

L'érosion différentielle dans les roches cristallines : l'exemple de la région de Barberton dans le Transvaal oriental, république d'Afrique du Sud

Differential erosion in crystalline rocks: The case of the Barberton region in eastern Transvaal, South Africa

Differentialerosion in kristallinem Gestein am Beispiel der Barbertonregion im östlichen Transvaal, Republik Südafrika

Yannick Lageat

Volume 32, Number 2, 1978

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1000344ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1000344ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (print)

1492-143X (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Lageat, Y. (1978). L'érosion différentielle dans les roches cristallines : l'exemple de la région de Barberton dans le Transvaal oriental, république d'Afrique du Sud. *Géographie physique et Quaternaire*, 32(2), 105–117.
<https://doi.org/10.7202/1000344ar>

Article abstract

Differential erosion in crystalline rocks: The case of the Barberton region in eastern Transvaal, South Africa. The major physical features of the Barberton region, at the foot of the Drakensberg of Transvaal which is part of the Great Escarpment, are the results of differential erosion of the Precambrian Shield, starting from a deformed planation surface, temporarily dated from the Eocene. Investigations conducted by geologists of the University of Witwatersrand (Johannesburg) in eastern Transvaal show how much geomorphology can profit from detailed surveys on petrography and structural relationships of crystalline rocks. Leuco-cratic hood granites and superficial batholithic granites are at the top of a resistance scale. On the other hand, deeper batholithic granites, diaperie granodiorites and infrastructural gneisses are less resistant. The roots of an old fold mountain range imprisoned in the shield show the distribution of granitic outcrops which are explained by the actions of tectonic movements. Besides chemical and mineralogical composition, and mineral arrangement, the relations between these movements also call for fissuration and permeability as factors responsible for differential erosion in crystalline rocks.

L'ÉROSION DIFFÉRENTIELLE DANS LES ROCHES CRISTALLINES: L'EXEMPLE DE LA RÉGION DE BARBERTON DANS LE TRANSVAAL ORIENTAL, RÉPUBLIQUE D'AFRIQUE DU SUD

Yannick LAGEAT, Département de géographie, université de Clermont II, 29, boul. Gergovia, 63037 Clermont-Ferrand, France

RÉSUMÉ Les traits majeurs du relief de la région de Barberton, au pied du Drakensberg du Transvaal, section du Grand Escarpement d'Afrique australe, relèvent d'une érosion différentielle très nuancée dans le socle cristallin précambrien, à partir d'une surface d'aplanissement gauchie, provisoirement datée de l'Éogène. Les recherches poursuivies par les géologues de l'université du Witwatersrand (Johannesburg) dans le Transvaal oriental montrent quel fructueux parti la géomorphologie peut tirer des reconnaissances détaillées portant sur la pétrographie et le mode de gisement des roches cristallines. Les granites leucocrates de coupole et les granites des plutons superficiels se placent au sommet d'une échelle de résistance, tandis que les granites des plutons plus profonds, les granodiorites en massifs circonscrits et les gneiss infrastructuraux occupent une position déprimée. Grâce aux racines d'une vieille chaîne de plissement pincées au sein du socle, la distribution des affleurements granitiques s'éclaire dans un contexte tecto-orogénique: au-delà de la composition chimique et minéralogique et de l'arrangement des minéraux, cette relation appelle l'attention sur la fissuration et la perméabilité parmi les facteurs d'érosion différentielle dans les roches cristallines.

ABSTRACT *Differential erosion in crystalline rocks: The case of the Barberton region in eastern Transvaal, South Africa.* The major physical features of the Barberton region, at the foot of the Drakensberg of Transvaal which is part of the Great Escarpment, are the results of differential erosion of the Precambrian Shield, starting from a deformed planation surface, temporarily dated from the Eocene. Investigations conducted by geologists of the University of Witwatersrand (Johannesburg) in eastern Transvaal show how much geomorphology can profit from detailed surveys on petrography and structural relationships of crystalline rocks. Leucocratic hood granites and superficial batholithic granites are at the top of a resistance scale. On the other hand, deeper batholithic granites, diapiric granodiorites and infrastructural gneisses are less resistant. The roots of an old fold mountain range imprisoned in the shield show the distribution of granitic outcrops which are explained by the actions of tectonic movements. Besides chemical and mineralogical composition, and mineral arrangement, the relations between these movements also call for fissuration and permeability as factors responsible for differential erosion in crystalline rocks.

ZUSAMMENFASSUNG *Differentialerosion in kristallinem Gestein am Beispiel der Barbertonregion im östlichen Transvaal, Republik Südafrika.* Die Hauptzüge des Reliefs in der Barbertonregion, am Fusse des Drakensberges im Transvaal, Südafrika, sind durch Differentialerosion im präkambrischen, kristallinen Sockel entstanden, von einer verformten Raubfläche ausgehend, deren Alter vorläufig als Eogen datiert wurde. Die Forschungen der Geologen an der Universität Witwatersrand (Johannesburg) im östlichen Transvaal zeigen, wie die Geomorphologie von den detaillierten Kenntnissen der Petrographie und der Lagerung der kristallinen Gesteine profitieren kann. Die leucokraten Granite der Kuppel und die Granite der Oberflächen Plutonen findend man am Gipfel einer Resistenzscala, während die Granite der tieferen Plutone, die Granodioriten in begrenzten Massiven, und die unterliegenden Gneisse eine Talposition einnehmen. Auf Grund der im Sockel eingeklemmten Wurzeln einer alten Faltenkette erklärt sich die Verteilung der granitischen Oberflächen in einem tecto-orogenen Zusammenhang: jenseits der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung und der Anordnung der Minerale, zieht dieses Verhältnis die Aufmerksamkeit auf die Fissuration und die Durchdringlichkeit unter den Faktoren, der Differentialerosion in kristallinem Gestein.

Le vaste croissant cristallin du Transvaal oriental et septentrional correspond à la partie affleurante du craton de Kaapvaal d'âge katarchéen: la limite supérieure de cette subdivision du Précambrien africain se plaçant à — 2 500 millions d'années, c'est dire combien le soubassement, qui disparaît vers l'ouest et le sud sous des formations sédimentaires protérozoïques (supersystème du Witwatersrand, système du Transvaal et système du Waterberg), a été précocement induré. On ne saurait toutefois attribuer à ce craton des caractères d'homogénéité qui ne permettraient qu'une compréhension très partielle des formes. Depuis les travaux initiateurs de J.J. Sederholm en Finlande, les recherches menées dans les boucliers des hautes et basses latitudes ont clairement mis en évidence la complexité des édifices précambriens et les récentes publications des géologues sud-africains sur la région de Barberton s'inscrivent dans cette perspective. La géomorphologie peut tirer un fructueux parti de ces reconnaissances détaillées portant sur la pétrographie et le gisement des roches cristallines: ce n'est qu'à la faveur de ce relevé précis du socle que s'éclaire la diversité du comportement morphologique du bâti structural, au pied du Grand Escarpement, où le socle ayant enregistré les effets d'une flexure marginale responsable d'un rajeunissement tectonique, son potentiel de formes structurales a été efficacement exploité.

Cette esquisse morphostructurale s'attachera donc à la recherche des facteurs d'érosion différentielle dans les roches cristallines du soubassement katarchéen, facteurs qui ne nous paraissent pas dissociables des modalités de mise en place des masses plutoniques.

I. COMPOSANTES MORPHOSTRUCTURALES DU TRANSVAAL ORIENTAL

Le socle cristallin, dont les recherches les plus récentes ont fait apparaître la grande hétérogénéité, affleure entre les racines des plis d'une vieille chaîne, au pied du Drakenberg du Transvaal, où le bourrelet marginal revêt l'aspect d'un puissant abrupt monoclin en bordure des plateaux intérieurs du Highveld (fig. 1).

A) LES FORMES D'ÉROSION DIFFÉRENTIELLE DANS LE SOCLE

Un imposant escarpement à corniche, s'élevant à plus de 1800 m, limite à l'ouest le craton de Kaapvaal: les roches cristallines jouent le rôle de couche tendre au front de cette «pseudo-cuesta» (DEMANGEOT, 1961), et leur affouillement a perché l'unité résistante de quartzite du Black Reef, qui représente la base du

système du Transvaal discordant sur le socle¹. Dans la partie méridionale du Drakensberg du Transvaal, par suite de l'amincissement de la série du Black Reef, «l'ampleur de la dénivellation dépend de l'existence ou de l'absence de cuvettes» (BIROT *et al.*, 1974) ouvertes dans le soubassement: ainsi, l'escarpement n'est nulle part mieux exprimé qu'à Kaapsehoop où, dominant l'alvéole de Kaap Valley, il possède un commandement de 600 à 900 m; la corniche que donne la couche de quartzite, épaisse de vingt à quarante mètres, au pendage occidental voisin de 5°, est précédée par une longue concavité taillée dans le socle qu'interrompt, à mi-pente, un replat accroché à un sill basique d'une cinquantaine de mètres de puissance (fig. 2). Le soubassement cristallin pince des schistoquartzites appartenant au système du Swaziland qui a été impliqué dans un plissement, dit transvaalien (antérieur à 3 000 millions d'années), et affecté par un métamorphisme régional de faible intensité (*greenschist facies*): ces racines de plis définissent des reliefs rubannés dont la morphologie est commandée par les contrastes de dureté du matériel, les quartzites armant d'étroites échines linéaires que séparent des sillons excavés dans des schistes basiques (fig. 3).

Ces reliefs subparallèles de type appalachien, connus sous le nom de Barberton Mountain Land, culminent à 1838 m au mont Emlebe sur la frontière du Swaziland: répartis en trois segments principaux, les Jamestown Hills au nord, les Barberton Hills à l'est et les Sheba Hills au sud, ils constituent les cloisons, sur une largeur atteignant par endroits une vingtaine de kilomètres, de remarquables alvéoles granitiques².

Au nord des Jamestown Hills, la dépression de Nelspruit s'inscrit dans un matériel migmatitique à une altitude moyenne de 900 m: accidentée de monolithes enveloppés par des diaclases courbes, les *dwalas*, elle est également dominée par des reliefs résiduels de granite leucocrate de 100 à 200 m d'altitude relative; habituellement dispersés au sein de la dépression, ils se rassemblent dans sa partie méridionale pour composer

1. Vers le nord, cette cuesta au binôme singulier oblique en direction du OSO, à la latitude de Tzaneen: elle définit les Strydpoortberge à l'extrémité méridionale du plateau de Pietersburg; mais en avant de ce dernier, la section septentrionale du Grand Escarpement s'inscrit dans le socle cristallin. Vers le sud, après disparition du système du Transvaal, la couverture Karoo, représentée par les grès et argillites Ecce, repose directement en discordance sur le socle cristallin, et le Grand Escarpement ne retrouvera quelque vigueur qu'avec l'affleurement des laves basiques Stormberg qui couronnent le Drakensberg du Natal.

2. Deux autres éléments de relief appalachien ont été dégagés dans le système du Swaziland au voisinage de Tzaneen (Murchison Range) et de Pietersburg (chaînon de Schingwidzi).

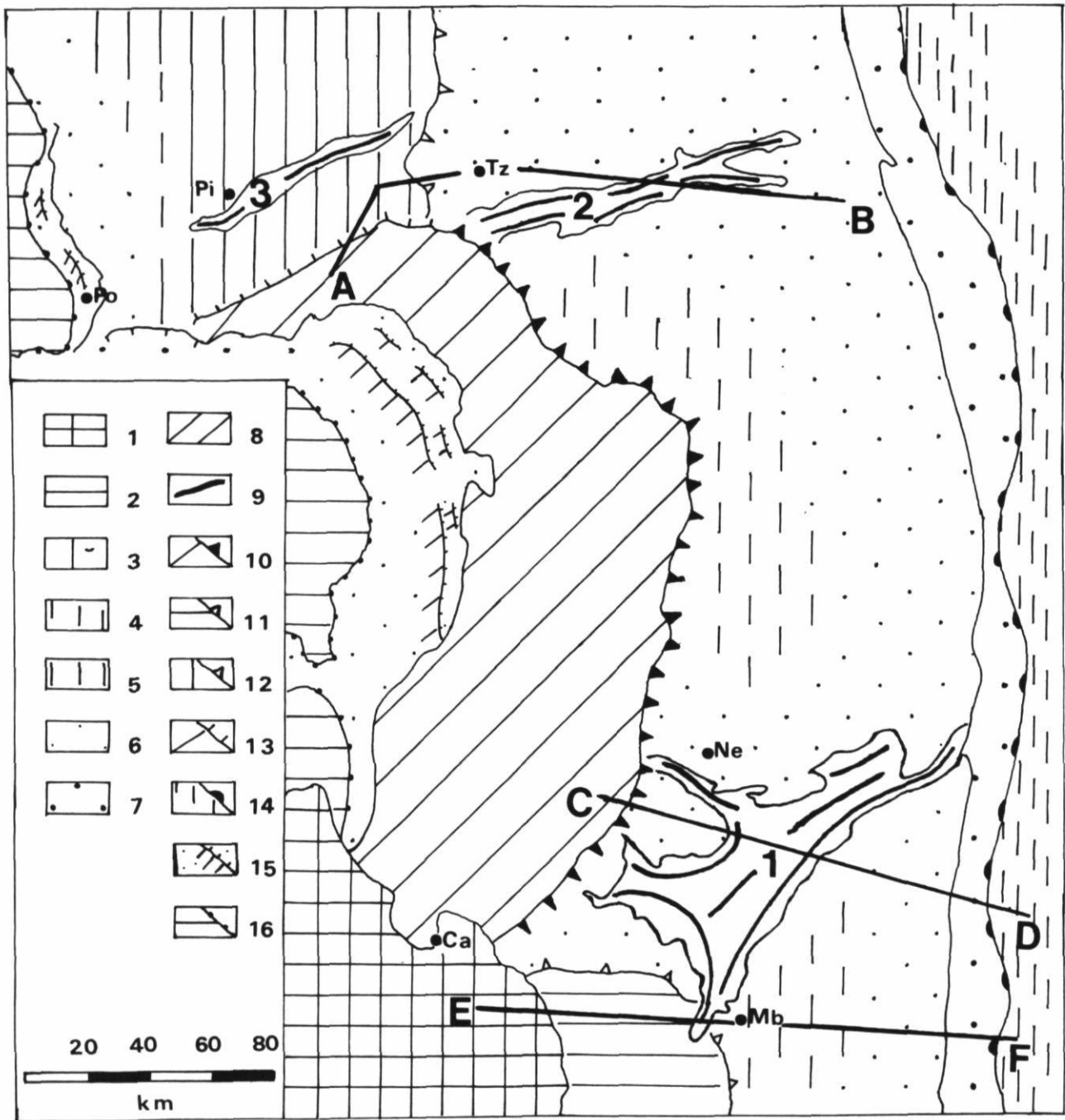


FIGURE 1. Les grands traits géomorphologiques du Transvaal oriental. 1) Surface d'aplanissement culminante dans le Karoo (éogène?). 2) Surface d'aplanissement polygénique (infrakaroo et éogène). 3) Surface d'aplanissement de Pietersburg (éogène?) sur socle katarchéen. 4) *Id.* sur rhyolites du Lebombo. 5) *Id.* dégradée sur socle katarchéen. 6) Emboîtements et évidements néogènes dans le socle katarchéen et le complexe de Bushveld. 7) *Id.* dans le Karoo. 8) Reliefs structuraux dans les séries du Transvaal. 9) Crêtes appalachiennes dans le complexe du Swaziland: (1) Barberton Mountain Land; (2) Murchison Range; (3) Schingwidzi. 10) Pseudocuesta du Drakensberg du Transvaal. 11) Talus d'érosion dans le socle katarchéen limitant le Highveld. 12) *Id.* limitant le plateau de Pietersburg. 13) Pseudocuesta des Strydpootberge. 14) Cuesta du Lebombo. 15) Monoclinaux basiques et ultrabasiques du complexe de Bushveld. 16) Cuesta définie par la dalle acide du complexe de Bushveld. Pi: Pietersburg; Po.: Potgietersrus; Tz.: Tzaneen; Ne: Nelspruit; Ca.: Carolina; Mb.: Mbabane.

Geomorphological sketch of eastern Transvaal. 1) *Culminating planation surface in Karoo rocks (Eocene?)* 2) *Polygenetic culminating planation surface (early Karoo and Eocene).* 3) *Plation surface of Pietersburg (Eocene?) on Katarchean Shield.* 4) *Same on rhyolites of the Lebombo.* 5) *Degraded planation surface on Katarchean Shield.* 6) *Neogene imbrications and depressions in the Katarchean Shield and the Bushveld Complex.* 7) *Same in Karoo rocks.* 8) *Structural reliefs in the Transvaal Series.* 9) *Appalachian crests of the Swaziland Complex: (1) Barberton Mountain Land; (2) Murchison Range; (3) Schingwidzi.* 10) *Pseudocuesta of the Drakensberg of Transvaal;* 11) *Talus slope in the Katarchean Shield at the border of the Highveld.* 12) *Same at the border of the Pietersburg Platform.* 13) *Pseudocuesta of the Strydpootberge.* 14) *Cuesta of the Lebombo.* 15) *Basic and ultrabasic rock monoclines in the Bushveld Complex.* 16) *Cuesta determined by an acid rock sheet in the Bushveld Complex.*



FIGURE 2. Le Drakensberg du Transvaal au droit de Kaapsehoop (vu du nord-est).
The Drakensberg of Transvaal at Kaapsehoop (as seen from the north-east).

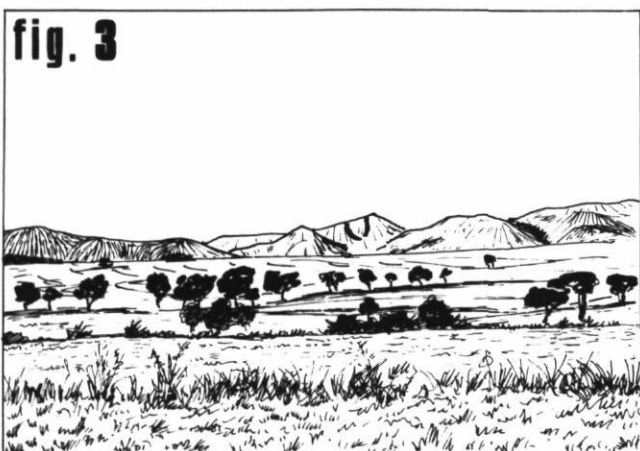


FIGURE 3. L'alvéole granodioritique de Kaap Valley et les crêtes appalachiennes des Jamestown Hills (vus du sud-est).
The granodiorite basin of Kaap Valley and the Appalachian crests of Jamestown Hills (as seen from the south-east).

la Krokodilpoort Range qui, culminant à 1410 m, s'accrole aux Jamestown Hills. Cet alvéole de Nelspruit est barré à l'aval par le massif granitique de M'pageni qui se juche à 1187 m: coïncidant avec une intrusion tardive, il est traversé, à la faveur d'une ligne de fracture, par la Krokodil River au tracé rectiligne sur une dizaine de kilomètres de longueur (fig. 4)

L'alvéole de Kaap Valley est ouvert, au droit de Kaapsehoop, dans une masse de granodiorite à hornblende dont il épouse parfaitement les contours sub-circulaires; seuls sont en saillie dans ce «chaudron» (BIROT *et al.*, 1972) des dykes de diabase, en essaim de direction nord-ouest, sous la forme d'étroits hog-

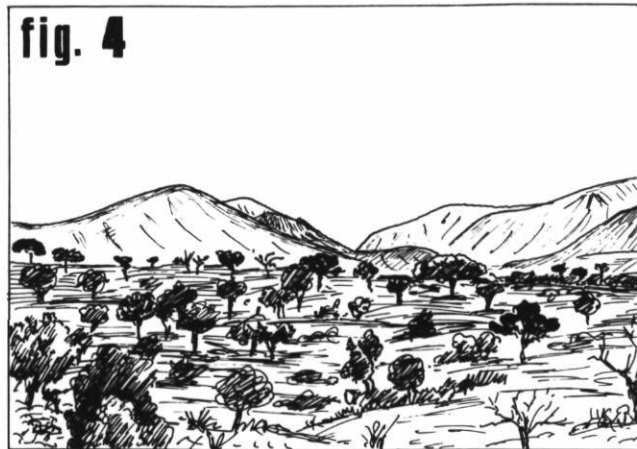


FIGURE 4. La dépression de Nelspruit taillée dans les migmatites, et le batholite granitique en saillie de M'pageni coupé par la gorge de la Krokodil River (vus de l'ouest)

The Nelspruit depression cut in migmatites, and the outcrop of granitic batholith of M'pageni cut by the Krokodil River Gorge (as seen from the west).

backs noirâtres dont le commandement atteint, par endroits, une centaine de mètres. S'il est efficacement cerné au nord, à l'est et au sud-est par les reliefs rubannés du système du Swaziland métamorphisé, il est dominé au sud par le plateau de Nelshoogte où la granodiorite à amphibole, armée par deux filons de diabase et un synclinal pincé de métamorphites du Swaziland, se hausse exceptionnellement à l'altitude de 1390 m.

Ce col donne accès à une nouvelle dépression, celle de Badplaas, de forme lobée: elle correspond à trois intrusions de granodiorite à biotite (Nelshoogte, Stolzburg et Theespruit) et s'insinue à son extrémité orientale dans le batholite granitique en creux de Dalmein. Drainée à une altitude voisine de 1000 m par la Komati River, cette cuvette est dominée par l'énorme *inselbirge* de syénite tardive de Bosmankop qui culmine à 1631 m.

Le grand alvéole de Badplaas est limité au sud par la retombée du haut plateau de Lochiel (1700-1800 m) que sous-tend une épaisse lame de granite leucocrate, identique à celui qui définit la Krokodilpoort Range. Cette unité se dégage progressivement des sédiments discordants d'âge Karoo, qui fossilisent une surface très égale à l'ouest, et s'étend, sur une distance d'une soixantaine de kilomètres, vers le sud-est. Les cours d'eau, qui s'inscrivent dans ce plateau granitique disséqué en croupes d'interfluves à sommet plat, s'écoulent dans des vallées profondément encaissées au fond desquelles affleure parfois le matériel gneisso-migmatique sous-jacent. Le même granite s'étend largement

au nord-ouest du Swaziland sous la forme d'un vaste plateau qui, s'abaissant progressivement vers l'est, domine le couloir méridien du Lowveld (300-400 m), associé à une bande de sédiments Ecca, que borne à l'est le monoclin rhyolitique du Lebombo (700-800 m) au revers duquel s'accroche la frontière mozambicaine. Le « corridor Karoo » (WELLINGTON, 1956) s'insinue parfois dans les gneiss et migmatites infragranitiques et annexe même près d'Hectorspruit, à la limite méridionale du parc national Krüger, la cuvette de Salisbury Kop ouverte dans un batholite granitique.

B) LA DIVERSITÉ PÉTROGRAPHIQUE DU SOCLE CRISTALLIN

Les récents travaux menés par les géologues de l'université du Witwatersrand (Johannesburg), et plus particulièrement Hunter, M.J. et R.P. Viljoen permettent de distinguer trois grands groupes de granitoïdes (fig. 5):

- Les granodiorites à amphibole ou mica noir dessinent des massifs circonscrits de forme elliptique ou circulaire: leur diamètre est extrêmement variable (quarante kilomètres pour l'intrusion de Kaap Valley, un kilomètre pour celle de Dornhoek) mais, dans tous les cas, leurs bordures se conforment à la stratification des assises encaissantes (fig. 6).

- Le granite leucocrate homogène se présente sous la forme de lames stratoïdes; celles-ci se localisent, au Swaziland, selon des antifformes de même direction que les gneiss infrastructuraux, mais concordantes quant à leur orientation avec ces derniers, elles montrent une discordance nette dans les pendages. Entre les gneiss et le granite leucocrate, qui a reçu le nom de granite de coupole (*hood granite*), s'intercalent des migmatites: elles affleurent largement autour de Nelspruit et, sur le terrain, s'observent des passages entre les nébulites et le granite sus-jacent.

- Les batholites recoupant les terrains encaissants, en direction et pendage, sont de trois types: « anciens plutons » de Salisbury Kop et de Dalmein (fig. 7); « jeunes plutons » (le plus caractéristique des dix représentants de ce type est le batholite de M'pageni); intrusion syénitique de Bosmankop.

Le granite leucocrate de coupole et les granites des jeunes plutons sont systématiquement en saillie, tandis que les gneiss et migmatites, les granodiorites et les granites des vieux plutons se placent en position basse dans l'échelle de résistance. Avant de tenter de cerner les facteurs d'altérabilité différentielle, il convient de s'interroger sur la nature de l'évolution morphologique responsable de la mise en valeur de ces volumes de résistance variable.

C) LES MODALITÉS DE L'EXPLOITATION DU POTENTIEL LITHOLOGIQUE

La riche morphologie d'érosion différentielle du Transvaal oriental est le produit de l'attaque du socle flexuré. Mais les couches Karoo sont l'unique repère indiscutable qui permettent d'apprécier l'ampleur et le style de la déformation, puisqu'elles se tiennent à 1800 m à l'est du Highveld et, à une centaine de kilomètres de distance, supportent le Lowveld. C'est dire l'incertitude dans laquelle nous nous trouvons quant à l'âge du jeu de la flexure marginale qu'enregistrent ces dépôts permotriasiques.

Toutefois, la surface « africaine », qui ne paraît regrader que faiblement la surface infra-Karoo, serait affectée par le même mouvement de déformation. Quelques résidus d'une cuirasse ferrugineuse sont conservés à la surface de cet aplanissement: ce paléosol est daté relativement par l'abondance des gravillons ferrugineux à la base du Miocène marin du Zululand, dépôt à faciès sidérolitique provenant de l'érosion des produits d'altération sur les parties soulevées de l'ancienne surface d'aplanissement.

Des galets, parfaitement roulés, de quartzite de couleur sombre, libérés par la couche du Black Reef de la base du système du Transvaal, abondent sur le plateau de Pieterburg, au pied des Strydpoortberge, où ils jalonnent le plan de la surface « africaine ». Un élément d'appréciation de la déformation qu'elle a ultérieurement subie est apporté par la découverte des mêmes galets au sommet de la Murchison Range (TALJAARD, 1938) et du Lebombo (Du TOIT, 1929) (fig. 8, A, B, C).

Il y a donc lieu de penser que l'essentiel de l'exhaussement responsable de l'exploitation du riche potentiel lithologique, en contrebas de la surface africaine de démarrage, a pris place au milieu de l'ère tertiaire.

II. RECHERCHE D'UNE EXPLICATION DES MANIFESTATIONS DE L'ÉROSION DIFFÉRENTIELLE

La région de Barberton présente des reliefs d'érosion différentielle, remarquables par leur ampleur et leur vigueur (fig. 9), développés dans un soubassement dont ils ont révélé la profonde hétérogénéité: il convient maintenant d'envisager les différences de comportement des matériaux qui le composent en fonction des trois grands facteurs d'altérabilité.

A) LA COMPOSITION CHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE

Parmi les facteurs que l'on invoque le plus fréquemment pour comprendre la répartition des volumes en

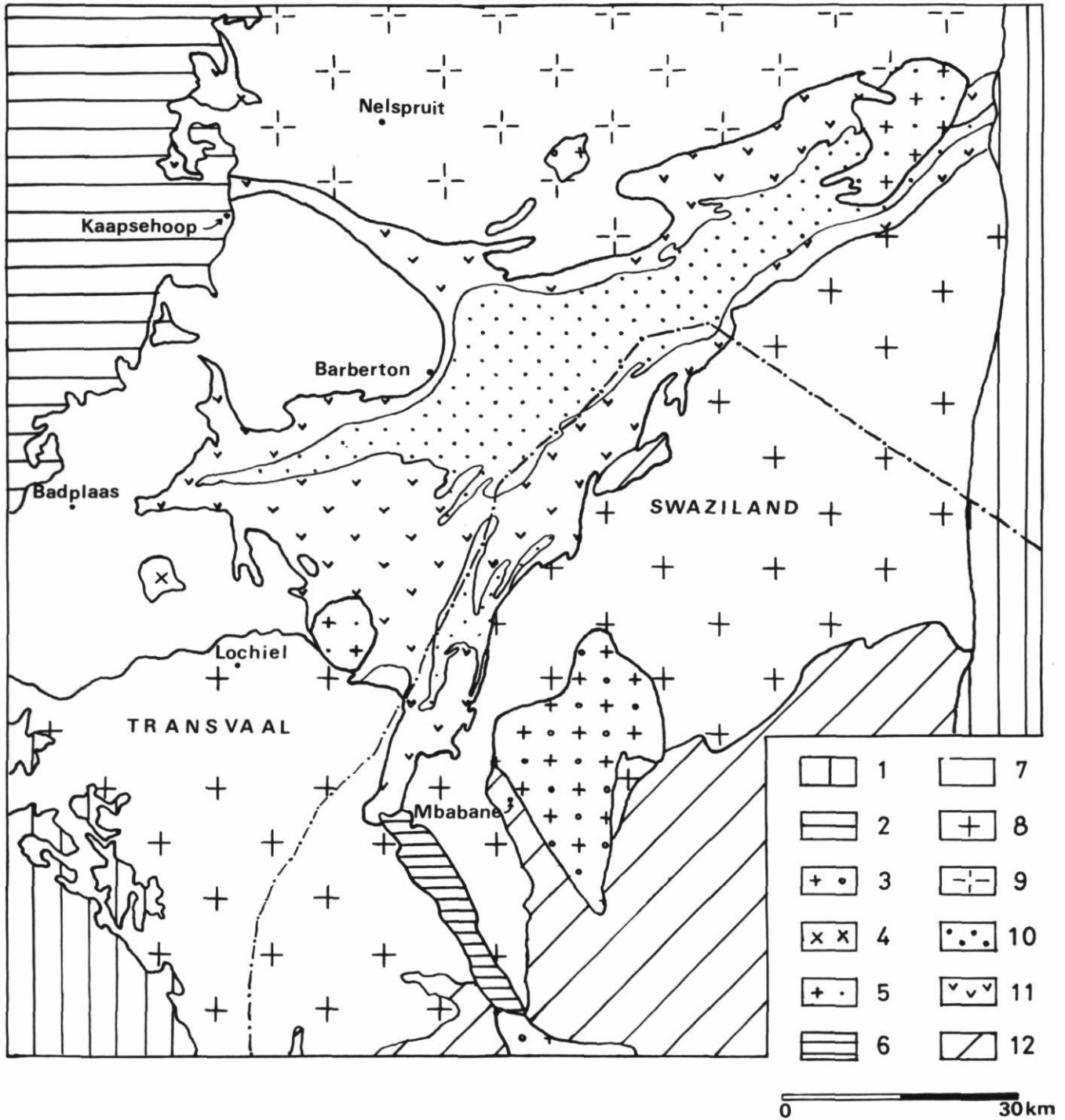


FIGURE 5. D'après M. J. et R. P. VILJOEN (1970) et HUNTER (1973). 1. Sédiments du système Karoo. 2) Sédiments du système du Transvaal. 3) Granite des «jeunes plutons». 4) Syénite de Bosmankop. 5) Granite des «vieux plutons». 6) Formations paramétamorphiques du système de Pongola. 7) Granodiorite. 8) Granite de coupole. 9) Gneiss et migmatites de Nelspruit. 10) Formations para-métamorphiques des groupes de Fig Tree et de Moodies. 11) Formations paramétamorphiques du groupe d'Onverwag. 12) Gneiss du Basement Complex.

From M. J. and R. P. VILJOEN (1970) and HUNTER (1973). 1) Deposits from the Karoo System. 2) Deposits from the Transvaal System. 3) Young plutonic granite. 4) Syenite of Bosmankop. 5) Old plutonic granite. 6) Parametamorphic formations of the Pongola System. 7) Granodiorite. 8) Hood granite; 9) Gneisses and migmatites of Nelspruit. 10) Parametamorphic formations of the Fig Tree and Moodies Divisions. 11) Parametamorphic formations of the Onverwag Division. 12) Gneisses of the Basement Complex.

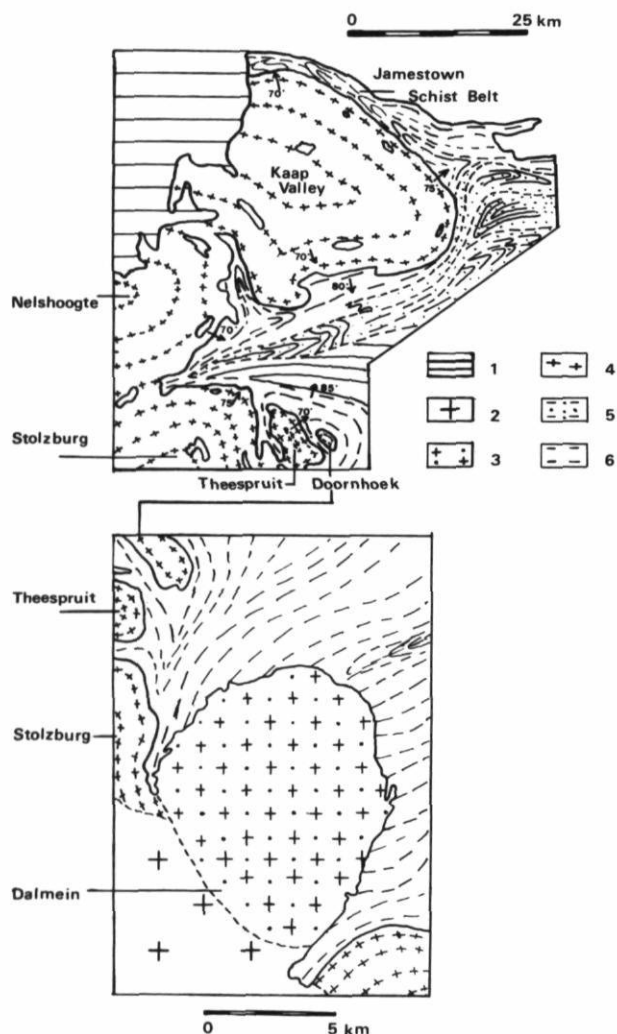


TABLEAU I

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO2 | 71,16 | 72,21 | 73,13 | 64,84 | 70,00 | 71,50 |
| Al2O3 | 14,84 | 14,39 | 13,81 | 15,44 | 14,64 | 14,22 |
| Fe2O3 | 0,77 | 0,66 | 0,75 | 1,80 | 0,95 | 1,32 |
| FeO | 1,52 | 1,33 | 1,27 | 2,44 | 1,40 | 0,99 |
| MgO | 0,95 | 0,60 | 0,55 | 2,60 | 1,01 | 1,11 |
| CaO | 3,18 | 1,58 | 1,07 | 4,25 | 2,03 | 1,51 |
| Na2O | 4,82 | 4,37 | 3,28 | 4,93 | 4,87 | 3,43 |
| K2O | 1,65 | 3,57 | 5,35 | 1,53 | 3,51 | 5,15 |
| H2O | 0,75 | 0,58 | 0,63 | 0,90 | 0,84 | 0,40 |
| H2O | 0,12 | 0,16 | 0,08 | 0,20 | 0,17 | 0,05 |

1) gneiss infrastructuraux de Swaziland (6 analyses); 2) migmatites de Nelspruit (3 analyses); 3) granite de coupole (4 analyses); 4) granodiorite de Kaap Valley (4 analyses); 5) granite des vieux plutons (5 analyses); 6) granite de M'pageni (1 analyse).

ou entre les granites des jeunes et vieux plutons, est, à cet égard, significative. Mais, lorsqu'on se tourne vers la composition minéralogique, on peut légitimement s'interroger sur la signification qu'il convient d'accorder à l'importance relative de quelques minéraux essentiels: quartz, feldspath potassique, plagioclase, biotite ou hornblende (tabl. II)

TABLEAU II

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|------|------|------|------|
| Quartz | 19,2 | 29,8 | 28,2 | 25,2 |
| Feldspath potassique | 66,4 | 34,8 | 35,0 | 35,2 |
| Plagioclase | | 29,7 | 27,5 | 29,0 |
| Biotite | | 4,0 | 6,6 | 8,3 |
| Hornblende | 13,5 | — | — | — |
| Minéraux accessoires | 0,9 | 1,7 | 2,7 | 2,1 |

1) granodiorite de Kaap Valley (3 analyses); 2) granite homogène de coupole (8 analyses); 3) granite des «vieux plutons» (2 analyses); 4) granite des «jeunes plutons» (4 analyses).

FIGURES 6 et 7. D'après M. J. et R. P. VILJOEN (1970). 1) Système du Transvaal. 2) Granite de coupole. 3) Granite des «vieux plutons». 4) Granodiorite (à biotite ou à hornblende). 5) Groupes de Fig Tree et de Moodies. 6) Groupe d'Onverweg

From M. J. and R. P. VILJOEN (1970). 1) The Transvaal System. 2) Hood granite. 3) Old plutonic granite. 4) Granodiorite (with biotite and hornblende constituents). 5) The Fig Tree and Moodies Divisions. 6) The Onverweg Division.

creux et des volumes saillants figure la composition chimique et minéralogique; dans ce domaine, il est évidemment souhaitable d'introduire des données chiffrées que nous avons empruntées aux travaux des géologues sud-africains (tabl. I).

Il apparaît d'emblée que les volumes rocheux les plus acides (et les plus riches en potassium) occupent une position culminante, et la comparaison entre le granite leucocrate et la granodiorite de Kaap Valley,

On le voit, si l'on excepte la granodiorite de l'alvéole de Barberton, la seule composition minéralogique des roches granitiques, qui tendrait à ne retenir que la vulnérabilité des feldspaths calco-sodiques et des minéraux ferro-magnésiens, ou la résistance du quartz et des feldspaths potassiques, ne conduit qu'à une compréhension imparfaite des reliefs d'érosion différentielle.

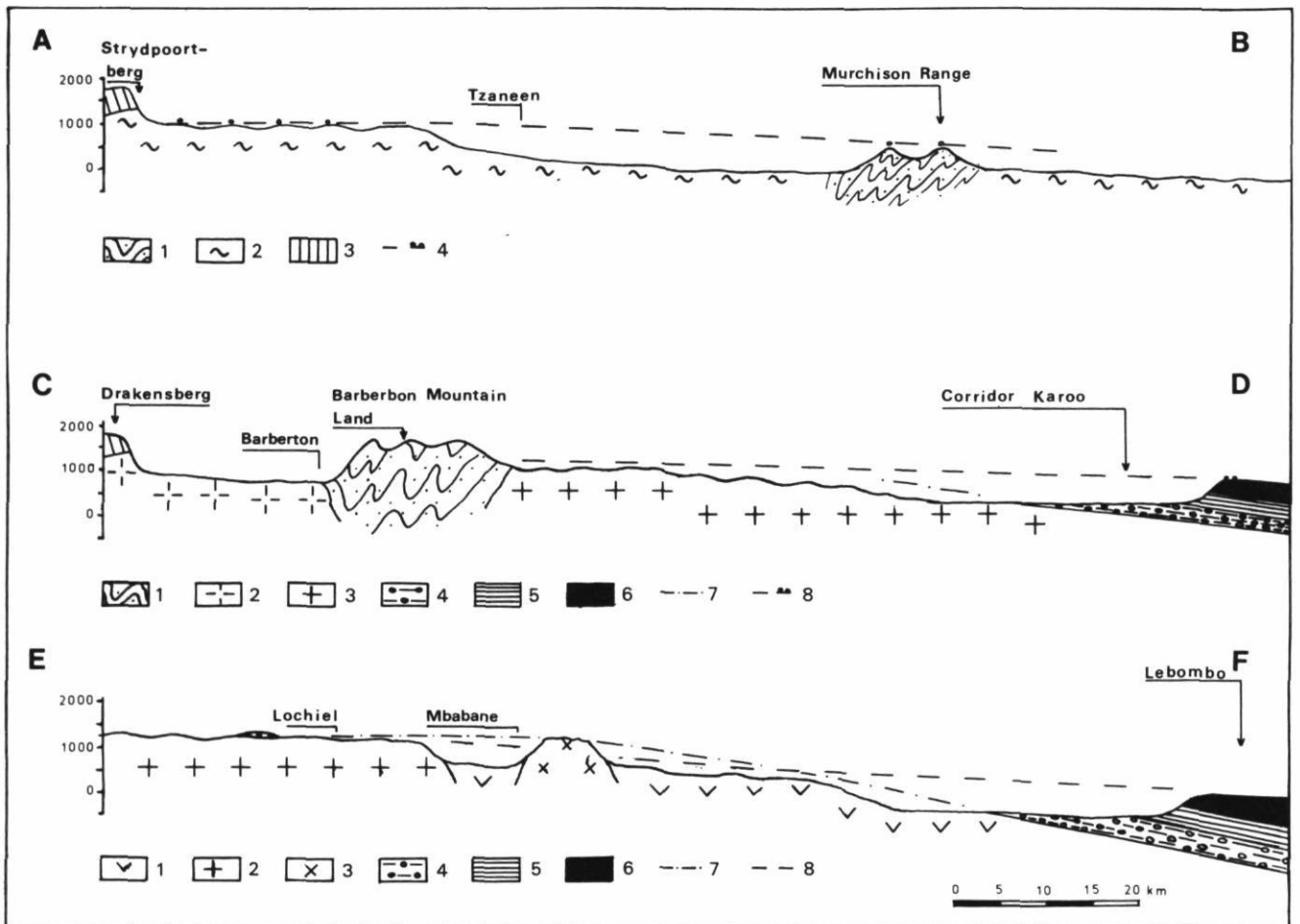


FIGURE 8. Coupes schématiques dans l'est du Transvaal (dessinées à partir de la carte topographique à 1/500 000). COUPE A-B: 1) Terrains paramétamorphiques du système du Swaziland. 2) Migmatites. 3) Quartzite du Black Reef. 4) Surface éogène (?) jalonnée par des galets de quartzite du Black Reef. COUPE C-D: 1. Terrains métamorphiques du système du Swaziland. 2) Granodiorites. 3) Granite de coupole. 4) Grès et argilites des séries Ecca et Beaufort (Karoo). 5) Basaltes de la série Stormberg (Karoo). 6) Rhyolites de la série de Beaufort (Karoo). 7) Surface infrakaroo. 8) Surface éogène (?) jalonnée par des galets de quartzite du Black Reef. COUPE D-E: 1) Gneiss. 2) Granite de coupole. 3) Granite des «jeunes plutons». 4) Grès et argilites des séries Ecca et Beaufort (Karoo); 5) Basaltes de la série Stormberg (Karoo). 6) Rhyolites de la série Stormberg (Karoo). 7) Surface infrakaroo. 8) Surface éogène (?).

Schematic cross-sections in eastern Transvaal. A-B SECTION: Parametamorphic terrane of the Swaziland System; 2) Migmatites. 3) Black Reef quartzite. 4) Eogene (?) surface covered by Black Reef quartzite shingles. C-D SECTION: 1) Parametamorphic rocks of the Swaziland System. 2) Granodiorite. 3) Hood granite. 4) Sandstones and shales of the Ecca and Beaufort Series (Karoo). 5) Basalts of the Stormberg Series (Karoo). 6) Rhyolites of the Beaufort Series (Karoo). 7) Infrakaroo surface. 8) Eogene (?) surface covered by Black Reef quartzite shingles. E-F SECTION: 1) Gneisses. 2) Hood granite. 3) Young plutonic granite. 4) Sandstone and shales of the Ecca and Beaufort Series (Karoo). 5) Basalts of the Stormberg Series (Karoo). 6) Rhyolites of the Stormberg Series (Karoo). 7) Infrakaroo surface. 8) Eogene (?) surface.

B) L'ARRANGEMENT DES MINÉRAUX

Doit-on attribuer à la structure intime des roches une importance significative? Son intervention ne paraît pas décisive si l'on compare, par exemple, les granodiorites et les granites leucocrates qui possèdent une structure engrenée analogue: les minéraux se pré-

sentent en plages dentelliformes ayant des limites suturées de manière complexe (quartz, biotite chloritisée ou hornblende verte, feldspath alcalin et oligoclase); en fait, un examen plus attentif des lames minces montre que:

- dans les granites leucocrates, le microcline de forme irrégulière pénètre, voire remplace le plagioclase

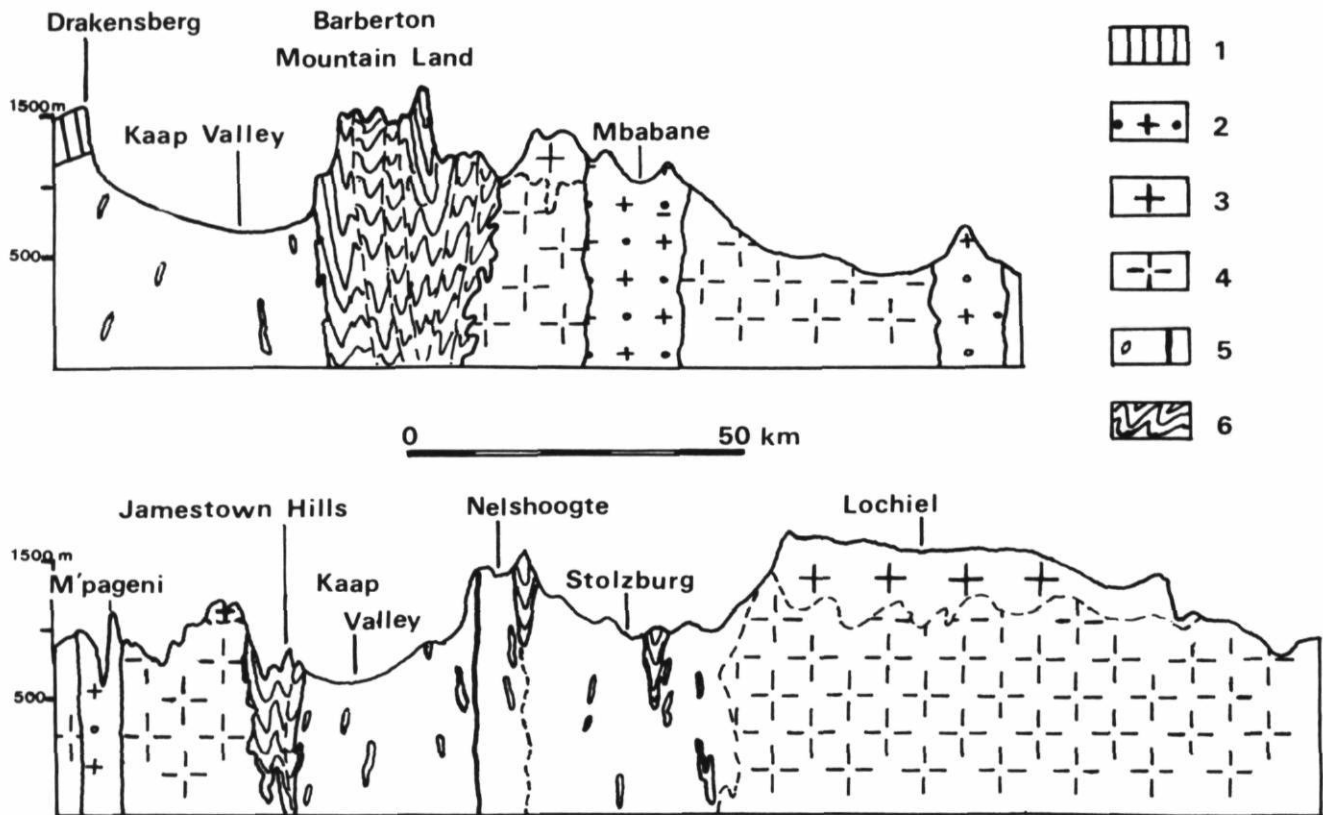


FIGURE 9. D'après M.J. et R.P. VILJOEN (1970). 1) Quartzite du Black Reef. 2) Granite des «jeunes plutons». 3) Granite de coupole. 4) Gneiss et migmatites infragranitiques. 5) Granodiorites (avec xénolites d'Onverwag et dykes basiques). 6) Formations paramétamorphiques du système du Swaziland.

From M. J. and R. P. VILJOEN (1970): 1) Black Reef quartzite. 2) Young plutonic granite. 3) Hood granite. 4) Infragranitic gneisses and migmatites. 5) Granodiorites (with Onverwag xenoliths and basic rock dykes). 6) Parametamorphic formations of the Swaziland System.

antérieurement cristallisé, jusqu'à contenir des reliques de ce minéral plus fragile (structure à tendance monzonitique);

- dans les granodiorites, où le plagioclase acide est plus abondant que l'anorthose sodique, les cristaux de quartz à extinction roulante, constituants exclusifs de certaines cloisons, apparaissent très fissurés;

- dans les granodiorites à biotite, du type Nelshoogte, le mica noir se dispose fréquemment en longues traînées qui donnent à la roche un aspect orienté, et cette foliation semble également responsable de la faible résistance relative des roches métamorphiques.

La confrontation de la structure porphyrique des granites des vieux et des jeunes plutons paraît encore plus riche d'enseignements: dans les premiers, les phénocristaux de plagioclase se détachent d'un fond équant de quartz, de microcline perthitique et de biotite, mais cette dernière, présente le plus souvent en agrégats isolés, peut se rassembler en chapelets inter-

granulaires. Au contraire, dans les granites du type M'pageni, des phénoblastes de microcline perthitique entourent poecilitiquement des fragments de la matrice (plagioclase saussuritisé, biotite chloritisée, feldspath potassique et quartz), agencement qui ne devrait guère favoriser la pénétration de l'altération.

C) PERMÉABILITÉ ET POROSITÉ

L'augmentation de la vitesse de circulation de l'eau à travers les roches peut fidèlement traduire le développement des microfissures. Il y a là un domaine d'accès malaisé pour lequel la technique par ébullition, mise au point au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de l'université de Nancy (France), fournit une approche satisfaisante. Rappelons qu'elle consiste à mesurer le poids absorbé rapporté à 100 g de roche. Cette technique, appliquée à quelques échantillons granitiques, a livré les valeurs suivantes:

TABLEAU III

| Gain de poids en mg | Moyenne | Minimum | Maximum |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| Granite de Lochiel | 81 | 70 | 93 |
| Granite de M'pageni | 119 | 103 | 143 |
| Granodiorite de Kaap Valley | 195 | 147 | 281 |
| Granodiorite de Stolzburg | 163 | 142 | 190 |

Les premières mesures de porosité ouverte au mercure donnent également des valeurs extrêmement faibles pour les granites leucocrates et le granite de M'pageni, correspondant exclusivement à des micropores inférieurs à huit microns (BIROT *et al.*, 1972). Quant aux granodiorites, outre leur composition chimique et minéralogique favorable à l'altération, elles possèdent une structure cataclastique qui s'accompagne d'une importante fissuration. Un relevé statistique de la densité des microfractures traversant entièrement les cristaux de quartz est, à cet égard, indicatif :

| | % de quartz fissurés |
|---------------------------------|----------------------|
| Granodiorite de Kaap Valley : | 59 à 72% |
| Granite leucocrate de Lochiel : | 24 à 28% |
| Granite de M'pageni : | 20 à 26% |

La démonstration objective n'est certes pas complète puisque nous ne disposons pas d'échantillons de granite des vieux plutons susceptibles de se prêter aux mêmes examens microscopiques, mais il est probable que le degré de fissuration de la roche constitue une importante variable en liaison avec la remobilisation ou l'inertie des corps granitiques : il nous faut, en conséquence, aborder les conditions de leur mise en place.

III. MORPHOLOGIE GRANITIQUE ET CYCLE OROGÉNIQUE

La présence de terrains paramétamorphiques plissés associés au socle cristallin dans la région de Barberton permet de cerner avec une certaine précision les phases magmatiques successives associées à la chaîne katarchéenne.

A) L'ÉVOLUTION DE LA CHAÎNE KATARCHÉENNE

Le bouclier de Kaapvaal juxtapose, au Transvaal oriental, d'étroits synclinoriums formés par le système du Swaziland et de larges voûtes anticlinales constituées par du matériel granitique : cette alternance peut être assimilée à une succession d'intragéosynclinaux et d'intragéanticlinaux. On cherche fréquemment en effet, pour interpréter la genèse des chaînes précam-

briennes, à s'inspirer du modèle des orogènes postérieurs : si l'on adopte le parti-pris de TAGINI (1971) dont la thèse est un essai d'application de la théorie du géosynclinal à des orogènes précambriens, on peut retrouver dans le Barberton Mountain Land de profondes analogies strato-lithologiques avec le matériel déposé dans les sillons qui ont servi de creusets au *drame* baoulé en Côte-d'Ivoire ; la série sédimentaire synclinoriale comporte, dans les deux cas, deux termes majeurs :

- à la base, un complexe volcano-sédimentaire, représenté, dans le Transvaal, par le groupe d'Onverwag (anciennement Onverwacht) d'une épaisseur voisine de 11 000 m, au sein duquel prédominent les basaltes tholéitiques, associés à des laves felsitiques, des pyroclastites et des sédiments variés ;

- dans la partie supérieure, un supergroupe de comblement réunissant le groupe de Fig Tree de 2 000 m d'épaisseur (conglomérats, grauwackes et schistes du type flysch), et le groupe de Moodies constitué, sur une tranche de 4 000 m, de subgrauwackes et d'arkoses, plus ou moins conglomératiques, du type molasse.

Une lave acide du groupe d'Onverwag ayant fourni un âge de 3 400 millions d'années, le Barberton Mountain Land représenterait le plus vieil assemblage orogénique connu sur terre. Son histoire sédimentaire anté-tectogénétique est originale à un double titre : la faible dissymétrie tectonique de la fosse, par opposition aux géosynclinaux protérozoïques où la distinction eugéosynclinal-miogéosynclinal paraît bien établie ; la forte composante volcanique au début de la phase géosynclinale, moins marquée dans les sillons plus récents qui ne sont pas ensimatiques.

Du point de vue tectogénétique, on notera une relative disharmonie entre les directions des plissements du volcano-sédimentaire qui soulignent des structures arrondies ou elliptiques (tracé curvilinéaire de type « voltaïque », selon Tagini), et celles des séries supérieures qui s'allongent selon un axe SO-NE (tracé rectilinéaire « ivoirien »).

La distinction du vieux socle anté-Swaziland a toujours été une pierre d'achoppement pour les géologues sud-africains : comme dans les Guyano-Éburnéides, « les vestiges de la plate-forme pré-géosynclinale sont difficiles à séparer des cratons de formation plus tardive » (CHOUBERT, 1969). Toutefois, le Basement Complex paraît avoir été reconnu au Swaziland (HUNTER, 1970) : à côté de reliques d'amphibolites, de pyroxénites et de quartzites, il montre une large prépondérance de gneiss (d'où son nom d'*Ancient Gneiss Complex*) qui se distinguent par la netteté de leurs caractères tonalitiques qu'atteste leur teneur en potassium et en sodium.

Il ne subsiste pas de vestiges de la superstructure de la chaîne katarchéenne, et les terrains exposés à l'affleurement dans les synclinoriums ont subi un métamorphisme de faible intensité; il y a lieu de penser que la tranche déblayée n'a guère excédé une dizaine de kilomètres: les chaînes de plissement précambriennes à raccourcissement limité paraissent s'être caractérisées par une atrophie relative de leurs racines sialiques. Les réajustements isostatiques postérieurs à la phase de compression tectogénétique ont donc été mesurés.

B) GRANITISATION ET TECTO-OROGENÈSE

Les roches de la séquence du Swaziland, terme générique qui désigne les groupes d'Onverwag, de Fig Tree et de Moodies, affleurent entre des massifs plutoniques dont la pétrographie et le mode de gisement sont notablement différenciés. L'analyse structurale, par la confrontation de l'évolution tecto-orogénique et de la granitisation qu'elle conditionne, suggère, après leur aspect «igné» d'aborder, dans un deuxième temps, leur caractère cinématique. Ainsi, aux diverses phases du cycle orogénique correspondent des montées magmatiques:

- Le «magmatisme initial» de Stille se caractérise par sa composition granodioritique. Les intrusions syntectoniques ont un chimisme voisin de celui du socle anté-Swaziland: elles proviendraient de la réanimation en conditions infra-crustales de l'Ancien Gneiss Complex au sein de la fosse géosynclinale, selon un processus de rhéomorphose. Leur composition granodioritique *sensu lato* semble clairement déterminé par leur contexte géosynclinal (granitoïdes d'eugéosynclinaux plissés). La mise en place de ces granodiorites foliées para-autochtones a accompagné les déformations en régime épizonal de la «série verte» volcano-sédimentaire avant le dépôt et le plissement des paramolasses³: les plutons sont plus ou moins coalescents, celui de Nelshoogte recoupant, par exemple, celui de Kaap Valley, mais il est probable qu'ils constituent un ensemble évolutif unique.

- C'est à l'articulation du domaine stable et du domaine mobile que se sont mis en place, à un stade plus tardif de l'évolution tecto-orogénique, les granites palingénétiques nés de la remobilisation du socle anté-Swaziland; celle-ci a intéressé les charnières, véritables géosutures où le flux thermique fut maximal, provoquant une métasomatose potassique de grande ampleur. Le système du Swaziland, discordant sur le vieux socle, se trouve ainsi injecté par les apophyses

du granite homogène né de sa «réjuvénation». Cette métasomatose est également responsable du processus de migmatisation: dans les migmatites de Nelspruit, le néosome se distingue par sa teneur élevée en potassium au regard du paléosome de caractère nettement tonalitique. Le problème du passage latéral des charnières aux môles rigides ne peut être considéré comme résolu et exigerait des recherches complémentaires: elles supposent l'acceptation du modèle géosynclinal par les géologues sud-africains qui lui témoignent une grande réserve (ANHAEUSSER, MASON, M.J. VILJOEN et R.P. VILJOEN, 1969).

- Quant aux granites post-tectoniques, leur position structurale paraît aléatoire puisqu'ils se sont mis en place, à l'emporte-pièce, dans les synclinoriums ou dans les intragéanticlinaux.

L'examen des âges radiométriques (Rb/Sr) confirme la chronologie relative puisqu'ils indiquent l'antériorité des granodiorites syntectoniques par rapport aux granitoïdes de charnières, et *a fortiori* par rapport aux granites post-tectoniques: granodiorite de Kaap Valley: — 3 310 M.a (± 40); migmatites de Nelspruit: — 3 160 M.a (± 50); granite de Lochiel: — 3 075 M.A. (± 100); granite de Salisbury Kop: — 2 800 M.a.; granite de M'pageni: — 2 650 M.a.⁴.

C) MORPHOLOGIE GRANITIQUE ET GÉOTECTONIQUE

L'acquisition du potentiel géochimique dérive de l'évolution géotectonique, comme l'a souligné CHOUBERT (1974): «Tout se passe comme si la composition chimique dépendait du niveau auquel les roches se sont formées», et on notera, à ce propos, la richesse en silice et en potassium des granites de coupole et des petits batholites de l'étage supérieur (et leur pauvreté en calcium et en fer ferreux). Mais la forme, la paragenèse, la texture, la structure, etc., d'un massif granitique apparaissent tout autant conditionnées par sa localisation dans un cadre structural général (TAGINI, 1971). On s'explique ainsi les phénomènes de covariances observés qui rendent si difficile l'évaluation de la place respective des différents facteurs d'érosion différentielle. Mais on peut se demander si, dans l'altérabilité des roches cristallines, la porosité n'est pas, pour reprendre l'expression de Birot, le «facteur compréhensif», par l'intermédiaire de la micro-fissuration, elle-même variable suivant les conditions de mise en place des structures.

3. Quoique pour Van EEDEN (*in* M.J. et R.P. VILJOEN, 1969), le pluton granodioritique de Kaap Valley soit intrusif dans le groupe de Moodies.

4. Au Swaziland, HUNTER (1957) distingue des venues granodioritiques dont l'âge est de 3 400 M.a. (le système de Pongola, volcanique et sédimentaire, leur est postérieur), les granites tardi-tectoniques affectant le système de Pongola (âge: 3 070 \pm 60 M.a.), et des venues post-tectoniques (2 600 M.a.).

- Les granodiorites des synclinoriums, dont les faciès orientés de bordure indiquent la cristallisation syncinématique, ont enregistré les efforts de compression tectonique postérieurs à leur mise en place.

- Les granites homogènes relèvent d'une métasomatose potassique ultérieure en liaison avec un front chimique de granitisation au niveau duquel a pu s'opérer un travail d'obturation des cicatrices⁵; l'existence de ce front s'accompagne d'une organisation stratifiée des masses plutoniques: les granites de coupole dégagés des terrains surincombants font, en effet, place en profondeur aux migmatites qui ont perdu les textures héritées du complexe gneissique de base.

- L'opposition, dans leur comportement morphologique, entre les batholites de l'étage supérieur, à affinité volcanique, et les batholites de l'étage moyen, plus anciens, a été soulignée, à diverses reprises, par BIROT (1958, 1968): les plutons en creux de Salisbury Kop et de Dalmein sont cernés par une étroite auréole de métamorphisme d'une centaine de mètres de largeur, absente au contact des batholites superficiels, du type M'pageni. Si d'une manière générale, ces granites post-tectoniques paraissent exempts de toute trace d'écrasement, les plutons les plus profonds possèdent une foliation qui suggère une cristallisation lente du fluide magmatique accompagnée d'une persistance des contraintes (?), tandis que les batholites superficiels n'auraient pas connu de réaménagement cristallin, la disposition des lacunes étant par là même aléatoire. La faible porosité initiale des intrusions syénitiques tardives, du type Bosmankop, a également été invoquée pour justifier leur grande résistance.

CONCLUSION

La région de Barberton, dans le Transvaal oriental, présente des formes d'érosion différentielle si vigoureusement contrastées qu'un raisonnement *a priori*, d'ordre morphologique, a guidé les géologues sud-africains qui ont mis clairement en évidence la grande hétérogénéité du socle cristallin. La recherche d'une explication du comportement des roches cristallines passe par l'examen de leur composition chimique et minéralogique, de leur architecture intime et de leur porosité, autant de caractères qui se raccordent aux données de l'histoire structurale: le potentiel d'altération, qu'ils définissent, paraît assez largement tribu-

5. Selon CHOUBERT (1974), la feldspathisation des migmatites responsable de la formation des granites «en couche» de Guyane est le produit des migrations de matières, en plus de simples variations de pression et de température, la «montée des atomes venus des profondeurs provoquant des accumulations de feldspaths en se heurtant au toit plus froid».

taire des types de gisements. La géotectonique peut fournir un fil directeur pour l'intelligence des disparités fondamentales entre les granitoïdes des boucliers tropicaux. La logique des formes en matériel cristallin n'est-elle pas celle de la mise en place des structures? Cette technique d'approche globale, inaugurée par M. Petit dans le socle guyano-éburnéen, paraît très féconde; encore convient-il de multiplier les observations afin de rechercher confirmation de ce modèle provisoire d'analyse morphologique...

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à M. le professeur P. BIROT, directeur du Laboratoire de géographie physique de l'université Paris-Sorbonne, qui nous a permis d'entreprendre l'étude géomorphologique du complexe intrusif du Bushveld (Transvaal oriental et central) et à MM. les professeurs A. GODARD et M. PETIT pour les précieux conseils qu'ils nous ont prodigués à l'occasion de la préparation de cet article. Nos recherches sur le terrain en 1975 et 1976 ont été subventionnées par le CNRS (L.A. 141).

(Manuscrit déposé le 20 décembre 1977)

BIBLIOGRAPHIE

- ANHAEUSSER, C.R., MASON, R., VILJOEN, M.J. et VILJOEN, R. P. (1969): A reappraisal of some aspects of Precambrian Shield geology, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 80, p. 2175-2200.
- BIROT, P. (1958): *Morphologie structurale, t. 1: Structure statique. Formes structurales élémentaires*, Paris, P.U.F., 167 p.
- BIROT, P. et al. (1968): *Contribution à l'étude de la désagrégation des roches*, Paris, C.D.U., 232 p.
- BIROT, P., BASTISTINI, R. et TERS, M. (1972): Observations géomorphologiques sur le Transvaal central et oriental et sur la région côtière du Natal, Madagascar, *Rev. Géogr.*, n° 2, p. 1-62.
- BIROT, P., GODARD, A., PETIT, M. et TERS, M. (1974): Contribution à l'étude des surfaces d'aplanissement et de l'érosion différentielle dans le Transvaal septentrional et oriental (Afrique du Sud), *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, vol. XVI, fasc. 4, p. 421-454.
- CHOUBERT, B. (1969): Les Guyano-Éburnéides de l'Amérique du Sud et de l'Afrique occidentale (essai de comparaison géologique), *Bull. du B.R.G.M.*, sect. IV, n° 4, p. 39-68.
- (1974): *Le Précambrien des Guyanes*, Mém. du B.R.G.M., n° 81, 212 p.
- DE LA ROCHE, H., GODARD, A. et MARCHAL, P. (1961): Une méthode simple d'étude de la porosité des roches cristallines, *Rev. Géogr. Est*, n° 3, p. 223-233.

- DEMANGEOT, J. (1961): Pseudo-cuestas de la zone inter-tropicale, *Bull. Ass. Géogr. Fr.*, n^{os} 296-297, p. 2-16.
- DU TOIT, A. L. (1929): The volcanic belt of the Lebombo: a region of tension, *Trans. Roy. Soc. S.A.*, vol. XVIII, part 3, p. 45-87.
- HALL, A.L. (1918): *The Geology of the Barberton Gold Mining District, Union of South Africa*, Geol. Surv. Mem. (Pretoria), n^o 9, 347 p.
- HAUGHTON, S. H. (1969): *Geological history of South Africa*, Geol. Soc. of S. A. (Le Cap), 535 p.
- HUNTER, D. R. (1957): The geology, petrology, and classification of the Swaziland granites and gneisses, *Trans. Geol. Soc. S.A.*, vol. LX, n^o 1, p. 85-126.
- (1970): The ancient gneiss complex in Swaziland, *Trans. Geol. S.A.*, vol LXXIII, n^o 1, p. 107-150.
- (1973): The granitic rocks of the Precambrian in Swaziland, *Spec. Publ. Geol. Soc. S.A.*, n^o 3, p. 131-147.
- OOSTHUYSEN, E.J. (1970): *The geochronology of a suite of rocks from the granitic terrain surrounding the Barberton Mountain Land*, thèse, Univ. du Witwatersrand, Johannesburg, 94 p.
- PETIT, M. (à paraître): Géochimie, géotectonique et géomorphologie des granites précambriens. L'érosion différentielle dans les aires granitiques tropicales: application aux domaines américain et africain, *Trav. et Doc. de géogr. trop.*, CEGET.
- TAGINI, B. (1971): *Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire, essai de géotectonique régionale*, thèse es sciences, Abidjan, SODEMI, 302 p.
- TALJAARD, M. S. (1938): On the physiography of an area in the north-eastern Transvaal and an area in northern south west Africa, *Ann. Univ. Stellenbosch*, vol. XVI, sect. A, n^o 1, p. 3-29.
- VILJOEN, M. J. et VILJOEN, R. P. (1969): Archaean vulcanicity and continental evolution on the Barberton Region, Transvaal, in *African magmatism and tectonics*, T. N. CLIFFORD et I. G. GASS, édit, Édinburgh, Oliver & Boyd, p. 27-49.
- VISSER, D.J.L. et al. (1956): *The geology of the Barberton area, Union of South Africa*, Geol. Surv. Spec. Publ. n^o 15 (Pretoria), 253 p.
- WELLINGTON, J. H. (1956): Notes on the physiography of Swaziland and adjoining areas, *South Afric. Geogr. J.*, vol. XXXVIII, p. 30-36.