© D. Porcher

2

Description

Description

2.a Description du bien **50**

2.a.1 Attributs morphostructuraux **50**

Le substratum varisque du plateau des Dômes **50**

La faille listrique et le graben de Limagne **52**

Le Rift du Massif Central 52

Structures et composition 54

Moho, amincissement crustal et volcanisme 55

Le relief inversé de la Montagne de la Serre **56**

Localisation 57

Structures et géomorphologie 58

Pétrologie 59

L'alignement volcanique quaternaire de la Chaîne des Puys **64**

Structures des édifices éruptifs 64

Un magmatisme complexe 74

Morphologie des coulées 78

2.a.2 Caractères physiques de cet espace **83**

Climatologie **83**

Données générales sur le bien proposé 83

Phénomènes climatiques particuliers 84

Climat et diversité des habitats naturels 86

Changements climatiques et esthétique paysagère 86

Milieux naturels et biodiversité **88**

Milieux forestiers 88

Milieu agropastoral, l'estive 90

Milieux aquatiques et humides 91

Inventaire de la faune et de la flore 92

Hydrogéologie **108**

L'influence de la Chaîne des Puys sur l'hydrographie 108

Des aquifères régulés par les édifices et produits volcaniques 109

Des ressources valorisées 111

2.a.3 Analyse paysagère ... 114

Approche paysagère de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne ... 114

Le visible : premier émerveillement du paysage ... 114
Le lisible : le palimpseste des signes du paysage ... 116
Le sensible : l'émotion profonde ... 116

Qualités paysagères de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne ... 118

Le bien au cœur de grands ensembles de paysages auvergnats ... 118
Les unités de paysages qui composent le bien et sa zone tampon ... 119

2.a.4 Un site objet de nombreuses recherches scientifiques ... 134

Laboratoire Magmas et Volcans de Clermont-Ferrand et EAVUC ... 134

Laboratoire Magmas et Volcans ... 134
Équipe Associée de Volcanologie de l'Université de Clermont (EAVUC) ... 135

Principales mesures et recherches menées par des équipes nationales ... 136

Volcanologie, sismologie et étalonnage gravimétrique ... 136
Météorologie et microbiologie ... 140
Archéologie ... 141

Recherches menées par des équipes étrangères ... 146

2.b Historique et développement : une construction à plusieurs vitesses ... 148

2.b.1 La construction des formes : l'histoire géologique ... 148

Orogenèse hercynienne : la formation du socle ... 148

Histoire post-chaîne hercynienne et ante-Rift tertiaire : transgression, érosion et épirogenèse ... 151

Évolution mésozoïque ... 151
Évolution paléocène - éocène ... 151

La formation du Rift cénozoïque Ouest-Européen ... 152

La collision alpine et le Rift Ouest-Européen ... 152
Sédimentation, incursions marines et volcanisme dans le graben de Limagne ... 154
L'inversion de relief de la Montagne de la Serre ... 156

Volcanisme de rifting actif : l'édification de la Chaîne des Puys ... 157

Rifting actif ... 157
Cycles magmatiques ... 158
Modification des reliefs existants ... 164

Résumé chronologique des épisodes géologiques ... 165

2.b.2 L'habillage paysager : l'histoire des peuplements ... 168

Préhistoire et premiers campements mésolithiques ... 168

Reliefs, paléoclimats et disposition spatiale de l'occupation humaine ... 169
L'impact volcanique sur l'environnement ... 169
Faune et mobilité des chasseurs-cueilleurs ... 170

Néolithique : sédentarisation et domestication du territoire ... 172

Premières implantations et mégalithisme ... 172
Âge du Bronze : occupation des oppida ... 173
Premier Âge du Fer : colonisation de nouvelles terres ... 173
Deuxième Âge du Fer : émergence de grands domaines ruraux ... 174

Période romaine : densification et structuration du paysage ... 176

Expansion urbaine et pression agricole ... 176
Interaction Limagne - Chaîne des Puys ... 176
Le culte de Mercure Dumias ... 177

Moyen-Âge et la mise en place du paysage actuel ... 180

De la fin de l'Empire romain au Xe siècle : perduration de l'organisation antique ... 181
Le tournant de l'an Mil : sites paroissiaux et sites castraux ... 181
Crise généralisée et bouleversement des paysages fin XIIIe - XIVe ... 183

Période moderne et contemporaine ... 186

Évolution du peuplement et impacts paysagers ... 186
Progrès technique et aménagements structurants ... 188

2.b.3 Les couleurs et textures : l'histoire agricole, économique et culturelle ... 195

Une organisation du paysage autour de la forêt et des estives ... 195

Évolution climatique et forêts primaires ... 195
Agropastoralisme et ouverture du milieu ... 198
Déprise agricole et reconquête végétale ... 202

Exploitation des roches volcaniques et identité chromatique locale ... 204

Le trachyte des sarcophages et des temples ... 204
La trachy-andésite de l'architecture religieuse et laïque ... 206
La pouzzolane des grands travaux ... 208

2.b.4 Un site géologique redécouvert, artialisé et patrimonialisé : l'histoire des représentations ... 209

Volcanologie et histoire des sciences ... 209

Un ensemble fondateur pour la volcanologie ... 209
Un lieu de découvertes scientifiques universelles ... 217

Révélation esthétique et témoignages artistiques ... 220

De l'approche paysagère antique à la parenthèse médiévale ... 220
Découverte scientifique et changement de regard ... 221
Un paysage artialisé ... 223

Reconnaissance de la valeur patrimoniale et gestion concertée ... 226

Conclusion générale de la partie historique et développement ... 228

2 Description

2.a Description du bien

La description du bien proposé s'attache à montrer tous ses attributs et caractéristiques importantes qui justifient sa valeur universelle exceptionnelle sur la base des critères (vii) et (viii). Cela passe notamment par une description de son cadre morphostructural et par une analyse paysagère. En tant que bien naturel, il convient également de dresser une liste des espèces présentes sur le périmètre retenu. Enfin, cette maquette géologique reste un haut-lieu de la recherche scientifique et de l'expérimentation de techniques de pointe en matière de volcanologie, sismologie, microbiologie ou encore archéologie.

2.a.1 Attributs morphostructuraux

Pour appréhender le cadre morphostructural du Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne, il convient de le resituer dans le cadre du Massif Central qui étend ses reliefs sur 86 000 km², soit un sixième du territoire français. Plus vaste massif métropolitain français, il se caractérise par son ancienneté, son altitude moyenne et ses reliefs arrondis qui abritent l'essentiel des volcans hexagonaux. Dominant d'un rebord élevé et abrupt les plaines qui le bordent à l'est et au sud-est, il descend au contraire en pente douce vers le nord et vers l'ouest. Ce vaste ensemble, géologiquement composite, est d'abord un massif ancien, témoin de la chaîne varisque, morcelé et isolé par d'importantes fractures.

Le Massif Central comprend essentiellement :

- un socle varisque (Paléozoïque), où figurent surtout des formations métamorphiques et granitiques et quelques bassins houillers ;
- des fossés d'effondrement cénozoïques ;
- des édifices volcaniques tertiaires et quaternaires.

Cette diversité pétrographique et structurale est de fait parfaitement résumée par les quatre grandes unités géomorphologiques qui composent le bien proposé pour inscription : le substratum granito-gneissique du plateau des Dômes, la faille bordière et le graben de Limagne, le relief érodé de la Montagne de la Serre, et la ligne ondulée des jeunes volcans de la Chaîne des Puys.

Le substratum varisque du plateau des Dômes

L'épaulement de rift du plateau des Dômes s'élève nettement au-dessus du bassin d'effondrement de la Limagne dont la faille-limite se traduit dans le paysage par un escarpement nord-sud caractérisé par une déclivité de 30° environ et une dénivellation pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres (m). Ce relief pénéplané culmine à 1 030 m tandis que la surface du graben de Limagne se situe à 300 m. Son profil transversal est-ouest est dissymétrique, le versant oriental étant plus pentu en raison du rejet de la faille et de l'importance du déblaiement du fossé limagnais par l'érosion. Les vallées de ce versant sont donc à la fois plus profondes, plus étroites et à plus forte inclinaison.

La composition du substratum de la Chaîne des Puys résulte d'une évolution complexe décrite dans la partie 2.b.1, qui a produit des chevauchements et des transformations métamorphiques qui affectèrent les dépôts sédimentaires. Il est constitué pour l'essentiel des granitoïdes – granites, diorites, gabbros – intrusifs dans les roches métamorphiques. Les cornéennes affleurent çà et là en plaquage à la surface des granites et des diorites. Ce sont des reliques de la couverture sédimentaire Dévonien moyen-Carbonifère inférieur (entre 380 et 330 Ma) du socle métamorphique antérieur à la mise en place des granites.

Lors de son ascension à travers les terrains paléozoïques, déjà métamorphisés sous l'effet de la chaleur, le magma granitique a refoulé ou disloqué les bancs de cornéennes encaissants et, au cours de ce processus, de nombreux fragments de cornéennes ont été englobés et se sont retrouvés en enclaves dans le granite. Ces cornéennes – roches très résistantes – couronnent les sommets de certaines buttes sur l'ensemble du plateau.

Le socle cristallin est affecté par un réseau de failles. Au cours des phases successives de sa structuration, il a subi plusieurs phases de tectonique cassante échelonnées durant toute l'orogenèse varisque. Les failles induites ont contrôlé la formation de bassins volcano-sédimentaires viséens (entre 345 et 328 Ma) et guidé la mise en place des intrusions de filons d'aplite et de quartz. Toutes ces failles ont par la suite rejoué à plusieurs reprises. Les accidents les plus importants sont jalonnés de zones plus ou moins broyées ou de brèches à ciment siliceux.

Failles dans le socle varisque, gorges de l'Artière, Ceyrat
(Source : P. Soissons)

Dykes d'aplite dans le socle varisque granitique, vallon de Boisséjour
(Source : P. Soissons)

Tor ou boules granitiques, vallon de Boisséjour
(Source : P. Soissons)

Constituant majeur du substratum, le granite au faciès porphyroïde – granite de Theix-Royat – est également présent en bordure de faille. Ce granite et le cortège de filons qui le recoupent – granite de Manson – représentent les derniers événements magmatiques varisques dans le bien proposé. Roche massive, il est découpé naturellement par un réseau de plans privilégiés, appelés joints, qui facilitent son altération en boules. Localement, il est altéré sur une épaisseur, variable selon le lieu d'observation, qui tend cependant à être plus marquée dans les zones de broyage. En plusieurs points du bien – Theix, vallon de Boisséjour – il se présente sous forme de blocs émoussés. L'arène qui englobait les blocs a été totalement entraînée par les eaux de ruissellement, laissant apparaître çà et là des chaos de boules granitiques – tors.

L'aspect aplani du socle actuel, majoritairement recouvert par les édifices de la Chaîne des Puys et leurs coulées, résulte d'une érosion des reliefs varisques durant deux cents millions d'années. La formation de cette pénéplaine a mis à jour les structures profondes de la chaîne varisque, comme des plutons granitiques.

Ce socle varisque est visible en de nombreux points d'affleurement dans la région de Clermont-Ferrand, en particulier dans toutes les vallées qui raccordent le plateau des Dômes à la Limagne et, à l'ouest, le long du cours de la Sioule.

La faille listrique et le graben de Limagne

La faille de Limagne doit être resituée dans le contexte du Rift du Massif Central, lui-même portion du Rift Ouest-Européen, avant d'être décrite dans sa structure et composition. Enfin sera évoquée la relation de cet amincissement crustal avec le volcanisme régional.

Plan de faille, sur la route Volvic-Enval
(Source : D. Pourcher)

Le Rift du Massif Central

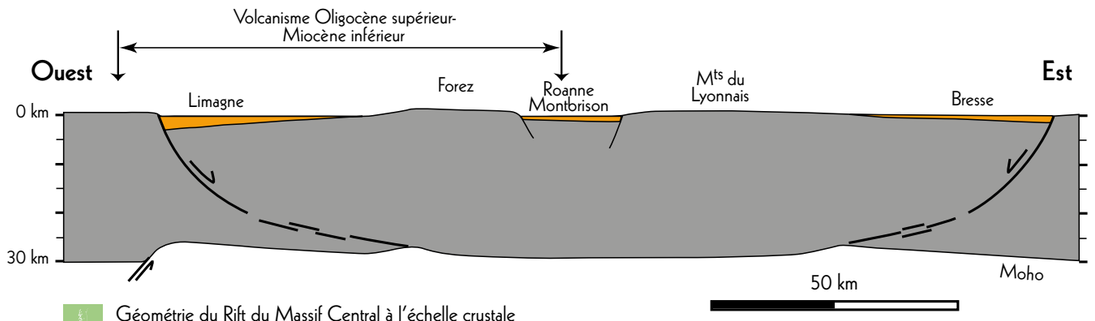
Le graben de Limagne, séparé physiquement et spatialement du socle granito-gneissique du plateau des Dômes par l'accident de la faille de Limagne, appartient au Rift Ouest-Européen (ROE), système de grabens disposé concentriquement autour de l'arc alpin. Cette structure est constituée de trois provinces principales : le Massif Bohémien, la Province Rhénane et le Massif Central. Le Massif Bohémien, à l'est, est un môle varisque recoupé par un fossé d'effondrement orienté nord-est : le graben de l'Eger. La Province Rhénane, centrée sur le Bouclier Rhénan, constitue la seconde structure extensive. Elle est composée des grabens du Rhin, de la Ruhr et de la Hesse (Leine). Enfin, le **Rift du Massif Central (RMC) représente le segment le plus important du ROE**. L'histoire du ROE est développée dans la partie 2.b.1.

Faille de Limagne, vue aérienne depuis Châtel-Guyon
(Source : P. Soissons)

Situé dans la partie orientale du Massif Central, entre le Sillon Houiller et les Alpes, le Rift du Massif Central (RMC) s'étend sur près de 200 km d'est en ouest et 300 km du nord au sud. Cette structure est composée de deux grabens asymétriques latéraux, le demi-graben de la Bresse à l'est et celui de la Limagne à l'ouest, et d'un graben central globalement symétrique de 20 km de large, le graben de Roanne-Montbrison. Selon une coupe est-ouest, le RMC est bordé par deux failles majeures de vergence opposée, les failles de Limagne et de la Bresse, et caractérisé par une symétrie de miroir centrée sur le graben de Roanne-Montbrison. Dans sa limite nord, le RMC est bordé par le Bassin parisien et par le seuil de Bourgogne. Cette limite septentrionale correspondrait à une zone transformante reliant le sud du graben du Rhin au nord du RMC. Dans sa limite sud, la terminaison du rift présente une forte interaction avec le Rift nord-ouest Méditerranéen.

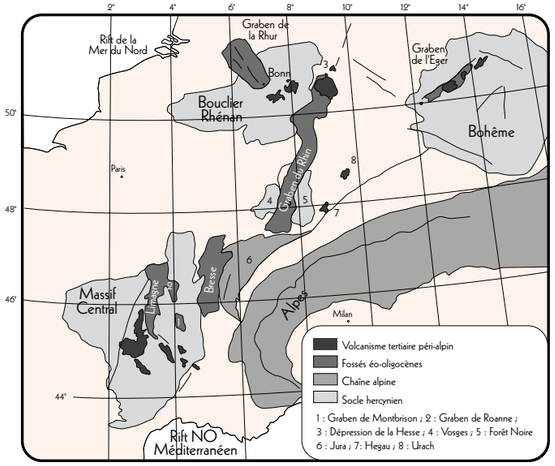
Stries de failles, sur la route Volvic-Enval
(Source : P. Soissons)

Le Rift du Massif Central résulte d'une extension est-ouest en deux temps – la première symétrique, la seconde asymétrique –, qui s'est déroulée pendant une dizaine de millions d'années et durant laquelle les grabens se sont comblés de plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres de sédiments. La phase d'extension asymétrique est responsable d'un amincissement crustal important à l'aplomb du graben de Limagne. L'extension de la croûte supérieure peut être estimée à 10-15 km à partir de la géométrie de failles majeures.

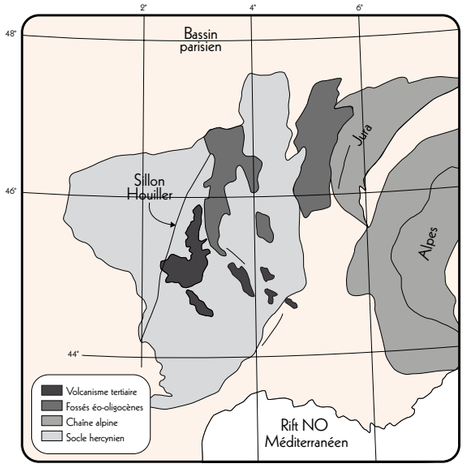


Géométrie du Rift du Massif Central à l'échelle crustale
(Source : L. Michon, Laboratoire Géosciences de l'Université de la Réunion)

D'après les données de géophysique, la géométrie du Rift du Massif Central est vraisemblablement liée à deux ruptures de la partie fragile de la lithosphère mantellique, espacées initialement de 40 à 50 km. Ces deux ruptures correspondraient aux deux inflexions du Moho situées de part et d'autre du graben de Roanne-Montbrison comme le représente la figure ci-dessous. La réactivation de failles varisques dans la partie fragile de la croûte tendrait également à expliquer la distance entre les deux failles bordières.



Différentes parties du Rift Ouest-Européen
(Source : L. Michon, Laboratoire Géosciences de l'Université de la Réunion)



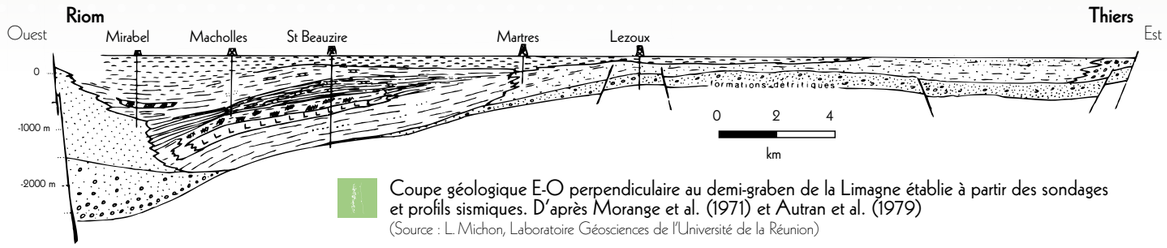
Rift du Massif Central
(Source : L. Michon, Laboratoire Géosciences de l'Université de la Réunion)

Structures et composition

Pris dans son acception complète, le graben de Limagne est composé de quatre bassins qui se succèdent du nord au sud : le bassin de Moulins, celui de Vichy, la Limagne de Clermont et la Limagne d'Issoire. Dans le présent dossier, l'expression renvoie à la Limagne de Clermont qui en est le fossé principal. Son remplissage sédimentaire a été l'objet de recherches pétrolières, de sondages de la Compagnie générale des matières nucléaires (COGEMA), et de campagnes géophysiques de sismique et de gravimétrie qui ont permis de déterminer la structuration d'ensemble du fossé.

C'est un graben asymétrique, ou demi-graben, limité à l'ouest et au nord-ouest par deux failles majeures : la faille de Limagne, orientée nord-sud et dont le rejet maximal atteint en certains endroits près de 3 000 mètres, et la faille d'Aigueperse, orientée nord-est. L'intersection de ces deux accidents limite à l'ouest la fosse de Riom, à 15 kilomètres de Clermont-Ferrand.

La géométrie globale du graben, attestée par les études géophysiques, montre l'effondrement du toit du socle au pied de la faille de Limagne et sa pente continue vers l'est qui le fait remonter et affleurer de nouveau dans les monts du Forez. Les mouvements d'extension et d'amincissement crustal ont en effet provoqué un abaissement du fond du graben de Limagne – subsidence – par rapport à la surface du plateau des Dômes. Cet enfoncement atteint les 3 000 mètres sous l'ombilic sédimentaire de Riom. D'après les profils de sismique réflexion, la remontée du socle vers l'est se fait régulièrement jusqu'au seuil de Lezoux, à 30 kilomètres de distance. À l'est, l'épaisseur des sédiments diminue progressivement jusqu'au sillon de Thiers où le dépôt est d'environ 700 mètres.



Coupe géologique E-O perpendiculaire au demi-graben de la Limagne établie à partir des sondages et profils sismiques. D'après Morange et al. (1971) et Autran et al. (1979)
(Source : L. Michon, Laboratoire Géosciences de l'Université de la Réunion)

En soi, le graben de la Limagne est un des plus beaux exemples au monde de graben asymétrique. En coupe, il a l'allure d'un roll over délimitant une zone de sédimentation en biseau, très épaisse au pied de la faille et qui diminue en épaisseur vers l'est en direction des monts du Forez. Ceci suggère que la faille de Limagne correspond globalement à une faille normale listrique. La géométrie de sa partie sud n'est, elle, pas définie avec précision. S'il est certain que la faille de Limagne se poursuit sur 35 km vers le sud, jusqu'à la commune de Saint-Floret, il est également évident que son importance décroît graduellement.

Ce fossé s'est donc comblé progressivement, au fur et à mesure de son enfoncement lors de l'extension, par des sédiments d'abord détritiques – sables argileux et arkoses essentiellement issus de la bordure ouest –, puis marneux et calcaires.

Moho, amincissement crustal et volcanisme

Dans le graben de Limagne, la profondeur du Moho à 26 km indique un amincissement crustal notable de 25 %, à l'aplomb de la faille bordière. À l'ouest, sous le plateau des Dômes, le Moho s'enfonce brutalement à 30 km, valeur d'une croûte non amincie, surtout si l'on considère que le socle affleure à 1000 m dans cette région. À l'est de l'amincissement maximum, la base de la croûte s'enfonce régulièrement jusqu'à 27,5 km et forme une nouvelle inflexion sous le Forez. Le Moho s'y situe à 26,6 km et l'amincissement crustal est ici de 10 %. Il existe donc deux remontées du Moho dans la partie ouest du Rift du Massif Central, la plus importante à l'aplomb de la faille de Limagne et l'autre sous le Forez.

	Profondeur du Moho (km)	Position des formations anté-tertiaires par rapport au niveau de la mer (m)	Épaisseur de la croûte (km)	Amincissement crustal maximal
Bresse	29,5	-1500	28	10%
Bresse centrale	28,3	+200	28,5	8%
Bresse-Mts du Lyonnais	26,7	+400	27,1	13%
Roanne-Montbrison	29,5	-300	29,2	5%
Forez	26,6	+1 500	28,1	10%
Limagne	26	-2 700	23,3	25%
Chaîne des Puys	30	+1 000	31	0%

La remontée du Moho à l'aplomb de la faille de Limagne et la présence du volcanisme cénozoïque dispersé uniquement dans la partie ouest du Rift du Massif Central – Limagne et Forez –, constituent les deux témoins d'une évolution asymétrique lors de l'épisode de rifting. Ainsi, l'extension éo-oligocène n'a pas affecté la partie sud du Massif Central de façon significative, ce qui explique probablement l'absence de grande faille bordière comme de volcanisme dans le Cantal et le Velay à la fin de la sédimentation, autour de 23 Ma.

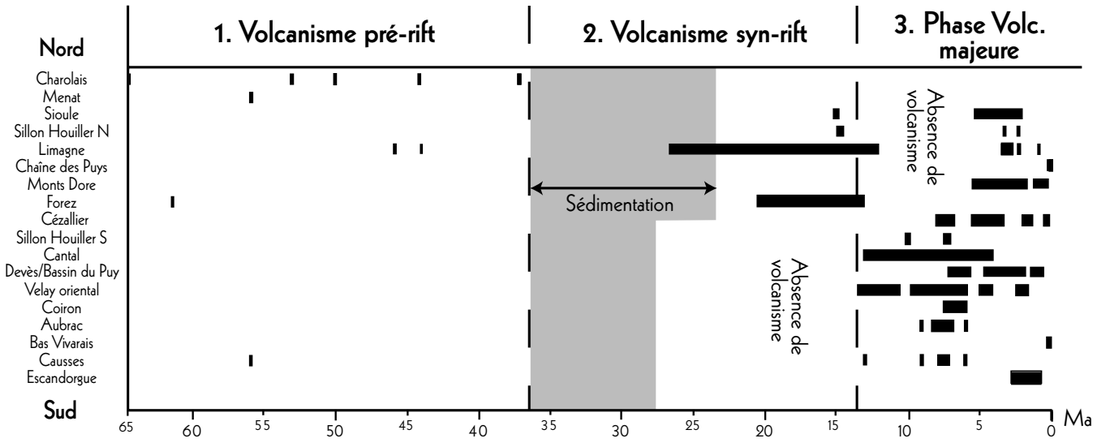


Tableau de la répartition spatio-temporelle du volcanisme du Massif Central
(Source : L. Michon, Laboratoire Géosciences de l'Université de la Réunion)

Le graben de Limagne a lui par contre été le siège d'un volcanisme intense, bi-modal – basaltes et phonolites –, qui s'est étalé du Miocène au Pléistocène (16 à 3 Ma). Cet épisode est décrit plus avant dans la partie 2.b.1. Géomorphologiquement, on note trois formes de reliefs bien distinctes parmi les quelque 200 édifices d'origine volcanique que compte ce fossé d'effondrement :

- des cheminées volcaniques déchaussées comme le neck de Montrognon (~ 15,8 ± 0,3 Ma) ;
- des collines arrondies constituées de pépérites, comme le puy de Bane (non daté) ;
- des plateaux tabulaires ou « mesas », restes de coulées épanchées autrefois dans les vallées mais dont le relief s'est inversé avec l'érosion, tels le plateau de Gergovie (coulée supérieure ~ 16,5 ± 0,5 Ma) ou la Montagne de la Serre (~ 3,4 ± 0,3 Ma).

Le relief inversé de la Montagne de la Serre

Exemple classique de relief inversé, la Montagne de la Serre est un modelé particulièrement didactique dont l'analyse conjugue géomorphologie structurale et géomorphologie dynamique. Ainsi, sa position structurale a été modifiée sous l'effet conjugué de la tectonique et de l'érosion. Phénomène géomorphologique lié à une longue histoire de dénudation, l'inversion de relief survient lorsque des matériaux situés originellement en fond de vallée, en l'occurrence une coulée de lave formant une carapace plus résistante, deviennent des plateaux suite à l'érosion des roches sédimentaires adjacentes plus tendres. **Attribut de la maquette géologique, cette inversion constitue l'une des grandes étapes de l'évolution structurale du bien proposé pour inscription.**

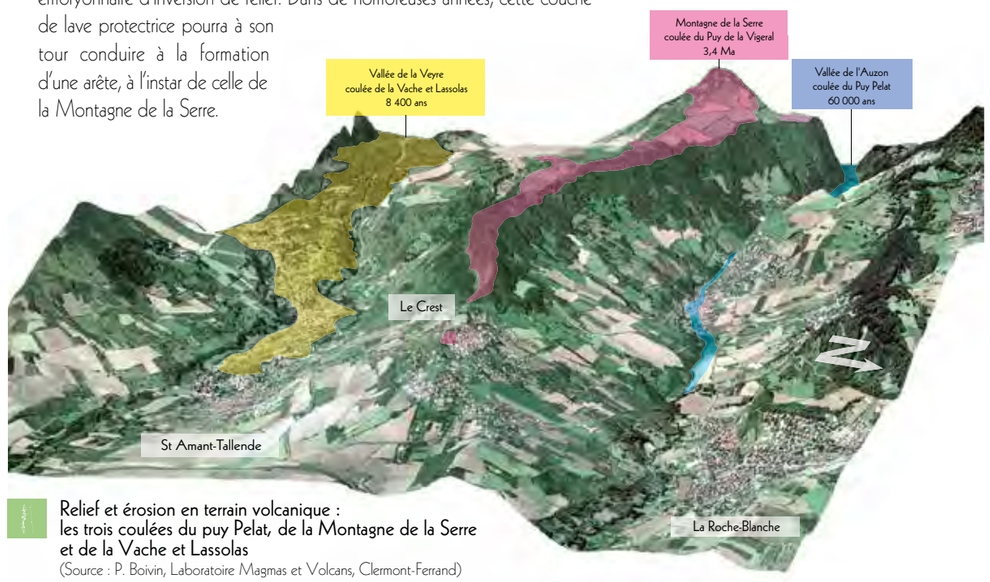
Localisation

La partie sud-est du Haut lieu tectonique comprend trois longues coulées parallèles orientées ouest-est :

- celle basaltique attribuée au puy Pelat et datée de ~ 60 000 ans ;
- la coulée pliocène de la Montagne de la Serre (~ 3,4 ± 0,3 Ma) ;
- et enfin celle trachy-basaltique des puys jumeaux de la Vache et Lassolas datée de ~ 8 400 ans.

Ces trois épanchements fournissent une séquence classique qui illustre les relations entre la lave, la topographie et la chronologie. Tous ces flux de lave proviennent du plateau des Dômes et s'écoulent vers le graben, en enjambant la faille de Limagne :

- La coulée du nord, remarquablement étroite – rarement plus large que 150 mètres –, court sur environ 14 kilomètres. Cette forme effilée a été dictée par la topographie de la vallée de confinement de la rivière Auzon dans laquelle la coulée s'est épanchée ;
- La coulée en plateau de la Montagne de la Serre, beaucoup plus ancienne, prend naissance dans un cône de scories très démantelé, décelable au sommet de la colline dite de « La Vigeral », située à 1 040 m sur le plateau des Dômes et qui domine le lac de La Cassière. L'arête de lave, en pente constante entre le plateau et la plaine, matérialise le tracé d'une paléovallée. À noter que cette coulée pliocène n'est pas faillée, ce qui indique que l'extension avait cessé de jouer au moment de sa mise en place et que la surrection des terrains s'est faite de manière homogène ;
- La coulée sud, issue des plus jeunes volcans de l'alignement de la Chaîne des Puys – les cratères égueulés de la Vache et Lassolas – est de loin la plus importante. Elle s'étend sur près de 20 kilomètres et s'est mise en place sur le sol de la vallée de la Veyre, barrant les lacs d'Aydat et de la Cassière. Dans la partie médiane de la coulée, la Veyre s'est frayée une voie sous la lave ; tandis qu'à son extrémité, de nouvelles vallées tendent à se creuser. L'érosion en bordure de coulée des sédiments oligocènes de la Limagne par les rivières de la Veyre et la Monne, représente un stade embryonnaire d'inversion de relief. Dans de nombreuses années, cette couche de lave protectrice pourra à son tour conduire à la formation d'une arête, à l'instar de celle de la Montagne de la Serre.



Relief et érosion en terrain volcanique :
les trois coulées du puy Pelat, de la Montagne de la Serre et de la Vache et Lassolas
(Source : P. Boivin, Laboratoire Magmas et Volcans, Clermont-Ferrand)

L'idée que certains terrains peuvent être interprétés comme le produit de l'inversion de relief, a été proposée dès la fin du XVIII[e] siècle par Nicolas Desmarest lors d'un voyage en Auvergne. De nombreux scientifiques ont depuis développé ce sujet, dont le géomorphologue William Morris Davis et le géologue Archibald Geikie.

Relief inversé de la Montagne de la Serre vu du nord
(Source : H. Monestier)

Structures et géomorphologie

Sur le socle granitique, la coulée moule un interfluve complexe entre les vallées de la Veyre et de l'Auzon. Elle franchit ensuite sans ressaut la faille bordière de Limagne pour constituer, à l'aval du confluent du paléocours de ces deux ruisseaux et jusqu'à la butte-témoin du Crest, à 9 kilomètres du centre éruptif, l'exemple le plus classique de coulée de vallée en inversion totale de relief. La zone topographique aujourd'hui la plus élevée correspond ainsi aux zones basses envahies par la lave.

Il est à noter que dans ce secteur, le dénivelé de la faille de Limagne est moins accentué car les dépôts de roches sédimentaires sont en position transgressive par-dessus la limite tranchée par la faille entre le socle varisque et les roches sédimentaires oligocènes, résultats des différentes incursions laguno-marines de la même période.

Sur le terrain, on peut distinguer trois entités géomorphologiques distinctes, qui sont largement en relation avec les différentes duretés des formations rocheuses en présence – voir carte pages 60-61 :

- la coulée de basalte pliocène, en amont côté ouest, forme une longue « crête acérée » en relief, qui se réduit en aval, à l'est, en une langue épaisse, son front érodé dominant la butte de roches sédimentaires où est construit le bourg ancien du Crest ;
- la masse de socle cristallin paléozoïque – plateau des Dômes –, qui à la faveur du passage de la faille bordière de Limagne, est en relief sous la langue de la coulée de basalte, formant un épaulement de rift qui surplombe les formations sédimentaires en contrebas. Une partie du substratum est recouverte par des couches de sédiments en contact normal – effet de transgressions laguno-marines – ;
- les formations sédimentaires oligocènes du bassin, essentiellement composées de sables argileux, de calcaires gréseux, de calcaires, de calcaires marneux et de marnes calcaires.

Ces trois entités géomorphologiques favorisent la mise en inversion de relief de la longue coulée de basalte, due à l'altérabilité relative et la fragilité mécanique des roches cristallines primaires et, plus patente, des roches sédimentaires déblayées par l'érosion, ainsi que la persistance des roches basaltiques plus résistantes.

Par ailleurs, cette coulée pliocène a mis « sous scellés » des paléo-dépôts et des paléo-topographies, offrant des "clichés instantanés" irremplaçables de l'évolution des paysages comme des éléments de datations sur les structures régionales. Ainsi, au-dessus du village de Chadrat, à près de 2 kilomètres en aval de la faille, où le basalte a protégé un dépôt sableux fluvio-lacustre comportant en abondance des sphènes volcaniques imputables aux éruptions trachy-phonolitiques bien antérieures à la formation de la caldeira du Mont Dore (~ 2, 5 Ma), à une vingtaine de kilomètres au sud.

Enfin, par sa disposition, qui ne montre aucune dénivellation sensible à son passage du socle granitique au fossé sédimentaire et qui n'a donc vraisemblablement pas été affectée par le jeu de la faille listrique, cette coulée de lave est une excellente source d'informations sur :

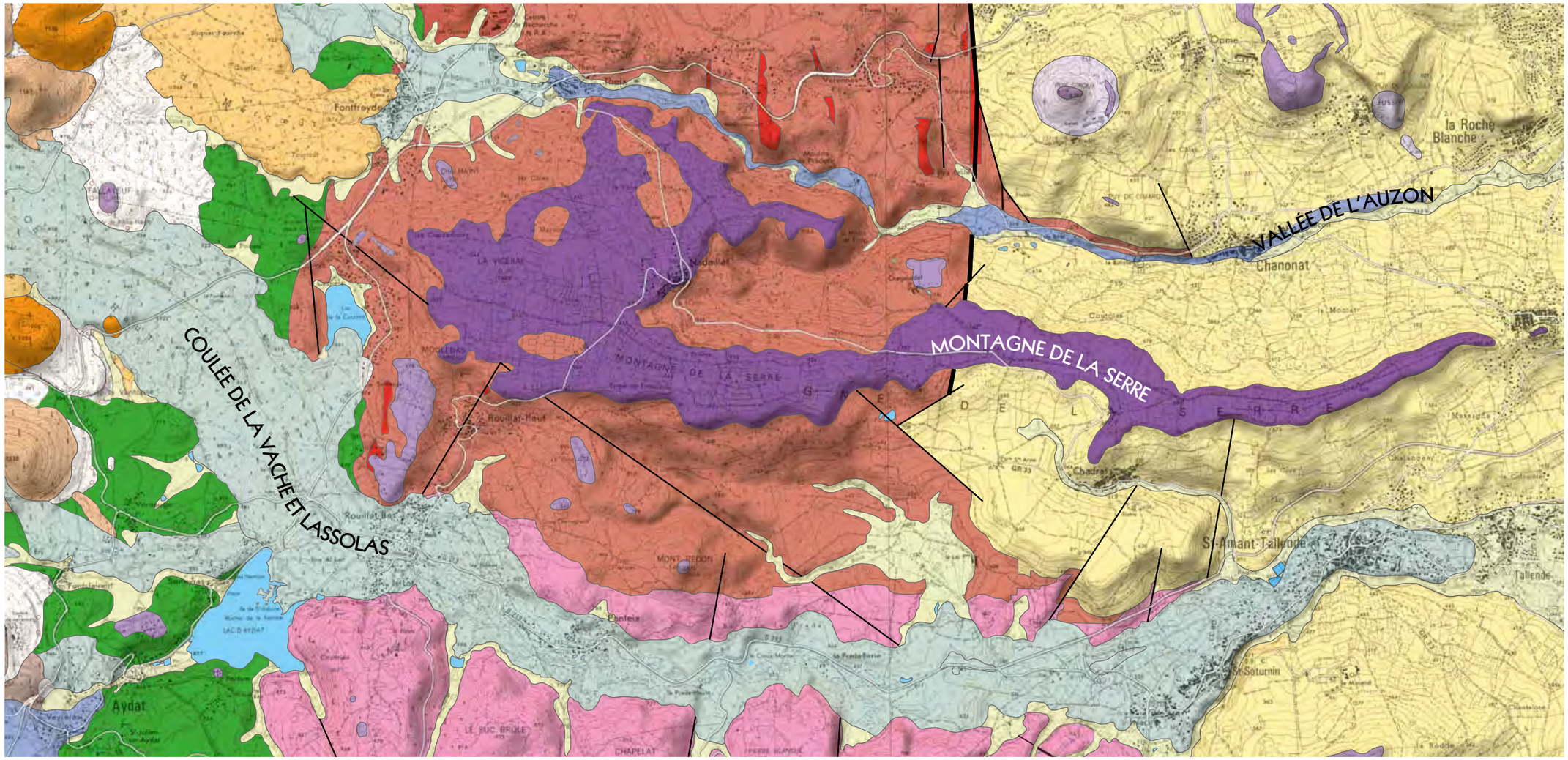
- la signification de l'épaulement de rift ;
- l'âge des dernières manifestations tectoniques affectant la zone ;
- les modalités du creusement de la vallée de l'Allier ;
- le déblaiement du fossé d'effondrement ;
- le soulèvement et l'érosion du socle bordier ;
- l'évolution morphologique post-Oligocène du Massif Central en général.

Pétrologie

Les différentes formations géologiques du territoire de la Montagne de la Serre appartiennent aux trois grandes familles de roches :

- les roches magmatiques : plutoniques et volcaniques ;
- les roches métamorphiques ;
- les roches sédimentaires.

Coulée de basalte dénudée de la Montagne de la Serre, vue est
(Source : H. Monestier)



Socle varisque
- Granite de Manson
- Granite de Theix-Royat
- Granite de Cournols
- Diorite d'Aydat

Cénozoïque
- Basalte et trachy-basalte
- Pépérite
- Failles
- Sédiments de Limagne

Chaîne des Puys
- Cône et coulée de basalte
- Cône et coulée de trachy-basalte
- Cône et coulée de trachy-andésite
- Pyroclastites basiques

Holocène
- Alluvions

Carte géologique de la Montagne de la Serre dans son environnement pétrographique sur fond IGN scan 25 (convention N°9701/IGN)
(Source : P. Boivin, compilé à partir de J.B. M'Bongou 2011 et Boivin et al, 2009)

0 1 2 km

N

➤ *Les roches magmatiques plutoniques*

Les roches magmatiques plutoniques à structure grenue sont très anciennes puisque liées au socle varisque (Paléozoïque). Elles sont issues de la cristallisation lente de magmas profonds, injectés et piégés dans des formations déjà constituées dans la croûte terrestre, où ils sont stockés et refroidis. Sur le territoire de la Montagne de la Serre, ce sont des granites porphyriques et des granites saccharoïdes, lardés de filons d'aplite et de quartz blanc.

Le granite porphyroïde (~ 330 Ma environ), dit granite de Theix-Royat, constitue la muraille de la faille de Limagne, le fond et les flancs des vallées qui l'entaillent. Il est de teinte claire avec une abondance de phénocristaux et de feldspath blanc laiteux, la proportion de biotite – mica noir – pouvant nuancer sa coloration.

Sous la Montagne de la Serre, du nord au sud, le granite porphyroïde est intrusif dans d'anciens schistes calcaires et les transforme localement en cornéennes. Le contact est cependant masqué par les roches des coulées de lave récentes issues du volcanisme de la Chaîne des Puys, des vallées de l'Auzon et de la Veyre.

Le granite saccharoïde à deux micas, dit de Manson, se rencontre lui en filons à la frange nord-ouest, nord et nord-est de la Montagne de la Serre, en amont, entre le lac de la Cassière, le sud des villages de Theix et Nadaillat et occupe les points élevés du paysage. Il reste visible seulement en certains points du plateau des Dômes, où il recoupe le granite porphyrique et parfois la diorite quartzique – diorite d'Aydat –, roche magmatique plutonique grenue à quartz, plagioclases et hornblende âgée de 346 ± 8 Ma. Cette diorite très rare sur la Montagne de la Serre, est surtout visible au nord du lac d'Aydat.

➤ *Les roches magmatiques volcaniques*

Les roches magmatiques volcaniques présentes sur ce secteur sont issues d'éruptions d'âge et de dynamismes différents :

- les plus anciennes sont les trachy-basaltes à olivine et pyroxène du plateau de la Serre, datées de 3,4 ± 0,3 Ma ;
- des basaltes à olivine et pyroxène de la coulée de la vallée de l'Auzon, associée au volcanisme pléistocène (environ 60 000 ans par thermoluminescence – TL –) de la Chaîne des Puys dont l'édifice d'origine est peut-être le puy Pelat ;
- le trachy-basalte à olivine et pyroxène de la coulée de la vallée de la Veyre, issue des cratères jumeaux de la Vache et Lassolas (8 400 ± 130 ans).

Des traces de téphras poussés par les vents et issus de panaches d'éruptions récentes du sud de la Chaîne des Puys sont également présentes sur le plateau de la Serre.

➤ *Les roches métamorphiques*

Les roches métamorphiques rencontrées sont essentiellement des schistes, des grès métamorphiques et surtout des cornéennes – anciens schistes calcaires. Elles se situent surtout sur le flanc sud de la Montagne de la Serre, tapissant le fond de l'amont de la vallée de la Veyre et de son affluent, la vallée de la Monne.

➤ *Les roches sédimentaires*

Les roches sédimentaires, d'âge oligocène, se concentrent à la jonction du plateau de la Serre et du bassin d'effondrement. Ce sont essentiellement des :

- grès ;
- calcaires gréseux ;
- calcaires francs ;
- calcaires marneux ;
- marnes calcaires ;
- argiles de teintes rougeâtres à verdâtres.

Mais elles renferment également des fossiles de :

- phryganes, insectes dont la larve aquatique s'entoure d'un manchon calcaire (indusie) ;
- stromatolithes, entre le plateau de la Serre au nord et le village de Saint-Saturnin au sud. Ces stromatolithes constituent un bioherme de taille exceptionnelle près du village de Chadrat. Ce récif, exploité en carrière, a fourni toutes les pierres de taille pour la construction du village ;
- poissons dans des calcaires en plaquettes sous la côte de Chadrat, village entre la Montagne de la Serre et la coulée de la Vache - Lassolas, dans le graben de Limagne.

Colline de Chadrat

Tronc qui a servi de substrat aux stromatolithes
(Source : D. Pourcher)

Les stromatolithes de Limagne

La colline du village de Chadrat montre un développement tout à fait exceptionnel de stromatolithes à algues diversifiées. Ces faciès prennent naissance dans un chenal constitué de sable quartzo-feldspathique. Ils se développent sur plusieurs mètres de longueur et d'épaisseur. Leur morphologie en chou-fleur devient coalescente sur le sommet de la colline, jusqu'à former un véritable « trottoir » de concrétions calcaires qui arme la colline.

Même si les stromatolithes peuvent coloniser bon nombre de milieux, il existe beaucoup d'exemples de stromatolithes lacustres fossiles qui se développent non loin des berges. Leur position peut évoluer en fonction des variations de la tranche d'eau et ainsi « fossiliser « d'anciennes lignes de rivage. C'est le cas des stromatolithes de Limagne comme le souligne leur répartition le long des contours de la zone de sédimentation lacustre.

On peut retrouver un équivalent environnemental et stratigraphique parmi les stromatolithes éocènes de la Green River Valley, ceux oligocènes du fossé rhénan, les stromatolithes pléistocènes du lac Natron, et ceux holocènes du lac Tanganyika.

Néanmoins, les stromatolithes du bassin de Limagne montrent une plus grande diversité de morphologie. Leur association tend à former de véritables récifs jusqu'à constituer des îles dans le lac. **Cela représente un biotope exceptionnel.**

Stromatolithes en chou-fleur
(Source : D. Pourcher)

Enfin, les roches des formations superficielles sont essentiellement des :

- alluvions et des coulées de boue et de débris, au fond des talwegs des vallées de l'Auzon et de la Veyre et sur le plateau de la Serre – anciens lits de rivières post-éruption et ante-érosion – ;
- colluvions de pente calcaro-marneuses, dans des zones de mouvements de terrain ;
- éboulis de blocs de basalte et/ou basanite au niveau des falaises des coulées de lave, sur toutes les communes du territoire ;
- colluvions en masse de calcaires argileux, marnes et blocs de basanite altérés sur la butte-témoin du Crest, au bout de la coulée de la Montagne de la Serre.

La plupart des colluvions étaient déjà présentes sur la surface structurale pré-éruptive, avant la mise en place des coulées de basalte et basanite de la Montagne de la Serre.

L'alignement volcanique quaternaire de la Chaîne des Puys

La zone faîtière et pénéplanée du substratum varisque sert de socle à l'essaim gracile des appareils éruptifs de la Chaîne des Puys, alignés sur une traînée méridienne de 32 kilomètres de longueur et 4 de largeur, selon le même axe nord-sud que la faille de Limagne. Si son orientation générale est nord-sud, on constatera que les volcans s'ordonnent sur un faisceau de fractures de second ordre, certaines sub-méridiennes, la plupart nord/nord-est - sud/sud-ouest : cette dernière direction est d'ailleurs celle de nombreuses cassures élémentaires constitutives de la faille de Limagne.

Les structures remarquables et variées des quelque quatre-vingts puys d'âge pléistocène à holocène (~ 95 000 à 8 400 ans) alignés dans la partie centrale de ce champ volcanique est l'expression d'un magmatisme souterrain complexe.

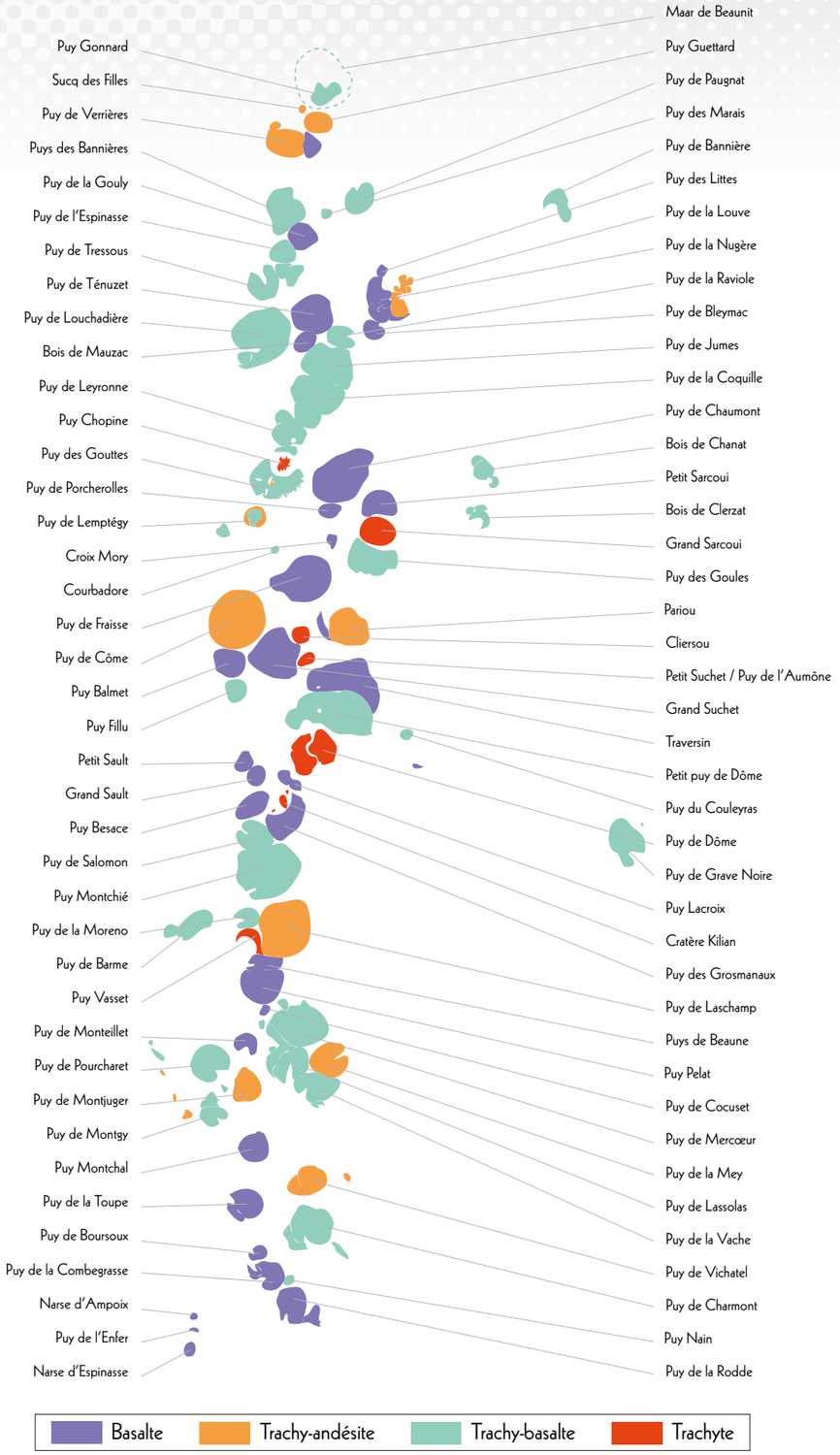
Structures des édifices éruptifs

Constituée dans sa grande majorité d'appareils monogéniques, au sens adopté par Rittman (1962), formés au cours d'une seule et généralement « courte » éruption, de l'ordre de quelques jours à quelques mois, **la Chaîne des Puys rassemble une exceptionnelle collection d'édifices variés et très peu érodés, du fait de leur jeunesse géologique**.

Il existe trois types fondamentaux d'appareils monogéniques :

- les cônes de scories et leurs variantes : spatter-cones et cônes de lave par exemple, résultant d'éruptions stromboliennes ;
- les dômes et protrusions, produits par les éruptions à magma acide visqueux ;
- les maars et anneaux de tuf, témoignant d'une activité hydromagmatique.

Ces trois types fondamentaux sont parfaitement représentés dans la Chaîne des Puys.



Typologie des édifices de la Chaîne des Puys selon la nature des laves
(Source : Cg63, d'après EAVUC 2009)

➤ *Les cônes de scories*

Le bien proposé pour inscription compte une quarantaine de cônes stromboliens. Quelques édifices présentent toutefois une plus grande complexité, qui résulte d'une succession de phases éruptives de styles différents.

Les cônes de scories de la Chaîne des Puys atteignent en général 100 à 200 mètres de hauteur. Le puy de Côme – le plus grand d'entre eux – dépasse de 350 mètres la surface sur laquelle il repose et possède un diamètre à la base de 1 500 mètres. Les formes naturelles de ces cônes conservent une grande fraîcheur. Leurs pentes se situent le plus souvent entre 20 et 30° – 26° au nouveau Pariou, 30° au puy de la Vache où a été relevée la plus forte déclivité – ; il est classiquement admis que la pente d'un cône strombolien en activité se situe aux environs de 35°, pente d'équilibre théorique d'un talus d'éboulis. Pour comparaison, les cônes actifs de l'Etna accusent des valeurs de 27 à 38°.

Le cratère des cônes stromboliens de la Chaîne des Puys apparaît bien dessiné, sauf pour quelques uns – puy de Fraisse, puy de la Combegrasse –, qui ne se présentent que sous la forme d'une cuvette émoussée. Toutefois, il semble souvent que l'émoussé apparent d'un cratère résulte, plus que de l'érosion, de son comblement partiel par les produits de saupoudrage issus des volcans voisins, ce qui est particulièrement visible dans les carrières du puy de Ténuzet. Cette fraîcheur notable a permis de distinguer plusieurs types morphologiques à partir des caractères du cratère.

Certains cônes de la Chaîne des Puys présentent un cratère simple, régulier, complètement fermé comme le puy des Goules – 200 mètres de diamètre pour 40 mètres de profondeur –, et surtout celui de la phase terminale du Pariou, dont les contours remarquables, qui sont l'emblème de la région Auvergne, ont été mondialement popularisés en tant qu'image de marque de l'eau minérale Volvic – 300 mètres de diamètre pour 95 mètres de profondeur.

D'autres, généralement plus profonds, présentent un cratère égueulé, largement ébréché d'un côté : le cône dessine alors un croissant dont l'ouverture correspond à l'égueulement. Cette morphologie provient de la contemporanéité de l'émission d'une coulée et des explosions projetant les scories. Les scories, qui retombent sur la coulée en mouvement, sont emportées par le flux créant une ouverture dans le cône en construction. C'est en particulier le cas du puy de la Louchadière, et surtout des puys de la Vache et de Lassolas, classiquement cités comme exemples de volcans égueulés.

Des édifices présentent plusieurs cratères. Il peut s'agir de cratères jumeaux ayant fonctionné simultanément, comme ceux du puy de Barme. Dans d'autres cas, des complexes cratériques traduisent plusieurs stades d'activité avec déplacement des points de sortie comme les cratères sud-ouest du puy de Montchié, ou sans déplacement du point de sortie comme au puy de Côme dont les cratères sont emboîtés.

Certains cônes de scories ont pu être affectés par des effondrements de flancs qui ont engendré une avalanche de débris. C'est le cas du puy de la Grave Noire, édifié sur l'escarpement de la faille de Limagne, et qui au cours de son activité – il y a 60 000 ans –, s'est écroulé en donnant un dépôt d'avalanche de débris de 5 kilomètres de long. Ce dépôt est constitué de panneaux de nature variable avec des produits du cône lui-même – projections scoriacées, basalte massif, produits phréatomagmatiques initiaux – et des fragments du substratum – socle, sédiments, basaltes anciens. La cicatrice d'arrachement est encore décelable.

(Source : P. Soissons)

Des cônes à l'histoire complexe : le puy du Pariou

Le plus parfait des cratères auvergnats se dresse à 250 mètres au-dessus de la plaine environnante. Il est construit en projections trachy-andésitiques de teinte gris bleuâtre. Cet appareil volcanique s'est édifié d'une façon excentrée sur le bord d'un vaste anneau de projections phréatomagmatiques constitué lors d'une phase éruptive immédiatement antérieure. Cet anneau ceinture un vaste cratère de 750 mètres de diamètre. On distingue encore nettement, à l'ouest et au nord du cône actuel, le bord de ce premier cratère, séparé du cône du Pariou par une vallée, ou atrio. La présence de cette zone déprimée entre les deux cratères évoque la disposition de la Somma et du Vésuve.

À l'est et au sud, les scories du cône Pariou recouvrent le premier anneau constitué de trachytes vitreux noirs ou de ponces blanches contenant des petits cristaux d'andésine et de hornblende, disséminés dans un verre brun clair. Ces projections trachytiques sont mêlées à des trachybasaltes, noirs ou rouges, empruntés à un vieux volcan strombolien, presque totalement détruit par les explosions qui ont procédé à l'édification du rempart annulaire.

Le Pariou a émis deux coulées de lave trachy-andésitique, la principale vers l'est, l'autre au nord. La grande coulée s'est divisée en deux branches à l'est d'Orcines. L'un des bras a atteint l'emplacement actuel du village de Nohanent, l'autre, d'une longueur totale de 8 kilomètres, s'est arrêté au niveau de la ville de Chamalières, aux portes de Clermont-Ferrand.

La coulée nord résulte de la vidange du lac de lave qui occupait l'atrio. Elle s'est épanchée à travers une brèche de 200 mètres de largeur, ouverte dans l'anneau initial du Pariou, s'est heurtée à l'obstacle constitué par le puy des Goules et a bifurqué vers l'est pour s'immobiliser à la hauteur du lieu-dit de la Fontaine du Berger.

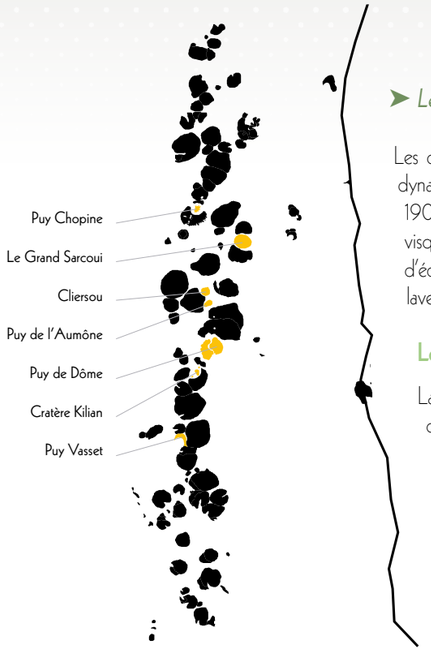
(Source : M. Sagot)

Cratères jumeaux égueulés : les puys de la Vache et de Lassolas

Cônes stromboliens typiques mesurant respectivement 1 170 et 1 195 mètres, ces magnifiques cratères égueulés jumeaux sont les plus jeunes édifices de la Chaîne des Puys au sens strict (8 340 ans ± 120 ans âge moyen obtenu par différentes méthodes). Très peu érodés, ces deux cônes de scories sont spectaculaires. Leur égueulement, dirigé vers le sud, les fait ressembler à deux croissants accolés. Les projections sont trachy-basaltiques, la roche est grise, brun sombre, criblée de phénocristaux d'augite et d'olivine de plusieurs millimètres, ainsi que de rares labradors. La pâte contient des microlites de ces mêmes minéraux. On y trouve également de beaux spécimens de bombes fuselées. Sur les cônes, les scories sont souvent altérées en masses rouge brique, jaunes, ou blanchâtres. Une activité fumerollienne est à l'origine des altérations rouges, oxydant le fer en hématite. L'altération en roches jaunes et blanchâtres est beaucoup moins répandue et résulte d'une activité fumerollienne acide transformant les roches en opale.

La morphologie de ces deux cratères est assez complexe. Dans le puy de Lassolas, sur le flanc interne du cratère, on remarque un entonnoir d'une trentaine de mètres de profondeur qui s'est probablement formé lors d'une explosion de gaz. Il existe au nord des deux cônes des restes très effacés d'un ancien cratère qui correspond à un volcan antérieur.

La coulée des puys jumeaux de la Vache et Lassolas est responsable de nombreux bouleversements topographiques, barrant entre autres nombre de vallées latérales. Une douzaine de lacs sont ainsi nés mais la plupart d'entre eux se sont asséchés, comblés peu à peu par des alluvions ou des vases de diatomées. L'ancien lac de Randanne renferme quelques mètres d'une variété de diatomite, que l'on a nommé randannite. Les lacs d'Aydat et de la Cassière sont les seuls témoins en eau de ces barrages naturels constitués par la coulée. Cet épanchement de lave constitue une cheire chaotique magnifique. La lave, trachy-basaltique, est noire, compacte, légèrement bulleuse, et contient des phénocristaux d'olivine, d'augite et de labrador.



➤ *Les dômes et protrusions*

Les dômes et protrusions aux magmas trachytiques plus acides, sont issus du dynamisme dit « péléen », en référence à l'éruption de la Montagne Pelée en 1902 en Martinique. Il se forme par l'extrusion progressive d'une lave très visqueuse, s'accumulant autour de l'évent jusqu'à former un dôme. Ce type d'édifice ne contient alors aucun cratère, et l'on ne peut y observer de coulée de lave aux alentours, celle-ci étant trop pâteuse pour s'étaler davantage.

Les dômes

La Chaîne des Puys compte sept édifices de type péléens, qui se concentrent dans sa partie centrale et sont apparus entre 15 000 et 9 200 ans, durant sa dernière phase d'activité recensée. En fonction de la viscosité de la lave initiale, on répertorie soit des dômes-coulées – puy de l'Aumône –, soit des dômes à pentes raides – Sarcoui – ou hérissées – puy de Dôme. La protrusion en aiguille est notamment observée au puy Chopine, véritable épée ayant traversé le socle varisque pour s'élever à plus de 160 m. On distingue ainsi dans la Chaîne des Puys différents types de dômes et protrusions associées :

- Dômes à flancs réguliers tel le Grand Sarcoui ①, classiquement comparé à un chaudron renversé, 800 m de diamètre et 250 m de haut, des pentes raides de 60° du côté sud, son sommet est plan et légèrement déprimé ;
- Dômes à flancs dissymétriques tel le puy de l'Aumône ②, la dissymétrie pouvant s'expliquer en partie par la pente de son socle ;
- Dômes péléens tel le puy de Dôme ③, composé des deux types, dôme et aiguille, 1 464 m, constitue une formation volcanique rare, bien que son aiguille se soit presque intégralement écroulée. Il n'en reste aujourd'hui que la base, surmontée de l'antenne de télédiffusion ;
- Protrusions tel le puy de Chopine, 160 m de haut, 500 m de diamètre, volcan assez surprenant, ayant suscité de nombreuses discussions depuis le début de la volcanologie. Il est formé de trachyte mais aussi de roches du socle qui se situent-là deux cents mètres au-dessus de leur cote habituelle. Un croissant de scories stromboliennes, le puy des Gouttes ④ enserre sa moitié sud.

Dans un cumulo-dôme, la lave toujours visqueuse s'accumule en surface au-dessus d'un point de sortie préalablement ouvert par une phase initiale explosive. Elle s'étale latéralement sous l'effet de son propre poids et surtout du refoulement provoqué par une alimentation continue. De par leur mode de mise en place, les cumulo-dômes ont une largeur nettement supérieure à celle d'une cheminée d'alimentation, contrairement aux protrusions. Leur étalement latéral peut être suffisant pour masquer les produits du stade initial ; ceux-ci, représentés par une brèche à éléments de socle, n'ont été observés qu'au Grand Sarcoui, grâce à la présence d'une importante carrière.

Dôme en forme de chaudron renversé du Grand Sarcoui
(Source : P. Soissons)

Dôme à flancs dissymétriques du puy de l'Aumône
(Source : J.-P. Voilhes)

Sur un substratum horizontal et plan, la forme d'un dôme dépend de la viscosité de sa lave au moment de l'éruption. Dans certains cas, en particulier sur un substratum incliné, le dôme devient dissymétrique et peut même donner un dôme-coulée. Cette interprétation a été invoquée au Sarcoui pour expliquer la coulée censée le prolonger au nord-est, mais cette coulée est en fait le produit d'une avalanche de débris. La dissymétrie du puy de l'Aumône, par contre, peut s'expliquer en partie par la pente de son socle.

Si des obstacles s'opposent à l'étalement, la forme du dôme sera modifiée. Dans la Chaîne des Puys, les obstacles sont constitués par des cônes de scories antérieurs. Leur forme ayant été retouchée par des explosions initiales, ils n'ont guère gêné l'expansion des dômes. Par contre, leur influence sur la répartition des écoulements pyroclastiques est nette au Sarcoui et au puy de Dôme.

Les protrusions

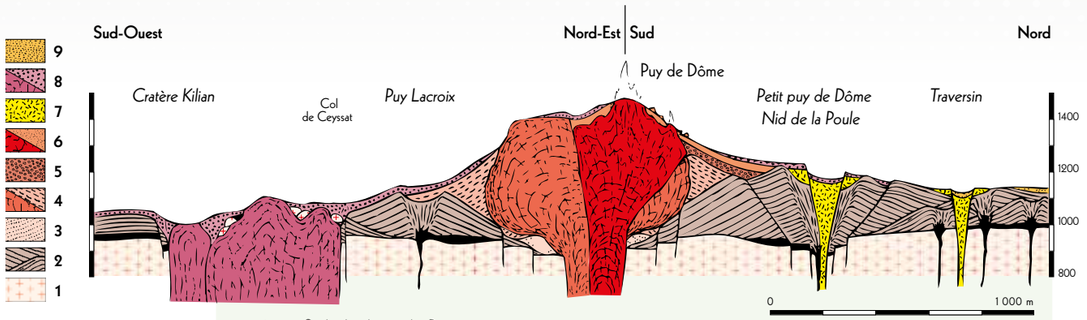
Les protrusions sont des extrusions de lave parvenues au-dessus de la surface du sol en étant suffisamment visqueuses pour ne pas subir d'étalement latéral à la sortie de la cheminée ; elles peuvent entraîner dans leur ascension des témoins des formations traversées. On en dénombre trois dans la Chaîne des Puys, celles du puy Chopine ⑤, du Kilian et du Vasset. Ces événements se sont succédés dans un bref laps de temps et les produits de leurs paroxysmes explosifs ont recouvert toute la région centrale de la chaîne, du col de la Nugère au puy de la Rodde.

Certaines protrusions forcent leur passage jusqu'en surface sans être précédées d'une éruption magmatique : c'est le cas historique du Showa Sin Zan, au Japon (1944 - 1945), où seules des explosions phréatiques – et un important bombement du substratum – précédèrent la sortie de la protrusion. À l'opposé, dans la Chaîne des Puys, la protrusion est contemporaine d'une série d'explosions, magmatiques et phréatomagmatiques, ayant abouti à la formation d'un vaste cratère au Vasset et au Kilian. Sur ces édifices, la protrusion, partiellement détruite par les dernières explosions, reste discrète (Kilian), ou même n'affleure pas, étant encore enrobée dans le remplissage de la cheminée qu'elle a refoulée (Vasset). Dans un cas extrême comme au puy Chopine, elle est la manifestation ultime du magma dégazé. L'aiguille du Chopine, sortie quasi-solidifiée, sans expansion latérale visible, a un diamètre minimum de 500 mètres : si cette valeur correspond bien à celle de la cheminée, elle est nettement supérieure à celle qu'on peut attendre d'un modeste volcan monogénique.

Dôme péléen du puy de Dôme, surmonté d'une aiguille écroulée
(Source : P. Soissons)

Croissant de scories stromboliennes du puy des Gouttes
(Source : J. Damase)

Protrusion du puy Chopine dans le croissant de scories des Gouttes
(Source : J. Damase)



1 Socle du plateau des Dômes.
2 Cônes stromboliens antérieurs et coulées associées.
3 Cratère et anneau pyroclastique initiaux du puy de Dôme.
4 Premier dôme et gaine bréchique congénère (écroulements et nuées Mérapi).
5 Activité explosive : destruction de la partie orientale du dôme, nuées ardentes grossières congénères.
6 Extrusion d'un second dôme, avec gaine bréchique congénère et poussée d'une aiguille sommitale rapidement écroulée.
7 Cratères phréatomagmatiques du Nid de Poule et du Traversin.
8 Ouverture du cratère Kilian, montée d'une protrusion trachytique, et nuées déferlantes associées (recouvrement à 9 200 ans).
9 Saupoudrage par les produits du Pariou.

Coupe synthétique du cratère Kilian au Traversin
(Source : EAVUC 2009)

Narse d'Espinasse, maar comblé par un marécage
(Source : H. Monestier)

➤ *Les maars*

Un maar est un cratère d'explosion, généralement de grand diamètre, occupé par un lac ou comblé, entaillant les formations pré-existantes. Les fragments arrachés à ce substrat constituent toujours une part importante des pyroclastites, avec le magma juvénile. Le bien proposé rassemble une dizaine de maars alimentés par un magma basique. Plus rares mais néanmoins présents dans la Chaîne des Puys, les magmas intermédiaires trachy-andésitiques sont à l'origine d'édifices très intéressants à histoire complexe, présentant un stade initial phréatomagmatique comme c'est le cas pour le puy de la Nugère ou le Pariou.

Un maar est constitué en surface par deux unités morphologiques distinctes :

- la bouche, dépression circulaire à parois raides dont le diamètre va de 100 mètres à un kilomètre dans les cas considérés, correspond au cratère. Cet évent est profondément enraciné dans le socle et peut être occupé par un lac – gour – ou un marécage – narse – ;
- les projections, formant un croissant surbaissé plus ou moins régulier, qui frangent le cratère sur au moins la moitié de sa circonférence.

Les maars présentent des états d'évolution morphologique divers. Dans le cas des narses d'Espinasse et d'Ampoix et de la plaine de Beaunit, les lacs ont déjà fait place à des marécages. À Beaunit, le comblement du cratère est en partie le fait d'une phase strombolienne tardive, dont témoigne le puy Gonnard.

Les maars résultent d'éruptions dites phréatomagmatiques ou hydromagmatiques. Il est logique de penser que la probabilité de rencontre d'une eau superficielle avec la colonne magmatique montante est élevée. Les maars de la Chaîne des Puys entaillant le socle granitique, tel que Beaunit, semblent s'être placés sur le trajet d'un cours d'eau. Sur le plan physique, l'activité hydromagmatique est donc très différente des types magmatiques, puisque le gaz qui participe ici à l'explosion est d'origine externe – l'eau – et a une température initiale très inférieure à la température magmatique. La présence d'eau en quantité importante favorise la fragmentation et l'échange rapide de l'énergie, d'où une possibilité d'explosions se succédant à une cadence rapide – les explosions observées sont effectivement rythmiques.

Les maars basaltiques

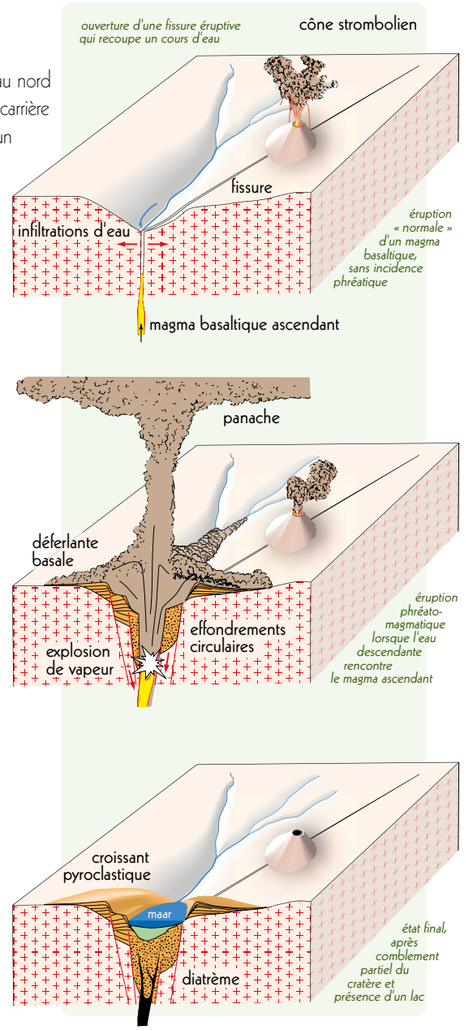
Le cratère de Beaunit est un maar situé dans la partie nord de la chaîne. Il est frangé au nord et à l'est par un épais croissant de projections typiques, observables dans une ancienne carrière à l'entrée du hameau de Beaunit. Traversé par le ruisseau d'Ambène, son évent a un diamètre de l'ordre d'un kilomètre. Il est occupé du côté nord par des terrains marécageux installés sur des argiles lacustres, et masqué du côté sud par trois cônes stromboliens constituants le puy Gonnard, eux-mêmes cernés par des coulées issues du puy Thiollet. Sondages et prospections géophysiques ont montré que les coulées du puy Thiollet ont recouvert les argiles lacustres, qui reposent elles-mêmes sur des produits stromboliens.

Le cratère s'est probablement ouvert sur le tracé du ruisseau d'Ambène, pourvoyeur de l'eau nécessaire au phréatomagmatisme. Les projections du maar, ayant progressivement barré le cours du ruisseau, ont interrompu l'apport d'eau dans la cheminée. L'activité éruptive se poursuivant, un régime strombolien normal s'est instauré, édifiant le puy Gonnard, qui comble en partie le cratère d'explosion. Les sédiments lacustres ultérieurs, puis les coulées du puy Thiollet, ne font que parachever ce comblement. **Ce bel exemple de changement de régime au cours d'une éruption** est attesté par la superposition directe du saupoudrage strombolien aux projections de maar, comme le montrent les carrières de Beaunit où des panneaux explicatifs ont été installés.

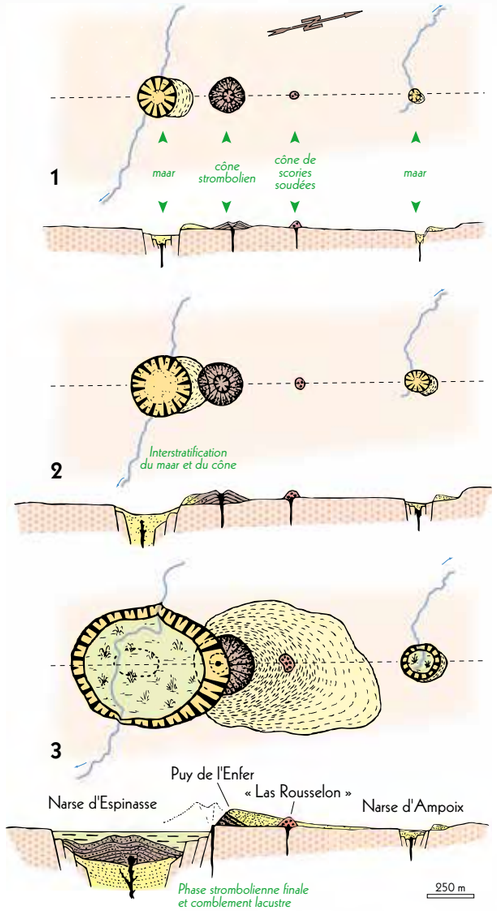
Les couples maar – cône

Nombre de cônes de la Chaîne des Puys se révèlent installés, sans l'oblitérer totalement, dans un maar initial, dont les projections apparaissent sous les scories au pied du cône. C'est le cas, au nord, des puys de Chalard et de Tressou ; au sud, des puys de Vichatel, Charmont, La Rodde et Monténard. Toutes les combinaisons sont possibles en fonction des dimensions relatives du maar initial et du cône strombolien qui lui succède.

Petit appareil situé dans le sud de la chaîne, la narse d'Ampoix a vu ses produits disséminés à la surface du Suquet Borne, colline dont elle entaille le pied sud. L'emplacement du cratère est occupé par un marécage circulaire de 120 mètres de diamètre, la narse. Son remplissage tourbeux, épais de 10 mètres, a enregistré sous forme de fins lits cendreux (téphra) quelques-unes des éruptions majeures qui ont marqué l'histoire de la Chaîne des Puys depuis 12 000 ans, âge supposé du percement du maar. Leur analyse détaillée a permis à la Narse d'Ampoix de devenir **un site de référence en matière de téphrostratigraphie**.



Fonctionnement d'un maar basaltique
(Source : EAVUC 2009)



Évolution des appareils volcaniques le long de la fissure Espinasse-Ampoix pendant l'éruption de la Narse d'Espinasse
(Source : EAVUC 2009)

Le puy de l'Enfer est l'un des plus méridionaux du bien proposé. La présence dans ses projections de bombes en chou-fleur et de dépôts de déferlantes basales, démontre l'origine phréatomagmatique de l'éruption, que laissait présager l'association d'un vaste cratère circulaire à un croissant de projections perché.

Mais des strates franchement stromboliennes s'intercalent dans les produits de maar, eux-mêmes anormalement riches en scories et lapilli scoriacés, émoussés et de teintes mélangées de rouge et de noir. Ce cône mixte résulte donc de l'activité simultanée d'un maar, dont le cratère est la Narse d'Espinasse, creusée dans les vieux basaltes des monts Dore et traversée par la rivière La Veyre, et d'un volcan strombolien, dont la cheminée remplie de basalte scoriacé recoupe le substratum sur la paroi nord de la narse. Ce type d'activité simultanée a été observé au maar d'Ukinrek en Alaska en 1977. L'ancienne carrière dominant la narse montrait ces projections mixtes affectées par un bel effondrement intracratérique et le rougissement thermique des projections sur le tracé d'une fissure éruptive joignant les narses d'Espinasse et d'Ampoix. À mi-chemin entre les deux maars, une activité contemporaine a édifié un cône de scories soudées au flanc nord du puy de l'Enfer. Comme à Beaunit, l'activité s'est achevée par une phase magmatique strombolienne, révélée par une série de sondages dans le remplissage lacustre : le sommet du cône est enseveli sous cinq mètres de tourbe au centre de la Narse d'Espinasse.

Les maars et cônes de la fissure Enval-Volvic sont un ensemble d'évents ayant fonctionné le long d'une fracture à l'est de l'alignement principal, et caractérisés par des magmas basiques sous-saturés – basanites et trachy-basaltes – contenant une association minéralogique peu commune, à scapolite magmatique. Leurs éruptions se situeraient autour de 90 000 ans.

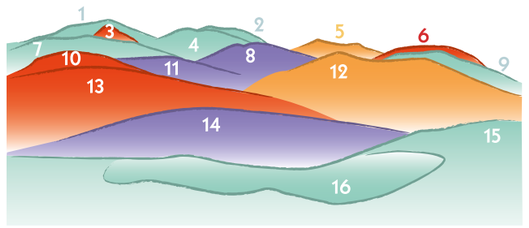
Bombe en chou-fleur, puy de la Vache
(Source : P. Soissons)

Les complexes intermédiaires

Leur dynamisme paroxysmal phréatomagmatique peut être comparé à celui des maars acides par la violence des explosions et par l'étalement des matériaux projetés en une nappe de recouvrement de grande surface. Leur originalité réside dans l'édification d'un rempart annulaire élevé – anneau pyroclastique –, cernant complètement le cratère d'explosion. L'édifice n'est pas un maar au sens strict, car il n'entaille pas aussi profondément le substratum, mais un anneau de tufs pyroclastiques. Le magma juvénile y prédomine largement sur les matériaux arrachés au substratum. Les édifices concernés sont le Pariou et la Nugère.

Au début de l'édification de l'anneau de tufs, des produits juvéniles acides sont émis – trachyte – ; il s'y substitue par la suite un produit de composition intermédiaire – trachy-andésite. Après cessation de la composante phréatomagmatique, ce magma intermédiaire présente un comportement banal de lave basique : remplissage du cratère par un lac de lave, édification d'un cône de scories, émission d'une ou plusieurs coulées de lave.

Cône de scories du Pariou dans l'anneau de tufs phréatomagmatiques
(Source : P. Boivin)

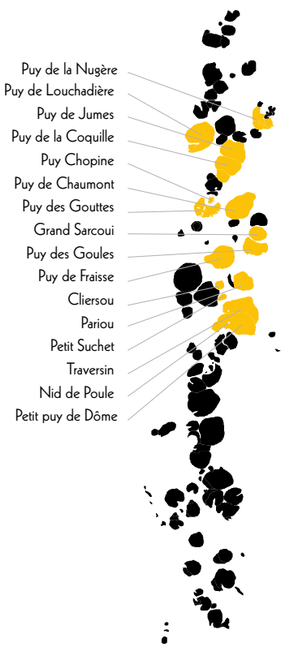


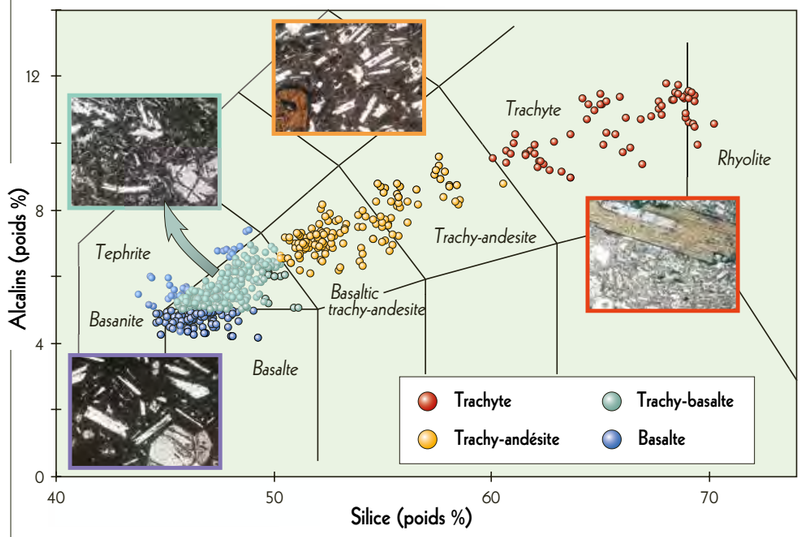
Basaltes :
8 Chaumont, **11** Fraisse, **14** Traversin ;
Trachy-basaltes :
1 Louchadière, **2** Jumes, **4** Coquille, **7** Gouttes, **9** Goules, **15** Petit puy de Dôme, **16** Nid de la Poule ;
Trachy-andésites :
5 Nugère, **12** Pariou ;
Trachytes :
3 Chopine, **6** Sarcoui, **10** Cliersou, **13** Petit Suchet

Depuis le puy de Dôme, vers le nord, l'éventail complet des laves de la Chaîne des Puys est présenté dans le paysage
(Source : P. Boivin, EAVUC 2009)

Un magmatisme complexe

Sur la base de la nomenclature internationale (I.U.G.S., Le Maitre, 2002), l'ensemble des laves de la Chaîne des Puys a été regroupé en quatre types principaux reconnaissables sur le terrain : basaltes, trachy-basaltes, trachy-andésites et trachytes. **Ces laves différenciées se traduisent dans le paysage sous la forme variée des édifices, faisant de la Chaîne des Puys une véritable encyclopédie du volcanisme à ciel ouvert.**





Composition des laves de la Chaîne des Puys et classification internationale I.U.G.S.
(Source : EAVUC 2009)

La simple observation des différents types de laves émises par l'ensemble de ces volcans montre une variation progressive de leurs caractéristiques macroscopiques. Cette évolution se retrouve à l'échelle de l'observation microscopique, tant dans les structures que dans les compositions minéralogiques, qualitatives et quantitatives. Enfin les études géochimiques précisent cette différenciation magmatique depuis un pôle ferromagnésien – basaltes – jusqu'à des termes riches en silice – trachytes.

➤ *Pétrographie*

La longue histoire scientifique de la Chaîne des Puys garde la trace des multiples nomenclatures utilisées pour nommer ces laves. Elles ont ainsi été décrites successivement par Albert Michel Lévy (1890), Alfred Lacroix (1908), Philippe Glangeaud (1913), Y.-K. Bentor (1954), Robert Brousse et al (1970), Guy Camus (1975), René Maury (1976) et Patrice Foury (1983). Dans l'ensemble, elles sont aphyriques ou pauvres en phénocristaux, les termes les plus porphyriques étant représentés parmi les basaltes et les trachytes.

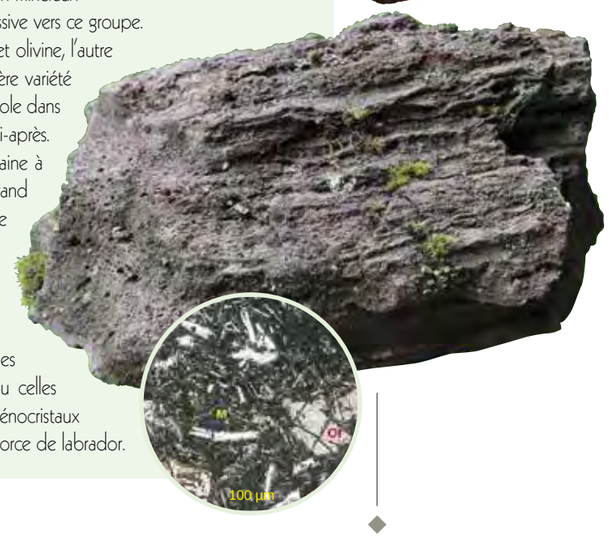
(Source : D. Pourcher et EAVUC 2009)

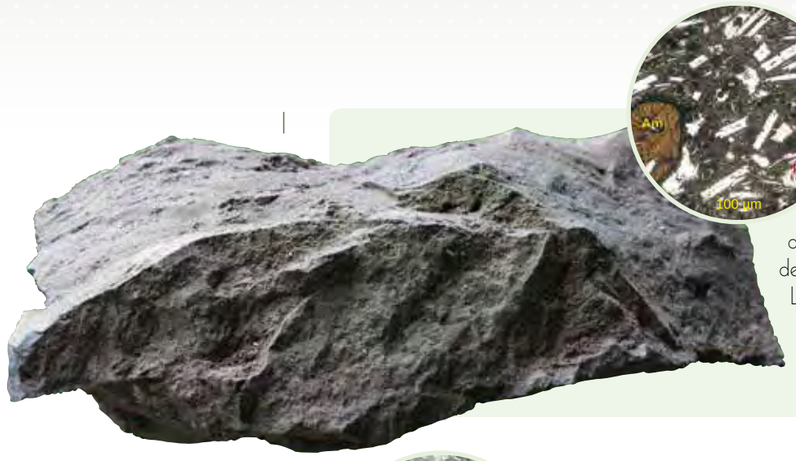
Les basaltes

Les basaltes sont des laves massives, noires à gris foncé, caractérisées macroscopiquement par la présence de phénocristaux de clinopyroxène et d'olivine, celle-ci toujours en moindre quantité. Roches caractéristiques des laves de la coulée du puy de Paugnat ou du puy de la Toupe.

Les trachy-basaltes

Les laves basaltiques, par diminution de la teneur en minéraux ferromagnésiens, montrent une transition très progressive vers ce groupe. On distingue deux variétés, l'une à clinopyroxène et olivine, l'autre à clinopyroxène, olivine et amphibole. Cette dernière variété est la première preuve du rôle clé joué par l'amphibole dans l'évolution des laves de la Chaîne des Puys – voir ci-après. Les coulées du puy de Grave Noire, de la Tiretaine à Royat et du plateau Saint-Jacques à Clermont-Ferrand fournissent de bons exemples de ces termes de passage. Les trachy-basaltes sont des laves grises, finement bulleuses, dont les meilleurs exemples sont fournis, pour les types porphyriques, par la coulée du Goulot d'Argnat et, pour les types aphyriques, par la cheire de Louchadière. Certaines de ces laves, comme celles du puy de Barme ou celles attribuées au puy des Goules, présentent des phénocristaux de plagioclase composites à cœur d'andésine et écorce de labrador.





Les trachy-andésites

Le faciès type en est la lave de Volvic. Les principaux exemples de trachy-andésite sont ceux des puys de la Nugère, du Pariou, de Côme, de Laschamp et de Lemptégy. Ce sont des laves grises, criblées de petites bulles irrégulières, pauvres en phénocristaux – plagioclase, amphibole.

Les trachytes

Contrairement aux trois catégories précédentes, les laves trachytiques, très visqueuses, ne constituent jamais de coulées dans la Chaîne des Puys, mais uniquement des cumulodômes, protrusions et nappes pyroclastiques de grande extension. Les volcans trachytiques sont concentrés dans la partie centrale du bien proposé. En apparence, ils représentent un faible volume de produits différenciés. En réalité, le volume émis a été beaucoup plus important, compte tenu de la forte dispersion du matériel fin provoquée par quelques explosions très violentes identifiées comme celles des puys Chopine, Kilian, Vasset, dont les retombées ont été repérées jusqu'à cinq cents kilomètres.

(Source : D. Pourcher et EAVUC 2009)

La lave massive est bien cristallisée, souvent légère et friable, de toucher rugueux, de couleur claire, blanche à beige. Cette coloration peut toutefois subir des variations importantes ; le cas extrême est illustré par les blocs de trachyte vitreux noir émis lors de la première phase d'activité du Pariou. C'est par le cortège des phénocristaux que l'on peut caractériser cinq variétés principales, du moins au plus siliceux :

- Les trachytes du Cliersou et du puy de l'Aumône sont riches en plagioclase et amphibole et contiennent une faible quantité de clinopyroxène ;
- Ceux du Kilian et du puy Vasset sont caractérisés par la présence de plagioclase et d'amphibole, associée à la biotite ;
- Le trachyte du Grand Sarcoui diffère du type précédent par l'absence d'amphibole ;
- La roche du puy de Dôme a été dénommée domite, mais ce terme a été étendu dans le langage courant à tous les trachytes de la chaîne. Elle se caractérise par des paillettes noires bien formées, hexagonales, de biotite, des tablettes blanches d'oligoclase potassique et de sanidine, et dans certains faciès de quelques phénocristaux de clinopyroxène ferrifère ;
- Le trachyte du puy Chopine, qui est le plus différencié de la chaîne, contient de 68 à 70 % de silice ; certains de ses échantillons ont une composition rhyolitique. Les phénocristaux sont semblables à ceux du puy de Dôme avec une plus grande quantité de clinopyroxène vert et du sphène jaune.

➤ *Genèse des laves de la Chaîne des Puys*

La genèse des laves de la Chaîne des Puys est largement dominée par le processus de cristallisation fractionnée, qui consiste en la modification et cristallisation progressive d'un magma, due à des changements de conditions physico-chimiques qui se produisent sur les bords de la chambre magmatique. Ces changements sont en général liés à une baisse de pression et de température en relation avec la montée du magma au travers de la croûte terrestre.

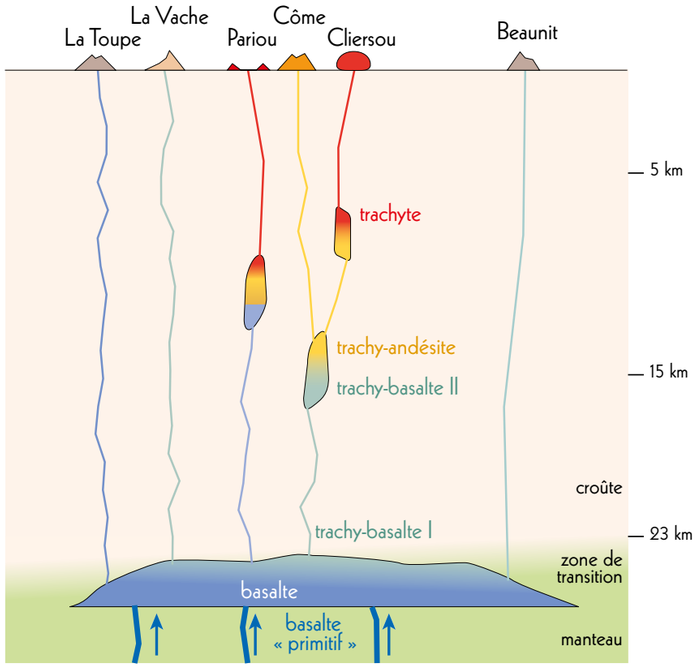
Dans la Chaîne des Puys, à partir d'un magma basaltique primitif d'origine mantellique, processus de cristallisation puis fractionnement de minéraux – telle l'olivine – conduisent à un magma trachy-basaltique. Ce processus se développe à grande profondeur, en base de croûte. À ce stade, les magmas basiques peuvent éventuellement subir une faible contamination par le matériel de la croûte inférieure. Le magma trachy-basaltique migre à plus faible profondeur et permet la cristallisation de minéraux différents, engendrant des trachy-andésites. Dans une troisième étape, ces trachy-andésites évoluent vers des trachytes où cristallisent une troisième série de minéraux. Là, se place la principale phase de contamination crustale pendant la cristallisation, le matériel assimilé en faibles quantités par le magma étant de nature probablement granitique.

Ce processus de cristallisation fractionnée est général à l'ensemble de la Chaîne des Puys. Il peut également concerner l'histoire brève d'un appareil isolé comme le Pariou. Toutefois, ce seul processus ne saurait expliquer la genèse de toutes les laves de la Chaîne des Puys, en particulier celles de composition intermédiaire qui impliquent des mélanges de magmas trachy-basaltiques et trachytiques – trachy-andésites de La Nugère.

➤ *Des chambres magmatiques de différents niveaux*

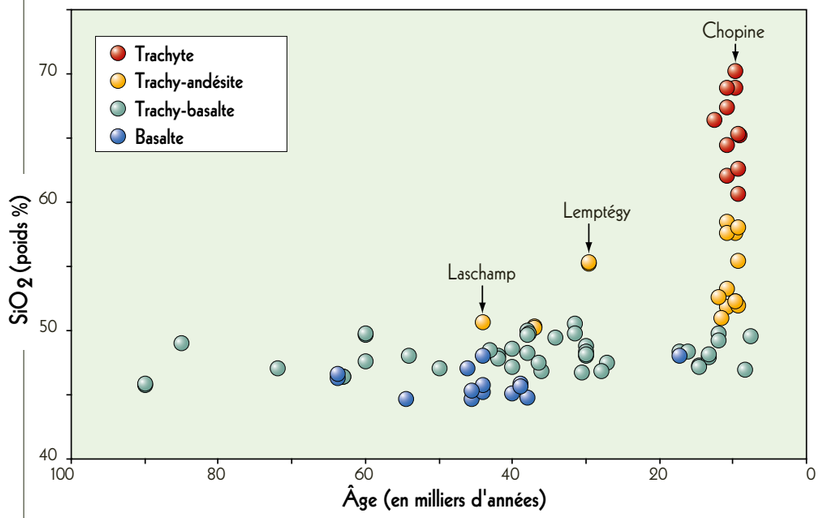
Les différents travaux en magmatologie menés sur le site ces trente dernières années, convergent vers un modèle à deux niveaux :

- un niveau profond, à la base de la croûte – autour de trente kilomètres –, alimenté en basalte primitif par la fusion du manteau et où la différenciation ne dépasse pas le stade trachy-basalte ; les magmas issus de ce niveau peuvent directement faire éruption – la Vache-Lassolas, Chaumont, Les Goules, etc. – ou être transférés au niveau suivant ;
- un système plus ou moins complexe de chambres superficielles, zonées, où la différenciation se poursuit jusqu'aux trachytes. Ces réservoirs superficiels autour de dix kilomètres – sont parfois déstabilisés par des réinjections de matériel issu du niveau profond. La forme des réservoirs superficiels est contrainte par les directions tectoniques régionales.



Modèle simplifié de l'alimentation en magmas de la Chaîne des Puys
(Source : EAVUC 2009)

À l'échelle de l'histoire complète de la Chaîne des Puys proprement dite, on constate une double évolution des laves. La première concerne les termes basaltiques qui, de compositions basanitiques et basaltiques il y a 100 000 ans, deviennent progressivement trachy-basaltiques vers 8 000 ans. Parallèlement, l'amplitude de la différenciation augmente également ; les premières trachy-andésites basaltiques sont atteintes il y a environ 45 000 ans, les trachy-andésites, 40 000 ans et les trachytes, 13 000 ans. Ceci pourrait être interprété comme la mise en place d'un stock très important de basanites à la base de la croûte à l'aplomb de la chaîne, il y a environ 100 000 ans. Cette grande chambre évoluerait lentement et serait légèrement contaminée par la croûte inférieure. Il s'en échapperait périodiquement des magmas de plus en plus différenciés. Ceux-ci, piégés dans de petites chambres intra-crustales, auraient ainsi la possibilité d'évoluer vers des termes toujours plus siliceux et d'être plus ou moins contaminés par les granites encaissants. Il ne serait pas impossible que le vaste réservoir en base de croûte soit plus ou moins régulièrement réalimenté, mais en produire la preuve relève de recherches futures.



Évolution de la composition des laves de la Chaîne des Puys au cours du temps
(Source : EAVUC 2009)

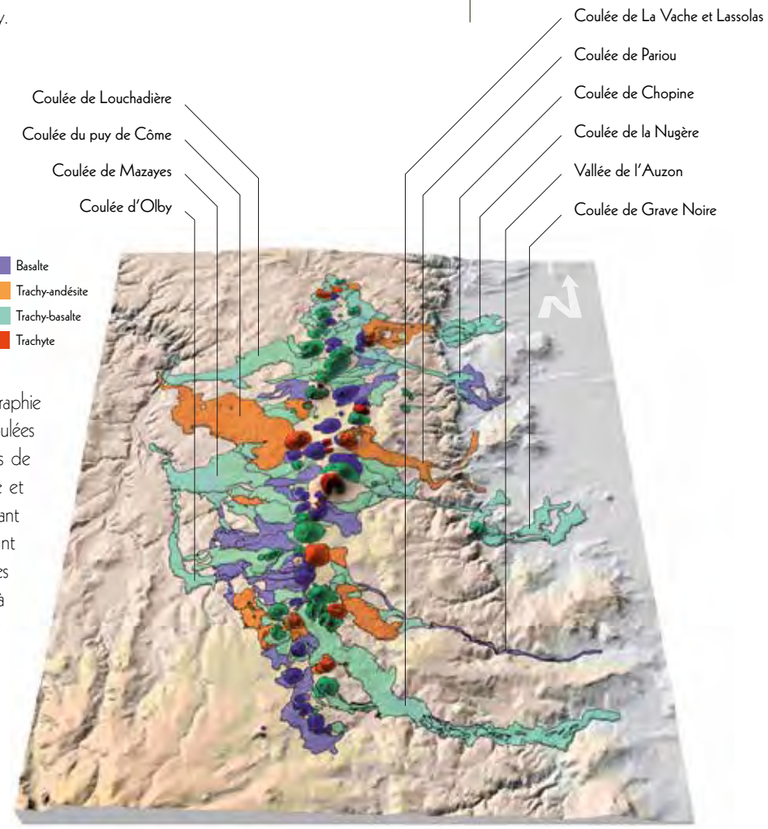
La mise en évidence de cette évolution chimique des produits émis avec le temps n'a pas que des incidences scientifiques de nature académique. Les dernières éruptions de la partie centrale de la Chaîne des Puys (8 400 ans), qui ont notamment édifié les cônes trachy-basaltiques jumeaux de la Vache et de Lassolas, laissent envisager l'éventualité de nouvelles éruptions. En effet, d'un point de vue volcanologique, les volcans holocènes, âgés de moins de 11 700 ans sont considérés comme toujours actifs. Il n'est méthodologiquement pas possible de déterminer l'occurrence de nouvelles éruptions dans le bien proposé. Reste que l'étude pétrologique, faisant apparaître une différenciation de plus en plus marquée des magmas, implique potentiellement des éruptions de plus en plus dangereuses, ce qui n'est pas à négliger dans une zone voisine d'une grande agglomération.

Morphologie des coulées

Le point de départ des coulées n'est pas toujours facile à localiser. Beaucoup émergent à la base des cônes, mais en l'absence de détails morphologiques témoins de la sortie des laves, il n'est pas toujours possible d'établir une relation certaine entre elles et l'appareil le plus voisin : celui-ci semble parfois simplement posé sur leur partie amont, comme c'est le cas dans le centre de la chaîne où la densité des points de sortie est la plus grande. Pour les volcans isolés, par contre, et surtout lorsque l'on a affaire à des cratères égueulés, il est facile de rattacher chaque coulée à son évent. Quelle que soit la largeur des coulées, l'émission s'est effectuée le plus souvent par des bouches étroites, parfois larges de quelques mètres seulement comme au puy de la Mey.

➤ *Dimensions des coulées*

Les coulées n'ont pas été assez abondantes pour constituer une couverture lavique continue noyant la totalité du substratum. En cela, la Chaîne des Puys, dont l'indice d'explosivité a dû être relativement élevé, se distingue des autres chaînes volcaniques linéaires du Massif Central, telles que le Devès. La configuration des coulées dépend assez largement de la topographie pré-volcanique. Sur le versant ouest, les coulées se sont avancées sur cinq à huit kilomètres de longueur au maximum — cheires de Côme et de Louchadière — avec des largeurs pouvant dépasser deux à trois kilomètres. Sur le versant est, elles apparaissent filiformes au fond des vallées ; leur largeur est parfois inférieure à 150 m — vallée de l'Auzon —, et leur longueur peut se révéler considérable, telle celle de la coulée de la Vache et Lassolas qui avoisine les vingt kilomètres. Ces conditions morphologiques ont fortement influencé l'érosion post-volcanique : celle-ci s'est exercée avec efficacité au fond des gorges, où elle a démantelé une bonne partie des filets de lave, alors qu'elle n'a guère touché les larges coulées étalées sur des topographies évasées.



Différents types de laves et coulées de la Chaîne des Puys, MNT 25m
(Source : E. Langlois, CERAMAC, Clermont-Ferrand)

L'épaisseur des coulées se situe le plus souvent entre un et vingt mètres. Des sondages ont parfois recoupé plus de 150 m de lave, mais il s'agit généralement d'empilements de coulées séparées par des niveaux scoriacés. Ainsi sous la cheire de Côme, on a localement dénombré sept coulées superposées sur une épaisseur de 135 m ; dans ce cas, la diversité pétrographique des laves permet d'affirmer que l'on a affaire à des coulées distinctes, émises au cours d'éruptions distinctes, et selon toute vraisemblance par des appareils distincts. Il en est de même des « quatre coulées des puys de la Vache et Lassolas » que l'on a cru identifier dans les sondages sur le plateau des Dômes, au village de Rouillat, dont en réalité seule la dernière peut être attribuée à ces deux volcans. En revanche, toujours sur le plateau des Dômes, les quatre horizons basaltiques superposés dans le thalweg de la Tiretaine au niveau du lieu-dit de Fontanas, rigoureusement identiques sous l'angle pétrographique, paraissent plutôt représenter quatre langues successives d'une même coulée, fruit d'une éruption unique.

Lave pahoehoe, Lemptégy
(Source : P. Soissons)

Cheire de Côme
(Source : J.-P. Voilhes)

Coulée de la Vache et de Lassolas
(Source : D. Pourcher)

➤ *Morphologies de surface*

On désigne localement certaines coulées récentes de la Chaîne des Puys par le terme de cheires. Les plus typiques offrent une morphologie superficielle très accidentée, due à la présence de chaos rocheux souvent riches en blocs scoriacés, ce qui les rapproche des coulées de type aa de la terminologie hawaiienne. En fait, il est souvent délicat de rapporter des coulées âgées de plusieurs milliers ou dizaines de milliers d'années à l'un des types morphologiques habituellement décrits dans le volcanisme actif. Rappelons que l'on distingue trois catégories fondamentales d'après les caractères de surface :

- Les coulées pahoehoe (mot hawaiien), dont la surface lisse est dépourvue d'éléments scoriacés. Ces coulées montrent des figures d'écoulement particulières : plans unis, tripes, cordes, tubes et des tumuli qui sont des intumescences dues à la fragmentation et au redressement d'une croûte déjà figée, sous la poussée d'une lave interne encore fluide ;

- Les coulées aa (mot hawaiien), dont la surface très chaotique est formée d'une couche plus ou moins épaisse d'éléments scoriacés disjoints (gratons) ;

- Les coulées à blocs, dont la surface, grossièrement comparable aux précédentes, est formée par l'amoncellement de blocs anguleux de lave massive et peu vésiculée.

Les principaux facteurs qui déterminent les morphologies initiales sont la viscosité des laves, leur teneur en gaz, leur débit d'émission et leur vitesse d'épanchement. Il s'y ajoute la topographie pré-éruptive ; ainsi, les coulées qui ont pu s'étaler présentent généralement une surface moins accidentée que celles qui ont suivi des thalwegs étroits ou franchi des ruptures de pente. En coupe, une coulée du type le plus courant dans la Chaîne des Puys montre un cœur de lave compact, parfois prismé si l'épaisseur est suffisante – Royat, Saint-Saturnin. Cette zone interne est encadrée par deux couches de matériel meuble et scoriacé, celle du toit généralement plus épaisse que la semelle. Ces deux couches représentent une gangue unique d'éléments apparus à la surface de la coulée, et qui s'éboulent à son front avant d'être progressivement enfouis dessous, au fur et à mesure d'une progression comparable à celle d'un véhicule à chenilles.

Cette gangue meuble superficielle peut résulter de la fragmentation d'une croûte déjà solidifiée, ce qui caractérise les laves relativement visqueuses comme la trachy-andésite de Volvic. Elle peut aussi représenter une accumulation de projections tombées sur le dos de la coulée à sa sortie du cratère, et entraînées avec elle à la façon d'un tapis roulant ; ceci concerne particulièrement les coulées issues d'un cratère égueulé, telles celles des puys de la Vache et de Lassolas.

Dans la plupart des cas, il s'agit plutôt de blocs scoriacés, résultant de la fragmentation d'une écume superficielle née de la concentration de bulles de gaz à la partie supérieure de la coulée refroidie, puis disloquée par les mouvements d'écoulement ; c'est ainsi que se fabriquent les gratons des coulées aa – coulée d'Olby. À partir de ces caractères, parfois observables malgré l'évolution post-éruptive, on peut distinguer cinq types de surfaces de coulées dans la Chaîne des Puys :

- Le plus remarquable se caractérise par des **crêtes longitudinales**, qui peuvent exceptionnellement représenter les parois latérales de chenaux d'écoulement – levées –, mais doivent plus généralement être qualifiées de crêtes de progression. Ces crêtes, hautes de quelques mètres, montrent une lame axiale de lave compacte redressée, flanquée de deux épontes de scories soudées, qui émerge de la surface chaotique de la coulée. Séparées les unes des autres par des dépressions également longitudinales de quelques dizaines de mètres de largeur, de telles crêtes, par leur grande abondance, déterminent la topographie caractéristique des cheires scoriacées – forêt de Mazayes. On peut les interpréter comme naissant par injection de lave fluide dans les scories meubles sous l'effet de la pression – rides de pression –, injection possible dans les zones de faiblesse déterminées par la progression différentielle de la coulée. Mais elles peuvent aussi représenter des reliefs résiduels formés par l'enfoncement des chenaux d'écoulement de la lave à la surface de la coulée. Elles caractérisent préférentiellement les coulées aa de grandes dimensions.

- Une coulée plus fluide, pauvre en matériel scoriacé superficiel, épanchée sur une surface plane, est peu accidentée. Elle risque de passer inaperçue avec l'évolution post-éruptive. On peut lui attribuer le nom de **coulée à surface plane**, bien illustrée par la coulée de Paugnat.

- Dans certains cas, vers la fin de la mise en place d'une coulée apparentée au second type, préférentiellement dans des zones de replat ou dans la région frontale, une augmentation de la pression au sein de la lave encore fluide peut provoquer l'apparition d'intumescences apparentées aux tumuli des coulées pahoehoe. Il s'agit de **bourgeonnements en forme de lames épaisses, d'amandes ou de furoncles** de lave compacte qui percent, en la rebroussant, la croûte superficielle en voie de solidification, et acquièrent par refroidissement un débit polyédrique. De telles intumescences peuvent être isolées ou groupées. Leur présence caractérise, entre autres, la coulée du puy de la Combegrasse.

- Le cas extrême de **surface régulière et continue** atteint par une coulée de la Chaîne des Puys a pu être observé à « La Plaine » à l'ouest du Petit puy de Dôme où elle se rapproche plus nettement du type pahoehoe, avec des amorces de cordes.

- À l'opposé, des laves peuvent se mettre en place sous forme d'épanchements de blocs roulant les uns sur les autres et progressant localement sur une semelle de lave pâteuse qui s'insinue parfois entre les blocs. Cette possibilité conduit aux **laves à blocs**, dont un des plus beaux exemples est celui de la Cheire de Côme.

Les cinq types précédemment définis ne sont pas rigoureusement tranchés : tous les intermédiaires peuvent exister, et une même coulée peut passer de l'un à l'autre en fonction de conditions locales.

Intumescences de la coulée du puy de La Combegrasse
(Source : A. Gourgaud)

Des phénomènes particuliers peuvent se surimposer, par endroits, à ces morphologies générales. Ainsi, la vaporisation d'eau sous coulée produit parfois d'énormes bulles de vapeur qui peuvent rester emprisonnées sous la coulée ou s'élever au sein de la lave encore liquide et constituer près de la surface des pustules creuses, fermées ou éclatées – blisters. Dans le cas d'une coulée de thalweg particulièrement mince – 1 à 2 m à Féligonde, près du village de Blanzat – ce phénomène détermine un chapelet de grottes et blisters pouvant entrer en coalescence et former un boyau allongé au lieu-dit Reillat. C'est également à une vaporisation massive d'eau, au cours de l'épanchement d'une coulée sur une nappe alluviale, que l'on attribue les cônelets sans racines observables dans la région de Recoleine-Nébouzat, sur les coulées du groupe Montgy-Pourcharet. Ces éruptions secondaires donnent naissance, à la surface de la coulée, à de véritables petits volcans constitués par une accumulation de scories et bombes, pouvant atteindre 30 m de haut, avec parfois de petits épanchements associés. Il n'est pas rare qu'une reprise locale du dégazage au sein d'une coulée se traduise par l'apparition ponctuelle de phénomènes faiblement explosifs créant des cônelets de scories soudées ou hornitos – cheire de Louchadière. Ces amas de scories soudées, avec petites bombes fuselées, accompagnent des crêtes de progression ou des tumuli comme aux environs de Ceyssat.

Bombe en fuseau
(Source : P. Soissons)

D'autres formes remarquables peuvent naître de conditions occasionnelles d'écoulement de la lave. Ainsi ont été parfois désignées sous le terme de chenal d'éclusage certaines dépressions axiales souvent situées à une rupture de pente, qui peuvent donner l'impression d'avoir été provoquées par la vidange de la partie interne de la coulée et l'affaissement consécutif de la carapace. Elles résultent en fait de l'encaissement progressif de la lave en mouvement dans la masse de la coulée déjà figée. Aussi est-il préférable de parler de chenaux d'écoulement. Les « Ribbes » de la cheire d'Aydat ont une origine de ce type : il s'agit de deux escarpements parallèles de 5 à 15 m de hauteur, particulièrement visibles entre le cratère du puy de la Vache et le lac d'Aydat, qui délimitent un chenal axial large de 200 à 300 m. Pendant longtemps, toutes les coulées de la Chaîne des Puys ont été considérées comme appartenant à un type unique et mal défini de cheire, parvenu à divers stades d'érosion. La variété des morphologies est en fait originelle, mais il est certain que, depuis l'épanchement, des facteurs naturels et anthropiques ont concouru à modifier les aspects initiaux.

➤ *Évolution des coulées*

Les projections d'éruptions ultérieures, à proximité des appareils, ont pu estomper ou masquer les irrégularités superficielles. Il s'agit dans quelques cas de saupoudrages stromboliens – cheire du puy de la Mey –, ou de produits de débourrage – cheire de la Besace. Le plus souvent, il s'agit de produits trachytiques, déposés par des déferlantes et les retombées associées – nappes de recouvrement de Chopine, Kilian. L'incision verticale d'une coulée par un cours d'eau, le plus souvent sur ses marges, a pu être très rapide : ainsi la coulée de Royat, vieille de 40 000 ans, a été recoupée par la Tiretaine sur toute son épaisseur, soit environ 20 m. Mais à l'écart de cette entaille, l'aspect primitif n'en a guère pour autant été touché. À Saint-Saturnin par exemple, la coulée de la Vache et Lassolas, âgée de 8 400 ans et déjà bien inversée entre la Veyre et la Monne, offre toujours la physionomie caractéristique d'une cheire scoriacée. Par contre, l'ennoiement d'une coulée sous des alluvions fluviatiles dans une vallée étroite – l'Auzon aux environs du village de Chanonat –, ou sous des dépôts lacustres à la faveur d'un barrage – l'Auzon à l'amont de Theix –, a pu en modifier complètement le visage originel. À un moindre degré, un résultat comparable peut être obtenu par des apports des versants latéraux – colluvionnement. Les processus météoriques d'altération et de désagrégation, ainsi que la pédogenèse, dont les actions sont lentes et faibles, ont pu également modifier l'aspect superficiel des coulées. Mais, en raison de la jeunesse de la Chaîne des Puys, il est probable que ces retouches soient minimes.

2.a.2 Caractères physiques de cet espace

Après avoir développé les attributs morphostructuraux du Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne, il convient d'évoquer les phénomènes et éléments de surface qui animent le bien proposé :

- Climat ;
- Biodiversité ;
- Hydrologie.

Climatologie

Le climat très diversifié de cet ensemble, dont le relief singulier entraîne des phénomènes originaux, n'est pas sans jouer sur l'esthétique du bien proposé et ses qualités scéniques.

Données générales sur le bien proposé

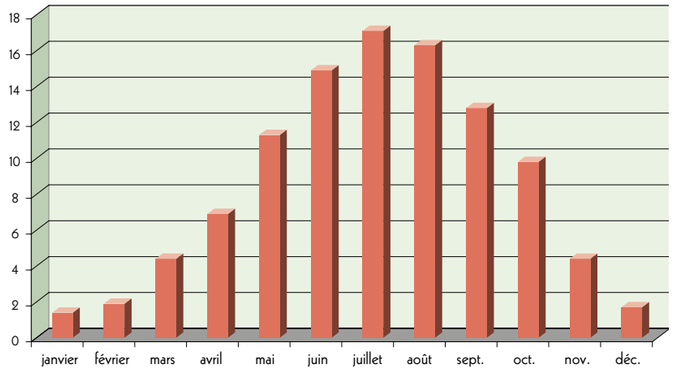
L'Auvergne est une région climatique du sud-ouest et bénéficie d'un climat très variable, réputé pour être rude. Du fait de sa latitude moyenne et de son éloignement modéré de l'océan, la Chaîne des Puys est un véritable carrefour climatique, tiraillé entre des influences contraires qui se répartissent comme suit :

- Climat océanique : façade occidentale du bien, versant au vent ;
- Climat semi-continental avec des influences méridionales : façade orientale du bien, versant sous le vent ;
- Climat continental : Limagne de l'ouest incluant le bassin de Clermont-Ferrand.

Le bien proposé voit son climat se différencier selon les zones géographiques mais également par rapport à son relief. Il faut en effet distinguer les sommets des plaines et les versants sous le vent des bassins abrités. Les températures moyennes annuelles varient selon les hauteurs. Elles atteignent 8 °C à 9 °C entre 800 m et 1 000 m et avoisinent 11°C à l'étage collinéen – en dessous de 800 mètres.

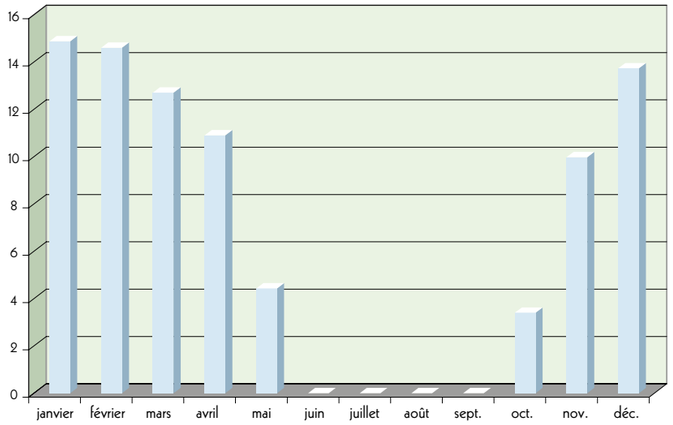
De manière générale, janvier est le mois le plus froid de l'année avec une moyenne de 1,4°C. D'ordinaire, les températures baissent d'environ 1,3°C par élévation de 200 m ; les moyennes deviennent négatives à partir de 900 m.

Les températures s'élèvent ensuite progressivement jusqu'au mois de juillet pour ensuite régresser de manière régulière jusqu'à décembre. À noter cependant que les redoux en hiver et les jours d'été relativement frais – jusqu'à 10°C en-dessous des valeurs de saisons relevé en août 2010 – sont fréquents dans la région et font partie des caractéristiques du climat.

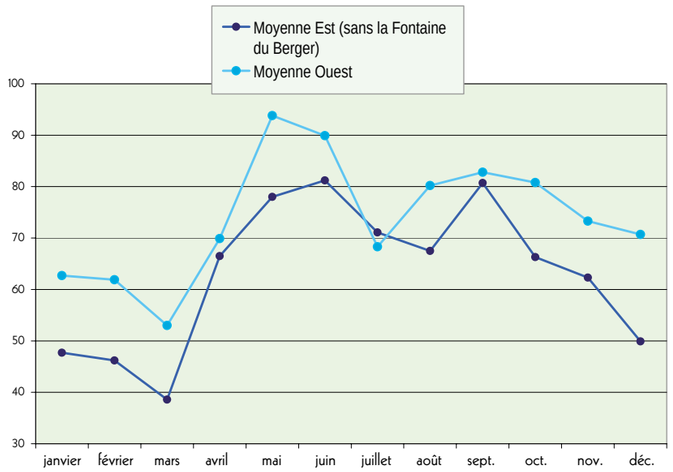


Températures moyennes mensuelles sur la Chaîne des Puys et la faille de Limagne pour la période 1988-2009 (°Celsius)
(Source : Cg63, d'après des données de Météo France, recueillies sur quatre stations météorologiques : Sayat, Saint-Genès-Champanelle, la Fontaine du Berger, le puy de Dôme)

La température la plus froide enregistrée – période 1993-2011 – fut le 1er mars 2005 avec des valeurs atypiques d'un mois de mars. Il faisait alors -20,6° à la Fontaine du Berger, village situé sur le versant est de la Chaîne des Puys, à 971 m d'altitude. Ce même jour, le puy de Dôme bénéficiait en revanche de températures plus clémentes – -15,7°C – malgré une altitude plus élevée. Le mois le plus chaud pour cette même période fut celui d'août 2003 avec des températures démarrant à 30°C au puy de Dôme et s'accroissant ostensiblement en redescendant vers la Limagne avec 37,5°C aux environs de 500 m.



Nombre de jours de chutes de neige à la station du sommet de puy de Dôme pour la période 1950-1980
(Source : C963, d'après Météo France)



Moyennes mensuelles des précipitations sur la Chaîne des Puys et la faille de Limagne pour la période 1971-2009 (millimètres)
(Source : C963, d'après des données de Météo France, recueillies sur sept stations météorologiques : Volvic, Sayat, Cournols, Pontgibaud, Olby, Saint-Genès-Champanelle, la Fontaine du Berger)

En altitude, les nuages sont plus présents qu'en plaine et le temps annuel d'insolation est moindre. La Chaîne des Puys connaît des extrêmes de températures annuelles moins accusés que les plaines. Il arrive qu'en vallée les matins froids soient succédés par des après-midi de très forte chaleur, augmentant alors l'amplitude thermique annuelle des plaines qui est de 15,9°C, 14°C pour le sommet du puy de Dôme.

La neige est présente au sommet du puy de Dôme (1 464 m) sur une longue période de l'année et les épisodes neigeux peuvent s'étendre d'octobre à mai, en dehors des mois d'hiver. On totalise une moyenne annuelle de 85 jours de chute de neige mais les sols ne sont recouverts que la moitié du temps, soit une moyenne de 46 jours par an.

Sur l'ensemble du bien proposé, les précipitations sont courantes tout au long de l'année et il tombe en moyenne un total annuel de 850 millimètres d'eau. Les mois les plus secs vont de novembre à mars et ne dépassent pas les 70 millimètres. Toutes altitudes confondues, les mois de mai, juin et septembre sont les plus arrosés de l'année.

Phénomènes climatiques particuliers

La Chaîne des Puys est le théâtre de divers phénomènes climatiques qui se produisent régulièrement. Ils méritent une attention particulière du fait de leur singularité et de leur rapport immédiat avec le relief atypique du Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne. Cela en a fait très tôt un lieu d'observation et d'expérimentation privilégié, de l'expérience de Blaise Pascal sur la pression atmosphérique au XVIIe siècle – voir partie 2.b.4 –, à la fondation de l'Observatoire météorologique au sommet du puy de Dôme fin XIXe – voir partie 2.b.2 –, jusqu'aux recherches actuelles sur la microbiologie des nuages – voir partie 2.a.4.

➤ *Effet de Foehn*

L'effet de Foehn se produit régulièrement sur la Chaîne des Puys et permet à la Limagne de bénéficier d'un bon ensoleillement, de pluies faibles mais d'écarts de températures relativement importants. Ce phénomène survient lorsqu'une masse d'air frais et humide en provenance de l'Atlantique rencontre le relief de la Chaîne des Puys. Cet amas d'air s'élève à son contact, se refroidit et déclenche des précipitations sur le versant ouest du massif volcanique. Une fois l'obstacle passé, le flux perd de l'altitude le long du versant est et se réchauffe. La masse ayant perdu de son humidité lors du passage du relief, les pluies sont par conséquent moins abondantes au-dessus de la Limagne.

➤ *Inversion thermique et mer de nuages*

Une autre particularité du climat de la Chaîne des Puys est l'inversion des températures, bien appréhendées dans la région grâce aux mesures menées entre le sommet du puy de Dôme et Aulnat – station météorologique de Clermont-Ferrand située à 350 m au-dessus du niveau de la mer. Renforcé par l'enclavement topographique, ce phénomène climatique se produit surtout la nuit et par temps clair. Il se traduit par une superposition de deux fronts d'air opposés par leur densité et leur température. Une masse d'air froid de 500 à 800 m d'épaisseur va alors occuper la Limagne, offrant des températures plus fraîches en plaine et plus clémentes en altitude. La rencontre des deux masses d'air se concrétise souvent par une couche nuageuse, située un peu en-dessous de la limite inférieure de l'inversion. Alors que Clermont-Ferrand se réveille dans la brume, le sommet du puy de Dôme baigne dans la lumière et la chaleur du soleil. Depuis le sommet, on peut alors observer, tôt dans la matinée, une mer de nuages qui s'étend à l'infini au milieu de la Chaîne des Puys. Un des exemples les plus cités dans la littérature météorologique concernant ce phénomène est celui observé le 26 décembre 1879. Alors que le thermomètre en Limagne affichait -15°C, on observait au même moment, au sommet du puy de Dôme, une température de + 4,7°C.

Mer de nuages sur la Chaîne des Puys
(Source : J. Way)

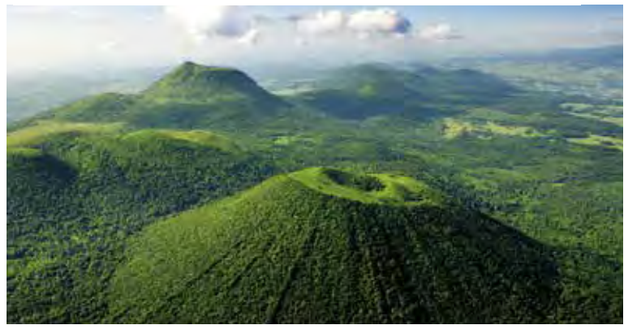
Climat et diversité des habitats naturels

Les types de végétation présents sur la Chaîne des Puys et leur répartition sont étroitement liés aux complexités du climat.

Le versant ouest du bien, du fait de ses influences océaniques, est caractérisé par d'importantes précipitations. On observe alors à l'étage collinéen, situé au-dessous de 800 mètres, la présence du Chêne pédonculé (*Quercus robur*) qui apprécie les sols riches, argileux et temporairement gorgés d'eau. L'étage montagnard apparaît ensuite, formé par la hêtraie sapinière. Du côté est du massif, qui propose un climat moins humide, l'étagement de la végétation est décroissant. Les forêts de hêtres (*Fagus sylvatica*) occupent l'étage supérieur alors que le chêne sessile (*Quercus petraea*), qui affectionne les sols moyennement secs, sablo-limoneux et acides, est bien présent sur l'étage collinéen.

Le sommet du puy de Dôme, malgré son altitude inférieure à 1 700 m, présente toutes les caractéristiques de l'étage subalpin avec une végétation de pelouses et de landes. La présence atypique du saule bicolore (*Salix bicolor*) sur le versant nord du sommet témoigne là encore de la rigueur et de l'humidité de cette zone. D'ordinaire, on ne le rencontre qu'à l'étage subalpin des massifs du Sancy et du Cantal.

Printemps
(Source : P. Soissons)



Été
(Source : P. Soissons)

Changements climatiques et esthétique paysagère

Dès le mois de mars et durant tout le printemps, un balancement régulier entre des périodes froides et douces s'installe. Le vent du nord qui s'abat sur la région amène des journées fraîches, parfois 10 °C à 15° C en-dessous des normales saisonnières, et favorise les gelées de printemps. En parallèle, les vents du sud-ouest font remonter le thermomètre et offrent des jours chauds et ensoleillés. Durant cette saison, les paysages s'intensifient, la végétation renaît, les arbres retrouvent des couleurs et les fleurs sauvages occupent une grande partie des sols. Les alternances du climat agissent sur la floraison tantôt en suspendant le processus de développement de la flore, tantôt en l'accélérant. Les cascades et les ruisseaux augmentent en volume et en nombre à cause de la fonte des neiges.

L'été est la saison la plus propice pour se réfugier dans les reliefs qui bénéficient de la fraîcheur grâce aux massifs boisés et à l'altitude. En contraste, les plaines souffrent parfois de la chaleur estivale. Les jours ensoleillés mettent en valeur les paysages volcaniques verdoyants. Les jours pluvieux sont en principe marqués par de violents orages, principalement au mois d'août. Accompagnées parfois de grêle et de rafales de vent, les intempéries obscurcissent aussi bien le ciel que les reliefs.

En automne, le climat influe sur les paysages et la Chaîne des Puys offre au spectateur des coloris éclatants. Les températures diminuent en même temps que la grisaille, la pluie et la neige s'amplifient. Les mois de septembre et octobre profitent encore de jours ensoleillés et de températures clémentes alors que novembre annonce fermement l'approche de l'hiver. La végétation dans la Chaîne des Puys se modifie au fil des mois. Les arbres perdent leurs feuilles ou changent de couleurs pour devenir jaunes-orangés. De nouvelles fleurs apparaissent.

Automne
(Source : J.-P. Voilhes)

Deux types de vent dominent en hiver. Les vents du nord amènent des jours de grand froid accompagnés de neige qui tombe en abondance sur les reliefs. Plus l'altitude est élevée, plus la neige va rester sur les sols. À l'inverse, des vents orientés au sud-ouest provoquent des périodes de redoux sur la région avec parfois des bonds de 15° C à 20° C. L'aspect des paysages change selon les conditions climatiques. Lors de journées glaciales, la neige recouvre les massifs volcaniques et les lacs deviennent gelés. L'alternance avec les redoux fait disparaître pour un temps une partie de la couverture neigeuse et redonne à la Chaîne des Puys sa couleur d'origine.

Hiver
(Source : J. Way)

Outre des formes volcaniques et des objets géologiques variés, le Haut lieu tectonique dispose donc **d'un climat très diversifié qui renforce la qualité esthétique du site par des variations chromatiques du couvert végétal et des effets atmosphériques accentuant la théâtralité du site**.

On observe une interactivité entre les deux éléments :

- Les volcans forment un relief singulier qui parvient à agir sur le climat et à en modifier son comportement ;
- Le climat, quant à lui, donne parfois un aspect spectaculaire à la Chaîne des Puys – on pense notamment à la mer de nuages –, modifie ses formes et ajoute une nouvelle dimension à l'esthétique du paysage.

Milieux naturels et biodiversité

Le Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne **n'est pas proposé sur la base des critères (ix) et (x)**, néanmoins il contient des milieux importants pour la biodiversité tels que des hêtraies, des estives ou des tourbières. **Conformément au format de proposition d'inscription de biens naturels, une liste d'espèces présentes sur le périmètre concerné a été établie.**

Milieux forestiers

D'après la base de données d'occupation du sol *CORINE Land Cover* (CLC) de 2006, le bien proposé pour inscription est majoritairement composé de milieux forestiers. Ils occupent près des deux-tiers du territoire, le tiers restant correspondant à des milieux ouverts. Les milieux aquatiques et les zones humides représentent une faible surface du territoire mais n'en ont pas moins un intérêt patrimonial. Les zones urbanisées sont peu nombreuses, il s'agit majoritairement de bâtiments isolés et de quelques villages localisés en périphérie du bien.

Milieu	Intitulé CLC	Code CLC	Surface (ha)	Surface (ha) par milieu	% par milieu
Anthropique	Tissu urbain discontinu	112	302,9	473,6	2,1
	Zones industrielles et commerciales	121	63,6		
	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	122	2,0		
	Extraction de matériaux	131	25,9		
	Equipements sportifs et de loisirs	142	79,3		
Forestier	Forêt et végétation arbustive en mutation	324	882,8	14 553,8	64,1
	Forêts de feuillus	311	6 377,9		
	Forêts de conifères	312	4 772,7		
	Forêts mélangées	313	2 520,4		
Agropastoral	Terres arables hors périmètres d'irrigation	211	194,4	7 551,4	33,3
	Prairies	231	3 489,8		
	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	242	2 432,8		
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	243	352,2		
	Pelouses et pâturages naturels	321	625,9		
	Landes et broussailles	322	421,3		
	Végétation clairsemée	333	35,0		
Humide et aquatique	Plans d'eau	512	119,8	119,8	0,5
		Total	22 698,7		

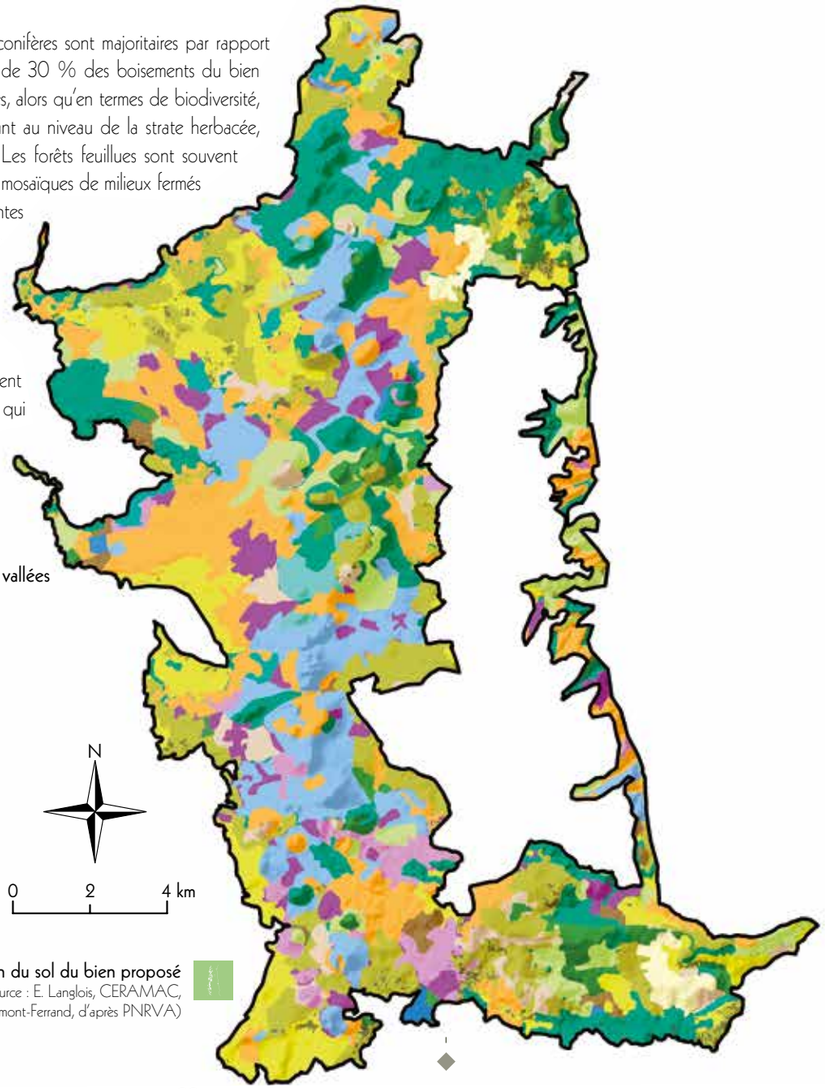
Occupation du sol sur le bien proposé
(Source : CORINE Land Cover)

Nature	Surface en ha	%
Forêt ouverte	1 195,22	8,2
Futaie de conifères	4 705,98	32,4
Futaie de feuillus	298,26	2,1
Futaie mixte	2 129,81	14,7
Mélange futaie, conifères et taillis	1 546,18	10,7
Mélange futaie, feuillus et taillis	3 189,67	21,9
Taillis	1 448,77	10,0
Total	**14 513,87**	**100**

Nature de la forêt et surface
(Source : Inventaire Forestier National)

Hêtraie de Ceyssat
(Source : F. Brosse)

Actuellement, les forêts monospécifiques de conifères sont majoritaires par rapport aux forêts de feuillus : elles représentent plus de 30 % des boisements du bien proposé. Les futaies de feuillus sont minoritaires, alors qu'en termes de biodiversité, elles accueillent un cortège floristique important au niveau de la strate herbacée, avec les futaies mixtes et les forêts ouvertes. Les forêts feuillues sont souvent mélangées avec des taillis, ce qui présente des mosaïques de milieux fermés avec des strates végétatives de hauteurs différentes très intéressantes pour le développement de la faune. Le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le sapin (*Abies sp.*), sont les deux essences climaciques, qui sont fortement représentés dans les futaies de feuillus et les mixtes. Certaines hêtraies et hêtraies-sapinières présentent une diversité biologique forte et un esthétisme qui les rendent particulièrement attractives.



Occupation du sol du bien proposé
(Source : E. Langlois, CERAMAC, Clermont-Ferrand, d'après PNRVA)

(Source : D. Pourcher)

Milieu agropastoral, l'estive

Les milieux agropastoraux occupent 31 % du bien proposé, soit 7 550 ha majoritairement composés par les estives de la Chaîne des Puys et quelques prairies et cultures, plus basses en altitude, à l'est du territoire. Il s'agit d'un patrimoine naturel à forte valeur écologique, dont l'existence est intimement liée aux pratiques pastorales. L'activité pastorale sur le territoire de la Chaîne des Puys est certainement une des premières activités anthropiques qui se soit développée sur ce territoire, il y a probablement plus de 4 500 ans. Le pastoralisme a ainsi façonné les paysages ouverts qui ne sont pas d'origine climacique.

Estives sur le Traversin
(Source : J.-P. Voilhes)

Selon les enquêtes pastorales de la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) du Puy-de-Dôme, l'estive correspond à une unité géographique constituée d'une portion de territoire continu de dix hectares et plus, placée sous la responsabilité d'un seul gestionnaire. Vastes réserves d'herbe d'été pour le pâturage des troupeaux transhumants, elles sont utilisées de façon saisonnière de mai à octobre avec une absence de retour journalier du cheptel au siège de l'exploitation. Plus particulièrement sur le territoire de la Chaîne des Puys, il s'agit d'un type agropastoral de voisinage. Les troupeaux majoritairement ovins hivernent dans les bergeries et l'été ils se mélangent pour pâturer les montagnes sectionales des villages et les indivis, entre 900 et 1 400 m d'altitude. Ce qui permet la fumure des parcelles en pacage nocturne. Les estives représentent de forts enjeux paysagers, économiques – pour l'agriculture et le tourisme –, et environnementaux – pour la diversité floristique et faunistique.

La demande d'estive concerne de nos jours les bêtes qu'on peut laisser presque sans surveillance : ovins rustiques, vaches accompagnées de leur veau, chevaux... Cette exploitation pastorale joue un rôle irremplaçable dans le maintien des équilibres écologiques et des paysages. En termes de biodiversité, les mosaïques de milieux ouverts entretenus par le pastoralisme sont les plus riches en espèces floristiques et faunistiques et elles jouent un rôle primordial dans le cycle de vie de nombreux animaux – territoires de chasse, de repos... Ainsi, il est important de souligner que la majeure partie des habitats d'intérêt communautaire du site Natura 2000 appartient aux estives, espaces ouverts qui renforcent la diversité des paysages du bien proposé, à l'instar des milieux de forêts mixtes.

(Source : H. Monestier)

Milieux aquatiques et humides

Les milieux aquatiques et humides superficiels sont faiblement représentés, ils couvrent 0,5 % du site, soit 120 ha environ. Le bien proposé, du fait des spécificités de la porosité des sols et sous-sols volcaniques, est quasi-exempt de zones humides et de milieux aquatiques.

La périphérie des volcans de la Chaîne des Puys est parcourue par un chevelu hydrographique très peu dense. Au nord et à l'ouest du bien, quelques ruisseaux et rases alimentent l'Ambène vers Charbonnières-les-Varennes et la Sioule en amont de Pontgibaud. La partie est du territoire est très peu concernée par l'hydrographie surfacique, excepté au sud de Volvic où quelques ruisseaux sont présents et au sud du bien qui comprend une partie du chevelu en amont de la Veyre, puis la rivière elle-même dans la partie du bien correspondant à la fin de la cheire de la Vache et Lassolas sur Aydat. La naturalité de ces petits cours d'eau de première catégorie piscicole préfigure la qualité du réseau hydrographique aval. Majoritairement préservés des impacts anthropiques, ils hébergent des peuplements piscicoles à forte valeur patrimoniale, aux vues de l'abondance caractérisant les populations de Truite de rivière (*Salmo trutta fario*). Dans une moindre mesure, l'Écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*) est potentiellement présente dans le bassin de la Veyre. Espèce emblématique du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, elle est pourtant en forte régression sur le territoire et au niveau national.

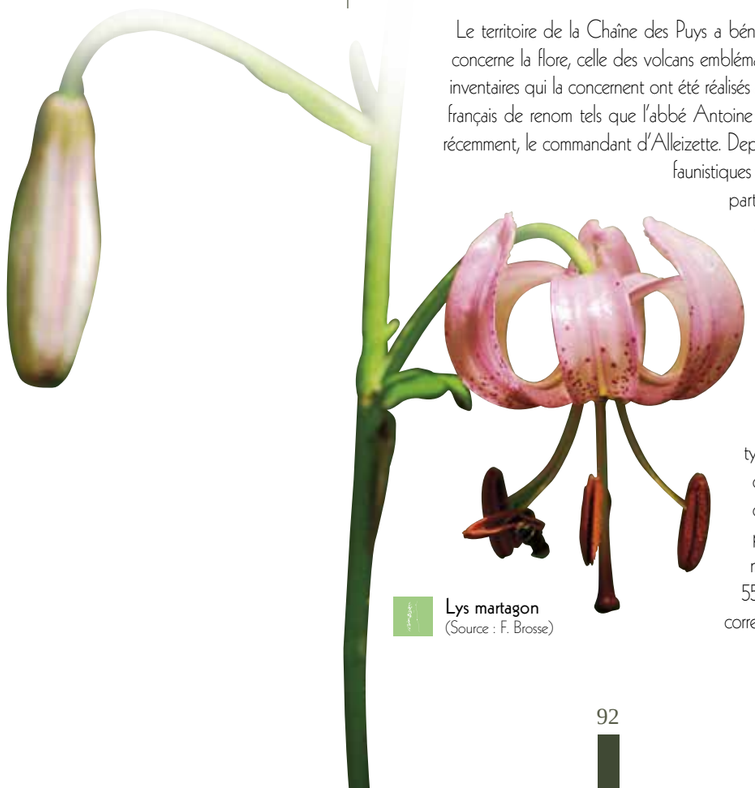
Les zones d'eau libre sont rares, généralement elles ne sont pas alimentées par les cours d'eau. Il s'agit majoritairement d'étangs de moins d'un hectare situés en périphérie du bien proposé, des étangs des Amontées, de Verneuge, de Rouillas-Bas – deux étangs –, de Ponteix, du Creux du Mortier, de la Prada basse et de la retenue d'eau du golf des Volcans. Deux étangs d'une surface supérieure à 1 ha sont présents à la Courteix et à Montlosier. D'origine anthropique, leur formation est due au barrage de ruisseau. Le bien proposé comprend également les lacs naturels de la Cassière et d'Aydat. En termes de biodiversité, ces milieux ne présentent pas d'enjeux majeurs, ils concourent à la diversité des habitats du bien et certains peuvent accueillir des odonates et des amphibiens, s'ils n'ont pas été empoissonnés. La présence de la Loutre d'Europe (*Lutra lutra*) dans certains de ces étangs est également à noter, bien que ce ne soit pas son territoire de prédilection.

Les zones humides permanentes ou temporaires sont majoritairement des petites surfaces de dépression dans les prairies, dont la taille varie en fonction des précipitations. Elles sont particulièrement importantes à la fin de la période hivernale. Ces prairies humides temporaires sont constituées de mosaïque d'habitats humides dont certains ont un intérêt patrimonial fort. En termes de biodiversité, les zones humides des Sagnes de Pulvérières sont remarquables et présentent des habitats humides rares, en bon état de conservation et couvrant une surface importante, tels que le bas marais. Par ailleurs, certaines zones humides temporaires ont des spécificités directement liées au volcanisme. Les lacs de chaux sont issus de la stagnation d'eau dans des cuvettes basaltiques associée à des conditions climatiques favorables. Il s'agit de petites mares de faible hauteur d'eau avec des berges en pentes douces qui occupent des dépressions situées en plaine ou en zone de piémont, selon le degré d'inversion du relief de la coulée basaltique, sur des sols neutrophiles. Sur le territoire du bien, deux lacs de chaux sont présents au sud-est, sur la Montagne de la Serre, et favorisent la présence d'amphibiens tels que le Crapaud calamite (*Bufo calamita*). Tout en participant au maillage aquatique du territoire, les zones humides jouent un rôle prépondérant pour l'avifaune. Les espèces d'oiseaux migratrices utilisent ces zones pour se reposer et se nourrir, comme le Vanneau huppé (*Vanellus vanellus*) ou la Bécassine des marais (*Gallinago gallinago*). Ces limicoles, dont les populations sont en déclin au niveau national et international, ont des effectifs de passage faibles sur ce territoire. Cependant, quelques individus sont parfois nicheurs, ce qui confirme leur forte valeur écologique.

La Narse d'Espinasse est la seule tourbière du bien proposé, elle est isolée du reste du réseau tourbeux situé plus au sud du Parc des Volcans d'Auvergne. Les milieux humides de forte valeur écologique présents dans ce maar sont les tremblants et les mégaphorbiaies, où se développe une des stations les plus importantes de la région Auvergne de Ligulaire de Sibérie (*Ligularia sibirica*), relique de l'époque glaciaire. À l'échelle du bien, il s'agit d'une zone humide remarquable, notamment du fait de son caractère isolé.

Inventaire de la faune et de la flore

Le territoire de la Chaîne des Puys a bénéficié de nombreux inventaires naturalistes. En ce qui concerne la flore, celle des volcans emblématiques est particulièrement bien connue. Les premiers inventaires qui la concernent ont été réalisés au cours des XVIII[e] et XIX[e] siècles par des botanistes français de renom tels que l'abbé Antoine Delarbre, Henri Lecoq, Maurice Chassagne et plus récemment, le commandant d'Alleizette. Depuis, de nombreux inventaires naturalistes floristiques et faunistiques ont été effectués sur ce secteur, rendant les données particulièrement abondantes. Par exemple, la base de données du CORINE Land Cover recense plus de 600 données floristiques sur le secteur, répertoriées du XVIII[e] au XXI[e] siècles.



Lys martagon
(Source : F. Brosse)

Afin d'obtenir une base de données initiale la plus homogène et actualisée possible à l'échelle du bien proposé, les inventaires Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Floristique et Faunistique (ZNIEFF) de type 1, révisés en 2009, ont été utilisés. Il s'agit de zones de biodiversité importantes établies selon la présence d'espèces et de milieux « déterminants », c'est-à-dire particulièrement intéressants au niveau du patrimoine naturel régional voire national. Ces zones couvrent 55 % du territoire du bien. Ainsi, les espèces recensées correspondent à des taxons rares et/ou menacés à l'échelle régionale et pour lesquels le bien proposé aura une responsabilité plus ou moins importante dans le maintien voire la restauration des populations. Les zones interstitielles non concernées par les ZNIEFF de type 1 ont bénéficié de moins de prospections. Ces espaces sont moins riches en biodiversité, bien que certaines espèces puissent s'y développer et les utiliser comme des zones de passages, ou corridors, permettant des échanges entre les populations.

Par ailleurs, différents bilans de connaissances réalisés à l'échelle du territoire du Parc des Volcans d'Auvergne ont été utilisés afin de rendre la liste des espèces présentées plus exhaustive et de mentionner les espèces non déterminantes pour les ZNIEFF de type 1 mais qui sont bien représentées ou qui ont une valeur importante pour le Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne.

Lycopode sélagine
(Source : P. Loudin)

Ce bilan recense 221 espèces remarquables, 78 sont mentionnées sur la Liste Rouge Mondiale de l'UICN, dont 4 espèces sont presque menacées (NT) et 3 sont vulnérables (VU) (*Alchemilla grenieri, Biscutella lamottei, Campanula rhomboidalis*). Parmi celles-ci, 75 sont protégées au niveau national.

La variété des conditions climatiques et pédologiques rencontrées sur le bien proposé est à l'origine de la multiplicité des conditions écologiques, qui avec les activités anthropiques, créent la diversité des habitats naturels et donc de la flore. Les espèces d'affinité montagnarde sont prépondérantes sur ce territoire.

Hêtraie des Cheires Hautes
(Source : J.P. Voilhes)

Le bilan effectué recense une centaine de taxons. Ainsi, la Carline à feuilles d'Acanthe (*Carlina acanthifolia*), taxon héliophile, est située sur les versants sud de la Montagne de la Serre, alors que le Lycopode sélagine (*Huperzia selago*), qui se développe dans des zones humides et froides, est uniquement présent sur le versant nord du puy de Dôme. La flore identifiée n'est globalement pas protégée ni menacée, exceptés quelques taxons. Elle appartient aux cortèges floristiques des habitats naturels les plus remarquables du site, comme les pelouses à Brachypodes, les pelouses xériques, les pelouses pionnières sur éboulis, les landes acidiphiles montagnardes voire subalpines, etc. Sur le territoire du bien proposé, les lisières forestières et les sous-bois des hêtraies et hêtraies-sapinières, accueillent de belles stations de Lys martagon (*Lilium martagon*). Les milieux secs et rocheux, notamment les éboulis rocheux et volcaniques, abritent une flore particulière, notamment l'Alchémille de Grenier (*Alchemilla grenieri*), taxon endémique du Massif Central. De nombreuses espèces citées appartiennent aux mosaïques de milieux agro-pastoraux. Il s'agit notamment de graminées fourragères qui composent les estives, comme le Dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*) ou le Pâturin des prés (*Poa pratensis*). Les rares zones humides recèlent de nombreuses espèces à statut dont la Ligulaire de Sibérie (*Ligularia sibirica*), seule espèce végétale du bilan préservée au niveau européen. Localisée dans le maar de la Narse d'Espinasse, cette station est la plus nordique de la région et présente une densité remarquable pour cette relique de l'époque glaciaire. Le lac de la Cassière héberge également une station de Littorelle à une fleur (*Littorella uniflora*), petite plante amphibie oligotrophe.

Ces milieux sont colonisés par une faune plus ou moins spécifique. Les insectes, par leur écologie, sont majoritairement inféodés aux milieux agro-pastoraux comprenant des mosaïques d'habitats ouverts. Les Orthoptères, majoritairement consommateurs de graminées, se répartissent suivant la stratification de la végétation herbacée et arbustive alors que les Lépidoptères se développent en fonction de la composition de la végétation, puisqu'ils sont liés à des plantes-hôtes. Ainsi, ils colonisent également les milieux ouverts forestiers et les zones humides, comme les Odonates.

① Oedipode Rouge
(Source : E. Sardet)

② Criquet des genévriers
(Source : E. Sardet)

③ Bel-Argus
(Source : E. Sardet)

④ Apollon
(Source : E. Sardet)

Malgré le faible recouvrement des milieux aquatiques et humides sur le périmètre proposé pour inscription, des amphibiens forestiers sont présents tels que la Salamandre terrestre (*Salamandra salamandra*) et la Grenouille agile (*Rana dalmatina*) qui colonisent les forêts de feuillus ou les forêts mixtes. Plus ubiquiste, le crapaud commun (*Bufo bufo*) est également observable sur ce territoire, parfois en grande densité, comme au lac de la Cassière. En ce qui concerne les Reptiles, les espèces aux affinités climatiques généralistes sont bien représentées, comme la Couleuvre à collier (*Natrix natrix*), la Couleuvre vipérine (*Natrix maura*) ou la Vipère aspic (*Vipera aspis*), espèce plus thermophile. Ce territoire concentre également les espèces d'affinité septentrionale, au climat plus frais et humide, comme le Lézard des souches (*Lacerta agilis*) et la Vipère péliade (*Vipera berus*). Moins adaptables que les autres reptiles, ces espèces paraissent plus menacées par les tendances climatiques actuelles et à venir.

⑤ Lézard des murailles
(Source : A.Teynié)

⑥ Crapaud commun
(Source : A.Teynié)

⑦ Crapaud calamite
(Source : A.Teynié)

⑧ Vipère péliade
(Source : A.Teynié)

L'avifaune remarquable du territoire est relativement diversifiée. Les espèces fréquentant les milieux forestiers, les lisières, les milieux agropastoraux et les zones en mosaïques des territoires de moyenne montagne traditionnels sont particulièrement bien représentées. Pour n'en citer que quelques-unes, il s'agit respectivement du Pigeon colombin (*Columba oenas*), de l'Engoulevent d'Europe (*Caprimulgus europaeus*),

du Tarier des prés (*Saxicola rubetra*), de la Pie-grièche grise (*Lanius excubitor*) ou du Milan royal (*Milvus milvus*), dont la densité sur le territoire proposé est importante pour cette espèce à fort enjeu régional. Dans une moindre mesure, les oiseaux inféodés aux zones humides sont également bien représentés, dont certains indiquent la bonne qualité écologique des milieux. Il s'agit notamment de la Marouette ponctuée (*Porzana porzana*) et des Sarcelles (*Anas sp.*). Le bien proposé pour inscription accueille également de façon épisodique des espèces inféodées aux milieux subalpins comme le Monticole de roche (*Monticola saxatilis*).

① Milan royal
(Source : F. Cahez, LPO Auvergne)

② Pie-grièche grise
(Source : F. Cahez, LPO Auvergne)

③ Tarier des prés
(Source : F. Cahez, LPO Auvergne)

④ Pipit farlouse
(Source : F. Cahez, LPO Auvergne)

Enfin, en ce qui concerne les Mammifères, la présence des chiroptères est remarquable de par leur diversité et leur densité. En période hivernale, certains lieux comme les grottes de Volvic, sont des sites d'hibernation d'importance régionale. Les populations de Petit Rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), de Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) et de Grand Murin (*Myotis myotis*) y sont particulièrement notables. Les mammifères carnivores jouent un rôle majeur dans la chaîne alimentaire. C'est notamment le cas du Renard roux (*Vulpes vulpes*) et de l'Hermine (*Mustela erminea*), qui sont deux prédateurs du Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*), petit rongeur dont les pullulations causent des dégâts dans les prairies pâturées. Certains mammifères sont également chassés, comme le Chevreuil (*Capreolus capreolus*) ou le Lièvre (*Lepus europaeus*).

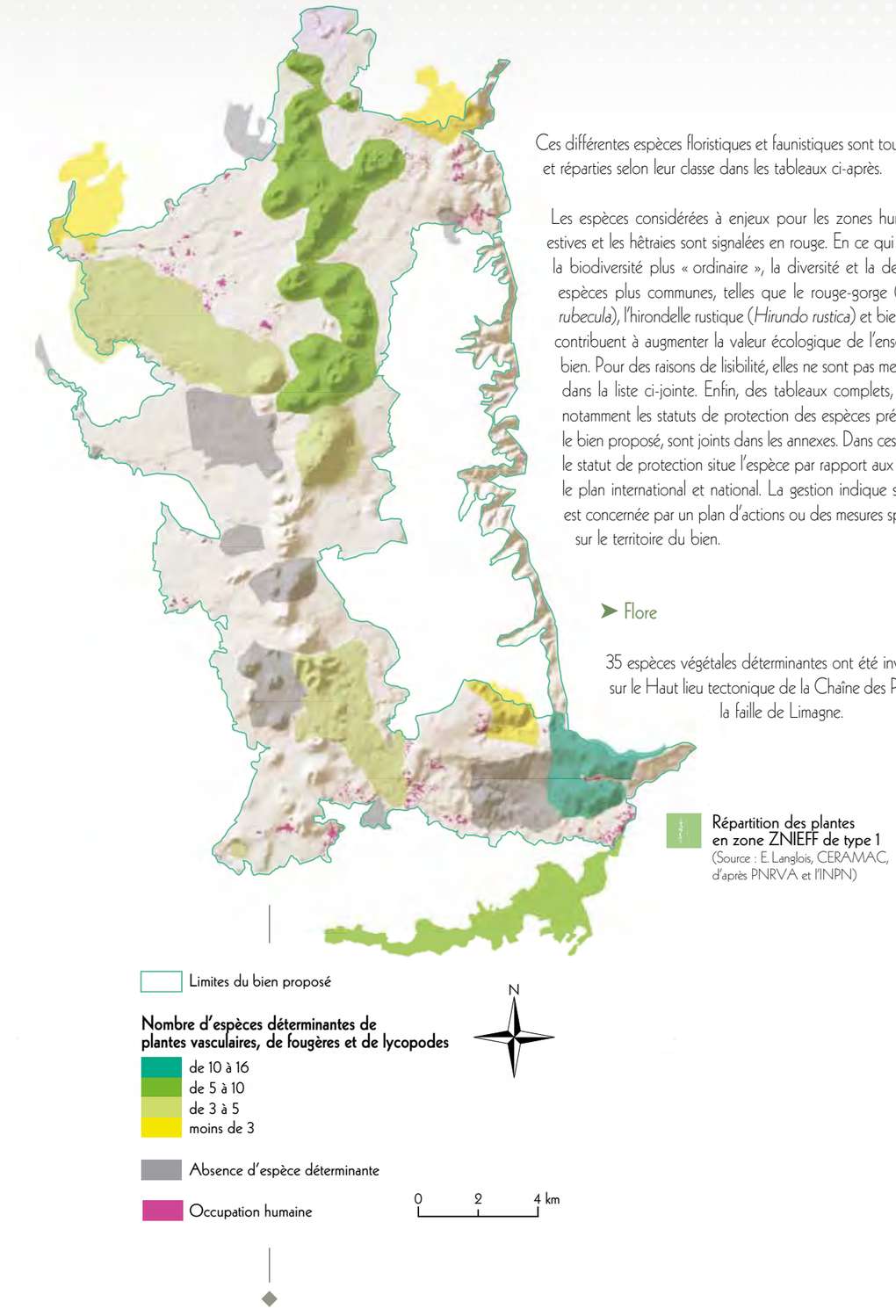
⑤ Grand Murin
(Source : R. Grignon, Chauve-Souris Auvergne)

⑥ Hermine pelage hiver
(Source : A. Porte)

⑦ Hermine pelage été
(Source : A. Porte)

⑧ Pic noir
(Source : A. Porte)

⑨ Chat forestier
(Source : A. Porte)



Ces différentes espèces floristiques et faunistiques sont toutes listées et réparties selon leur classe dans les tableaux ci-après.

Les espèces considérées à enjeux pour les zones humides, les estives et les hêtraies sont signalées en rouge. En ce qui concerne la biodiversité plus « ordinaire », la diversité et la densité des espèces plus communes, telles que le rouge-gorge (*Erithacus rubecula*), l'hirondelle rustique (*Hirundo rustica*) et bien d'autres contribuent à augmenter la valeur écologique de l'ensemble du bien. Pour des raisons de lisibilité, elles ne sont pas mentionnées dans la liste ci-jointe. Enfin, des tableaux complets, précisant notamment les statuts de protection des espèces présentes sur le bien proposé, sont joints dans les annexes. Dans ces tableaux, le statut de protection situe l'espèce par rapport aux autres sur le plan international et national. La gestion indique si l'espèce est concernée par un plan d'actions ou des mesures spécifiques sur le territoire du bien.

➤ Flore

35 espèces végétales déterminantes ont été inventoriées sur le Haut lieu tectonique de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne.

Classe	Espèce	Nom vernaculaire
Dicotylédone	Agrostemma githago L.	Nielle des blés
	Alchemilla grenieri J.Guillot	Alchémille de Grenier
	Biscutella lamottei Jord.	Lunetière de Lamotte
	Campanula rhomboidalis L.	Campanule rhomboidale
	Carlina acanthifolia All.	Carline à feuilles d'acanthe
	Hieracium peleterianum Mérat subsp. peleterianum	Epervière de Lepeletier
	Inula bifrons (L.) L.	Inule variable
	Lathraea squamaria L.	Clandestine écailleuse
	Ligularia sibirica (L.) Cass.	Ligulaire de Sibérie
	Littorella uniflora (L.) Asch.	Littorelle à une fleur
	Minuartia viscosa (Schreb.) Schinz & Thell.	Minuartie visqueuse
	Pyrola chlorantha Sw.	Pyrole verdâtre
	Ranunculus omiophyllus Ten.	Grenouillette de Lenormand
	Salix bicolor Willd.	Saule bicolore
	Vicia melanops Sm.	Vesce noirâtre
	Vicia narbonensis L. gr.	Vesce de Narbonne
Filicopsida	Cystopteris dickieana R.Sim	Cystoptéris de Dickie
	Polystichum lonchitis (L.) Roth	Polystic lonchyte
Lycopsida	Huperzia selago (L.) Bernh. ex Schrank & Mart.	Lycopode sélagine
Monocotylédone	Apera interrupta (L.) P.Beauv.	Agrostis interrompu
	Bromus secalinus L.	Brome faux-seigle
	Carex cespitosa L.	Laîche en touffe
	Carex pauciflora Lighft.	Laîche pauciflore
	Eriophorum gracile W.D.J.Koch ex Roth	Linaigrette grèle
	Gagea lutea (L.) Ker Gawl.	Gagée jaune
	Gymnadenia odoratissima (L.) Rich.	Orchis odorant
	Lilium martagon L.	Lis martagon
	Luzula luzuloides (Lam.) Dandy & Wilmott	Luzule blanche
	Potamogeton perfoliatus L.	Potamot à feuilles perfoliées
	Ventenata dubia (Leers) Coss.	Avoine douteuse
Bryopsida (mousse)	Andreaea spp.	
	Schistostega pennata (Hedw.) F.Weber & D.Mohr	
	Campylostelium saxicola (F.Weber & D.Mohr) Bruch & Schimp.	
	Grimmia spp.	
	Racomitrium spp.	

➤ *Lépidoptères*

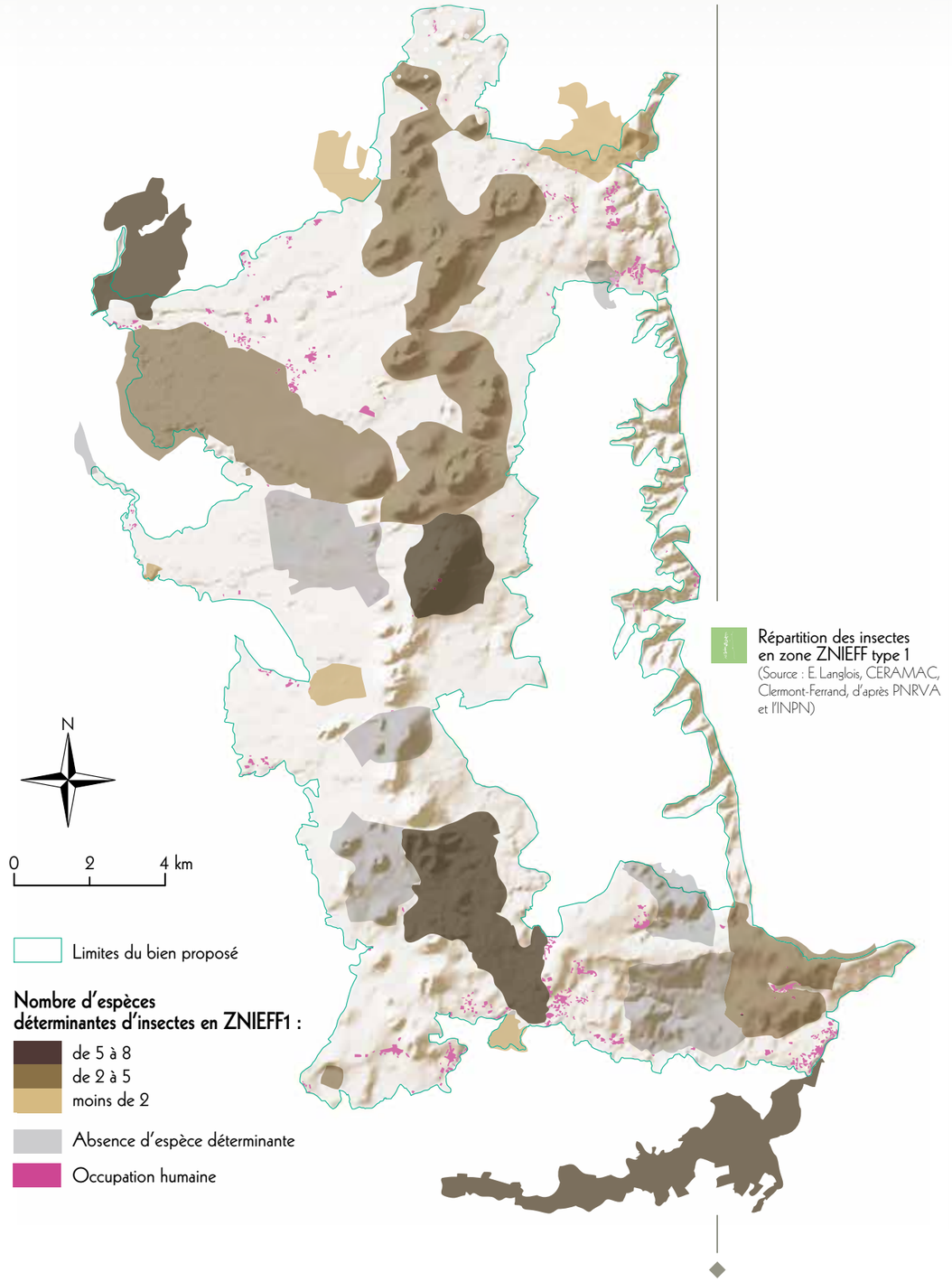
13 espèces importantes de l'ordre des lépidoptères ont été identifiées sur le bien proposé.

Classe	Espèce	Nom vernaculaire
Insectes (Lépidoptères)	Erebia euryale Esper, 1805	Moiré frange-pie
	Erebia ligea Linnaeus, 1758	Moiré fascié
	Erebia epiphron Knoch, 1783	Moiré de la canche
	Erebia manto Denis & Schiffermüller, 1775	Moiré variable
	Euphydryas aurinia Rottemburg, 1775	Damier de la Succise
	Limenitis populi Linnaeus, 1758	Grand Sylvain
	Lycaena helle Denis & Schiffermüller, 1775	Cuivré de la bistorte
	Lysandra bellargus Rottemburg, 1775	Bel-Argus
	Lysandra coridon Poda, 1761	Argus bleu-nacré
	Maculinea alcon Denis & Schiffermüller, 1775	Azuré des mouillères
	Maculinea arion Linnaeus, 1758	Azuré du Serpolet
	Parnassius apollo Linnaeus, 1758	Apollon
	Parnassius mnemosyne Linnaeus, 1758	Semi-Apollon

➤ *Orthoptères*

8 espèces significatives d'insectes à ailes droites ont été listées sur l'ensemble Chaîne des Puys et faille de Limagne.

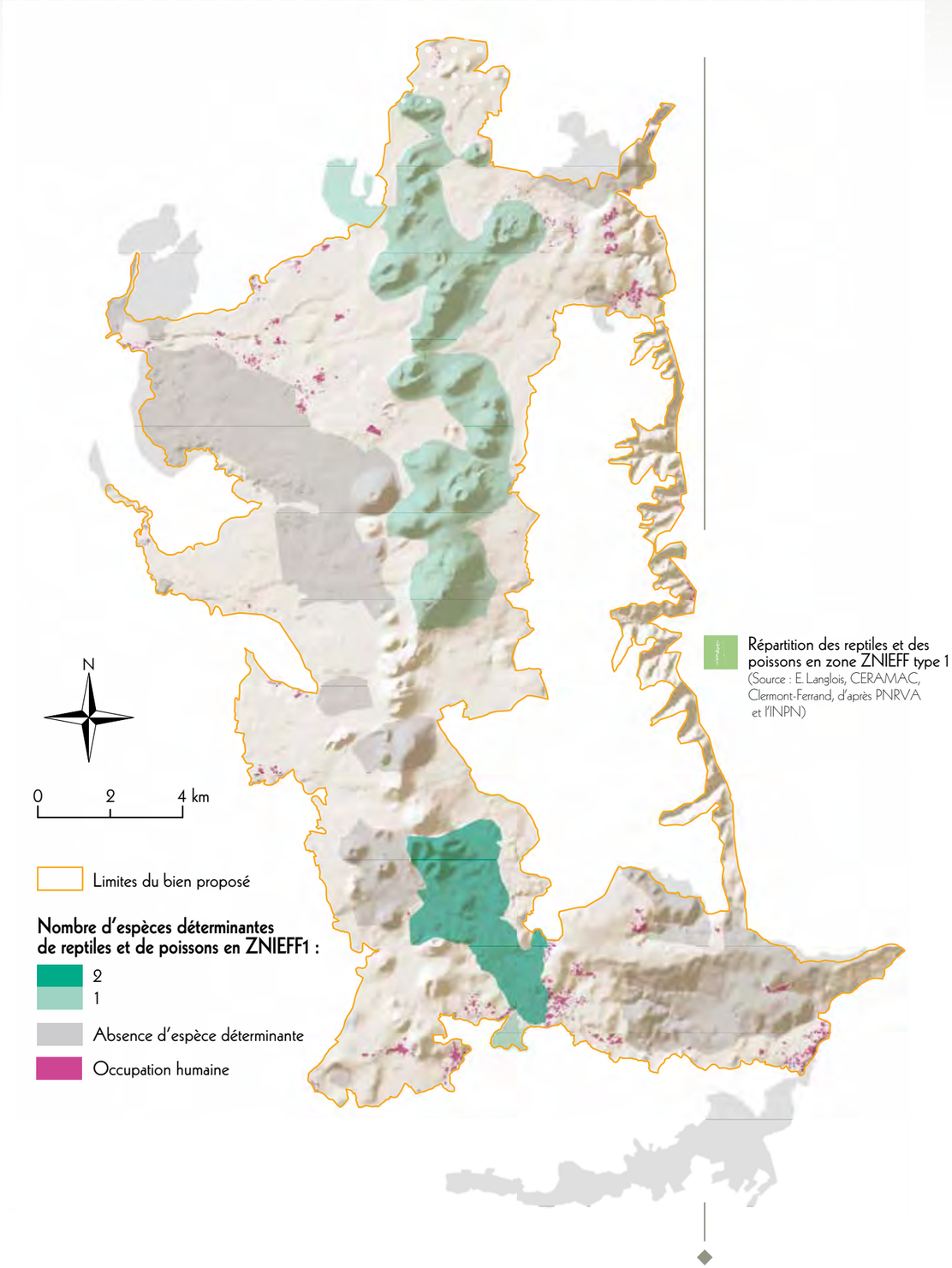
Classe	Espèce	Nom vernaculaire
Insectes (orthoptères)	Euthystira brachyptera Ocskay, 1826	Criquet des Genévriers
	Metrioptera bicolor Philippi, 1830	Decticelle bicolore
	Metrioptera brachyptera Linnaeus, 1761	Decticelle des bruyères
	Miramella alpina Kollar, 1833	Miramelle fontinale
	Myrmeleotettix maculatus Thunberg, 1815	Gomphocère tacheté
	Oedipoda germanica Latreille, 1804	Oedipode rouge
	Stenobothrus nigromaculatus Herrich-Schäffer, 1840	Criquet bourdonneur
	Stethophyma grossum Linnaeus, 1758	Criquet ensanglanté



➤ *Amphibiens, reptiles et poissons*

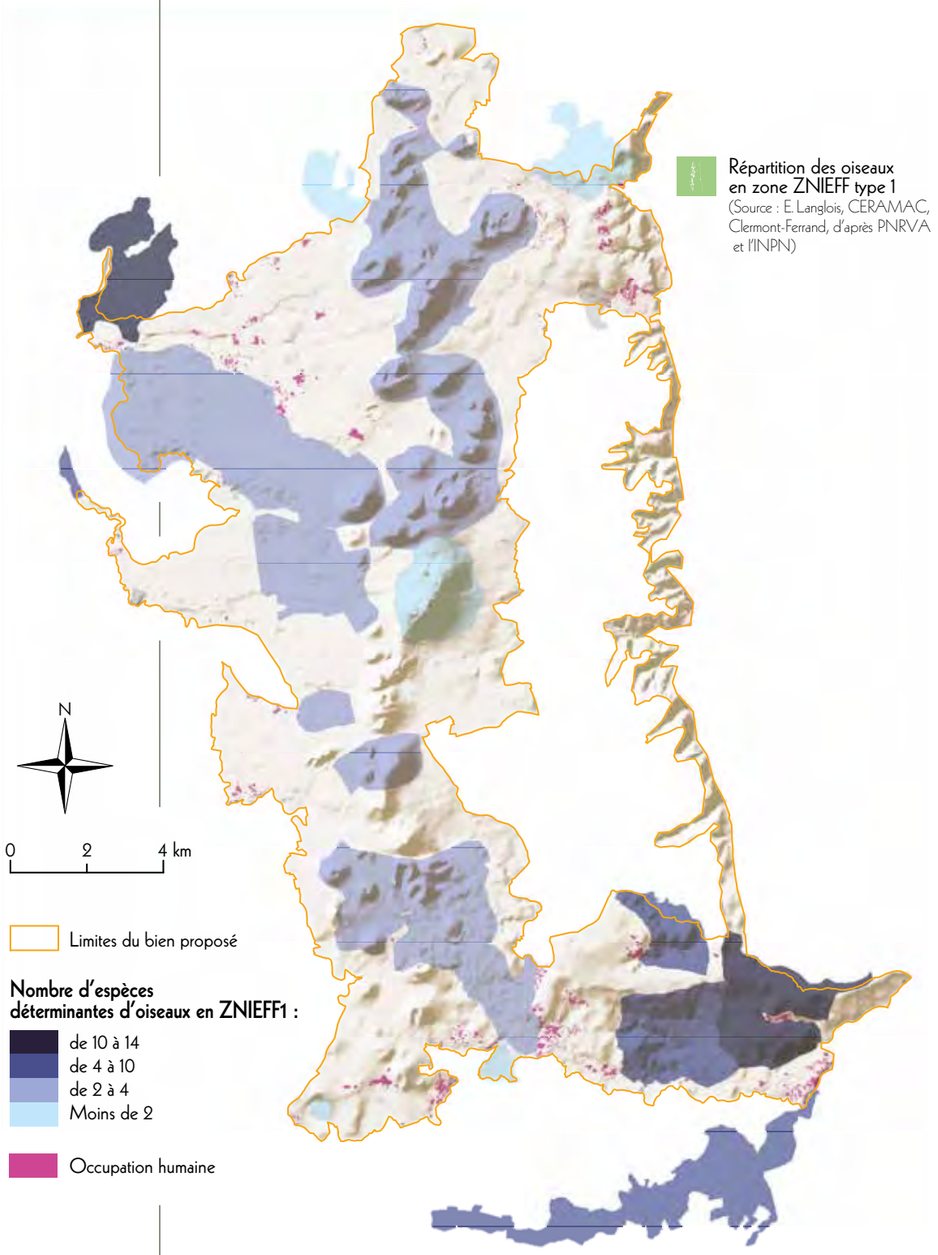
On dénombre 22 espèces déterminantes d'amphibiens, reptiles et poissons sur le bien proposé.

Classe	Espèce	Nom vernaculaire
Amphibiens	Bufo bufo Linnaeus, 1758	Crapaud commun
	Alytes obstetricans Laurenti, 1768	Crapaud calamite
	Biscutella lamottei Jord.	Crapaud accoucheur
	Pelophylax kl. esculenta Linnaeus, 1758	Grenouille verte
	Pelophylax ridibundus Pallas, 1771	Grenouille rieuse
	Rana dalmatina Fitzinger, 1839	Grenouille agile
	Rana temporaria Linnaeus, 1758	Grenouille rousse
	Salamandra salamandra Linnaeus, 1758	Salamandre terrestre
	Lissotriton helveticus Razoumowsky,1789	Triton palmé
	Triturus cristatus Laurenti, 1768	Triton crêté
	Anguis fragilis Linnaeus, 1758	Orvet
	Lacerta agilis Linnaeus, 1758	Lézard des souches
	Lacerta bilineata Daudin, 1802	Lézard vert
	Podarcis muralis Laurenti, 1768	Lézard des murailles
	Zootoca vivipara Jacquin, 1787	Lézard vivipare
	Coronella austriaca Laurenti, 1768	Coronelle lisse
	Natrix maura Linnaeus, 1758	Couleuvre vipérine
	Natrix natrix Linnaeus, 1758	Couleuvre à collier
	Vipera aspis Linnaeus, 1758	Vipère aspic
	Vipera berus Linnaeus, 1758	Vipère péliade
Malacostraca (arthropode)	Austropotamobius pallipes Lereboullet, 1857	Écrevisse à pattes blanches
Actinoptérygien	Salmo trutta fario Linnaeus, 1758	Truite de rivière



➤ *Avifaune*

62 espèces importantes d'oiseaux ont été répertoriées sur le site.



Répartition des oiseaux en zone ZNIEFF type 1
(Source : E. Langlois, CERAMAC, Clermont-Ferrand, d'après PNRVA et l'INPN)

Classe	Espèce	Nom vernaculaire
Oiseaux	Actitis hypoleucos Linnaeus, 1758	Chevalier guignette
	Aegolius funereus Linnaeus, 1758	Chouette de Tengmalm
	Alauda arvensis Linnaeus, 1758	Alouette des champs
	Anas clypeata Linnaeus, 1758	Canard souchet
	Anas crecca Linnaeus, 1758	Sarcelle d'hiver
	Anas querquedula Linnaeus, 1758	Sarcelle d'été
	Anthus pratensis Linnaeus, 1758	Pipit farlouse
	Anthus spinoletta Linnaeus, 1758	Pipit spioncelle
	Athene noctua Scopoli, 1769	Chouette chevêche
	Bubo bubo Linnaeus, 1758	Grand-duc d'Europe
	Caprimulgus europaeus Linnaeus, 1758	Engoulevent d'Europe
	Carduelis spinus Linnaeus, 1758	Tarin des aulnes
	Certhia familiaris Linnaeus, 1758	Grimpereau des bois
	Cinclus cinclus Linnaeus, 1758	Cincle plongeur
	Circaetus gallicus Gmelin, 1788	Circaète Jean-le-Blanc
	Circus cyaneus Linnaeus, 1758	Busard Saint-Martin
	Circus pygargus Linnaeus, 1758	Busard cendré
	Cisticola juncidis Rafinesque, 1810	Cisticole des joncs
	Coccothraustes coccothraustes Linnaeus, 1758	Grosbec casse-noyaux
	Columba oenas Linnaeus, 1758	Pigeon colombin
	Corvus corax Linnaeus, 1758	Grand Corbeau
	Coturnix coturnix Linnaeus, 1758	Caille des blés
	Dryocopus martius Linnaeus, 1758	Pic noir
	Emberiza cia Linnaeus, 1766	Bruant fou
	Emberiza hortulana Linnaeus, 1758	Bruant ortolan
	Emberiza schoeniclus Linnaeus, 1758	Bruant des roseaux
	Fulica atra Linnaeus, 1758	Foulque macroule
	Gallinago gallinago Linnaeus, 1758	Bécassine des marais
	Glaucidium passerinum Linnaeus, 1758	Chevêchette d'Europe
	Hieraaetus pennatus Gmelin, 1788	Aigle botté
	Hirundo rupestris Scopoli, 1769	Hirondelle de rochers
	Jynx torquillla Linnaeus, 1758	Torcol fourmilier
	Lanius collurio Linnaeus, 1758	Pie-grièche écorcheur
	Lanius excubitor Linnaeus, 1758	Pie-grièche grise
	Larus michahellis Naumann, 1840	Goéland leucophée

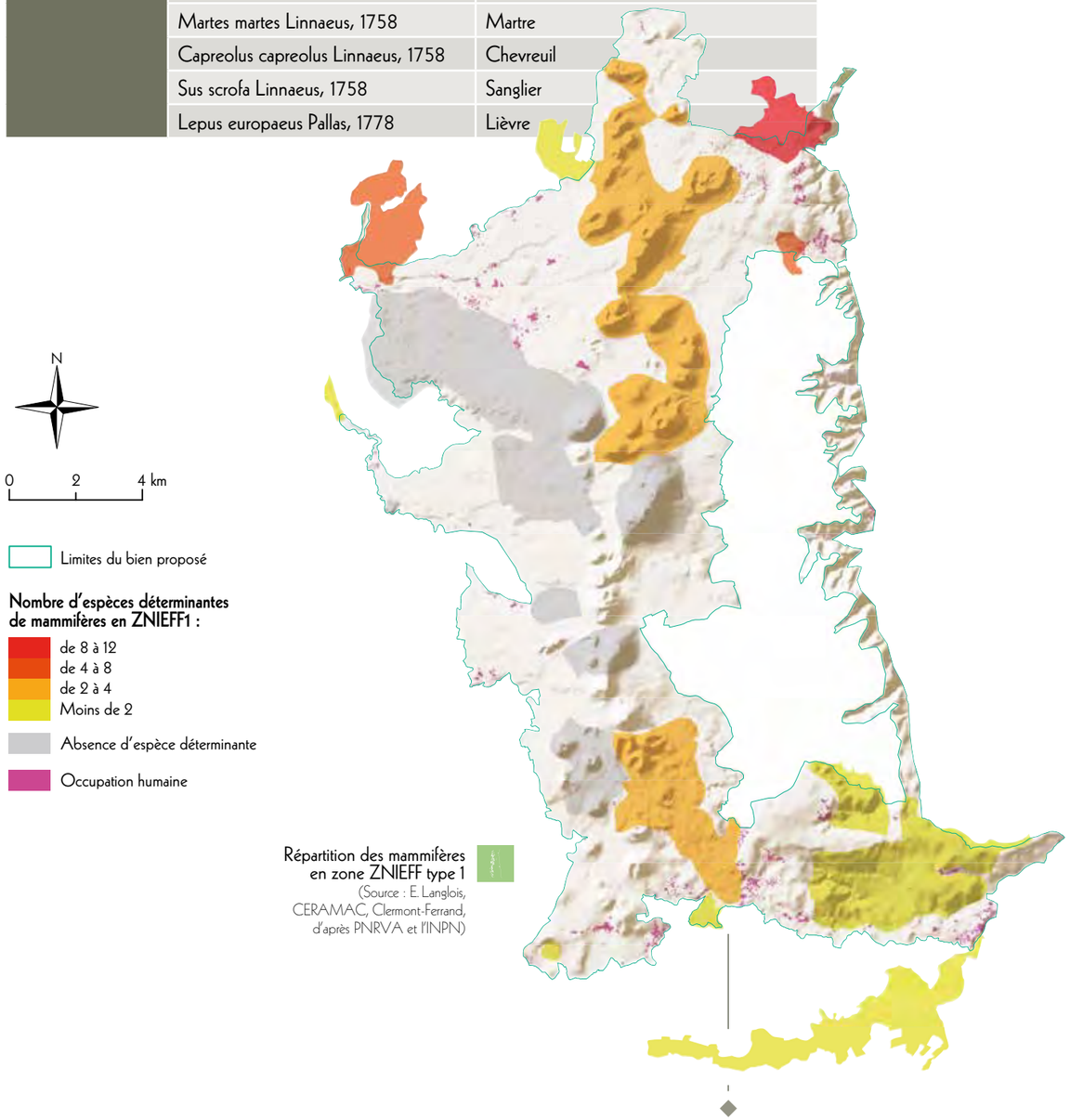
Oiseaux	Larus ridibundus Linnaeus, 1758	Mouette rieuse
	Locustella naevia Boddaert, 1783	Locustelle tachetée
	Loxia curvirostra Linnaeus, 1758	Bec-croisé des sapins
	Lullula arborea Linnaeus, 1758	Alouette lulu
	Milvus migrans Boddaert, 1783	Milan noir
	Milvus milvus Linnaeus, 1758	Milan royal
	Monticola saxatilis Linnaeus, 1758	Merle de roche
	Oenanthe oenanthe Linnaeus, 1758	Traquet motteux
	Otus scops Linnaeus, 1758	Petit-duc scops
	Passer montanus Linnaeus, 1758	Moineau friquet
	Pernis apivorus Linnaeus, 1758	Bondrée apivore
	Phoenicurus phoenicurus Linnaeus, 1758	Rougequeue à front blanc
	Phylloscopus bonelli Vieillot, 1819	Pouillot de Bonelli
	Phylloscopus sibilatrix Bechstein, 1793	Pouillot siffleur
	Phylloscopus trochilus Linnaeus, 1758	Pouillot fitis
	Podiceps cristatus Linnaeus, 1758	Grèbe huppé
	Porzana porzana Linnaeus, 1758	Marouette ponctuée
	Prunella collaris Scopoli, 1769	Accenteur alpin
	Pyrrhula pyrrhula Linnaeus, 1758	Bouvreuil pivoine
	Rallus aquaticus Linnaeus, 1758	Râle d'eau
	Saxicola rubetra Linnaeus, 1758	Tarier des prés
	Scolopax rusticola Linnaeus, 1758	Bécasse des bois
	Sylvia hortensis Gmelin, 1789	Fauvette orphée
	Turdus pilaris Linnaeus, 1758	Grive litorne
	Turdus torquatus Linnaeus, 1758	Merle à plastron
	Upupa epops Linnaeus, 1758	Huppe fasciée
	Vanellus vanellus Linnaeus, 1758	Vanneau huppé

➤ *Mammifères*

11 espèces de mammifères sont présentes sur le bien proposé.

Classe	Espèce	Nom vernaculaire
Mammifères	Rhinolophus hipposideros Bechstein, 1800	Petit Rhinolophe
	Rhinolophus ferrumequinum Schreber, 1774	Grand Rhinolophe
	Myotis myotis/blythii Borkhausen, 1797/Tomes, 1857	Grand/Petit Murin
	Myotis mystacinus Kuhl, 1817	Murin à moustaches
	Myotis alcathoe Helversen & Heller, 2001	Murin d'Alcathoe
	Myotis nattereri Kuhl, 1817	Murin de Natterer
	Pipistrellus pipistrellus Schreber, 1774	Pipistrelle commune
	Pipistrellus kuhlii Kuhl, 1817	Pipistrelle de Kühl

Mammifères	Eptesicus serotinus Schreber, 1774	Sérotine commune
	Plecotus austriacus Fischer, 1829	Oreillard gris
	Barbastella barbastellus Schreber, 1774	Barbastelle
	Meles meles Linnaeus, 1758	Blaireau
	Felis silvestris Schreber, 1775	Chat forestier
	Vulpes vulpes Linnaeus, 1758	Renard roux
	Arvicola terrestris Linnaeus, 1758	Campagnol terrestre
	Mustela erminea Linnaeus, 1758	Hermine
	Martes foina Erxleben, 1777	Fouine
	Martes martes Linnaeus, 1758	Martre
	Capreolus capreolus Linnaeus, 1758	Chevreuil
	Sus scrofa Linnaeus, 1758	Sanglier
	Lepus europaeus Pallas, 1778	Lièvre



Hydrogéologie

Par son relief et sa construction, la Chaîne des Puys est fréquemment qualifiée de château d'eau naturel, stockant l'eau au-dessus de l'agglomération clermontoise qu'elle alimente. En effet, son édification a largement influencé le réseau hydrographique de ce territoire. Ses édifices et produits volcaniques jouent un rôle essentiel dans la régulation des aquifères. Enfin cette ressource hydrogéologique, facteur d'identité, a été pleinement valorisée par les populations locales, et ce, depuis l'occupation romaine.

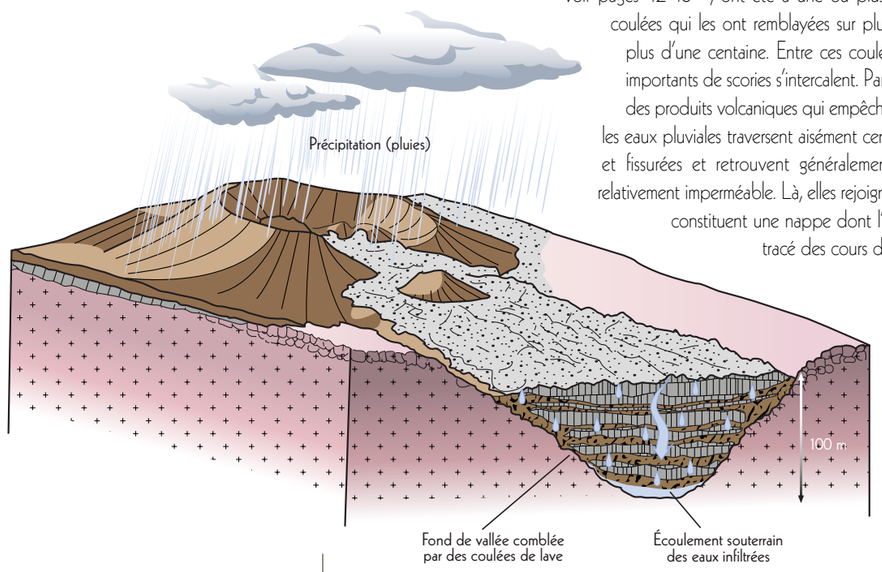
L'influence de la Chaîne des Puys sur l'hydrographie

Les phases éruptives successives de la Chaîne des Puys ont largement influencé la morphologie pré-volcanique et notamment le réseau hydrographique originel, comblant les paléovallées granitiques et barrant des lacs. Ainsi, du côté oriental, les coulées se sont d'abord étalées entre les cônes et la zone sommitale du plateau ; elles ont ensuite été canalisées par les vallées étroites jusque dans la Limagne, où une topographie plus ouverte leur a permis de reprendre un peu d'ampleur. Sur ce versant, le recouvrement de la topographie pré-volcanique s'est borné à des rubans de lave plus ou moins larges recoupant perpendiculairement la grande faille-limite.

Depuis plus de dix ans, des levés géophysiques et de nombreux forages effectués dans le cadre de la recherche d'eau potable ont conduit à la mise en évidence, sous les formations volcaniques, d'un important réseau hydrographique pré-volcanique, localement très encaissé dans le socle granitique et souvent insoupçonnable. La Chaîne des Puys s'est en effet édifiée au voisinage de la ligne nord-sud de partage des eaux, entre le versant de la Sioule à l'ouest, et de l'Allier à l'est.

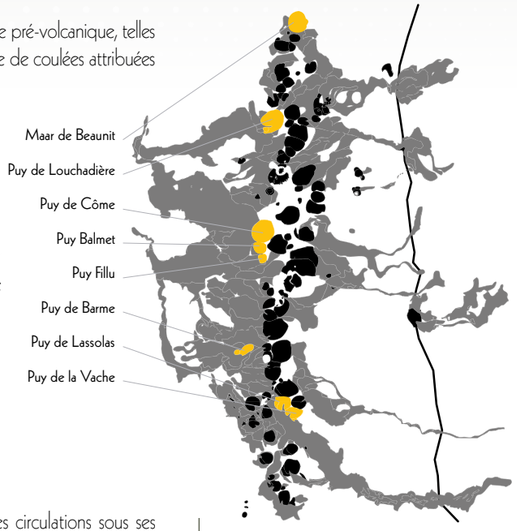
Toutes les petites vallées entaillant le plateau, comme le reflète le découpage du bien proposé — voir pages 42-43 —, ont été à une ou plusieurs reprises envahies par des coulées qui les ont remblayées sur plusieurs dizaines de mètres, voire plus d'une centaine. Entre ces coulées, des niveaux plus ou moins importants de scories s'intercalent. Par le jeu de la grande perméabilité des produits volcaniques qui empêche le ruissellement sur ces terrains, les eaux pluviales traversent aisément cendres, scories, coulées scoriacées et fissurées et retrouvent généralement sous ces produits le socle relativement imperméable. Là, elles rejoignent le cœur des paléovallées et constituent une nappe dont l'écoulement est orchestré par le tracé des cours d'eau préexistants.

Il s'ensuit une importante circulation souterraine, selon le réseau hydrographique pré-volcanique. La plupart des grosses sources jaillissant au front des coulées sont de véritables résurgences.



Écoulement souterrain dans la paléovallée de Volvic
(Source : Cg63, d'après Société des eaux de Volvic)

Il existe néanmoins quelques cas de modifications notables du réseau hydrographique pré-volcanique, telles celles concernant la Sioule et ses affluents, barrés en amont de Mazayes par une série de coulées attribuées aux puys de Barme, Fillu et Balmet. La fissuration des coulées n'a pas suffi en effet à éviter la création de nombreux lacs de barrage, rapidement comblés, pour la plupart, par la sédimentation. Il en est ainsi de l'ancien lac de Pontgibaud, le plus vaste de tous qui atteignait initialement 10 kilomètres de long sur 500 mètres de large. Il a été totalement comblé par les alluvions de la Sioule et de la Miouze, rivières barrées à Pontgibaud par les coulées des puys de Côme et Louchadière. Ainsi encore, les anciens étangs de Fung, Ceyssat et Randanne ont été remplis par une alternance de couches de tourbe et de diatomite. Une nappe d'eau libre ne subsiste plus actuellement que dans les deux retenues d'Aydat et La Cassière, liées au barrage de la Veyre et d'un de ses affluents par la coulée des cônes jumeaux égueulés de la Vache et Lassolas. De même, la mise en place du maar de Beaunit a permis la capture du ruisseau de Sauterre par l'Ambène.



Des aquifères régulés par les édifices et produits volcaniques

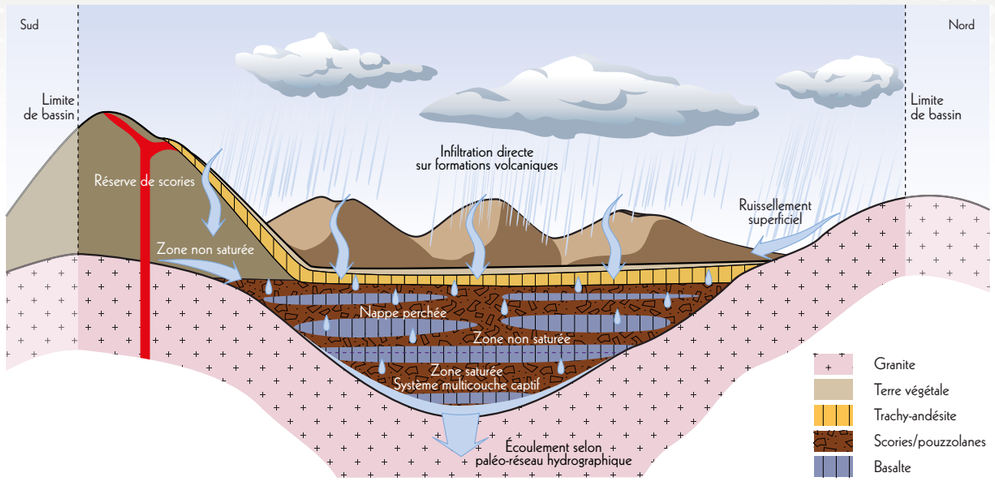
Étant à la fois un condensateur de l'humidité atmosphérique et un régulateur des circulations sous ses coulées, la Chaîne des Puys tient un rôle actif dans le régime hydrologique du bien proposé pour inscription. Ainsi, la qualité et la quantité de l'impluvium de cet ensemble sont remarquables grâce aux rôles de filtrage et de régulateur joués par les produits de ce volcanisme récent. Surajoutant à la pénéplaine granito-gneissique une barrière montagneuse de 32 kilomètres, la Chaîne des Puys est le premier obstacle rencontré par les masses d'air en provenance de l'Atlantique, augmentant considérablement les précipitations sur la région, mais également les contrastes pluviométriques entre les façades est et ouest. Ainsi, la pluviosité annuelle moyenne, qui ne dépasse pas 600 mm sur la Limagne à Clermont-Ferrand, et 1 000 mm à 800 mètres d'altitude sur le plateau des Dômes dans la région d'Orcines, atteint 1 500 mm au sommet du puy de Dôme — 1 464 mètres.

La majeure partie de l'eau tombée sur la chaîne et le plateau environnant se retrouve dans les aquifères souterrains, calqués sur le réseau hydrographique pré-volcanique, de deux façons :

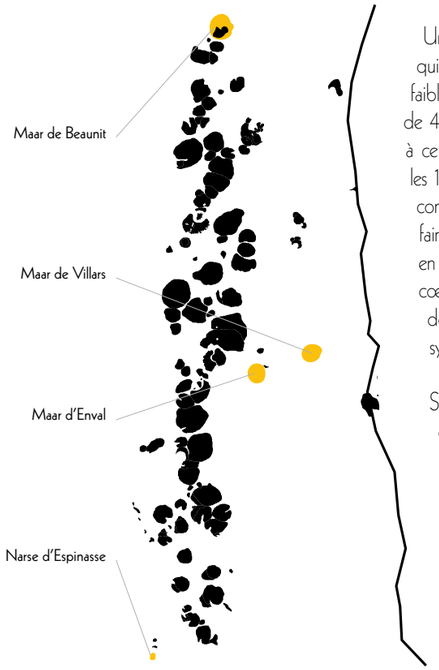
- Pour une part au travers de pertes, le ruissellement sur le socle barré par les coulées n'ayant d'autres issues que de s'enfouir latéralement ; sauf quand la coulée franchit une masse d'eau comme au lac d'Aydat ;
- Pour une autre part, la plus importante, par infiltration.

Avant de rejoindre le cœur de la paléovallée, le parcours sera long. Dans un premier temps, plusieurs dizaines, voire centaines, de mètres de scories et coulées seront traversés. La variabilité climatologique va dans un tel système être lissée. Pour exemple, à l'aplomb du volcan de la Nugère, dans le bassin de Volvic, il faut à une goutte d'eau plus d'une année pour traverser une centaine de mètres de scories. Dans un deuxième temps, après avoir percolé au travers des matériaux volcaniques, les eaux d'infiltration vont ruisseler au contact du socle en direction du cœur des paléovallées. De nombreux forages réalisés sur leurs flancs montrent en effet une nappe limitée aux formations arénisées.

À noter que la configuration exceptionnelle de la Chaîne des Puys a permis la mise au point, d'une méthode de prospection de l'eau souterraine, la méthode de polarisation spontanée (méthode PS). Des galeries et des forages ont permis de vérifier la validité de la méthode en 1991, et de l'utiliser ensuite dans d'autres régions du monde — Mexique, Cameroun, Indonésie, Canaries notamment.



Infiltrations et écoulements souterrains des eaux atmosphériques dans la Chaîne des Puys
(Source : Cg63, d'après Société des eaux de Volvic)



Un aquifère constitué, aux débits significatifs, ne se rencontre que dans les vallées fossiles qui jouent le rôle de drains et qui concentrent ainsi l'essentiel des écoulements sur une très faible surface. La largeur de la nappe reconnue par les travaux du génie rural sur Côme est de 400 mètres pour une emprise des coulées de plus de deux kilomètres. Son épaisseur à cet endroit est au plus de 30 mètres, alors que les formations volcaniques atteignent les 130 mètres. Cependant, bien que les perméabilités des scories soient fortes, la nappe conserve une épaisseur non négligeable qui nécessite, pour expliquer une telle situation, de faire appel à des notions de barrage joué préférentiellement par les basaltes. Un écoulement en marche d'escalier donne certainement une meilleure représentation de l'écoulement au cœur de la paléovallée. La capacité de régulation est considérable et se traduit au niveau des émergences par des fluctuations modestes sans comparaison avec celles d'autres systèmes hydrogéologiques.

Sans vouloir minimiser le rôle des aquifères, il semble bien que c'est la zone sommitale de la Chaîne des Puys, avec ses nombreux cônes de scories fortement arrosés, qui joue le rôle de réservoir régulateur. Enfin, si l'existence d'écoulements exploitables au cœur des paléovallées est connue depuis un siècle, l'intérêt hydrogéologique des maars n'est apparu que très récemment. Ceux-ci se présentent en effet comme des chaudrons entaillés dans le substratum granitique imperméable, remplis de scories, coulées et sédiments. Leur formation privilégiée au cœur d'un thalweg peut leur faire jouer un rôle de réservoir régulateur de la nappe qui s'écoule dans la vallée fossile. Des résultats très encourageants ont été obtenus lors de forages d'essai dans les maars de Beaunit, Enval, Villars et la Narse d'Espinasse.

Certaines de ces structures présentent des réserves considérables – plusieurs millions de mètres cubes pour le maar de Beaunit – et des débits instantanés de plusieurs centaines de mètres cubes par heure. Leur position dans le bassin est donc fondamentale. Ainsi, le maar de Beaunit, isolé dans la partie sommitale du bassin de Volvic, constitue un château d'eau au renouvellement très lent ; les teneurs en tritium datent ces eaux d'une vingtaine d'années. Ce n'est pas le cas du maar d'Enval qui est aujourd'hui l'objet d'une exploitation par la commune d'Orcines et qui est certainement implanté sur la paléovallée principale du bassin versant de la Tiretaine.

Des ressources valorisées

L'exploitation de la ressource nécessite de définir les limites des bassins versants et leur structure. La définition des contours des différents bassins hydrogéologiques s'effectue tout d'abord à partir des affleurements du socle qui n'ont pas été effacés par la mise en place des formations volcaniques ; ensuite, le bilan hydrologique des émergences d'extrémités de coulée permet d'estimer une surface approximative du bassin.

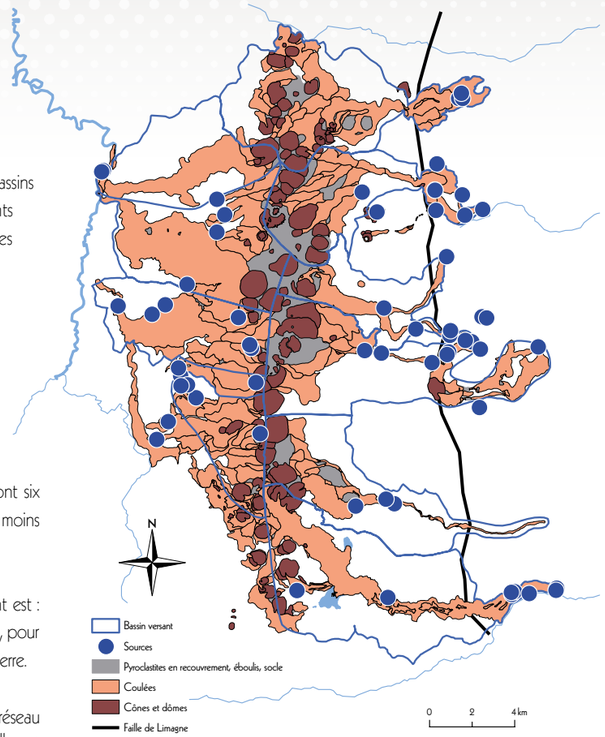
À partir de ce premier niveau d'information, la délimitation des bassins s'apparente à un puzzle et permet de donner une esquisse des limites. Le réseau hydrographique sous-volcanique de la Chaîne des Puys semble ainsi se décomposer en une dizaine de bassins, dont six ont pu être délimités sur le versant est et quatre sur le versant ouest, moins bien connu.

Du nord vers le sud, se succèdent les bassins suivants pour le versant est : Volvic, Argnat, Nohanent-Durtol, Tiretaine, Auzon, Veyre-Aydat et, pour le versant ouest : Louchadière, Cheire de Côme, Mazayes, Chez Pierre.

Il découle de cette importante circulation souterraine suivant le réseau hydrographique pré-volcanique que la plupart des grosses sources jaillissant au front des coulées sont de véritables résurgences dont le débit peut atteindre plusieurs centaines de litres par seconde. Au début du XX^{e} siècle, Philippe Glangeaud avait estimé à 3 300 l/s le débit total moyen des sources émergeant de la Chaîne des Puys. À l'heure actuelle, environ mille litres par seconde sont exploités pour l'alimentation en eau potable. La qualité des eaux est relativement constante à l'échelle de la Chaîne des Puys. Ce sont des eaux faiblement minéralisées (100 à 150 mg/l), avec des conductivités de 150 à 300 µS/cm (microsiemens/cm).

Le faciès de ces eaux est bicarbonaté calco-sodique. Les faibles teneurs en nitrates – ≈ 10 mg/l – sont à l'échelle de l'activité agricole qui ne s'observe que sur les franges granitiques de bordure de bassin et beaucoup moins sur les formations volcaniques, dévolues à la forêt. La température de l'eau très constante (9° ± 1°C) s'explique par l'important pouvoir régulateur du système volcanique sans pour autant vraiment discerner un réchauffement par le gradient géothermique. **La célèbre pureté des eaux de la Chaîne des Puys est due pour une part à la quasi-absence d'activités humaines et à l'importance du couvert forestier dans la partie haute des bassins versants**. Les qualités de filtration et d'épuration présentées par les scories sont incontestables. Elles le sont d'autant plus qu'une grande partie de l'écoulement se fait de manière non saturée. Enfin, la qualité des eaux dépend :

- de l'importance de la couverture pédologique qui ferme la coulée, celles de Côme et de Louchadière présentant à ce titre un contraste remarquable ;
- de la position des captages dans le bassin. En effet, dans les parties terminales des coulées, les ruissellements latéraux sur le socle sont généralement pollués et s'enfouissent dans les paléothalwegs pour rejoindre rapidement la nappe, situation favorisée à ce niveau par l'étirement des coulées ;
- de l'occupation humaine de l'espace, la plupart des extrémités de coulées portant un hameau ou un village.



Les bassins versants de la Chaîne des Puys
(Source : E. Langlois, CERAMAC, Clermont-Ferrand, d'après M. Livet)

Les conditions de captage de cette ressource ont évolué au cours du temps. Les sources d'extrémité de coulée, exploitées pendant des siècles, ont été progressivement abandonnées en raison de leur pollution chronique au profit de galeries ouvertes à l'amont des lieux habités, avec pour objectif d'atteindre la circulation souterraine au cœur du paléothalweg et d'extraire gravitairement l'eau. Le Goulot de Volvic et la galerie d'Argnat, envahis par les eaux au cours des travaux ne furent pas achevés, la ressource captée dépassant les objectifs. Les galeries de Louchadière – Saint-Ours – et du Colombier – Chamalières – sont les seules à avoir atteint le cœur des paléothalwegs, après des parcours respectifs de 1 827 m et 200 m. La galerie de Louchadière est creusée sur la majorité de son parcours au sein de la coulée basaltique avec, à 450 m de l'entrée, une magnifique faille verticale affectant la formation sur toute la hauteur de la muraille nord. Les caprices de la topographie ante-volcanique lui permettent de recouper en plusieurs endroits le socle cristallin, sur plusieurs dizaines de mètres parfois. La galerie est creusée avec une faible pente, ce qui favorise un écoulement gravitaire de l'eau. Le basalte présente une structure homogène, rythmée par des fentes de refroidissement qui délimitent, lorsqu'on s'éloigne des épontes, de superbes orgues. En extrémité de cet ouvrage au cœur de la paléovallée, la galerie se divise, faisant apparaître les deux flancs du relief granitique. C'est au contact granite-basalte, au niveau de la partie scoriacée de la coulée, que jaillit l'eau.

Branche nord du captage de Louchadière
(Source : J.-P. Couturié, EAVUC 2009)

Hydrothermalisme

On sait que le Massif Central est la région la plus riche en France dans le domaine du thermalisme – en englobant dans ce terme l'ensemble des eaux chaudes, gazeuses, et fortement minéralisées. Mais la répartition géographique des bassins thermominéraux y est relativement indépendante de celle du volcanisme. Les eaux dites juvéniles, c'est-à-dire d'origine directement magmatique, sont tout à fait exceptionnelles. En règle générale, les eaux thermominérales sont des eaux de surface infiltrées vers les profondeurs de l'écorce, où elles ont pu s'échauffer et se minéraliser. Deux facteurs essentiels conditionnent donc le phénomène : une fracturation importante permettant des circulations profondes et une remontée rapide par thermo-siphon ; un flux géothermique élevé permettant une augmentation rapide de la température. Aussi, le thermalisme de la région concernée doit être considéré comme une conséquence de la fracturation régionale, au même titre que le volcanisme, et non comme une manifestation tardive du volcanisme lui-même. Tout au plus, la proximité de la Chaîne des Puys peut-elle avoir une faible répercussion sur la composition de certaines sources du bassin de Royat.

Ces deux conditions d'apparition d'eaux thermominérales sont réalisées à l'est du Sillon Houiller : les mouvements tectoniques y ont provoqué une ouverture récente de nombreuses fractures et le gradient géothermique, qui est en moyenne de 3 °C par 100 m dans les vieux socles, atteint 6 à 9 °C par 100 m en Limagne. Les véritables sources thermominérales sont rares aux abords immédiats de la Chaîne des Puys, mise à part celle de Ceyssat. Le seul bassin thermal présent sur le territoire proposé est celui de Royat – Chamalières – Clermont, au pied de la grande faille de Limagne. Malgré la proximité du volcan de Grave Noire, on ne saurait tenir le volcanisme de la Chaîne des Puys pour responsable de l'existence de ce bassin. Le site thermal, dans une région densément fracturée au contact du socle et du bassin sédimentaire, est tout à fait comparable aux sites de Vichy, Châtel-Guyon ou Saint-Nectaire – non directement liés à des édifices éruptifs récents – ou à ceux de nombreux autres bassins thermominéraux du Massif Central fort éloignés de toute manifestation volcanique.

Eaux minérales de Volvic

Les eaux minérales de Volvic, captées par forage sous les coulées volcaniques à l'amont de la ville de Volvic, sont des eaux froides et faiblement minéralisées. Elles répondent aux critères requis pour la dénomination eau minérale naturelle :

- protection naturelle et géologique ;
- stabilité physico-chimique ;
- microbiologiquement saine.

Aujourd'hui, quatre forages profonds exploitent ce gisement autorisé dès 1965. La société des Eaux de Volvic produit actuellement plus d'un milliard de litres par an. La pérennité des critères de qualité du gisement hydrominéral est assurée d'une part, par l'environnement naturel particulièrement préservé du bassin versant de Volvic, et d'autre part, grâce à une politique de protection qui se fonde sur :

- des études hydrogéologiques constantes du gisement ;
- des actions pour la protection et l'amélioration de l'environnement du bassin, faisant intervenir l'ensemble des acteurs locaux, comme cela est développé dans le paragraphe consacré à la gestion contractuelle et aux opérations pilotes pages 357-369, ainsi que page 415.

Grotte des Laveuses, Royat
(Source : M. Sagot)

2.a.3 Analyse paysagère

Avant de pouvoir être qualifié de paysage, un territoire se présente à l'observateur comme un substrat dont la finalité ne relève pas à proprement parler de l'esthétique, même si à bien des égards il en est fortement empreint. Le paysage comme objet est à la fois la résultante d'une biogéographie et du palimpseste de l'histoire, mais aussi des projections et des regards culturels qui se sont succédés et dont il garde la trace comme une empreinte.

Produit des choix et visions de sociétés, un paysage est aussi et surtout une « invention », c'est-à-dire à la fois la découverte d'une chose cachée et une création issue d'un nouveau regard, à la fois révélation et interprétation ayant capacité à devenir un modèle, un référent esthétique. Caractères paysagers et caractères esthétiques ne sont qu'un seul et même sujet : c'est à l'aune des qualités esthétiques qu'il recèle qu'un territoire a capacité ou pas à être qualifié de paysage.

Approche paysagère de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne

Afin d'appréhender les paysages de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne, il convient d'approcher la question de leur esthétique sous trois niveaux distincts, même si, dans la réalité, ces trois aspects sont étroitement imbriqués :

- Le visible : la physionomie et l'image ;
- Le lisible : les structures et la sémantique ;
- Le sensible : les effets, les émotions et le sentiment.

Le visible : premier émerveillement du paysage

Il s'agit ici d'appréhender ce sur quoi porte le premier regard, le premier « émerveillement » du paysage : la physionomie du paysage et les images, au sens propre comme au sens figuré, qui rendent « visible ». Bien que réputé très subjectif, ce stade initial, celui de l'apparence des formes, du modelé, des couleurs, des matières, est extrêmement dépendant des valeurs et référent du moment et de la société qui « voit » tel qu'elle a appris. Il n'en reste pas moins vrai que c'est le premier niveau de la perception et par là, l'une des premières prises du public sur le paysage. Le visible révèle néanmoins des constantes à travers les époques, voire même les cultures.

Les structures naturelles de la Chaîne des Puys, simples et pures, sont particulièrement lisibles, et pour la majeure partie, majestueuses. Leur diversité et la spécificité de leurs caractères géologiques et volcaniques, les rendent aussi marquantes que signifiantes pour les observateurs qui peuvent facilement en distinguer la nature. Le bien proposé met en relation trois grands types de paysages géologiques :

- une grande plaine sédimentaire « bosselée » portant les traces d'érosion et d'inversion de relief d'un volcanisme ancien — voir pages 56 à 59 — ;
- une ligne faîtière au dénivelé accusé qui marque spatialement la césure entre le socle granitique et le bassin — voir pages 50 à 56 — ;
- et un plateau parsemé d'une multitude d'édifices volcaniques aux formes variées — voir pages 64 à 82.

Ses valeurs esthétiques découlent de cette diversité des formes et des reliefs qui se répondent dans un espace aisément saisissable. La Chaîne des Puys forme un ensemble particulièrement resserré et physiquement bien délimité de quelque quatre-vingts édifices. Cette densité exceptionnelle, si elle intéresse le scientifique par les questions posées par sa mise en place et son évolution, est aussi source d'émotion esthétique.

La faille de Limagne, quant à elle, offre une formidable toile de fond à dominante boisée, ligne de rupture nette avec l'agglomération clermontoise et la grande plaine en contrebas. Elle porte la chaîne en pavois, jouant un rôle de piédestal géologique. **La qualité graphique de ce double horizon** — ligne de faille et alignement volcanique — est en soi remarquable, avec ses rondeurs épurées soulignées d'un trait et son rythme crescendo et decrescendo où alternent avec élégance courbes et contrecourbes.

L'esthétique visuelle de la Chaîne des Puys et de l'épaulement de rift découle enfin de la **hiérarchie et de l'alternation des reliefs** : cols, cratères, versants et sommets, dont les plus grands se concentrent au milieu de l'alignement comme par la volonté de renforcer l'**équilibre des proportions**, donnant au site son caractère si harmonieux et gracile.

Ligne de crête de la Chaîne des Puys vue depuis la plaine de Limagne
(Source : J. Damase)

Le lisible : le palimpseste des signes du paysage

Il s'agit ici de saisir les qualités qui, au-delà du plaisir optique, suscitent le sentiment de paysage et permettent son décryptage avec l'appui d'un certain savoir. Les traces de l'homme et de l'histoire, les marques de la nature, se livrent à la lecture comme autant de strates accumulées et de signes reconnus et interprétés, sur lesquels se fonde et se structure le substrat paysager d'un territoire. Les structures paysagères – structures spatiales, structures d'articulations et motifs signifiants – se nourrissent de l'apport de la culture et des sciences et dépassent le simple formalisme de l'image. La logique sémantique est ici le lien qui ordonne et compose, avec l'aide du savoir, les signes plus ou moins visibles, plus ou moins lisibles que nous offre le palimpseste du territoire.

Fontanas, serré au creux des premières combes du vallon de la Tiretaine
(Source : T. Bedu, Atelier Régional de Paysage et d'Architecture de l'Environnement)

La Chaîne des Puys et la faille de Limagne offrent une morpho-géographie déjà très riche en qualités sémantiques, du fait de leur nature géologique elle-même que l'homme a su enrichir de son propre apport, non seulement sans en altérer la lisibilité, mais encore en augmentant les qualités sans rupture de continuités de sens. Les villages, les hameaux, les fermes isolées, le parcellaire, démontrent souvent une « intelligence » des lieux sur lesquels ils se sont installés. **C'est dans cette intelligence des lieux révélée par certaines actions de l'homme que réside une grande part de l'esthétique de ces territoires et par là, leur valeur de paysages.**

Le sensible : l'émotion profonde

Ce troisième niveau est le plus énigmatique, probablement le plus méconnu et pourtant, au fond, le plus recherché du public. C'est le niveau pionnier du paysage, celui des effets paysagers et de l'émotion originelle. Niveau primitif où le corps du spectateur est pris à partie à la racine même de la perception, cet effet du paysage touche aux profondeurs de l'anthropos, ce qui en fait sans doute par là le plus universel. Confronté à des configurations spatiales identiques, les individus éprouvent, peu ou prou, les mêmes sensations physiques. Les éléments en relations et les phénomènes, qu'ils soient de lumière, d'échelle, ou de couleurs, contribuent à provoquer l'émotion. Avant même d'accéder à l'état de conscience du sentiment, la sensation pure a déjà éveillé le corps et l'esprit.

Par leur compacité, la netteté de leurs formes et leur caractère explicitement géologique, la Chaîne des Puys et la faille de Limagne se mettent en scène avec une magnifique théâtralité, et ce, à toutes les échelles. En effet, qu'on les observe depuis la plaine et l'on ressentira leur monumentalité et la force des phénomènes de rifting et de magmatisme qui ont été à l'œuvre. Que l'on chemine directement au cœur des édifices volcaniques et l'on abordera ce phénomène à taille humaine, provoquant une sensation quasi empathique d'apaisement auprès de ces formes si évocatrices et étonnamment moelleuses et hospitalières. L'émotion est notamment liée au paradoxe de cette tranquillité issue de la violence créatrice originelle.

Ce paysage a ainsi une valeur exceptionnelle pour ce qu'il est mais également pour ce qu'il signifie.

Certains phénomènes météorologiques donnent parfois l'impression que la chaîne se réveille et se remet à fumer
(Source : H. Monestier)

Qualités paysagères de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne

La description des qualités paysagères de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne sera traitée à deux échelles géographiques :

- l'échelle de la région Auvergne et des ensembles de paysages qui portent et jouxtent le bien ;
- l'échelle resserrée des unités de paysages.

Les limites du bien et de sa zone tampon ainsi que les ensembles et unités de paysages sont reportés sur la carte des paysages de l'Auvergne réalisée par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Auvergne en 2009.

Ensembles et unités de paysages selon la définition de la DREAL Auvergne, 2009

« Les ensembles de paysages s'étendent sur des territoires d'une ou plusieurs dizaines de kilomètres et sont perçus à cette échelle. Ils qualifient d'un nom propre des paysages. Leurs limites sont déterminées par le sentiment d'appartenance à un « pays » qui possède souvent une longue histoire. Dans la carte des paysages d'Auvergne, les ensembles sont présentés par grands types de reliefs.

Les unités paysagères précisent les ensembles de paysages. Elles rendent compte, à la fois de structures géographiques, de grands caractères de paysages et d'ambiances perçues. Ces unités se définissent par un nom propre associant un qualificatif d'ordre géographique suivi d'un toponyme qui les identifie. Elles constituent des unités de référence pour le paysage qui doivent servir dans le cadre de projets territoriaux. »

Le bien au cœur de grands ensembles de paysages auvergnats

À l'échelle de la région Auvergne, la Chaîne des Puys et la faille de Limagne sont entourées par de grands ensembles de paysages dont la typologie est particulièrement homogène tout en ayant une grande richesse de détails, tant dans leur aspect que dans leurs structures de composition.

Dans la continuité du plateau de Millevaches à l'ouest, le grand plateau des Combrailles s'étire vers l'est, se nappe de subtiles variations paysagères, comme jouées sur la partition d'une première « base musicale » continue. Ce grand plateau se glisse jusque sous la Chaîne des Puys, la déborde par le nord et s'arrête net sur la grande faille de Limagne.

Perçue depuis le plateau des Dômes la ligne de rupture de la faille de Limagne
(Source : T. Bedu, Atelier Régional de Paysage et d'Architecture de l'Environnement)

Aux murmures paysagers du vaste plateau, après un bref silence imposé par la faille, s'oppose brusquement l'immensité lumineuse de la plaine agricole adjacente. L'effet est saisissant, tant par l'échelle des espaces qui se confrontent ici que dans la différence des lumières dont ils se parent. Les plateaux des Combrailles, texturés par les bois et les herbages qui dominent, contrastent nettement avec la plaine de Limagne où luisent le noir des terres de labours, le vert vif et le doré des grandes cultures, ou encore le gris clair de la ville rehaussé ici et là par le bleu-noir de la pierre de la cathédrale de Clermont et le brun rouge des toitures anciennes. La différence marquée d'altitude et la ligne qui la révèle, perçues depuis l'ouest, jouent comme une falaise sur un rivage marin. Perçue depuis l'est, la faille dessine un cerne boisé et foncé qui, par contraste, accentue la luminosité de la plaine dans laquelle se fondent et s'estompent les horizons.

Au sud de la Chaîne des Puys, les monts Dore déploient leurs paysages en éventail sur les pentes de ce stratovolcan du Tertiaire et offrent de nombreux balcons panoramiques vers le nord. Ici, le contraste est d'une tout autre nature : à l'homogénéité paysagère compacte et imposante du massif des monts Dore s'oppose l'unité plurielle et linéaire de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne.

Les unités de paysages qui composent le bien et sa zone tampon

Le bien et sa zone tampon correspondent à l'ensemble de paysages nommé « Chaîne des Puys » dans l'Atlas régional des paysages de l'Auvergne en cours d'étude et conduit par la DREAL Auvergne. Au sein de cet ensemble, l'analyse paysagère conduite par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA) a distingué différents sous-ensembles nommés « unités de paysages », identifiés et décrits à l'échelle locale, puis cartographiés en termes de structures paysagères. Ces dernières sont divisées entre structures spatiales et motifs signifiants ou identifiants.

Ces unités de paysages sont les suivantes :

- Chaîne des Puys – pages 119 à 125 – ;
- Socle ouest du plateau des Dômes et plateau d'Aurières – pages 125 à 128 – ;
- Socle nord-est du plateau des Dômes – pages 128-129 – ;
- Socle sud-est du plateau des Dômes – pages 130-131 – ;
- Coteaux de la faille de Limagne et de la Montagne de la Serre – pages 131 à 133.

➤ L'unité de paysages de la Chaîne des Puys

Le visible

L'essaim des volcans de la Chaîne des Puys est disposé à trois kilomètres à l'ouest de l'axe sommital du horst, et à sept kilomètres à l'ouest de la faille-limite de la Limagne. Ses coulées ont été influencées par la topographie pré-volcanique. Sur le versant occidental, elles sont épanchées en larges nappes telles que la cheire de Côme, et couvrent largement le substratum. Du côté oriental, elles se sont d'abord étalées entre les cônes et la zone sommitale du plateau ; elles ont ensuite été canalisées par les vallées étroites jusque dans la Limagne, où une topographie plus ouverte leur a permis de reprendre un peu d'ampleur : sur ce versant, le recouvrement de la topographie pré-volcanique s'est borné à des rubans de lave plus ou moins larges recoupant perpendiculairement l'escarpement.

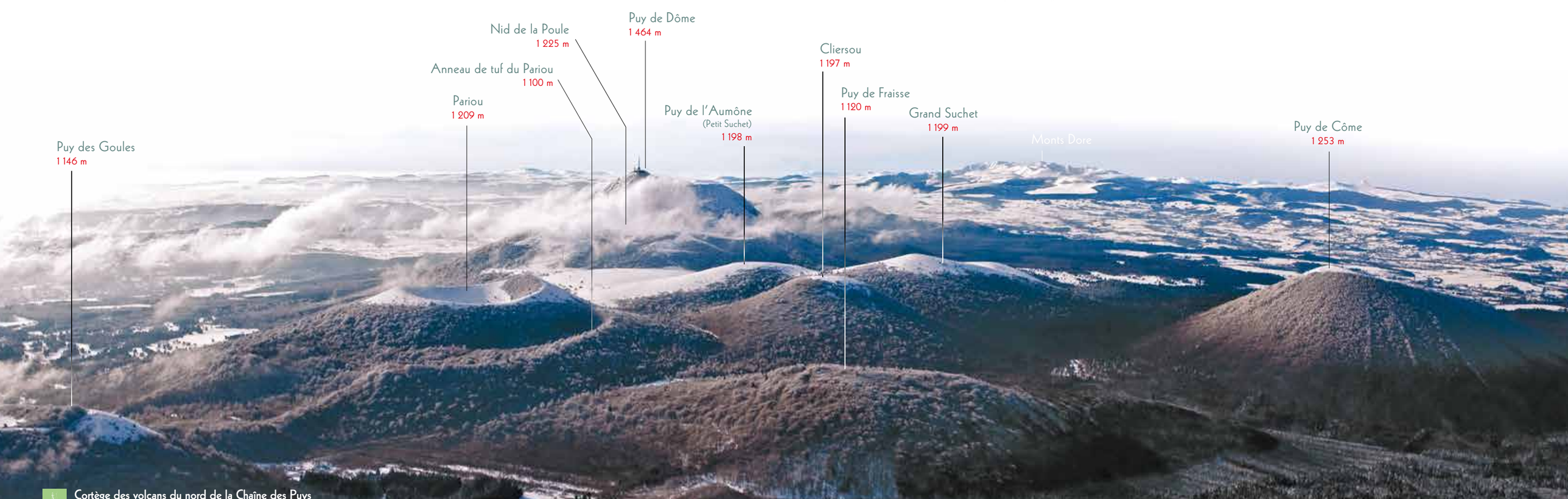
Le fait que chaque appareil de cette province volcanique résulte d'une éruption fissurale brève et unique, mais de laves de composition diverses, a donné une succession d'édifices aux formes pures et archétypales de toutes les figures élémentaires de volcans. Le paysage tire ainsi son caractère lunaire de l'alternance très distincte de :

- cumulo-dômes – Sarcoui, Cliersou, puy de l'Aumône, puy de Dôme – ;
- protrusions – Chopine, Vasset, Kilian – ;
- cônes de scories – Pariou, Jumes, Coquille…– ;
- anneaux de tuf – base ouest du Sarcoui, base de la Louve et du Pariou…– ;
- maars – Beaunit, Saint-Hippolyte…– ;
- lacs de barrage – étang de Fung, Aydat, La Cassière…

Il rassemble également une gamme exceptionnelle de tous les phénomènes volcaniques associés :

- des déclinaisons spécifiques des édifices « élémentaires » : cônes complètement fermés d'une rondeur quasi-académique – puy des Goules, Pariou –, cratères emboîtés – puy de Côme –, cratères égueulés – Louchadière –, cratères jumeaux au faciès brisé – la Vache et Lassolas –, cratères effondrés – Grave Noire –, demi-ellipses – anneau du Pariou, puy des Gouttes – ; couples maar – cône – Narse d'Ampoix, puy de l'Enfer et Narse d'Espinasse…
- … à des vues sur leurs structures internes : conduits et dykes extrusifs – Lemptégy –, restes d'épisodes volcaniques antérieurs mis en relief par l'érosion différentielle – Montrognon, puy Giroux, Montaudoux –…
- … associées à des caractéristiques volcaniques telles que : volcanisme fissural très bien observable sur l'alignement des cônes accolés du puy de Barme, coulées confinées par des vallées – Nugère –, intumescences de type tumuli – coulée du puy de la Combegrasse –, cheminée volcanique mise à nu – Lemptégy –…
- … ainsi que des produits et dépôts variés de retombées : pyroclastites – produits largement disséminés de la Nugère –, coulées scoriacées (Aa) – coulée du puy Chalard –, coulées inversées – coulée de la Vache et Lassolas –, coulées prismées – Royat –, coulées de boue – puy des Gouttes, Chopine –, laves à blocs – cheire de Côme –, avalanche de débris – puy de Grave Noire –…

Alors que les unités de paysages recouvrent habituellement une continuité spatiale homogène, celle de la Chaîne des Puys tire son originalité d'un cortège de monts singuliers, distribués comme autant d'acteurs sur une scène. Bien que boisés, les reliefs non-superposés de cet ensemble se distinguent très fortement. Séparés par des cols bien marqués, ils ponctuent des lignes, composent des groupes et des figures se détachant nettement sur l'unité du plateau. Les édifices accessibles aux promeneurs sont nombreux dans la Chaîne des Puys et leurs sommets constituent autant de belvédères qui permettent de visualiser tant les formes individualisées que les groupes alignés.

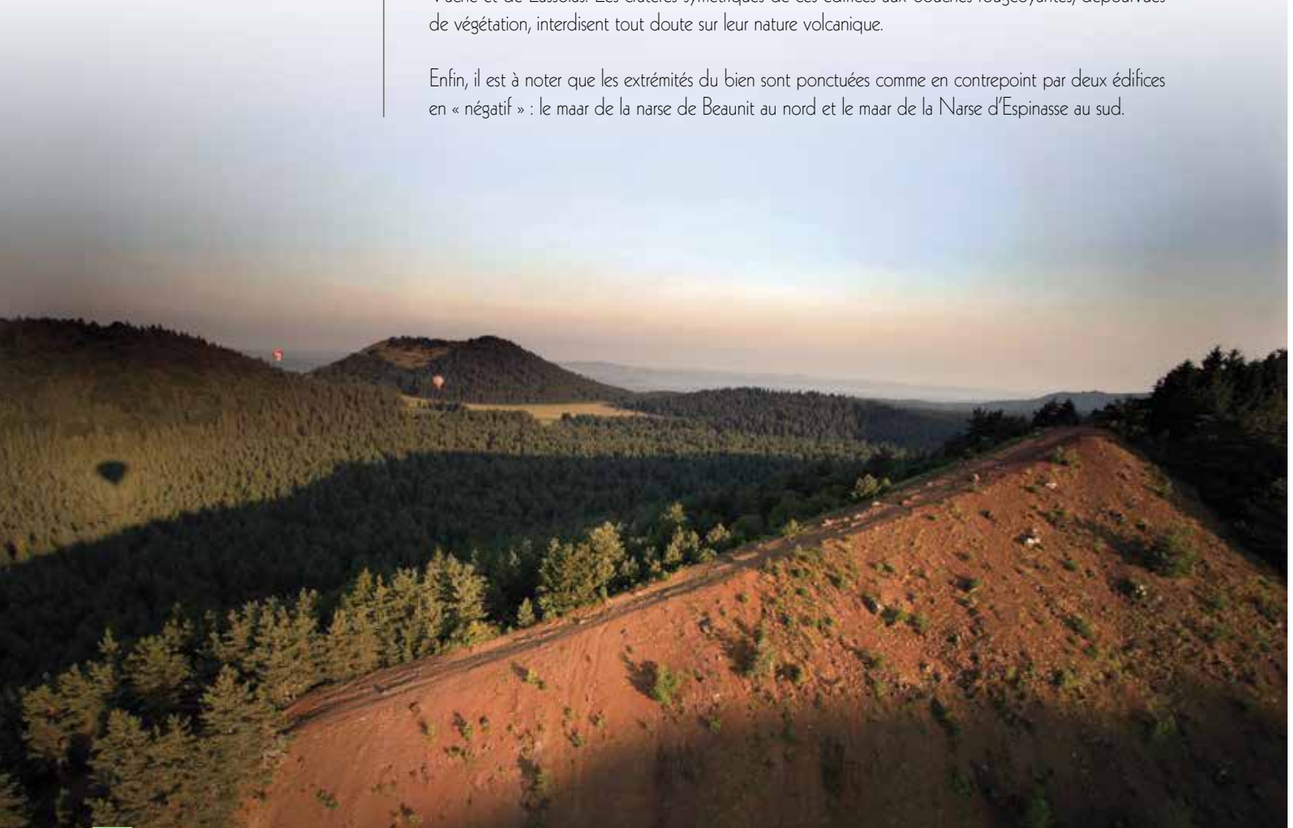


Cortège des volcans du nord de la Chaîne des Puys
(Source : P. Soissons)

Quels que soient les points de vues, depuis les hauteurs aussi bien qu'à leur pied, la majorité des puys présente des lignes très pures et dessinées, qui les rendent immédiatement familiers à l'œil et aux sens. Chacun des édifices est doté d'un nom que le public se plaît à reconnaître. Autour de la figure centrale du puy de Dôme, se déploie vers le nord le cortège des plus grands. Le Grand Suchet, le puy de Côme, le Cliersou et le puy Pariou, forment un premier ensemble de silhouettes avec lequel le puy de Dôme compose son profil emblématique. S'alignent ensuite le puy des Goules, le grand et le Petit Sarcoui, puis un autre groupe s'égraine en ligne, décalé en baïonnette vers l'ouest, commandé par le puy des Gouttes et le puy Chopine étroitement emboîtés. Se succèdent ensuite, toujours en ligne et vers le nord-nord-est, le puy de la Coquille, le puy de Jumes, jusqu'au puy de la Nugère. Enfin, en toute extrémité de la chaîne, les édifices poursuivent leur alignement d'une manière un peu plus dispersée et se détachent comme des îles sur le socle du plateau des Combrailles.

Au sud, le pied du puy de Dôme est remarquablement mis en scène par la dépression de Laschamp qui, se creusant légèrement, donne à lire d'un trait généreux toute la puissance du plus grand des dômes. Sur toute la bordure ouest de la dépression de Laschamp, comme soumis au puy de Dôme, s'alignent les édifices de La Moréno : le puy des Grosmanaux, le puy de Salomon, le puy Montchié, le puy de Laschamp et le puy Pelat. Le puy de Mercœur se détache à son tour et ferme le cortège au sud , tout en passant le relais à un ultime groupe dont les édifices sont dispersés autour des puys égueulés de la Vache et de Lassolas. Les cratères symétriques de ces édifices aux bouches rougeoyantes, dépourvues de végétation, interdisent tout doute sur leur nature volcanique.

Enfin, il est à noter que les extrémités du bien sont ponctuées comme en contrepoint par deux édifices en « négatif » : le maar de la narse de Beaunit au nord et le maar de la Narse d'Espinasse au sud.



Bouche rougeoyante du puy de Lassolas
(Source : D. Pourcher)

Le moutonnement des formes volcaniques est un spectacle toujours renouvelé selon les points de vue d'où on l'observe. Il n'existe pas de panorama où un volcan solitaire se laisserait découvrir. Il suffit de se déplacer légèrement pour que de nouveaux reliefs apparaissent ou disparaissent. L'observateur a beau compter et recompter, jamais il ne parvient à retrouver les quatre-vingts édifices répertoriés par les scientifiques.

Le maar de la Narse d'Espinasse, édifice en négatif qui ponctue l'extrémité sud du bien proposé
(Source : A. Boëmare, Atelier Régional de Paysage et d'Architecture de l'Environnement)

Le lisible

Pour le grand public, les formes en cônes et en cratères sont les traits caractéristiques les mieux lisibles des volcans. Depuis les sommets, ces formes sont parfaitement identifiables, même si tous les édifices ne sont pas dotés de cratères. Si elles passent souvent au second plan, les actions de l'homme sur ces reliefs tendent à rendre intelligible leur nature. Ainsi quelques rares carrières exposent le « cœur » d'un volcan et plongent le visiteur dans un environnement minéral insoupçonné, riche de couleurs, de textures, de formes et de strates.

Carrière de Lemptégy qui donne à voir le cœur d'un volcan, dans ses strates et ses couleurs
(Source : P. Soissons)

Par ailleurs, sur certaines de leurs pentes, les puys présentent d'étranges costumes de végétation, rayés verticalement, accentuant la géométrie des édifices. Les boisements révèlent ici un parcellaire traditionnel et complexe, en multiples et étroites lanières comme autant de propriétaires. Ailleurs, c'est la végétation sauvage qui souligne l'unité graphique d'un cône ou le cercle presque parfait d'un maar. Le couvert végétal rend notamment lisible le changement de nature entre la prairie domestiquée et la tourbière qui, malgré ses richesses biologiques, conserve pour certains l'image d'un lieu de profondeurs, vaguement inquiétant. Si l'on excepte les grottes antiques et médiévales qui attestent de l'exploitation ancienne des matériaux volcaniques du Cliersou, du Sarcoui ou du Killian ; seul le puy de Dôme a vu l'intervention historique de l'homme souligner le monumental de sa nature. Tirant parti de ses qualités scéniques, de sa puissance évocatrice et de sa position de phare au milieu de la chaîne, le plus grand sanctuaire de montagne de la Gaule romaine a été positionné à son sommet au IIe siècle de notre ère. Il est amusant d'observer qu'il y a involontairement relayé l'aiguille de lave, qui a un temps terminé son dôme, avant d'être détruite par l'éruption du Killian il y a plus de 9 000 ans, et aujourd'hui presque refigurée par l'antenne de télédiffusion de 73 mètres qui pointe son sommet depuis les années 1950.

Le puy de Dôme fait face à Clermont-Ferrand et occupe une place singulière dans le paysage tant il est devenu un repère naturel et culturel. Il est la hauteur emblématique que l'on découvre au coin de chaque rue de la cité. Depuis l'Antiquité et la métropole Gallo-romaine d'Augustonemetum dont elle a repris l'emplacement, Clermont-Ferrand est en effet orientée à l'ouest, en vis-à-vis parfait avec la ligne d'horizon si graphique des puys, là où les plans des grandes agglomérations ont traditionnellement privilégié les cours d'eau et le sud.

Sommet iconique de la Chaîne des Puys, le puy de Dôme est le phare des Clermontois. L'antenne de télédiffusion qui le surmonte depuis 1956 permet de le distinguer, élançant son sommet et stucturant le paysage
(Source : J. Damase)

Le sensible

Ces reliefs proposent une divagation de l'esprit entre plusieurs formes géométriques, dont aucune n'est déchirée ou menaçante. Ici tout n'est que rondeur et épure : cônes tronqués, doubles cercles, ovales. La sensation de tranquillité, de nature apaisée est largement dominante, presqu'un paradoxe lorsque l'on songe au déchaînement de laves qui ont créé ce paysage.

Par-delà les sensations de plaisir et de bien-être que peuvent procurer au promeneur et au sportif, le grand air, les beautés de la nature, les remarquables panoramas ou la rondeur des édifices volcaniques, les puys suscitent l'émotion de l'inconscient. Bien avant de « savoir » ou même de « voir » les volcans, sans pour autant pouvoir les nommer comme tels, l'homme a senti, reconnu et attribué un esprit particulier à ces lieux.

Ce ne sont pas de simples collines que l'on gravit, ce ne sont pas de simples creusements dans lesquels plongent les regards, mais des lieux qui parlent à l'homme et à son imaginaire. Le contraste, quasi sans transition entre l'horizontale du plateau et les obliques variés des puys, leurs formes charnelles, la proximité tangible avec les mécanismes et les convulsions de la Terre : tout contribue ici, par-delà les siècles et les cultures, à donner prise à une émotion première et universelle.

Vue sur le groupe le plus emblématique de la chaîne, depuis le puy de Manson
(Source : A. Boëmare, Atelier Régional de Paysage et d'Architecture de l'Environnement)

➤ *L'unité de paysages du socle ouest du plateau des Dômes et du plateau d'Aurières*

Le visible

Le socle ouest s'étend entre la Chaîne des Puys et les plateaux de Haute Combraille. Avant d'entailler le plateau en gorges serrées plus à l'aval, la Sioule y imprime, entre la Miouze et Pontgibaud, la marque de sa large vallée à fond plat, dont les rebords francs tracent naturellement la bordure occidentale du plateau des Dômes. C'est à l'ampleur de l'espace géographique et au recul exceptionnel qu'il permet face à la Chaîne des Puys que l'on doit cette première harmonie de paysages. Les volcans sont mis en scène comme un monument sur son parvis et les routes qui y conduisent donnent en spectacle cette majesté où prairies et bois se déroulent comme un tapis.

Cette partie se caractérise ensuite par une grande simplicité des structures, dont la géographie clairement marquée offre de beaux paysages champêtres alternant plateau, vallée, coulées et bourgs. La vallée de la Sioule amplifie son attitude dominante, qui s'exprime au travers de belles situations de balcons sur les puys comme sur les fronts nets et boisés des cheires, dénomination locale de coulées volcaniques à la morphologie très accidentée. Ces dernières ont investi la partie centrale de cet espace et sont révélées

par le contraste entre forêts et prairies. Les villages se disposent eux dans l'espace agricole, le plus souvent en lisière de vastes clairières ouvertes vers la Sioule. L'articulation plateau-vallée, rebords de vallons, bassins, et ruptures de pentes fut en effet propice à l'installation de hameaux qui ont joliment composé avec les structures en place.

Au sud-ouest, le plateau d'Aurières est un formidable espace de faire-valoir de la Chaîne des Puys. Véritable soudure avec le socle des Dômes dans la continuité des pentes du Massif du Sancy, il donne un élan particulier à leur mise en scène. Le village compact d'Aurières ne fait pas même diversion : horizontal et tassé, il se fond dans l'espace du plateau qui s'écoule jusqu'aux pieds des puys. Espace voué quasi exclusivement à la prairie, le plateau d'Aurières s'expose en pleine lumière, en contraste avec les silhouettes boisées des Puys.

Tels des miniatures volcaniques, les édifices du sud de la chaîne se présentent de manière particulièrement pittoresque sur le plateau agricole d'Aurières
(Source : D. Pourcher)

Le lisible

Une fois expliquée la genèse des formes observables sur cette unité, en relation étroite avec les puys, les structures paysagères deviennent parfaitement lisibles et les espaces prennent tout leur sens. Depuis la vallée large et plate à l'amont de Pontgibaud issue d'un barrage de laves sur la Sioule, aux cheires redessinées par leurs boisements sans toutefois masquer la nature chaotique des épanchements des puys, la partie occidentale du socle est particulièrement didactique quant aux effets du volcanisme sur les paysages environnants.

La coulée du puy de Louchadière se déchiffre d'une manière plus subtile, du fait de la mise en exergue du relief des ruisseaux qui l'enserrent ; et d'autre part, grâce à la densité végétale particulière de son bocage qui tranche au sein d'un maillage parcellaire uniforme.

Le sud-ouest champêtre du plateau des Dômes constitue un espace de calme propice à la contemplation des volcans
(Source : T. Bedu, Atelier Régional de Paysage et d'Architecture de l'Environnement)

Les villages ont, pour la plupart, conservé sur leur immédiate périphérie un maillage parcellaire ancien, souligné de murets de pierres sèches et un bocage dense qui les relie aux espaces cultivés ou boisés plus vastes et uniformes. Aurières se démarque nettement par l'absence de haies bocagères dont les photos aériennes de 1946 montraient déjà la rareté. Le rebord ouest du plateau d'Aurières, marqué par la ligne ferme du vallon de la Gorce, tend la surface du plateau comme une peau de tambour et donne à lire l'unité de ses prairies d'un seul trait.

Le sensible

Outre le formidable présentoir pour les silhouettes des puys, le socle ouest offre une ambiance bucolique qui confère aux paysages une dimension esthétique pittoresque et constitue un grand attrait pour les promeneurs. Les édifices sont toujours très présents à l'horizon, mais c'est une autre dimension du bien qui est perçue ici.

Le belvédère de Saint-Pierre-le-Chastel, comme une île sur la vallée de la Sioule, offre un spectacle d'une remarquable sérénité. Les strates horizontales du paysage se déclinent sur un rythme calme et s'étagent

longuement entre profondeurs et hauteurs, jusqu'à la ligne des puys. Sous ces horizontales, une multitude de lieux offrent des ambiances très intimistes à la faveur d'un modelé de relief en subtiles alcôves, relayé par le bocage et la prairie. Sous les boisements, les laves au chaos figé font encore sentir la puissance du phénomène volcanique et éveillent l'imaginaire.

Le plateau d'Aurières, par la nudité de ses lignes pures et tendues joue en contrepoint avec la grande diversité des ambiances intimistes des cheires. Il dépose aux pieds des édifices volcaniques un espace de calme propice à la contemplation de la Chaîne des Puys.

➤ *L'unité de paysages du socle nord-est du plateau des Dômes*

Le visible

Cette partie du plateau des Dômes se distingue par une situation en double-face avec d'une part un socle plan et étroit sur lequel s'érigent les édifices volcaniques et d'autre part, un épaulement de rift puissant dominant la plaine de la Limagne. Ce dialogue entre magmatisme et tectonique fonde la spécificité de cette unité paysagère, entre parvis sur les volcans, balcon sur la faille et point de basculement boisé sur la plaine.

À l'est, perpendiculaires à la faille, de nombreuses structures de vallons découpent profondément le rebord du plateau et créent de très belles figures d'éperons ainsi que des situations très aériennes de belvédères. Les bourgs de Chanat-la-Mouteyre et Ternant s'appuient sur le revers de la plus haute marche, à mi-chemin entre la chaîne et la faille, tandis que plusieurs hameaux occupent, comme en position de vigie, de petites terrasses plus basses. L'épaulement de rift est ici magnifiquement visible dans le paysage, principalement perçu comme une ligne frontière avec l'agglomération en contrebas et un tremplin sur les horizons céréaliers de l'est.

Côté puys, le plateau est très peu habité. Le pied de la chaîne, suivant la délimitation est du site classé, s'habille essentiellement de bois et de quelques clairières en prairies, principalement le long des routes. Vers le nord, où l'espace s'élargit le plus, cette disposition permet de voir parfaitement l'ancrage des puys sur l'horizontale du plateau.

Au nord, la coulée du puy de la Nugère, qui descend sur Volvic, est très boisée. Elle marque un changement de paysage : les édifices volcaniques s'écartent du rebord de faille et le plateau trouve une nouvelle unité autour de Paugnat.

Sur le socle nord-est, entre Ternant et Chanat-la-Mouteyre, on perçoit parfaitement l'ancrage des puys sur l'horizontale du plateau
(Source : T. Bedu, Atelier Régional de Paysage et d'Architecture de l'Environnement)

Le lisible

La faille de Limagne est ici très lisible dans le paysage. La structure étagée du plateau permet des points de vue vers l'est qui passent par-dessus les premiers plans boisés. La faille se donne à lire principalement à travers le décroché du relief qui élude toute profondeur de champ et plaque brusquement les plans proches et moyens sur les horizons très lointains et le ciel. Le rebord du plateau lui-même est souvent accessible et l'épaulement de rift peut aussi se lire depuis l'un ou l'autre des reliefs en éperons qui s'avancent au-dessus de la plaine.

Hors les puys et la faille, les structures paysagères secondaires les plus signifiantes restent très perceptibles à la faveur d'une morpho-géographie vigoureuse. Les routes, en particulier la départementale RD 90, longent les rebords, suivent les inflexions du relief et soulignent les principaux traits du paysage à la faveur de situations en belvédère et de l'espace ouvert de certaines clairières agricoles.

Le parcellaire témoigne notamment de la relation historique des hommes aux lieux. Les structures, que révèlent le bocage et les murets de pierres sèches, ont en effet échappé aux excès du remembrement et ont conservé, principalement sur l'épaisseur du rebord de faille et les pentes des terrasses où se trouvent les villages, les formes qui étaient les leurs à la fin de la Seconde Guerre mondiale, comme en témoignent les photos aériennes de l'Institut Géographique National (IGN) de 1946. Les villages ont ainsi conservé la lisibilité des logiques qui ont présidé à leur établissement, comme certaines richesses patrimoniales. Les extensions urbaines, contraintes par les pentes, ont su se prévenir de graves contresens paysagers.

Le sensible

Sans même en connaître la nature tectonique, le décrochement de la faille donne ampleur, hauteur et respiration au paysage et met l'observateur face à une certaine immensité, cette sensation de rivage étant renforcée par l'horizon bleuté et bosselé de la plaine de Limagne et des monts du Forez.

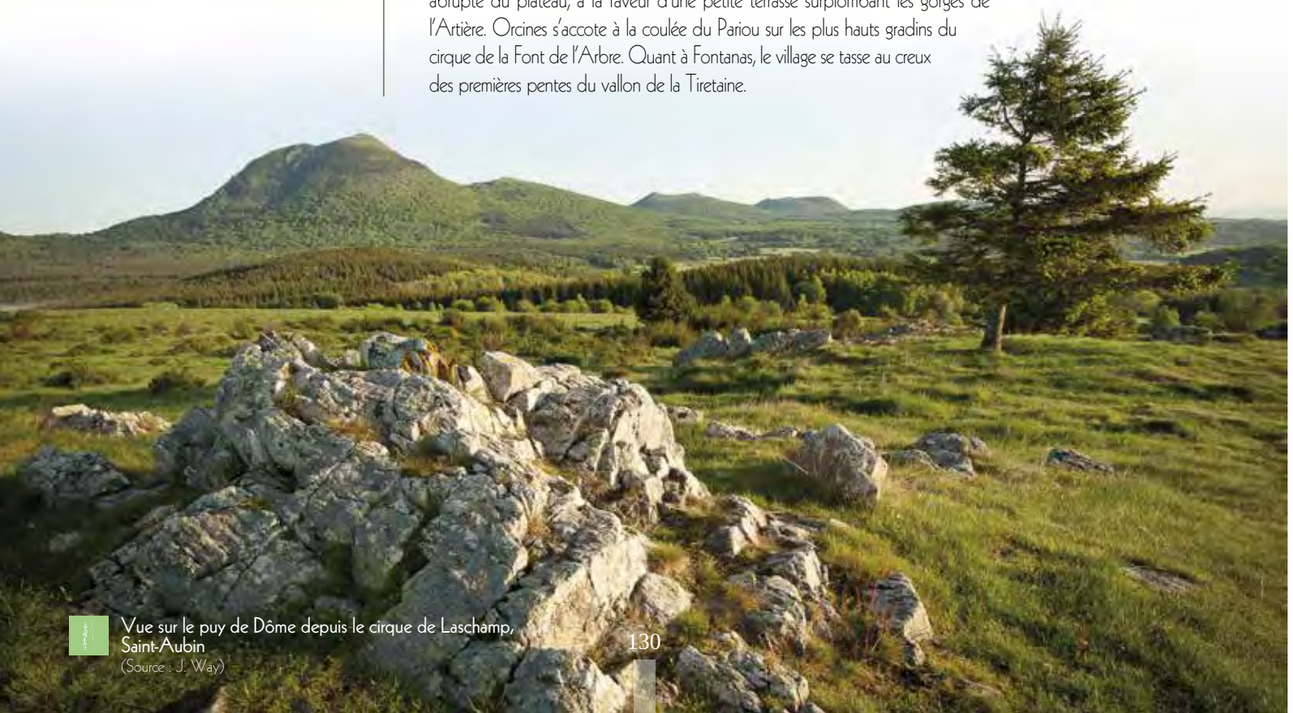
Depuis le basculement de la faille, l'horizon bleuté et bosselé de la plaine de Limagne
(Source : J.-P. Voilhes)

➤ *L'unité de paysages du socle sud-est du plateau des Dômes*

Le visible

Au sud-est, à partir de la coulée du Pariou, le plateau des Dômes s'élargit nettement plus. La distance entre la Chaîne des Puys et la faille de Limagne permet alors différentes positions d'observation du paysage vers l'une ou l'autre de ces structures géologiques. Cette unité de paysages présente notamment quatre amples cuvettes en formes de cirques bien marqués où prennent sources les trois principales rivières qui entaillent la bordure du plateau, la Tiretaine, l'Artière et l'Auzon. Délimité par la coulée du Pariou au nord et par le petit puy pliocène de Manson au sud, le cirque de la Font de l'Arbre place le puy de Dôme dans l'une des plus belles perspectives de la capitale régionale.

Au pied des puys de La Moréno, Montchié et Laschamp, séparés par une ligne de crête ténue, deux cirques se dessinent : celui de Laschamp au nord et celui de Beaune-le-Chaud au sud. Le cirque de Laschamp s'appuie à l'est sur les pentes du puy de Manson, s'oriente en amphithéâtre vers le nord-ouest et communique avec le cirque de la Font de l'Arbre. Il met remarquablement en scène la Chaîne des Puys et le puy de Dôme en particulier. Le cirque de Beaune-le-Chaud est aux sources de l'Auzon et s'étire vers le sud-est en une longue et large combe jusqu'à Fontfreyde et Theix, sur le rebord du plateau où la rivière s'engage dans des gorges profondément entaillées. En position presque centrale, le puy de Manson et le puy de Berzet commandent le mouvement de bascule d'une marche du plateau, d'ouest en est. Cette marche est inscrite dans une forme en cirque, à la fois découpée dans le plateau par les vallons encaissés des deux Artière et articulée autour du puy de Berzet qui s'individualise fortement. Le rebord du plateau, qui porte la Chaîne des Puys tel un piédestal, est ici très échancré par les nombreux vallons ramifiés qui sectionnent et compartimentent le socle. L'amplitude et les particularités du modelé de la géographie du socle sud-est induisent une typologie de bourgs très variée, chaque village dialoguant étroitement avec son site. Adossé à son puy, Laschamp trône comme sur une scène, face à son amphithéâtre ; Beaune-le-Chaud s'adosse très discrètement dans la courbe de son cirque exposé au sud ; Manson s'enroule au pied de son puy ; tandis que Berzet s'éloigne du sien pour se positionner sur l'extrémité abrupte du plateau, à la faveur d'une petite terrasse surplombant les gorges de l'Artière. Orcines s'accote à la coulée du Pariou sur les plus hauts gradins du cirque de la Font de l'Arbre. Quant à Fontanas, le village se tasse au creux des premières pentes du vallon de la Tiretaine.



Vue sur le puy de Dôme depuis le cirque de Laschamp, Saint-Aubin
(Source : J. Way)

Le lisible

Les structures paysagères du socle sud-est sont très riches de motifs de détails. Les pâturages, très présents dans ce secteur, révèlent les pentes et les continuités des reliefs en cirques, en particulier sur l'amphithéâtre de Laschamp et sur la combe de Beaune-le-Chaud et Fontfreyde. Ailleurs, les bois habillent les pentes abruptes des vallons encaissés et cernent la bordure du plateau. Ils donnent à lire, par contraste, la surface perchée du plateau, les éperons qui s'avancent et s'alignent sur la faille de Limagne.

Les haies du bocage, lorsqu'elles sont entretenues par l'agriculture et ne s'épaississent pas trop, ne masquent pas les modelés du relief. Au contraire, elles les scandent et tissent des liens subtils entre les bois de pentes, les ripisylves de fonds de vallons et la trame parcellaire. Elles dénotent souvent la compréhension intelligente des lieux qui a présidé aux usages humains, sans rupture de continuité avec la nature. Le bocage de Beaune-le-Chaud est particulièrement exemplaire à ce titre.

**À Beaune-le-Chaud,
les haies rythment le paysage,
conduisant le regard et renforçant la présence des puys**
(Source : A. Boëmare, Atelier Régional de Paysage et d'Architecture de l'Environnement)

Le sensible

Au très fort potentiel sensible lié à la théâtralité que la Chaîne des Puys et la faille de Limagne acquièrent dans leur relation au socle sud-est, s'ajoute le caractère propre à ces espaces en cirques, combes ou amphithéâtres, à une échelle médiane entre le monumental et l'intimiste.

➤ *L'unité de paysages de la faille de Limagne et de la Montagne de la Serre*

Le visible

De Riom au nord à Ceyrat au sud, la grande faille de Limagne se présente comme un double rivage. Depuis les monts du Forez ou le Livradois à l'est, l'observateur aperçoit le long escarpement boisé qui s'élève comme une ligne sombre de remparts et porte au pinacle la ligne de crêtes des puys qui se découpe nettement sur l'horizon. En se rapprochant, la sensation du rivage persiste. Même si les premiers plans de la « grève » sont brouillés par l'urbanisation, les plans moyens se précisent, révélant la beauté fractale de ce paysage. Le piémont se distingue tel un premier rivage, offrant une frange diversifiée de terrasses, de vallons et de petits plateaux comme autant de baies, d'îles et de presqu'îles. Il met en abyme l'abrupte de la faille qui, à son tour, met en abyme la Chaîne des Puys dont on perçoit encore les plus hautes silhouettes.

Les « presqu'îles » des reliefs inversés de la Montagne de la Serre et du plateau de Gergovie au sud, s'avancent loin sur la Limagne, tandis que se distinguent les « îlots » au profil vigoureux de Montaudoux, Montrognon ou Crouel. Les « baies » de Clermont et de Riom se creusent au plus près de la ligne de faille, s'adossent au rempart et s'ouvrent largement vers l'est. L'anse de Cébazat ou celle de Romagnat se dissimulent au regard alors que se creusent longuement, les vallées de l'Auzon et de la Veyre.

Depuis le plateau de Corent, les puys, la faille et ses « presqu'îles » de la Serre, Gergovie et Chanturgue
(Source : T. Bedu, Atelier Régional de Paysage et d'Architecture de l'Environnement)

La verticalité de la faille est rendue particulièrement visible par les entailles des vallons étroits qui ouvrent en clair-obscur son front rectiligne. Les paysages de la faille de Limagne ne se limitent pas à un monumental coup de sabre dans le socle des Dômes, mais offrent véritablement l'image d'un estampage sur lequel se rangent en variété des formes gaufrées, en creux et en relief.

L'escarpement boisé de faille marque la séparation entre le plateau des Dômes et les coteaux de l'agglomération. Bien que peu étendu, il joue une des fonctions importantes pour l'agglomération. Il constitue un écrin forestier de qualité à préserver en tant que zone de transition entre les puys et l'agglomération. Véritable lanière verte reliant les espaces urbains, il fait à la fois office de limite et de lien, et constitue un élément très important, participant à la cohérence et à la mise en scène du paysage. **Préservée par son dénivelé important, la ligne de faille a conservé un caractère sauvage.** Les ambiances paysagères très agréables et la proximité de la ville, font de cette entité un espace de plus en plus prisé pour la promenade et la découverte du riche patrimoine historique et architectural, conduisant les collectivités à baliser quelques sentiers.

Le relief constitue par ailleurs une limite naturelle à la progression de l'urbanisation qui vient buter sur cette frontière morphologique. La route de piémont ainsi que les petites villes et les villages viennent se nicher au creux de ce sillon et entretenant un contraste avec les escarpements boisés, mettent en exergue la ligne estampée et le chevelu des vallons qui ornent la faille et sculptent le rebord du socle. Châtel-Guyon, Volvic, Sayat, Nohanent, Durtol, Chamalières, Royat, Ceyrat et d'autres encore, viennent « ancrer » et révéler la trace horizontale de la faille. C'est de Durtol à Volvic au nord de Clermont-Ferrand, et à Ceyrat au sud, que le sillon de la faille est le plus lisible.

Vers le sud, la nouvelle orientation est-ouest du paysage est progressivement annoncée par la longue et étroite entaille de l'Artière, puis par la ligne de relief de Montrognon et du plateau de Gergovie. C'est ensuite la Montagne de la Serre, rehaussée par les vallées dont elle est la figure inversée. La Montagne de la Serre est certes rendue visible par les boisements de ses flancs, mais c'est à son parcellaire et aux vestiges de son bocage qu'il appartient de révéler sa nature. Les cultures y sont difficiles et les blocs de roches nombreux. Ainsi, le contraste est fort entre les terres plus profondes des bas flancs cultivés et ces hautes terres où la prairie entourée de murs de pierres sèches, cède à la friche. Ce sont encore les bois qui, sur l'aval du lac d'Aydat ou sur celui du lac de la Cassière, donnent à lire le barrage de la vallée et du cours de la Veyre par les coulées de laves.

Le lisible et le sensible

L'opposition avec la dépression de Limagne ajoute encore à l'aspect théâtral des puys et l'émotion esthétique ressentie face à cette double partition, fossé-plateau, puis plateau-volcans. De plus, la faille de Limagne ne s'appréhende pas seulement dans sa dimension ou son relief, mais dans son pouvoir évocateur de l'histoire de la formation de ce territoire. En effet, à l'appui de quelques explications, on perçoit cette ligne de fracture non plus comme un simple décrochement mais comme une portion du large Rift Ouest-Européen. S'il avait abouti, ce processus de rupture lithosphérique aurait débouché sur l'ouverture d'un océan. Aussi, bien plus qu'une métaphore, le « rivage » renvoie à la nature véritable de ces lieux : celle de l'océan qui n'est finalement pas apparu en dépit de plusieurs incursions marines, expérience à la fois sensible et imaginaire.

Effet de « rivage » de la faille vue depuis la plaine agricole
(Source : J. Damase)

2.a.4 Un site objet de nombreuses recherches scientifiques

Si la Chaîne des Puys a rassemblé tout ce que la communauté scientifique européenne comptait de sommités aux XVIII[e] et XIX[e] siècles – voir paragraphe sur la volcanologie et l'histoire des sciences, pages 209 à 220 –, elle demeure un terrain privilégié pour les recherches actuelles menées par des équipes françaises ou internationales. **Ce site sert souvent de lieu d'expérimentation pour la mise au point de techniques utilisées en recherche appliquée sur des sites volcaniques actifs, ou en recherche fondamentale**. La Chaîne des Puys et la faille de Limagne présentent l'intérêt de rassembler des édifices jeunes qui ont conservé la structure des volcans actifs, permettant d'y tester imageries et modélisation. Leur accessibilité et leur échelle réduite contribuent également à leur intérêt scientifique. À titre de comparaison, le diamètre du puy des Goules est d'un kilomètre quand celui du Piton de la Fournaise sur l'île de la Réunion atteint les vingt kilomètres. La configuration des lieux et la variété des relations entre volcans sont donc particulièrement opportunes pour le **développement de nouvelles méthodes d'étude en sciences de la Terre, météorologie, microbiologie et archéologie**.

Laboratoire Magmas et Volcans de Clermont-Ferrand et EAVUC

Laboratoire Magmas et Volcans

Le Laboratoire Magmas et Volcans (LMV) de Clermont- Ferrand (UMR6524 CNRS, M163 IRD) et l'Équipe Associée de Volcanologie de l'Université de Clermont (EAVUC), sont à l'origine de la majeure partie des connaissances volcanologiques actuelles sur ce site, et y coordonnent les travaux d'une dizaine d'équipes internationales. L'histoire du laboratoire remonte à 1854, quand Napoléon III créa la Faculté des Sciences de Clermont. À cette époque, l'enseignement de la géologie s'effectuait dans le cadre de la chaire d'Histoire naturelle, qui fut transformée en 1875 en chaire de Géologie et de Minéralogie, dominée par des personnalités marquantes dont les noms restent attachés au rayonnement scientifique de la ville, comme Henri Lecoq, Philippe Glangeaud – le père de Louis Glangeaud, autre éminent géologue français – ou Jean Jung qui fut président de la Société Géologique de France en 1953.

Le Laboratoire Magmas et Volcans est une unité de recherche de l'Université Blaise Pascal, associée au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et à l'Institut de Recherche et de Développement (IRD). C'est aussi l'un des laboratoires de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC) et l'un des pôles d'excellence de la région Auvergne. À ses missions de recherche et de transmission du savoir dans le domaine de la Géologie, s'ajoute une mission de surveillance des phénomènes naturels liés à l'activité physique du Globe, à des fins de compréhension des processus et de prévention des risques.

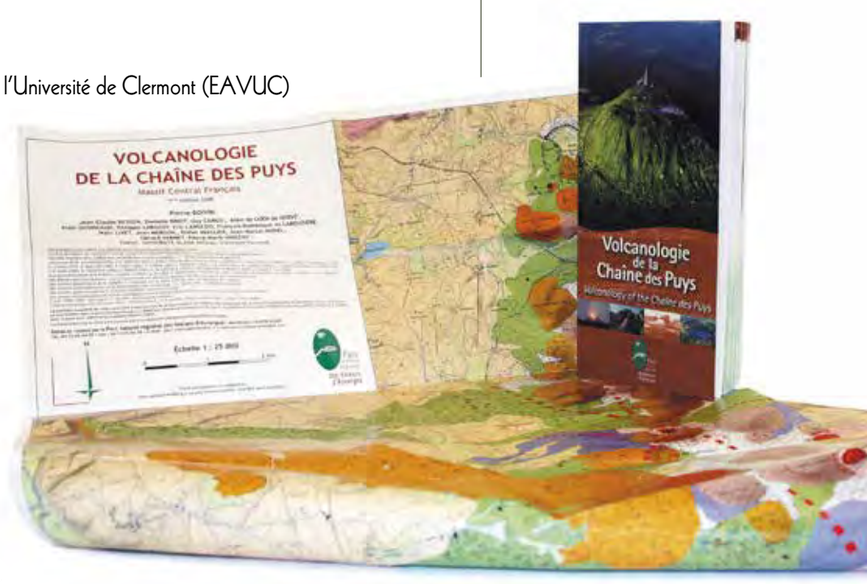
Avec plus d'une centaine de personnes, réparties sur plusieurs sites dont l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand – implantation principale –, l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne, l'École Polytechnique Nationale de Quito en Équateur et le département de Géologie de Nouméa en Nouvelle-Calédonie, le LMV est un des plus gros et performants laboratoires du monde dans l'étude des processus volcaniques et magmatiques. Depuis 2003, ce sont plus de trois cents articles qui ont été publiés dans des revues internationales et une vingtaine de professeurs étrangers qui s'y relaient chaque année. Son objectif principal est de comprendre l'ensemble des processus magmatiques et volcaniques, depuis la fusion dans le manteau terrestre jusqu'à l'éruption en surface. Ses recherches utilisent donc les méthodes et les outils les plus performants de différentes disciplines de la Pétrologie, de la Géochimie et de la Volcanologie et s'appuient sur un parc important d'appareillages expérimentaux et de caractérisations chimiques et physiques des roches et des minéraux.

Le laboratoire est organisé en quatre équipes thématiques, que vient compléter une cellule de recherche appliquée :

- Dynamique et déformation des édifices volcaniques ;
- Pétrologie expérimentale : magmatisme et géodynamique ;
- Géochimie : genèse, évolution et chronologie des magmas ;
- Transferts lithosphériques.

Équipe Associée de Volcanologie de l'Université de Clermont (EAVUC)

En lien intrinsèque avec le LMV, l'Équipe Associée de Volcanologie de l'Université de Clermont (EAVUC) est une association fondée en 1975 avec la vocation de « *promouvoir une recherche en collaboration sur des problèmes de volcanologie, et la publication commune des résultats de ces travaux* ». Par leur profession, ses membres sont fortement impliqués dans l'étude pluridisciplinaire des volcans, actifs ou éteints. Dans le cadre de l'association, ils s'intéressent particulièrement au volcanisme du Massif Central.



Carte et livret sur la volcanologie de la Chaîne des Puys
(Source : EAVUC 2009)

Ce riche terrain d'investigations a fourni la matière de travaux variés qui ont été valorisés par divers articles scientifiques, des ouvrages pédagogiques d'ordre général et la *Carte Volcanologique de la Chaîne des Puys* (carte et livret). Depuis 1975, date de sa première publication coordonnée par Guy Camus, cette dernière a déjà fait l'objet de cinq éditions régulièrement enrichies et dont la plus récente, datée de 2009, est bilingue.

L'association EAVUC travaille en partenariat avec divers organismes tels que :

- les Universités ;
- le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) ;
- le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) ;
- le Centre Régional de Documentation Pédagogique (CRDP) ;
- les collectivités territoriales : municipalités, Conseils généraux, Conseil régional d'Auvergne ;
- le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA) ;
- des associations à caractère scientifique ou patrimonial.

Principales mesures et recherches menées par des équipes nationales

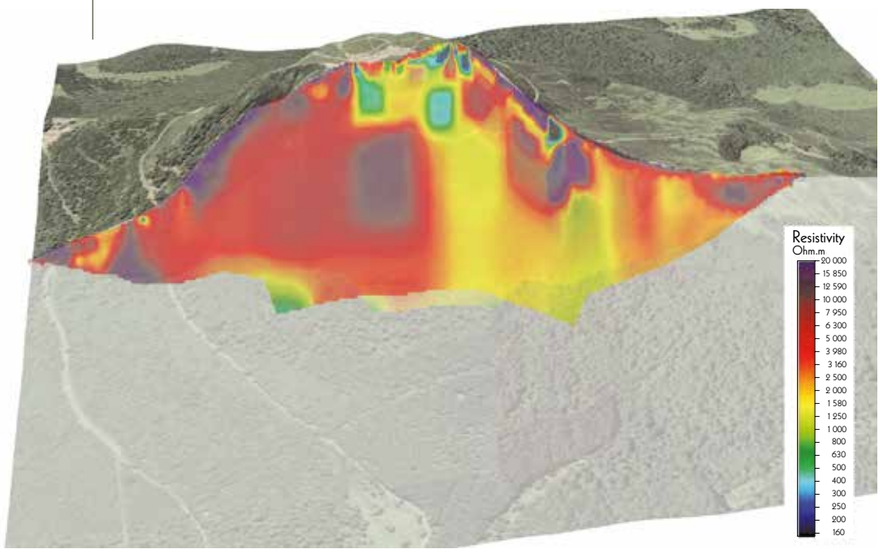
Volcanologie, sismologie et étalonnage gravimétrique

➤ *Volcanologie*

Divers aspects de la Chaîne des Puys sont étudiés par des chercheurs du LMV, seuls ou en collaboration. Un premier thème concerne la mise en place des intrusions de laves au sein des édifices, au cours de leur éruption. La géométrie et la dynamique de ces filons sont analysées, en particulier grâce à des mesures d'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM). Avec la même méthode, des recherches sont menées sur la mise en place des grandes coulées trachy-basaltiques de la Chaîne des Puys, telles celles de la Tiretaine ou de la cheire d'Aydat.

D'autres travaux portent sur les retombées des éruptions récentes – Kilian, puy de Dôme...– pour mieux délimiter leur extension, leur séquence, leur dynamisme de mise en place et leur géochimie, en collaboration avec une équipe de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) qui s'intéresse à la géochimie des éléments en trace et des volatils contenus dans ces laves.

L'origine des trachytes est étudiée expérimentalement par une équipe de l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO) afin de déterminer les conditions de pression et de température qui régnaient dans les chambres magmatiques juste avant leur éruption. De récents travaux ont mis en évidence le fait que le puy de Dôme est une structure plus complexe que celle habituellement décrite. Il a notamment eu une ultime éruption présentant une dynamique différente de celle ayant présidé à sa construction. Au nord du puy de Dôme, l'ensemble du Petit puy de Dôme, avec en son centre le Nid de La Poule, est la résultante de nombreuses éruptions d'âges et de natures variées. À l'ouest et au sud-ouest du puy de Dôme, des structures volcaniques plus ou moins cachées ou emboîtées posent divers problèmes volcanologiques par leur diversité dans un espace très restreint : puy Redon, Cratère Kilian, puy des Grosmanaux entre autres.

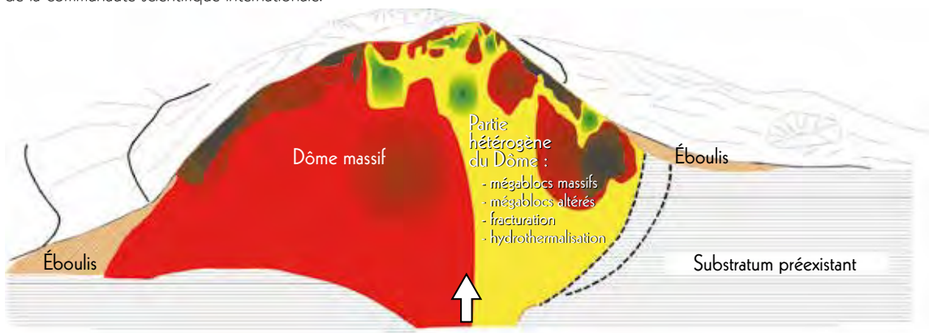


Modèle de résistivité du puy de Dôme, projet TOMUVOL
(Source : D. Miallier, Laboratoire de Physique Corpusculaire, Clermont-Ferrand)

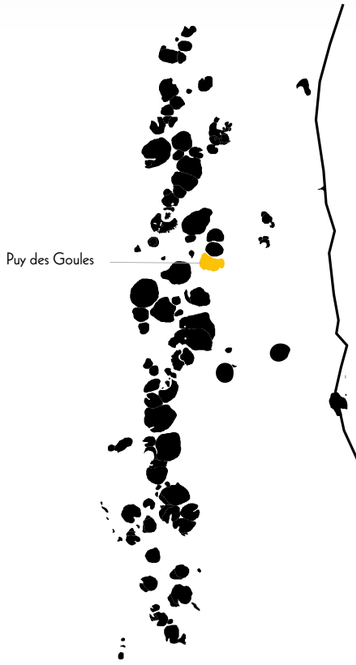
Toujours en volcanologie, une radiographie du puy de Dôme par rayons cosmiques est en cours. Baptisé TOMUVOL (TOmographie par les MUons atmosphériques des VOLcans), ce projet auquel participent deux des trois Pôles d'Excellence de l'Université Blaise Pascal, – le Laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC, UMR6533) et le Laboratoire Magmas et Volcans – propose la construction et la validation d'un système robuste et portable pour la tomographie des volcans grâce à la mise au point de détecteurs ou téléscopes à muons, au sein de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon. Les muons atmosphériques, produits par les rayons cosmiques, peuvent traverser plusieurs hectomètres ou kilomètres de roches avant leur désintégration. La méthode utilise donc le haut pouvoir pénétrant des muons avec des énergies supérieures au Téra électronVolt (TeV) pour sonder des édifices volcaniques sur des profondeurs pouvant aller jusqu'à des dizaines de kilomètres. Les informations obtenues par cette technique aideront à modéliser la structure interne des volcans, à commencer par celle du puy de Dôme, édifice le plus emblématique de la Chaîne des Puys, ce qui représente une donnée essentielle tant pour leur compréhension que pour la surveillance des édifices actifs. Pour la volcanologie, l'intérêt de cette nouvelle méthode est multiple. Elle est susceptible de donner des informations complémentaires à celles obtenues avec des techniques plus traditionnelles – sismologie, gravimétrie, tomographie de résistivités électriques, électro-magnétisme – et avec une meilleure résolution spatiale. En outre, elle est plus facile à mettre en œuvre, car elle est installée à distance et ne nécessite pas de nombreux déplacements sur le terrain souvent dangereux du volcan à étudier.

L'application, dans un deuxième temps, de cette méthode à la surveillance des volcans actifs est également l'un des principaux objectifs des développements technologiques et méthodologiques initiés dans le cadre de ce projet.

Il est prévu l'installation, sur les flancs de volcans actifs définis comme des cibles prioritaires – Stromboli, Piton de la Fournaise, Montserrat,...– d'un détecteur qui envoie des données, à travers le réseau Internet, à un centre de surveillance qui les analyse en continu pour signaler toute modification de la géométrie interne de l'édifice. Elle permet également des campagnes de mesures de longue durée, ciblées sur l'étude d'un édifice mal connu, en utilisant plusieurs détecteurs de muons en simultané ou un seul, déplacé d'une manière séquentielle autour de l'édifice. Lors d'une crise pré-éruptive, il peut être impossible de réaliser des études au sol dans des conditions de sécurité acceptables. Dans ce cas, les scientifiques s'appuient sur des données de stations de mesures permanentes au sol, dotées de télétransmission, et sur des données de télédétection variées. Un des avantages majeurs de l'approche de tomographie par muons est d'être une donnée de télédétection – instrument à distance des zones dangereuses – qui fournit une image directe de l'intérieur du volcan. Il n'existe pas de méthode comparable en surveillance volcanologique. L'utilisation de cette nouvelle méthode concernera l'ensemble de la communauté scientifique internationale.



Interprétation préliminaire de la tomographie par muons atmosphériques du puy de Dôme
(Source : D. Miallier, Laboratoire de Physique Corpusculaire, Clermont-Ferrand)



Rétrodiffusion cohérente des ondes sismiques : couverture de la revue Physical Review Letters
(Source : E. Larose, ISTerre, Grenoble)

➤ *Sismologie*

Les volcans de la Chaîne des Puys sont récents à l'échelle de la géologie et ont conservé leur morphologie, leur structure, leur composition d'origine. Bien qu'éteints, ils sont la réplique exacte de volcans actuellement actifs, tels de parfaits modèles réduits. Ces édifices ont en effet l'avantage d'y être de taille limitée donc aisés à instrumenter et faciles d'accès. L'environnement climatique y est également favorable, au contraire des volcans tropicaux ou boréaux. Enfin, le magmatisme y est d'une grande richesse car très varié. Pour toutes ces raisons, la Chaîne des Puys est un site d'étude scientifique de tout premier plan pour la sismologie des volcans au niveau mondial.

L'Institut des Sciences de la Terre (ISTerre) de Grenoble mène des études expérimentales depuis de nombreuses années sur le bien proposé, dont plusieurs sur l'imagerie et la surveillance sismique des volcans.

Le Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique (LGIT) de Grenoble (UMR5559) a ainsi conduit différentes campagnes d'acquisition sismique et de mesures géophysiques dans le puy des Goules entre 2004 et 2010, financées par l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR). L'objectif principal de la campagne de 2004 était de déployer pour la première fois sur un site « test », la totalité du réseau INSU d'Imagerie sismique Haute Résolution (IHR). Une campagne de mesure réalisée en 2004 a permis d'effectuer les développements technologiques nécessaires à rendre le réseau IHR opérationnel. Ce réseau comporte 200 capteurs, 30 stations d'acquisition indépendantes, autonomes et reliées par réseau WiFi.

Ce réseau est utilisé dans le cadre de la prévention de catastrophes naturelles et son but est d'imager avec une résolution décamétrique, des structures volcaniques présentant un risque fort de type déstabilisation de flancs ou nuées ardentes. Le second objectif est de tester l'utilisation de sources sismiques actives, telles qu'un camion vibrateur utilisé par les pétroliers, pour imager des objets géologiques à plusieurs kilomètres de profondeur par l'utilisation du bruit de fond sismique. Les équipes du LGIT ont eu recours à l'utilisation conjointe de plusieurs méthodes géophysiques électriques – gravimétrie – pour imager de manière à la fois fine et globale la structure permettant la localisation de conduites d'alimentation magmatique ou de dykes. Cette technique de premier plan mondial, validée dans la Chaîne des Puys, a ensuite été adaptée à l'imagerie et à la surveillance du Piton de la Fournaise à la Réunion.

La campagne d'études sismique débutée en 2004 et poursuivie jusqu'en 2010 au puy des Goules, a donné des résultats opérationnels quant à la prévision des éruptions à cinq jours, et devrait à terme permettre la prévision des points de sortie de la lave. La Chaîne des Puys joue ainsi le rôle de modèle grandeur nature avant la préparation de campagnes d'acquisition de plus grande ampleur sur des volcans actifs. L'imagerie fine de failles actives, telles que la faille nord-anatolienne, est également prévue.

Enfin, l'ISTerre a conduit dans la Chaîne des Puys des études de physique fondamentale sur la propagation des ondes en milieu hétérogène. Les volcans étant les milieux les plus hétérogènes du monde, le trajet des ondes sismiques y est extrêmement complexe. En 2004, une campagne de mesure a été menée, permettant de démontrer la présence d'un phénomène ondulatoire original, appelé de rétrodiffusion cohérente. Ce phénomène, observé pour les ondes acoustiques, optiques, et même pour les électrons dans les nanotechnologies, a été publié en première page de *Physical Review Letters*, revue scientifique de premier plan éditée par l'American Physical Society. Une autre étude, plus récente, a porté sur la compréhension de la cohérence spatiale de la phase ondulatoire. Cette dernière s'est concrétisée par une campagne de mesure (2010) et une thèse de master.

Les avancées instrumentales, conceptuelles et méthodologiques réalisées dans la Chaîne des Puys permettent de mieux comprendre la propagation des vibrations sismiques dans les volcans. Les avancées réalisées ici sont transposées sur d'autres volcans actifs : le Piton de la Fournaise à La Réunion – collaboration avec l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (OVPF) –, la Soufrière à la Guadeloupe – collaboration avec l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe (OVSG) –, les volcans japonais – collaboration avec l'Earthquake Research Institute (ERI), Université de Tokyo.

➤ *Étalonnage gravimétrique*

La mesure de la gravimétrie absolue est un outil indispensable pour détecter les mouvements de la croûte terrestre et de ses variations internes. Ses apports sont multiples dans les champs de la tectonique, de la volcanologie, et plus globalement, des questions géodynamiques. L'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand est en charge de la gestion de deux stations pour l'acquisition de mesures de gravimétrie absolue sur le site du puy de Dôme. En effet, d'un point de vue gravimétrique, le site du puy de Dôme est exceptionnel par :

- sa position centrale en France,
- son éloignement des marées océaniques,
- son écart gravimétrique exceptionnel entre base (Cézeaux) et sommet, avec 1 000 mètres de dénivelé en quelque 10 kilomètres.

Ainsi, du fait de cette topographie originale avec un sommet très près d'un point bas, le puy de Dôme fait partie du référentiel du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), et figure parmi les quelques sites français privilégiés dans le calibrage des appareils de mesures par le Bureau International des Poids et Mesures. En plus de cet étalonnage, le site est associé au projet de recherche « Métrologie géophysique de reconnaissance du sous-sol », mené par le BRGM. La métrologie physique vise la connaissance du sol et du sous-sol à partir de mesures réalisées in situ ou bien par voie aéroportée ou satellitaire.

L'objectif est de détecter, quantifier puis modéliser les signatures géophysiques de désordres environnementaux.

Chalet de l'Observatoire, sommet du puy de Dôme
(Source : J. Way)

Météorologie et microbiologie

➤ *Météorologie*

L'expérience de Blaise Pascal – voir partie 2.b.4. Historique et développement – sur la pression atmosphérique s'est inscrite dans l'histoire de la science météorologique, discipline qui restera attachée au sommet du puy de Dôme. Du fait de son altitude intermédiaire et de son isolement, celui-ci s'avère un lieu privilégié au niveau européen pour l'observation des nuages, qui se forment soit sous flux maritime d'ouest – Atlantique –, soit sous flux plus pollué de nord / nord-est de l'Europe, donnant lieu à des situations météorologiques et environnementales variées. C'est également un site privilégié en France pour la recherche sur les propriétés de l'atmosphère car il est situé loin des principales sources de pollution.

La première station de mesure créée par Emile Alluard a ainsi été intégrée au XX^{e} siècle dans le réseau de la Météorologie nationale, devenue Météo-France, avant d'être remplacée en 1994 par une station météorologique automatique. Le chalet de l'Observatoire héberge aujourd'hui la station de mesure atmosphérique de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, qui a connu un essor considérable ces dernières années avec l'arrivée de nouveaux instruments :

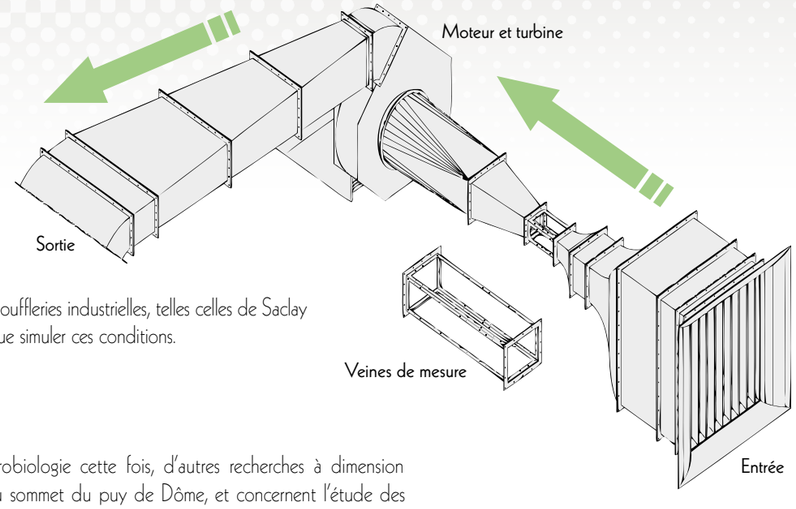
- granulométrie rapide des aérosols (SMPS) et des ions (AIS) ;
- suivi des propriétés hygroscopiques (HTDMA) et optiques (Néphélomètre, MAAP) de l'aérosol.

Chercheurs de l'Observatoire effectuant des mesures sur les nuages au sommet du puy de Dôme
(Source : J. Damase)

Cette station est devenue un élément essentiel du dispositif national d'observation de l'atmosphère, tant pour le suivi de la qualité de l'air – pollution longue distance – que pour la recherche sur le climat – nuages et particules, gaz à effet de serre. C'est pour mieux comprendre les changements climatiques dus à l'effet de serre que les chercheurs du Laboratoire de Météorologie Physique (LAMP, UMR 6016 CNRS / Université Blaise Pascal) développent leurs connaissances de la chimie et de la physique du nuage. Unique en France dans ces domaines, le site du puy de Dôme a été labellisé «Site instrumenté» en 2007 par l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU) pour l'étude des nuages et du bruit de fond continental de l'atmosphère, nécessaire au suivi de la qualité de l'air.

L'importance de ce site a été confortée en 2008 par l'acquisition d'une nouvelle soufflerie de recherche instrumentée, sorte d'aspirateur à nuages particulièrement performant, pour l'échantillonnage en conditions naturelles des nuages de gouttelettes et/ou de cristaux de glace. Inédite en Europe, cette soufflerie est un instrument communautaire qui permet aux utilisateurs de disposer d'une méthodologie d'observation in situ des nuages, originale et nécessaire aux études sur les interactions nuage – chimie – climat et à la validation des futures données satellitaires. Elle ouvre la porte à un grand nombre d'applications :

- soit à caractère scientifique : prélèvements d'échantillons d'air à grand débit, tests et validations d'instruments prototypes à vocation aéroportée ;
- soit à caractère industriel : étude des conditions givrantes…



Soufflerie de recherche instrumentée
(Source : C. Goubeyre, Laboratoire de Météorologie Physique, Clermont-Ferrand)

Cette plate-forme offre en effet aux industriels de l'aéronautique l'opportunité de travailler en milieu nuageux naturel alors que les souffleries industrielles, telles celles de Saclay ou de Bourges, ne peuvent que simuler ces conditions.

➤ *Microbiologie*

Dans le domaine de la microbiologie cette fois, d'autres recherches à dimension internationale sont menées au sommet du puy de Dôme, et concernent l'étude des micro-organismes des nuages et l'évolution du climat. Bien qu'ils correspondent à un très faible volume d'eau par rapport à tous les systèmes aquatiques de la planète, les nuages n'en sont pas moins des milieux extrêmement réactifs, qui contribuent à l'évolution chimique de l'atmosphère et donc du climat.

Du fait de l'accroissement des activités humaines, ce milieu est le récepteur de nombreux composés chimiques et lieu d'une multitude de réactions. Il apparaît donc très important de suivre son évolution et de comprendre les mécanismes réactionnels prépondérants qui y prennent place. Depuis 2003, l'équipe du Laboratoire Synthèse et Études de Systèmes à Intérêt Biologique (SEESIB - UMR 6504) de Clermont-Ferrand, s'intéresse aux micro-organismes présents dans les nuages et à leur rôle dans la chimie atmosphérique. La structure et la fonction des populations microbiennes dans les nuages restent très mal connues à ce jour, c'est un sujet novateur au niveau international, car seuls les physiciens et les chimistes de l'atmosphère s'étaient intéressés à ce compartiment de l'environnement. Le premier aspect des recherches de cette équipe concerne la description du contenu microbien dans l'eau atmosphérique. L'objectif à long terme est d'évaluer comment l'activité de l'Homme – comparaison milieu urbain/naturel – modifie la composition chimique, biologique et l'état physique de l'eau dans les nuages au sommet du puy de Dôme.

Comme cela a déjà été noté pour l'étude météorologique, ce site est unique en Europe car il permet d'étudier des masses nuageuses en troposphère libre, très caractéristiques. Outre l'étude de la structure des populations microbiennes, la recherche s'intéresse à leur fonction potentielle dans la chimie des nuages et leur capacité éventuelle à bio-transformer certaines espèces présentes dans l'eau atmosphérique. Ce programme de recherche est soutenu par le CNRS et le programme PHC Stefanik Franco-Slovaque. Il fait l'objet d'une thèse en cotutelle, financée par l'ambassade de France en Slovaquie, en collaboration avec l'Académie des Sciences de Slovaquie à Bratislava.

Archéologie

Parmi les travaux archéologiques les plus récents conduits dans le Puy-de-Dôme, plusieurs sont en lien direct avec la Chaîne des Puys, qu'ils portent sur les reconstitutions paléoenvironnementales et paléoclimatiques des systèmes écologiques ; sur les implantations paléolithiques et mésolithiques de la Limagne impactées par des retombées téphriques ; ou sur les sites Gallo-romains du temple de Mercure et du col de Ceyssat. Ne sont abordés ici que les volets recherches, l'histoire de ces sites étant développée ci-après dans la partie 2.b.2 consacrée au peuplement de la Chaîne des Puys et de la Limagne et ses impacts paysagers.

➤ *Paléoenvironnements et campements préhistoriques*

L'Équipe « Paléoenvironnement et géoarchéologie » du Laboratoire de Géographie Physique et Environnementale de l'Université Blaise Pascal (GEOLAB, UMR 60-42/CNRS), en lien avec l'Institut national de recherches archéologiques (INRAP), coordonne un grand nombre de recherches sur la Chaîne des Puys, depuis les reconstitutions paléoenvironnementales et paléoclimatiques des systèmes écologiques du Tardiglaciaire à l'Holocène, aux impacts du volcanisme sur les milieux préhistoriques et protohistoriques. Ces recherches croisent de nombreuses techniques et disciplines : géo-archéologie, archéobotanique, palynologie et téphrostratigraphie.

Elles ont pour but d'étudier les interactions sociétés-milieux depuis le Mésolithique (~ 10 500 - 7 000 ans) et la mise en place de paysages anthropisés. Toutes ces activités de recherche participent à l'établissement de modèles de coévolution socio-environnementale, indispensables à la mise en place d'une gestion responsable et d'un développement durable des socio-écosystèmes. Elles sont également une source d'information importante pour les volcanologues quant à la nature et l'importance des éruptions responsables de la mise en place des tephras répartis au voisinage plus ou moins immédiat de la Chaîne des Puys. La réalisation de cartes de dispersion des différents produits – retombées aériennes, coulées pyroclastiques…– permettent d'apprécier leurs volumes et de mesurer leur impact sur l'environnement à l'échelle régionale, voire plus vaste. Ainsi, des lamines provenant de points éruptifs acides ont été repérées par des équipes de l'Université de Liège dans des tourbières au sud de la Chaîne des Puys, et rapportées aux éruptions du puy de Dôme et du puy Chopine. Une large dispersion de minéraux d'origine trachytique de la Chaîne des Puys au cours du Boréal – entre 9 000 et 8 000 ans – a également été attestée jusqu'en Suisse.

Si les sites préhistoriques directement affectés par ces éruptions sont encore peu nombreux à être recensés, **il est possible de préciser l'impact des éruptions de la Chaîne des Puys sur les écosystèmes environnants et donc d'analyser les situations favorables ou défavorables aux groupes humains**. Parmi les exemples significatifs, identifiés sur cette zone, d'installations préhistoriques détruites par les éruptions, on peut citer :

- Les retombées de cendres du puy de la Nugère qui ont recouvert plusieurs milliers d'hectares en Limagne et atteint l'habitat magdalénien sous roche d'Enval, l'Abri Durif, près de Vic-le-Comte, il y a 13 700 ans environ ;
- Les coulées de boue et les retombées de l'éruption du puy Chopine qui atteignirent la Limagne à Marsat, près de Riom, à douze kilomètres du volcan, et recouvrirent en les fossilisant, les restes d'un campement de chasseurs mésolithiques, il y a environ 9 720 ans ;
- Les pluies de petits blocs de trachyte sur le bassin de Clermont-Ferrand, sur le site de civilisation sauveterrienne dit des Paturaux, datées aux alentours de 9 180 ans, liées à l'explosion d'un dôme et attribuées depuis 2008 au Kilian.

➤ *Temple de Mercure et carrière du Kilian*

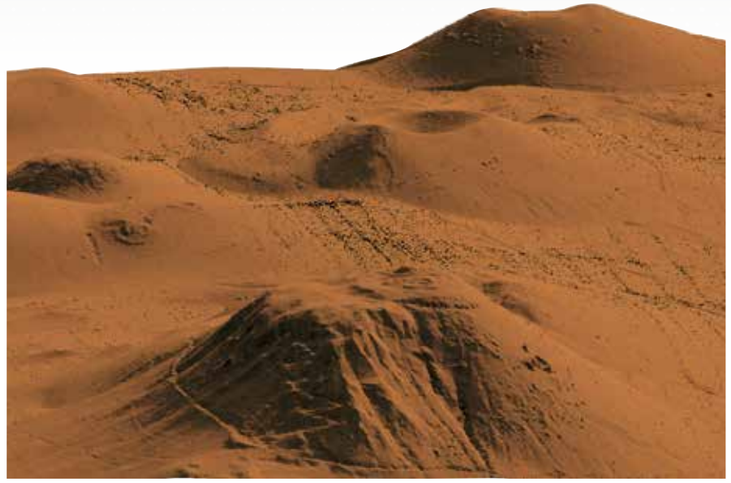
Découvert à la fin du XIX[e] siècle à la faveur de la construction de l'Observatoire météorologique au sommet du puy de Dôme, le temple de Mercure a fait l'objet de plusieurs campagnes de fouilles. Les plus récentes, réalisées entre 2000 et 2004 sous la direction de Dominique Tardy (Institut de Recherches sur l'Architecture Antique – IRAA – du CNRS), Jean-Louis Paillet (IRAA du CNRS) et Alexandre Pontet (architecte), ont permis de situer le début des travaux de construction de cet édifice dans le deuxième quart du II[e] siècle de notre ère. Son architecture associe des traits classiques – vaste pronaos – à des caractères gallo-romains – cella carrée bordée d'une galerie sur trois côtés.

Pied de statue colossale en bronze, découvert à Clermont-Ferrand
(Crédit : G. Alfonso, Institut National de Recherches Archéologiques Préventives)

L'intérêt pour le temple a été relancé en avril 2007 par la découverte, au sud de l'agglomération antique de Clermont-Ferrand, d'un pied de statue monumentale antique de grande dimension – soixante centimètres pour le pied, soit proportionnellement, une statue de quatre mètres environ – et d'une réalisation de qualité exceptionnelle. Si rien n'indique qu'il s'agisse d'un fragment de la statue de Zénodore, sculpteur grec du I[er] siècle qui, selon Pline l'Ancien, aurait été chargé par les Arvernes de fondre une statue colossale de Mercure, cette découverte témoigne de la présence d'une grande statuaire de qualité dans la capitale arverne à l'époque romaine. La dernière actualité de ces fouilles est la remise en cause de la provenance des pierres du temple.

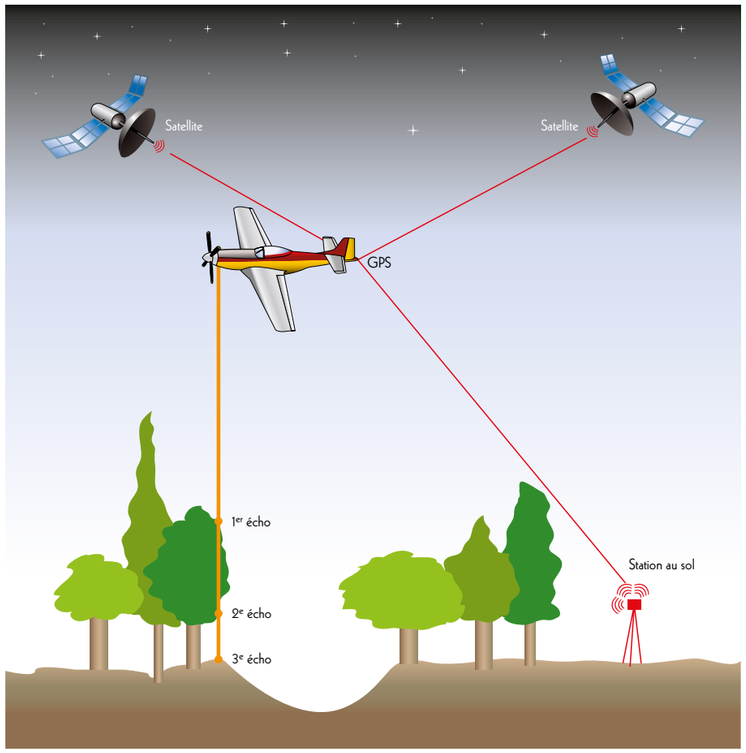
Longtemps attribuées aux puys du Cliersou et de l'Aumône, des travaux pluridisciplinaires menés en 2010 par trois laboratoires de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, le laboratoire Magmas et Volcans (LMV, UMR 6524), le laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC, UMR6533) et le Centre d'Histoire Espaces et Cultures (CHEC, EA 1001), ont rattaché les pierres du temple aux trachytes du cratère Kilian âgé de 9 180 ans et situé au pied sud-ouest du puy de Dôme. Une topographie de ce cratère aujourd'hui recouvert de végétation est disponible, grâce à la réalisation en 2011 d'un modèle numérique de terrain (MNT) d'une maille de 0,5 m pour une précision altimétrique et planimétrique inférieure à 10 cm sur le secteur central de la Chaîne des Puys par un levé LiDAR – *Light Detection And Ranging* – conduit par ces mêmes laboratoires.

Temple de Mercure, sommet du puy de Dôme
(Source : J. Damase)



Modèle numérique de terrain, sol nu du puy de Dôme
(Source : Université Blaise Pascal)

Ce levé va permettre la reconstruction de la zone dans un modèle tridimensionnel de grande précision, grâce à l'émission d'un rayon laser par un capteur embarqué dans un avion et la rétro-diffusion du faisceau vers ce même capteur, par les surfaces naturelles ou artificielles. À partir des nuages de points relevés, une classification des différents ensembles qui constituent la topographie du site d'étude est effectuée. Il est ainsi possible de distinguer plusieurs types d'échos du laser : le terrain naturel, le sursol – végétation basse –, la végétation – arbres feuillus et résineux –, ainsi que le bâti.



Technique du levé LiDAR
(Source : P. Boivin, Laboratoire Magmas et Volcans, Clermont-Ferrand)

Ancienne carrière du cratère Kilian, aujourd'hui recouverte par la végétation mais qui pourra être topographiée par le LiDAR
(Source : P. Soissons)

Le LiDAR du puy de Dôme et de son proche voisinage revêt une importance majeure en matière d'archéologie pour les fouilles sur le temple de Mercure car des anomalies topographiques localisées immédiatement en contrebas n'ont à ce jour encore jamais fait l'objet de relevés précis. Il en va de même pour la grande carrière gallo-romaine installée dans le cratère Kilian. La topographie du volcan a été totalement modifiée par les tonnes de déblais. Les premières études prouvent un fonctionnement de ce vaste site dès le Haut-Empire et un maintien de l'activité au Haut Moyen-Âge pour la fabrication de sarcophages. Il s'agit aujourd'hui de topographier finement cet ensemble complexe afin de mettre en évidence le fonctionnement du chantier.

➤ *Col de Ceyssat, une agglomération antique entre le Ier et le IIIe siècles*

Un programme de recherche archéologique conduit par Frédéric Trément, professeur d'antiquités nationales, histoire et archéologie de la Gaule (CHEC, EA 1001), entre 1999 et 2003, a mis en évidence l'existence d'une agglomération antique au col de Ceyssat, à l'endroit où la voie romaine reliant Lyon et Saintes par Augustonemetum, franchissait la Chaîne des Puys. La présence de vestiges antiques était connue dans ce secteur au XIXe siècle. Des fouilles y ont même été entreprises dès 1827. Les recherches conduites en 1999 et en 2000 ont révélé une concentration « anormale » de vestiges archéologiques du Haut-Empire au col de Ceyssat, démontrant l'existence d'une véritable agglomération associant des activités cultuelles, routières et funéraires.

Les archéologues ignorent encore l'essentiel sur cette agglomération, en particulier le détail de son organisation. Ils savent toutefois qu'un habitat probablement assez étendu et structuré existait déjà à la fin de La Tène, autour du premier siècle avant J.-C. La présence d'une nécropole confirme l'importance relative de l'agglomération et soulève la question de ses liens organiques avec le temple sommital. Les recherches sont toujours en cours sur ce site qui devrait également bénéficier des résultats de la micro-topographie LIDAR susmentionnée. Elle permettra notamment de cibler les prochains secteurs à fouiller en appréhendant spatialement l'agglomération sur une vaste zone, et de cartographier les aménagements en terrasses et certains vestiges encore en élévation.

①

②

① Stèle en dômite, h.45 cm
(Source : Musée des Antiquités Nationales)

② Sanglier en bronze, 1,4 cm
(Source : L. Savy, musée Bargoin, Clermont-Ferrand)

Recherches menées par des équipes étrangères

Des équipes étrangères ont utilisé la Chaîne des Puys ces dernières années pour mener des recherches pluridisciplinaires fondamentales ou appliquées. On peut citer :

Chercheur	Université	Pays	Thématique
Jean-Pierre Henriet	RCMG Ghent University	Belgique	Les gaz piégés et libres dans les sédiments de maars de la Chaîne des Puys : approche géophysique et implications pluri-disciplinaires. Mise au point d'un sondeur sismique multi-faisceaux adapté au milieu lacustre
Markus Schwab	GZF, Potsdam	Allemagne	Stratigraphie, chronologie et paléoenvironnements déduits des enregistrements sédimentaires de maars de la Chaîne des Puys

En matière de volcanologie, outre des étudiants et des enseignants étrangers travaillant au sein du Laboratoire Magmas et Volcans, une dizaine de collaborations ont été entamées :

Chercheur	Université	Pays	Thématique
Thor Thordarson	Edimbourg / Reykjavik	Royaume-Uni / Islande	Laves du puy de Côme : étude de la structure et de la texture des coulées de laves
Linda Kirsten	Edimbourg	Royaume-Uni	Inversion de reliefs, érosion et soulèvements autour de la Chaîne des Puys
Mike Petronis	New Mexico Highlands	États-Unis	Intrusions de lave, dykes, coulées de Royat et Lemptégy
Valentin Troll & Dougal Jerram	Uppsala / Durham	Suède / Royaume-Uni	Incorporation et dissolution explosive des xénolites à Beaunit et Lemptégy
Nancy Dise	Arizona	États-Unis	Évolution des cônes de scories basaltiques : relation entre l'emplacement des coulées de lave et la croissance de cônes de scories
Pablo Grosse	Tucuman	Argentine	Morphométrie de la Chaîne des Puys
Valislav Rapprich	Prague	République Tchèque	Comparaison des volcans de la Chaîne des Puys avec ceux du Massif Bohémien
Mathieu Kervyn	Bruxelles	Belgique	Structure des téphras des cônes de scories de la Chaîne des Puys
Alessandro Tibaldi	Milan	Italie	Néo-tectonique et morphologie de la faille de Limagne
Alvero Marques	Madrid	Espagne	Structure et déformation des volcans du Teide et de la Chaîne des Puys : renaissance des cratères de soulèvement

Autre signe de dynamisme de cette recherche, plusieurs colloques internationaux se déroulent chaque année sur le territoire de la Chaîne des Puys, qui s'accompagnent d'excursions sur le terrain. Pour les années 2009-2012 :

Thématique	Organisateurs	Date
Excursion de terrain de la Société de Géologie de Londres	Benjamin Van Wyk de Vries	12-18 avril 2009
Colloque international sur le lac Pavin	Pierre Boivin et al.	14 -16 mai 2009
Inputs of ground-based Doppler radars to the study and monitoring of volcanic activity (European Science Foundation Workshop)	Franck Donnadieu et Olivier Roche	11-12 septembre 2009
International Lithosphere Program (ILP)	Benjamin Van Wyk de Vries	5-9 octobre 2009
IAVCEI Commission on Exposive Volcanism	Tim Druitt	26-29 octobre 2009
Excursion de terrain de l'Université d'Uppsala	Benjamin Van Wyk de Vries	10-17 avril 2010
International Association of Volcano Seismologists	Jean Battaglia	septembre 2010
Excursion de terrain de l'Université de Prague	Benjamin Van Wyk de Vries	avril 2012

Excursion de terrain, volcan de Lemptégy
(Source : P. Soissons)