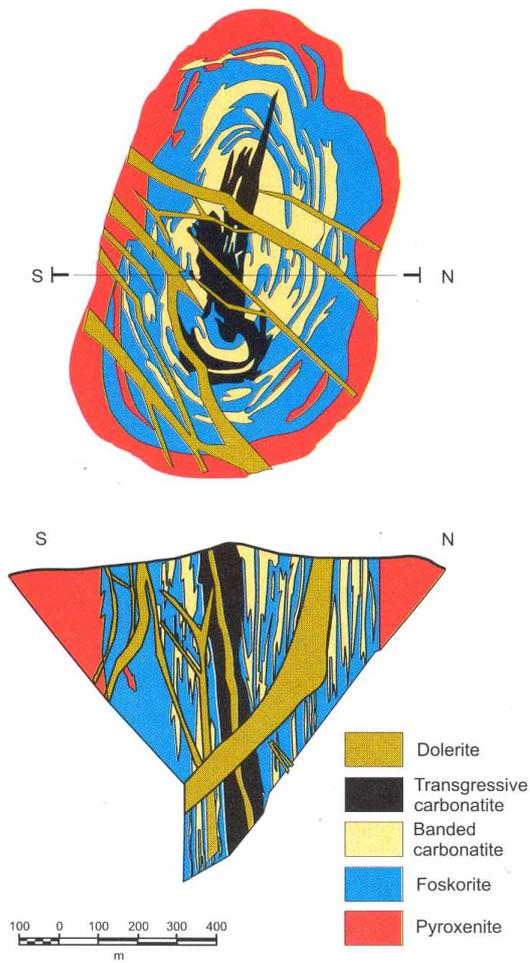


Fig. 6.2: Carte et coupe du pipe de carbonatite central du complexe de Phalaborwa (Viljoen and Reimold, 1999)

Il n'est a priori pas possible de visiter la mine elle-même ; on peut néanmoins traverser les déblais pour atteindre un point de vue sur le puits principal, et au passage échantillonner diverses lithologies.

Hébergement	S22.69175 ; E31.02108
Punda Maria Rest Camp, Parc National Krüger	
Accès : Rejoindre la R71 ; l'emprunter sur la Gauche (Ouest) jusqu'à Gravelotte (60 km). De Murchison à Gravelotte, la route longe sur la droite des petites collines correspondant à la Ceinture de Roches Vertes de Murchison (ca. 3.0 Ga). A Gravelotte, prendre à droite, toujours sur la R71, en direction de Tzaneen. Après 25 km (près de Letsitele), tourner à nouveau à droite sur la route 529 en direction de Giyani. Après 77 km, on rejoint la R81 à l'entrée de Giyani. On traverse un nouveau fragment de CRV, la ceinture de Giyani (anciennement Sutherland), ca. 2.7 Ga. Prendre à droite sur la R81, traverser Giyani et poursuivre vers le Nord sur la R81 pendant 58 km. Après Shigalo, la route rejoint la route 524, que l'on prend à nouveau à droite vers le Parc Krüger et Punda Maria. L'entrée du parc (Punda Maria Gate) est atteinte après encore 34 km, et le camp se situe à 10 km à l'intérieur du parc.	
Trajet total : 264 km, 3h30 plus pauses, repas, etc.	

Chalets de 4 places dans le Parc Krüger



Punda Maria Rest Camp

Bibliographie

M.J. Viljoen and W. U. Reimold. *An introduction to South Africa's geological and mining heritage*. Geological Society of South Africa, Johannesburg, 1999.

Journée n° 7 : Samedi 17 Février

Voir carte IV, page 6.

Journée de transit vers Musina et de tourisme en pays Venda. Liste d'arrêts indicative, sujet à modifications selon l'inspiration du moment et le souhait des participants. Les arrêts listés ici sont des possibilités. . .

Je ne connais pas la région personnellement, et les descriptions des guides touristiques sont pour le moins sommaires. Quant aux cartes, elles ne s'avèrent pas toujours d'une grande précision. Les indications d'itinéraire sont donc approximatives !

Arrêt n° 7.1	S22.76431 ; E30.77781
Mphaphuli Cycad Reserve Réserve naturelle avec Cycas	
Accès : Quitter Punda Maria et rejoindre la sortie du Parc. 12 km après la sortie, tourner à droite sur une route secondaire ; la réserve, mal indiquée dans les guides et les cartes, se situe à une quinzaine de kilomètres.	
Trajet total : env. 40 km, 1h Temps sur place : 1h00	

Apparemment, réserve naturelle de cycadales sur le flanc du Soutpansberg.

Arrêt n° 7.2	S22.93414 ; E30.40031
Phiphidi Falls Chutes d'eau en pays Venda	
Accès : Poursuivre la route secondaire sur 28 km ; après le village de Makula, tourner à gauche vers Thohoyandou (15 km). Traverser la ville, les chutes se situent 8 km plus loin (?) sur la R523	
Trajet total : 51 km, 1h Temps sur place : 30 mn	

Chutes d'eau : que dire de plus ?

Arrêt n° 7.3	S22.49202 ; E30.67933
Big Tree	
Baobab géant	
Accès : Rejoindre Thohoyandou (8 km) et prendre à gauche (15 km) une route vers le Nord (Thengwe, Mutale, Sagole?). Suivre la route au travers du pays Venda. Traverser la rivière Mutale (11 km), poursuivre encore 36 km. Tourner alors à droite vers Sagole Spa. Tourner (à gauche?) au panneau "Big Tree" (env. 18 km), et poursuivre sur 4.3 km en suivant les panneaux	
Trajet total : 92 km, 2h	
Temps sur place : 45 mn + repas	

Un des plus grands baobabs de la région, potentiellement vieux de milliers d'années.

Arrêt n° 7.4	S22.31178 ; E30.14421
Point de vue sur le Limpopo	
Panorama	
Accès : Poursuivre vers le Nord sur 11 km jusqu'à la route 525 ; l'emprunter à gauche. 6 km plus loin, il est possible de prendre sur la droite une route qui rejoint le Limpopo et le suit jusqu'à Musina (70 km). Sinon, rester sur la R525 pour rejoindre Tsipishe (50 km)	
Trajet total : Environ 90 km, 2h	
Temps sur place : 30 mn	

Panorama sur le fleuve Limpopo, et la frontière du Zimbabwe.

Hébergement	S22.60839 ; E30.172
Aventura Tsipishe, près de Messina	
Accès : De Musina, prendre la R508 vers le Sud sur 36 km et rejoindre Tsipishe.	
Trajet total : 36 km, 30 mn depuis Musina ou 67 km, 45 mn depuis le Big Tree	

Chalets de 4 places, self-catering. Même chaîne hôtelière qu'à Badplaas, probablement moins bien entretenu.

Journée n° 8 : Dimanche 18 Février

Voir carte V, page 7.

Arrêt n° 8.1	S22.40104 ; E30.09917
Causeway locality Gneiss TTG de Sand River, 3.1 Ga, enclaves et migmatites associées	
Accès : Quitter l'Aventura par la R508 en direction de Musina. Au bout de 27 km, la route traverse la "Sand River"; stopper quelques centaines de mètres avant le pont, et pénétrer par la grille dans la réserve naturelle. Les affleurements se situent dans le lit de la rivière, en amont du pont.	
Trajet total : 27 km, 30 mn Temps sur l'affleurement : 3h00	

Contexte :

La zone centrale de la ceinture du Limpopo est composée de plusieurs ensembles de roches, poly-déformés et métamorphisés. Les gneiss de Sand River sont un de ses composants ; il s'agit de gneiss TTG, vieux de 3180–3290 Ma. Ils contiennent des éléments de métapelites ("Complexe de Beit Bridge"), et de nombreux indices de fusion partielle.

En dehors de sa qualité esthétique, on peut observer différents composants sur cet affleurement :

- Le plus commun est un orthogneiss migmatitique (partiellement fondu), de nature TTG : c'est le composant daté à ca. 3.2 Ga. Dans ce "paquet", les niveaux très blancs représentent sans doute des liquides, les niveaux gris sont les parties non fondues.
- On trouve aussi des éléments noirs de métasédiments (metapelites), elles mêmes partiellement fondues. Elles forment des enclaves dans les gneiss, ce qui suggère qu'elles correspondent à des vestiges de l'encaissant dans lequel s'est mis en place le protolithe des gneiss. Ceci leur conférerait un âge de plus de 3.2 Ga, qui n'est pas confirmé par la géochronologie.
- Ces migmatites sont plissées; comme les niveaux de "liquide" sont eux-même clairement plissés, il s'agit bien d'une déformation plus récente que la fusion partielle.

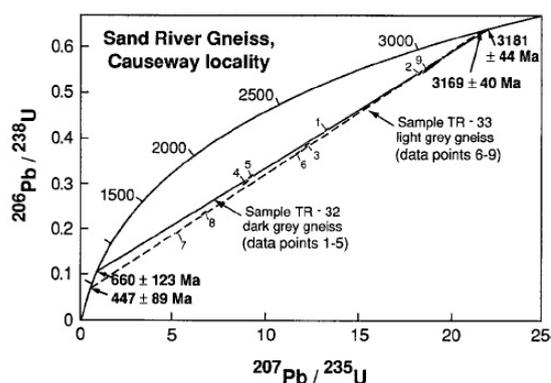


Fig. 8.1: Diagramme concordia pour les gneiss de Sand River, à cette localité (Jaeckel et al., 1997)

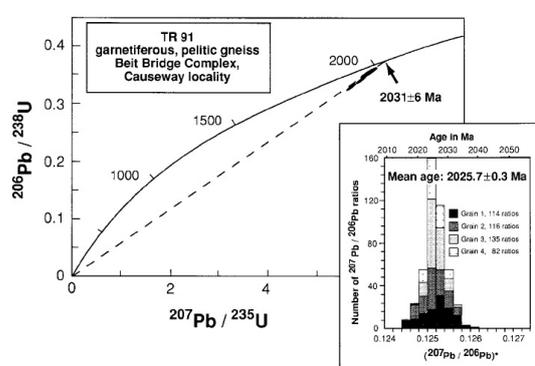


Fig. 8.2: Diagramme concordia pour les pelites du complexe de Beit Bridge, à cette localité (Jaeckel et al., 1997). L'âge est interprété comme métamorphique

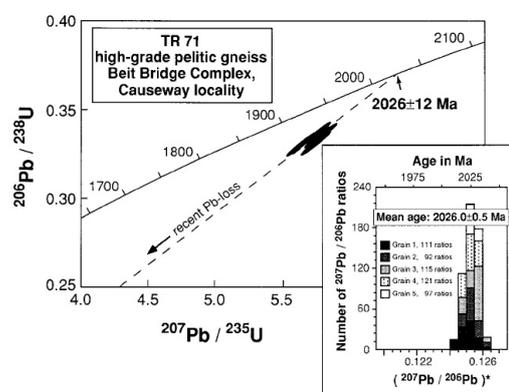


Fig. 8.3: Diagramme concordia pour des migmatites associées aux pelites du complexe de Beit Bridge à cette localité (Jaeckel et al., 1997). L'âge de la fusion est identique à l'âge métamorphique obtenu sur les pelites peu fondues

- Mais par endroit, on constate aussi que les liquides (clairs) soulignent les plis et s'insinuent dans des petites fractures ("extrados") dans les flancs des plis, ou dans des zones de cisaillement ; Ou encore, dans des niveaux cassants boudinés : les liquides se sont regroupés entre les boudins, dans les "vides" créés par l'extension.
- L'âge de cette fusion partielle est discuté. Des niveaux de liquide associé aux métapelites ont été datés à 2030 Ma ; mais dans la région (à quelques kilomètres), des pelites partiellement fondues, apparemment analogues (gneiss de Singelele), donnent des âges autour de 2.6 Ga. Cet âge est donc un peu surprenant.
- Enfin, l'ensemble est recoupée par une seconde génération de liquides, qui se manifeste

- soit par des petites veines centimétriques de leucosomes organisés autour d'amphiboles (peut être des pyroxènes rétro-morphosés), ce qui évoque une fusion incongruente suivant une réaction du type $Bt + Pg + Qz + H_2O \rightleftharpoons Liq + Px/Amp$

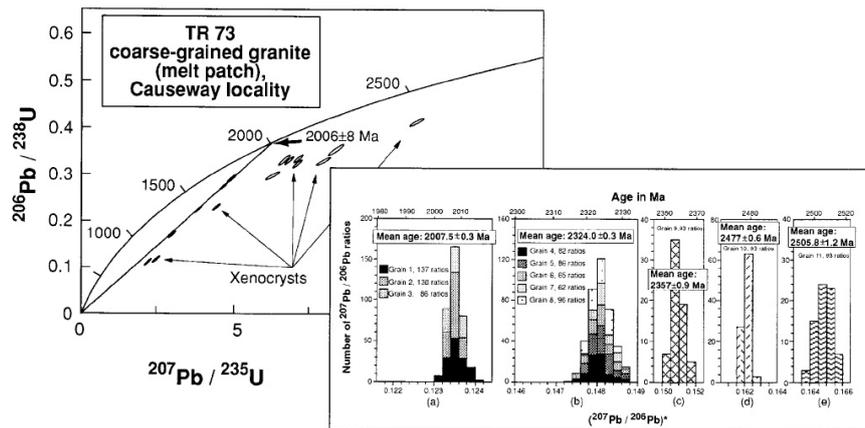


Fig. 8.4: Diagramme concordia pour des veines à amphiboles, Sand River Gneisses (Jaekel et al., 1997), cette localité

- soit par des grosses poches de pegmatite (en l'occurrence avec des gros cristaux de biotite, ce qui leur confère un aspect assez spectaculaire)
- La chronologie reste donc discutable. En particulier, on peut se demander si toute la fusion partielle et la déformation datent de ca. 2.0 Ga, ou bien si il y a deux épisodes successifs, à 2.5-2.6 puis 2.0 Ga. La chronologie relative est en tout cas la suivante :

1. Sédiments (précurseurs des enclaves pelitiques) > 3.2 Ga
2. Intrusion d'un granitoïde (le futur gneiss gris), dans un encaissant 3.2 Ga
3. Fusion partielle généralisée, formant l'aspect global migmatitique, à peu près synchrone de la déformation (plis et boudins) 2.6 ou 2.0 Ga ?
4. Second épisode (ou continuation de l'épisode unique) de fusion, formant les veines à amphibole et les pegmatites 2.0 Ga

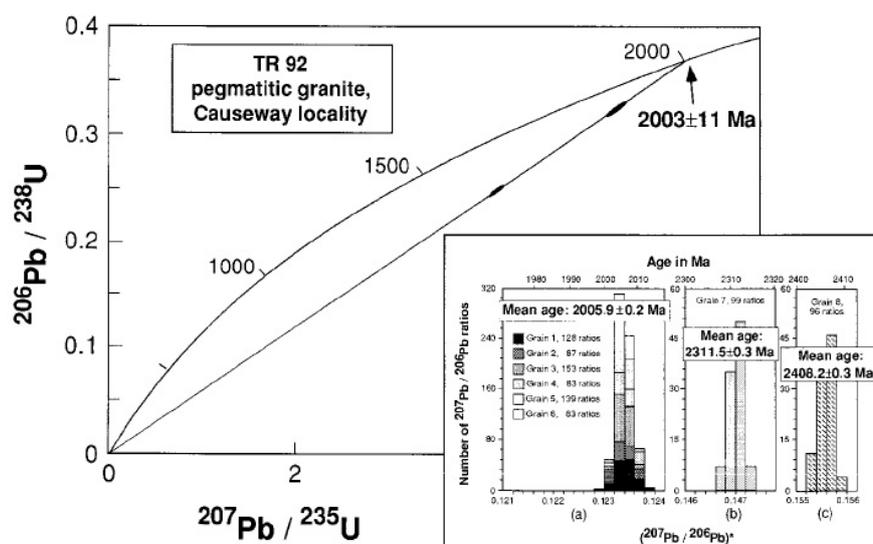


Fig. 8.5: Diagramme concordia pour des poches de pegmatites, Sand River Gneisses (Jaeckel et al., 1997), cette localité

Arrêt n° 8.2	S22.26352 ; E29.91983
Three Sisters	
Le pluton de Bulai (2.57 Ga)	
Accès : Continuer la R 508 jusqu'à Musina (8 km). Tourner à droite sur la N1 vers Beit Bridge (Nord), puis à gauche à la sortie de la ville sur la R572 (4 km). Après 12 km, tourner à droite en direction de "Musina Agricultural Research Station" ; l'arrêt se situe à l'Est de la station, à 7 km au Nord de la route goudronnée.	
Trajet total : 25 km, 25 mn + courses à Musina	
Temps sur l'affleurement : 2h00 + repas	

Contexte :

Le pluton de Bulai ($2572 \pm \text{Ma}$ (Barton et al., 1994)) est un pluton magnésio-potassique, typique des contextes post-collisionnels. Il contient des enclaves de pelites granulitiques partiellement fondues, ce qui implique bien l'existence d'une phase de métamorphisme atteignant l'anatexis à la fin de l'Archéen — et contredit, en partie, les âges obtenus à Sand River, où la géochronologie ne permet pas de mettre en évidence d'épisode de cet âge.

Sur le flanc Nord (rive gauche) d'une petite retenue d'eau, on observe un gros xénolithe (une dizaine de mètres) de métapelites granulitiques, très fondues. Observer aussi le granite lui-même, très porphyroïde, avec quelques amphiboles et de nombreuses enclaves microgrenues sombres.

Arrêt n° 8.3	S22.24824 ; E29.90576
Proche des Three sisters	
Relations intrusives entre le pluton de Bulai et les métapelites fondues de son encaissant	
Accès : Revenir sur la piste en direction de la station agricole sur environ 2 km	
Trajet total : 2 km	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

Le pluton de Bulai est ici nettement intrusif dans un ensemble composite de gneiss clair à grenat et de métapelites ; la partie leucocrate, localement connue sous le nom de "gneiss de Singelele", correspond probablement à liquides anatectiques, dans laquelle persistent des métapelites très fondues ; les grenats sont certainement des minéraux péritectiques. Les gneiss de Singelele sont datés à 2.58 – 2.68 Ga, donc synchrones ou légèrement plus anciens que le pluton de Bulai

Alternance de roches appartenant au pluton de Bulai, et de gneiss de Singelele avec les enclaves de pelites plus ou moins fondus associées. L'ensemble évoque une intrusion lit par lit du pluton de Bulai.

Arrêt n° 8.4	S22.43764 ; E29.99985
Lit de la Sand River sur la ferme Verbraard	
Fusion partielle d'un protolithe hétérogène	
Accès : Regagner la route goudronnée et revenir à Musina. Tourner à droite sur la N1 vers le Sud. La route traverse la ville ; après 15 km sur la N1, on atteint de nouveau la Sand River. Les affleurements, dans le lit de la rivière, sont à l'Ouest du pont.	
Trajet total : 37 km, 45 mn	
Temps sur l'affleurement : 1h00	

Contexte :

Les lithologies ortho- et para-dérivées (gneiss de Sand River, et Beit Bridge Complex ainsi que ses produits de fusion, les gneiss de Singelele) sont intimement mêlées dans la région de Musina. Toutes deux ont connu un épisode de fusion partielle, dont l'âge est discuté ; ici, les veines leucocrates et les gneiss de Singelele donnent des âges allant de 2.65 à 2.57 Ga

Les blocs et rochers dans le lit de la rivière montrent un résumé des figures vues aujourd'hui :

- des gneiss TTG, type “Sand River”, localement fondus ; on observe souvent des veines leucocrates à pyroxènes.
- des gneiss métapelitiques, type “Beit Bridge Complex” ; ils présentent des veines anatectiques à grenat et sont associés à des niveaux de gneiss de type Singelele.

Hébergement	S22.60839 ; E30.172
Aventura Tsipishe	
Accès : Regagner Musina par la N1 et tourner à droite sur la R508, jusqu'à Tsipishe	
Trajet total : 45 km, environ 45 mn	

Comme hier.



Aventura Tsipishe

Bibliographie

- Jr Barton, J.M., L. Holzer, B.S. Kamber, R. Doig, J.D. Kramers, and D. Nyfeler. Discrete metamorphic events in the limpopo belt, southern africa : implications for the application of p-t paths in complex metamorphic terrains. *Geology*, 22 : 1035–1038, 1994.
- P. Jaeckel, A. Kröner, S. L. Kamo, G. Brandl, and J.I. Wendt. Late archaean to early proterozoic granitoid magmatism and high grade metamorphism in the central limpopo belt, south africa. *Journal of the Geological Society of London*, 154 :25–44, 1997.

Journée n° 9 : Lundi 19 Février

Voir carte VI, page 8.

Arrêt n° 9.1	S22.72556 ; E29.9079
Marbres au bord de la N1 Blocs dispersés en bord de route	
Accès : Quitter Tsipishe par la R525 vers l'Ouest. On regagne la N1 en 29 km. Tourner à gauche sur la N1 vers le Sud pour 10 km ; stopper près de quelques blocs épars au bord de la route, au kilomètre 46.4	
Trajet total : 39 km, 45 mn	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

Une lithologie significative de la zone centrale de la ceinture du Limpopo est représentée par des marbres et des roches associées, rattachées au "Beit Bridge Complex". Isotopiquement ($\delta^{13}C$), certains ont une signature qui les rapproche des carbonates du groupe du Transvaal (2.6–2.2 Ga), ce qui suppose qu'ils pourraient être de cet âge... et impose donc l'existence d'un épisode métamorphique granulitique au paléo-protérozoïque.

Blocs dispersés de marbres et autres lithologies dans le talus routier.

Arrêt n° 9.2	S22.91522 ; E29.92799
Hendrik-Verwoerd Tunnel Grès rouges protérozoïques du groupe du Soupansberg	
Accès : En continuant vers le Sud sur la N1, les montagnes du Soutpansberg deviennent de plus en plus imposantes. Au bout de 8.5 km, on atteint un embranchement sur la droite (Est) vers le barrage de Nzhelele ; à ce niveau, un petit sommet de l'autre côté de la route (Castle Koppie) est formé de grès de la Clarens Formation (supergroupe du Karoo, mésozoïque), déposés dans des petits bassins bordés de failles (réactivées) dans le Soutpansberg. La route entre dans le Soutpansberg ; au bout de 16 km, elle traverse le premier des deux tunnels. S'arrêter à l'aire aménagée entre les deux.	
Trajet total : 26 km, 30 mn	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

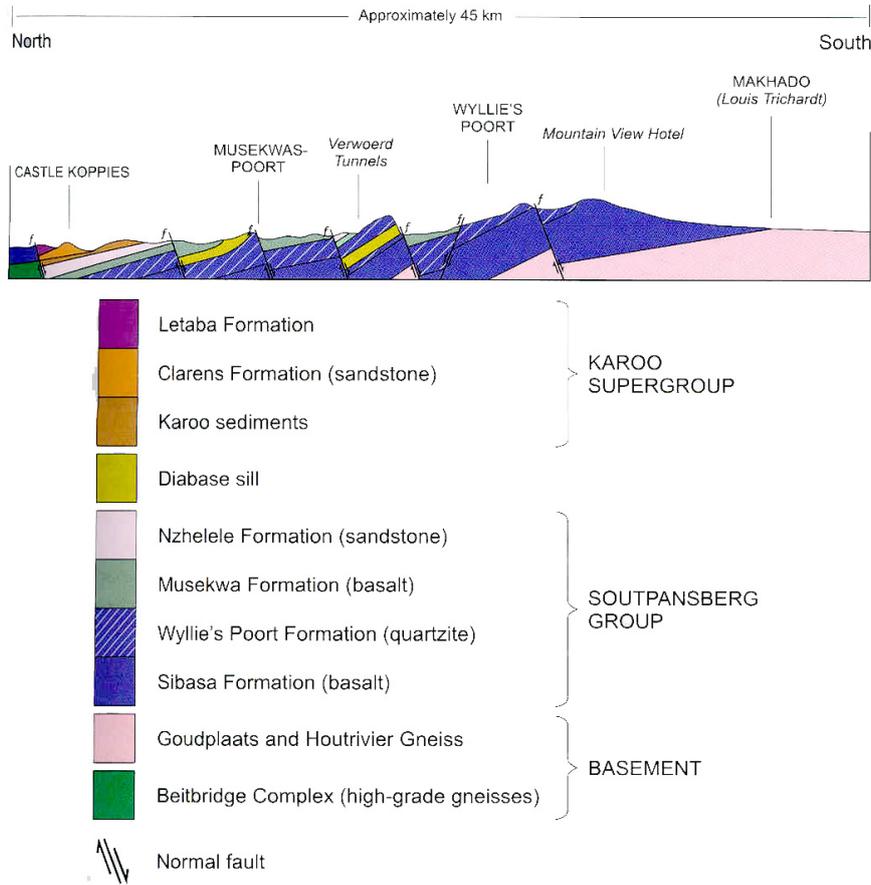


Fig. 9.1: Coupe le long de la N1 au travers du Soutpansberg (Norman and Whitfield, 2006). Les failles normales sont formées lors du dépôt initial des grès du Soutpansberg, vers 1.8 Ga, et réactivés lors du dépôt du groupe du Karoo au Paléozoïque.

Les sédiments du Soutpansberg correspondent à une séquence de rift (sédiments détritiques, associés à des basaltes), déposée il y a 1.8 Ga. Ils se sont certainement formés en périphérie d'une chaîne de montagnes, dite "Uben-dian", représentée en Afrique du Sud par la "Kheis Fold Belt" de la région d'Upington, et correspondant à une collision entre le craton du Congo, et le bloc Kaapvaal-Zimbabwe.

Ces sédiments sont les premiers grès rouges de la région, témoignant de la transition vers une atmosphère oxydante.

Observer les grès, et l'importance de la fracturation dans cette localité, proche d'une des failles longitudinales qui hachent le Soutpansberg (cf. figure 9.1).

Arrêt n° 9.3	S23.29892 ; E29.93916
Lit de rivière près de GaMathule	
Métapelites granulitiques de la zone Sud et système de failles de NThabalala	
<p>Accès : Poursuivre la N1 jusqu'à Makhado (Louis Trichardt, 21 km) ; puis encore au Sud sur environ 26 km. Tourner à gauche vers Elim (au kilomètre 72.8). Au bout d'une douzaine de kilomètres, la route pénètre dans les anciens "homelands", et traverse le village de Mailaskop. A la sortie du village, tourner à droite près d'un bouquet d'eucalyptus en direction de Tsitale (13.7 km depuis la nationale). La route de terre plonge dans une vallée, traverse le village de NThabalala et atteint un pont 9.2 km après l'embranchement. 2.1 km plus loin, la route tourne à gauche en épingle à cheveux en remontant sur le flanc Sud de la vallée, au niveau d'une école sur la gauche et d'un magasin ("Buffelshoek store"). Tourner à droite dans le village. Contourner la chapelle, descendre jusqu'au pont (300 m après l'école), remonter de l'autre côté dans le village. 800 m après le pont, rester à gauche à une patte d'oie, puis prendre immédiatement à droite et continuer sur environ 900 m jusqu'au cimetière. Contourner le cimetière par la droite, poursuivre sur encore 700 m, stopper au bord du lit de la rivière. Poursuivre à pied vers l'amont (gauche, Ouest) sur encore 500 m dans le lit de la rivière, en franchissant une clotûre à mi-chemin.</p>	
Trajet total : 74 km, 1h30 + courses à Makhado (Louis Trichardt)	
Temps sur l'affleurement : 1h30 + repas	

Contexte :

La zone marginale Sud du Limpopo est composée de lithologies qui sont sans doute des équivalents déformés et métamorphisés du craton du Kaapvaal ; déformation et métamorphisme granulitique sont, ici, assez bien contraints aux alentours de 2.69–2.64 Ga.

Deux formations principales occupent la zone Sud, les "gneiss de Baviansk-loof" (parfois Gneiss de Goudplaats), qui sont des gneiss de nature TTG, et les "gneiss de Bandelierkop", qui sont des métapelites.

Des zones de cisaillement ductiles définissent un système de décrochements et de chevauchements, correspondant à un chevauchement de la zone marginale Sud sur le craton du Kaapvaal.

Les métapelites granulitiques des gneiss de Bandelierkop sont, ici aussi, partiellement fondues. Notez les relations entre fusion, déformation et extraction de liquides (leucosomes dans les ombres de pression de grenats, filons sécants à grenat, etc.). Vous pourrez observer les différences de fusion entre des zones sans doute de compositions d'origine un peu différentes. On observe aussi des mylonites, qui correspondent aux derniers mouvements de lu système de faille de NThabalala. Enfin, quelques éléments d'anorthosites se trouvent ça et là.

Arrêt n° 9.4	S23.44346 ; E29.74364
Carrière près du Tropique du Capricorne	
Les gneiss granulitiques de Baviaanskloof	
Accès : Retracer la route jusqu'à la N1 (23 km), et reprendre la N1 vers le Sud. Passer Bandelierkop (7 km), où ont été défini les gneiss du même nom ; puis le péage du Capricorne (6 km depuis Bandelierkop). 9 km plus loin, dépasser le monument marquant le tropique du Capricorne et stopper sur la gauche près d'une carrière, entourée de blocs de pierres ornementales.	
Trajet total : 45 km, 45 mn	
Temps sur l'affleurement : 45 mn	

Contexte :

Les gneiss de Baviaanskloof, des gneiss TTG en faciès granulite, occupent la plus grande partie de la zone Sud du Limpopo. Ils sont ici exploités en pierre ornementale (vous regarderez les dallages à l'aéroport de Johannesburg !)

Les blocs épars aux alentours de la carrière montrent différents aspects des gneiss de Baviaanskloof : un faciès gris, dominant, méta-tonalitique ; des veines anatectiques ; et des filons de pegmatites roses.

Arrêt n° 9.5	S23.43683 ; E29.7454
Capricorn Monument	
Contact entre le pluton de Matok et les gneiss de Baviaanskloof	
Accès : Reprendre les véhicules, traverser la N1 et suivre la route latérale jusqu'au monument du Tropique du Capricorne (... qui est un kilomètre trop au Nord, d'après les coordonnées GPS !)	
Trajet total : 1 km	
Temps sur l'affleurement : 45 mn	

Contexte :

Le pluton de Matok (2.66 – 2.67 Ga) est également un pluton tardi-collision magnésio-potassique, très similaire au pluton de Bulai de la zone centrale. Il est à cheval sur la zone de cisaillement de NThabalala, qui sépare le cœur de la zone sud, de sa périphérie qui a été rétrogressé en faciès amphibolite.

Le pluton de Matok est ici formé d'un granitoïde à grain moyen. Vous pouvez en chercher le contact avec les gneiss de Baviaanskloof !

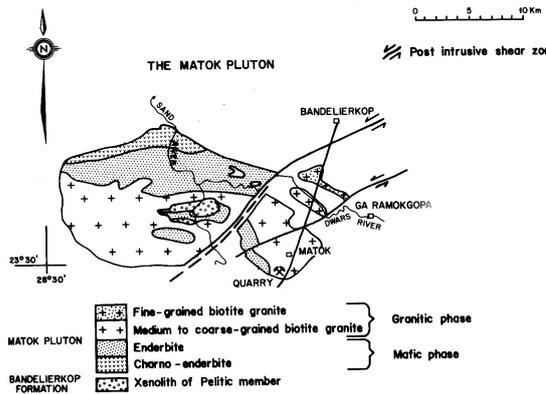


Fig. 9.2: Carte géologique du pluton de Matok (du Toit et al., 1983). L'affleurement 9.5 se situe sur le petit lobe isolé au Nord-Est du pluton, le site 9.6 dans le village de Matok.

Arrêt n° 9.6	S23.49263 ; E29.71254
Village de Matok	
Le pluton de Matok en faciès amphibolite	
Accès : Reprendre la N1 et continuer vers le Sud ; après 6km, tourner à droite dans le village de Matok, prendre la piste vers le Sud parallèle à la route sur 600 m. Tourner à droite et suivre la route vers Mphakane sur environ 1100 m, tourner de nouveau à gauche et stopper 200 m plus au Sud au pied d'un inselberg granitique	
Trajet total : 8 km, 15 mn	
Temps sur l'affleurement : 45 mn	

Contexte :

Ici, le pluton de Matok est un granite porphyroïde, très similaire au faciès du pluton de Bulai vu plus au Nord.

Joli site pour finir la journée !

Hébergement	S23.90646 ; E29.45408
Hôtel Golden Pillow, Polokwane (Pietersburg)	
Accès : Rejoindre la N1, tourner à droite vers le Sud et continuer vers Pietersburg. Au bout de 23 km, on traverse une ligne de collines ; elles correspondent à des petits fragments de CRV (Rhenosterkoppies), un élément de la CRV de Pietersburg (2.7 Ga environ). Polokwane se situe 30 km plus au Sud. Tourner à gauche dans Dorp Street en arrivant en ville, puis après 2 km à droite dans Thabo Mbeki (la rue précédente s'appelle Grobler). L'hôtel est au 57 de cette rue, peu après le carrefour.	
Trajet total : 54 km, environ 45 mn	

Chambres d'hôtel.

Bibliographie

- M.C. du Toit, Dirk Van Reenen, and C. Roering. Some aspects of the geology, structure and metamorphism of the southern marginal zone of the limpopo metamorphic complex. In W.J. van Biljon and J.H. Legg, editors, *The Limpopo belt*, pages 121–142. Geological society of South Africa, Johannesburg, 1983.
- N. Norman and G. Whitfield. *Geological journeys – a traveller’s guide to South Africa’s rocks and landforms*. Struik publishers, Cape Town, 2006.

Journée n° 10 : Mardi 20 Février

Voir carte VII, page 9.

Arrêt n° 10.1	S23.98575 ; E28.90652
PPRust mine, Potgietersrus (Mokopane) Mine de platine à ciel ouvert	
Accès : Quitter Polokwane par la N1 en direction du Sud, et sortir au péage de Zebedelia (env. 60 km). Rentrer dans Mokopane (Potgietersrus) ; au carrefour principal (6 km du péage), prendre à droite la N11 vers le Nord-Ouest. La suivre sur 25 km, puis prendre à gauche en direction de la mine, à 5 km de la nationale.	
Trajet total : 96 km, 1h15	
Temps sur l’affleurement : 3h00 ?	

Contexte :

La mine de PPRust se situe dans les anciens homelands, et est un développement relativement récent (1993) de Anglo-platinum. Elle se compose pour le moment de deux zones d’extraction (Zwartfontein et Sandsloot), mais plusieurs autres sont prévues. La production annuelle des deux puits est autour de 200 000 onces (une once = 28 g) de platinoïdes par an (plus du nickel et du cuivre, comme sous-produits).

La mine de PPRust se situe dans le lobe Nord du Bushveldt ; ici, la stratigraphie est incomplète, et les zones marginale, inférieure et critique sont manquantes — la zone principale est directement au contact de l’encaissant. Le niveau exploité (“Platreef”) se situe environ à 200 m de profondeur ; il repose directement sur les sédiments du groupe du Transvaal et constitue la base de la zone principale.

Visite guidée de la mine ? Encore à confirmer à ce jour.

Quelques mots de vocabulaire géologico-minier :

- Adit** : Entrée de mine, tranchée (tranchée d'exploration en particulier).
- Chuniespoort (groupe de)** : Un des composants du Supergroupe du Transvaal, formé de dolomies essentiellement.
- Footwall** : Pour une faille, le bloc sous la faille. Utilisé par extension pour les "reefs".
- Hangingwall** : Pour une faille, le bloc au-dessus de la faille. Utilisé par extension pour les "reefs".
- Ore** : Minerai. Ore body : le corps minéralisé.
- Ounce** : Once. Une once (1 Oz.) = 28.35 g environ.
- PGE** : (prononcé un peu comme "pidjii") : Platinum-Group Elements, les platinoïdes.
- Pit** : Mine à ciel ouvert.
- Platreef** : Le "reef" exploité dans le lobe Nord du Bushveld, à la base de la zone principale (les zones inférieures et critiques sont absentes).
- Reef** : Littéralement, "récif". En géologie minière, désigne le niveau minéralisé, surtout quand il a une extension horizontale significative.
- Shaft** : Puits de mine (la partie verticale, avec les ascenseurs).
- Stratabound (deposit)** : Dépôt minéral limité à une couche donnée.

Arrêt n° 10.2	S24.25995 ; E29.79489
Au bord de la R37	
Point de vue sur le complexe du Bushveldt	
<p>Accès : Rejoindre la N11, puis Potgietersrus (31 km). Traverser la ville à peu près tout droit et en sortir par la R518, vers le Sud(-Est). Après 43 km, on laisse sur la gauche la route 519 (qui revient vers Pietersburg/Polokwane). La route pénètre dans l'ancien homeland de Lebowa, et en traverse la "capitale" (Lebowakgomo) avant de rejoindre la R37 (28 km); on se trouve alors immédiatement au Sud de Chuniespoort, où a été défini un des groupes du Supergroupe du Transvaal. Continuer environ 25 km sur la R37. La route quitte les dolomies du Supergroupe du Transvaal et descend dans une plaine formée par les roches basiques du complexe du Bushveldt. On atteint un carrefour avec des routes menant à Mafefe et Apel, ainsi qu'un arrêt de minibus. Stopper immédiatement après et regarder le panorama.</p>	
Trajet total : 127 km, 1h30	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

Le complexe du Bushveldt (2061 Ma) est une intrusion basique plate, large de 400 km mais ne dépassant pas quelques kilomètres d'épaisseur. Elle est

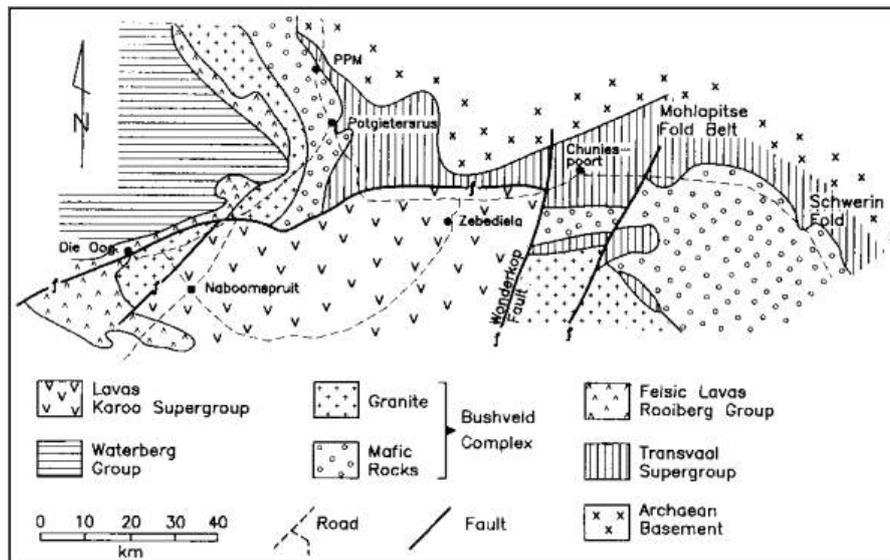


Fig. 10.1: Carte de la partie Nord-Est du complexe du Bushveldt, autour de l'itinéraire entre Potgietersrus et les arrêts du jour 10 (Cawthorn)

intrusive dans les sédiments du Supergroupe du Transvaal (groupe de Chuniespoort). A l'intérieur de l'intrusion, la stratigraphie est étonnamment cohérente, et on peut suivre sur des centaines de kilomètres les mêmes unités.



Fig. 10.2: Panorama sur le complexe du Bushveld, pris des alentours de cet arrêt

Au Nord (à gauche), on peut voir les dolomies du groupe de Chuniespoort, pendant vers le Sud. La plaine et les petites collines allongées, de part et d'autre de la route, sont la zone inférieure; les collines sont formées de pyroxénite et les creux de péridotite. Les collines plus élevées, nettement litées, un peu plus au Sud correspondent à la zone critique. La troisième ligne de collins, encore plus élevée, correspond à la zone principale.

Arrêt n° 10.3	S24.2649 ; E29.8856
La zone inférieure à Jagdlust Péridotites et pyroxénites litées	
Accès : Poursuivre sur la R37 pendant 9 km. S'engager entre deux lignes de collines : à gauche, des pyroxénites de la zone inférieure et à droite, des gabbros de la zone critique. Stopper dans un chemin vers la mine de Jagdlust, à droite de la route, et marcher vers les rides de pyroxénites au Nord sur environ 400 m	
Trajet total : 9 km, 10 mn	
Temps sur l'affleurement : 2h00	

Contexte :

La zone inférieure du complexe du Bushveldt est définie comme la partie ultrabasique du complexe, d'où le plagioclase est absent : c'est une alternance de péridotites (harzburgite) et de (ortho-)pyroxénites. La zone inférieure est épaisse de 1000 à 1500 m.

Le sommet de la zone inférieure est marquée par un niveau de chromitite ; on passe ensuite à la zone critique, principalement composée de norites (gabbros à olivine).

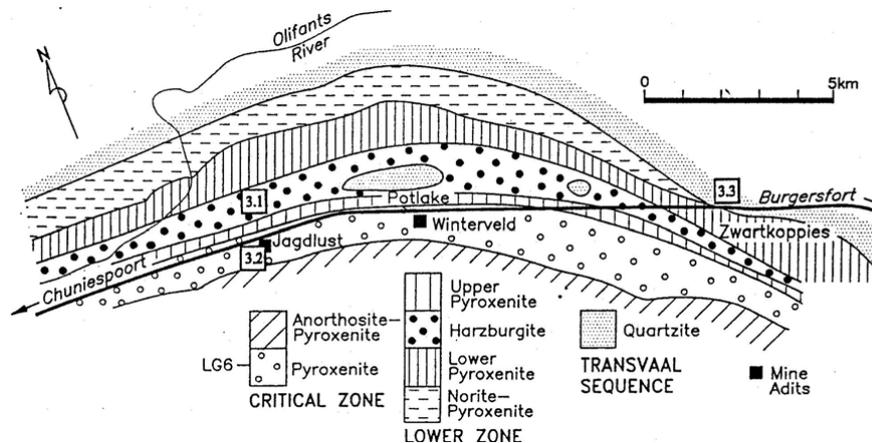


Fig. 10.3: Carte géologique de la zone inférieure autour de l'ancienne mine de Jagdlust (Cawthorn)

Dans les déblais de la mine, près des véhicules, on peut échantillonner les norites et les chromitites. En marchant vers le Nord, en direction de la première ride, on trouve un lit de rivière au fond duquel on observe de beaux affleurements de harzburgite litée ; la crête elle-même correspond¹ à un niveau de pyroxénite

¹d'après la littérature !

Hébergement	S24.66937 ; E30.30991
Snowy Owl Guestlodge, Burgersfort	
Accès : Continuer sur la R37, au travers des paysages de “homelands”. La route est parallèle à la stratigraphie, et on reste surtout dans la zone inférieure, parfois critique. On dépasse quelques mines de platine (dans la zone critique) ; au bout de 56 km on rejoint un embranchement sur la droite vers Steelpoort. A cet endroit, on est presque sur des dolomies du groupe de Chuniespoort (qui forment les collines, à gauche / au nord, et qu'on voit affleurer parfois dans le talus) ; la zone inférieure est manquante et c'est la zone critique qui est à la base de la séquence. On quitte l'ancien “homeland”, et on atteint 12 km après l'embranchement un autre carrefour, lui aussi en direction de Steelpoort, à l'entrée de Burgersfort. 300 m plus loin, tourner à droite juste avant la station “Engen”, sur une route qui monte tout droit sur la colline. Ignorer les panneaux vous interdisant l'accès et continuer jusqu'à la guesthouse, à 700 m de la route principale.	
Trajet total : 69 km, 1 h	

Maisons de 4 à 8 places dans un parc, autour d'un bâtiment central où se trouvent salle à manger, bar et piscine, le tout avec vue sur la plaine avoisinante.



Snowy Owl Guest Lodge, Burgersfort

Bibliographie

R.G. Cawthorn. A virtual field trip in the eastern bushveld complex.

Journée n° 11 : Mercredi 21 Février

Voir carte VIII, page 10.

Arrêt n° 11.1	S24.62319 ; E30.19958
Contact basal de l'intrusion du Bushveldt Filons basiques et métamorphisme de contact	
Accès : Quitter "Snowy Owl", rejoindre la R37 et tourner à gauche en suivant la route prise hier sur 12.5 km. 200 m avant le (second) embranchement vers Steelpoort, stopper au niveau d'un lit de rivière remontant sur la droite (Nord) ; suivre le lit de la rivière sur quelques centaines de mètres.	
Trajet total : 13 km, 15 mn Temps sur l'affleurement : 1h00	

Contexte :

Le complexe du Bushveldt est intrusif dans les sédiments du groupe de Chuniespoort, qui sont des dolomies et des quartzites ; ils occupent les collines immédiatement au Nord de l'affleurement. La zone inférieure est ici manquante, et c'est la zone critique est au contact. L'intrusion de grands volumes de magmas chauds ont, naturellement, induit des transformations métamorphiques et un peu de fusion partielle dans l'encaissant.

Dans le lit de la rivière, il est possible d'observer :

- Des filons de dolérites (équivalent à grain fin de gabbros) intrusifs dans les quartzites ;
- Dans les dolérites, des petits filons blancs, quartzo-feldspathiques, qui correspondent à des liquides de fusion des quartzites, qui se sont mélangées aux dolérites sans s'homogénéiser ;
- Des niveaux dolomitiques de l'encaissant, où l'augmentation de température a causé le développement de minéraux métamorphiques variés (diopside (clinopyroxène), monticellite ($CaMg(SiO_4)$), un néosilicate à structure d'olivine), åkermanite ($Ca_2(MgSi_2O_7)$), du groupe de la mélilite), parfois olivine et spinelles).

Arrêt n° 11.2

S24.55915 ; E30.1033

Le niveau de chromitite UG2, sur la “ferme” Maandaagshoek

Les niveaux minéralisés du Bushveldt et leur signification

Accès : Poursuivre la R37 sur 5.5 km ; tourner à gauche sur une route de terre, indiquant la direction des écoles de Phogale, Moruladilepe et Morokodieta. Suivre la route, qui serpente entre les maisons, sur 11.7 km. Stopper près d'un arbre isolé à l'embranchement, sur la droite, d'une piste secondaire, immédiatement avant la traversée d'un lit de rivière. Remonter le lit de la rivière sur 450 m.

Trajet total : 16 km, 30 mn

Temps sur l'affleurement : 3h00

Contexte :

La partie supérieure de la “zone critique”, où nous nous trouvons, contient plusieurs niveaux minéralisés en platinoïdes : les niveaux de chromitite UG1 à UG3, et le “Merenski Reef”, un ensemble de pyroxénites et péridotites qui représentent le plus riche dépôt de platinoïdes du monde.

Le “Merenski Reef” a été découvert par le Docteur Hans Merenski, en 1924, bien que l'existence de platinoïdes dans le secteur ait été reconnue dès 1906.

Le site exact de la découverte se situe 3500 m au Sud-Ouest de cette localité (cf. encadré).

Les niveaux minéralisés (UG2, ici) semblent souvent correspondre à des “discordances” internes dans le complexe, des réalimentations de magmas érodant les cumulats précédemment déposés.

Encadré 1: La découverte du Merensky Reef

Extrait de [Cawthorn](#),

http://www.wits.ac.za/geosciences/Research/Bushveld/bush_vft_home.htm

Contrary to what may be generally believed, Dr Hans Merensky was not the first person to discover platinum-group elements in the Bushveld Complex. Nor did he actually discover the reef which bears his name. The South African Mining and Engineering Journal of 19 November 1906, reported that a Mr William Bettel had assayed several samples of chrome-iron ore from an olivine gabbro, which contained up to 1.2 dwts of platinum. Two years later, A L Hall and W A Humphrey published a report in which they noted that certain chromite layers in the Rustenburg area and in Sekukuneland contained up to 1.5 dwts PGE per ton.

La découverte du Merensky Reef : suite

In 1923, Percy Wagner established the presence of palladium and rare sperrylite associated with the sulphide minerals of the Vlakfontein nickel pipes in the western Transvaal. In the same year, a prospector, Mr Adolph Erasmus, panned soil from termite mounds on the farm Welgevonden (to the west of Naboomspruit) and was rewarded with tailings of platinum. This led to the discovery of the so-called 'Waterberg-lode' deposits and ultimately to the opening of the first platinum mine in South Africa. The latter was operated by Transvaal Platinum Limited between the years 1924 and 1926. Considerable underground exploratory development was accomplished, but the mine was forced to close down in December 1926 because of the erratic distribution and grade of the platinum mineralization. Differences in ore types resulted in extremely variable metallurgical recoveries; another important factor contributing to the demise of this venture.

During June of 1924, Mr Andries Lombaard panned native platinum from stream sediment on his farm Maandagshoek. The greyish-white concentrate was sent to Merensky who had it analyzed and established that it was platinum. Merensky managed to persuade two friends, Becker and Baerecke, to finance an exploration scheme. In partnership with two other men, Baerveldt and Elkan, the Lydenburg Platinum Syndicate was formed, with each of the four men contributing £500.

In a report to the Syndicate, Merensky wrote that on 12 August 1924 he commenced his field work, assisted by Andries Lombaard and the brothers Schalk and Willem Schoeman. Within three days they succeeded in tracing the source of the platinum to small kopjes of pyroxenite and associated ultrabasic rocks on the farm Mooihoek to the east of Maandagshoek. The best values were found on a Mooihoek kopje — the Mooihoek dunite pipe, which was later opened up and started producing metallic concentrates during 1927. Willem Schoeman remembered that there was a similar kopje on the nearby farm of Driekop. Rock samples collected from this kopje proved to be identical to those from the Mooihoek pipe.

Merensky, along with Lombaard and the Schoeman brothers, extended their prospecting activities and on 25 August 1924, proved that the extensive alluvial gravel flats of the Steelpoort River, near Burgersfort, also carried platinum.

Merensky returned to Johannesburg where the assay results from the Mooihoek rock samples were so encouraging that the Lydenburg Platinum Syndicate was easily persuaded to increase its capital to £8,000 and changed its name to Lydenburg Platinum Limited.

La découverte du Merensky Reef : suite

Whilst Merensky was in Johannesburg during the first half of September 1924, Andries Lombaard made the discovery which was ultimately to make South Africa the foremost platinum producer in the world. In the words of Merensky himself, "... by far the most important discovery was, however a band of greyish-green norite varying in thickness up to 40 feet and carrying in its upper portion some gold, and above all, platinum. The first assay values ranged from 2 to 4 dwts of platinoids. This ore body proved so remarkably persistent that it could be followed within a few days through several farms north of Maandagshoek. In the first days of October, the continuity of the same ore-body was established to the south of the Steelpoort River". The reef outcrop discovered by Lombaard is exposed in a stream section close to the southern boundary of Maandagshoek. It is most likely from this outcrop that Merensky commenced his exploration of the reef, and led to his placing a 'discoverer's rights' notice on Maandagshoek. Initially, it was called the Lombaard Reef, but on the insistence of both Lombaard and the Schoemans, it was renamed the Merensky Reef.

La description, et les figures suivantes sont reprises directement de [Cawthorn](#)¹.

The traverse begins at the eastern end (base of section) with an anorthosite layer which forms the hangingwall² of the UG1 unit. The contact with the overlying pyroxenite is hidden but has a chromite layer only a few grains thick. From now on there is almost continuous exposure, often with too much detail to reproduce in Fig. 11.1, but the important relationships are shown and described below.

The pyroxenite is porphyritic or poikilitic with up to 1 cm-sized euhedral crystals of clinopyroxene, which appears contradictory to the known crystallization sequence in which plagioclase should precede clinopyroxene. In thin section, however, the clinopyroxene contains inclusions of orthopyroxene suggesting that the clinopyroxene is poikilitic. However, if it is a late-forming mineral its very regular shape is hard to explain. Upwards in the sequence, irregular patches of pegmatoidal pyroxenite appear and ultimately coalesce into an almost complete but very irregular layer below the UG2 chromitite. Irregular patches of chromitite may be embedded in the pegmatoidal pyroxenite. The chromitite is about 50 cm thick and undulates markedly, often with strongly developed pegmatoid under the domes. Very rarely pegmatoidal lenses occur within the chromitite. The top half of the

¹Je n'ai pas eu l'occasion de faire moi-même la coupe, si bien que je préfère recopier la description que l'on trouve par ailleurs. On verra bien si nous arrivons à faire les mêmes observations nous-même !

²Footwall = ce qui est dessous, hanging wall = ce qui est au dessus. On utilise en principe ce vocabulaire pour une faille, mais dans le Bushveld on applique le même vocabulaire pour les "reefs"

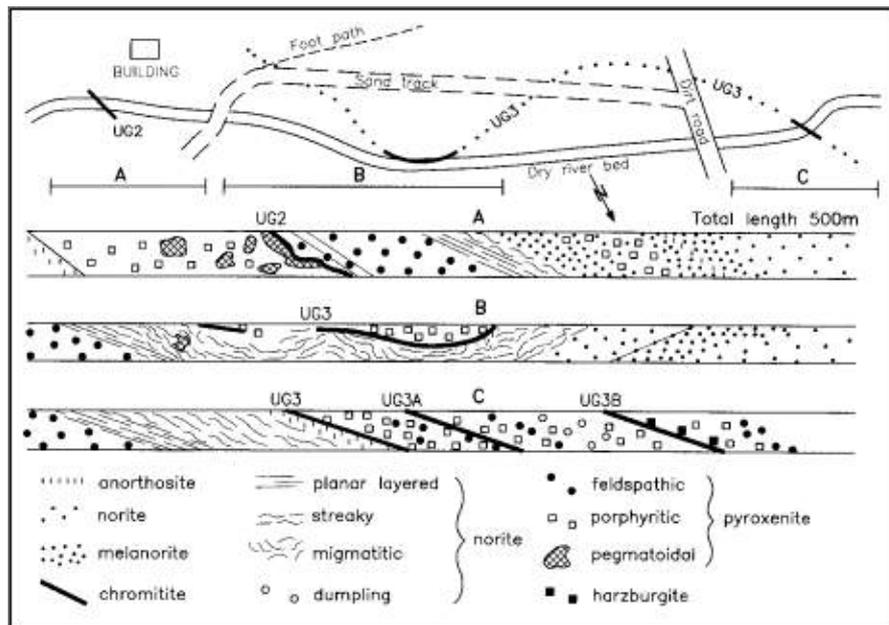


Fig. 11.1: Coupe de part et d'autre du niveau de chromite UG2 sur la ferme Maandagshoek (Cawthorn).

layer is often more oikocrystic than the lower half. Both contacts to the UG2 are very sharp.

The hangingwall pyroxenite is devoid of the large clinopyroxene grains, so prominent in the footwall rocks. There are two thin chromitite stringers in the immediate hangingwall above the UG2, and they form prominent parting horizons which make mining very dangerous. The overlying succession consists of streaky norite. The bulk mineralogy is that of a norite, but there are very thin layers with sharp boundaries of contrasting mode. In the lower part the streakiness tends to be planar, but higher up it becomes deformed. There may be distinct inclusions of pyroxenite and rarely anorthosite within this package. Layers with such mineral proportions do not have analogues within the immediate footwall sequence. Hence, if they are xenoliths, their stratigraphic origin is not clear. In the more mafic layers clinopyroxene is a significant phase and these rocks should be termed gabbro-norites.

Within and above this streaky norite a different texture is also developed, here termed a dumpling norite. (It is much more prominent above the UG3 chromitite seen at the end of this traverse.) Spheres of norite about 5–10 cm in diameter have rims which are much more pyroxenitic and coarser grained. They are smaller and less distinct at this level.

There is then a 5 cm layer of anorthosite, overlain by a relatively fine-grained

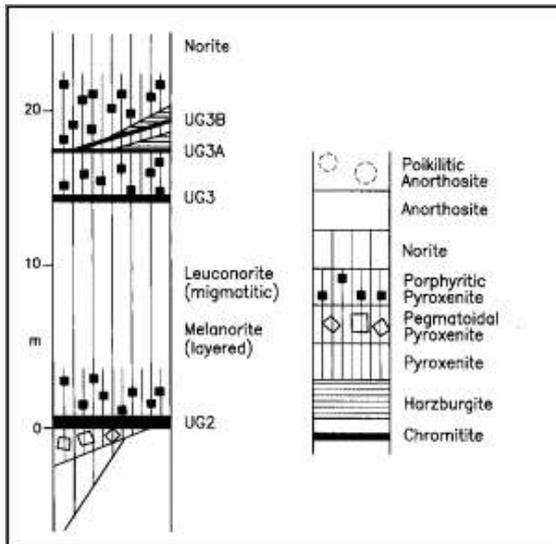


Fig. 11.2: Log correspondant à la coupe effectuée au voisinage de l'unité UG2 (Cawthorn).

gabbro-norite, which is quite thick and continues to the sand track crossing the river.

West of the sand track the rocks are streaky norite again, but the degree of deformation is greater than in the lower package, and appear migmatitic. Lenses or xenoliths of more mafic material are common. There are also patches which become coarser grained and more pyroxenite, and ultimately discordant pegmatoid is locally developed. In one such body, on the west bank, modal and grain size layering is apparent. Upwards the mineralogy gradually becomes more mafic, but is still strongly layered to migmatitic.

At this point the dip steepens markedly and swings from west to northwest. The next 60 m reveal a double slump/basin/pothole. The streaky norite becomes more intensely deformed and pyroxenitic material displays a range of textures. Definite lens-shaped patches up to 1 m across lie within the general direction of layering. They have sharp boundaries, which tend to be rounded rather than angular. Other bodies develop a discordant relationship to the layering, but with very irregular shapes. It is inferred that these bodies were part of the layering, but disrupted in various states of rigidity, which permitted either relatively brittle fracturing or highly ductile deformation. These are best seen where the dip steepens further to 25° and swings back to west (i.e. in the bottom of the slump). The strike continues to swing to the southwest at the other side of the slump. In the east bank of the stream the UG3 chromitite appears with its distinctive hangingwall of very porphyritic pyroxenite with disseminated chromite. It has a shallower dip and different strike from its footwall. Unfortunately sand covers the contact of the UG3 with its footwall in most places.

The second slump is similar to the first, with the hinge between them being very

abrupt. An angular discordance between UG3 and footwall is again apparent in the east bank. Dips steepen to over 35° in the centre of the slump. The immediate footwall to the UG3 at the west end of this depression is an anorthosite. This is the typical footwall to the UG3 as will be seen later on the traverse. Over the next 100 m the strike and river direction are similar and so the same sequence of footwall streaky norite to the UG3 is exposed. The uppermost units are deformed and contorted, lower units less so and more mafic. We then reach the main dirt road.

Continuing west across the dirt main road is the same streaky norite, which abruptly becomes more mafic upwards with wisps and lenses and occasional distinct angular fragments of rocks with varied modal proportions. This streaky mafic package is much thicker than previously seen in the basins. It has a sharp upper contact to anorthosite which is less than 1 m thick and is abruptly overlain by the UG3 chromitite. Small irregularities in the basal contact can be seen.

The hangingwall to the UG3 is porphyritic pyroxenite, within which is a rather diffuse chromitite layer referred to as UG3A and above that the sequence becomes less porphyritic. Upward it also becomes more feldspathic and develops the dumpling norite texture.

This is followed by the 5-cm thick UG3B chromitite overlain by a harzburgite, but it is heavily weathered and only the presence of magnesite indicates original olivine. The overlying porphyritic pyroxenite completes this traverse.

Lateral variations in this sequence are documented over the farm. For example, the UG3A and B elsewhere may be overlain by pyroxenite rather than harzburgite, and either or both of these layers may coalesce into each other or into the UG3 (Fig. 11.2). Hence, intervening silicate packages between chromitite layers vary in thickness. Whether this is due to erosion or non-deposition is debatable.

Arrêt n° 11.3	S24.911 ; E30.10331
Dwars River	
Alternances de chromitite (UG1) et d'anorthosite, zone principale	
Accès : Faire demi-tour et rejoindre la R37. Tourner à droite vers Steelpoort ; 14 km plus loin on rejoint la R555, qui vient de Burgersfort. Suivre la R555 sur la droite (Sud). Après environ 24 km, prendre à gauche vers Lydenburg ; après 8.8 km, on traverse un pont sur la Dwars River ; 400 m plus loin (borne 35.8), prendre une piste à droite qui emmène en 300 m vers un ancien pont sur la rivière. Descendre dans le lit de la rivière.	
Trajet total : 50 km, 1h	
Temps sur l'affleurement : 1h30 + repas	

Contexte :

On se situe ici dans la partie supérieure de la zone critique, au même niveau que l'affleurement précédent.

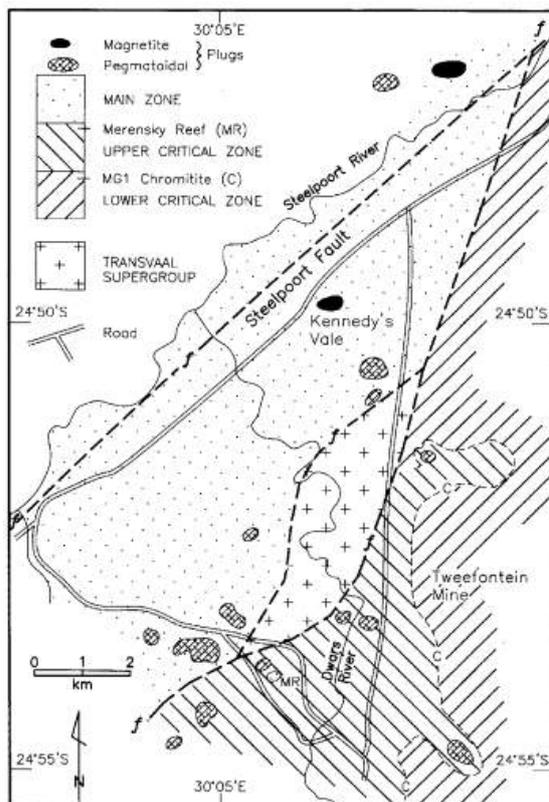


Fig. 11.3: Carte géologique du secteur de Dwars River et Tweefontein (Cawthorn)

Veillez noter :

- La localité de Dwars River est un site protégé. L'usage du marteau y est proscrit ;

– **Prudence dans la gorge, qui est étroite et glissante.**

La gorge de Dwars River présente, de façon spectaculaire, des alternances de chromitite (unité UG1 et niveaux avoisinants) et d'anorthosite. Les unités de chromitite ne sont pas aussi continues qu'elles le semblent, on peut les voir se bifurquer latéralement. Mais l'épaisseur complète de la chromitite reste à peu près constante. Ici et là, les niveaux de chromitites sont perturbés ou cassés par l'anorthosite, suggérant des mouvements de magma (ou de mélange magma + cristaux) après le dépôt de ces couches.

Arrêt n° 11.4	S24.88689 ; E30.11776
“Pipe” de Tweefontein	
Magmas sécants sur la stratification du complexe	
Accès : Regagner la route, poursuivre dans la même direction (vers le Sud-Est) sur 500 m. Tourner à gauche vers Spitskop, passer l'entrée de mine (Tweefontein) et stopper 2.9 km plus loin à l'endroit où la route coupe une petite colline arrondie.	
Trajet total : 3.5 km	
Temps sur l'affleurement : 1h00	

Contexte :

Par endroit, on observe des “pipes”, des cheminées de circulation de magmas. Dans ces structures, des magmas non différenciés ont circulé (percolé) au travers de la pile plus ou moins consolidée de cumulats du Bushveld. Par endroit, les magmas des pipes recoupent clairement les structures anciennes, ailleurs ils percolent et réagissent avec les cristaux formés précédemment. Ces pipes sont souvent des zones minéralisées (pas celui-ci).

On observe ici des veines de clinopyroxénites, sécantes dans un encaissant” formé surtout d'anorthosites. Au centre du pipe, on trouve des péridotites.

Hébergement	S24.66937 ; E30.30991
Snowy Owl Guesthouse, Burgersfort	
Accès : Poursuivre vers le Nord sur la même route sur 8 km pour rejoindre la R555, que l'on prend à droite vers Steelpoort et Burgersfort. On atteint Steelpoort après 13 km ; continuer sur la R555 sur encore 15 km, prendre à droite dans Burgersfort puis à droite à la station Engen pour remonter jusqu'à la guesthouse.	
Trajet total : 37 km, environ 30 mn	

Comme hier.

Bibliographie

R.G. Cawthorn. A virtual field trip in the eastern bushveld complex.

Journée n° 12 : Jeudi 22 Février

Voir carte IX, page 11.

Arrêt n° 12.1	S24.81021 ; E29.97368
Magnet hill Niveau de magnétite dans la zone supérieure	
Accès : Tourner à gauche en quittant "Snowy Owl", puis de nouveau à gauche sur la route 555 vers le Sud. On atteint Steelpoort en 13 km. Suivre encore la R555 sur la droite (Sud) sur 27 km, et tourner à droite vers Sekukhune. Passer le pont ; après 12.6 km, la route atteint un ruisseau au pied d'une colline allongée.	
Trajet total : 53 km, 1h Temps sur l'affleurement : 2h00	

Contexte :

La magnétite fait son apparition dans la zone supérieure du Bushveld; de nouveau, un contact important correspondant sans doute à des réalimentations en magma est marqué par une couche particulière, en l'occurrence de magnétite. Ce niveau est localement minéralisé en chrome et vanadium et exploité.

La description est à nouveau reprise de [Cawthorn](#) :

The sequence consists of :

- Poikilitic anorthosite (top)
- Magnetitite Layer 2, 0.3 m
- Poikilitic anorthosite, 2 m
- Magnetitite Layer 1, 0.30 m
- Poikilitic anorthosite, 1.5 m ; hangingwall to MML¹
- Main Magnetitite Layer, 2 m,
- Poikilitic, sulphide-bearing, anorthosite ; footwall to MML (base).

¹Main Magnetitite Layer

Anorthosite is typically the footwall to most of the magnetitite layers to which there is an abrupt contact. The upper contact of magnetitite layers is typically gradational into anorthosite. Sulphides (pyrrhotite > chalcopyrite > pentlandite and pyrite) are present in the footwall to the MML and may grade up to 1 % Cu, 0.2 % Ni and 2 ppm PGE in 5 modal per cent sulphides. They are not uniformly distributed but produce large brown stains 20 cm in diameter, 50 cm apart on the rock. The plagioclase composition in this footwall anorthosite is constant at An₅₈₋₆₀ along 30 km of strike.

The following features can be noted in this river section :

- The basal contact of the MML is not planar, but there are irregularities on a scale of mm and also of m reminiscent of diapirs. As 2 m of magnetitite (density 4.8) overlies several meters of anorthosite (density 2.8) evidence of gravitational stability might be expected to be even more prominent. Its rarity suggests very high kinematic viscosities, implying little interstitial liquid as these layers formed.
- In the middle of the MML is an horizon known as the “feldspar parting”. It consists of cumulus plagioclase grains and small anorthosite fragments set in the pure magnetitite about 30 cm thick. The plagioclase is very erratically distributed, but this same feature can be traced for over 100 km along strike.
- Xenoliths of anorthosite are common in the magnetitite layers. As they should be less dense than the inferred iron-rich liquid they should be incapable of sinking under gravity. They could either have grown on the floor or been deposited by currents if the latter impinge on the floor. Evidence for the latter can be found in reversals in Cr contents of magnetitite layers coincident with these fragments.
- Sub-angular fragments of fine-grained gabbro or metamorphosed Dullstroom Basalt from the Transvaal Supergroup are present in the footwall anorthosite, and are especially prominent beneath the diapir. Two models for their origin exist ; either they are fragments of either marginal zone material or metabasalt, or they are discontinuous feeders. Their shape argues against the latter possibility, whereas xenoliths of country rock are not infrequent in association with both chromitite and magnetitite layers.
- A far more convincing example of a xenolith (originally about 30 m long) also of fine-grained gabbro is seen immediately below magnetitite layer 1. The magnetitite layer is seen to drape over the xenolith, which lies on top of the anorthosite.
- The upper contacts of layers are gradational with increasing proportion of plagioclase. The feldspar may display an imbrication or tiling effect, which may define a flow direction within convection currents. As with the silicate partings in the UG1 and LG6 chromitite layers, so too are there anorthosite lenses found at a uniform height within the magnetitite layers. Very detailed vertical sampling in these layers and analyses for Cr, which is an extremely compatible element in

magnetite, has been undertaken. These profiles show that the apparently thick layers may be composed of several layers, each of which shows a differentiation sequence, prior to being overlain by more magnetite formed from a replenished magma resulting from convection cells within the chamber.

Arrêt n° 12.2	S25.67501 ; E28.51486
Cullinan Premier Diamond mine	
Pipe de kimberlite diamantifère, exploité (de Beers)	
<p>Accès : Rejoindre la R555 et la continuer sur la droite ; continuer jusque vers Roosenekal (64 km). La route reste sur les roches basiques du complexe du Bushveldt, dominée à l'Ouest (sur la droite) par les granites du centre du complexe. Poursuivre la route 555 sur encore 23 km, et tourner à gauche sur la R33 vers Belfast. A Stoffberg (3 km), reprendre la R555 vers Middleburg : la route s'élève et passe un petit col qui marque la fin du complexe du Bushveldt (on peut à ce niveau stopper pour observer les roches de la zone supérieure), puis pénètre dans les rhyolites du groupe de Rooiberg (la couverture felsique du complexe). Atteindre Middleburg (63 km) ; rejoindre l'autoroute (N4, 11 km) et la suivre vers l'Ouest. A l'embranchement de Witbank (16 km), rester sur la N4 en direction de Pretoria. Continuer sur la N4 au delà de Bronkhorstspuit (53 km) ; passer plusieurs péages, et sortir à la "Diamond toll plaza" (23 km). Prendre la route 515 vers le Nord et atteindre Cullinan (15 km).</p>	
Trajet total : 279 km, 3h plus pauses	
Temps sur l'affleurement : 2h + repas	

Contexte :

Une douzaine de pipes de kimberlite sont présents dans le secteur de Cullinan. La mine de Premier (ouverte en 1902) exploite un "pipe" de kimberlite vieux de 1200 Ma : c'est un âge plus ancien que la majorité des kimberlites Sud-Africaines (la plupart datent du Crétacé, avec des épisodes majeures à 120 et 90 Ma), mais le même âge que le complexe alcalin du Pilanesberg. Elle a fourni de nombreuses gemmes, dont le célèbre "Cullinan", le plus gros diamant du monde (3106 carats, soit plus de 620 g), en 1905. Le "Premier pipe" occupe 32 Ha ; la mine à ciel ouvert correspond à une excavation de 400 sur 1000 m, profonde de 200 m environ, et se prolonge par des exploitations souterraines.

Visite guidée du village et de la mine.

Hébergement	S26.17128 ; E28.07744
The cottages, Observatory, Johannesburg	
<p>Accès : Itinéraire variable selon l'heure et les envies touristiques. Une des options est de poursuivre la 513 vers l'Ouest, en direction de Pretoria, jusqu'à la N1 (Zambezi toll ramps, 27 km). Prendre alors la N1 vers le Sud, en laissant Pretoria à l'Ouest (droite). Après 28 km, à l'échangeur 124 prendre la sortie indiquée "N1 – Midrand, Johannesburg". Parcourir 21.5 km pour rejoindre l'échangeur 104 ; quitter alors la N1 pour prendre la route de contournement Est (N3), indiquée "N3 – Germiston, Durban". Après 15 km, à l'échangeur 113, sortir sur la N12/R24 vers Johannesburg. L'autoroute se termine ; prendre à droite Marcia Road au premier feu. Suivre Marcia Road, puis Observatory Avenue, sur environ 4 km. Tourner à gauche (aux feux) dans Innes Street. Passer la barrière, puis au bout prendre à gauche dans Gill Street et aller au fond de l'impasse.</p>	
<p>Trajet total : environ 100 km, autour de 2h, selon circulation.</p>	

Chambres doubles (?) de Guesthouse.

Journée n° 13 : Vendredi 23 Février

Voir carte X, page 12.

Je n'ai pas visité personnellement ces affleurements, me basant sur la description donnée dans [Reimold and Gibson \(2005\)](#). La plupart des affleurements se situent sur des terrains privés, il faut à chaque fois faire un détour pour aller demander la permission aux propriétaires ; le programme est donc susceptible de modifications sans préavis !

Cette journée sera accompagnée par Paula Ogilvie, qui prépare une thèse (PhD) à l'Université du Witswatersrand sur le métamorphisme dans la structure de Vredefort.

Arrêt n° 13.1	S26.83016 ; E27.49883
Bobbejaanrant, Smilin' Thru resort	
Quartzites du Supergroupe du Witswatersrand fracturées, et pseudotachylites	
Accès : Rejoindre Observatory Road, la suivre à droite jusqu'à la R24 (env. 5 km). Au premier échangeur (700 m, échangeur 113), prendre à droite le contournement Est (N12/N3) vers le Sud. Suivre le "périphérique" sur 27 km ; elle rejoint alors la N1 (Diepkloof interchange), que l'on prend vers le Sud (Bloemfontein, Kimberley). Parcourir environ 45 km sur la N1 ; sortir sur la R54 (vers l'Ouest) vers Fochville ou Potchefstroom. Au bout de 28 km, au carrefour avec la R500, prendre celle-ci sur la gauche (Sud) vers Parys. Au bout d'une vingtaine de kilomètres, la route entre dans le "rebord" du dôme de Vredefort. 8 km avant Parys (env. 24 km du carrefour), la route passe devant l'entrée du "Smilin' thru resort" ; demander l'autorisation, et pénétrer de 150 m dans la propriété.	
Trajet total : 129 km, une à deux heures selon trafic	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

Le dôme de Vredefort (un demi-dôme, en réalité, dont la moitié Sud est cachée par les sédiments du Supergroupe du Karoo) est composé d'un coeur de "socle" archéen (gneiss et ceintures de roches vertes), entouré d'un anneau de sédiments des Supergroupe du Witswatersrand, de Ventersdorp et du Transvaal. L'ensemble est une structure antiforme (donc, avec les terrains les plus profonds au centre), localement inversé.

Cette structure a été acquise lors de l'impact météoritique qui a affecté la structure il y a 2023 Ma

On observe ici des quartzites appartenant à la base du Supergroupe du Witswatersrand. Elles sont fracturées et broyées. Par endroit, on observe des veines de pseudotachylites (des liquides d'impact).

Arrêt n° 13.2	S26.88846 ; E27.4096
Carrière de Salvamento Brèches pseudo-tachylitiques	
Accès : Poursuivre la R500 vers Parys ; après 6 km, prendre à droite la R53 vers Potchefstroom, puis à gauche au carrefour suivant (2 km). Après environ 2 km, stopper juste avant un nouvel embranchement vers la gauche et entrer dans la carrière, à 300 m sur la piste.	
Trajet total : 10 km, 10 mn Temps sur l'affleurement : 1h00	

Contexte :

En progressant vers le centre du dôme, l'impact se caractérise par le développement de brèches pseudotachylitiques, dans lesquelles des fragments anguleux (ici, de granitoïdes archéens) "flottent" dans une matrice de liquide d'impact.

Carrière abandonnée. Examiner les faces de blocs où les différentes terrasses, avec de spectaculaires exemples de brèches.

Arrêt n° 13.3	S26.90083 ; E27.40412
Carrière de Leeukop Brèches pseudo-tachylitiques dans des granitoïdes archéens	
Accès : Prendre à gauche sur la route, puis à nouveau à gauche. 500 m plus loin, on atteint l'entrée de la carrière de Leeukop, encore sur la gauche	
Trajet total : 1 km Temps sur l'affleurement : optionnel	

Contexte :

Comme arrêt précédent

Arrêt optionnel, montrant le même genre de choses que l'arrêt précédent.

Arrêt n° 13.4	S26.88013 ; E27.25184
Rooderand	
Shatter-cones dans des argilites.	
Accès : De la carrière de Salvamento, continuer vers le Nord-Ouest ; la route devient non-goudronnée et se dirige vers les collines formées de quartzites ; on les atteint après environ 5 km. La route traverse ensuite des intrusions de granites et de syénites à népheline, intrusives dans les quartzites, également avec des veines de pseudotachylites. On atteint ensuite une autre route non goudronnée, que l'on prend vers la gauche en direction de Venterskroon (9 km depuis Salvamento). Continuer encore 13 km jusqu'à Venterskroon (où de l'or, du Supergroupe du Witswatersrand, a été exploité dans les années 30 et prospecté jusqu'à ce que la région ait été déclarée "World heritage site" de l'UNESCO). La route effectue alors plusieurs virages ; stopper dans l'un d'entre eux à 2 km de Venterskroon.	
Trajet total : 24 km, 30 mn	
Temps sur l'affleurement : 30 mn	

Contexte :

On se trouve ici dans des argilites appartenant au Supergroupe du Witswatersrand ; elles sont fracturées et définissent des "shatter-cones", des structures de fracturation radiales formées par l'impact. Les sommets des cônes pointent, en principe, en direction du point d'impact — mais ici, les couches ayant été "plissées" lors du soulèvement post-cratère, cet argument n'est pas facile à exploiter.

Attention à la circulation dans ces virages sans visibilité — les locaux ont tendance à rouler vite sur les routes non goudronnées. Merci de ne pas tenter d'échantillonner cet affleurement unique et fragile.

Les shatter-cones s'observent dans le talus routier, avec des failles à faible pendage.

Arrêt n° 13.5	S26.88465 ; E27.24208
Amazon Gold Reef	
Conglomérats à sulfides, Supergroupe du Witswatersrand	
Accès : Poursuivre sur la même route encore 2 km jusqu'à un large viage.	
Trajet total : 2 km, 5 mn	
Temps sur l'affleurement : Optionnel	

Contexte :

Plusieurs niveaux de conglomérats sont présents dans les formations observées dans ce secteur ; ils ressemblent aux conglomérats aurifères de la région de Johannesburg, et ont été prospecté, sans donner de résultats très probants.

Les conglomérats observés ici présentent des galets de quartz arrondis (transport important). Ils sont riches en sulfures, comme l'est souvent l'or dans le bassin du Witswatersrand.

Arrêt n° 13.6	S26.97055 ; E27.20996
Pont de Schoemansdrift Shatter-cones dans les quartzites	
Accès : Poursuivre la même route non-goudronnée ; on atteint une intersection au bout de 2.5 km. Prendre à gauche vers Schoemansdrift ; rejoindre une route goudronnée après environ 2 km, et atteindre le pont de Schoemansdrift, 10 km plus loin. Les meilleurs affleurements sont à gauche (au Nord, en amont) du pont.	
Trajet total : 15 km, 20 mn Temps sur l'affleurement : 45 mn + repas	

Contexte :

Shatter-cones dans les quartzites du Supergroupe du Witswatersrand.

Merci de ne pas abîmer cet affleurement plus qu'il ne l'est déjà.

Shatter cones dans les quartzites.

Arrêt n° 13.7	S27.01767 ; E27.382
Farm Roemvyk Filon de granophyre	
Accès : Poursuivre sur la route au-delà du pont, en direction de Vredefort (env. 15 km), et rejoindre la R58. Prendre la R58 sur la droite ; à la sortie de la ville, prendre à gauche un embranchement en direction de "Greenlands". Suivre la piste sur environ 1 km jusqu'à un transformateur (à droite, après l'embranchement de la route du township, à gauche). L'affleurement se situe sous la ligne à haute tension.	
Trajet total : env. 20 km, 30 mn Temps sur l'affleurement : 45 mn	

Contexte :

Les granophyres de la région de Vredefort sont des liquides d'impact, en réalité des mélange entre différentes roches fondues ; leur composition chimique est assez étrange.

Le filon de granophyre est parallèle à la ligne à haute tension. On y observe différentes textures, soit des textures magmatiques normales, soit des textures à sphérules de pyroxènes. On observe aussi de nombreuses inclusions, plus ou moins fondues, de granitoïdes surtout.

Arrêt n° 13.8	S26.89013 ; E27.35535
Kommandonek	
Le métamorphisme dans le dôme de Vredefort	
Accès : Regagner Vredefort ; poursuivre sur la R58, prendre immédiatement à gauche sur une route goudronnée en sortant de la ville, puis de nouveau à gauche vers Viljoens-kroon/Potchefstroom. 500 m plus loin, prendre à nouveau à droite sur une route non-goudronnée. Suivre cette route sur 8 km, et emprunter sur la gauche une piste agricole au pied d'une ride de quartzite massive.	
Trajet total : env. 12 km, 15 mn	
Temps sur l'affleurement : 45 mn	

Contexte :

On observe ici des pelites métamorphisées, à grenat, cordiérite, andalousite. On peut mettre en évidence deux épisodes métamorphiques successifs dans ces roches :

- *Le premier (env. 5 kbar et 550–600 °) a duré suffisamment longtemps pour permettre le développement de textures à gros grains, bien équilibrées. C'est un métamorphisme régional, probablement lié au réchauffement de la croûte lors de la mise en place des magmas du Bushveldt.*
- *Le second n'enregistre que des températures de 500–525 °, pour des pressions de 2–3 kbar ; il forme des minéraux plus fins et des textures moins équilibrées, mais affecte aussi les pseudotachylites. Il s'agit probablement de métamorphisme enregistrant les conditions lors de la remontée du dôme, après l'impact.*

La ride qui domine la piste est formée de quartzites, qui enregistrent mal le métamorphisme. Mais dans la vallée à son pied, on trouve des métapelites, qui présentent encore des structures sédimentaires primaires (granoclassement...); on y observe facilement la cordiérite (qui forme surtout des dépressions altérées) et des cristaux rectangulaires d'andalousite, orangés.

Hébergement	S26.17128 ; E28.07744
The cottages, Observatory, Johannesburg	
Accès : Rejoindre la R59 (12 km) ; tourner à gauche vers Parys (13 km), et continuer sur la R59, jusqu'à la N1 (20 km, Vaal toll plaza). Prendre la N1 vers le Nord (Johannesburg) sur 75 km, en retraçant l'itinéraire de ce matin jusqu'à l'échangeur de Diepkloof, où l'on reprend vers l'Est la N12 (direction Witbank). Suivre le contournement Sud puis Est sur 27 km, le quitter de nouveau à l'échangeur 113 en sortant en direction de la R24 et Johannesburg. Comme hier, tourner à droite dans Marcia Road, continuer dans Observatory Avenue et prendre à gauche dans Innes Street, puis à gauche dans Gill Street.	
Trajet total : 150 km, une à deux heures	

Comme hier.

Bibliographie

W. U. Reimold and R.L. Gibson. *Meteorite impact! The danger from space and South Africa's mega-impact, the Vredefort structure*. van Rensburg publications pty, Johannesburg, second edition, 2005.

Journée n° 14 : Samedi 24 Février

La visite proposée ici — le musée des mines d’or— est une option, modifiable ou discutable selon les souhaits des participants.

Arrêt n° 14.1	S26.23635 ; E28.01545
Gold Reef City Musée et parc d’attraction construit sur une ancienne mine d’or	
Accès : Itinéraire à discuter avec les locaux en fonction des conditions de circulation. . .	
Trajet total : une vingtaine de kilomètres	
Temps sur l’affleurement : tps afft	

Contexte :

La ville de Johannesburg s’est développée sur les mines d’or de la base du supergroupe du Witswatersrand, qui forme une couronne autour de la ville (“dôme de Johannesburg”). L’or est abrité dans des conglomérats fluviatiles, et a été exploité d’abord à ciel ouvert, puis en profondeur. Le musée des mines d’or est construit sur l’ancienne “Crown Gold mine”, une des plus importantes du bassin.

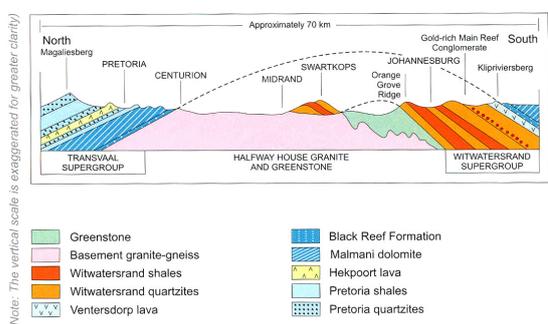


Fig. 14.1: Coupe schématique de Pretoria à Johannesburg (Norman and Whitfield, 2006).

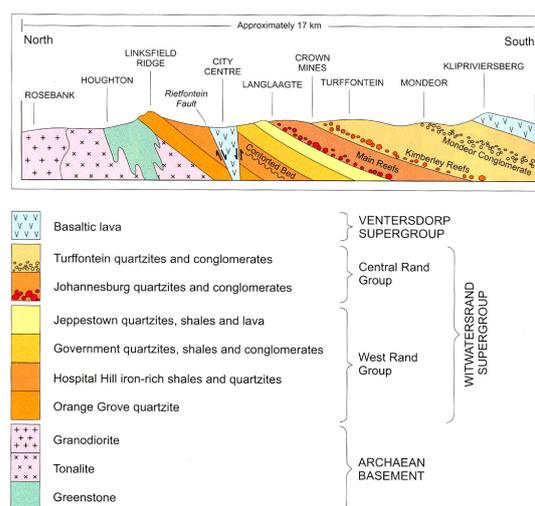


Fig. 14.2: Détail dans les niveaux du bassin du Witswatersrand, sur le flanc Sud du dôme de Johannesburg (Norman and Whitfield, 2006).

Visite de mine souterraine et musée géologique.

Hébergement	S26.13365 ; E28.23
Avion	
Accès : Reprendre la M1 vers le Sud ; atteindre après 4 km le contournement Sud (échangeur 391). Prendre la N12 vers l'Est (Witbank), et suivre le contournement sur 25 km. A l'échangeur 113, prendre la R24/N12 cette fois vers la droite (Est), direction Witbank / OR Tambo airport. Après environ 2 km, sortir sur la gauche (R24, direction OR Tambo airport) et atteindre l'aéroport en 8 km. Essayer de retrouver le parking des loueurs de voitures sans se perdre. . .	
Trajet total : 40 km, 30 mn à 1h selon trafic	

Siège inconfortable de classe économique. . .

Départ de Johannesburg à 20h45, vol AF 995. Arrivée à CDG le 25 février, 6h15.



Bon voyage !

Bibliographie

N. Norman and G. Whitfield. *Geological journeys – a traveller's guide to South Africa's rocks and landforms*. Struik publishers, Cape Town, 2006.