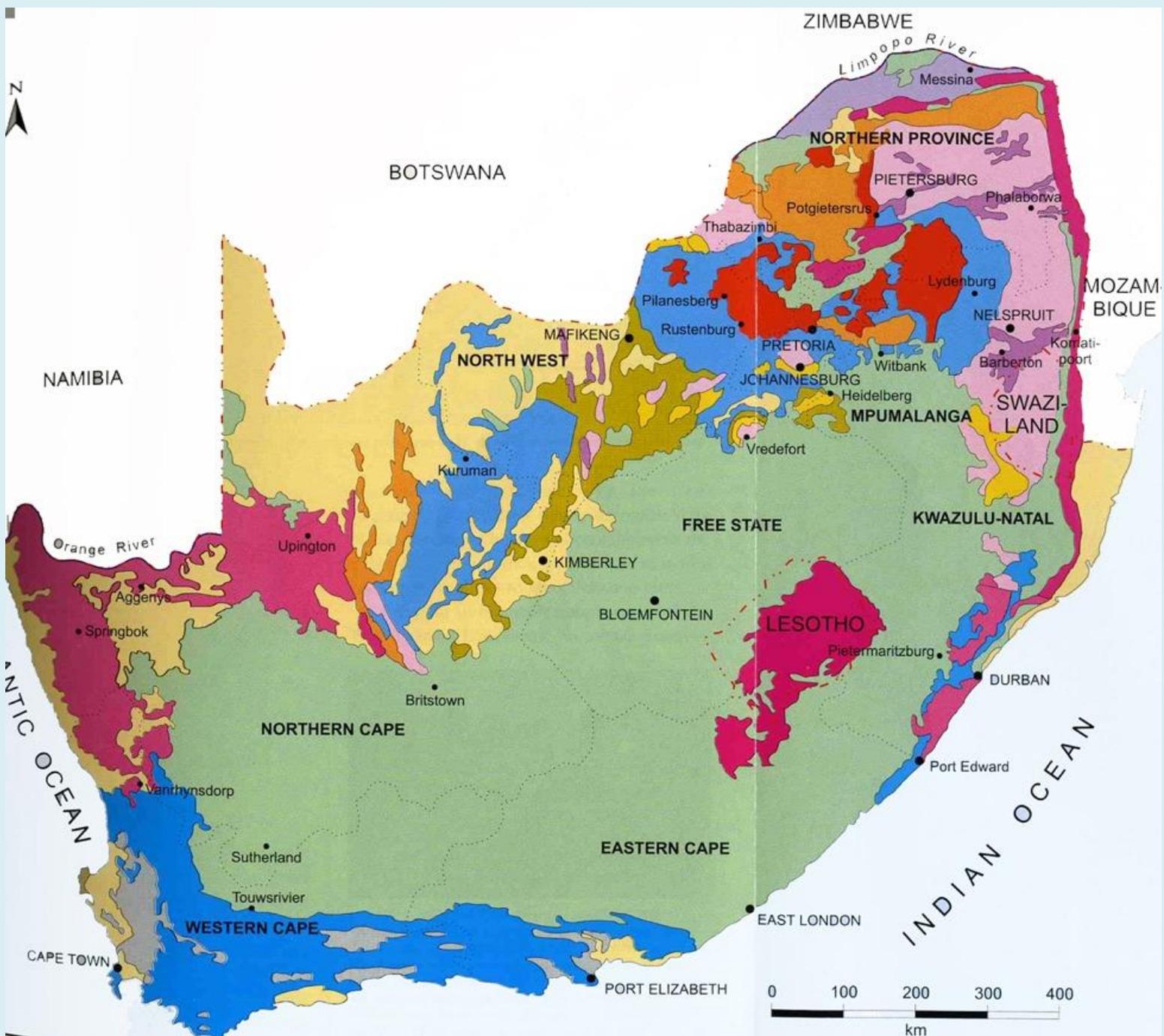


**Séjour d'études scientifiques en
Afrique du Sud**

Du 7 au 21 mars 2010



ASPECT GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE L'AFRIQUE DU SUD

La République d'Afrique du Sud, première puissance économique du continent africain, occupe une surface de 1 200 000 Km² pour 45 millions d'habitants, dont plus de 75% sont de race noire.

Le pays est en grande partie occupé par un **vaste plateau**, entre 1 000 et 1 500 m d'altitude, qui s'abaisse doucement à l'Ouest (Bushmanland), au Nord (vallée du Limpopo) et au bord de l'Océan Indien (de Cape Town au Mozambique). La partie Est de ce plateau est bordée par la **chaîne de montagne basaltique du Drakensberg** (point culminant : 3 446 m).

L'atout principal du pays est la richesse de son sous-sol, fortement minéralisé. L'Afrique du Sud compte parmi les grands producteurs mondiaux de platine (75% de la production mondiale), d'or, de diamant, de chrome, de titane, de vanadium, de manganèse, d'uranium, de cuivre, d'antimoine, d'argent, de fer et de charbon. Avec toutes ces richesses, on dit parfois que l'Afrique du Sud « est un scandale géologique ! ».

Géologiquement, l'Afrique du Sud, est un pays vieux ; dont une grande partie a été structurée à l'**Archéen** (du mot archéozoïque, qui signifie animaux anciens): les roches les plus anciennes ont 3,6 milliards d'années (3,6 Ga). Pour comparaison, la France présente des roches allant de 2.1 Ga au présent, mais avec une "charpente" hercynienne, c'est à dire 300-400 Ma (0.3 – 0.4 Ga).

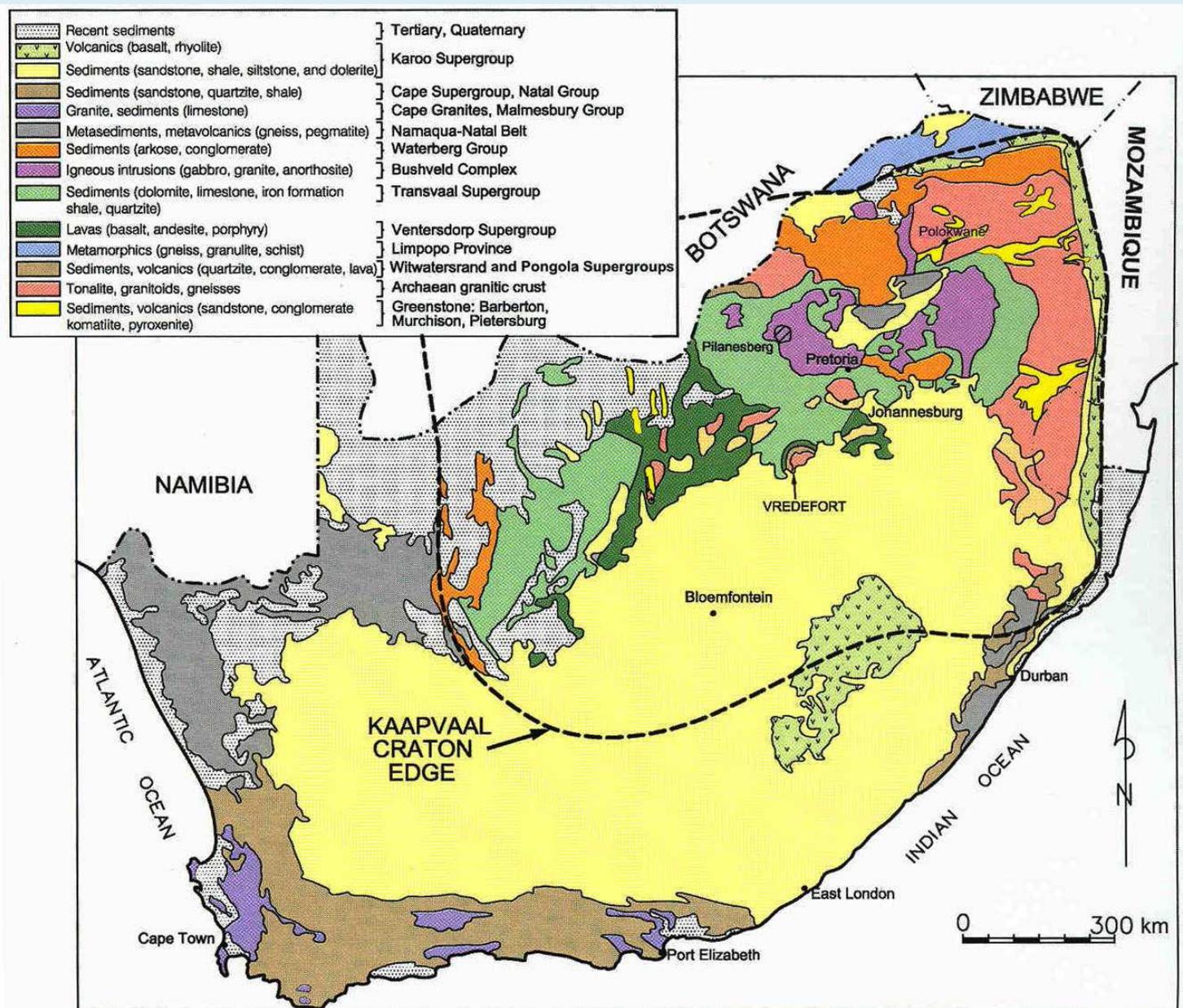


Fig. 1: Carte géologique simplifiée d'Afrique du Sud

Le craton (le craton du Kaapvaal) constitue un bloc archéen, qui n'a subi pratiquement aucune transformation au cours des âges et qui est lui-même une mosaïque d'unités assemblées en plusieurs épisodes entre 3,6 et 2,7 Ga. Au fur et à mesure que le craton du Kaapvaal se stabilise, des séries sédimentaires viennent s'y déposer : d'abord des roches magmatiques du type roches vertes, puis des unités granitiques provenant des collisions à l'origine de la formation du craton et enfin, divers produits d'érosion. Le craton du Kaapvaal se comporte, à partir de là, comme un bloc solide contre lequel viennent encore se coller, s'écraser, ou s'accréter, différentes unités sur lequel pourront se déposer grès, argiles ou niveaux volcaniques. L'une de ces unités, le **Witwatersrand** renferme le **plus important gisement d'or du monde** (31% des réserves mondiales connues).

Après l'Archéen (2,6 Ga), on entre dans le Protérozoïque (2,6 à 0,54 Ga qui signifie premiers animaux), le craton du Kaapvaal est affecté d'un **rifting** (ou plusieurs ?) associé à un **important volcanisme basaltique et rhyolitique**. L'ouverture de ce (ou ces) rift(s) repousse vers le Nord une partie du craton qui entre en collision avec la zone sud d'un autre craton, le craton du Zimbabwe.

Le craton du Kaapvaal connaît, vers 2 Ga un **important épisode magmatique basique**, caractérisé par des remontées mantelliques et qui se manifeste par de nombreux édifices alcalins et des essaims de filons, mais surtout par le grand **complexe du Bushveldt** qui arrive à couvrir 65 000 Km² sur une épaisseur de 7 à 9 Km. Comme ces remontées magmatiques restent souvent à quelques distances de la surface, les roches du Bushveldt appartiennent plutôt à la famille des gabbros.

Il y a 2 023 Ma, une **énorme météorite**, dont le diamètre a été estimé à **10 kilomètres** ! a percuté la Terre à une centaine de kilomètres au sud de Johannesburg, à **Vredefort**. Cette météorite a laissé le **plus ancien, et l'un des plus importants, impact météoritique connu** : à l'origine, 15 kilomètres de profondeur, 300 kilomètres de diamètre, 70 000 kilomètres cubes de matière expulsée, associé à une sismicité de magnitude 14 sur l'échelle de Richter (le maximum observé dans les temps modernes est de 9,2 et l'échelle est logarithmique !) Un **métamorphisme d'impact** s'en est suivi. À l'heure actuelle, l'érosion aidant, il ne reste plus, apparentes, que les traces du bombement central du cratère d'impact dans les environs de Vredefort. De plus, ce sont les épais et divers sédiments issus de cet impact qui ont caché et protégé les dépôts aurifères, jusqu'à ce que l'érosion les mette enfin à notre portée...

Le Paléozoïque voit les intrusions de **granites du Cap** et un **Grand Age Glaciaire** au Permo-Carbonifère couvrant une grande partie du continent Gondwana.

Au Mésozoïque le Gondwana se disloque, avec pour conséquence, entre autres, les **émissions d'importants épisodes de magma basaltique** (au Drakensberg, le basalte s'est accumulé sur une hauteur de 2 000m), et les dépôts sédimentaires se développent sur l'ensemble du pays : une **épaisseur de 10 000 mètres de sédiments dans le Bassin du Karoo**. Localement, les séries sédimentaires sont surmontées de **dykes** de roches résistantes (les kopjes) ; il s'agit d'intrusions de **dolérite** qui se sont mises en place au **Jurassique** et qui ont jusqu'ici échappé à l'érosion.

Au Crétacé, une nouvelle phase d'activité volcanique se traduit par la formation des **kimberlites** (laves alcalines, rencontrées généralement dans un contexte intra-plaque), qui se mettent en place sous forme de **cheminées d'explosion** (les « pipes ») dont la racine se trouve à plusieurs dizaines de kilomètres de profondeur. Ce sont donc les conditions favorables à la remontée des **diamants** qui s'étaient formés à la racine du craton du Kaapvaal, 3 Ga plus tôt.

De l'extinction des dinosaures (65 Ma) jusqu' à nos jours, ce sont les épisodes d'aplanissement général du relief qui l'emportent. Il faut noter enfin que l'Afrique du Sud revendique d'être le « **berceau de l'humanité** » puisque les premiers Australopithèques y sont apparus il y a plus de 3,3 Ma (Mokopane Valley).

Witwatersrand

Le **Witwatersrand** (mot afrikaans qui signifie « **la crête des eaux blanches** ») est une chaîne de collines relativement élevée (1800 mètres) située dans la région historique du centre du Transvaal en Afrique du Sud. Cet important massif de la province du Gauteng s'étend de Pretoria à Vereeniging, en passant par Johannesburg.



Ces collines forment la **ligne de partage des eaux s'écoulant** vers le nord-est (Océan Indien) et celles s'écoulant vers l'ouest (Océan Atlantique). Elles créent aussi une démarcation climatique, puisque les banlieues nord de Johannesburg sont plus arrosées que les banlieues sud, nettement plus sèches.

Communément appelé le « **Rand** », le massif produit **40 % de l'or mondial**.

Il s'étend sur 280 km de long pour une largeur de 3,6 km par endroits.

Le **rand** est d'ailleurs devenu la **monnaie officielle** de l'Afrique du Sud lorsqu'elle est devenue indépendante de la Grande-Bretagne en 1961.

Le **Witwatersrand** est également l'autre nom souvent utilisé pour décrire l'**agglomération de Johannesburg**, qui s'étend sur toute la longueur de la zone d'extraction d'or, depuis Randfontein et Carletonville à l'ouest, jusqu'à Springs à l'est. Elle inclut les vastes zones urbaines de l'East Rand, du West Rand et de Soweto.

L'Université du Witwatersrand se situe à Johannesburg.

Chutes d'eaux dans le jardin botanique du Witwatersrand

Formation de l'or :

Les défenseurs de la théorie hydrothermale expliquent que cette exceptionnelle concentration d'or résulterait de l'action des **geysers**. Si cette hypothèse est exacte, **l'or serait géologiquement plus jeune que les roches environnantes**.

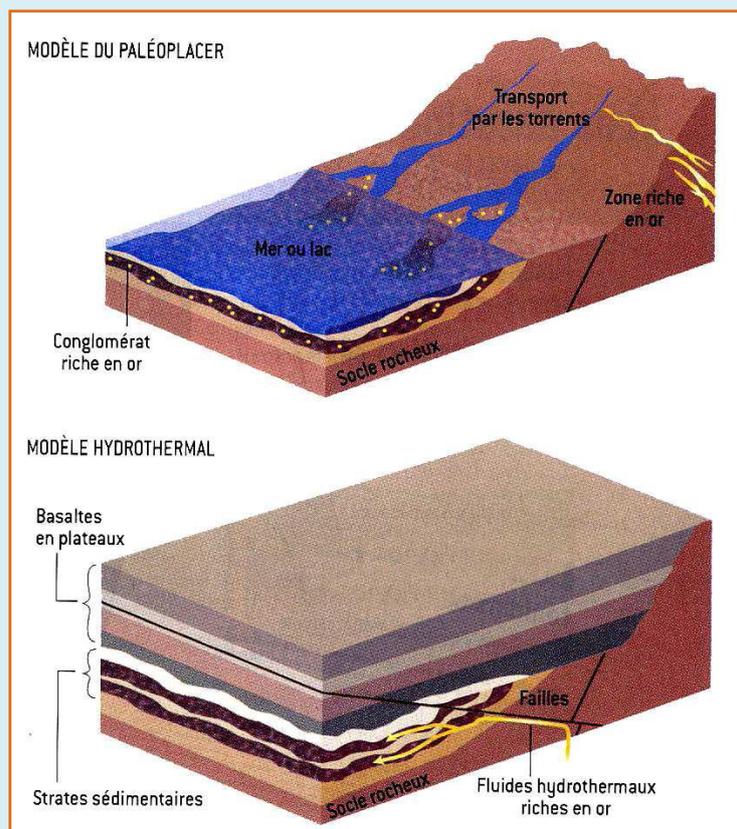
Habituellement, les géologues mesurent l'âge des roches à partir de la quantité relative d'éléments radioactifs qu'elles recèlent. Le problème est que l'or n'existe que sous une forme non radioactive.

Cependant, l'or présent dans les strates sud-africaines contient un élément rare, le rhénium, dont un isotope se dégrade en un autre élément chimique également rare, l'osmium.

Le mensuel **Science** a publié les résultats d'une équipe de l'Université d'Arizona qui, en collaboration avec des chercheurs de la Commonwealth and Industrial Research Organization (Australie) et de l'Université d'Edimburgh (Ecosse), est parvenue à dater l'âge des traces d'osmium et de rhenium à 3,03 milliards d'années avec une erreur de plus ou moins 20 millions d'années.

L'or ainsi daté est plus âgé d'environ 300 millions d'années que les roches à l'intérieur desquelles il se trouve, ces résultats suggèrent qu'il a été apporté d'ailleurs. Il reste à présent à proposer une hypothèse permettant d'expliquer comment cet or a été transporté.

Le document ci-joint montre les deux type de dépôt possible pour l'or (*d'après POUR LA SCIENCE – 2002*)



LE DIAMANT



Formation

Les diamants sont constitués de **carbone**. Ils se forment lorsque ce dernier se trouve dans des conditions de température et de pression très élevées, entre 1 100 °C et 1 400 °C pour la température, et entre 4,5 GPa et 6 GPa pour la pression, ce qui correspond à des profondeurs d'environ 180 km dans le manteau terrestre. Les impuretés telles que l'azote, le soufre ou des métaux peuvent colorer le diamant.

On distingue deux grandes catégories de diamants en fonction de la nature de leur cortège d'inclusions. Dans la plupart des cas, ces inclusions représentent une minéralogie de péridotite. Une seconde catégorie d'inclusions est caractéristique d'association avec les **éclogites**.

Les diamants naturels sont composés soit de carbone qui se trouvait dans le manteau depuis la formation de la Terre, soit de carbone organique provenant d'organismes, tels que des algues qui a été enfoui jusqu'au manteau terrestre par le mouvement des plaques tectoniques, dans les zones de **subduction**.

La nature minéralogique des inclusions, leur contenu en élément en trace et la composition isotopique (Carbone et Azote) des diamants eux-mêmes sont de précieux indices pour comprendre la genèse de ce minéral. Tout porte à croire que la croissance des diamants dans le manteau lithosphérique ne résulte pas d'une transformation directe à partir du graphite mais impliquerait plutôt l'entremise d'un fluide COH (fluide aqueux contenant du carbone dans une forme moléculaire non spécifiée : CH₄, CO, CO₂) ou d'un magma carbonaté (carbonatite).

Remontée en surface

Les diamants d'Afrique du Sud ont été remontés par des éruptions volcaniques très puissantes. Elles ont occasionné la formation de brèches volcaniques, constituées de débris de roches à l'origine très profondes. Les diamants sont ainsi retrouvés en inclusion dans ces roches appelées **kimberlites**.

L'érosion peut ensuite les transporter et les incorporer dans des sédiments alluviaux.

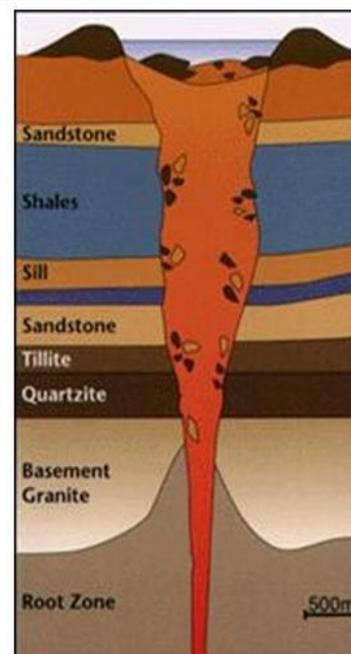
Gisements

La plupart des diamants sont extraits de la kimberlite présente dans les zones les plus anciennes de croûte continentale (au moins **1,5 milliard d'années**). Jusqu'au XVI^e siècle, l'Inde était la seule zone de production de diamants au monde, avec la région de Bornéo. C'est en Inde qu'ont été extraits les plus célèbres diamants anciens. Puis les gisements du Brésil ont été découverts. Ils ont alimenté le marché occidental jusqu'à la fin du XIX^e siècle, date de la découverte des gisements sud-africains.

Depuis cette date, la plupart des diamants viennent d'Afrique (62,1 % en 1999). Cette situation a été l'origine de plusieurs guerres comme celle du Sierra Leone, où les objectifs stratégiques étaient le contrôle des principaux gisements du pays pour financer le conflit.

Dans les parties les plus internes des chaînes de collision telle que les Alpes, l'Himalaya ou la chaîne Hercynienne, on trouve des roches continentales contenant des micro-diamants. Ces diamants se forment au cours du **métamorphisme** dit d'« **ultra haute pression en contexte subduction-collision** » : températures modérées de l'ordre de 800 à 900 °C et pression de l'ordre de 4 GPa. Les diamants obtenus sont de taille micrométrique et ne peuvent donc pas être concernés par l'exploitation minière. Cependant, ils offrent des objets uniques pour l'étude du comportement d'un système rocheux en profondeur

► Les gisements primaires



► Les gisements primaires sont constitués par les pipes et les dykes contenant des roches kimberlitiques ou lamproitiques. Les diamants ont été véhiculés par les roches éruptives, ils ont emprunté des brèches en forme de cône étroit renversé (une pipe qui peut plonger à plus de 2 km sous la surface) et sont remontés à la surface à une très grande vitesse lors d'une explosion terrestre.

La chaîne de montagne des Magalies



La **chaîne des Magalies** (ou Magaliesburg) est une des plus anciennes montagnes du monde. Elle s'étend sur 120km dans une direction générale est-ouest et sépare les prairies (**Highveld**) du sud de la savane (**bushveld**) du nord.

Les paysages généralement observés sont des falaises de **quartzite** verticales sur la face sud, surplombant de larges vallées et une petite crête au sommet. Le ruissellement de l'eau a créé de profonds et superbes ravins, certains de plus de 100 mètres de profondeur, avec des chutes d'eau cristalline ininterrompues. Ces lieux sont très prisés des alpinistes et des randonneurs.

Hamerkop Kloof, (VCC) l'une des nombreuses et belles kloofs (ravine profonde) à explorer dans les Magaliesberg.

Aujourd'hui une grande partie de la zone forme un environnement naturel préservé qui offre aux milliers de visiteurs qui y viennent un refuge loin du stress de la vie citadine.

Géologie

La structure géologique des Magalies est visible sur presque toute sa longueur.

La formation de ces montagnes a commencé il ya presque 2.3 milliards d'années quand l'Afrique faisait partie du super continent appelée **Gondwana**.

À l'époque, ce qui correspond aujourd'hui au **Transvaal** (tout le nord de l'AFS) était submergé sous des eaux peu profondes.

Cette mer était entouré par de vieux granites de 3 milliards d'années appelé le **Complexe Archéen** dont l'érosion a donné du quartz, des cailloux, du sable et du limon qui ont formé une couche de roches sédimentaires de type **conglomérat** sur le fond de la mer, connue aujourd'hui comme le "**Black Reef**".

Puis une autre couche connue sous le nom du **sous-groupe Malmani**, a été ajoutée.

Enfin, des **algues (les toutes premières formes vivantes!)** se sont développées dans cette mer et se sont combinées avec de la silice provenant de l'altération chimique des granites pour former un dépôt de **carbonate** qui finalement comprimé forme des couches de roches très épaisses.

Dans certains endroits, ces roches forment de la **dolomite**.

Les limons se sont lentement transformés en **schistes**.

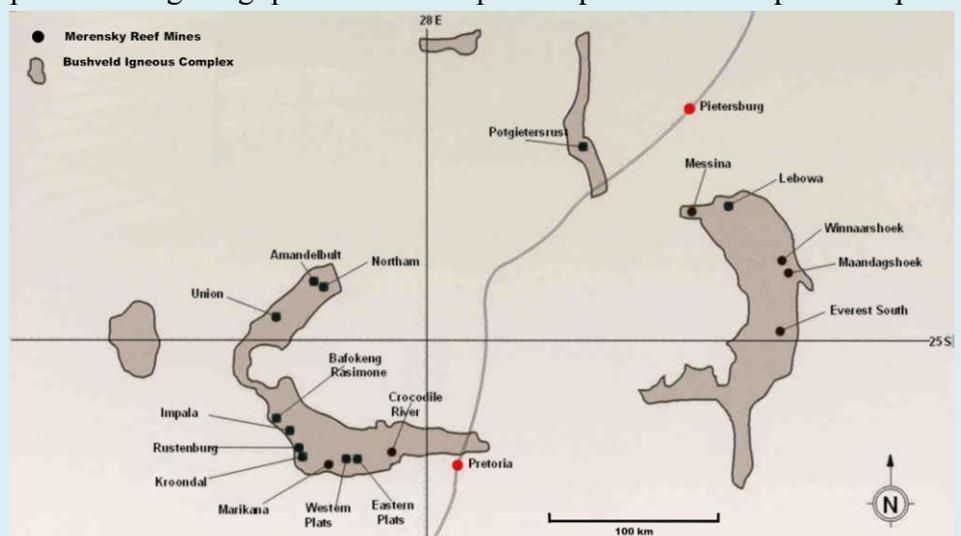
Finalement, l'eau s'est retirée et d'autres gisements comme le **Groupe de Pretoria** se sont formé sur les fonds.

Il s'agissait de **quartzite**, fait de sable de plage cristallisé en une roche très dure, résistante aux intempéries.

Aujourd'hui on peut encore voir cette quartzite qui porte encore les traces de son dépôt dans un milieu de delta et de lagune (sédimentations entrecroisées, marques de courant)

Il y a environ 2 milliards d'années un phénomène géologique massif s'est produit pour mettre en place ce qu'on appelle le **Complexe du Bushveld**.

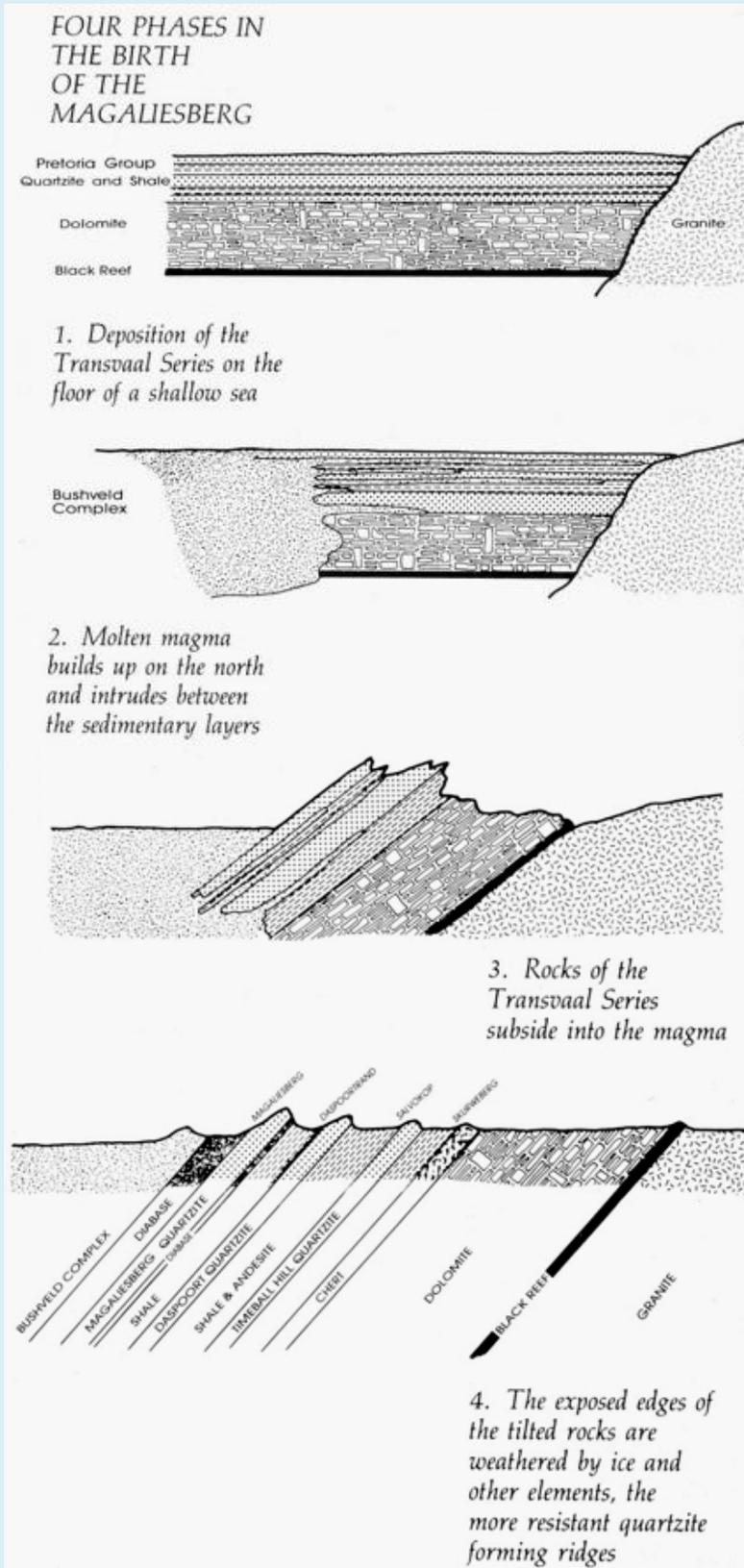
En profondeur, du magma contenu dans un **réservoir de 65000 km²** a commencé à accumuler de la pression. Il donnait des intrusions horizontales (sills) entre les couches sédimentaires de la séquence du Transvaal. En s'infiltrant dans les couches les plus faibles, le magma a provoqué le basculement de gigantesques dalles de roches, formant des chaînes de montagnes autour du bassin.



Cette intrusion de magma a donné lieu à une grande variété de roches ignées qui contiennent des richesses minières considérables (manganèse, vanadium, nickel, étain, chrome ... mais aussi de minerai de fer et le plus riche gisement de platine au monde...)

Au fil des millénaires l'érosion a modelé ce paysage pour former les montagnes que nous voyons aujourd'hui. Depuis des millions d'années, l'eau s'est infiltrée dans les roches et a provoqué la dissolution de la dolomie formant des grottes immenses (voir l'article sur la grotte de Sterkfontein) dont certaines sont devenues des réservoirs souterrains.

C'est la source de nombreux cours d'eau qui traversent la région.



CREATION OF THE MAGALIESBERG		
Millions of years ago	Geological period	Main phases of development
2 300	Pre-Cambrian	Transvaal Sequence of sedimentary rock deposited in the following sequence: Black Reef Quartzite Formation Malmani Subgroup (dolomite and chert) Pretoria Group: Timeball Hill Formation Hekpoort Andesite Formation Daspoort Quartzite Formation Silverton Shale Formation Magaliesberg Quartzite Formation Smelterskop Formation
2 000		Bushveld Complex: Transvaal Sequence tilts to form monoclinal ridges of quartzite and shale
570	Cambrian Period	Periods of exposure and erosion
530	Ordovician Period	
440	Silurian Period	
410	Devonian Period	
345	Carboniferous Period	Exposed ridges levelled by glacial abrasion and buried beneath the following Karoo Sequence sediments: Dwyka Formation (glacial) Ecca Group (swamp) Beaufort Group (arid) Stormberg Group (desert)
280	Permian Period	Erosion and removal of Karoo Strata; warping of subcontinental watershed; development of river beds and poorts
200	Triassic Period	
150	Jurassic Period	
100	Cretaceous Period	
63	Palaeogene Period	
19	Neogene Period	Continuing erosion and northward movement of the ridge
2	Quaternary Period	

Cratère de Tswaing

D'après un article de Wikipédia.



Le

cratère de Tswaing vu du sud

Le **cratère de Tswaing** est un cratère météoritique situé à 35 km au nord-ouest de Pretoria ;
Le nom *Tswaing* signifie *Place du Sel* en Tswana (relatif au lac d'eau salée située en son centre)

Son diamètre est de 1,13 km pour une altitude de 100m (l'impact a projeté en hauteur 60 m de terre pour former les bords actuels du cratère). On estime que son âge est de 220 000 ans à \pm 52 000 ans (Pléistocène).

Les experts pensent que les murs du cratère de Tswaing mesuraient à l'origine deux fois la taille qu'ils ont aujourd'hui.

C'est un des cratères de météorite les mieux préservés au monde, et c'est aussi par chance un des plus accessibles (il est assez facile de descendre à pied en son centre)

Les spécialistes pensent que la météorite était une chondrite pierreuse d'une taille d'environ 30 à 50m de diamètre et qu'elle a touché le sol à une **vitesse proche de 40 000 km/h**, pour un impact équivalent à environ 100 bombes atomiques du modèle largué sur Hiroshima en 1945.

TRAVAIL A REALISER SUR PLACE :

Former **cinq groupes** (avec un accompagnateur et un GPS par groupe)

Mettre en route le GPS (appuyer sur le bouton  pendant 3 secondes) Laisser le GPS se caler sur le satellite (peut prendre quelques dizaines de secondes) Sur l'écran apparaît alors le mode « **exercice** » (si ce n'est pas le cas appuyer plusieurs fois sur le bouton «**MODE**», pour obtenir le mode « exercice »)

Appuyer sur le bouton «OK» à droite pour démarrer la mesure.

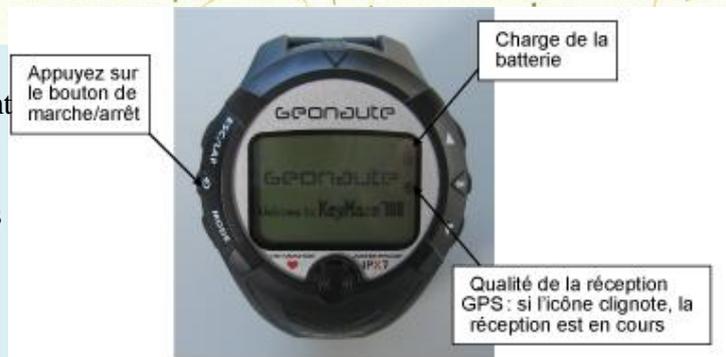
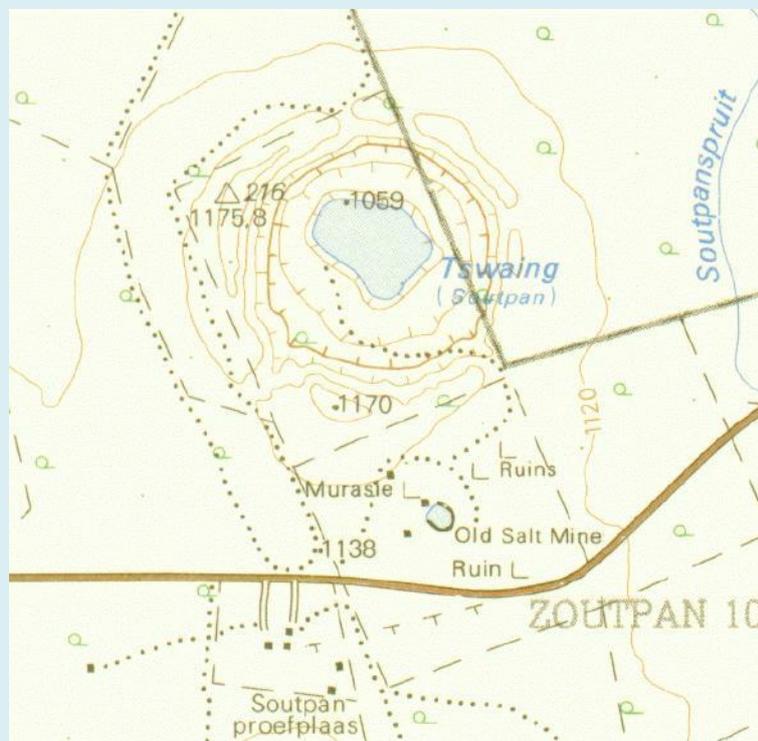
Une horloge s'inscrit entre les icônes de batterie et de satellite.

SUIVRE UN ITINERAIRE DETERMINE PAR LE PROF qui suivra les points de reliefs ou les courbes de niveaux.

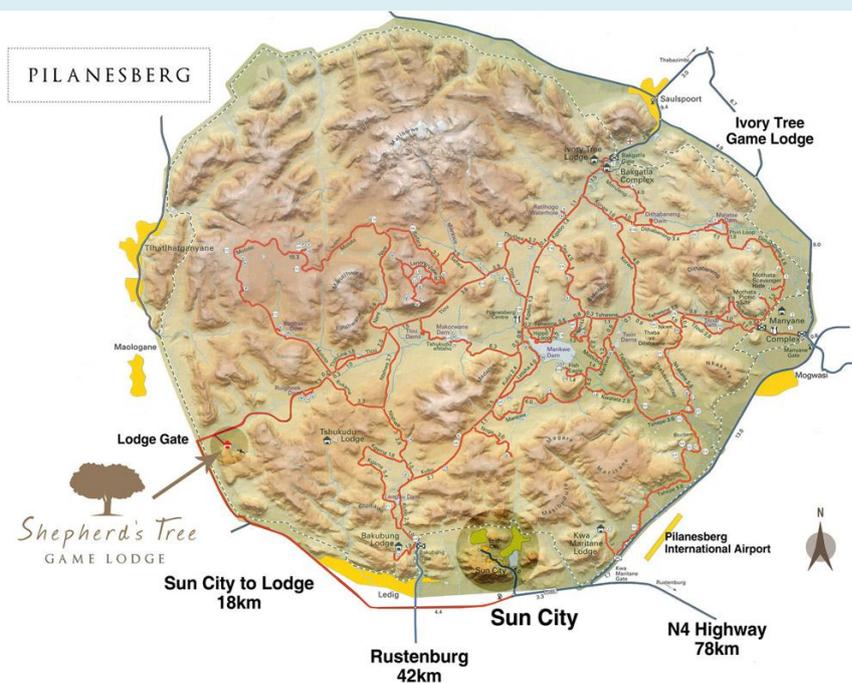
Pour arrêter momentanément l'exercice appuyez sur «OK» ; pour le reprendre appuyez à nouveau sur «OK»

Si vous désirez arrêter définitivement l'exercice, appuyez sur OK, puis sur «ESC» à gauche.

L'appareil vous demande alors si vous voulez enregistrer votre exercice. Choisir « YES » avec les boutons ▼ et ▲ à gauche.



Parc National du Pilanesberg



Le **Parc National du Pilanesberg** a une frontière commune avec le complexe de divertissement de **Sun City**. Le parc comprend une zone de 55 000 hectares. Sa forme est presque parfaitement circulaire, comprenant un anneau volcanique vieux de 1200 millions d'années, avec un petit lac au centre.

Cet environnement très scénique se situe dans la zone de transition entre le **Kalahari** et le **Lowveld**, et les deux types de végétation sont trouvés ici.

Le Parc National du Pilanesberg a été ouvert en 1979, suite à l'**Opération Genesis**, le plus grand projet de transfert d'animaux dans l'histoire de l'Afrique du Sud. Au début des années 80, plus de 6000 animaux en provenance d'autres parcs ont

ainsi rejoint le Pilanesberg. En 1993, des lions d'Etosha (un des parcs nationaux de Namibie) ont aussi été réintroduits dans le parc, en dépit de profondes inquiétudes des communautés environnantes. Depuis, les lions ont prospéré et se sont bien adaptés au parc. Une tentative semblable avec des guépards de Namibie a malheureusement échoué.

Le Parc National du Pilanesberg contient des populations importantes de lions, léopards, rhinocéros noirs et blancs, éléphants et buffles (qui constituent le fameux "**Big Five**" africain) Une large variété d'espèces rares cohabite avec des espèces locales endémiques telles que la hyène brune nocturne, le guépard, le majestueux, sable, aux cotés des girafes, zèbres, crocodiles et hippopotames, pour n'en citer que les plus fréquents.

Plus de 300 espèces locales d'oiseaux sont aussi recensés.

L'histoire du parc national de Pilanesberg est également unique parmi les parcs nationaux d'Afrique. Ses paysages attractifs, ses vallées bien-arrosées et ses possibilités attrayantes pour établir des campements en ont fait un emplacement privilégié pour une installation humaine depuis des milliers d'années.

Avant sa proclamation en tant que **réserve naturelle** en 1979, le complexe du parc s'est trouvé fortement dégradé et les populations indigènes d'animaux avaient presque complètement disparus à cause des activités agricoles dans la région.

Pour un coût considérable, le parc a été repeuplé de très nombreux animaux, les cicatrices de la présence humaine enlevées et l'infrastructure touristique a été développée durant les 15 premières années (entre 1979 et 1993).

Ceci constituait à l'époque le plus grand et le plus cher projet de réadaptation animale jamais entreprise en Afrique jusqu'alors.

Une clôture de 110 kilomètres de long a été érigée sur un terrain difficile, et 188 kilomètres de routes ont été construites pour permettre l'accès aux visiteurs.

Plus de 6 000 animaux ont été introduits durant le programme de relocation "opération Genesis".

C'est ainsi, alors que les ressources animales diminuent rapidement dans la plupart des pays en voie de développement en Afrique, le Parc National de Pilanesberg est l'un des quelques endroits où cette tendance a été nettement renversée.



Au point de vue géologique

Des anneaux presque parfaitement circulaires et concentriques formant les collines du **complexe du Pilanesberg** qui se dressent à pic dans le paysage monotone du Bushveld ne sont pas sans rappeler un cratère vieux volcanique, mais ce n'est pas exactement ainsi....

Sa structure, nommée " **Complexe de l'Anneau Alcalin** du Parc National du Pilanesberg" s'est formé il y a environ 1 500 million d'années. Avec une superficie de 55 000 hectares, c'est l'un des trois seuls **anneaux alcalins volcaniques** dans le monde - les deux autres étant au Groenland et en Russie.

Ses types de roches rares et sa structure en font un **phénomène géologique unique**.

Il y a seulement deux autres volcans alcalins au monde, en Russie et au Groenland. Aucun des deux n'est aussi clairement défini que celui du Parc National du Pilanesberg. Un nombre important de minéraux rares (mais pas forcément économiquement intéressants) peuvent aussi être trouvés au Pilanesberg. Le Parc National du Pilanesberg, pour toutes ces raisons, se classe indiscutablement parmi les phénomènes géologiques les plus intéressants au monde.

Les roches que nous trouvons dans Pilanesberg National Park sont d'origine ignée et se sont formés:

- 1- À la suite de **l'éruption explosive de magma**, du gaz et de fragments de roches (**roches pyroclastiques**);
- 2- À la suite de **coulées de lave** qui cristallise rapidement ;
- 3- À la suite de la **cristallisation du magma** sous la surface (**roches ignées intrusives**).

Bien que la géologie des parties du complexe du Pilanesberg montrent les **racines d'un ancien volcan** qui a éclaté il y a environ 1 500 millions d'années, les montagnes concentriques sont en fait des **restes d'érosion des digues d'anneaux intrusifs formés par la remontée du magma** pendant et après l'effondrement de du volcan.

La naissance du Pilanesberg s'est faite avec un **magma riche en éléments alcalins** de sodium (Na) et de potassium (K). Ce magma intrusif a causé **d'énormes pressions** sur le toit de la chambre magmatique.

Finalement, la pression est devenue si intense que des **fractures circulaires** ont divisé la croûte terrestre et que le magma, le gaz et les **pyroclastes** ont été violemment expulsés à travers la couverture de roches âgées du complexe de Bushveld et Waterberg.

Le Parc du Pilanesberg est localisé au milieu des dykes d'intrusions alcalines en forme d'anneaux.

Les roches qui ont été formées au cours de cette phase explosive début volcaniques sont appelé **tufs de cendres volcaniques**, et comprennent des couches de gros fragments à la base recouverts par des couches de fragments fins plus haut. Les tufs ne peuvent être observés que dans les zones situées dans le bas du parc, par exemple le long de la route Dithabaneng dans le secteur nord du Parc.

À la suite de cette éruption violente il n'y avait plus aucun support pour tenir la croûte sur la chambre magmatique, et la croûte s'y est effondrée.

Par conséquent, le magma qui était encore dans la chambre magmatique a été forcé vers le haut le long des fractures circulaires qui se sont développées précédemment et a coulé sur la surface où il a formé des **couches de laves solidifiée**.

La lave est encore visible à proximité de la jonction des routes de Dithabaneng et de Korwe.

Cette lave est à grain très fin en apparence, car elle a refroidi rapidement. Des cristaux bien formés qui s'observent dans la lave sont appelés **phénocristaux** de haute température. C'est une variété de **feldspath potassique** appelé **sanidine**, qui ont été formé en profondeur et ont été remonté par la lave.

Une partie du magma qui monté le long des fractures circulaires n'a cependant jamais éclaté à la surface, mais refroidi et cristallisé avant qu'il n'atteigne la surface et a donc bouché les fractures.

Les roches qui se sont formés de cette manière le long des fractures circulaires sont des **roches ignées intrusives** qui sont appelés « **dykes anneaux**» (**ring-dykes**)

Ces dykes anneaux sont composés de **foyaite** (aussi appelé **syénite néphéline**) et de **syénite**. Ce sont ces dykes anneaux qui se sont formés sous la surface, et qui sont exposés à l'érosion depuis 1 500 Ma. Ils composent les anneaux de montagnes de Pilanesberg. Les foyaïtes du Pilanesberg n'ont pas tous la même composition minérale et donc ont des noms différents. Quatre variétés de foyaïte sont distinguées dans le parc, à savoir la **White Foyaïte, la Red Foyaïte, la Green Foyaïte et la Ledig Foyaïte**.

Sterkfontein

Localisation de **Swartkrans (ZA-2)**, parmi les principaux sites de découverte d'hominines (australopithèques, ...), en Afrique :

Tchad (TD) :

- TD-1 – Bahr el-Ghazal
- TD-2 – Djourab

Éthiopie (ET) :

- ET-1 – Hadar
- ET-2 – Herto
- ET-3 – Omo

Kenya (KE) :

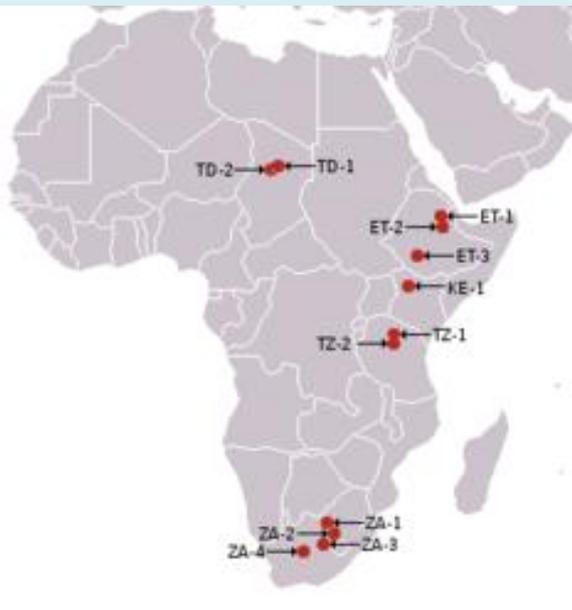
- KE-1 – Lac Turkana

Tanzanie(TZ) :

- TZ-1 – Gorges d'Olduvai
- TZ-2 – Laetoli

Afrique du Sud (ZA) :

- ZA-1 – Sterkfontein
- ZA-2 – Swartkrans
- ZA-3 – Kromdraai (en)
- ZA-4 – Taung (en)



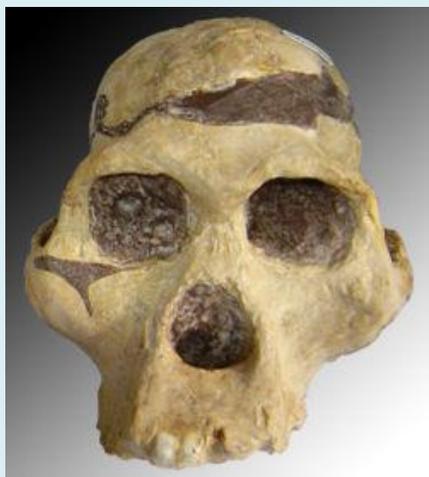
Archéologues sur la structure surplombant le site de Sterkfontein.

Sterkfontein (*source forte* en Afrikaans) est un site préhistorique et

paléoanthropologique occupant un ensemble de grottes situé dans la province du Gauteng, au nord-ouest de Johannesburg, près de Krugersdorp, en Afrique du Sud. Le site a livré de nombreux fossiles d'hominidés disparus et des industries lithiques du Paléolithique inférieur.

Avec les sites archéologiques voisins de Swartkrans, Kromdraai et Wonder Cave, Sterkfontein a été inscrit au **patrimoine mondial de l'Unesco** en 2000 sous le nom de « **Berceau de l'Humanité** ».

La collecte de vestiges a débuté à la fin des années 1890 lorsque des carriers exploitant le calcaire dans lequel s'ouvrent les grottes ont remarqué la présence de fossiles et les ont signalés aux scientifiques. Ce n'est qu'à partir de 1936 que des fouilles méthodiques ont débuté, sous la direction de Raymond Dart et Robert Broom de l'Université de Witwatersrand.



Ces fouilles conduisirent à la mise au jour de nombreux fossiles d'hominidés. En 1936 fut découvert le premier australopithèque adulte, apportant énormément de crédit à la position de R. Dart concernant le statut d'ancêtre de la lignée humaine proposée pour le fossile de l'« **enfant de Taung** » publié en 1924.

Les fouilles s'interrompirent durant la Seconde Guerre mondiale. En 1947, R. Broom découvrit un crâne quasiment complet d'*Australopithecus africanus* femelle adulte (ou peut-être d'adolescent mâle). Il proposa un nouveau genre et une nouvelle espèce (*Plesianthropus transvaalensis*, le presque humain du Transvaal) mais cette appellation ne fut pas retenue. Le fossile devint relativement célèbre sous le surnom de **Mrs. Ples**. Son âge est estimé entre 2,6 et 2,8 millions d'années (Pliocène).

Crâne de Mrs. Ples

En 1997, un squelette quasiment complet d'hominidé fossile a été découvert grâce à Ronald J. Clarke : après avoir identifié différents fragments d'ossements correspondant au pied d'un hominidé dans les collections anciennes provenant du site, il demanda à ses assistants Stephen Motsumi et Nkwane Molefe de chercher dans la brèche encore en place dans la grotte les fragments complémentaires. En moins de deux jours, ils avaient identifié la section d'un tibia se raccordant avec les os du pied qu'ils avaient en main. Le fossile, surnommé « **Little Foot** », a pu être dégagé progressivement de sa gangue de brèche carbonatée et s'est révélé exceptionnellement complet. Son dégagement se poursuit à l'heure actuelle. Son âge est difficile à établir et les résultats varient en fonction des méthodes employées entre 2,2 et 4 millions d'années.

Les fouilles se poursuivent et le nombre de 500 fossiles d'hominidés découverts fait de Sterkfontein l'un des sites les plus riches au monde de ce point de vue.



GÉOLOGIE DE LA PÉNINSULE DU CAP



Table Mountain - Les couches de grès forment les remparts recouvrant un socle précambrien de schistes et de granit



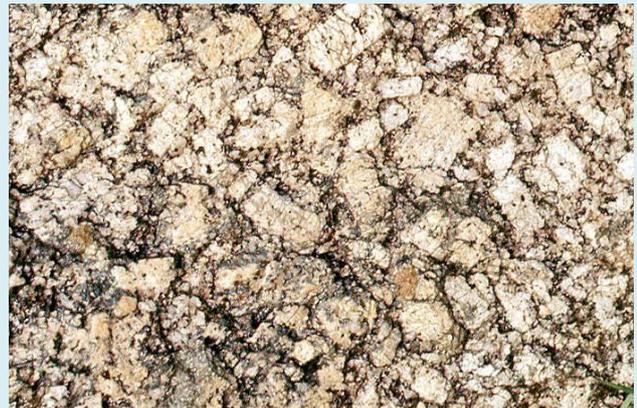
Le groupe **Malmesbury** daté de la fin du Précambrien est la plus vieille formation rocheuse dans la région, composé d'une alternance de fines couches de grès gris foncé (= grauwacke) à grains fins et d'ardoise, observés le long de la pointe rocheuse sur le littoral de Blouberg et à Sea Point. Ces sédiments ont été initialement déposés sur un ancien plateau continental dans des effondrements sous-marins et grâce aux courants. La séquence a ensuite été **métamorphosé** par la chaleur et la pression (enfouissement en profondeur) et **plié** dans une direction nord-ouest de telle sorte que les couches rocheuses sont maintenant presque à la verticale.

Le **granite** de la **péninsule** est un **pluton** (batholithe) énorme qui est entré en intrusion dans les roches du Groupe de Malmesbury il ya environ 630 millions d'années, cette roche initialement en fusion (magma) a cristallisé en profondeur, mais il a depuis lors été exposé à une érosion prolongée. Des blocs de granite aux formes d'érosion caractéristiques de boules sont visibles à Llandudno et Simonstown.

*De près, le granite est une roche à grains grossiers composée de cristaux de grandes tailles (2 à 5 cm) de couleur blanche ou rose (cristaux de **feldspath**), le **quartz** brun vitreux et des paillettes de **mica noir**, Il peut contenir des inclusions (**xénolites**) de roches cornéennes sombres (= roches de l'encaissant métamorphosées par la température).*

*Dans certains endroits, l'érosion intense a transformé le granite en **kaolin**, formant des sols **argileux** causant des problèmes de stabilité des routes. Un kaolin de haute qualité est extrait près de*

Fish Hoek et Noordhoek



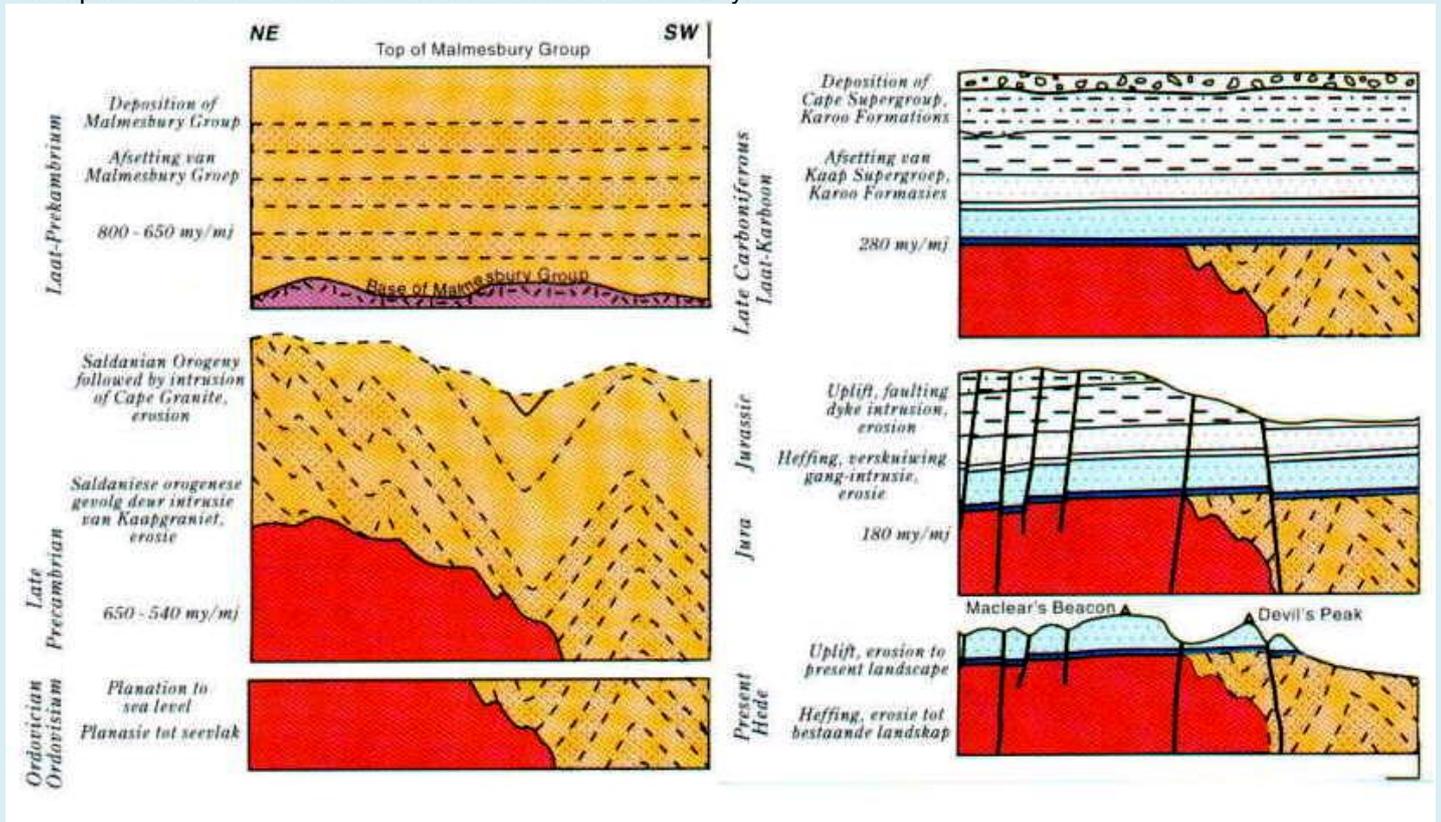
La zone de contact où les roches du Groupe de Malmesbury ont été intrudé par le granite en fusion peut être observée à Sea Point et a été rendue célèbre par Charles Darwin lors de son voyage de découvertes scientifiques sur le HMS Beagle en 1844. Ici, des roches de couleur foncée du Malmesbury, modifiées par la chaleur intense sont mêlées au granite intrusif de couleur pâle pour former une roche complexe mixte (**migmatites**). De gros cristaux de feldspath se forment en même temps dans le granite sombre. L'érosion du granite en surface a formé un support sur lequel les roches sédimentaires plus jeunes du groupe de la Montagne de la Table ont été déposés.

Les grès du Groupe de la Table Mountain ont été déposés sur cette surface érodée dans une zone de delta et de plaine côtière pendant environ 450 millions d'années. La route spectaculaire Chapman's Peak Roadway a été construite le long de la **discordance** entre le granite et les roches le recouvrant. Les sables, limons et boues ont été cimentés par la pression et ensuite plissés lors d'une orogénèse vers 280-230 Ma,

La Cape Fold Belt correspond aux montagnes de la côte sud et Ouest du pays, du Cedarberg à Port-Elizabeth.

- **La Formation « Basal Graafwater »** (300-450 m d'épaisseur) est constitué de grès interstratifiés brun pâle, rose et de siltstones (grès très fins) intercalés de schiste de couleur foncée. Pour les observer il vaut mieux voir les affleurements au bord de la route Chapman's Peak Drive. Un examen plus approfondi montre les cycles de dépôts de grès aux grains de plus en plus fins avec des schistes à grains marron au sommet, déposés dans des plaines inondables et les lagunes.
- **La Formation de la péninsule** (800-1500 m d'épaisseur), est composée de grès dur, gris clair contenant des galets de quartz grossiers. Il prédomine dans les falaises des zones escarpées. Son organisation suggère qu'il a été initialement déposé lors de la migration des bancs de sable dans les canaux d'un large fleuve.
- **Les Tillites de la Formation Pakhuis** sont formés par du gravier déposés lors d'**épisodes fluvio-glaciaires**. Elle s'observe sur les points les plus élevés de Table Mountain, tels que Maclear's Beacon. Elle contient des amas de rochers et de cailloux anguleux qui ont été déposés à un moment où le continent du Gondwana (dont l'Afrique constituait une partie) était situé à proximité du pôle sud.

Le paysage actuel est dû à l'érosion prolongée ayant taillé des vallées profondes. Les sédiments issus de cette érosion se retrouvent dans la région de Cape Flats. Certaines zones remplies de roches concassées (**brèche**) sont re-cimentée par du fer de couleur brun foncé et de l'oxyde de manganèse. Des échantillons d'un minéral riche en manganèse qui a été exploité au siècle dernier sont visibles au musée Hout Bay.



Événements récents :

Près de 50% de la péninsule du Cap et des plaines environnantes sont recouverts par des **sables marins** faiblement cimentés. Le niveau de la mer a fluctué entre -120 à 200 m du niveau actuel durant les **glaciations** du Pliocène et du Pléistocène (entre -2 millions et -15 000 ans) suite aux fluctuations de la température mondiale.

Parfois, la mer a recouvert les Cape Flats et la vallée de Noordhoek, la péninsule du Cap était alors un groupe d'îles. **Des sables de plage** avec des fragments de coquilles et des boues d'estuaire ont été déposés et plus tard recouverts par des « **calcrètes** » (= dunes de sable cimentés en surface par du carbonate de calcium)

La "**Rock Dune**" a été déposée au cours d'une période interglaciaire du Pléistocène, il ya environ 120 000 ans. Elle est aujourd'hui érodée dans la mer près de Swartklip. On y a retrouvé les restes fossiles d'un cheval géant disparu (*Equus capensis*)

Finbos

Le **finbos** ou *fynbos* est une formation végétale naturelle caractéristique du sud de l'Afrique du Sud (province du Cap-Occidental), limité à une mince zone côtière et montagneuse au climat méditerranéen.

Étymologie

En afrikaans, **Fynbos** signifie « Buisson fin ». Aujourd'hui, cette appellation est impropre et devrait être appelée macchia ou **maquis**. Néanmoins le terme "fynbos" reste majoritairement utilisé, surtout dans le langage courant.

Caractéristiques

Le climat est relativement pluvieux pendant l'hiver austral, mais est plutôt chaud et sec entre le printemps et l'automne. Généralement les sols des fynbos sont pauvres en matières organiques. Mais leur composition varie selon les régions. Argileux ou sablonneux, ils sont le plus souvent acides. Il est possible de distinguer deux types de fynbos dont la végétation n'est pas spécialement différente, c'est surtout les températures qui changent.

- **En montagne** le climat est généralement plus froid et des chutes abondantes de neige ne sont pas rares en haute altitude.
- Le long de la zone côtière les températures peuvent atteindre 40 °C et les embruns marins sont fréquents, en plus de vents parfois très forts.

Faune et flore

Les fynbos connaissent donc un climat capricieux et parfois hostile. Malgré tout ils possèdent une biodiversité absolument incroyable. C'est le composant majeur de la végétation dans le Royaume floral du Cap ou Région floristique du Cap. Les protéacées, restionacées et éricacées sont les familles les mieux représentées. Une grande diversité de plantes bulbeuses, de géraniums, de composées et de succulentes (Aloès, Euphorbes, Crassulacées, Aizoacées...) existent également. Ce type de végétation présente plusieurs milliers de plantes endémiques. La faune est moins exubérante que la flore, mais présente un certain nombre d'espèces. Les mammifères sont représentés notamment par des rongeurs, insectivores, mangoustes, babouins, félins, damans. Les grands mammifères sont plus rares, quelques antilopes surtout, bien qu'autrefois les éléphants, girafes, ou encore lions fréquentaient ses régions jusqu'au Cap. Le grand mammifère le plus emblématique est certainement le Zèbre de montagne du Cap, animal très menacé. On trouve un grand nombre d'oiseaux, de groupes divers. Les plus typiques restent les Souïmangas et les Promerops, ces derniers étant endémiques à cette zone. Il y a également une grande variété de reptiles et d'insectes.



Paysages de fynbos de montagne dans le Swartberg



Crassula coccinea au sommet de la Table Mountain entourée de paysage de fynbos



Mimetes cucullatus (Proteaceae), Bosmansbos, Western

Conservation et menaces

Étant donné leur climat capricieux et leur faible apport économique en l'état, une grande partie des fynbos ont été détruits soit pour le développement agricole, soit pour le développement urbain, notamment en périphérie du Cap. Une autre menace vient de l'introduction d'espèces étrangères comme le mimosa, l'eucalyptus, ou certains conifères, qui concurrencent les plantes indigènes surtout au niveau des réserves en eau. Un programme sud-africain de déboisement, justement, a été lancé pour éliminer ses plantes et donc protéger les espèces indigènes. Avec plusieurs centaines d'espèces, de genres et même de

familles endémiques cette zone nécessite une protection très intense.

Annexes 1 : Terminologies stratigraphiques

En Afrique du sud, on utilise principalement des terminologies purement *lithostratigraphiques*, c'est à dire décrivant les **séries sédimentaires uniquement sous l'angle de leur description** (composition, relations avec les couches voisines). L'unité de base de la lithostratigraphie est la **formation**, qui est "une unité stratigraphique à la lithologie suffisamment distinctive pour être cartographiable". Elle se subdivise en *membres* et *couches* (*beds*), et se regroupe en *groupe* et *supergroupe*.

En Europe, on utilise plutôt des terminologies *chronostratigraphiques*, c'est à dire décrivant les séries sous l'angle de leur **âge**. L'unité chronostratigraphique de base est le *système*, subdivisé en *séries* et *étages*, et regroupé en ères (*érathèmes*)

À chaque volume de roche chronostratigraphique correspond une période de temps : ère, période, époque ou âge.

Il n'y a pas de correspondance directe entre les terminologies litho- et chronostratigraphiques ; grossièrement, on peut proposer les équivalences ci-contre.

Unité chronostratigraphique (période de temps correspondante)	Equivalent lithostratigraphique approximatif
Erathème (ère)	Supergroupe
Système (Période)	
Série (Epoque)	Groupe
Etage (Age)	Formation
	Membre
	Couche

Annexes 2 : Vocabulaire scientifique pour le voyage en AFS

Boulder = <i>rocher</i> . Se dit souvent des rochers en forme de boules (généralement du granite)
Claystones = <i>argiles</i>
Cliff = <i>falaise</i>
Fault = <i>faille</i>
Ferricrete = <i>conglomérat ferrugineux</i> composé de sable de surface et de graviers cimentés dans une masse dure d'oxyde de fer provenant de l'eau de percolation. Le mot a pour origine « ferruginous concrete » (béton ferrugineux)
Greywackes ou Grauwackes = <i>grès grossier</i> se rapprochant d'un poudingue
Honfels = <i>cornéennes</i> . Les roches cornéennes sont des roches métamorphiques formées sous l'action d'une forte température (souvent c'est un métamorphisme de contact)
Outcrop = <i>affleurement</i> . Zone où des strates de roches sont exposées à la vue
Path = <i>sentier</i>
Range montain = <i>chaîne de montagne</i>
Sand = <i>sable</i>
Sandstone = <i>grès</i>
Shales = <i>schistes</i>
Sill – Dykes = <i>filon</i> dans une roches (sill souvent horizontal – dyke plus vertical)
Siltstone = <i>grès</i> à grains très fins
Siltstones = variété de <i>grès à grains fins</i> (formé de limon = silt) mais pas autant qu'une argile
Steplike = <i>gradin</i> . Se dit pour des couches géologiques dont l'affleurement ressemble à un grand escalier.
Tillites = <i>tillites</i> : dépôts glaciaires anciens (on parle aussi de moraines glaciaires)
Xénolith = <i>Xénolites</i> = <i>inclusion</i> étrangère ancienne dans une roche magmatique plus récente
Stratum or layer = <i>strate – couche géologique</i>
Deposit – Sediment = <i>dépôts sédimentaires – Sédiments</i>

