© D. Pourcher

3

Justification
de l'inscription

Justification de l'inscription

3.1.a Brève synthèse 236

3.1.b Justification de l'inscription sur la base du critère (viii) 238

Le rift continental : un phénomène tectonique qui remplit pleinement le critère (viii) 238

Description du processus de rupture continentale 241

Le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne : un exemple éminemment représentatif du processus de rift continental 242

3.1.c Déclaration d'intégrité 244

Le bien proposé contient tous les éléments nécessaires à l'expression de sa valeur universelle potentielle 244

Les dimensions du bien permettent d'inclure les différents processus géologiques à l'œuvre dans la rupture des continents, à une échelle qui permet tant de les percevoir que de les préserver 246

L'état de conservation du bien proposé répond aux exigences des Orientations et les menaces sont identifiées et maîtrisées 249

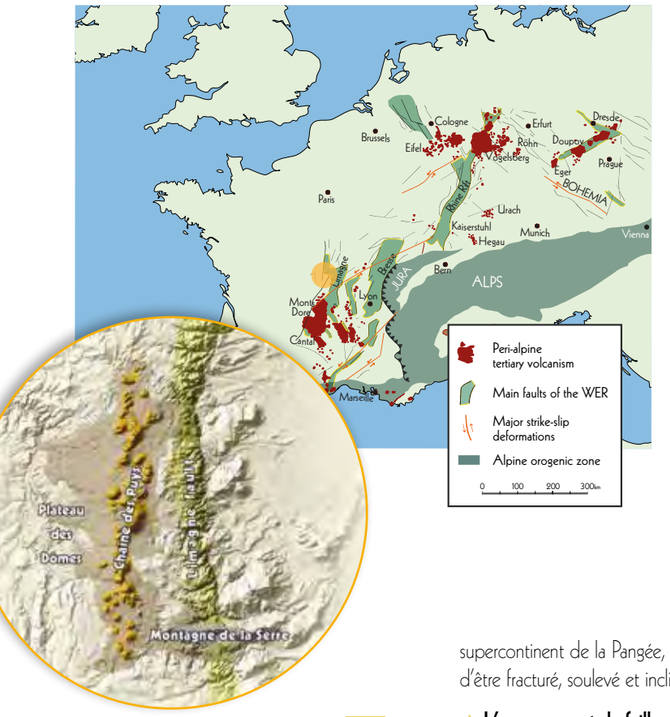
3.1.d Déclaration d'authenticité 252
(Ne concerne que les propositions d'inscription répondant aux critères (i) à (vi))

3.1.e Mesures de protection et de gestion requises .. 252
Une base législative ancienne et solide qui s'applique 252
aux propriétés publiques comme privées
Un plan de gestion partagé qui répond 254
aux menaces identifiées
Un porteur de projet fort et une gouvernance spécifique 255
en lien avec les acteurs locaux
Des ressources humaines et financières adéquates 256
pour les enjeux du site

3.2 Analyse comparative 257
La méthodologie appliquée : prérequis, indicateurs 258
et sollicitation d'experts
Les sites pré-selectionnés 262
Tableau des scores et analyse 277
Conclusion 280

3.3 Proposition de déclaration 281
de valeur universelle exceptionnelle
Brève synthèse 281
Critère (viii) 281
Intégrité 282
Protection et attendus de gestion 283

3 Justification de l'inscription



Le bien proposé au sein du rift Ouest-européen
(Source : CD63 d'après BRGM)

3.1.a Brève synthèse

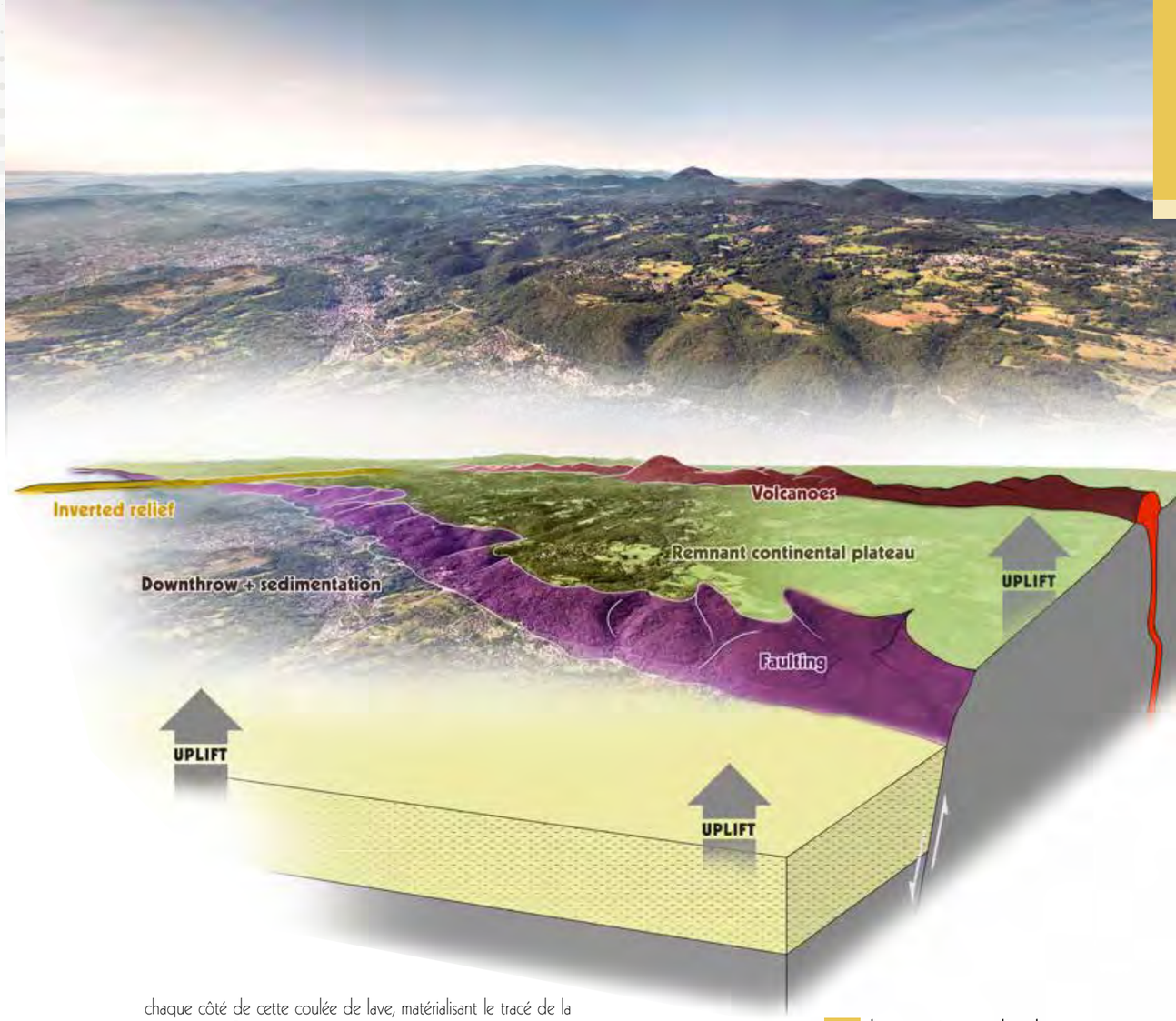
Contre-coup de la formation des Alpes, le rift Ouest-européen se déploie concentriquement autour de l'arc montagneux auquel il est spatialement et chronologiquement connecté. Segment emblématique de ce rift, le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne est situé dans le centre de la France, au cœur de la région Auvergne – Rhône-Alpes, et couvre une zone de 242 km².

Trônant dans un théâtre géologique naturel, ce site est une illustration exceptionnelle d'un phénomène majeur de l'histoire terrestre : la rupture des continents. Partie intégrante du cycle des plaques tectoniques défini dans les années 1960 par Tuzo Wilson, le processus de rift est remarquablement exprimé dans ce paysage par une concentration inégalée de ses principales composantes : fracturation, effondrement et sédimentation, volcanisme alcalin et soulèvement. Chacune de ces étapes essentielles est présente et clairement illustrée par les grands attributs du bien proposé (du plus ancien au plus récent) :

Le plateau des Dômes, relique de l'ancienne chaine de montagnes hercynienne. Ce relief montagneux, lié à la formation du supercontinent de la Pangée, a été complètement aplani par 350 millions d'années d'érosion, avant d'être fracturé, soulevé et incliné pendant la formation du rift Ouest-européen.

L'escarpement de faille de la Limagne. Ce relief de 30 km de long est le témoin de la fracture continentale, de l'affaissement (subsidence) et de la sédimentation qui se sont déroulés entre 37 et 25 millions d'années. La faille sépare le Plateau des Dômes, soulevé à une hauteur de 700 m, du large bassin de subsidence adjacent (le graben de Limagne). Durant sa formation, le graben a été comblé par des sédiments, l'amenant à hauteur égale avec le plateau. Une large portion de ces sédiments a ensuite été déblayée à la faveur du soulèvement, exposant le tracé de la faille et enregistrant une séquence sédimentaire caractéristique de l'histoire du rift.

Le relief inversé de la Montagne de la Serre. Cette coulée de lave du Pliocène (~3,4 ± 0,3 Ma) d'environ 9 km de long est un cas d'école de la mutation géologique des paysages et de la géomorphologie dynamique. Originellement située en fond de vallée, elle chevauchait des matériaux de l'ancien socle et des sédiments du graben qu'elle est venue « sceller » et protéger. Le soulèvement régional généralisé a entraîné l'érosion des roches sédimentaires les plus tendres de



chaque côté de cette coulée de lave, matérialisant le tracé de la paléovallée. Cette longue langue basaltique s'est ainsi muée en une ligne de crête (de 1 000 m de hauteur à sa base à 600 m à son extrémité), en faisant un marqueur majeur de cette phase de surrection. La Montagne de la Serre sert ainsi d'horloge géologique, puisqu'elle permet de décoder l'enchainement des processus géologiques en offrant de précieux « instantanés » du paysage. Le fait que la coulée de lave ne soit pas coupée par la faille et qu'elle ait été préservée sous forme de relief inversé, confirme que la fracturation et l'effondrement se sont produits avant sa mise en place et qu'ils étaient généralisés à l'ensemble du Massif Central.

L'alignement volcanique de la Chaîne des Puys. Ces quelque 80 édifices du Quaternaire (95 000 – 8 400 ans), sont une preuve directe du magmatisme alcalin constitutif de la rupture continentale. Ils forment tout à la fois le plus septentrional et le plus jeune des principaux ensembles volcaniques du Massif Central. Ils sont alignés le long d'un axe Nord-Sud de 32 km de long et 4 km de large (16 km si l'on inclut les coulées de lave), parallèlement à la faille bordière de Limagne, qu'ils redoublent visuellement. Le lien entre le volcanisme et la tectonique est un aspect universel du processus de rift. On le retrouve ailleurs dans le monde, mais jamais avec une telle netteté. De plus, la diversité des magmas retranscrite par l'éventail des formes volcaniques, démontre l'immense bouleversement subit par le socle continental pendant le processus de rift.

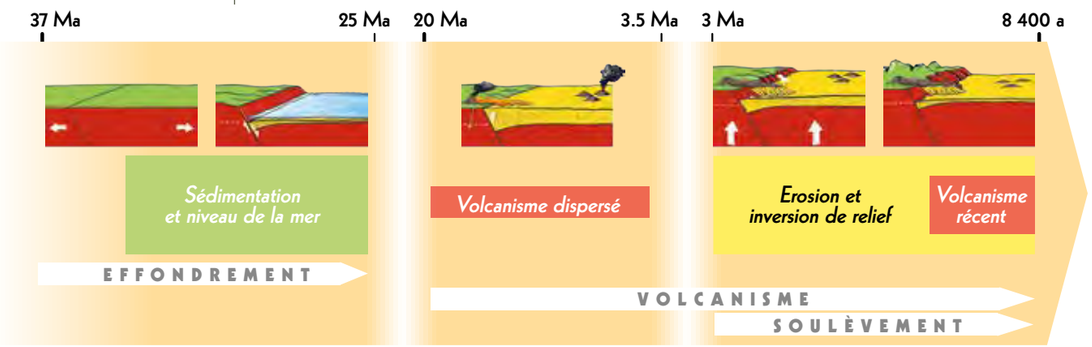
La succession complète de processus à l'œuvre dans la rupture des continents. Toutes ces caractéristiques sont concentrées dans le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne
(Source : A. Ith / CD63)

En conclusion, le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne présente la séquence complète des processus qui aboutissent à la rupture d'un continent : facturation de l'ancien socle continental et formation d'un bassin de subsidence, fusion des roches en profondeur générant un volcanisme alcalin le long de failles en surface, et soulèvement thermique de grande échelle. La concentration et la distribution des attributs du bien au sein d'une aire réduite offre une vision complète de tout le processus de rift. Elles éclairent sur les liens intrinsèques entre chacun de ces attributs et leur chronologie, dont la Montagne de la Serre permet de retracer le déroulement :

- Le développement de l'épaulement de rift ;
- L'âge des derniers mouvements tectoniques ;
- L'excavation du plan de faille de Limagne ;
- L'emplacement du volcanisme en lien avec les forces tectoniques ;
- Le soulèvement et l'érosion du socle et des sédiments ;
- L'évolution morphologique durant le soulèvement ;
- Les processus toujours à l'œuvre d'inversion de relief.

Si les morphologies typiques de graben sont présentes sur la Liste du patrimoine mondial, comme par exemple le paysage imposant du rift Est-africain, aucun bien inscrit n'illustre per se et dans son entièreté le processus de rupture continentale.

Le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne est sans équivalent au niveau international pour sa complétude, sa densité et sa clarté d'expression topographique. Il témoigne comme nulle part ailleurs, des liens chronologiques et génétiques qui unissent fracturation de la croûte terrestre, volcanisme et soulèvement, qui font du bien proposé un site éminemment représentatif de la formation d'un rift continental.



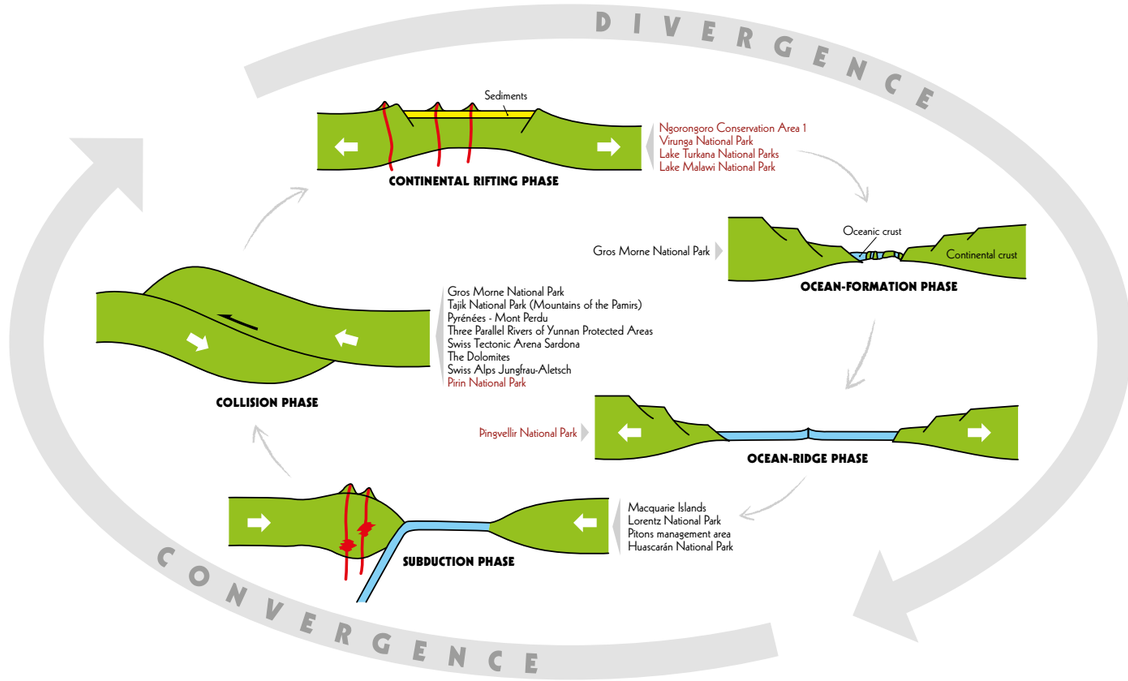
Temporalités de l'effondrement, de la sédimentation, du volcanisme et du soulèvement dans le rift de Limagne
(Source : D'après Michon et Merle 2001, modifié – dessins de D. Poughon)

3.1.b Justification de l'inscription sur la base du critère (viii)

Le rift continental : un phénomène tectonique qui remplit pleinement le critère (viii)

La tectonique des plaques est un paradigme essentiel des sciences de la Terre. Cette théorie fondamentale explique la dérive des continents, la physionomie actuelle de la surface du globe, ses transformations passées et à venir. **Le cycle complet des plaques tectoniques** a été théorisé par Tuzo Wilson. Il modélise le mouvement des continents, depuis leur stade premier en tant que large et unique plaque (dite « supercontinent »), à leur fracturation en plusieurs pans s'écartant les uns des autres. De manière cyclique, ces plaques se divisent (**phase de divergence**) avant de se heurter de nouveau les unes aux autres (**phase de convergence**).

La phase divergente du cycle de Wilson implique un étirement crustal initial et la fracturation du continent en deux segments qui commencent à s'écarter (**phase de rift continental**). La séparation définitive de ces deux fragments continentaux, qui aboutit à l'ouverture d'un nouvel océan, se produit après une période de transition de plusieurs millions d'années (**phase de formation océanique**). Durant cette dernière phase, les deux fragments de continents sont toujours rattachés par des bouts de croûte continentale, que le magma océanique érode progressivement. La fracture occasionnée, à travers laquelle afflue une quantité considérable de magma, forme in fine une ride océanique, couverte par un océan qui sépare les deux continents nouvellement créés (**phase de ride océanique**).



Le cycle complet des plaques tectoniques tel que proposé par Tuzo Wilson.
En noir : biens spécifiquement inscrits sur la Liste du patrimoine mondial pour leurs valeurs tectoniques
En rouge : biens avec un environnement tectonique mais inscrits sur la Liste du patrimoine mondial pour d'autres valeurs
(Source : CD63 d'après T. Wilson)

Du fait de la nature sphérique de la Terre, cette divergence enclenchée en différentes parties du globe a progressivement entraîné une nouvelle convergence des plaques à d'autres endroits. Lorsque deux plaques se rapprochent, la croûte océanique disparaît graduellement sous celle continentale (**phase de subduction**), fermant peu à peu l'océan qui les séparait. Lorsque ce dernier a totalement disparu, les continents entrent en collision et forment une chaîne des montagnes (**phase de collision**). **Une fois le cycle de Wilson complètement révolu, une plaque unique, ou supercontinent, se reforme de nouveau.**

Le dernier supercontinent formé fut la Pangée (~ 350 – 300 Ma) mais les scientifiques ont établi qu'il y avait eu avant cela au moins deux cycles complets de tectonique des plaques ayant conduit à la création d'un seul et grand continent. Chacun de ces cycles a duré plusieurs millions d'années : Rodinia (1 100 Ma) et Pannotia (600 Ma).

De la Pangée à nos sept continents actuels
(Source : CD63)

La Liste du patrimoine mondial reconnaît déjà l'importance des processus tectoniques liés à la dérive des continents. En effet, différents sites inscrits sous le critère (viii) illustrent des stades variés du cycle de Wilson, se concentrant plus particulièrement sur les divers aspects de la collision continentale (par exemple le parc national de Pirin, Bulgarie ; les Trois Rivières Parallèles des aires protégées du Yunnan, Chine ; les Dolomites, Italie ; le Pyrénées - Mont Perdu, France ; les Alpes suisses de Jungfrau-Aletsch, Suisse ; le Haut lieu tectonique suisse de Sardona, Suisse ; le parc national de Tajik (montagne du Pamirs), Tajikistan, etc…).

L'étude thématique de l'UICN Geological World Heritage: a global framework (2005) avait également identifié les "éléments tectoniques et structuraux" comme l'un des treize thèmes pertinents pour une inscription sous le critère (viii), citant en exemples les "éléments de dynamique crustale d'échelle planétaire incluant la dérive des continents" ainsi que les "systèmes de vallées de rift".

Les illustrations exceptionnelles de rupture continentale correspondent pleinement au critère (viii). Ce stade du cycle de Wilson n'est actuellement pas représenté sur la Liste du patrimoine mondial, alors que celui de la collision est illustré par plusieurs sites. Le bien proposé relève de cette catégorie et peut contribuer, avec d'autres sites, à combler cette lacune.

Description du processus de rupture continentale

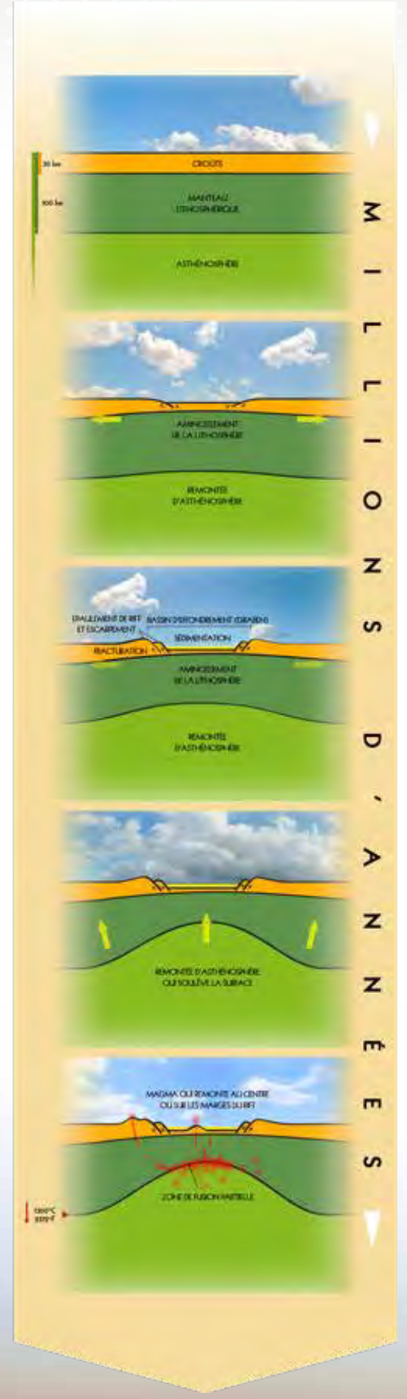
La rupture des continents se caractérise par un enchaînement de mécanismes interconnectés qui aboutissent à la séparation progressive de deux segments de croûte terrestre. Si l'ordre de la séquence peut varier selon le contexte tectonique du rift naissant, les éléments suivants sont par contre propres au phénomène et se retrouvent systématiquement :

- **L'extension** de la croûte continentale, qui mène à sa fracturation en profondeur et à la formation d'une structure d'effondrement (graben). La limite entre le socle ancien et le graben est marquée par une ou plusieurs failles bordières de large échelle. Le graben est souvent asymétrique et dans ce cas, la faille bordière n'est présente que sur l'un de ses côtés. C'est de fait le cas le plus répandu dans le monde. Le graben s'emplit progressivement de sédiments selon un enchaînement typique (sédiments détritiques, grès liés à l'érosion, et ensuite calcaires marneux formés dans un environnement lacustre) ;

- Les **roches fondues en profondeur** qui génèrent un **volcanisme** le long des lignes de failles en surface. Ce volcanisme est alcalin et peut se produire aussi bien dans le centre du rift que sur ses marges. Les bouleversements occasionnés dans le socle par la fracturation entraînent la production de laves différenciées du fait de la formation de chambres magmatiques intermédiaires ;

- Un **soulèvement** de large échelle. Ce soulèvement thermique génère une **élévation de la topographie** (notamment la création de **plateaux**) qui à son tour **accentue l'érosion** et donc expose des structures témoignant de ce phénomène, telles que des **inversions de reliefs** et des **ensembles de crêtes de même hauteur**. Des **sédiments marins** trouvés à haute altitude ou des **plateaux inclinés** à distance du rift peuvent également constituer des marqueurs de ce soulèvement thermique.

Ces trois phénomènes majeurs (fracturation, volcanisme, soulèvement) constituent ensemble un seul et même phénomène, la rupture continentale. Ils se font suite et sont pleinement interconnectés et interdépendants. L'échelle du rift affecte la proximité des morphologies en résultant mais cette interdépendance peut être perçue dans nombre de caractéristiques du site, notamment les alignements, les laves différenciées liées au régime de failles en profondeur, l'érosion prioritaire des strates sédimentaires et les inversions de relief dues au volcanisme et au soulèvement.



L'enchaînement des processus à l'œuvre lors de la rupture des continents
(Source : CD63)

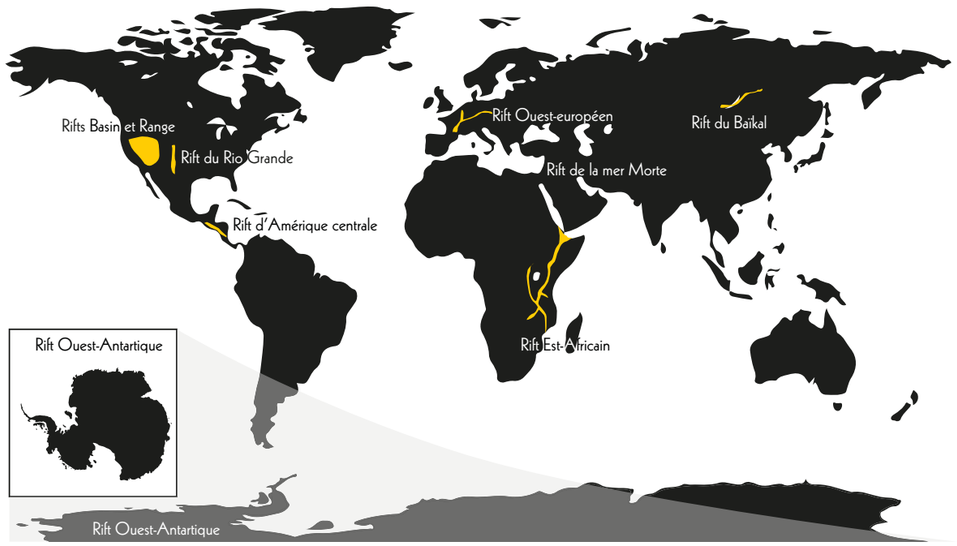
La trinité fracturation, volcanisme et soulèvement dans le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne
(Source : A. Ith)

Le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne : un exemple éminemment représentatif du processus de rift continental

Moins de **dix grands systèmes de rifts** sont visibles à la surface de la Terre : le rift Est-africain (REA) ; le rift de la mer Morte ; le rift du Baïkal ; la province des Basin and Range ; le rift du Rio Grande ; le rift d'Amérique centrale et le rift Ouest-européen. Le rift Ouest-antarctique, totalement recouvert par la glace, peut être rajouté à cette liste.

Du fait de l'échelle des systèmes tectoniques, qui s'étendent souvent sur plusieurs milliers de kilomètres, il est **impossible d'inscrire un rift entier sur la Liste du patrimoine mondial**. La stratégie qui a communément été suivie pour l'inscription de sites de collision continentale fut d'en sélectionner une portion hautement représentative. Une approche patrimoniale de la rupture des continents pourrait se faire sur ce même principe.

Chacun des huit grands systèmes de rift peut aisément être divisé en segments de taille appropriée pour une reconnaissance par le Comité du patrimoine mondial, et être pris comme base de comparaison avec le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne.



L'enchaînement des processus à l'œuvre lors de la rupture des continents
(Source : CD63)

L'analyse comparative, présentée au paragraphe 3.2 (pages 257 – 280), basée sur l'expertise de spécialistes mondiaux des rifts, fournit une vue d'ensemble de tous ces systèmes de rift dans le but de sélectionner pour comparaison les segments les plus complets et illustratifs.

Segment emblématique du rift Ouest-européen, le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne se distingue au niveau mondial car il concentre en un seul lieu l'ensemble des éléments illustrant le vaste et complexe processus de rupture continentale. Du fait de l'échelle des mécanismes à l'œuvre dans ce processus, les morphologies

D'un seul point d'observation, le vaste processus de rupture des continents peut être embrassé du regard dans la Chaîne des Puys – faille de Limagne
(Source : G. Fayet / CD63)

qui y sont associées sont souvent disséminées sur de grandes distances et non visibles toutes ensembles. Le bien proposé, bien qu'étant de taille équivalente aux autres sites comparés, est exceptionnellement compact. Il donne à voir d'un seul regard comment le socle continental s'est fracturé, effondré, permettant la remontée massive de magmas et un soulèvement significatif de toute la zone.

Le site comprend un escarpement de faille marqué qui forme une limite nette entre l'ancien plateau continental et le graben de subsidence, ce dernier étant presque totalement comblé par des sédiments. Durant les différents stades du processus de rift, du volcanisme alcalin a occasionné des coulées de lave en reliefs inversés, puis les édifices monogéniques diversifiés de la Chaîne des Puys. Toutes ces morphologies sont extrêmement distinctes et articulées dans le paysage et l'alignement parfait entre ce chapelet volcanique et la faille de Limagne témoigne du lien intrinsèque entre magmatisme et tectonique. De la même manière, la diversité notable des laves sur ce site est la conséquence directe du profond bouleversement du socle causé par la fracturation. Le soulèvement de large échelle et l'érosion afférente des sédiments, sont traduits distinctement par d'importants reliefs inversés et des expositions de séries sédimentaires caractéristiques des rifts. La Montagne de la Serre, qui chevauche et jointe le socle continental au bassin d'effondrement rempli de sédiments, a ainsi « scellé » l'enchaînement des processus géologiques dont elle permet de retracer l'ordre lors de la rupture continentale. Le fait que non seulement cette coulée de lave ne soit pas coupée par la faille de Limagne, mais en plus soit préservée dans l'inversion de relief, confirme le fait que le soulèvement a été généralisé dans la région et que l'érosion l'a suivi. La morphologie du site corrobore donc pleinement la séquence de rifting.

La plupart des segments de rift sont constitués d'un **demi-graben**, qui est la structure de subsidence la plus répandue sur Terre. Très peu de segments contiennent par contre, en un seul lieu, toutes les morphologies distinctes du processus de rupture des continents. Il est rare, si ce n'est unique de trouver la combinaison de fracturation, volcanisme et soulèvement aussi nettement réunis, exprimés et articulés que dans le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne. **La concentration, l'ordonnancement chronologique et l'évidente interdépendance de ses attributs géologiques sont inégalés au niveau international**.

Cette séquence complète est imprimée dans le paysage et met en lumière de manière inégalée l'ensemble du processus de séparation des continents, présentant les manifestations successives et typiques des systèmes de rift continental et leurs liens indissociables. C'est une des raisons pour lesquelles le site a, dès le XVIIIe siècle, servi de référence scientifique pour l'étude des processus géologiques fondamentaux.

Le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne constitue donc **un exemple éminemment représentatif du processus de rift**, ce qui justifie son inscription sur la Liste du patrimoine mondial au titre du critère (viii).

3.1.c Déclaration d'intégrité

Le bien proposé contient tous les éléments nécessaires à l'expression de sa valeur universelle potentielle

Comme précédemment décrit, la très grande échelle des rifts rend nécessaire de sélectionner les zones les plus pertinentes pour permettre une **appréhension complète de ce phénomène, dans tous ses composants et liens intrinsèques**. Les limites du bien proposé comprennent ainsi tous les éléments nécessaires pour illustrer les manifestations caractéristiques du processus de rupture continentale (cf. 3.1.b), ainsi que les géomorphologies qui témoignent de leur interdépendance fondamentale. **Ces attributs sont consubstantiels et doivent être considérés comme un tout**.

La faille de Limagne constitue une ligne de démarcation majeure avec le graben sédimentaire
(Source : J. Damase)

Le périmètre du bien proposé permet tout à la fois **d'inclure les meilleures expressions des caractéristiques majeures du phénomène, d'en avoir une perception globale et de mettre en place des mesures de gestion adaptées et réalistes**. Le Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys - faille de Limagne comprend ainsi :

- Une faille bordière majeure qui sépare clairement le socle continental ancien (Plateau des Dômes) du large graben sédimentaire en contre-bas. Elle constitue le signe distinctif de la fracturation continentale et de la formation d'un grand bassin de subsidence qui s'est progressivement empli de sédiments. Le bien inclut également des évidences de ce processus à plus petite échelle : stries tectoniques, affleurement du plan de faille, séquences sédimentaires caractéristiques des lisières de rift (sédiments détritiques et grès, suivis de calcaires marneux lacustres) ;

- Un alignement volcanique complet, la Chaîne des Puys, avec ses formes fraîches et non érodées (Pléistocène – Holocène), ainsi que les morphologies volcaniques du Pliocène telles que la Montagne de la Serre. Les quatre-vingt édifices différenciés et leurs coulées fournissent un éventail complet des laves alcalines caractéristiques du volcanisme de rift. La Chaîne des Puys et le volcanisme Pliocène témoignent des transformations subies en profondeur par la croûte continentale, des fusions différenciées et du fractionnement afférents des roches ;

- Un plateau complètement pénéplainé, relique du socle montagneux hercynien. Le Plateau des Dômes forme l'épaulement de rift et sert de support aux édifices volcaniques. Son altitude moyenne de 900 m témoigne du soulèvement généralisé de toute la région. Il s'incline également vers l'extérieur du graben, signe supplémentaire de cette surrection ;

- Un relief inversé de grande échelle, la Montagne de la Serre, longue de 9 km. La présence d'un relief inversé est un témoin classique du soulèvement régional. L'érosion subséquente a progressivement « déchaussé » le graben de ses sédiments. La Montagne de la Serre fournit ainsi des informations essentielles sur l'érosion différenciée entre le plateau ancien et le bassin de subsidence. Le fait qu'il n'y ait pas de différence de hauteur perceptible au sein de cette coulée de lave qui enjambe la faille de Limagne sans en être affectée, indique clairement la chronologie du rift : la fracturation a précédé le volcanisme du Pliocène et le soulèvement s'est produit à sa suite.

La Montagne de la Serre, un exemple classique de relief inversé
(Source : H. Monestier)

Ces attributs fondamentaux, autant que leurs relations intrinsèques (alignement volcanique strictement parallèle à la ligne de faille ; relief inversé enjambant la faille sans être coupé ; série sédimentaire continue scellée par la coulée de lave Pliocène) font tous partie intégrante du périmètre du bien. Ils permettent une représentation et une compréhension complètes du processus de rupture continentale, et en montrent les effets sur le paysage à large comme à petite échelle.

Tous ces éléments sont assemblés et proportionnés entre eux, formant un ensemble géologique cohérent, visible et paysagèrement distinct du reste de l'Auvergne. Leur ordonnancement naturel permet d'appréhender le phénomène de rupture continentale dans sa totalité et souligne les liens génétiques et chronologiques entre les différentes phases du rift.

Quant à la zone tampon, elle englobe toutes les parties du Plateau des Dômes qui, sans être de valeur universelle exceptionnelle, sont essentielles à la connectivité des attributs, leur gestion et la préservation visuelle des abords du bien.

L'alignement volcanique récent sur le plateau hercynien
(Source : G. Fayet)

Les dimensions du bien permettent d'inclure les différents processus géologiques à l'œuvre dans la rupture des continents, à une échelle qui permet tant de les percevoir que de les préserver

Le périmètre du bien proposé a été défini de manière à donner une pleine représentation des processus à l'œuvre dans la rupture des continents tout **en prenant en considération les aspects de protection, de gestion et d'intégrité**. L'échelle retenue permet donc tout à la fois d'inclure les meilleures expressions du phénomène, de les percevoir et de les préserver.

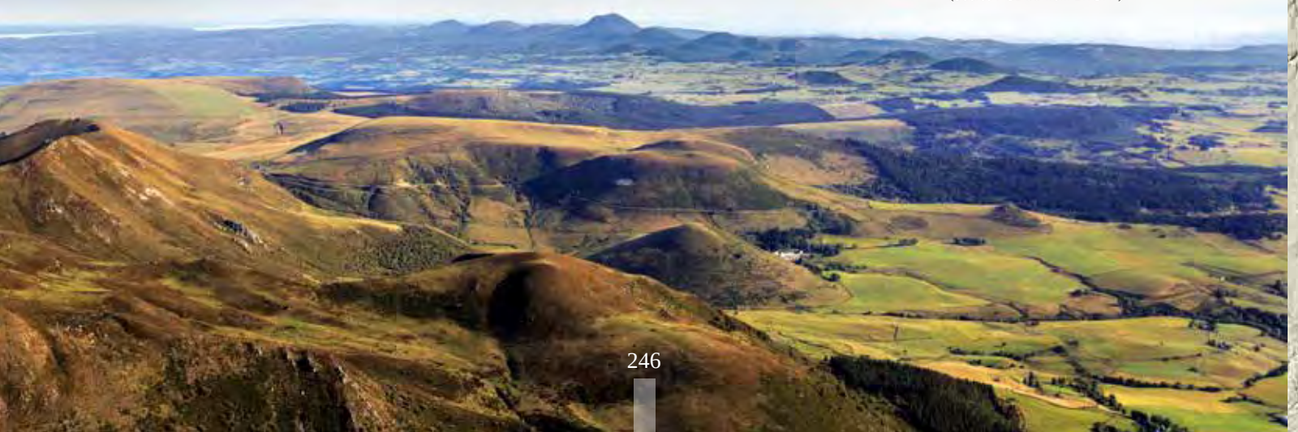
Il englobe **sans discontinuité spatiale** tous les éléments géologiques de valeur universelle exceptionnelle, mais seulement ceux-ci, conformément aux paragraphes 88 et 93 des Orientations, laissant dans l'environnement immédiat du bien ou sa zone tampon, des structures moins significatives, altérées ou touchées par le développement.

A l'instar d'autres segments de rift étudiés dans l'analyse comparative, le bien relève bien-entendu d'un environnement tectonique plus large. Cet environnement tectonique comprend notamment les massifs volcaniques beaucoup plus anciens du Sancy, du Monts Dore, du Cézallier et du Cantal, distants de plusieurs dizaines de kilomètres (voir carte de situation du bien à l'échelle du volcanisme du Massif central). A ceux-là s'ajoute le vaste bassin sédimentaire de Limagne et ses marges continentales (Monts du Forez), qu'il n'était pas pertinent d'inclure du point de vue patrimonial et au regard des Orientations de la Convention, car :

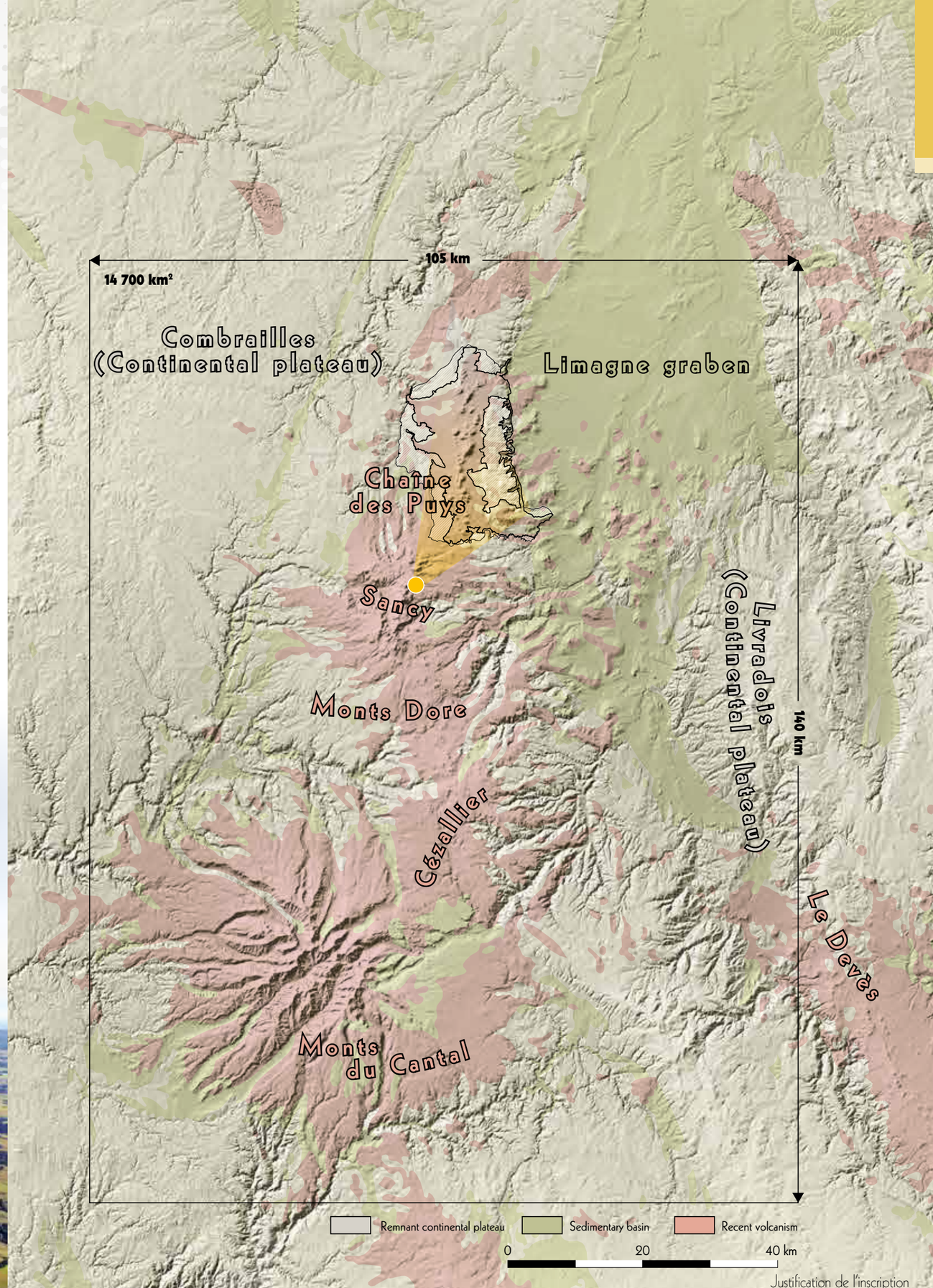
- les relations intrinsèques avec ces champs volcaniques éloignés ne sont ni perceptibles ni scientifiquement prouvées. En outre, du fait de leur ancienneté, ces massifs volcaniques ont été altérés par l'érosion glaciaire et leurs caractéristiques volcaniques sont bien moins distinctives que la Chaîne des Puys (cf. stratovolcans sans la même richesse de laves ni la même typicité paysagère) ;

- l'inclusion des deux marges bordières et de l'ensemble du graben n'est pas nécessaire pour illustrer le phénomène de rift au risque de présenter un bien dix fois plus grand et ne présentant pas les conditions de VUE et d'intégrité requises. Le graben sédimentaire de 45 km de large inclut ainsi peu d'éléments géologiques de valeur patrimoniale et ne permet pas une gestion maitrisée du fait des activités humaines qui y ont cours. Par ailleurs, sa taille est beaucoup trop vaste et disproportionnée par rapport à celle du bien proposé (14 km de large) ;

Le bien proposé vu depuis le massif du Sancy, à 10 km de distance. La faille de Limagne est difficilement visible, justifiant un périmètre plus restreint
(Source : A. Ith)



L'environnement tectonique élargi du bien proposé. Le point jaune figure la vue éloignée du massif du Sancy (photographie ci-contre)
(Source : CD63 from BRGM)



- Une marge bordière (Plateau des Dômes) et la vision de la seconde depuis le bien (Monts du Forez) suffisent à la représentation du processus de rift, d'autant qu'à l'instar de nombreux rifts du monde, celui de Limagne est dissymétrique et son effondrement est bien plus profond à l'aplomb du Plateau des Dômes qu'à la base du massif du Forez ;

- la faille de Limagne et le Plateau des Dômes constituent de fait les plus remarquables illustrations des phases de fracturation et d'effondrement (rupture nette et linéaire ; hauteur marquée ; limites visibles à grande et petite échelles entre plateau ancien et zone sédimentaire) ;

- en ce qui concerne la phase de soulèvement, la Montagne de la Serre se distingue des autres inversions de reliefs présentes dans la plaine de Limagne par l'importante de sa longueur et le fait qu'en chevauchant faille et graben, elle permet de reconstituer la chronologie complète du rift ;

- la taille énorme de l'environnement tectonique complet du rift de Limagne (14 700 km²) serait largement supérieure à la moyenne des biens géologiques inscrits au patrimoine mondial et, outre qu'elle ne satisferait pas à la démonstration de la VUE et de l'intégrité requises, elle poserait de réelles difficultés de gestion.

Il est cependant à noter que l'on voit nettement le bassin sédimentaire depuis le bien proposé dont il est mitoyen, et l'escarpement de faille (entièrement inclus dans le périmètre) est la plus remarquable illustration de l'effondrement. De même, les autres massifs volcaniques éloignés sont visibles depuis le bien, permettant une appréhension plus large du phénomène magmatique. Le bien est d'une taille comparable à de nombreux sites naturels inscrits sur la Liste du patrimoine mondial : **il ne s'agit donc ni d'un modèle réduit, ni d'un site aux dimensions démesurées ne pouvant être préservé**.

En conclusion, la dimension d'un phénomène tel que la rupture d'un continent nécessite de choisir un périmètre tout à la fois cohérent, préservé et hautement significatif pour une inscription au patrimoine mondial. La zone proposée est la **quintessence d'un processus de rifting dont elle comprend toutes les expressions archétypales**. Elargir son périmètre n'apporterait pas plus d'attributs, au contraire, cela amoindrirait son intégrité ainsi que l'appréciation visuelle du phénomène global de rupture continentale.

L'état de conservation du bien proposé répond aux exigences des Orientations et les menaces sont identifiées et maîtrisées

Les édifices géologiques inclus dans le périmètre du bien sont très majoritairement intacts : ils sont préservés de l'urbanisation ; l'érosion demeure très superficielle et n'a pas altéré les structures ; les activités d'extraction n'ont concerné qu'une partie mineure du bien proposé. Plus globalement, les impacts humains sont restés limités et n'ont aucunement compromis la valeur géologique de l'ensemble Chaîne des Puys – faille de Limagne.

Ce caractère préservé, malgré la proximité de l'aire urbaine clermontoise, est lié à plus de quarante ans de mesures de gestion et de protection du site portées par l'Etat français et les acteurs locaux. Cette conscience ancienne de la valeur patrimoniale de ce territoire et la volonté de préservation qui en a découlée, constituent des gages forts de maintien à long terme de cette intégrité.

Quatre menaces principales ont été identifiées sur le site, qui font toutes l'objet de mesures préventives et correctives depuis plusieurs années, tant à travers la règlementation nationale que par les actions définies et mises en œuvre dans le plan de gestion afférent à la démarche d'inscription :

- **Carrières**

La réglementation nationale interdit toute nouvelle ouverture dans le site classé de la Chaîne des Puys. Les deux carrières de pouzzolane encore en activité, d'une surface équivalente à 0,1% du bien, ont été temporairement exclues du périmètre proposé, ce jusqu'à leur fermeture définitive et réaménagement complet. Un engagement officiel de la ministre de l'Ecologie a été pris le 9 octobre 2015 de ne pas autoriser le renouvellement des permis d'exploitation de ces carrières lorsqu'ils arriveront à leur terme en 2018 et 2030.

- **Urbanisation et réseaux de communication**

Le site n'est que très faiblement urbanisé : 4 000 habitants en zone cœur, soit 16 habitants par km², et moins de 21 000 habitants en zone tampon. Sa situation tant géographique que climatique le

La carrière de la Toupe à l'extrémité Sud du bien. Elle représente moins de 0,1% du périmètre.
(Source : A. Ith)

L'urbanisation est très limitée dans le bien proposé
(Source : A. Ith)

rend moins attractif que la plaine résidentielle de Limagne. Des protections effectives et adaptées sont par ailleurs en place : **inconstructibilité sur les attributs du bien et limitation de l'urbanisation en continuité des villages existants sur la zone tampon**. L'urbanisation est donc aujourd'hui contenue et les dernières données démographiques indiquent même une légère baisse de la population sur le bien et de faibles taux de résidences secondaires (8,7%).

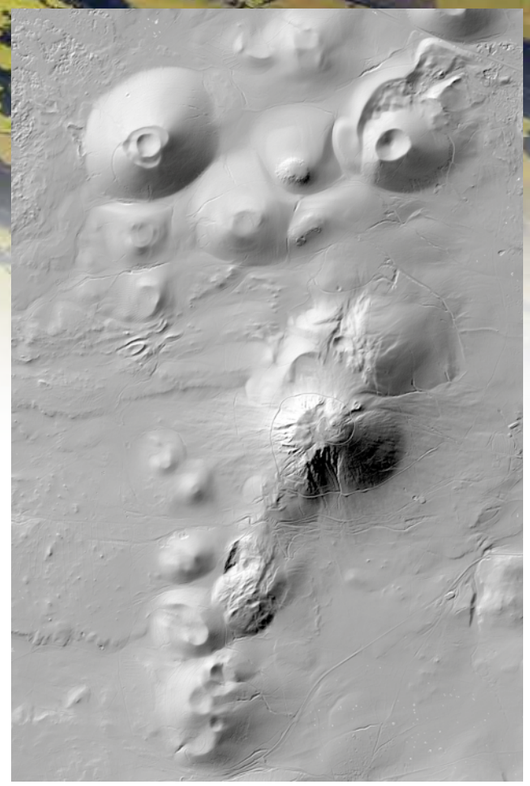
Boisements et recouvrement des formes géologiques

La forêt est en partie présente sur le bien proposé, en particulier sur la faille et les coulées volcaniques. Si cela constitue un intérêt écologique, pédologique et climatique certain, protégeant de plus les structures de l'érosion, ce couvert végétal s'il est mal maîtrisé peut masquer certaines morphologies. Bien que les édifices géologiques restent aisément identifiables dans le paysage, le plan de gestion s'attache à renforcer leur lisibilité. Pour cela, il prévoit de préserver les sommets déjà pâturés et de favoriser la remise en pâture d'une dizaine d'autres, grâce à un travail étroit avec les éleveurs et les propriétaires fonciers. Il prévoit également un travail spécifique sur la forêt à travers de nouvelles méthodes de coupes de bois et une mise en valeur de certains volcans par une diversification des essences forestières.

Pour ce qui est de la faille de Limagne, la forêt y joue un rôle protecteur essentiel en tant que limite d'urbanisation avec la ville de Clermont-Ferrand en contrebas. Cet espace boisé, qui ne nuit en rien à la visibilité de la structure tectonique, a été identifié dans les différents documents d'urbanisme comme **prioritaire et à préserver**. Enfin, le Plateau des Dômes et la Montagne de la Serre sont relativement peu concernés par les boisements.

Erosion des sols liée à la fréquentation

L'érosion naturelle est limitée par la végétation et affecte peu le bien. L'érosion anthropique, qui est elle liée à la fréquentation de sentiers de randonnées ainsi qu'aux pratiques sportives, concerne quatre des quatre-vingt édifices volcaniques de la Chaîne des Puys. Les secteurs de la faille de Limagne et de la Montagne de la Serre, aux sols peu fragiles, ne sont eux pas du tout touchés. Les facteurs d'érosion font l'objet d'un suivi précis et de mesures d'accompagnement afin de réduire leurs effets. Plusieurs actions préventives et correctives sont ainsi menées : campagnes de sensibilisation ; limitation de certains usages (exploitation forestière, tourisme) ; aménagements intégrés et travaux de restauration sur certains sentiers.



Données altimétriques (LIDAR) pour le secteur central de la Chaîne des Puys
Cette image confirme que l'érosion est principalement superficielle et ne doit pas être confondue avec des plissements et des failles tectoniques
(Source : P. Boivin, EAVUC, Université Clermont Auvergne)

En conclusion, le bien proposé bénéficie de longue date de mesures de protection et de gestion. Il est soumis à une réglementation stricte, parmi la plus forte de l'arsenal juridique français en matière de paysages et d'environnement (Cf. 3.1.e). Il fait l'objet de mesures adaptées aux menaces identifiées à la faveur d'un plan de gestion opérationnel depuis cinq ans et doté des moyens humains et financiers adéquats. Ce site géologique est faiblement urbanisé, très peu altéré dans ses structures géologiques et **son état de conservation satisfait aux exigences des Orientations en matière d'intégrité du critère (viii).**

3.1.d Déclaration d'authenticité

Cette déclaration n'est pas requise pour les propositions d'inscription sous les critères (vii) à (x).

3.1.e Mesures de protection et de gestion requises

Le site fait l'objet depuis plus de 80 ans de mesures de gestion et de protection[1], qui se sont particulièrement accentuées depuis 40 ans avec la création du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne en 1977, l'extension du site classé en 2000, l'opération Grand Site en 2008[2], et enfin la mise en place en 2012 du plan de gestion dédié dans le cadre de la démarche d'inscription sur la Liste du patrimoine mondial. Ces mesures de gestion ont été largement impulsées par les acteurs locaux et accompagnées par l'Etat, ce qui montre et garantit la volonté du territoire et de l'Etat français de préserver ce site exceptionnel.

Le maintien de la valeur universelle exceptionnelle du Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne et la préservation des attributs géologiques qui la sous-tendent reposent donc sur l'association d'un cadre règlementaire solide et ancien ; d'un plan de gestion opérationnel ; d'une gouvernance spécifique et de moyens humains et financiers appropriés.

Une base législative ancienne et solide qui s'applique aux propriétés publiques comme privées

Conformément aux paragraphes 97 et 98 des *Orientations devant guider la mise en oeuvre de la Convention du patrimoine mondial*, la protection et la valorisation du Haut lieu tectonique Chaîne des Puys - faille de Limagne sont garanties par un dispositif législatif national et des documents réglementaires d'aménagement du territoire.

Ainsi, trois dispositifs réglementaires nationaux permettent un contrôle direct de l'Etat sur les principales menaces identifiées (urbanisation, carrières, atteinte aux édifices) et s'appliquent aussi bien aux propriétés publiques que privées :

- La totalité du territoire du site est couverte par la loi Montagne (loi du 9 Janvier 1985), qui interdit par principe l'urbanisation en discontinuité du bâti existant ;
- Le schéma des carrières, porté par l'Etat, interdit l'ouverture de toute nouvelle carrière dans la Chaîne des Puys. Dans le cadre de ce dossier, l'État français s'est également engagé à ne pas renouveler les autorisations existantes des deux carrières de pouzzolane aujourd'hui en activité, dispositions qui seront reprises dans le futur schéma régional (approbation prévue en décembre 2019) ;
- 66,3 % du bien, dont ses parties les plus sensibles (160,7 km²), sont couverts par un « site classé » (56%) ou un « site inscrit» (10,3%), deux des dispositifs réglementaires les plus forts en France[3]. En site classé, toute modification de l'état ou de l'aspect du site sur des propriétés publiques ou privées est soumise à une autorisation spéciale du ministère de l'Ecologie. Ce classement prévoit également des restrictions d'usage (constructions, camping ou caravaning sont interdits).

D'autres dispositifs nationaux et locaux offrent des protections significatives complémentaires, aussi bien sur la zone cœur que sur la zone tampon :

- Le bien est couvert par des schémas locaux (**charte du parc, schémas de cohérence territoriale et plans locaux d'urbanisme**) qui encadrent la construction et l'occupation de l'espace. Les principaux attributs du bien (Chaîne des Puys, faille de Limagne et Montagne de la Serre) y sont notamment identifiés comme cœurs de nature à préserver ;
- Des dispositifs nationaux et locaux offrent des protections spécifiques sur les zones écologiquement remarquables (**Natura 2000, Espaces naturels sensibles**) ;
- Enfin, les **règlementations des boisements** permettent d'imposer des stratégies de partage de l'espace entre forêt et pâtures.

L'ensemble Chaîne des Puys – faille de Limagne est protégé par des mesures réglementaires nationales et locales strictes
(Source : A. Ith)

1 - Classement du volcan du puy de Dôme en 1933 au titre des paysages et des sites.

2 - Sixième site labellisé en France.

3 - Aire protégée de catégorie III UICN.

Plus globalement, dans l'esprit de ce qu'encourage l'UICN, le Code de l'environnement français prévoit la mise en œuvre **d'études d'impact et d'évaluations environnementales** pour certains documents de planification ainsi que pour la réalisation d'ouvrages d'importance. Dans le cas d'un site patrimoine mondial, le cahier des charges de ces études comprend nécessairement un volet relatif à la préservation de la VUE du bien inscrit. Ces dispositions assurent donc :

- La prise en compte du site patrimoine mondial dans les documents d'orientations stratégiques incluant le bien et notamment : le schéma des carrières, la charte du parc naturel, le schéma énergétique régional… ;
- Une protection forte contre tout projet d'envergure pouvant menacer le bien, la valeur patrimoniale étant pleinement intégrée aux études d'impacts préalables à l'autorisation dudit projet.

Un plan de gestion partagé qui répond aux menaces identifiées

En vigueur depuis 2012, le plan de gestion dédié à la préservation de la valeur universelle exceptionnelle a été construit pour répondre de manière opérationnelle aux principaux enjeux et menaces qui concernent le bien (carrières, érosion, conflits d'usage, fermeture des paysages, développement). S'appuyant à la fois sur les mesures réglementaires décrites ci-avant et sur un cadre contractuel volontariste, il s'articule autour de trois grands axes :

Axe 1 : La préservation de la lisibilité et de l'intégrité des structures géologiques
Axe 2 : La gestion de la fréquentation touristique et le maintien des activités traditionnelles locales
Axe 3 : la sensibilisation et la diffusion des connaissances et informations sur le site et ses fragilités

C'est un document opérationnel et programmatique qui a été **adopté par tous les partenaires institutionnels** de la candidature et qui les **engage tant politiquement que financièrement**. Une attention particulière a été ainsi apportée à la **mise en cohérence des politiques respectives des différentes autorités locales**. Il comprend à la fois des actions transversales portées sur l'ensemble du bien (sensibilisation, surveillance, communication, outils d'accueil des visiteurs, accompagnement de l'agriculture et de la sylviculture, gestion des déplacements…) et des actions de gestion intégrée portant sur certains édifices ou secteurs cibles. Ces actions de **gestion intégrée** combinent mise en valeur paysagère des structures géologiques, lutte contre l'érosion et régulation des visiteurs, gestion agricole et forestière dans le respect de la biodiversité.

Un porteur de projet fort et une gouvernance spécifique en lien avec les acteurs locaux

En lien avec l'Etat français, le Département du Puy-de-Dôme et le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne sont chargés du pilotage et de la mise en œuvre opérationnelle du plan de gestion. Dotés par la loi de champs de compétences larges (espaces naturels, randonnées, tourisme, agriculture, forêt, mobilité, stratégie d'aménagement du territoire), ils disposent de tous les leviers nécessaires pour agir sur les principaux enjeux auxquels le bien proposé peut être confronté.

Le plan de gestion prévoit également une gouvernance spécifique associant l'ensemble des partenaires institutionnels et des parties-prenantes du site : Etat, Département, Parc, Région, communes et leurs groupements, scientifiques, associations de défense de l'environnement, acteurs économiques (dont représentants d'agriculteurs, de forestiers et de carriers) et touristiques, propriétaires et usagers.

Sa déclinaison en projets opérationnels permet également d'associer plus particulièrement les communautés locales directement concernées, soit géographiquement quand le projet couvre une zone ciblée (par exemple un édifice), soit par thématique.

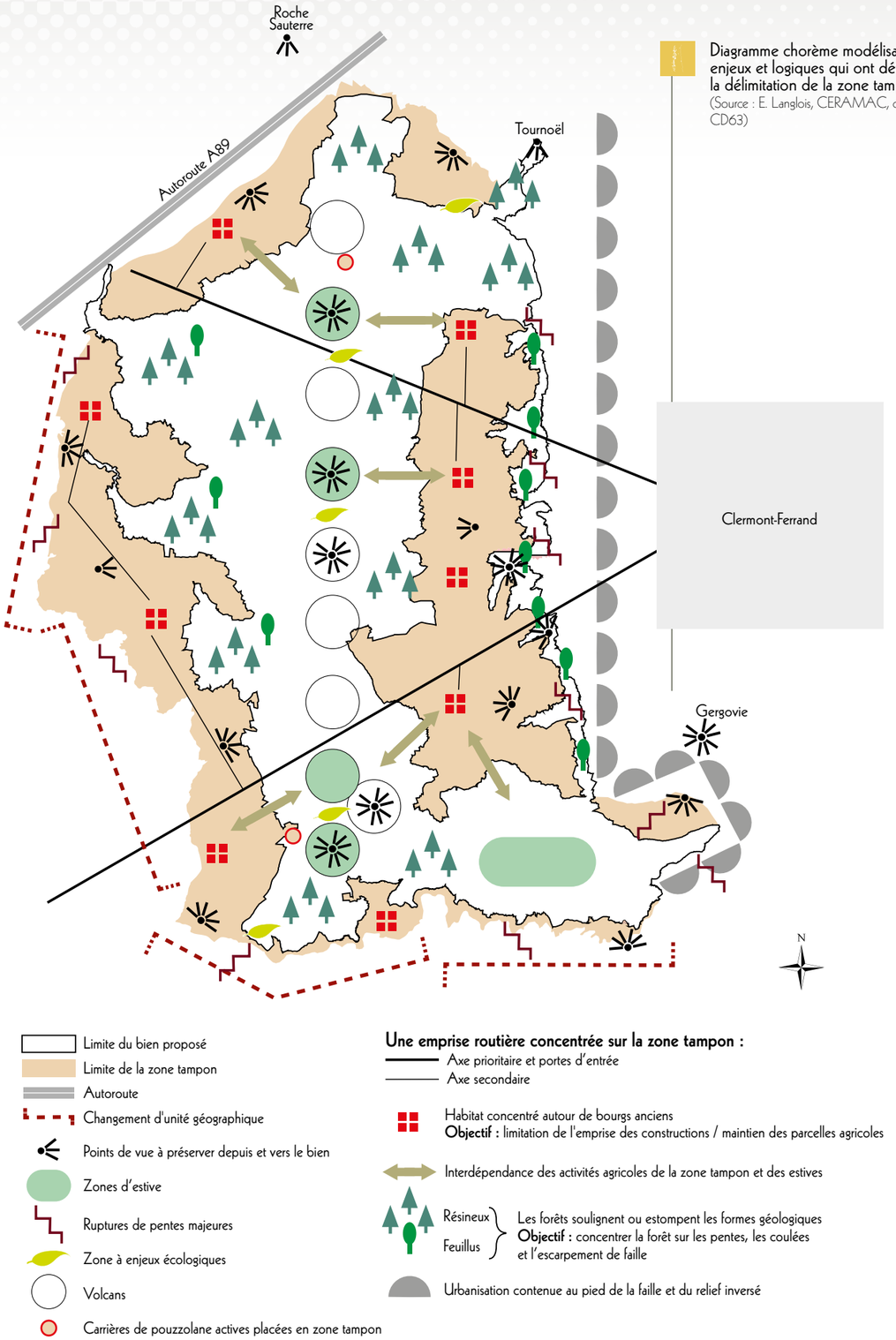


Diagramme chorème modélisant les enjeux et logiques qui ont déterminé la délimitation de la zone tampon
(Source : E. Langlois, CERAMAC, d'après CD63)

Des ressources humaines et financières adéquates pour les enjeux du site

Soixante-six personnes sont impliquées dans la gestion du bien, dont **vingt-neuf agents** aux profils variés qui y sont dédiés à plein temps. L'équipe comprend à la fois des agents de présence terrain (gardes natures) et des agents qui se consacrent au suivi et à la mise en œuvre des différents projets. Rapportés à la superficie de l'ensemble Chaîne des Puys – faille de Limagne, leur nombre est équivalent à ce que l'on peut trouver en France dans un Parc national.

Garde montée de l'Office national des Forêts (ONF) patrouillant la Chaîne des Puys
(Source : J. Way)

De plus, l'équipe de gestion bénéficie des apports de scientifiques dans les domaines de la gestion et des sciences géologiques par l'intermédiaire d'un comité scientifique international, ainsi que par la mise à disposition de chercheurs par les universités locales.

En ce qui concerne les ressources financières, un engagement contractuel des partenaires de plus de **dix-huit millions d'euros sur cinq ans** permet de couvrir les besoins tant humains, que de fonctionnement et d'investissement.

La gestion du bien ressort d'un porteur principal (Conseil départemental du Puy-de-Dôme), disposant de capacités financières élevées et pérennes grâce à un budget annuel propre de 700 M€, dont 46,5 M€ sont consacrés à des thématiques traitant des enjeux de gestion du site.

D'autres financeurs, publics et privés, complètent et confortent ces ressources tandis que les principaux équipements d'accueil payants du site équilibrent leur fonctionnement avec les recettes générées par leurs visiteurs.

A noter que plusieurs entreprises du territoire se sont engagées dans le mécénat en faveur de la protection et la valorisation du Haut lieu tectonique Chaîne des Puys-faille de Limagne et ont permis de mobiliser **700 000 € sur cinq ans de ressources additionnelles** pour la gestion du bien proposé pour inscription.

Dans le cadre de la gouvernance du site, la commission locale, instance d'information et de concertation élargie, rassemble deux fois par an tous les acteurs de la gestion de la Chaîne des Puys – faille de Limagne à la Préfecture du Puy-de-Dôme
(Source : J. Way)

3.2 Analyse comparative

La Chaîne des Puys – faille de Limagne candidate sur la Liste du patrimoine mondial en tant qu'exemple éminemment représentatif, complet et éloquent du processus de rift.

La rupture des continents combine trois phénomènes qui sont intrinsèquement liés[4] : effondrement, volcanisme et soulèvement. Si cette combinaison est inhérente au rifting, son ordre peut varier selon l'origine[5] du rift et sa nature passive ou active[6]. Il n'y a donc pas une seule séquence classique, avec un phénomène apparaissant d'abord, avant d'être recouvert, détruit ou juxtaposé par un autre. Par ailleurs, chacun de ces phénomènes est associé à des morphologies distinctives[7]. Effondrement, volcanisme, soulèvement interagissent fortement les uns avec les autres, comme le montre par exemple la diversité des magmas occasionnée par les modifications structurelles, ou encore l'alignement des volcans avec les lignes de failles. Avec les grabens, ce sont les expressions morphologiques les plus visibles du processus de rifting.

Virunga
(Source : Yvette Kaboza)

Actuellement, certains des biens inscrits sur la Liste du patrimoine mondial sont situés dans un environnement de rift, mais aucune candidature illustrant spécifiquement le processus de séparation des continents n'a encore été proposée. Dans chacun de ces sites, le rift ne sert que d'arrière-plan, de cadre (Virunga, système des lacs kenyans, Ngorongoro, Lac Malawi, Lac Turkana, sites d'art rupestre de Kondoa Rock), les biens ayant été inscrits pour leurs valeurs esthétiques, leur biodiversité ou leurs aspects culturels. De fait, leurs limites n'incorporent pas les attributs majeurs de rift puisque leur périmètre n'a pas été délimité pour mettre en valeur et préserver ce patrimoine géologique.

La raison de cette absence est à mettre en relation avec :

- La taille des processus de rupture continentale (les vues aériennes, voire satellitaires sont parfois nécessaires pour apprécier le phénomène dans son ensemble, comme par exemple pour la Mer Morte) ;
- Son échelle de temps (des millions d'années, de sorte que les structures les plus anciennes sont complètement érodées ou recouvertes d'eau ou de sédiments comme dans le Baïkal) ;
- Son manque de compréhensibilité pour les non-spécialistes (paysages dramatiques mais très vastes ou avec une seule structure prédominante de sorte que la connectivité des trois grands mécanismes à l'œuvre dans le rift est difficile à percevoir, comme par exemple dans les Vinruga).

Le système des lacs kényans dans la Vallée du Grand rift est-africain
(Source : National Museums of Kenya)

Ngorongoro
(Source : Kishore Rao)

Pour les non-spécialistes, la perception d'un rift est souvent limitée à ses aspects de fracturation / effondrement, c'est-à-dire à un escarpement et un bassin adjacent. Une longue vallée linéaire est l'aspect le plus répandu dans l'imaginaire collectif mais cela ne reflète pas

4 - Pagli, C., Mazzarini, F., Keir, D., Rivalta, E., & Rooney, T. O., 2015. *Introduction: Anatomy of rifting: Tectonics and magmatism in continental rifts, oceanic spreading centers, and transforms*. Geosphere, 11(5), 1256-1261
Sengor, C., and Natal'in, A.L., 2011. *Rifts of the World* GSA Special Papers 2001, 352 : 389-482

5 - Foulger, G.R., 2010 *Plates and Plumes: a geological controversy,* Wiley-Blackwell 328 pp.

6 - Turcotte DL and Emmerman SH (1983) *Mechanisms of Active and Passive Rifting,* Tectonophysics 94(1):39-50 · May 1983

7 - Effondrement : faille et graben / bassin ; magmatisme : volcan ; soulèvement : inversion de relief et surfaces surélevées.

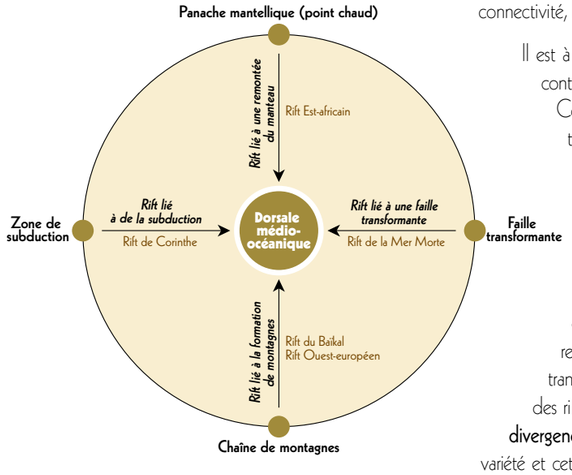
le processus dans son intégralité. C'est partiellement lié au fait que dans de nombreux cas, les structures sont disséminées sur de grandes surfaces sans connexion visuelle, de sorte qu'il est difficile de les voir toutes ensembles et de comprendre qu'elles relèvent d'un événement géologique commun.

Le but de cette analyse comparative est de déterminer quel(s) site(s) rassemble(nt) les éléments fondamentaux permettant d'illustrer le rifting dans un paysage appréhendable, et ce faisant, peuvent faire figure d'exemples éminemment représentatifs de ce processus géologique fondamental.

Pour ce faire, le processus de rifting continental sera examiné dans son entièreté, et pas seulement dans ses expressions les plus communes, à savoir escarpement et graben. Les morphologies volcaniques et de soulèvement sont de fait inhérentes à la séparation des continents et figureront dans la comparaison au même titre que les structures tectoniques. Une attention particulière sera accordée à leur connectivité, leur diversité et leur clarté d'expression.

Il est à noter que la rupture continentale est un des stades majeurs de la dérive des continents, caractérisée par des phases de divergence et de convergence (cf. 3.1.b). Certains biens du patrimoine mondial illustrent déjà les mouvements des plaques tectoniques tels que théorisés dans le cycle de Wilson, comme par exemple les stades de collision ou de subduction. Toutefois, la rupture des continents, l'océanisation et les dorsales océaniques ne sont pas encore représentées per se sur la Liste.

Ainsi, pour chacun de ces stades, plusieurs sites pourraient être éligibles dans le futur pour couvrir le spectre complet de la tectonique des plaques. Les zones de collision sont représentées par une dizaine de biens du patrimoine mondial, et au regard de la diversité des contextes tectoniques liés aux chaînes de montagnes, failles transformantes, points chauds ou zones de subduction (cf. modèle de classification des rifts d'O. Merle), **la même logique pourrait être retenue pour les processus de divergence**. Plus d'un site pourrait en effet contribuer à la pleine représentation de leur variété et cette étude comparative contribue à identifier certains sites au potentiel de valeur universelle exceptionnelle en la matière.



Modèle simplifié de classification des rifts
(Source : O. Merle, 2011)

La méthodologie appliquée : prérequis, indicateurs et sollicitation d'experts

Cette analyse comparative repensée est le fruit du dialogue mené entre 2016 et 2017 avec les représentants du Centre du patrimoine mondial et de l'UICN afin de garantir la rigueur de la justification de la proposition d'inscription. Elle est basée sur une procédure renforcée autour d'un **processus d'examen par des pairs spécialistes des rifts** et a demandé **plusieurs années de travail préalable avec la communauté internationale des géosciences**.

Elle s'inspire des candidatures de Sardona (bien suisse inscrit sur le critère (viii) en 2008) et de Stevns Klint (bien danois inscrit sur le critère (viii) en 2014) qui avaient déjà procédé à partir **de prérequis et d'élicitation d'experts**.

Ce travail s'est déroulé en plusieurs temps, combinant des discussions collectives lors de colloques scientifiques et des sollicitations individuelles pour statuer sur différents résultats. Le Comité scientifique international de la Chaîne des Puys – faille de Limagne a assuré la coordination et la consolidation de chaque étape de ce travail.

Dans un premier temps, les scientifiques ont été sollicités pour validation de la valeur universelle exceptionnelle potentielle du bien telle que reformulée à la faveur du dialogue approfondi avec l'UICN. Cela a fait l'objet de présentations et de posters discutés lors de la session Geodiversity and Geoheritage de l'European Geosciences Union (EGU, Vienne, 23-28 avril 2017). S'en sont suivis des échanges avec le Comité scientifique international et les représentants du Ministère français de la Transition écologique et solidaire pour arrêter la déclaration clarifiée de la VUE potentielle et définir une liste d'indicateurs appropriés pour évaluer une expression complète et visible de rift continental.

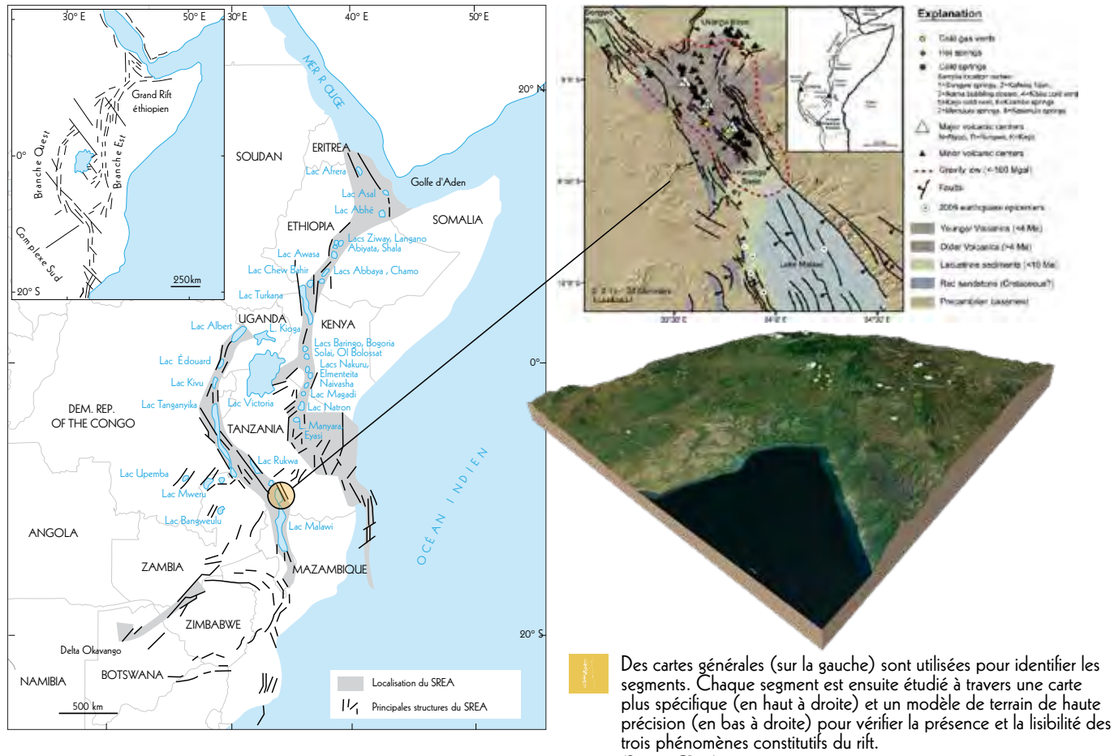
Cette déclaration clarifiée, les indicateurs, leur notation et leur pondération ont fait l'objet d'échanges avec l'UICN lors de deux réunions de travail lors du Comité du patrimoine mondial à Cracovie puis dans les bureaux de l'organisation consultative à Gland en Juillet 2017.

▸ Prérequis pour aboutir à la meilleure sélection de segments à partir d'une vision complète des rifts du monde.

La premier étape fut de passer en revue les huit systèmes majeurs de rifts continentaux et pour chacun d'eux, d'en identifier des segments distinctifs et remarquables. Cette étape fut facilitée par le fait que chacun de ces systèmes de rift a fait l'objet de nombreuses études, incluant des cartes des structures tectoniques et volcaniques.

Une sélection des segments les plus intéressants a ensuite été opérée à l'aide d'articles scientifiques et de modèles numériques d'altitude de haute résolution[8]. Elle s'est basée sur deux prérequis :

- Que les segments réunissent les trois phénomènes constitutifs du phénomène de rupture continentale (fracturation, magmatisme, soulèvement) ;
- Que ces phénomènes soient clairement exprimés dans le paysage à travers des morphologies distinctives.



Des cartes générales (sur la gauche) sont utilisées pour identifier les segments. Chaque segment est ensuite étudié à travers une carte plus spécifique (en haut à droite) et un modèle de terrain de haute précision (en bas à droite) pour vérifier la présence et la lisibilité des trois phénomènes constitutifs du rift.
(Source : CD63)

8 - Shuttle Radar Topography Mission from http://www.opentopography.org/

Sur cette base consolidée, la méthodologie de l'analyse comparative a été présentée lors de la session Geoheritage de l'assemblée scientifique de l'International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) à Portland en août 2017.

Chacun des dix indicateurs proposés par le Comité Scientifique International a été défini et travaillé avec des spécialistes des différents rifts du monde. C'est avec ces mêmes spécialistes qu'a été arrêtée la liste des treize sites les plus représentatifs du processus de rift continental retenus pour comparaison.

Ces spécialistes ont enfin contribué à identifier les chercheurs ayant publié des travaux sur chacun des segments de rift retenus et qui seraient les plus compétents pour passer en revue, amender et certifier la délimitation, la description et la notation de ces sites.

Analyse approfondie des segments présélectionnés

Une fois identifiés, les segments pertinents ont été analysés en détail à la fois par une description qualitative (Cf. analyse comparative complète en annexes) et par l'approche semi-quantitative définie à partir des travaux de José Brilha[9] (2016, Geoheritage 8 (2): 119-134).

Pour éviter les biais en faveur du bien proposé, l'approche semi-quantitative a utilisé des indicateurs basés sur des rifts, renvoyant objectivement à l'expression de la fracturation et de l'effondrement, au magmatisme, au soulèvement, à la connectivité et à la science. Les principaux indicateurs ont été notés de 0 à 5 et ceux additionnels de 0 à 2, pour pondérer leur importance.

Enfin, toutes ces descriptions et notations ont été envoyées pour vérification et confirmation à au moins deux spécialistes internationalement reconnus de chacun des treize sites examinés, de sorte que les résultats de l'analyse comparative ont été certifiés par des scientifiques objectifs et externes au projet. Les titres et références de chaque expert peuvent être trouvés dans les annexes 2018, avec l'analyse comparative complète et détaillée.

9 - Brilha J., 2016. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. Geoheritage 8(2): 119–134.

Ces quelque trente chercheurs (cf. liste pages 4 – 5 des annexes 2018) ont été sollicités entre septembre et novembre 2017, soit par mail, soit en personne lors de la conférence de la Geological Society, *Plate Tectonics at 50*, qui s'est tenue à Londres en octobre 2017. Ces tectoniciens, dont certains travaillent également sur le patrimoine géologique, ont dans un premier temps examiné les notices détaillées de chaque site (Cf. annexes de 2018). Ils ont ensuite noté le ou les sites pour lequel leur expertise a été demandée, selon le référentiel de notation proposé à l'UICN et retravaillé avec les spécialistes des rifts de l'IAVCEI.

Ces notes ont enfin été mises en regard avec celles apportées par le Comité scientifique international du bien proposé pour s'assurer qu'il n'y avait pas de différence substantielle susceptible de modifier les classements finaux. Une fois tous ces premiers retours collectés, l'analyse comparative complète incluant l'ensemble des scores, a été renvoyée à tous les experts pour validation. Des modifications et précisions ont alors été suggérées et ont toutes été intégrées. Ainsi les résultats finaux et conclusions contenues dans les compléments d'informations de novembre 2017 ont été unanimement validés par les chercheurs sollicités.

A noter que ce processus d'examen par des pairs dans le cadre d'une candidature au patrimoine mondial a donné lieu à une présentation lors de l'International Conference on Geomorphology (ICG) qui s'est tenue à New Delhi du 6 au 11 novembre 2017 et devrait faire l'objet d'une publication dans le volume 35 de la revue scientifique *Landform Analysis*.

Faille de Limagne, segment du Rift Ouest-Européen, vue depuis le puy de Grave Noire
(Source : P. Soissons)

Les sites pré-selectionnés

Treize sites ont été choisis pour leur complétude, leur relative compacité et leur clarté d'expression. Ils appartiennent :

Au rift du Rio Grande : 1. Sandia Peaks et le Petroglyph national monument (Etats-Unis)

A la province de Basin and Range : 2. Le rift de Steens Mountain et Diamond Craters (Etats-Unis)

Au rift d'Amérique centrale : 3. Faille de Mateare et le volcan de Chiltepe (Nicaragua)

Au rift de la Mer Morte : 4. Vallée d'Hula et plateau du Golan (Israël, Liban, Syrie)

Au rift du Baikal : 5. Tunka Nord (Russie)

Au rift Ouest-européen :

6. Freibourg – Kaiserstuhl (Allemagne)
7. Faille de Krušné Hory (Republique tchèque)
8. Faille de Limagne et les volcans de la Chaîne des Puys (France)

Le rift Est-africain :

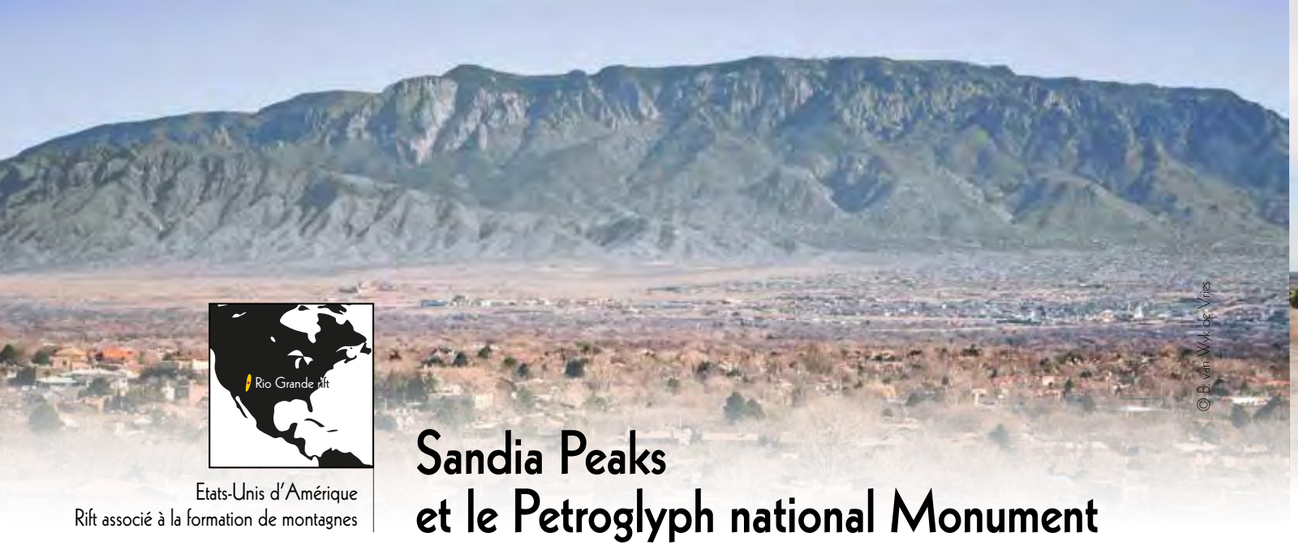
9. Faille du lac Malawi fault (Tanzanie, Malawi)
10. Escarpement de Muhindu et volcans des Virunga (République démocratique du Congo, Rwanda)
11. Lacs du Kenya (Kenya)
12. Rift d'Adama – centre volcanique de Boset (Ethiopie)
13. Volcan d'Alid (Erythrée)

Parmi les principaux systèmes de rifts du monde, le seul qui ne soit pas représenté ici est celui de l'Antarctique occidental, car tous ses éléments sont recouverts de glace.
La présente section présente une fiche de synthèse de chacun des treize sites comparés, comme mentionnée ci-avant, l'analyse complète et détaillée figure dans les annexes remises avec le complément d'information en 2018.

Crevasses de glace près de la côte Ouest-antarctique, prise de vue aérienne, avion « Opération point de glace » de la NASA, 28 Octobre 2016
(Source : M. Tama / Getty Images)

INDICATEURS		NOM DU SITE
A. Fracturation et subsidence : *Un processus fondamental de la rupture continentale est la fracturation et l'amincissement crustal, causant la subsidence de la surface et la formation d'un bassin. Les sédiments érodés de l'escarpement sont transportés et remplissent le bassin. La clarté d'expression, le caractère distinctif et la fraîcheur des structures tectoniques joueront un rôle important dans la notation ainsi que les témoins de la rupture et de la subsidence.*		
Indicateur principal : éléments marquants nettement la fracturation	Un ou plusieurs escarpements linéaires / plan de faille / zone manifestement effondrée (graben) **(notation de 0 à 5)**	
Indicateur additionnel : processus de surface prononcés, affleurements d'échelles réduites de failles et de fractures	Signes d'érosion, de sédimentation et/ou de transport continu, vus dans le paysage et affleurements de faille **(notation de 0 à 2)**	
Sous-total :		
B. Magmatisme : *Le magmatisme est un processus fondamental de la rupture continentale, caractérisé par sa nature alcaline et par diverses compositions dues à une modification substantielle du manteau et de la croûte. Les expressions magmatiques visibles et significatives seront notées, telles que : volcans, coulées de lave, inondations basaltiques, intrusions. D'un point de vue patrimonial, les volcans actifs aux formes fraiches seront mieux notés car ils sont l'expression magmatique la plus connue et la plus facile à identifier.*		
Indicateur principal : remarquables expressions du magmatisme de rift dans le paysage.	Volcanisme alcalin, nombre, surface et taille des éléments, diversité perceptible des magmas, fraîcheur **(notation de 0 à 5)**	
Indicateur additionnel : activité volcanique	Activité persistante, volcanisme actif, volcanisme dormant ou volcans éteints **(notation de 0 à 2)**	
Sous-total :		
C. Soulèvement : *Le soulèvement est un élément essentiel pour percevoir le processus de rifting dans son intégralité et son lien avec la structure terrestre profonde. Il peut être causé soit par un panache mantellique, soit par un amincissement de la croûte dû à son étirement et ainsi débuter ou clore la rupture continentale. Dans le cadre du patrimoine mondial, il ne sera pas distingué entre ses différentes origines et seules ses expressions topographiques seront prises en considération. Ce processus est le plus difficile à percevoir pour des non-spécialistes. Les surfaces anciennes surélevées (pénéplaine), les plateaux, les sommets alignés, les reliefs inversés sont ses signatures les plus visibles. Leur impact sur le paysage et leur caractère distinctif joueront un rôle important dans la notation.*		
Indicateur principal : surfaces surélevées	Surfaces anciennes surélevées **(notation de 0 à 5)**	
Indicateur additionnel : sédiments soulevés, plateaux inclinés vers l'extérieur du rift	Les sédiments déposés à basse altitude se retrouvent maintenant en hauteur, signes du soulèvement, bombement **(notation de 0 à 2)**	
Sous-total :		
D. Connectivité : *Les structures de fracturation / subsidence, de magmatisme et de soulèvement doivent être connectées spatialement / topographiquement. Dans une perspective patrimoniale, nous recherchons des sites qui permettent de voir et comprendre que la rupture continentale est un processus unitaire et combinatoire. Toutes les caractéristiques doivent pouvoir être perçues ensemble et il doit y avoir des liens de causalité notables entre elles. La notation privilégiera les morphologies assez proches pour être vues en même temps dans le paysage, le fait que leur disposition montre leurs liens structurels et que leurs proportions soient équilibrées de telle sorte qu'aucun processus ne prédomine sur les autres.*		
Indicateur principal : liens intrinsèques entre tous les éléments du site	Proximité spatiale des différentes structures permettant de les percevoir simultanément (tout le processus peut être observé dans son intégralité) ; disposition des éléments qui véhicule clairement l'idée de leur connexion ; proportionnalité des morphologies **(notation de 0 à 5)**	
Indicateur additionnel : chronologie des processus perceptible dans le paysage	Les éléments du site permettent de retracer l'enchaînement des événements dans le paysage, de sorte que l'histoire géologique du site puisse être reconstituée (indicateurs stratigraphiques : stratification des roches, paléo-surfaces illustrant de manière significative la succession des processus, y compris les processus toujours en cours). **(notation de 0 à 2)**	
Sous-total :		
E. Science: *Le statut scientifique d'un ensemble géologique peut être jugé au regard de l'histoire des sciences, de l'importance de la découverte de ce site et de son impact dans le développement des théories scientifiques de l'époque. La qualité scientifique peut également être jugée par l'activité scientifique moderne, définie ici comme datant de la théorisation de la tectonique des plaques il y a environ 50 ans.*		
Indicateur principal : science moderne	Importance du site dans les travaux scientifiques réalisés depuis la révolution de la tectonique des plaques, il y a 50 ans. **(notation de 0 à 5)**	
Indicateur additionnel : histoire des sciences	Importance du site dans les travaux scientifiques réalisés au début de la connaissance scientifique (la notion de « début » est à mettre en regard avec la localisation géographique pour ne pas créer de biais en faveur des sites européens). **(notation de 0 à 2)**	
Sous-total :		
TOTAL FINAL :		

Tableau des indicateurs de rupture continentale servant à noter les sites comparés
(Source : CD63)

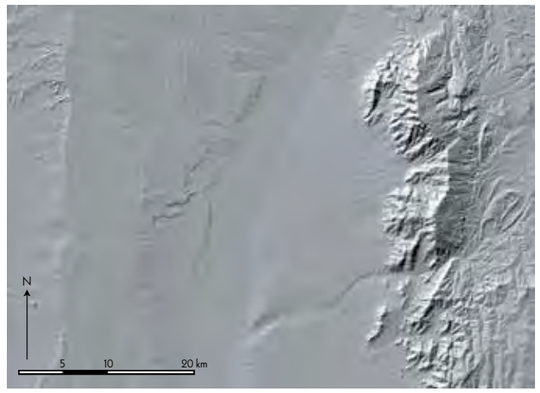


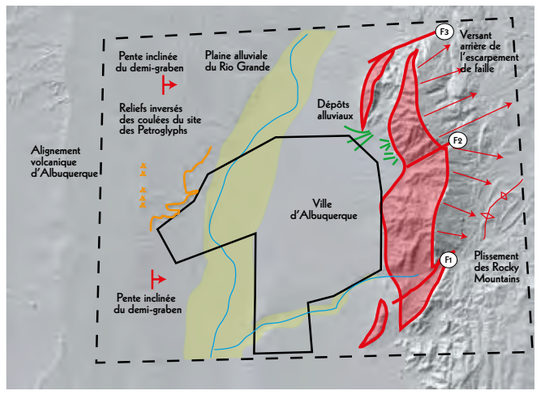
Etats-Unis d'Amérique
Rift associé à la formation de montagnes

Sandia Peaks et le Petroglyph national Monument

Description

L'escarpement de Sandia Peak est une faille irrégulière de 26 km de long, qui s'élève à 900 m à son maximum. L'escarpement est profondément découpé par de multiples vallées d'érosion. La plaine est occupée par une rivière, de la végétation rase et aride et la ville d'Albuquerque. Le champ volcanique des Petroglyph est un alignement érodé de 6 km de long, formé de cinq petits cônes de scories (~170 000 à 70 000 ans). Le site est réputé pour ses aspects culturels et archéologiques indiens.





Points forts

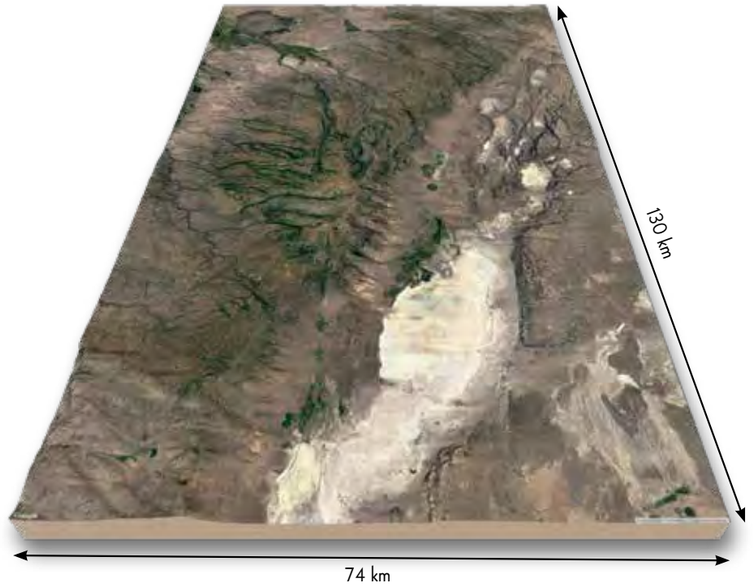
Impressionnante faille unique, longue et escarpée, et bassin très visible, en cours de remplissage dans un environnement désertique.

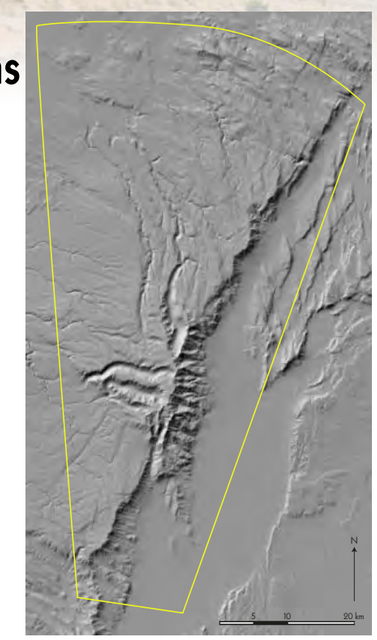
Points faibles

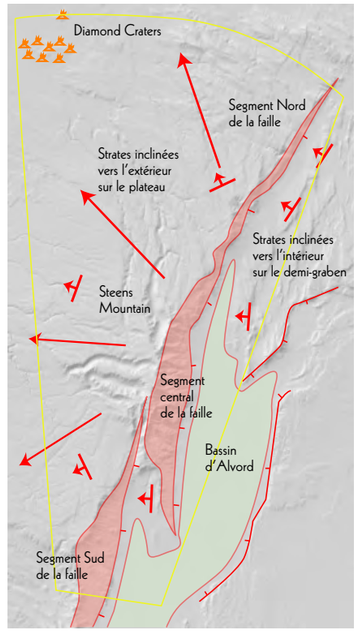
Alignement peu distinct de cinq petits cônes érodés de scories basaltiques qui se situent à 30 km de la faille, visuellement coupés d'elle par la ville d'Albuquerque. Cette distance spatiale et le disproportion morphologique entre les caractères volcaniques et tectoniques, brouillent la perception de leurs liens intrinsèques. Le site reflète de manière faible et incomplète le processus de rupture continentale.

Etats-Unis d'Amérique
Rift lié à une subduction

Rift de Steens Mountains et Diamond craters







Description

La faille des Steens Mountains s'étire sur 80 km de long avec un dénivelé pouvant atteindre 1 800 m de haut. Elle découpe un vieux stratovolcan érodé par les glaciations (15 millions d'années), de grande ampleur et incliné par le soulèvement. Le principal champ volcanique associé, Diamond Craters, est le résultat d'éruptions basaltiques monogéniques atypiques (entre ~ 25 000 et ~ 9 000 ans). Il se situe au pied de la pente du soulèvement, à 40 km de l'escarpement de faille.

Points forts

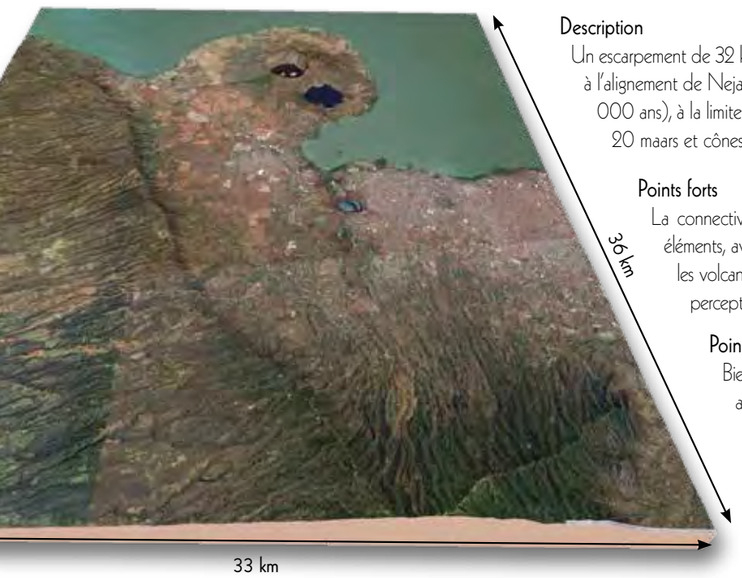
L'escarpement de faille est particulièrement haut et long et les processus de fracturation et de subsidence s'expriment avec force dans un paysage spectaculaire. Les caractères liés au soulèvement sont également présents avec des lits de lave surélevés, un plateau incliné et des sommets alignés.

Points faibles

La zone est très étendue (3 518 km²) avec la faille et le bassin d'un côté et le volcanisme isolé sur un autre versant, de sorte que les structures du rift ne sont pas connectées visuellement. De plus, les éléments sont très disproportionnés, la taille du champ volcanique de Diamond craters est cent fois moindre que celle de Steens Mountain.

Nicaragua
Rift lié à une subduction

Faille de Mateare et volcan Chiltepe



Description

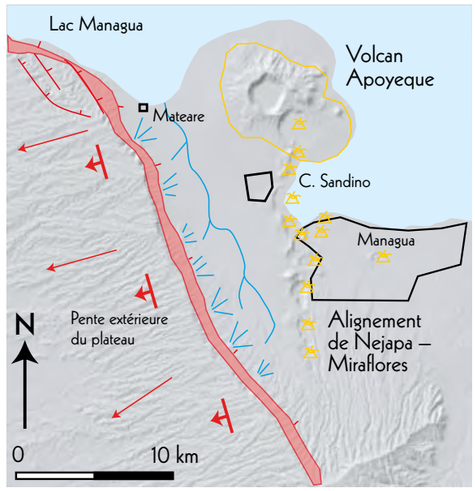
Un escarpement de 32 km de long et 300 m de haut à son maximum, quasi parallèle à l'alignement de Nejapa-Miraflores du champ volcanique de Chiltepe (1Ma à 10 000 ans), à la limite de la capitale Managua. Cet alignement est formé d'environ 20 maars et cônes endormis (~ 25 000 à – 10 000).

Points forts

La connectivité du site s'exprime bien grâce à la proximité de tous les éléments, avec seulement quelques kilomètres de distance entre la faille et les volcans. La disposition et intéressante avec des éléments très visibles, perceptibles simultanément en plusieurs points et de tailles équivalentes.

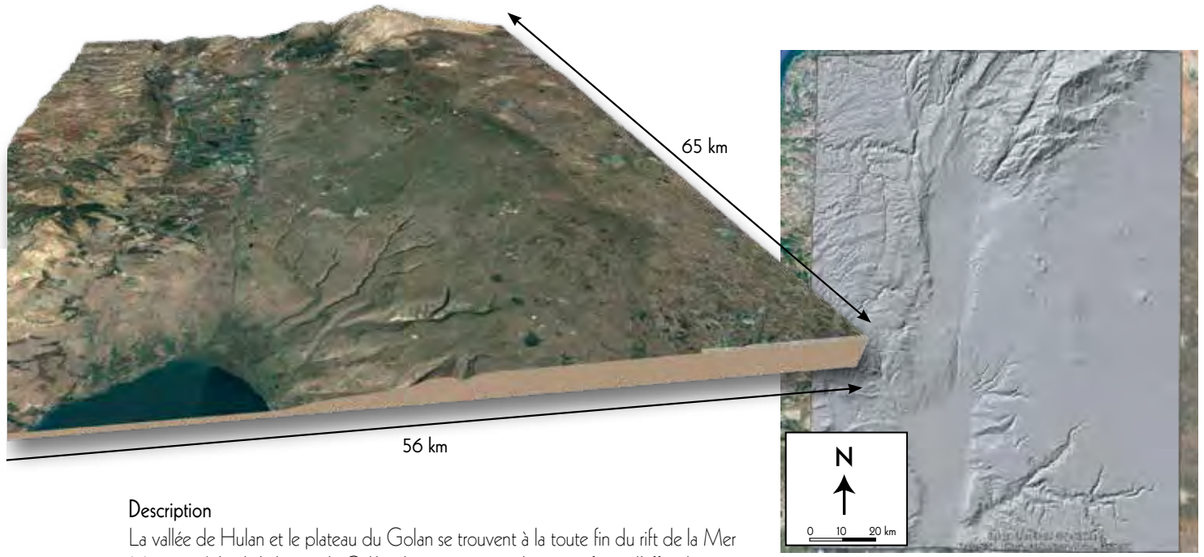
Points faibles

Bien que net, l'escarpement linéaire n'est pas très haut comparé aux autres éléments liés à l'effondrement. Quant au volcanisme, celui-ci étant implanté dans une zone de subduction, la composition du magma n'est pas directement liée au processus de rifting. Il ne relève ainsi du type alcalin propre aux rifts.



Israel, Liban, Syrie
Rift lié à une faille transformante

Vallée de Hulla et Golan heights



Description

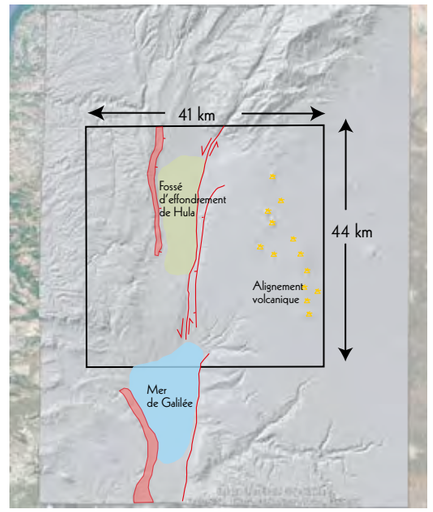
La vallée de Hulan et le plateau du Golan se trouvent à la toute fin du rift de la Mer Morte, au Nord de la mer de Galilée. Le site comprend un petit fossé d'effondrement de 8,5 km de large pour 25 km de long, avec des épaulements de 500 m de haut et un large plateau supportant une double chaine de vingt-cinq volcans de petites tailles s'étalant sur 29 km et âgés de 120 000 à 95 000 ans.

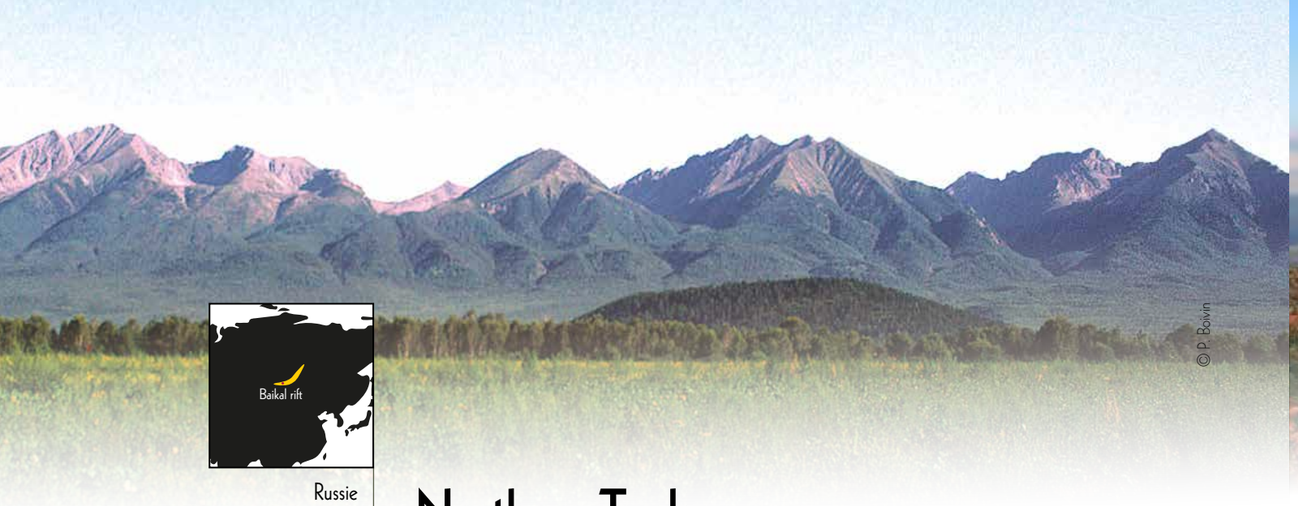
Points forts

L'aspect le plus remarquable de ce segment est l'étroit et profond graben symétrique avec des failles des deux côtés, très anguleuses bien dessinées. La base de l'escarpement est nettement définie, marquant une limite claire et abrupte avec le bassin sédimentaire.

Points faibles

Le magmatisme ne transparait qu'à travers de petits édifices. La disposition de cette chaîne éteinte ne donne qu'une impression modeste d'alignement, vaguement parallèle à la faille dont elle est éloignée de 13 km. Il n'y a pas de soulèvement significatif des épaulements de rift, pas plus que des sédiments surélevés ou de plateau incliné vers l'extérieur. Sur le terrain, le site ne donne pas une image complète d'une rupture continentale, même si cette dernière est visible sur un modèle digital d'élévation.

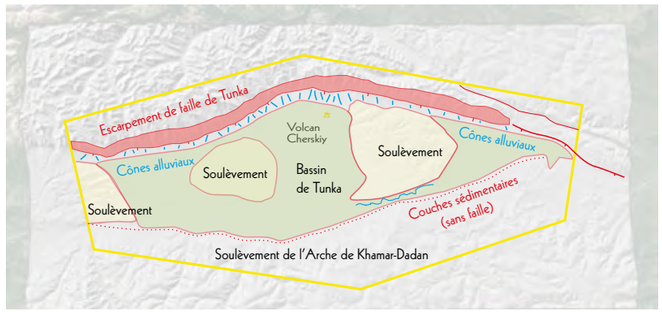




© P. Boivin

Russie
Rift lié à une subduction
et rift associé la formation de montagnes

Northern Tunka



Description

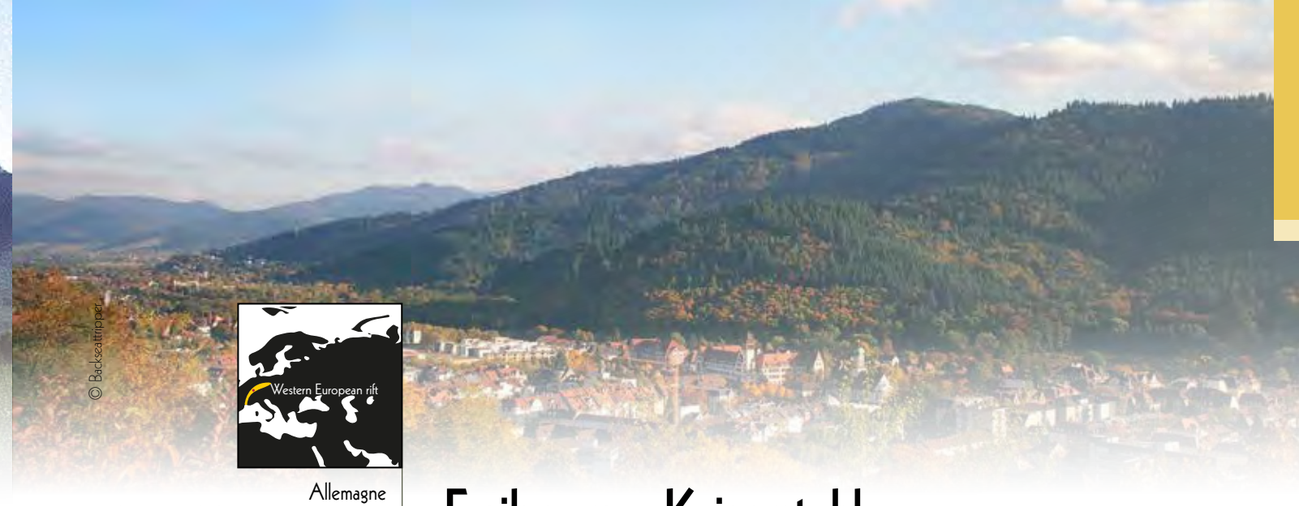
Le segment de rift de Tunka se trouve à 15 km du lac Baïkal. C'est une dépression profonde en forme de losange de 45 km de large et 100 km de long, flanquée de cônes alluviaux et de moraines glaciaires pentues. Au Nord, l'escarpement de faille est abrupt et délimite clairement le changement avec la plaine. Le basin contient le petit volcan Cherskly, probablement d'âge Pléistocène, qui est le plus notable parmi quelques autres cônes de scories en partie recouverts par la sédimentation toujours active du bassin. A l'Ouest de ces volcans, une petite zone de collines surélevées possède quelques reliefs légèrement inversés d'origine incertaine.

Points forts

L'escarpement du segment de Tunka offre un excellent exemple de rift lié à la formation de montagnes. Il est découpé par l'érosion glaciaire. La hauteur et la longueur de l'escarpement sont particulièrement bien proportionnées, créant un paysage très spectaculaire et caractéristique. Les processus de surface sont abondants et facilement perceptibles. Enfin, de nombreux affleurements exposent la ligne de faille tout au long de l'escarpement. Il s'agit probablement de l'une des plus remarquables expressions d'un escarpement de faille.

Points faibles

Il n'y a que quelques très petits volcans de moins de 50 m de haut et 600 m de diamètre disséminés dans la plaine. Leur âge est inconnu, aucun article n'est disponible car ce champ volcanique n'est pas suffisamment intéressant en lui-même. Le site diverge d'une rupture continentale archétypique du fait du jeu conjoint des processus de convergence et de rifting qui en font un cas singulier.



© Backcastimages

Allemagne
Rift associé à la formation de montagnes

Freibourg - Kaiserstuhl

Description

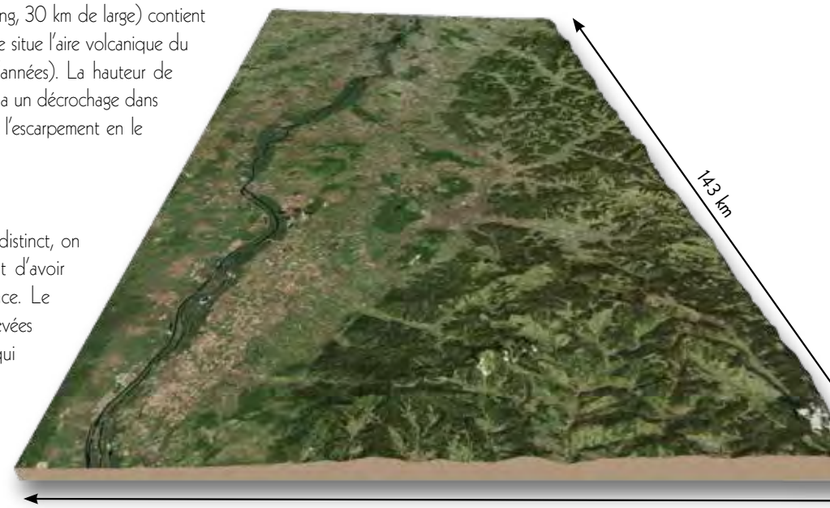
Le site de Freiburg – Kaiserstuhl (50 km de long, 30 km de large) contient un escarpement de marge de rift dans lequel se situe l'aire volcanique du Kaiserstuhl (âge Miocène, 18 à 16 millions d'années). La hauteur de l'escarpement oscille entre 400 et 700 m. Il y a un décrochage dans le rift du haut Rhin, qui accentue visuellement l'escarpement en le dédoublant.

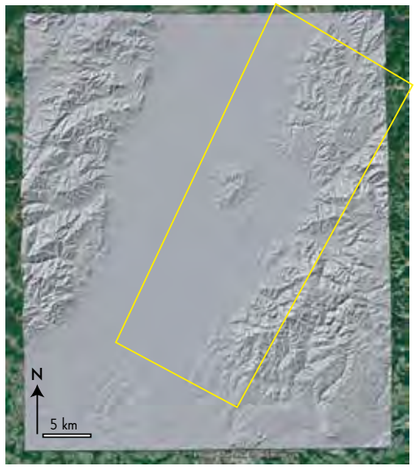
Points forts

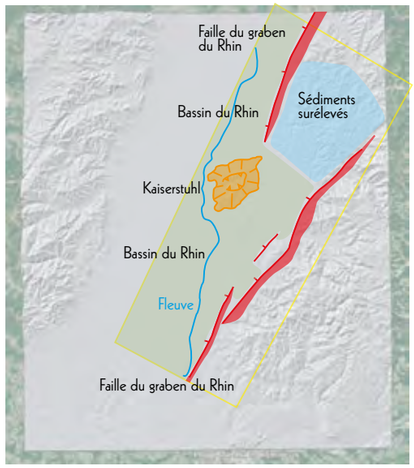
Depuis l'escarpement prononcé, anguleux et distinct, on peut voir l'autre côté du graben, permettant d'avoir une image complète du bassin de subsidence. Le Kaiserstuhl est remarquable pour ses teneurs élevées en magmas potassiques et carbonatés, ce qui indique un magmatisme de rift d'un type important et particulier. D'un point de vue scientifique, le rift du Rhin constitue l'un des sites fondateurs de la géologie moderne, où les théories initiales ont été vivement discutées. Ce rift est probablement le premier à être reconnu comme tel. C'est avec cette région que le terme germanique de graben a entré dans la terminologie géologique du XIX^{e} siècle.

Points faibles

Il n'y a pas un nombre important de structures et les éléments tectono-volcaniques sont érodés par une exposition de plusieurs millions d'années. De ce fait, leur signification géologique n'est pas évidente pour le grand public. Les structures de soulèvement constituent un cadre général du paysage sans être véritablement distinctives.



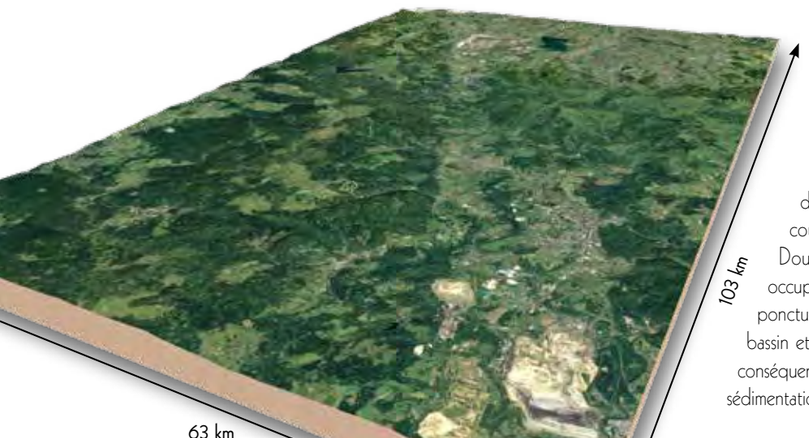




© B. van Wyk de Vries

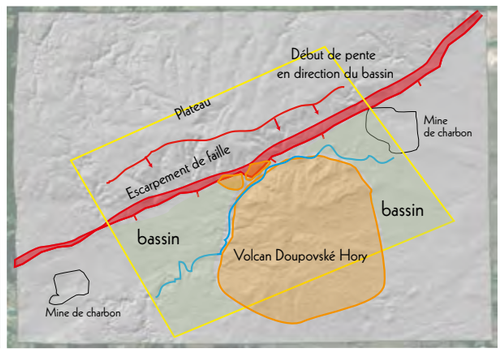
République Tchèque
Rift lié à la formation de montagnes

La faille de Krušné Hory



Description

L'escarpement de faille du segment de Krušné Hory, d'une longueur de 30 km et d'un dénivelé de 500 m, sépare distinctement la plaine de rift de l'Eger des hautes terres. Le bassin de l'Eger est coupé par la limite Nord du volcan-bouclier de Doupovské Hory. L'édifice volcanique Oligocène occupe une place majeure dans le rift, qui est également ponctué de plus petits volcans monogéniques dans son bassin et sur ses marges. Des ravinements et reliefs inversés conséquents témoignent du soulèvement et de l'érosion après sédimentation.



Points forts

Reliefs inversés bien développés qui forment une partie importante du paysage et donnent une indication forte de son incision progressive. Ce phénomène est renforcé par le système fluvial actuel qui coupe à travers le volcan.

Points faibles

Le volcan est ancien et son degré d'érosion est tel qu'il ne s'illustre pas dans le paysage. Cette morphologie subtile fait qu'on perçoit cette zone volcanique plus comme des collines qui parsèment le bassin. Il n'y a pas d'association géométrique claire entre le volcan et l'alignement faille-bassin qui témoignerait de leur lien génétique.

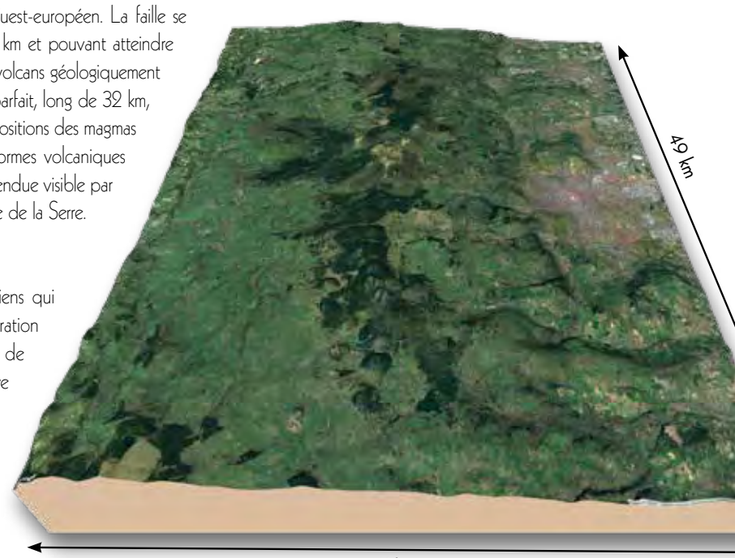
© B. van Wyk de Vries

France
Rift associé à une chaîne de montagnes

Faille de Limagne et volcans de la Chaîne des Puys

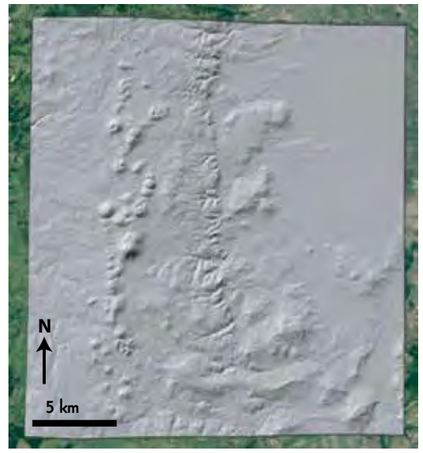
Description

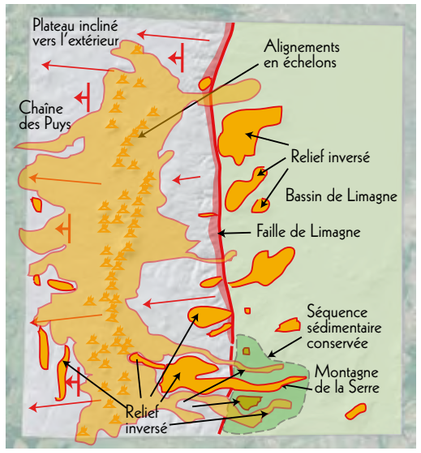
La Limagne correspond à l'extrémité Sud-Ouest du Rift Ouest-européen. La faille se manifeste par un escarpement linéaire prononcé, long de 30 km et pouvant atteindre 700 m de hauteur. La Chaîne des Puys se compose de 80 volcans géologiquement récents (95 000-8 400 ans). Ils constituent un alignement parfait, long de 32 km, strictement parallèle à la faille. La très grande richesse de compositions des magmas émis est illustrée de façon spectaculaire par la variété des formes volcaniques parfaitement conservées. La surrection du rift de Limagne est rendue visible par les multiples reliefs inversés, en particulier celui de la Montagne de la Serre.



Points forts

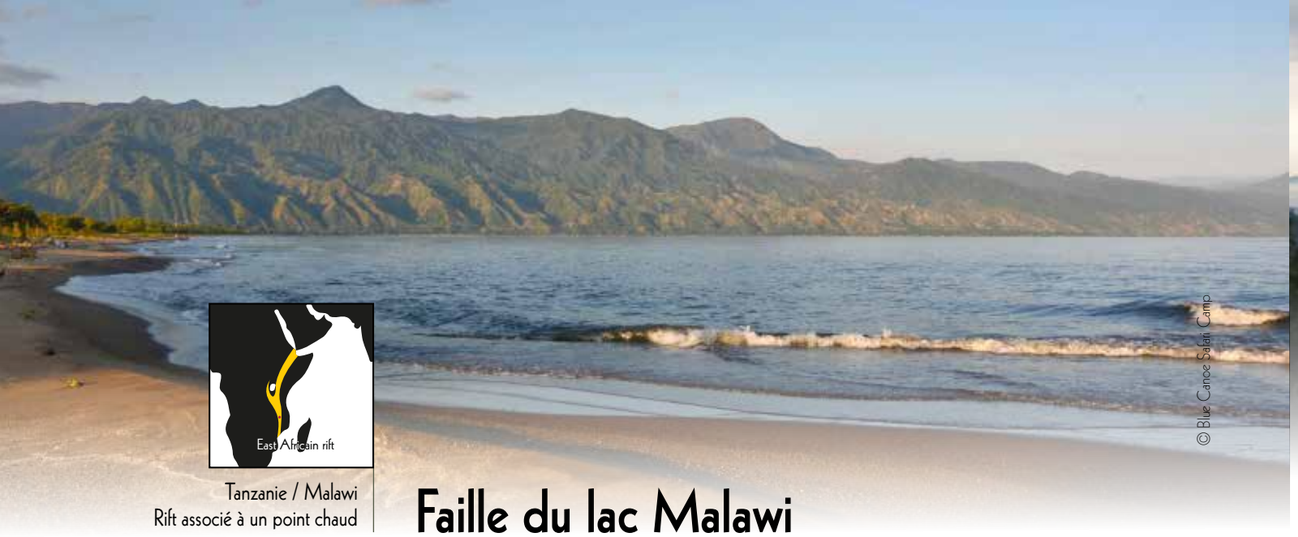
Le site est exceptionnel par le nombre et l'évidence des liens qui associent les différentes composantes d'un rift : de la fracturation initiale au magmatisme (double alignement et série complète de laves alcalines), du magmatisme à la surrection (coulées de lave devenues reliefs inversés), de la surrection à la fracturation finale (sédiments soulevés et plateau basculé). La proximité, la proportionnalité et la géométrie de toutes ces morphologies, mettent en exergue leur étroite connexion. Quant au magmatisme, il faut remarquer qu'il présente une série de compositions continue, sans la lacune habituellement constatée dans d'autres zones (« daly gap »). Depuis les débuts de la science moderne au XVIII[e] siècle, la Chaîne des Puys - faille de Limagne a été une Mecque pour les géologues. Elle a servi de théâtre à de grandes controverses qui ont permis l'élaboration de plusieurs des fondements de la géologie actuelle.





Points faibles

Le site est de plus petites dimensions que certains des autres segments retenus pour comparaison, et le volcanisme, quoique bien exprimé, est dormant.



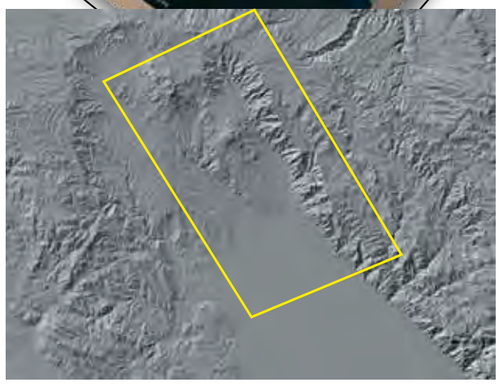
© Blue Canoe Safari Camp

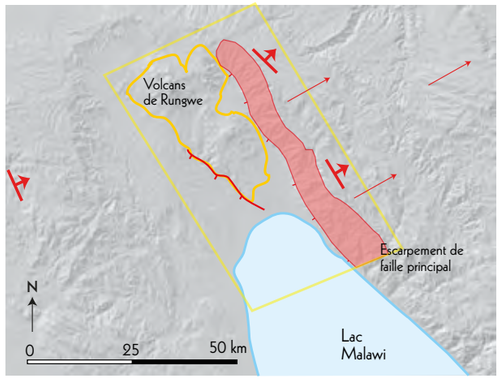
Tanzanie / Malawi
Rift associé à un point chaud

Faille du lac Malawi

Description

Le lac Malawi est une triple jonction des différentes branches du rift Est-africain. A l'extrémité Nord du lac, l'escarpement de la faille atteint les 1 000 m et rencontre la province volcanique de Rungwe composée de plusieurs grands stratovolcans. Toute la région du rift Malawi, associé à un point chaud en Tanzanie, a été soulevée avant et pendant la formation du rift.





Points forts

Les structures, de taille comparable, forment une unité cohérente dans le paysage avec une marge de rift, un bassin de subsidence et du volcanisme intra-rift. Le dôme topographique, résultant du panache mantellique et de la configuration en point triple du rift, est très bien exposé. C'est une référence classique de rift associé à un point chaud.

Points faibles

Les volcans, développés à l'intérieur du rift, ne présentent pas d'alignements forts et clairs avec la faille. Le soulèvement du plateau est assez éloigné du reste des structures de rift et n'est perçu à l'horizon que comme une ligne saillante. Il n'y a pas de relief inversé.

© La Nomadita

RDC, Rwanda
(Le parc des Virunga est pour partie en Ouganda, mais pas la zone considérée ici)
Rift associé à un point chaud

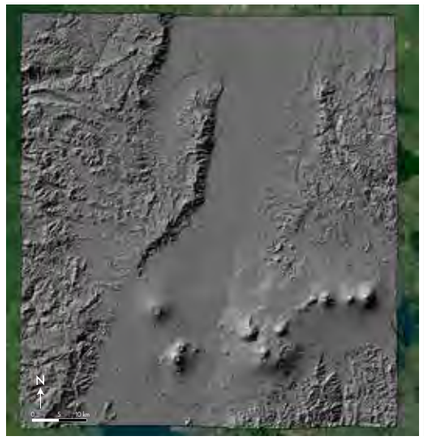
Escarpement de Muhindu et volcans des Virunga

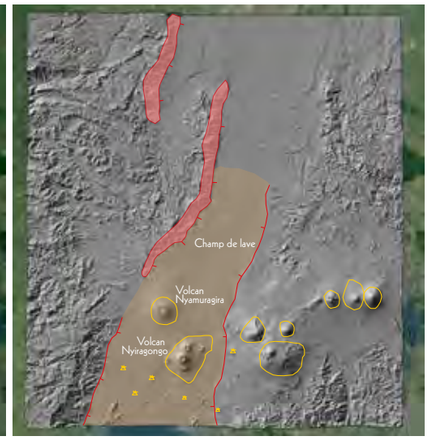
Description

Le site comprend les volcans les plus actifs d'Afrique ainsi que deux failles majeures de rift : l'escarpement de Muhindu très érodé (1 000 m de haut et 55 km de long) et celui du lac Edouard (1 100 m de haut, 80 km de long). Les deux immenses volcans Nyamuragira et Nyiragongo ont une altitude supérieure à 4 000 m et couvrent la plaine sur 2 000 m. Ils sont installés au sein du fossé, tandis que d'autres s'étirent sur l'épaulement Est. Le bassin se distingue clairement des escarpements de bordure, mais les coulées de laves qui se déversent par-dessus la marge du rift réduisent l'effet visuel de l'effondrement dans le paysage.

Points forts

Le magmatisme est très abondant et impressionnant. Chaque volcan offre de magnifiques paysages géologiques, extrêmement variés. Les laves émises sont caractéristiques du terme le plus extrême des magmas alcalins de rift. D'un point de vue scientifique, les Virunga ont fait l'objet d'études multiples et précoces et de nombreuses recherches sont toujours en cours.





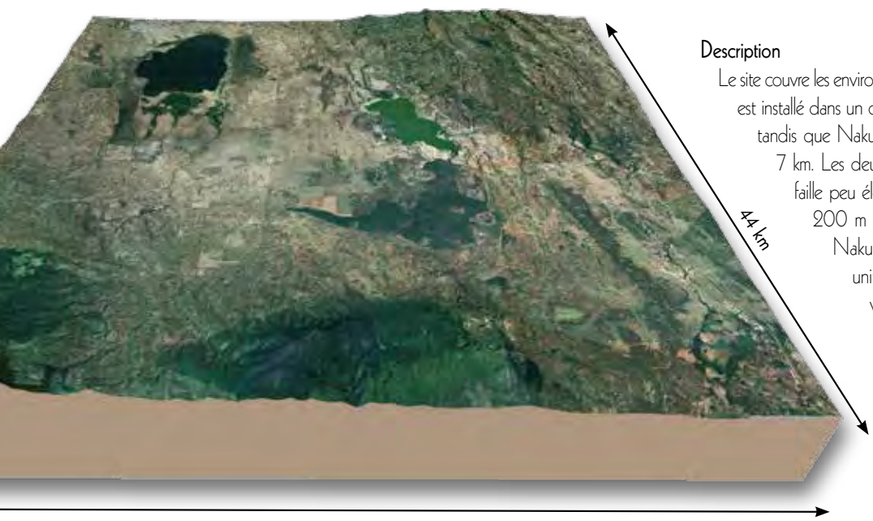
Points faibles

Les liens fonctionnels entre les éléments du rift sont peu visibles dans le paysage. Du fait de leur taille, les systèmes volcaniques dominent aujourd'hui complètement les autres structures. Les édifices sont trop grands et trop éloignés les uns des autres pour créer un effet de connexion. La surrection régionale n'est pas clairement perceptible.

© Bjørn Christian Tørrissen

Kenya
Rift associé à un point chaud

Lacs du Kenya (Elementaita, Nakuru)



Description

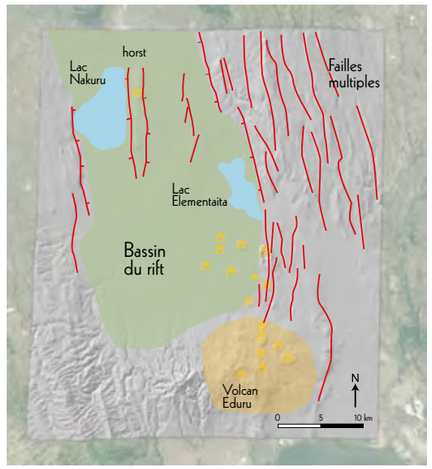
Le site couvre les environs des lacs Nakuru et Elementaita. Elementaita est installé dans un demi-graben distinct d'environ 8 km de large, tandis que Nakuru est limité par deux failles et un fossé de 7 km. Les deux grabens possèdent des escarpements de faille peu élevés, généralement inférieurs à 100 m et de 200 m à son plus haut sur la rive Sud-Est du lac Nakuru. Ces escarpements sont segmentés en unités de 1 à 4 km de long. Quelques petits volcans sont regroupés à l'extrême Sud du bassin. La zone appartient à un site inscrit au patrimoine mondial au titre des critères (vii), (ix) et (x).

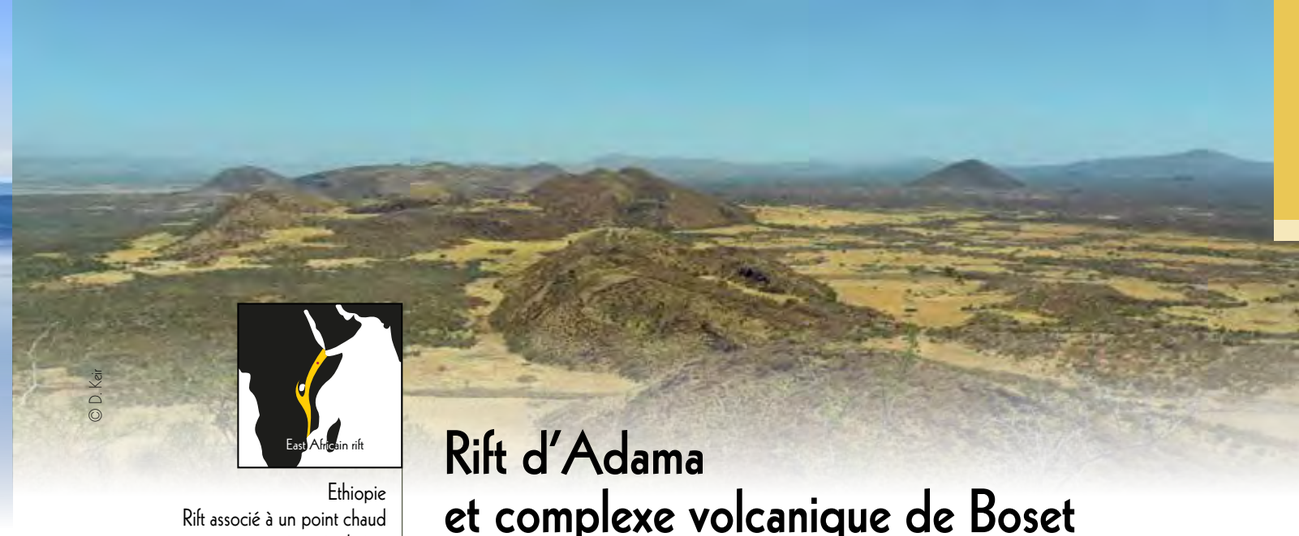
Points forts

Ce site concentre deux exemples des principaux types de graben : le complet et le demi-graben. Ces structures d'effondrement montrent clairement la succession de fracturation, subsidence, développement de bassins isolés qui se remplissent de sédiments et accueillent des lacs.

Points faibles

Toutes les structures tectoniques sont présentes mais à échelle réduite du fait de leur position au centre du rift Est-africain, amoindrissant l'impact visuel du site. La surrection n'est pas très manifeste dans le paysage qui est dominé par la subsidence et la sédimentation.

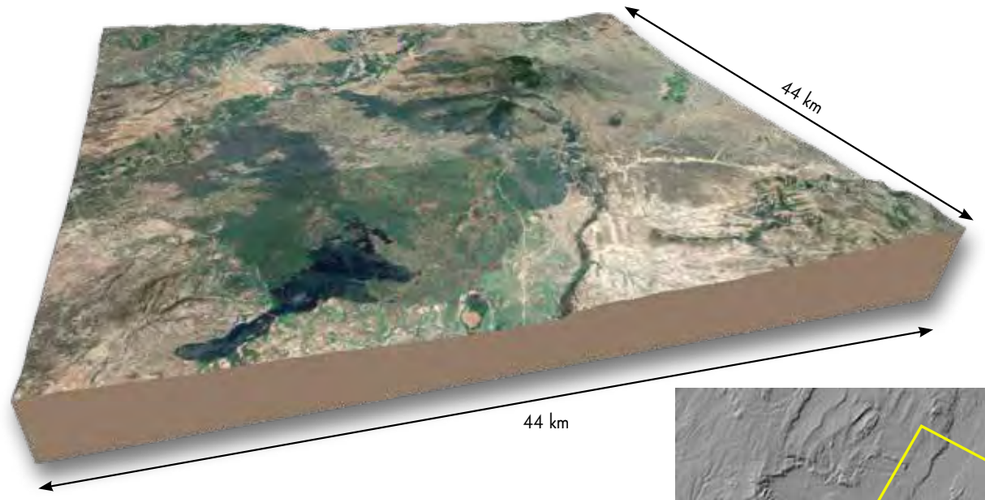




© D. Keir

Ethiopie
Rift associé à un point chaud
à mi-évolution

Rift d'Adama et complexe volcanique de Boset



Description

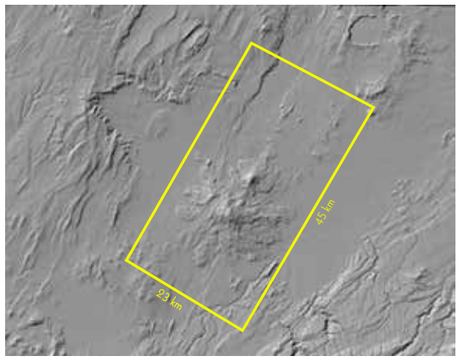
Le site est situé dans la zone Nord-Est de l'Adama où le complexe volcanique de Boset s'élève à 1 000 m au-dessus du plancher du bassin d'effondrement. Le Boset est fracturé par une faille de rift qui évolue en demi-graben de 4 km de large. La bordure Ouest du graben, haute de 150 m, est abrupte, tandis que rebord Est n'a qu'un rejet de faille de 50 m. A proximité du volcan, les marges du graben sont jalonnées par dix petits cônes alignés qui se fondent dans le grand stratovolcan. À 8 km de la bordure orientale du rift de l'Adama, une trentaine de petits cônes dessinent un alignement imparfait.

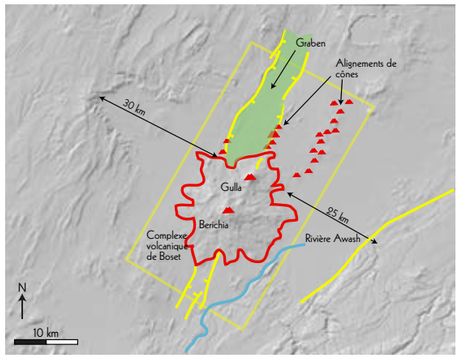
Points forts

Même s'ils ne sont pas très hauts, les deux rebords légèrement courbes du petit graben sont en exact vis à vis, traduisant parfaitement les processus d'extension et de subsidence. Dans le bassin, des affleurements montrent des fentes et des fissures qui renforcent la perception de l'extension. Enfin, le volcanisme varié donne une image complète des processus magmatiques qui accompagnent la formation d'un rift.

Points faibles

Les signes de soulèvement sont à trouver dans l'altitude plutôt que dans des morphologies distinctes de ce paysage. Le rift d'Éthiopie centrale se caractérise plus par une fracturation intra-rift intense que par des escarpements prononcés de ses marges comme c'est le cas pour la partie Sud du rift Est africain.

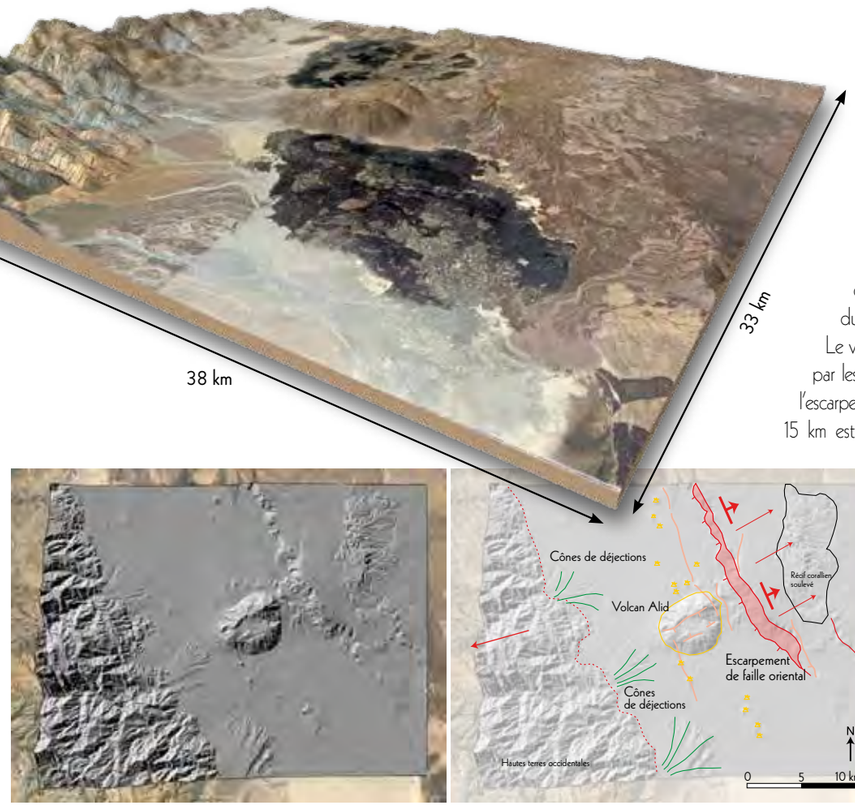




© Smithsonian Institution

Erythrée
Rift associé à un point chaud

Volcan Alid



Description

Le site du volcan Alid est le lambeau continental le plus prégnant du rift de l'Afar, entré dans sa phase finale d'océanisation. Cette phase d'océanisation marque la complétude du processus de rupture continentale. Le volcan est flanqué de part et d'autre par les failles bordières du rift. Côté Est, l'escarpement haut de 300 m et long de 15 km est abrupt. Au contraire, le rebord occidental, profondément entaillé par des vallées d'érosion, ressemble davantage à une chaîne de montagnes. De chaque côté du volcan Alid et alignés avec la direction des failles, se trouvent des chaînes de petits cônes et cratères entourés par des étendues de laves. Le bassin est un demi-graben large de 15 km.

Points forts

La zone est assez circonscrite pour un rift continental, ce qui permet de voir l'ensemble du bassin en un seul coup d'œil. Des plans de faille et des fissures s'observent clairement en de nombreux points du site. Le soulèvement s'observe aisément dans des morphologies récentes telles que le crypto-dôme qui s'élève près de la ligne de faille et le soulèvement de sédiments marins à l'extérieur du rift (récif corallien).

Points faibles

Les marges du rift ne sont ni très hautes, ni très longues comparées à d'autres. L'alignement volcanique est peu distinct du fait de la disproportion entre la taille du volcan Alid et celle des petits cônes noyés dans les coulées de laves.

Tableau des scores et analyse

CRITÈRES	NOTATION	1 Sandia - Petroglyph *Chaîne de montagnes*	2 Steens - Diamond *Chaîne de montagnes*	3 Mateare - Chiltepe *Subduction*	4 Hula - Golan *Zone transformante*	5 Tunka *Chaîne de montagnes*	6 Freibourg - Kaiserstuhl *Chaîne de montagnes*	7 Krusne Hory *Chaîne de montagnes*	8 Limagne - Chaîne des Puys *Chaîne de montagnes*	9 Lake Malawi *Point chaud*	10 Muhindu - Virunga *Point chaud*	11 Kenya lakes *Point chaud*	12 Adama - Boset *Point chaud*	13 Alid *Point chaud*
A. FRACTURATION ET SUBSIDENCE														
Fracturation clairement exprimée	0 - 5	4	5	4	4	5	4	3	4	5	3	3	4	4
Processus superficiels marqués, affleurements de petites échelles de failles et de fractures	0 - 2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2
SOUS-TOTAL :		5	7	5	5	7	5	4	5	6	4	5	6	6
B. MAGMATISME														
Structures typiques du magmatisme de rift visibles dans le paysage	0 - 5	1	2	3	2	1	2	3	5	5	5	4	5	4
Activité volcanique	0 - 2	0	0	2	1	0	0	0	1	1	2	1	2	2
SOUS-TOTAL :		1	2	5	3	1	2	3	6	6	7	5	7	6
C. SOULÈVEMENT														
Surfaces surélevées	0 - 5	2	3	3	2	4	3	3	5	3	1	3	4	4
Sédiments soulevés, plateaux inclinés vers l'extérieur du rift	0 - 2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	0	1	2	2
SOUS-TOTAL :		3	5	5	3	5	5	5	7	4	1	4	6	6
D. CONNECTIVITÉ														
Liens intrinsèques entre toutes les morphologies du site	0 - 5	2	3	4	2	3	3	4	5	5	1	4	5	4
Chronologie perceptible	0 - 2	1	1	1	0	2	0	1	2	1	0	2	1	1
SOUS-TOTAL :		3	4	5	2	5	3	5	7	6	1	6	6	5
E. SCIENCE														
Science moderne	0 - 5	3	3	3	2	3	3	4	4	4	5	4	4	2
Histoire des sciences	0 - 2	0	1	1	0	1	2	1	2	1	2	2	0	0
SOUS-TOTAL :		3	4	4	2	4	5	5	6	5	7	6	4	2

SUMMARY														
A. Fracturation et subsidence	Note sur 7	5	7	5	5	7	5	4	5	6	4	5	6	6
B. Magmatisme	Note sur 7	1	2	5	3	1	2	3	6	6	7	5	7	6
C. Soulèvement	Note sur 7	3	5	5	3	5	5	5	7	4	1	4	6	6
D. Connectivité	Note sur 7	3	4	5	2	5	3	5	7	6	1	6	6	5
E. Science	Note sur 7	3	4	4	3	4	5	5	6	5	7	6	4	2
TOTAL	Note sur 35	15	22	24	15	22	20	22	31	27	20	26	29	25

Durant la rupture d'un continent, la divergence résulte d'une trinité de processus essentiels : la subsidence, le magmatisme et le soulèvement. Chacun de ces processus peut intervenir à un moment et dans un ordre différent en fonction du contexte tectonique du rift (montagnes, subduction, faille transformante, point chaud). Cela laisse une empreinte distincte dans les paysages. En raison de cette diversité, tout comme pour les zones de collision, une représentation complète des expressions variées de ce processus majeur nécessiterait l'inscription de plusieurs sites sur la Liste du patrimoine mondial, de manière à couvrir l'éventail complet des morphologies et contextes tectoniques.

Cette analyse comparative est une version synthétique de l'analyse complète et de l'élicitation d'experts jointes en annexes en 2018 (version anglaise). Elle a pour but de se concentrer sur les trois processus constitutifs du rifting continental, ainsi que sur leurs connexions et l'intérêt scientifique du site. Le but est d'identifier le bien le plus représentatif pour illustrer et percevoir clairement le processus de rupture continentale dans sa globalité.

Cette analyse a été construite **à partir d'apports scientifiques solides et endossée par un large éventail de chercheurs** (liste détaillée dans les annexes 2018) qui ont travaillé sur les différents sites comparés. Ces chercheurs ont assisté l'équipe de la Chaîne des Puys – faille de Limagne dans le choix des sites à comparer, la révision et la validation de chaque description de site et sa notation. Ces gages ont visé à rendre l'analyse comparative la plus robuste et objective possibles.

Pour chacune des cinq catégories d'indicateurs définies dans le tableau de notation page 263 (subsidence, magmatisme, soulèvement, connectivité, science), un ou plusieurs sites figurent en tête de liste :

- **Subsidence :** Steens mountain et Tunka sont parmi les meilleurs exemples d'escarpements au monde. La faille de Limagne, bien que clairement marquée, ne possède pas les mêmes hauteur et longueur. Mais les structures de fracturation et d'effondrement de Steens mountain et de Tunka ne sont pas étroitement associées à des morphologies volcaniques caractéristiques et ne fournissent donc pas une image claire et complète du processus de rifting.

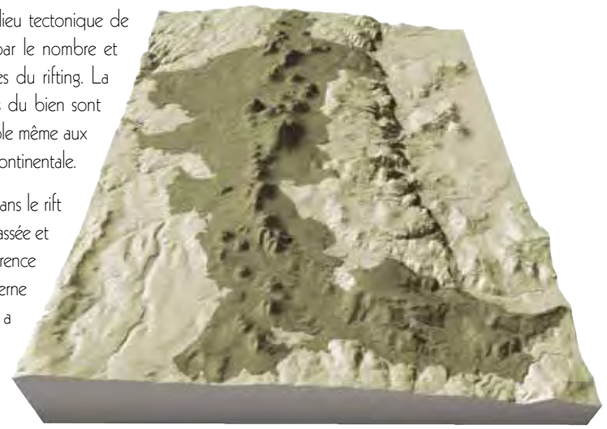
Steens mountain est un grand site avec un escarpement très bien exprimé, mais le volcanisme associé est éloigné de 40 km de la faille. L'ensemble du processus de rifting ne peut donc être perçu d'un seul point de vue.
(Source : M. Miller)

- **Magmatisme :** Virunga et Adama constituent indiscutablement les volcans les plus impressionnants et actifs, mais ces morphologies volcaniques éclipsent largement les structures d'effondrement et de soulèvement. La Chaîne des Puys est un champ dormant plus petit, mais exceptionnellement varié (toutes les variétés de magmas alcalins sont présentes), parallèle et proportionné à la faille de Limagne, communiquant clairement le lien entre les caractéristiques volcaniques et tectoniques.

- **Soulèvement :** Le bien proposé excelle en ce qui concerne les expressions du soulèvement, avec un long relief inversé (la Montagne de la Serre), un plateau incliné et des sédiments soulevés. La Montagne de la Serre s'apparente à une horloge géologique puisqu'elle a enregistré la chronologie du processus de rifting qu'elle permet de retracer dans le paysage.

- **La connectivité :** Sur ce point-ci également, le Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys – faille de Limagne se démarque par le nombre et la clarté des connexions entre les différentes composantes du rifting. La concentration, l'agencement et la co-visibilité des attributs du bien sont sans équivalents et créent un paysage très typique, accessible même aux non-spécialistes. En cela, c'est un vrai classique de rupture continentale.

- **Science :** De nombreux sites comparés, en particulier dans le rift Est-africain, sont d'une grande importance pour la science passée et moderne, tels que les volcans des Virunga qui sont une référence pour les volcanologues. Depuis le début de la science moderne au XVIII[e] siècle, la Chaîne des Puys- faille de Limagne a été une Mecque pour les géologues. C'est encore le cas aujourd'hui avec les travaux scientifiques importants qui paraissent chaque année sur les processus liés au rift[10].



Avec la Chaîne des Puys - faille de Limagne, deux sites du rift Est-africain sont très bien placés dans tous les indicateurs :

- Malawi – Rungwe, sont des cas d'école de rift de point chaud, mais ils ne montrent pas le soulèvement aussi clairement ;

- Adama – Boset exprime très bien la subsidence et le magmatisme dans les failles intra-rift, mais il faudrait un périmètre beaucoup plus large pour visualiser les marges bordières du rift qui sont trop éloignées des volcans. Ce faisant, le site perdrait en connectivité.

Cette comparaison montre que la Chaîne des Puys - faille de la Limagne regroupe d'excellentes illustrations de toutes les caractéristiques du rifting (subsidence et failles, volcanisme alcalin et évidence de soulèvement) et **se distingue nettement quant à l'expression de leurs liens intrinsèques**. Leurs relations génétiques sont en effet évidentes dans le paysage en raison de la remarquable proximité, proportionnalité et géométrie des différentes structures.

Proximité, proportionnalité et géométrie des différentes manifestations du rift dans le Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys – faille de la Limagne
(Source : E. Langlois, CERAMAC)

10 - Martel, C., Champallier, R., Prouteau, G., Pichavant, M., Arbaret, L., 2013, *Trachyte phase relations and implication for magma storage conditions in the Chaîne des Puys (French Massif Central)*, Journal of Petrology, Oxford University Press (OUP), 2013, V. 54: 1071-1107.
Maccaferri, F., Rivalta, E., Keir, D., Acocella, V., 2014, *Off-rift volcanism in rift zones determined by crustal unloading*, Nature Geosciences, 7(4), 297–300.
Maccaferri, F., Acocella, V., Rivalta, E., 2015, *How the differential load induced by normal fault scarps controls the distribution of monogenic volcanism*, Geophysical Research Letters. V. 42: 7507–7512.
France L., Demarcon, M., Gurenco AA., Briot, D., 2016, *Oxygen isotopes reveal crustal contamination and a large, still partially molten magma chamber in Chaîne des Puys (French Massif Central)*, Lithos V. 260: 328-338.

Si le bien proposé **se détache en termes de connectivité et de processus de soulèvement encore actifs** (en particulier les reliefs inversés), il **obtient également des notes élevées pour tous les autres aspects**, ce qui n'est pas le cas des douze sites comparés où **un ou plusieurs éléments obtiennent des scores plus faibles ou disproportionnés**. L'équilibre des notes du bien proposé est très exactement lié à son stade de développement, l'étape de surrection d'un rift lié à une chaîne de montagnes.

Conclusion

La rupture continentale est une étape complexe du cycle de Wilson sur la tectonique des plaques, le paradigme fondamental du fonctionnement de la structure terrestre. La séparation prend des dizaines de millions d'années, à partir du moment où un continent commence à se distendre. Après cette étape de rupture extrêmement longue, les lambeaux continentaux se séparent finalement, laissant la place aux rides océaniques après une phase de transition appelée « océanisation ». Tout ce processus de rupture des continents se répète continuellement sur d'immenses périodes de temps et constitue une caractéristique propre de la Terre par rapport aux autres planètes.

Le bien proposé pour inscription est **éminemment représentatif de la trinité de processus conduisant à la rupture continentale** et c'est un **archétype parfait d'un rift lié à une chaîne de montagnes**, où la subsidence précède le magmatisme et le soulèvement vient ensuite. Tout ceci est remarquablement perceptible dans le paysage du Haut lieu tectoniques de la Chaîne des Puys – faille de Limagne par une concentration inégalée d'attributs géomorphologiques distinctifs et leurs liens fondamentaux. C'est en cela **une expression exceptionnellement complète, diversifiée et éloquente du processus de séparation des continents** et ce qui fait l'essence de sa valeur universelle exceptionnelle.

Le paysage de la Chaîne des Puys - faille de Limagne expose magnifiquement les trois caractéristiques fondamentales du processus de rifting.
(Source : G. Fayet)

Un archétype de rift lié à la formation de montagnes
(Source : J. Way)

3.3 Proposition de déclaration de valeur universelle exceptionnelle

Brève synthèse

Situé au centre de la France, en région Auvergne-Rhône-Alpes, le Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne est un segment emblématique du rift Ouest-européen, contrecoup de la formation des Alpes il y a 35 millions d'années.

Dans un site circonscrit et esthétique, ce véritable théâtre géologique **donne à voir de manière exceptionnelle un phénomène majeur et spectaculaire de l'histoire de la Terre : la rupture des continents**. Imprimant le paysage, la longue faille de Limagne, l'alignement gracile des volcans de la Chaîne des Puys et le relief inversé de la Montagne de la Serre, montrent comment la croûte continentale s'est fracturée, effondrée, déclenchant des remontées de magma profond et un soulèvement massif de toute cette zone.

Densément groupés et incontestablement interconnectés, ces grands attributs permettent de toucher du doigt ce **phénomène géologique majeur**, gigantesque par son ampleur et sa durée, et de **l'appréhender ici dans sa totalité**.

Critère (viii)

La tectonique des plaques est un paradigme majeur des sciences de la Terre. Cette théorie fondamentale explique la formation des continents et des océans, leur physionomie actuelle comme leurs bouleversements passés et à venir. Le bien proposé met en scène de manière exceptionnelle le phénomène de rupture continentale ou rifting, un des cinq grands stades de cette tectonique des plaques.

Le Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys – faille de Limagne **permet d'observer simultanément l'ensemble des manifestations archétypales du processus de rupture d'un continent et révèle leurs liens intrinsèques**. Les formations géologiques du bien proposé et leur disposition spécifique, illustrent avec une exceptionnelle clarté ce processus colossal et ses effets dans le paysage à grande et petite

échelle. Cette concentration est **sans équivalent par sa complétude, sa densité et son éloquence**. C'est l'une des raisons pour lesquelles ce site sert depuis le XVIIIe siècle de référence scientifique pour l'étude des processus géologiques fondamentaux.

Intégrité

Du fait de son ampleur, le phénomène de rupture continentale génère des systèmes de rift de plusieurs milliers de kilomètres de long. Le périmètre du bien, concentré sur 242 km², permet de présenter en un seul lieu et sans discontinuité spatiale, la totalité des attributs nécessaires à la représentation complète de ce processus. **Il en rassemble tous les témoins les plus remarquables et bien conservés**.

Le site inclut le secteur de faille le plus imposant, qui marque clairement la limite entre l'ancien plateau continental aplani et le grand bassin sédimentaire adjacent. Il comprend également un champ volcanique jeune, non affecté par l'érosion et exposant le spectre complet des magmas alcalins typiques d'un volcanisme de rift. Enfin, la longue coulée de la Montagne de la Serre, fruit d'un volcanisme antérieur, est à cheval entre le socle et le bassin d'effondrement qu'elle domine. Cette inversion de relief est un indicateur caractéristique du soulèvement généralisé qui affecte les zones de rift.

Site naturel faisant l'objet de longue date de mesures de préservation, le bien est peu peuplé (16 hab/km²), la population se concentrant dans la plaine de Limagne adjacente. Les édifices géologiques inclus dans le périmètre du bien sont très majoritairement intacts. Ils sont préservés de l'urbanisation, l'érosion demeure très superficielle et n'a pas altéré les structures, les activités d'extraction n'ont concerné qu'une partie mineure du bien proposé. Plus globalement, les impacts humains sont restés limités et n'ont aucunement compromis la valeur géologique du Haut lieu tectonique Chaîne des Puys – faille de Limagne qui **répond en ce sens pleinement aux paragraphes 90 et 93 des Orientations, relatifs à l'intégrité des biens relevant du critère (viii)**.

Protection et attendus de gestion

Le site fait l'objet depuis près de cent ans, de mesures de gestion et de préservation impulsées par les acteurs locaux et garanties par l'Etat. La préservation de la valeur universelle exceptionnelle nécessite de prévenir toute dégradation des édifices géologiques et de maintenir, voire d'accentuer, leur lisibilité dans le paysage. Les principales menaces potentielles identifiées sont ainsi les carrières, l'urbanisation, le recouvrement des formes géologiques par la forêt et l'érosion anthropique des sols. **L'ensemble de ces menaces est aujourd'hui maîtrisé** à travers une combinaison de mesures réglementaires, un programme d'action volontariste et la présence de moyens humains et financiers dédiés.

Le bien fait l'objet de **mesures réglementaires nationales fortes** (site classé, loi Montagne, schéma des carrières) **qui s'appliquent tant sur les propriétés publiques que privées**. La loi interdit notamment l'ouverture de nouvelles carrières, impose une autorisation de l'Etat pour toute modification du site et interdit ou limite fortement les possibilités de construction (régulation stricte de l'Etat sur le foncier quel que soit le statut concerné). Les règlements locaux viennent renforcer et préciser ces protections environnementales, paysagères et urbanistiques.

Le site fait également l'objet de mesures de gestion volontaristes à travers un plan de gestion dédié bénéficiant de moyens financiers et d'équipes adéquats. Ce programme d'action opérationnel agit notamment sur la préservation des formes géologiques et de leur lisibilité, la gestion de la fréquentation touristique, le maintien des activités traditionnelles locales et la transmission de la valeur universelle exceptionnelle au public.

Les nuages sur le graben de Limagne permettent d'entrevoir ce qu'aurait pu être le stade suivant du rift : l'ouverture d'un océan. On perçoit très bien les deux marges bordières (Monts du Forez au loin) et faille de Limagne en premier plan, qui seraient devenues des rivages ; ainsi que le volcanisme ancien et reliefs inversés qui auraient émergés en îlots.
(Source : A. Ith)