

N° d'ordre :



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 2

Faculté des Sciences de la Terre et l'univers

Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade de Master en
Magmatisme, Géodynamique et Transfer lithosphérique

Thème :

**Etude pétrographie des xénolites ultrabasiques du volcanisme Alcalin Quaternaire du
fossé Rhénan Allemagne**

Présenté par :

**MAHBOUBI Aboubakeur Ameer
CHACHOUR Samia**

Soutenance 15 /06/2017
devant le jury composé de :

Mr. A SEDDIKI.....Président.

Mr. S MEDINI.....Encadreur.

Mr. M MAHMOUDI.....Examineur.

Remerciements

*Quelques lignes ne pourront jamais exprimer la reconnaissance que
Nous éprouvons envers tous ceux qui, de pris ou de loin, ont contribué, par
leurs conseils, leurs encouragements ou leurs amitiés à l'aboutissement de
Ce travail.*

Nos vifs remerciements accompagnés de toute notre gratitude

*Vont tout d'abord à **Allah** le tout puissant.*

*En premier lieu, nous adressons nos sincères remerciements à **Mr S.MEDINI**,*

qui nous a fait l'honneur de nous encadrer tout au long de ce travail.

*Ces conseils judicieux, son sens de la motivation, son appui infailible et la grande
liberté qu'il nous a laissée ont été des encouragements décisifs et précieux qui nous
ont permis de mener à bien ce travail, nous lui témoignons notre très vive et
respectueuse gratitude.*

*Nous remercions également très chaleureusement tous les enseignants du
département, en particulier **Me REMACI** , **Mr SEDDIKI**, **Mr MEDDINI**, **Mr
MAHMOUDI**, **Mr BENDOUKHA**, **Mr TABLIOUNA** pour leur solennité.*

*Notre reconnaissance va à tous nos enseignants de département des sciences de la
terre, et l'univers en général.*

*Enfin, nous remercions tous nos amis(es) pour leur soutien moral durant
cette expérience...*

Dédicace

A celle qui a attendu avec patience les fruits de leur bonne éducation...

A ma chère mère

*A ceux qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait
toujours les grands hommes...*

A mon cher père

A ceux qui ont m'encouragés toujours épaulés et supportés...

A mes chers frères et sœurs

À mon fiancée (A.H.R.H. A)

A mon binôme

À tous mes amis(es) et proches.

...Je dédie ce travail

MAHBOUBI Ameur

Dédicace

A mes Parents

Aucune dédicace ni aucun mot ne pourra exprimer la profondeur de mes sentiment pour vous. C'est avec le plus grand amour et dévouement que je vous offre ce modeste travail en hommage de ma gratitude.

Je ne vous remercierai jamais assez, j'espère simplement que vous êtes fiers de moi que DIEU vous prête longue vie afin que je puisse toujours vous combler.

A mes

Sœurs et

Mes frères

Et mon binôme

Vous étiez toujours mes meilleurs amis, trouvez en ce travail un faible témoignage de toute mon affectation et de ma tendresse.

A toute ma famille et mes ami(e)s

A tous ceux qui me sont chère

Chachour Samia

Résumé

Xénolithes mantélique des volcanites tertiaires du Rhénane Massif sont des roches fortement déformées avec des textures porphyroclastique. Sur la base des historiques de températures et de leur déformation, elles sont supposées être associées à updoming de matériau de manteau chaud.

Selon les données préliminaires, toutes les xénolites ont été touchées par l'élément d'enrichissement LIL.

En plus de xénolites porphyroclastiques similaires à celles de volcanites tertiaires, xénolithes libres amphibole avec des textures à grains grossiers et xénolithes amphibole porteurs avec des textures mosaïque se produisent dans le champ volcanique Quaternaire Ouest Eifel.

Les deux groupes sont équilibrées dans une plage de température étroite chacune, à environ 1150 ° C et 950 ° C, respectivement. Amphiboles xénolithes libres sont LIL élément appauvri très faiblement enrichi, avec 87 Sr / 86 Sr- et 143 Nd / 144 rapports Nd-isotopiques caractéristiques pour MORB.

Xénolithes Amphibole porteurs ont été touchés par un fort enrichissement de l'élément LIL et un changement concomitant dans Sr- et ratios Nd-isotopes vers ceux de CHUR.

On en déduit que les xénolites sont liés à une région d'atténuation de l'onde P qui a son altitude maximale à 50 km de profondeur sous l'Ouest Eifel.

La composition modale moyenne de lherzolite et xénolithes harzburgites de la dépression hessois est comparable à celle des inclusions du manteau appauvri communes des volcanites Eifel (74% en volume d'olivine, 18% en volume o-pyroxène, 6,7% en volume clinopyroxène).

Ils sont principalement équilibrée dans le domaine de température de 1000 ° à 1100 ° C et ont une structure à grains grossiers.

L'absence de xénolites fortement déformés et rééquilibrée à partir de la majorité des volcanites tertiaires indique des conditions statiques dans le manteau supérieur sous la région volcanique hessois.

Une exception est la zone Habichtswald, où pyroclastiques contiennent recristallisés et péridotites du manteau métasomatose modifiés.

Table des matières

Chapitre I : Généralités sur les roches ultramafiques

Introduction.....	1
I. Généralités sur les roches ultramafiques.....	1
I.1. Définition.....	1
I.2. Constituants minéralogiques des roches ultramafiques.....	1
I.3. Classification et nomenclature des roches ultramafiques.....	1
I.4. Caractères texturaux des enclaves ultramafiques.....	4
I.5. Origine des enclaves ultramafiques.....	7
a) Les enclaves homogènes.....	7
b) Les enclaves énallogènes.....	7
I.6. Constitution du manteau supérieur et genèse des magmas basaltiques	8

II. Etudes des enclaves dans le fossé rhénan

II.1. Introduction.....	9
II.2. Contexte géographique.....	12
a) Les chaînes et massifs montagneux les plus marquants	13
b) Le climat.....	14
c) Hydrographie.....	14
d) Faune et flore.....	14
e) Population urbaine et agglomérations.....	14
II.3. Contexte géologique.....	15
II.3.1. Esquisse stratigraphique du fossé Rhénan	16
II.3.1.1. Les terrains du socle et leur couverture paléozoïque.....	17
a) Les terrains Cristallins (Socle)	17
b) La couverture paléozoïque	17
✓ Le Carbonifère.....	17
✓ Le permien	17

II.3.1.2. Les terrains secondaires.....	18
✓ Le trias	18
✓ Le jurassique.....	18
II.3.2. Paléogéographie	20
II.4. La tectonique.....	22
II.5. Le mécanisme de formation	22
II.6. Le volcanisme	23
II.7. Magmatologie.....	25
II.8. Pétrographie.....	26
II.8.1. Le volcanisme exprimé dans cette région se manifeste selon deux zones	26

III. Etudes pétrographique

III.1. Etudes pétrographique des nodules ultramafique de la région.....	34
III.2. Les lames minces étudiées.....	35
a) Lherzolite	35
✓ Description macroscopique	35
✓ Description microscopique	35
b) Harzburgite	38
✓ Description macroscopique.....	38
✓ Description Microscopique	38
c) Dunite	42
✓ Description macroscopique	42
✓ Description Microscopique.....	42
III.3. Conclusions	47

Références Bibliographie

Annex

Introduction :

La structure et la composition du manteau supérieur, tant du point de vue physique que chimique, ne peuvent être étudiées que de deux manières :

- ✓ Indirectement par l'interprétation des données sismologiques, en particulier tomographiques, et par des modélisations numériques ;
- ✓ directement par l'étude d'échantillons mantelliques remontés, à la surface du globe, par divers processus dynamiques.

Parmi ceux-ci, les différents auteurs s'accordent à distinguer une mise en place tectonique pour les massifs péridotitiques et les ophiolites et un "ramonage" par les basaltes, les kimberlites et les lamproïtes pour les enclaves. Celles-ci peuvent révéler un échantillonnage diversifié de niveaux profonds de la lithosphère parfois répartis sur plus d'une centaine de kilomètres de profondeur (Nixon et Davies, 1987).

Ces enclaves sont comparables aux massifs de péridotites orogéniques et aux semelles des associations ophiolitiques, mais sont bien évidemment de taille plus petite. Cependant, pour ces dernières, il est très difficile d'établir, à la différence des massifs de péridotites ou des ophiolites, les relations géométriques entre les différents constituants mantelliques.

Cette difficulté est, par contre, largement compensée par le fait que les enclaves ont subi, depuis leurs zones de prélèvement dans le manteau jusqu'en surface, une histoire crustale (tectonique et métamorphique) moins complexe que celle des massifs (Dautria, 1988). D'autre part, leur séjour, parfois de courte durée, dans les magmas basaltiques porteurs, ne semble pas les avoir affectées de façon importante (thermo-métamorphisme).

Ces trente dernières années, les enclaves ultramafiques remontées par différents types de magmas continentaux ou océaniques ont, à nouveau, fait l'objet de nombreuses études structurales, pétrologiques et géochimiques afin, notamment, de préciser les modes de circulation des magmas et des fluides au sein du manteau ainsi que les réactions magmaspéridotites qui découlent de cette circulation.

Les variations texturales, minéralogiques et géochimiques révélées par un échantillonnage diversifié d'enclaves au sein d'un même massif volcanique, peuvent être ainsi considérées comme reflétant de véritables forages profonds du manteau supérieur à l'aplomb du massif et les hétérogénéités constatées peuvent alors être interprétées en terme de différents processus

pétrogénétiques intervenant à différentes échelles (fusion partielle à taux variable, interactions manteau-magmas, métasomatisme mantellique, ...etc).

C'est dans ce contexte particulier que nous nous sommes intéressés à l'étude des verres volcaniques piégés dans certaines enclaves ultramafiques associées aux produits éruptifs du volcanisme alcalin Plio-quaternaire d'Oranie. Leur origine sera envisagée à la lumière de leurs caractéristiques texturales, minéralogiques et géochimiques.

Dans ce chapitre, nous proposons d'abord des généralités sur les roches ultramafiques et leur nomenclature, en se focalisant beaucoup plus sur leurs caractères texturaux et leurs origines.

I. Généralités sur les roches ultramafiques :

I.1. Définition :

Le terme ultramafique comprend toute une gamme de roches holomélanocrates, à texture grenue, et constituées pour plus de 90% de leur volume par des minéraux colorés très riches en Mg et Fe et qu'on dit minéraux mafiques.

Les roches ultramafiques sont basiques à ultrabasiques ($\text{SiO}_2 < 52\%$).

I.2. Constituants minéralogiques des roches ultramafiques :

Les minéraux des roches ultramafiques sont très riches en Mg et Fe et peuvent comporter des teneurs relativement élevées en aluminium et calcium. Trois espèces minérales essentielles forment ce type de roches : olivine, pyroxènes et amphibole l'olivine est très magnésienne et proche du pôle forstérite (Fo85-Fo95).

L'ortho pyroxène est de type enstatite à bronzite. Le clin pyroxène est généralement représenté par du diopside ou de l'augite. L'amphibole, riche en Mg, Al et Ca, est souvent de la pargasite ou de la kaersutite.

D'autres espèces minérales, mais en faibles quantités, s'associent assez souvent à ces phases. Ce sont du plagioclase, du spinelle chromifère, alumineux et magnésien, du mica noir de type phlogopite ou encore du grenat riche en Mg et Al de type pyrope.

I.3. Classification et nomenclature des roches ultramafiques :

Selon la prédominance de l'une des trois espèces minérales essentielles : olivine, Pyroxène ou amphibole, les roches ultramafiques sont globalement subdivisées en trois (03) grandes familles :

- ✓ les péridotites (à olivine dominante : $\text{Ol} > 40\%$) ;
- ✓ les pyroxénites (à pyroxènes dominants) ;
- ✓ les hornblendites (à amphibole dominante).

Les péridotites sont plus abondantes que les pyroxénites alors que les hornblendites sont plus rares.

La présence d'autres espèces minérales (plagioclase, spinelle ou grenat) en quantités accessoires (<10 %) peuvent s'associer à la phase essentielle conduit à la distinction de plusieurs variétés au sein de chaque famille parmi ces roches ultramafiques (**Tab.1**).

Parmi ces espèces minérales, on reconnaît le plus souvent des phases alumineuses liées à la pression d'équilibre (BP \square HP) telles que plagioclase, spinelle ou grenat, ou encore des phases hydroxylées telles que le mica noir.

Roches	Plagioclase	Spinelle	Grenat
Péridotites	Péridotites à plagioclase	Péridotites à spinelle	Péridotites à grenat
Pyroxénites	Pyroxénites à plagioclase	Pyroxénites à spinelle	Pyroxénites à grenat
Hornblendites	Hornblendites à plagioclase	Hornblendites à spinelle	

Tab.1 : Classification des roches ultramafiques en fonction de la nature de la phase alumineuse (plagioclase, spinelle, grenat).

La nomenclature des roches ultramafiques est basée principalement sur la nature du ou des minéraux ferromagnésiens prédominants dans la roche.

Quatre minéraux essentiels sont considérés dans la classification modale de Streckeisen (1976) : olivine, ortho pyroxène, clin pyroxène et amphibole (**Fig.1 et 2**).

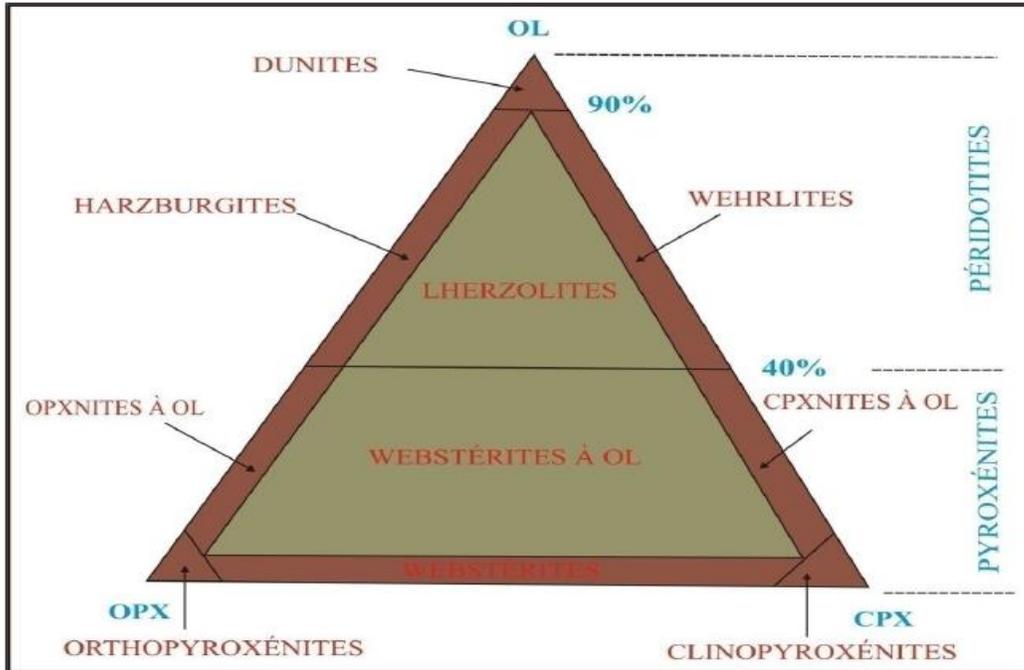


Fig.1 : Classification des roches ultramafiques dans le diagramme (Ol - Opx - Cpx) de Streckeisen (1976).

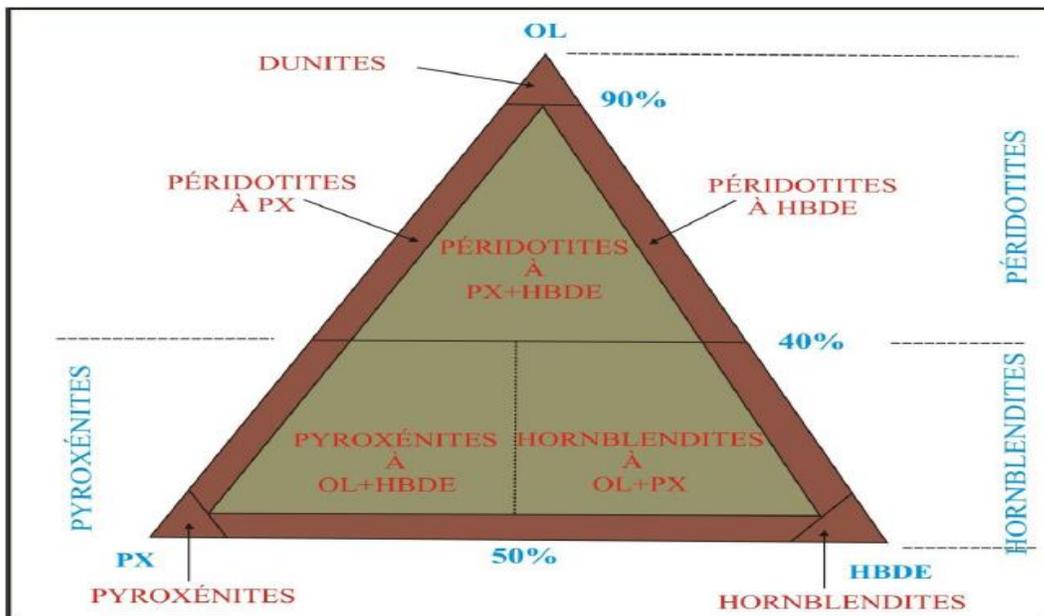


Fig.2 : Classification des roches ultramafiques dans le diagramme (Ol - Px - Hbde) de Streckeisen (1976).

I.4. Caractères texturaux des enclaves ultramafiques :

Sur la base de leurs caractères texturaux, les enclaves ultramafiques peuvent être subdivisées en deux grands groupes principaux en fonction de leurs implications dans les processus magmatiques et métamorphiques profonds.

On distingue ainsi :

- ✓ des enclaves de cumulats ;
- ✓ des xénolites mantelliques ;

Les enclaves de cumulats sont caractérisées par des textures magmatiques, le plus souvent à caractère cumulatif, et dans lesquelles au moins une phase minérale est automorphe à sub automorphe et constitue la phase de cumulus.

Les autres espèces cristallines peuvent être xénomorphes et interstitielles et forment l'inter cumulus ou post-cumulus.

En se basant sur les proportions des phases post-cumulus, Irvine (1982in Grégoire, 1994) propose une classification purement descriptive (**Tab.2**).

types texturaux	Caractéristiques
adcumulat	un ou plusieurs minéraux cumulus pratiquement jointifs et montrant les excroissances secondaires (0-5 % de minéraux en intercumulus).
mésocumulat	cumulat présentant des caractères hybrides d'orthocumulat et d'adcumulat (7-25 % de minéraux post-cumulus) cas très fréquent.
orthocumulat	un ou plusieurs minéraux précoces (cumulus) liés par des minéraux tardifs abondants (25-50 % en volume) ± poecilitiques (post-cumulus).
hétéradcumulat	un minéral cumulus cimenté par de grandes plages poecilitiques d'un ou plusieurs minéraux post-cumulus
cumulat "harristique"	olivines allongées disposées parallèlement les unes aux autres et cimentées par d'autres minéraux poecilitiques
cumulat à texture ordinaire	texture grenue quelconque sans évidence de phase cumulus
cumulat à texture réactionnelle	liserés réactionnels ou figures de remplacement entre minéraux voisins

Tab2 : Nomenclature des types texturaux à caractère cumulatif (selon Irvine, 1982).

La texture des enclaves ultramafiques est une caractéristique importante, autant que peut l'être le mode minéralogique ou la chimie.

Elle peut être soit d'origine magmatique soit métamorphique, et nous renseigne sur l'histoire locale du manteau à laquelle les roches ultramafiques ont été associées.

Il existe plusieurs nomenclatures texturales (Mercier et Nicolas, 1975 ; Harte, 1977, etc...), utilisée pour caractériser le manteau terrestre. Depuis vingt ans, ces classifications n'ont été que peu révisées.

Les roches ultramafiques magmatiques ont généralement des textures dites cumulatives ces textures résultent de processus de dépôt de minéraux et se distinguent en fonction de la proportion des minéraux précoces (cumulus) et des minéraux interstitiels tardifs (post-cumulus ; Irvine, 1982).

Les principales textures métamorphiques des roches du manteau supérieur sont aux nombres de quatre (Mercier et Nicolas, 1975 ; Harte, 1977 ; Mercier, 1977 ; cf.). (**Tab3**).

Texture	Dimension moyenne des grains >2mm ;
protogranulaire [*]	Trace de déformation absentes ; Limites de grains courbes, mais localement peuvent être polygonales avec quelques rares néoblastes (<0.5mm) présentant une orientation commune alors que les gros grains n'ont pas de fabriques apparentes.
Texture	Distribution bimodale des tailles de grains : porphyroclastes (3-6 mm) et néoblastes (<0.5 mm) ;
porphyroclastique [*]	Trace de déformation présentes (extinctions ondulantes : « kink bands ») dans les porphyroclastes ; Foliation marquée par les porphyroclastes (proportions >10%).
Texture	<i>Type mosaïque</i> : limites de grains planes, jonctions triples à 120°. Néoblastes majoritaires avec des limites de grains polygonales et les porphyroclastes représentent moins de 10% de l'échantillon.
equigranulaire [*]	<i>Type tabulaire</i> : olivines aplatis, « rectangulaires ». Néoblastes majoritaires avec des limites de grains polygonales et les porphyroclastes représentent moins de 10% de l'échantillon.
Texture	<i>Type mosaïque ou tabulaire</i> : Rares porphyroclastes. Taille de grain est inférieure à 2mm, excepté pour les porphyroclastes. Les limites de grains sont légèrement courbes et sont en route vers une polygonisation.
granoblastique [^]	Texture peu fréquente ;
pœcilitique ⁺	Cristaux géants d'olivine pœcilitiques (jusqu'à 6 cm) englobant cpx et opx.

Tab3 : Récapitulatif des textures métamorphiques décrites par (Mercier et Nicolas (1975), et Mercier (1976) et Harte (1977)).

I.5. Origine des enclaves ultramafiques :

Les deux groupes d'enclaves ultramafiques (cumulats et tectonites) peuvent être distingués selon les relations qui les lient aux laves « hôtes ».

On distingue ainsi des enclaves homogènes ou agglomérats (Vilminot, 1962) et des enclaves énallogènes ou xénolites (Mercier, 1972 ; Conquéré et Kornprobst, 1974 ; Frey et Prinz, 1978).

a) Les enclaves homogènes :

Ces roches sont caractérisées par des textures franchement magmatiques à caractère cumulatif.

Elles sont représentées par des faciès pétrographiques très variables mais constitués essentiellement de péridotites, de pyroxénites et d'hornblendites.

Ces enclaves résultent de processus de cristallisation de magmas dans les conditions du manteau supérieur ou de celles régnant dans la croûte.

Elles sont donc génétiquement liées soit au cycle magmatique qui a généré les laves "hôtes" soit à un cycle magmatique antérieur (Irving, 1974b ; Best, 1975 ; Ludden, 1977 ; Berger, 1981 ; Grégoire, 1994 ; Moine, 2000).

b) Les enclaves énallogènes :

Cette famille regroupe toutes les roches qui n'ont aucun lien génétique direct avec les magmas « hôtes » et correspondent donc à des fragments de roches d'origine mantellique, arrachés aux parois des chenaux, au cours de leurs ascension vers la surface.

Ces roches sont caractérisées par des textures de tectonites et par une prédominance des péridotites associées à quelques pyroxénites elles sont définies comme des xénolites mantelliques par Frey et Prinz (1978).

Elles ont subi des processus de déformation et de recristallisations et proviennent des zones situées entre les sources des basaltes et le Moho.

I.6. Constitution du manteau supérieur et genèse des magmas basaltiques :

L'étude des xénolites mantelliques a également pour objet d'aborder deux problèmes fondamentaux à savoir : la composition et la constitution du manteau, d'une part, et le problème de la genèse des magmas basaltiques à partir des péridotites d'autre part.

Ainsi, de nombreux auteurs dont Green et Ringwood (1967) et O'Hara (1970) sont arrivés à admettre qu'une péridotite à quatre (04) phases (Ol + Cpx + Opx + phase alumineuse), capable de donner naissance, par fusion partielle à des magmas basaltiques, serait le matériau constitutif principal du manteau supérieur. (Green et Ringwood (1967) ont proposé une composition chimique théorique connue sous le nom de "pyrolite" qui se distingue de la composition des lherzolites naturelles par des teneurs plus élevées en TiO₂, Al₂O₃, Fer total, CaO, K₂O et Na₂O.

Leurs travaux expérimentaux ont montré qu'à cette pyrolite et pour des pressions croissantes, correspondent des assemblages lherzolitiques successivement à plagioclase, à spinelle puis à grenat.

Cette évolution minéralogique existerait probablement dans le manteau supérieur depuis les zones les plus superficielles jusqu'aux zones les plus profondes.

Cette péridotite primaire, par diminution de pression à température constante ou par élévation de celle-ci, fonderait partiellement et donnerait naissance à un magma basaltique dont la composition dépend de la température et de la pression, pour un seul part, et du taux de fusion d'autre part.

A cette fusion succède la ségrégation puis l'ascension vers la surface du liquide basaltique formé.

aII. Études des enclaves dans le fossé rhénan :

II.1. Introduction :

Notre secteur d'étude appartient au Rift Ouest-Européen, il s'agit d'une région où la croûte terrestre s'amincit ; les Alpes et les Pyrénées en développement ont exercés des contraintes de compression sur la plaque européenne pendant le Paléocène et causé l'amincissement lithosphérique et apparition de bassin (fossé d'effondrement) sur des distances allant jusqu'à 1700 km au nord du fronts de déformation pyrénéens et alpins (Dezes et al., 2004) cette déformation a été accompagnée sur place par l'injection de masses fondues en surface.

Au cours de l'Eocène moyen, le système de rift cénozoïque européen (ECRIS) commence à se former à la suite des contraintes de compression intra plaque nord dirigée qui ont entraîné des processus aboutissant dans notre cas à la formation du fossé rhénan.

Un rift forme un fossé d'effondrement allongé, dont les dimensions peuvent atteindre quelques dizaines de kilomètres de large pour plusieurs centaines de kilomètres de long.

Cette dépression allongée, limitée par deux failles normales dites failles bordières, c'est le lieu d'une sédimentation le plus souvent lacustre et d'un volcanisme intense soutenu parce qu'ils sont le lieu de l'amincissement de la lithosphère, les rifts représentent le stade initial de la rupture lithosphérique.

Cette lithosphère continentale est composée d'une partie supérieure de 30km peu dense, la croûte de composition globalement granitique, et d'une partie inférieure de 100km très dense, constituée de péridotite (roche du manteau). L'ensemble est appelé la lithosphère et constitue la plaque proprement dite qui se déplace sur du manteau déformable dénommé asthénosphère.

L'amincissement de cette lithosphère, c'est-à-dire la formation d'un rift, peut se produire à la suite de deux mécanismes fondamentaux distincts : le rifting actif ou passif.

L'évolution tectonique est alors très différente suivant l'un ou l'autre de ces deux modes d'amincissement.

Notre région d'étude correspond plus précisément à un rifting de type passif, un rift est dit passif lorsque l'extension résulte de forces trouvant leur origine aux limites de la plaque tectonique.

Quand l'écartement des plaques est la cause première de la déchirure, par exemple l'activité d'une zone de subduction, une collision lointaine de deux plaques notre cas représentée par la chaîne alpine, des mouvements asthénosphériques ; Il y a alors extension tectonique superficielle et création d'un fossé subsident, puis remontée de l'asthénosphère, des reliefs bordant le rift, avec un volcanisme alcalin.

Celle-ci s'étire alors horizontalement comme un chewing-gum, ce qui provoque d'abord en surface des fossés d'effondrement (grabens) qui se combleront de sédiments et où le volcanisme est généralement absent ce n'est que dans un second temps qu'un soulèvement d'origine thermique et un volcanisme concomitant se produit. L'évolution tectonique classique associée à ce mode de rifting correspond alors à la suite chronologique : 1 extension et sédimentation puis 2. Soulèvement et volcanisme.

Une particularité du volcanisme alcalin intra plaque continental est de remonter à la surface des xénolites mantelliques, ce qui permet d'avoir une idée sur la composition de la lithosphère, et de pouvoir retracer son histoire.

Les nodules mantelliques montrent des compositions géochimiques et isotopiques très variables ; il en est de même de leurs textures ces hétérogénéités ont été interprétées comme étant le résultat d'une interaction entre le manteau supérieur appauvri, source des MORBs, avec un matériel enrichi.

Les péridotites, qui sont de loin les plus abondantes, ont les caractères structuraux, minéralogiques et chimiques des lherzolites et des roches associées présentes dans les zones de plissement alpin souvent désignées sous le nom de « nodules », ces roches représenteraient le matériau constituant le manteau supérieur de la terre dans la zone même où le basalte a pris naissance ou au-dessus de celle-ci.

Le fait que ce type d'enclave ne soit présent que dans les laves basaltiques alcalines n'est pas encore clairement expliqué une péridotite à quatre phases (olivine, orthopyroxène, clinopyroxène et phase alumineuse) capable de donner naissance, par fusion partielle, à des magmas basaltiques serait le matériau constitutif essentiel du manteau supérieur.

Les lherzolites, harzburgites et dunités observées à la surface, en massifs ou en enclaves, ne représenteraient dans la plupart des cas que le résidu réfractaire de l'anatexis ayant, à des degrés variables, affecté la péridotite primaire.

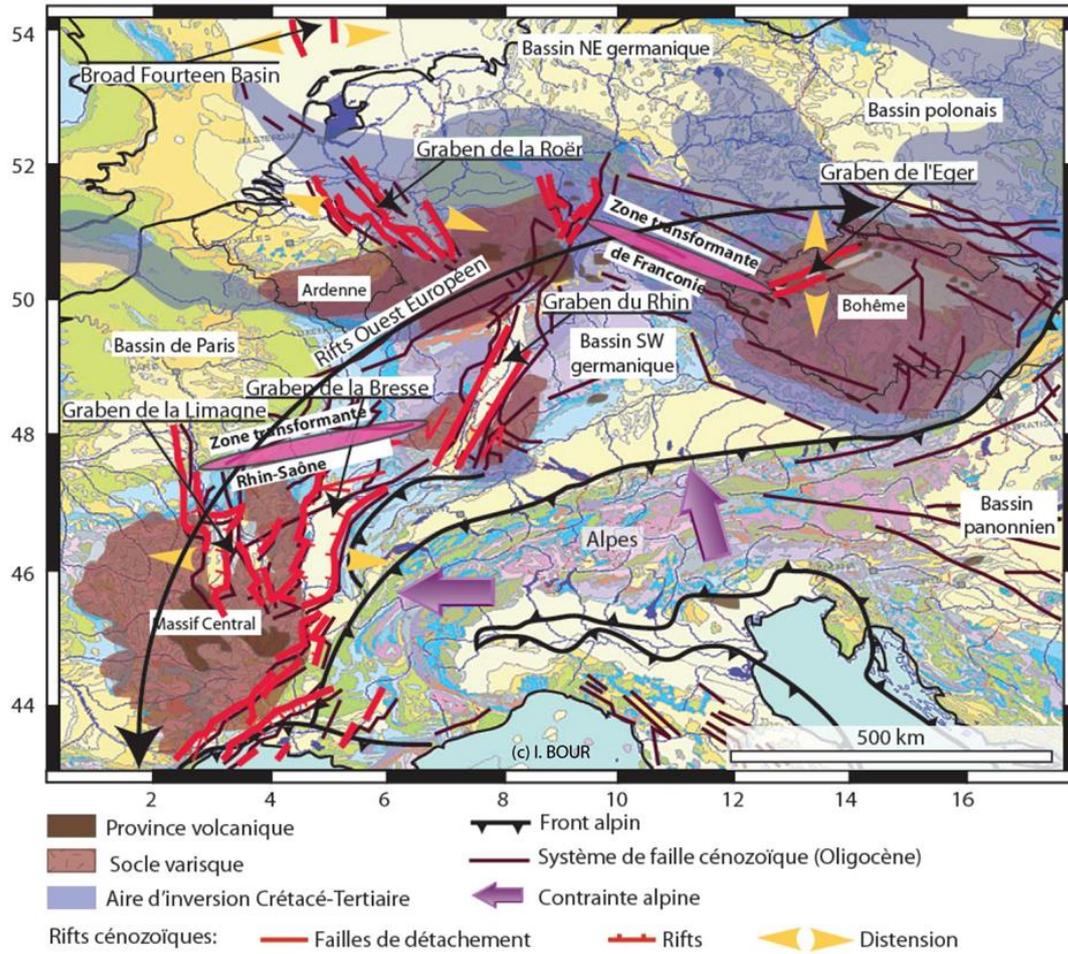


Fig.3 : systèmes de failles et provinces magmatique structurant l'Europe de ouest et centrale à l'oligocène (d'après Ziegler et Dézes, 2005 ; Michon et al. 2003).

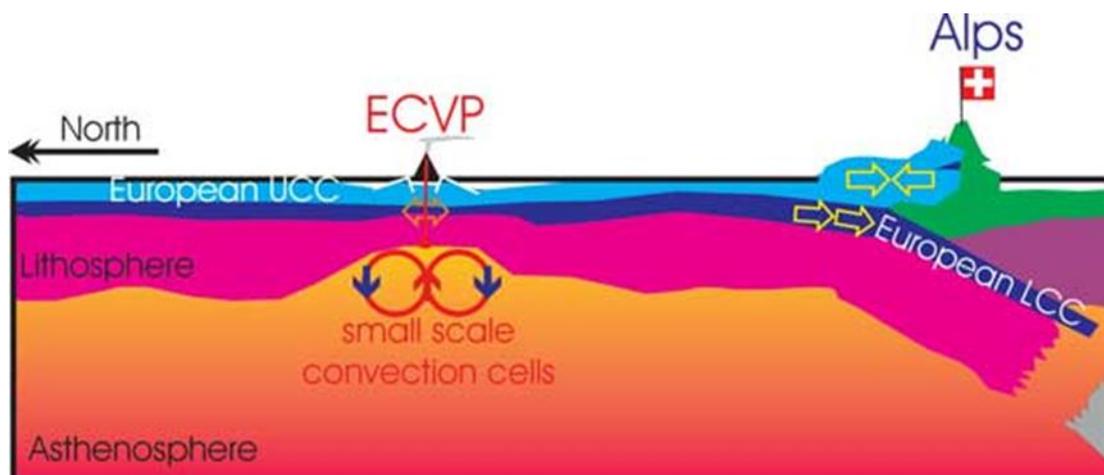


Fig4 : Schéma du modèle géodynamique proposé ici d'expliquer l'origine de l'ECVP. Subduction alpine de la croûte continentale inférieure européenne amincit la croûte dans le préalpes à sutures varisques.

II.2. Contexte géographique :

Le fossé rhénan ou graben du Rhin (ou rift rhénan) est une dépression d'orientation nord-nord-est/sud-sud-ouest s'étalant de Bâle (Suisse) à Francfort-sur-le-Main (Allemagne), sur plus de 300 km pour une largeur maximale de 40 km.

Il appartient au système de grabens du rift ouest-européen, daté de l'Oligocène, et est délimité par la Forêt-Noire et l'Odenwald à l'est, les Vosges et le Pfälzerwald à l'ouest, le massif du Jura au sud, et le Taunus au nord il est traversé dans le sens de la longueur par le Rhin (Rhin supérieur), du sud vers le nord.

La plaine d'Alsace se trouve dans la partie sud-ouest du fossé rhénan. L'autoroute allemande A5 traverse le fossé rhénan entier de Francfort via Darmstadt, Mannheim, Karlsruhe, Baden-Baden, Offenbourg, Fribourg jusqu'à Bâle.

Le relief est largement marqué par la glaciation de Würm. Ainsi il s'organise de façon simple : au sud de la Bavière, les Alpes constituent la marche la plus haute ; cependant les montagnes restent moins élevées (moins de 3 000 mètres) que dans les pays limitrophes. Puis on traverse une zone d'altitude modeste (moins de 1 500 mètres) avec des massifs hercyniens érodés (Mittelgebirge ou « montagne moyenne »), traversés par des cours d'eau encaissés (Rhin, Danube et leurs affluents) elle est semée d'intrusions d'origine volcanique comme l'Eifel ou le Rhön.

Les principaux massifs sont le Massif Schisteux Rhénan, les monts Métallifères et le Hartz le fossé rhénan est soumis au risque sismique sur la bordure septentrionale des Mittelgebirge se trouve la région des Börde, rendue fertile par les dépôts de lœss.

Enfin, tout le nord du pays est formé de la Plaine d'Allemagne du nord on y rencontre des paysages de collines, de lacs, de marécages et de chenaux postglaciaires sur la côte de la mer Baltique, de nombreux abris naturels ont permis l'aménagement de ports depuis le Moyen Âge sur le littoral de la mer du Nord, la Frise est un archipel d'îles sableuses exposées aux courants marins

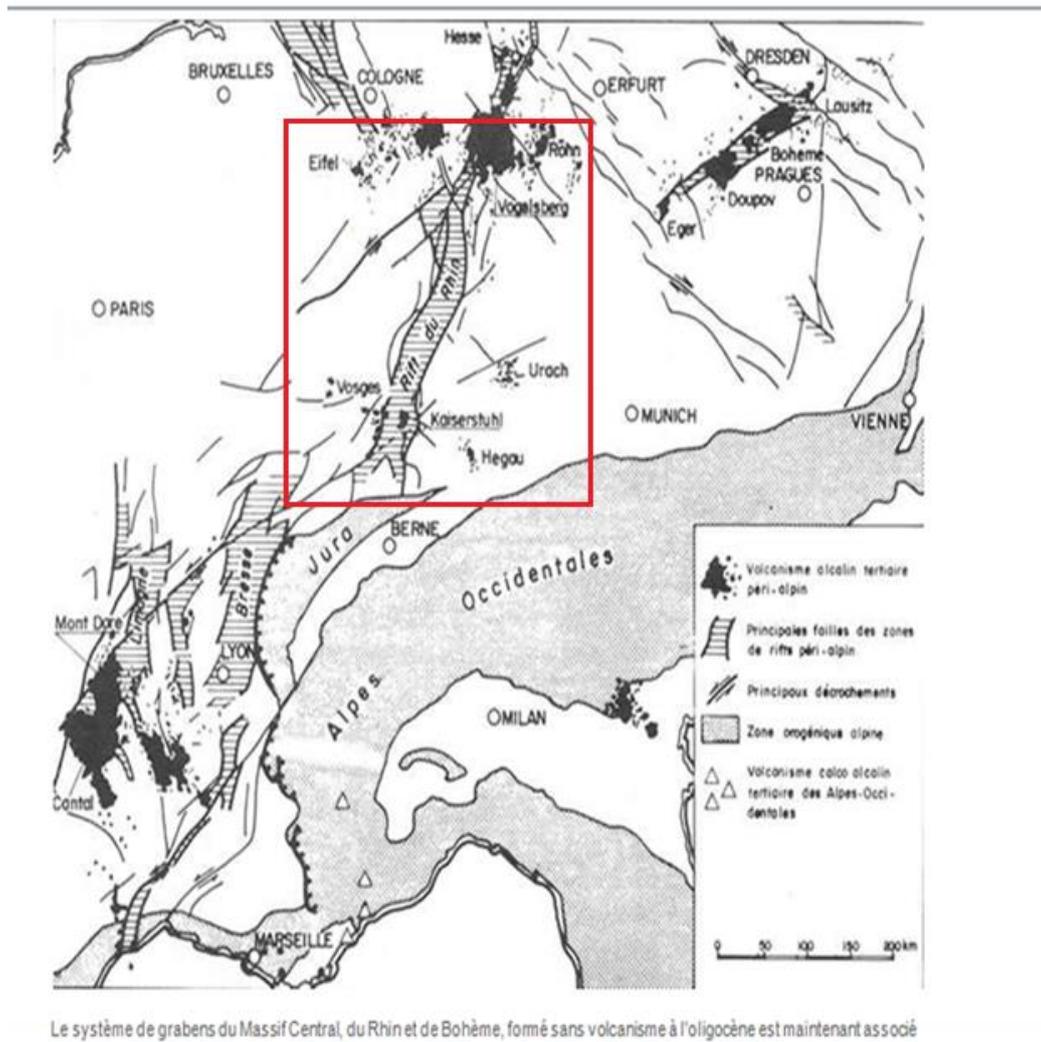


Fig. 5 : Carte de localisation le graben du Rhin.

a) Les chaînes et massifs montagneux les plus marquants sont :

Les Alpes que l'on peut séparer en trois régions distinctes d'ouest en est : les Alpes algaviennes au nord-est du lac de Constance forment un cercle autour des sources de l'Iller (point culminant avec la Mädelegabel, 2 721 m); les Alpes bavaroises ou préalpines à partir du Lech, où se trouvent les sommets les plus élevés, la Zugspitze (2 962 m), le Hochwanner (2 746 m) et le Watzmann (2 713 m) ;

Les derniers contreforts des Alpes de Salzbourg, au-delà de l'Inn (Sonntags Horn, 1 962 m) la Forêt-Noire au sud-ouest, dominée par le Feldberg (1 493 m) et le Schauinsland (1 284 m) ; la forêt de Bavière (Bayerischer Wald) qui culmine au Großer Arber (1 456 m) ; les monts Métallifères (Erzgebirge) à la frontière tchèque, où se situent le Auersberg (1 019 m) et le point culminant de l'est de l'Allemagne, le Fichtelberg (1 215 m)

=le Harz au sud de la Basse-Saxe et à l'ouest de Saxe-Anhalt où se trouve le Brocken (1 142 m).

Autres massifs montagneux: Eifel, Elbsandsteingebirge, Fichtelgebirge, Hunsrück, Kyffhäuser, Forêt du Haut-Palatinat, Odenwald, Rhön, Rothaargebirge, Jura souabe (SchwäbischeAlb), Taunus, Forêt de Teutoburg, Forêt de Thuringe, Westerwald, Wiehengebirge, Monts de Zittau.

b) Le climat :

La région se trouve dans la zone tempérée de l'hémisphère nord, et jouit pour cette raison d'un climat continental tempéré, avec une influence océanique au nord-ouest : c'est à vrai dire un climat de transition entre celui de l'Europe océanique (façade atlantique) et l'Europe continentale.

c) Hydrographie :

Vu l'organisation du relief en Allemagne, résultant du recul des glaciers vers le nord à la fin de la glaciation de Würm, la plupart des fleuves coulent vers le nord et se jettent soit dans la mer du Nord, soit dans la mer Baltique.

d) Faune et flore :

30 % du territoire allemand est couvert par la forêt (feuillus ou conifères) 4 les landes et les tourbières occupent une partie du nord du pays la région abrite une faune riche en animaux sauvages.

On croiera le plus souvent dans les forêts de grands mammifères comme les daims, les cerfs et les chevreuils les sangliers sont très nombreux, tout comme les écureuils et les renards .

e) Population urbaine et agglomérations :

Avec 87 % de citadins, l'Allemagne est l'un des pays les plus urbanisés de la planète le réseau urbain n'est pas dominé par une seule ville. Berlin ne compte que 3,4 millions d'habitants et se place derrière Moscou, Paris, Londres ou Saint-Petersbourg en termes d'agglomération.

La densité y est 6 fois inférieure à celle de Paris. 13 villes ont plus de 500 000 habitants ; 85 villes ont plus de 100 000 habitants, ce qui représente environ 26 millions d'individus mais la majorité des Allemands réside dans les villages et les petites villes : plus de sept millions vivent dans des communes qui ne dépassent pas 2 000 habitants. 46 millions habitent dans des communes comprises entre 2 000 et 100 000 habitants.

II.3. Contexte géologique :

Le Bouclier Rhénan est globalement orienté WSW-ENE et est constitué de sédiments paléozoïques faiblement métamorphisés (du Cambrien au Carbonifère) il correspond à la zone externe de la chaîne varisque dans laquelle les sédiments ont subi une tectonique plicative et des chevauchements vers le Nord (Murawski et al, 1983).

Perpendiculairement à l'orientation générale du Bouclier Rhénan, la dépression de l'Eifel correspond à la structure principale.

À l'Ouest de cette dépression, les sédiments pré-dévonien ont subi un métamorphisme anté-varisque et toute la pile est recoupée par la faille du Midi. Cet accident majeur dans les Ardennes ne se retrouve pas à l'Est de la dépression de l'Eifel et les rares reliques de sédiments pré-dévonien ne présentent pas de métamorphisme initial (Murawski et al, 1983).

À partir du Carbonifère supérieur et jusqu'au Permien, la tectonique extensive qui a affecté l'ensemble de la chaîne varisque a induit la création de bassins limités par de grandes failles normales dont la faille de Taunus-Hunsrück qui constitue la bordure méridionale du Bouclier Rhénan.

Au Sud du Bouclier Rhénan, les deux massifs hercyniens des Vosges et de la Forêt-Noire correspondent à la zone interne de la chaîne hercynienne. Ces deux ensembles sont constitués de roches plutoniques et métamorphiques.

Les principales unités géologiques correspondent à peu près à celles des régions naturelles. Quatre régions naturelles se partagent la surface de la feuille :

- La zone orientale des Vosges cristallines moyennes.
- Le domaine des collines sous-vosgiennes.
- La plaine du Rhin.
- Le massif du Kaiserstuhl.

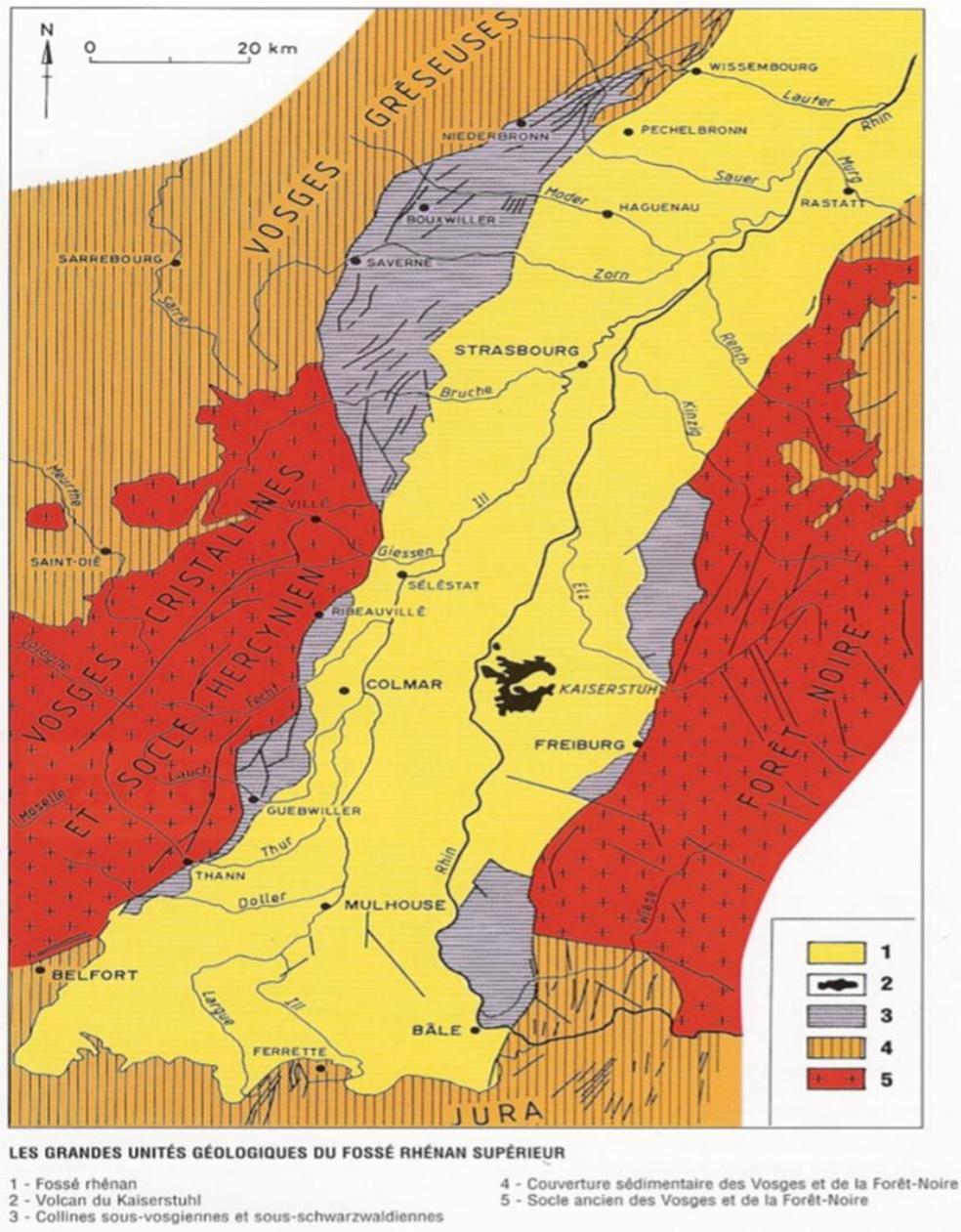


Fig.6 : Aspect géologique et localisation du Fossé Rhénan (Rousse, 2006; d'après Brun et al, 1991).

II.3.1. Esquisse stratigraphique du fossé Rhénan :

Par rapport à c'est quatre régions nous efforcerons d'établir une succession stratigraphique assez complète de l'ensemble de la région.

Les traits essentiels de la structure actuelle n'ont été réalisés qu'au cours du Tertiaire ; ils font suite à une longue histoire géologique dont nous essaierons de retracer les principales étapes.

II.3.1.1. Les terrains du socle et leur couverture paléozoïque :

a) Les terrains Cristallins (Socle) :

Le Socle méridional, avec les premiers lambeaux de Dinantien. Ce socle, partie intégrante du socle précambrien de l'Europe moyenne (Modanubien) affleure sur le versant alsacien des Vosges moyennes.

Seul le petit secteur situé au Sud-ouest de Wintzenheim fait partie des Vosges constitué de gneiss, de granito-gneiss et des produits de leur réactivation hercynienne précoce, anatectique (migmatites) ou tardive (granites intrusifs à caractère syénitique).

b) La couverture paléozoïque :

Les premiers dépôts paléozoïques identifiés sur la feuille appartiennent au Viséen. Sans doute constitués, à l'origine (comme dans les Vosges méridionales), par des alternances de schistes à plantes et de grauwackes (faciès Culm), les sédiments viséens ont été plissés et métamorphisés lors des mouvements tectoniques anté-namuriens.

✓ Le Carbonifère:

- Le Viséen :

Schistes, cornéennes et amphibolites (h2a) granitisés. C'est un complexe schistes-arkosique métamorphisé à grain fin, à passées d'amphibolites.

Cette série a été soumise à un métamorphisme thermique (schistes noduleux à nodules de cordiérite et cornéennes) occasionné par la mise en place de corps granitique.

- Le Namuro-Westphalien et Westphalien :

Conglomérats, arkoses et schistes noirs uranifères à minces veines de houille (70m).

✓ Le permien :

Argiles, sables argileux et arkoses rouge violacé (0 à 30 m). Ce sont des couches argilo-gréseuses à teintes dominantes rouge violacé et rouge lie-de-vin. Leur épaisseur oscille entre 20 et 30 m.

II.3.1.2. Les terrains secondaires:

✓ Le trias :

Formation détritique essentiellement gréseuse, de couleur généralement rouge (100 à 180m) disposés en bancs épais de 0,50 m à 6 m ; la stratification est oblique ou entrecroisée, le plus souvent horizontale. Aucun fossile n'y a été observé.

Le Grès repose soit directement sur les roches cristallines du socle, soit sur des lambeaux permien.

✓ Le jurassique:

- le lias :

- **Hettengien –sinémurien:**

Calcaires et marnes à Gryphées (10-15 m).

- **Pliensbachien :**

Calcaire épais 60m en banc de 0,20 à 1 m, riche en ammonites.

- **Le Carixien :**

Début par les marnes à Zeillerianumismalis, marnes bleu-noir à nodules calcaires et concrétions ferrugineuses avec quelques intercalations de calcaire marneux.

- **Le Domerien :**

Complexe marneux (30 à 40m) surmonté de calcaires gréseux à Pleurocerasspinatum (2 à 3 m).

- **Le Toarcien :**

Marnes à rares intercalations calcaires (8 à 10m). Surmontés de des schistes argileux (10 à 12 m).

- **le Dogger :**

- **l'Aalénien :**

La sédimentation marneuse se poursuit avec un faciès semblable aux Marnes à Pleydelliaaalsis, alors que l'Aalénien supérieur calcaire annonce le Jurassique supérieur. (50 à 60m).

- **Le Bajocien :**

Alternent les marnes et les calcaires et une partie terminale envahie par un faciès calcaire particulier, le Grand oolithe. Zones d'Ammonites (de haut en bas) (80 à 180m).

- **Le Bathonien :**

Marnes à Rhynchonelle *alemanica* (épaisseur supérieure à 10 m). Un seul affleurement de Bathonien a été observé au sommet de la colline du Florimont (au Sud-est de Katzenthal). Ce sont des marnes jaunes à Rhynchonelle *alemanica*.

- **l'Eocène :**

Calcaire lacustre ; Sidérolithique (Bohnerz) (de 9 à 13m en sondage).

- **Oligocène :**

Après l'émersion du futur domaine Vosges—Forêt-Noire au Crétacé et le plissement de large amplitude de la surface pré tertiaire, les sédiments éocènes se déposent en discordance sur le Jurassique ; à l'Oligocène, l'effondrement progressif du fossé rhénan coupe en deux le massif Vosges—Forêt-Noire par le jeu de nombreuses failles subméridiennes ; dans le fossé, de grandes aires subsidences séparées par des seuils, sont envahies par des venues alternativement marines et saumâtres qui déposent des sédiments essentiellement marneux.

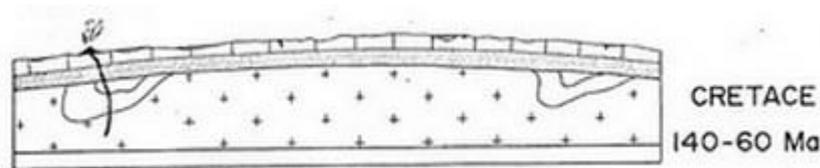
- **Plio-Quaternaire:**

Épaisseur maximale de 246 m dans le sondage d'Elsenheim (4-2). Le remplissage alluvial de la plaine rhénane est désigné sous le terme de Plio-Quaternaire dans les sondages pétroliers qui n'ont pas distingué les sédiments pliocènes des alluvions.

II.3.2. Paléogéographie :

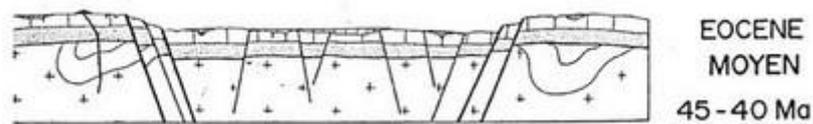
L'orogénèse hercynienne est à l'origine du socle rhénan.

Au Crétacé et jusqu'au paléocène, la région du Fossé rhénan est en domaine continental : l'essentiel des terrains mis en place précédemment est érodé.



A l'Eocène, le secteur est marqué par la présence de petits lacs, de fleuves, à l'origine d'une sédimentation détritique.

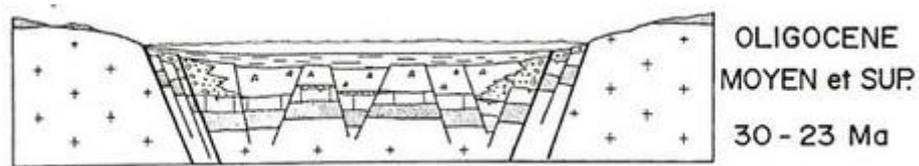
Cependant, les premières distensions se produisent en Europe de l'Ouest, liées à l'ouverture de l'Atlantique nord et à la collision alpine. On assiste alors au tout début de l'affaissement du Fossé rhénan.



Au début de l'Oligocène, on assiste à l'effondrement par paliers de la partie centrale de l'ancien massif qui, à l'origine joignait les Vosges à la Forêt Noire.

La formation du Fossé rhénan est active : les massifs bordiers se soulèvent, les "mers" oligocènes envahissent le fossé.

A partir du Chattien (Oligocène terminal), on enregistre un retrait progressif de la mer vers le nord. Il traduit un mouvement de soulèvement, probablement lié à celui des Alpes, car il s'atténue vers le Nord.



Au début du Miocène, la partie méridionale du fossé se soulève, bascule, ce qui abaisse profondément le fossé septentrional : la mer est "chassée" vers le Nord où la sédimentation est très abondante.

C'est au début du Miocène (Aquitarien - Burdigalien) que se mettent en place les roches volcaniques du Kaiserstuhl.



A la fin du Miocène, seule subsiste une dépression centrale au Nord et au Pliocène, l'altération, l'érosion et l'accumulation de matériaux sont de règle dans le Fossé rhénan.

Au Quaternaire, la morphologie actuelle se dessine et, durant les périodes glaciaires, le vent dominant de direction W-SW amène le loess dont l'épaisse couverture fertilise la plaine.



II.4. La tectonique :

Les failles responsables du fossé rhénan sont des failles orientée NNE pour certaines (première phase) et NE pour les autres (seconde phase).

Sur le bord du fossé, les failles vosgiennes (ou externes) sont de type synthétiques avec un pendage de 40 à 60°E et un rejet de l'ordre de 800 m. Les failles rhénanes (ou internes) ont généralement un pendage de 70 à 80° et leur rejet est compris entre 1500 et 1800m.

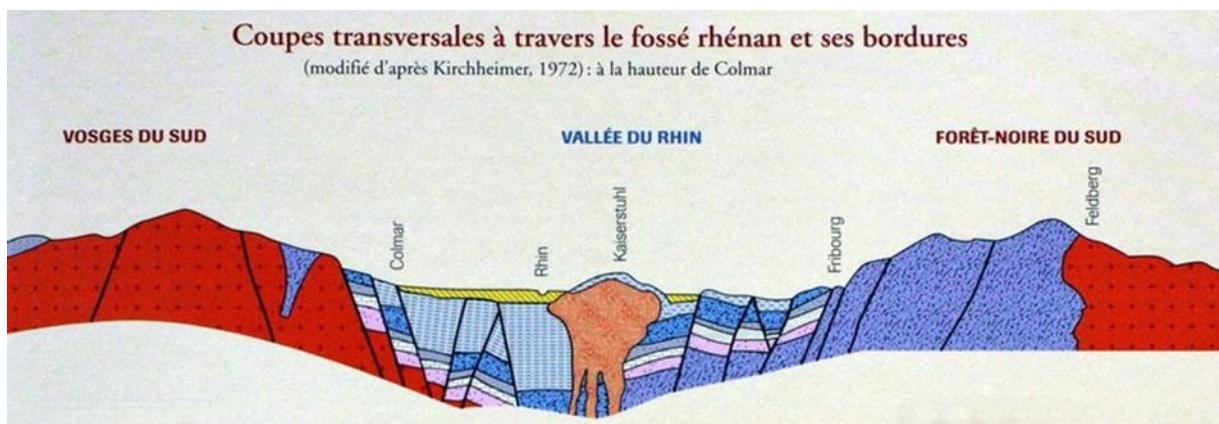


Fig.7: Schéma simplifié du graben du Rhin entre Bâle et Mayence. Les Vosges et la Forêt-Noire constituent les horsts.(modifié d'après kirchheimer,1997)

II.5. Le mécanisme de formation :

L'analyse structurale des déformations traduit d'abord une compression méridienne, Eocène supérieur, contemporaine au plissement alpin. Elle produit des systèmes de décrochement conjugués dextres NW-SE et sénestre NE-SW.

Les fentes de tension témoignent aussi de cette compression. Mais dès l'Oligocène, la contrainte principale devient verticale (stries verticales superposées aux stries horizontales de l'événement précédent) et crée des failles normales antithétiques dans un champ extensif orienté E-W limitant le panneau effondré. La contrainte minimale est légèrement oblique à cause des structures anciennes qui commandent son orientation.

Au Néogène, le champ de contrainte se modifie et la compression devient NW-SE. Le fossé joue alors en décrochement sénestre alors qu'à la même époque, le fossé du Bas-Rhin s'individualise parallèlement à ce nouvel axe.

II.6. Le volcanisme :

Les volcans d'Allemagne se répartissent sur une longueur de plus de 600km, suivant grossièrement le Rhin.

✓ **On distingue onze ensembles volcaniques, du sud au nord :**

- a) Hegau (6 millions d'années)
- b) Kaiserstuhl (de 18 millions à 16 millions d'années)
- c) Jura souabe (20,4 million d'années)
- d) Katzenbuckel (66 millions d'années)
- e) Trapp de Frankfurt
- f) Vogelsberg
- g) Eifel-Ouest (400 mille ans à 10 mille ans)
- h) Eifel-Laach (570 mille ans à 11 mille ans)
- i) Siebengebirge (22,8 millions d'années)
- j) Westerwald
- k) Odenwald, Spessart et Taunus.

Tout ce volcanisme est situé dans des grabens et des horsts de l'avant-pays alpin. Il résulte d'un contrecoup du plissement des Alpes. Le graben du Rhin, qui se prolonge au nord-ouest jusqu'au Westerwald et au sud-est jusque dans le Hegau, s'effondre encore de nos jours de 5 millimètres par an.

Il est le siège de nombreux séismes et la région de Bale est considérée comme la zone sismique la plus riche en foyers de toute l'Europe centrale.

Le volcanisme allemand a été le siège d'une grande variété de dynamisme éruptif ; on rencontre ; des dômes péléens (kaiserstuhl), des éruptions hawaïennes (Vogelsberg), stromboliennes et vulcaniennes (Eifel) et explosives (Jura Souabe).

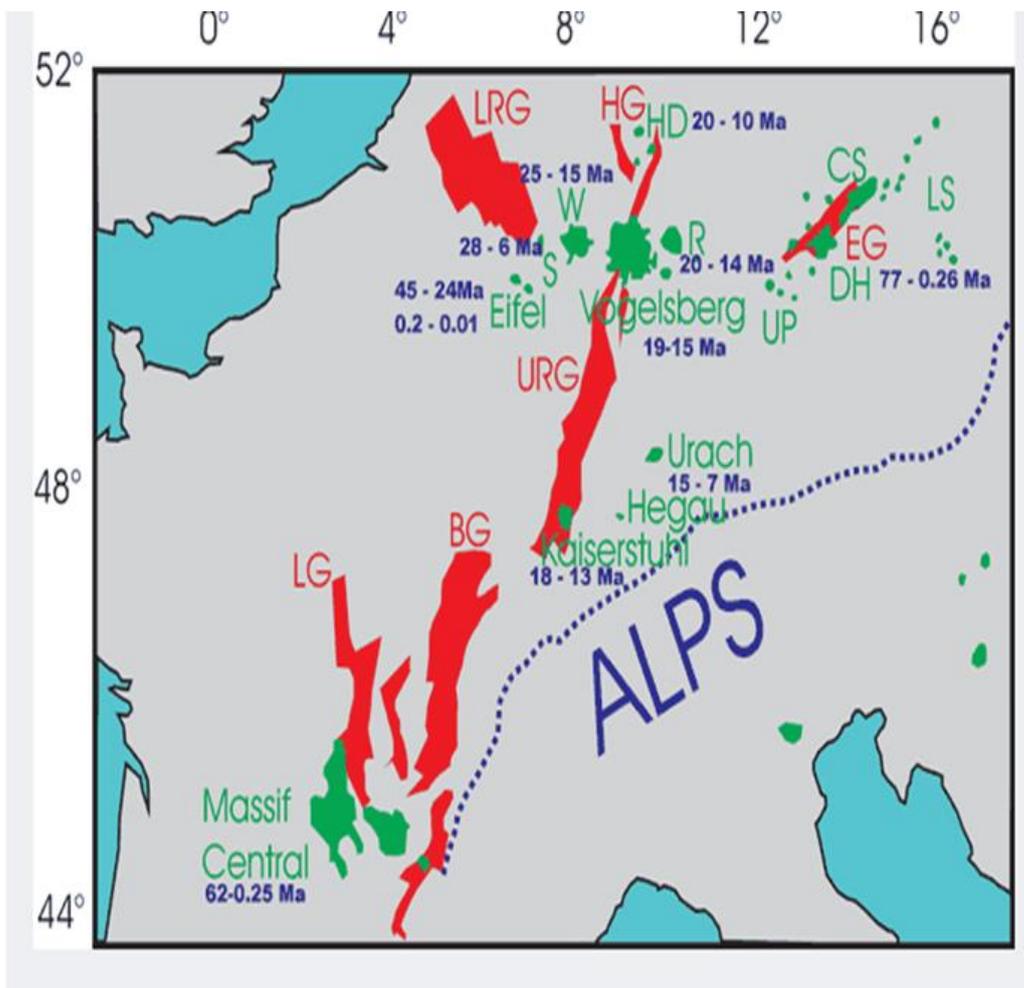


Fig. 8: Carte des roches volcaniques cénozoïques d'Europe centrale (vert) et les bassins Siebengebirge; W :Westerwald ;HD :Hesse dépression ;R :Rhön\Heldburg ;UP :Haut-Palatinat ;DH : Doupovské Hory ;CS :Ceske Stredohon ;LS ;Basse Silésie. Systèmes de Rift :LG :Limagne Graben ;BG :Bresse Graben ;URG :Fossé rhénan supérieur,LRG :Bas-Rhin(Roer Valley) Graben ;HG :grabens de Hesse ;Eger(Ore)Graben :EG.données provenant (d'Age Abratis et al . (Sous presse), Lustrino & Wilson(2007)).) Et les références qui s'y trouvent.

II.7. Magmatologie :

On suppose qu'un magma basaltique à olivine du manteau a donné, par différenciation par gravité et par pneumatolyse : les phonolites, les basanites, les néphélinites et les leucitites.

L'assimilation de roches acides a donné les trachytes et les latites, l'assimilation de calcaire par ce magma a formé les carbonatites et les mélilitites. Les basaltes sont issus de la grande modification.

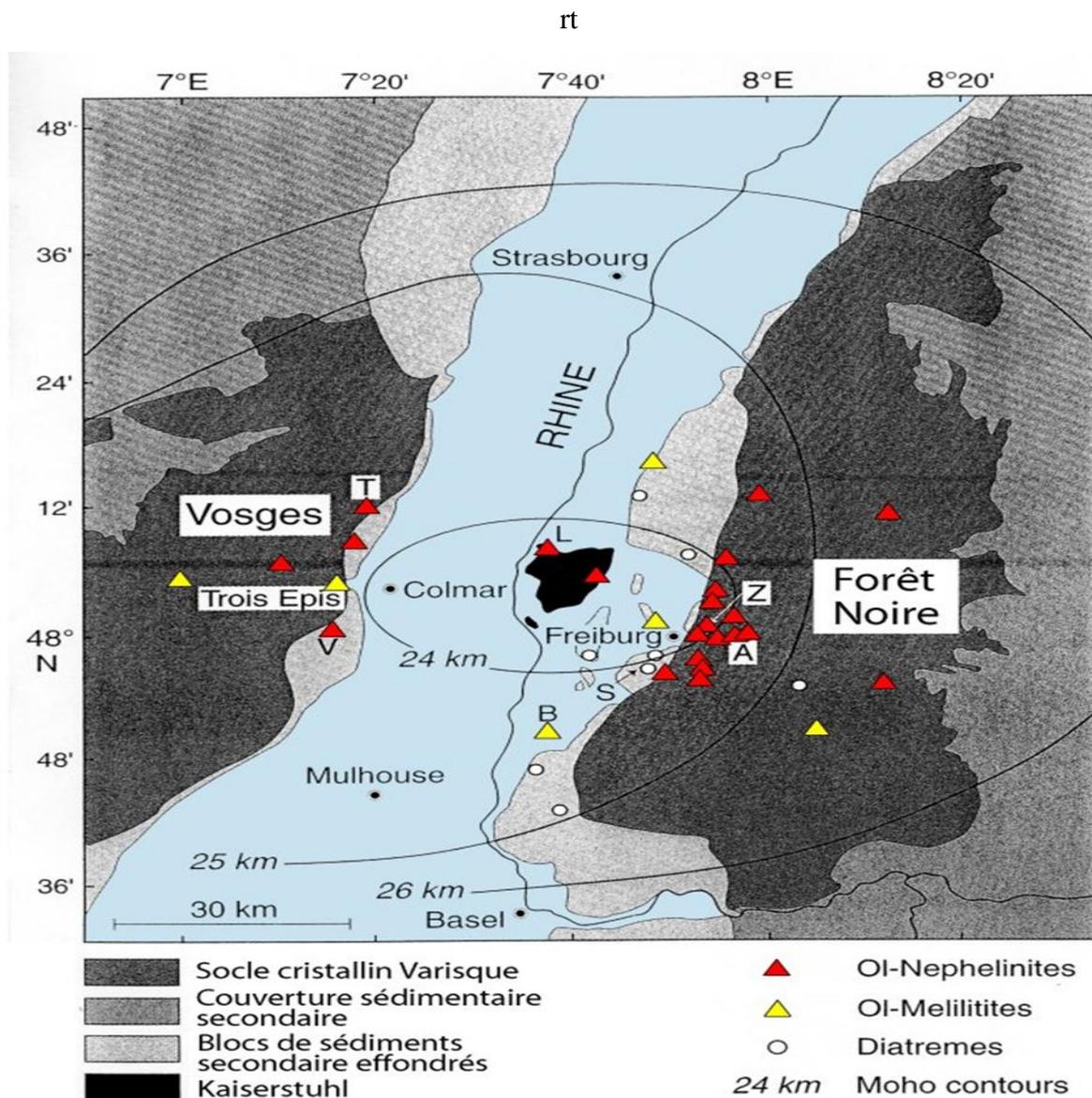


Fig.9 : carte géologique et répartition des centres volcaniques dans le fossé rhénan.

II.8. Pétrographie :

Du point de vue pétrographique, le volcanisme allemand est surtout riche en roches basaltiques, mais il s'y associe quelques roches acides essentiellement sous forme de ponce.

II.8.1. Le volcanisme exprimé dans cette région se manifeste selon deux zones :

a) Une plus basse elle concerne le graben du Rhin il s'accompagne d'un volcanisme alcalin, les laves riches en carbonates s'infiltrant dans les fissures des failles il débute à l'Eocène, se développe au Miocène avant de s'y terminer au quaternaire, les volcans de Kaiserstuhl au Sud et de Vogelsberg au Nord sont les meilleurs exemples.

Au niveau de ce premier, le manteau est situé à 24 km de profondeur, la plus forte remontée de la région. Les magmas émis dans cette province sont uniques dans le rift et varient depuis les téphrites, essexites, phonolites jusqu'aux carbonatites (Wimmenauer, 1974).

Donc Il est essentiellement formé de roches volcaniques ou subvolcaniques, mise en place sous forme de filon sous saturées (relativement pauvre en silice): Téphrites et essexites, basanites, phonolites, Néphélinites et la fameuse limburgite (famille des basanites).

La grande variété de type des roches a été regroupée en deux groupes pétrographiques :

le groupe Téphrite-Essexite	le groupe Phonolite
Olivine Néphélinite	Phonolite
Limburgite (basanite)	Tinguaite
Leucite Téphrite	Hauynophyre
Essexite, Theralite	Ledmorite, Carbonatite

Tableau4 : type des roches.

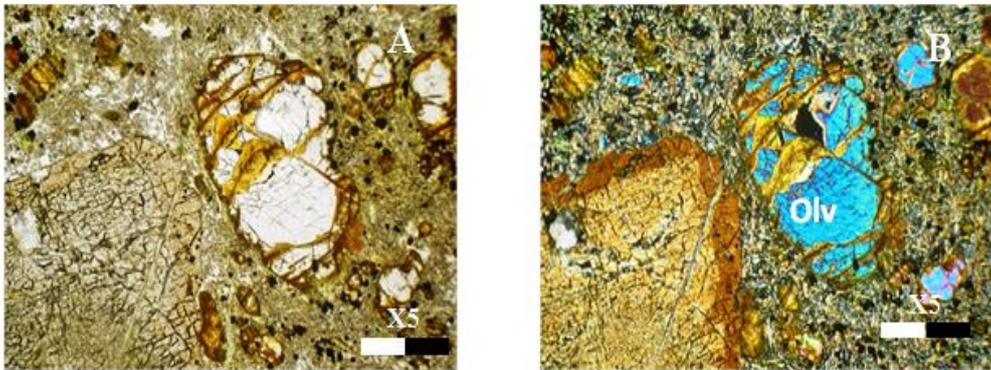


Fig.10 : Vue microscopique d'une Néphéline à Olivine à bordure iddigstisée dans une matrice constituée de fin cristaux de Néphéline et de Pyroxène dans la photo **A** (LN) et photo **B** (LP).

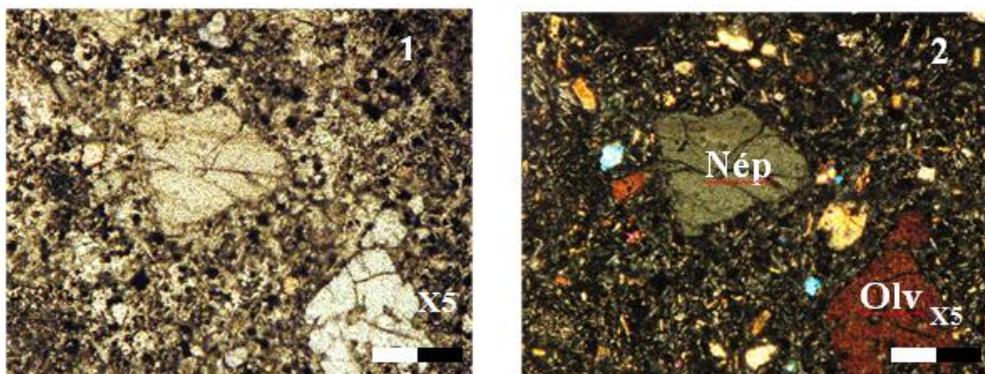


Fig.11: Vue microscopique de Néphelinite basanite dans la Photo 1(LN) et même échantillon dans la Photo 2(LP).

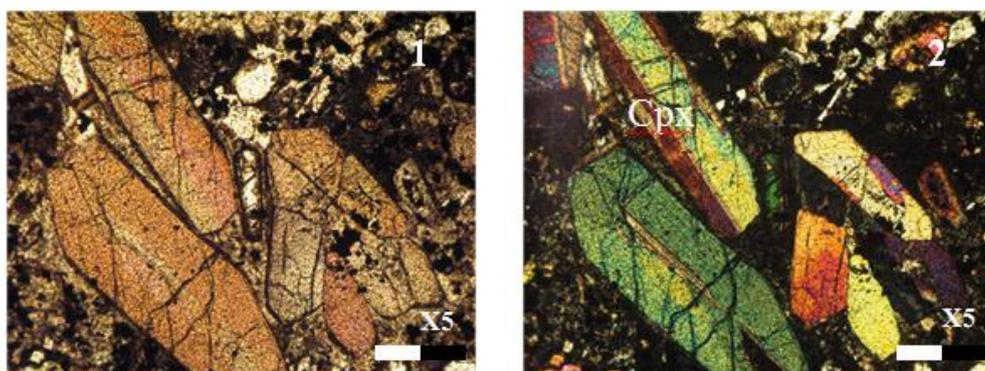


Fig.12: Vue microscopique de Limburgite phénocristaux d'augite automorphes dans la Photo 1 (LN) et même échantillon dans la Photo2 (LP).

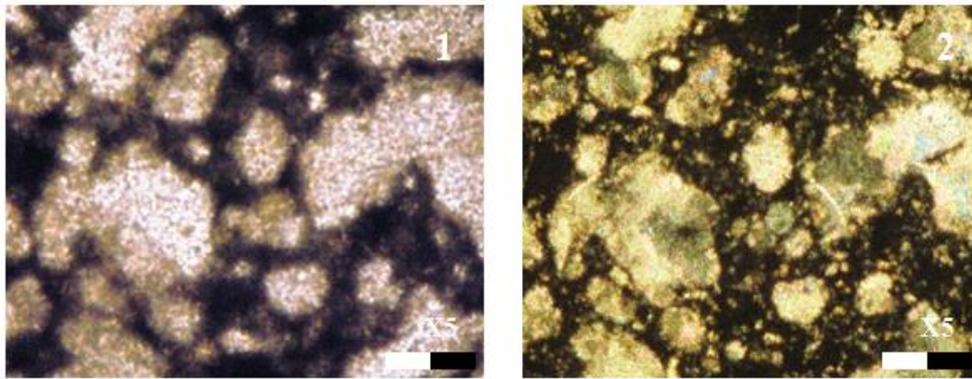


Fig.13: Vue microscopique de Tuf Limburgite dans la Photo 1 (LN) et même échantillon dans la Photo 2 (LP).

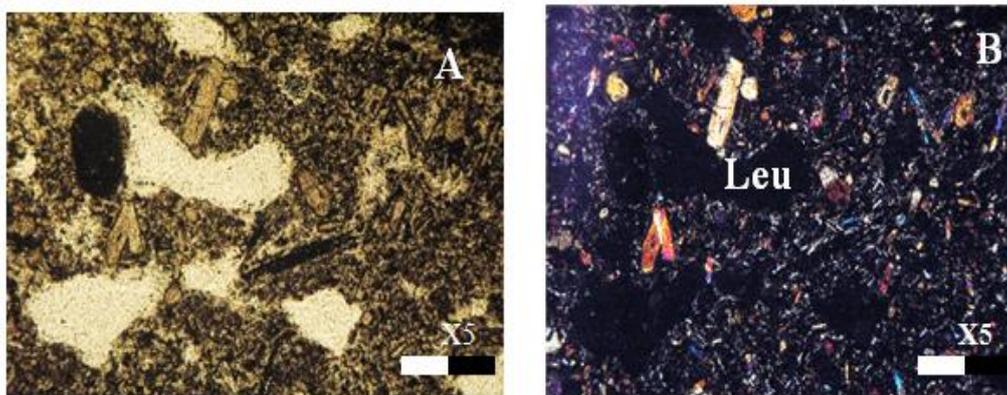


Fig.14: Vue microscopique de Téphrite à Leucite dans la Photo A (LN) et même échantillon dans la Photo B (LP).

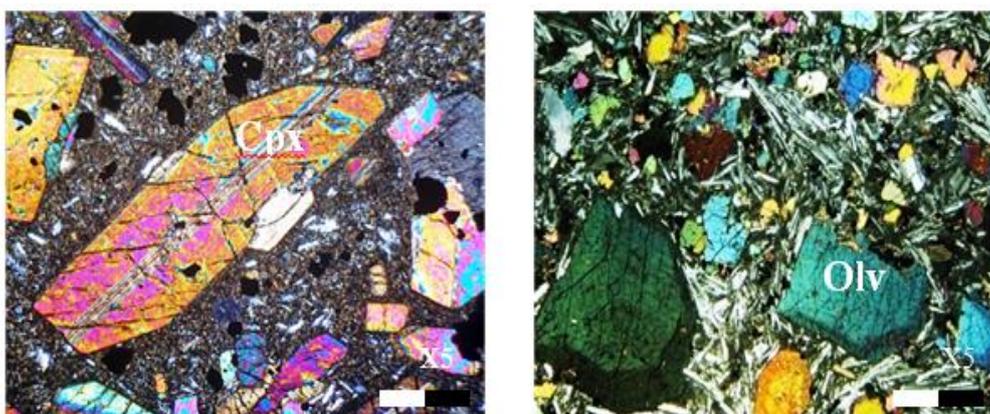


Fig.15: Vue microscopique d'une Essexite montrant des cristaux d'augite zoné, quelque Olivine, lattes des labradorites et quelques cristaux de leucite bien formée, et certain minerai d'opaques(magnétite) dans un fond plus fin dans la photo (LP).

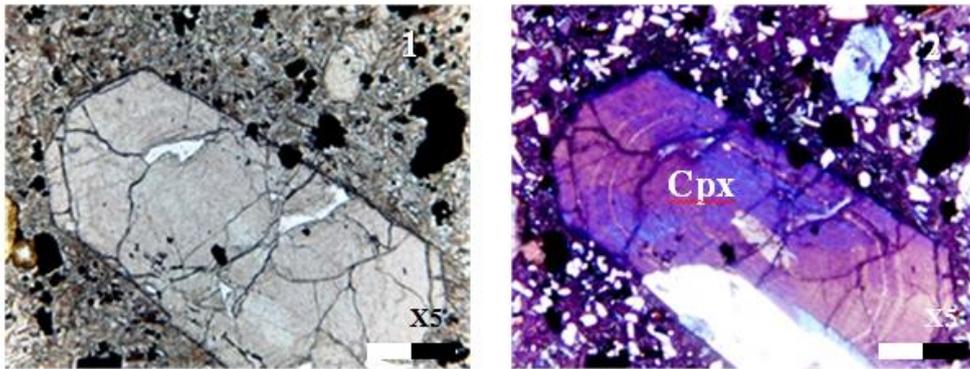


Fig.16: Vue microscopique d'un porphyre d'augite titanifère automorphe montrant le zonage de croissance dans la photo 1(LN) et photo 2 (LP).

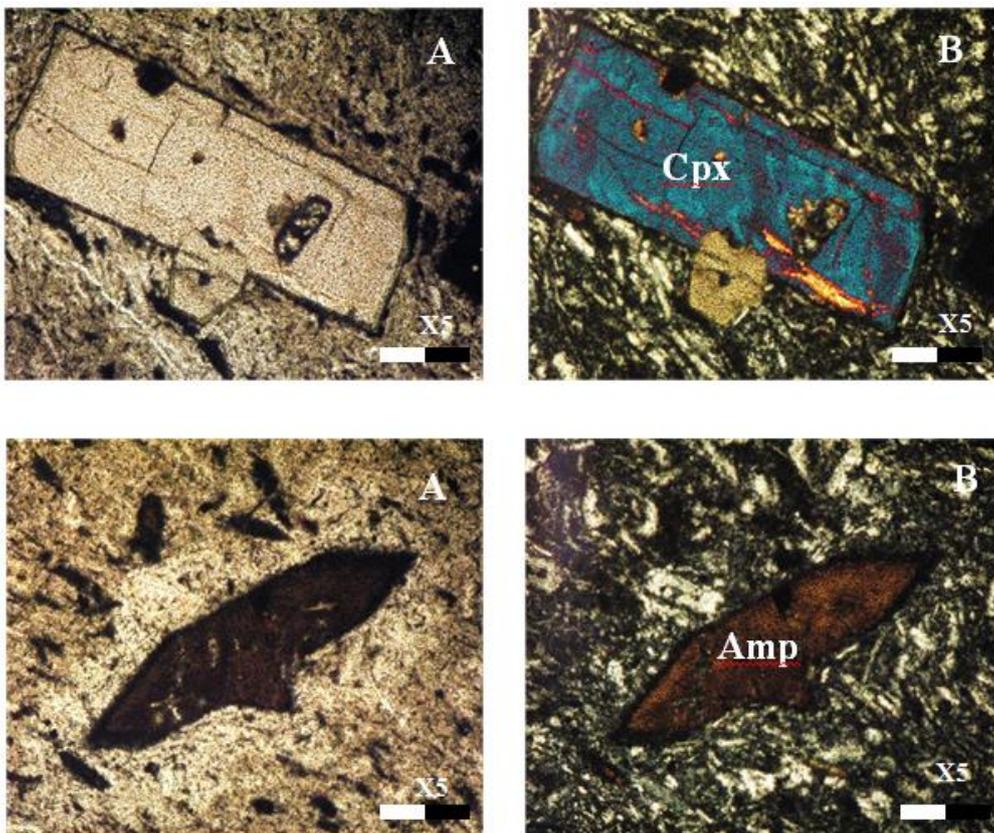


Fig.17: Vue microscopique d'une Phonolite montrant des phénocristaux de Pyroxène et d'amphibole dans la photo A (LN) et photo B (LP).

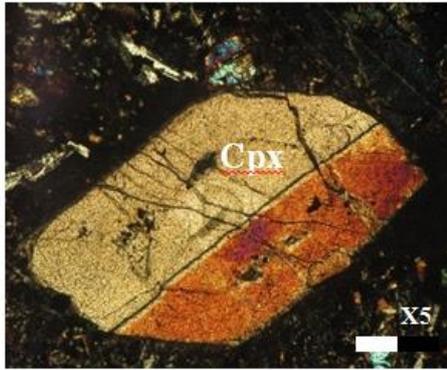


Fig17: a. Vue microscopique de Phonolite montre de Pyroxène avec la macle h1. (LP).

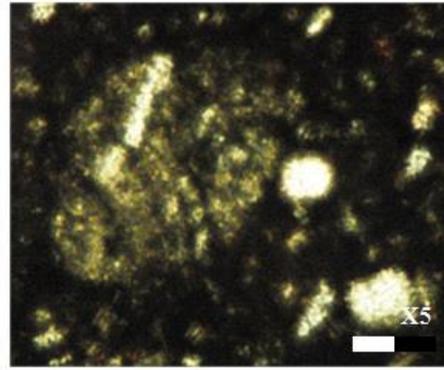


Fig.17: b Vue microscopique de Tuf Phonolitique montre des Lithoclastes et Cristaloclastes. (LP).

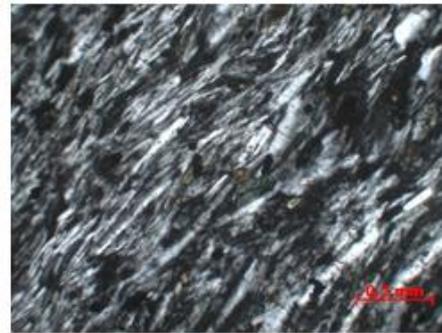
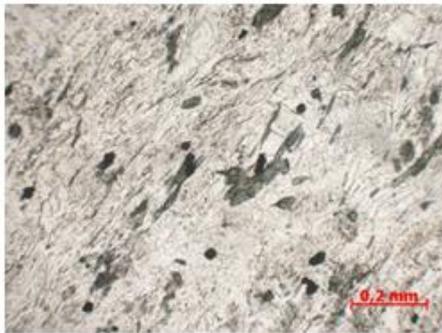


Fig18: Vue microscopique d'une phonolite à texture microlithique porphyrique et fluidale. La texture est microlithique porphyrique et fluidale. Dans la photo A (LN) et la photo B (LP).

b) Sur le Bouclier Rhénan, la phase de volcanisme "post-rift" a engendré la construction de nombreuses provinces. Sur le socle paléozoïque, les régions volcanisées sont l'Eifel, le Westerwald et le Siebengebirge. A l'Est du massif, le volcanisme est réparti dans la dépression de la Hesse et au niveau du Vogelsberg.

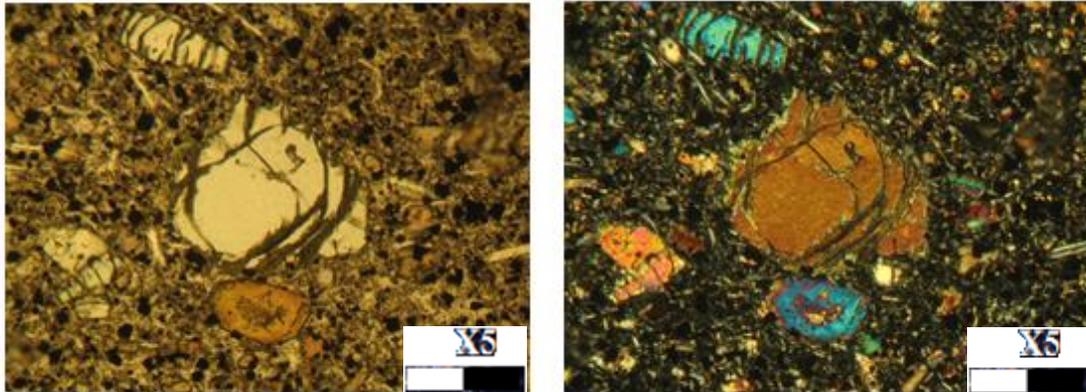


Fig.19: Basalte alcalin à texture porphyrique microlitique à hyalo-microcristalline, elle renferme des phénocristaux de Clin pyroxène, d'olivine, et minéraux opaque.

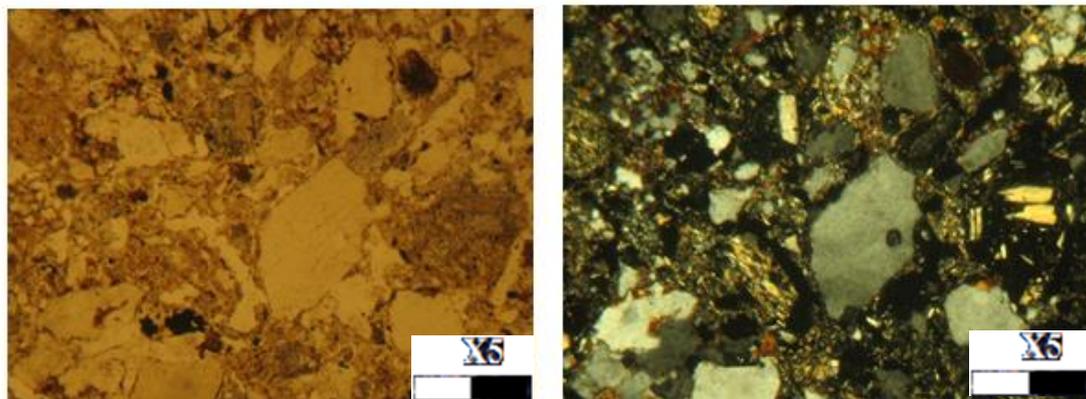


Fig.20: Tuf basaltique à texture cristallo-lithoclastique à fond presque absent hyalin (amorphe) vitreuse, éléments fins constitué de lithoclastes et cristallolastes variables appartenant aux roches du substratum et aux roches volcaniques.

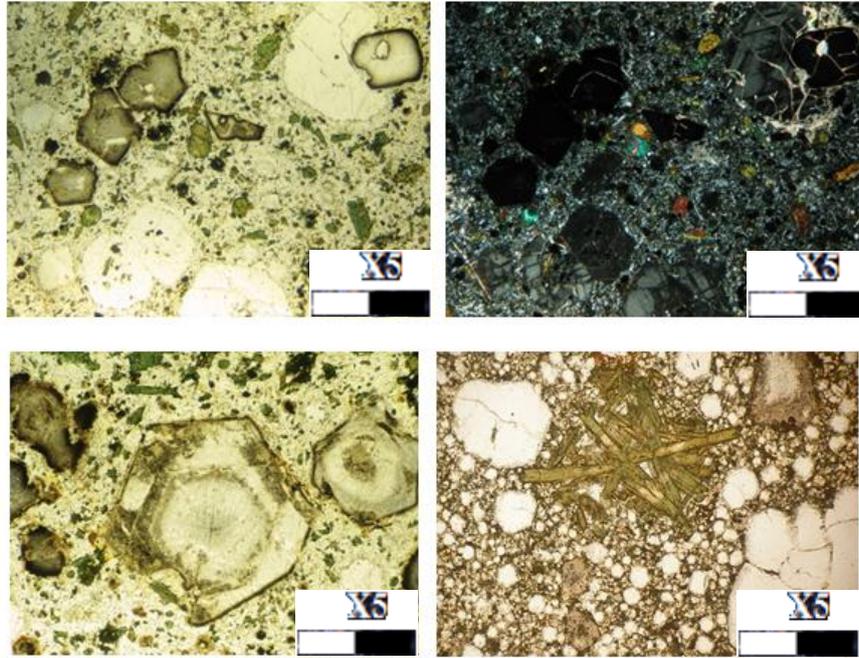


Fig.21: Schorenbergite : c'est une phonolite à nosean et leucite, il s'agit d'une roche volcanique extrêmement rare (sinon unique) de la localité de Schorenberg près de Rinden dans l'Eifel.

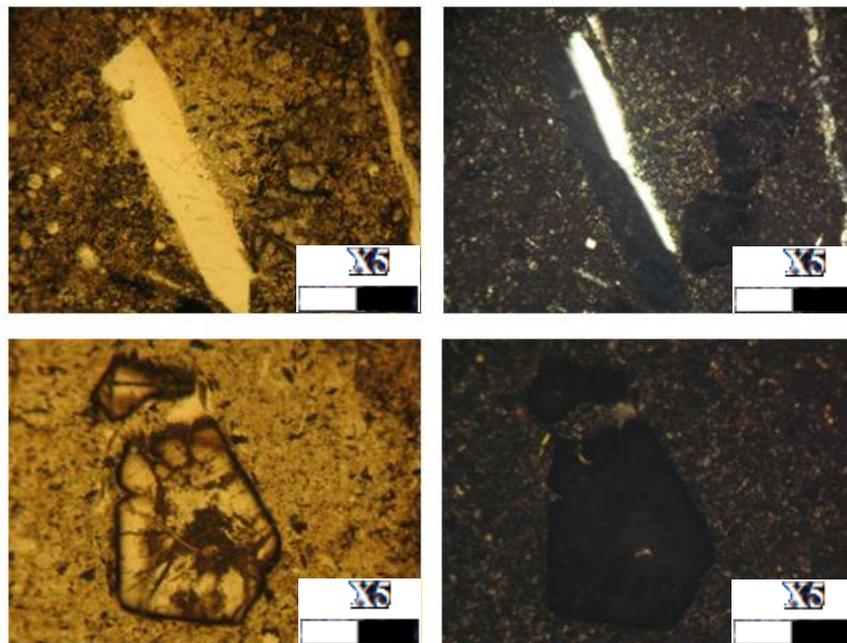


Fig.22: Les Selbergites sont des phonolites très riches en leucite et en noséane, à texture est porphyrique et un fond légèrement microlithique à hyalo- microcristallin.



Fig.23: Phénocristaux haüyne –Noseane présentant la couleur (bleu) et (Les bords bruns), région Schellkopf, Eifel, en Allemagne.

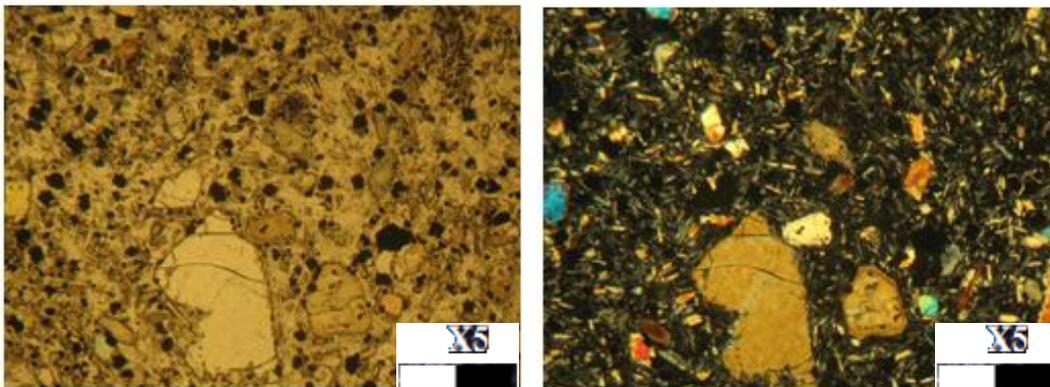


Fig.24: a. Néphéline basanite : ou néphéline à olivine à texture porphyrique microlitique à néphéline, clinopyroxène (variété augite) et olivine

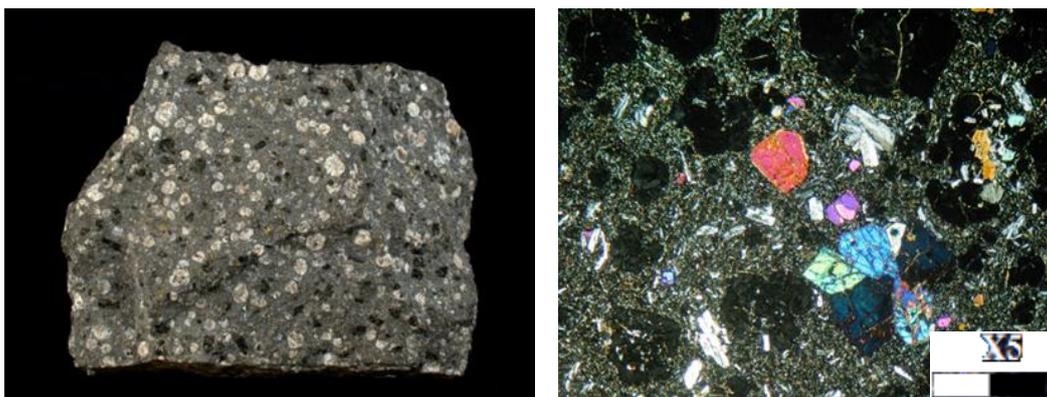


Fig.24: b. Leucite à néphéline la texture est porphyrique microlitique. Dans cette lave, nous reconnaissons principalement la Leucite, la Néphéline subautomorphe et totalement altéré en Analcime et de clin pyroxène et d'Amphibole déstabilisé (épigénisée) et de Leucite, de Cpx, d'oxydes de Fer.

III. Etudes pétrographique :**III.1. Etudes pétrographique des nodules ultramafique de la région :**

La présence de basaltes alcalins primitifs, transportant souvent des xénolites mantelliques, est le témoin d'un système de fractures profondes d'échelle lithosphérique qui permet l'ascension rapide du magma vers la surface. De nombreux dépôts de maars, d'anneaux de tufs, et de coulées de laves renferment des enclaves, de diamètre pouvant atteindre une trentaine de centimètres. Certains sont d'origine cristal mais la majorité sont mantelliques (Silverstone et Stern, 1983 ; Stern et al. 1999 ; Kempton et al. 1999).

En domaine intra plaque continental, il existe un magmatisme de type alcalin associé aux rifts continentaux phanérozoïques et, un magmatisme potassique (kimberlites et lamproïtes) au niveau des zones cratoniques.

Les affleurements à nodules mantelliques, associés aux rifts continentaux, les plus étudiés, sont les provinces volcaniques d'Europe (Massif Central français, Eifel, etc... Witt et Seck, 1987 ; Lenoir et al. 2000 ; Downes et al. 2003 ; Shaw et al. 2005 ; Ban et al. 2005).

Les xénolites mantelliques dans le fossé rhénan inclut des harzburgites, des lherzolites, et des dunités équilibrées dans les conditions du faciès mantellique à spinelle. Ces enclaves offrent l'opportunité d'étudier l'évolution du manteau lithosphérique sous la région ainsi que les modifications que ce manteau a subies, modifications influencées par un panache mantellique (remontée asthénosphérique) en contexte tectonique d'arrière-arc à l'est.

L'étude des enclaves mantelliques que j'ai entreprise repose principalement, après bien sûr une étude pétrographique au microscope optique très précise. L'approche pétrographique nous permet d'appréhender et de comprendre leur nature et origine, ainsi que leur histoire et leur évolution.

D'autre part, l'évaluation des processus d'interactions, de réaction de ces laves avec les enclaves nous permet de nous affranchir des évolutions tardives des enclaves liées aux transports.

Pour l'exécution de notre étude pétrographique trois (03) lames minces concernant un type d'enclaves ultrabasiques à s'avoir une harzburgites dans le (Baste near Bad Harzburg, harz), une lherzolites dans le (Kaiserstuhl), et une dunites (Dreiser Weiher near Daun Eifel Rhineland).

III.2. Les lames minces étudiées :

a) Lherzolite :

✓ Description macroscopique :

Lherzolite : constituée de 40 à 90% olivine avec significative ortho pyroxène et moins calcique chrome riche clinopyroxène. Minéraux mineurs comprennent chrome et aluminium spinelles.



Fig. 25 : xénolite de Lherzolite dans le basalte. Masses vertes sont péridotite (Lherzolite), masse grise est basalte.

✓ Description microscopique :

Lherzolites se compose de : 45-50% olivine, dans les lherzolites qui sont formées de 30% de pyroxènes, avec légèrement plus de clin pyroxènes que d'orthopyroxène, et de 1 à 5% de spinelle. La texture généralement observée est porphyroclastique, et équi-granulaire en mosaïque à grain moyen.

On peut remarquer des reliques de texture poeicilitique résiduel.

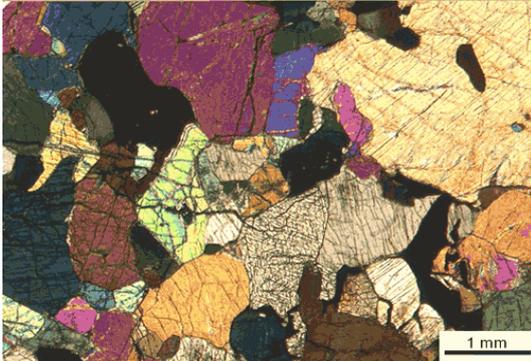


Fig26 : vue ensemble de la lame en LP.



Fig.27 : vue ensemble de la lame en LN.

- **Olivine :**

Olivine : deux types de grains d'olivine sont présents.

En grains (0.2-0.4 mm), partiellement ou totalement inclus dans l'orthopyroxène (reliques d'une texture poecilitique), en cristaux sub arrondis non altérée.

Visible en porphyroclastes de taille différente (0.3mm-1.5mm), interstitiel, représentant environ 45%, généralement incolore partiellement serpentinisé (**Fig. 26**) cependant les reliques persiste et présentant des inclusions de spinelle.

- **Orthopyroxène :**

Grand cristaux imposant par sa taille (2 mm) sub automorphe 30 % environ présente des exsolution de clinopyroxène occupant les plans de clivages ; la présence d'olivine saine en petits cristaux sub arrondis constitue la texture poecilitique ; on note également en inclusion de fin cristaux automorphe à sub arrondis de spinelle à texture vermiculaire (**Fig.27**).

- **Clinopyroxène :**

Le clinopyroxène moins abondant 15 à 20 % de taille assez importante (0.3mm-5mm) à rares inclusions de grains d'olivine arrondi, on note l'absence d'inclusions de spinelle. (**Fig. 28**).

- **Spinelle :**

Grand grain 0.1 -0.8 mm d'une couleur brun foncé, 4 à 5 %, tous les spinelles, à contour net, automorphe à subautomorphe à subarrondi, rarement vermiculaire, le plus souvent en inclusion dans l'olivine et l'orthopyroxène.

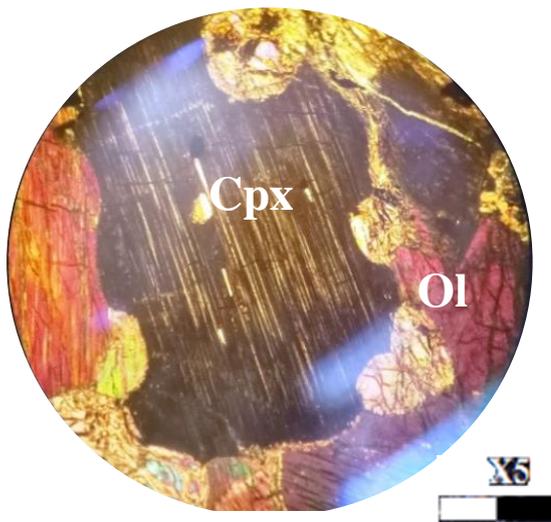


Fig. 28 : clinopyroxène avec d'exsolutions de l'orthopyroxène et l'olivine poicilitique serpentinés en LP.

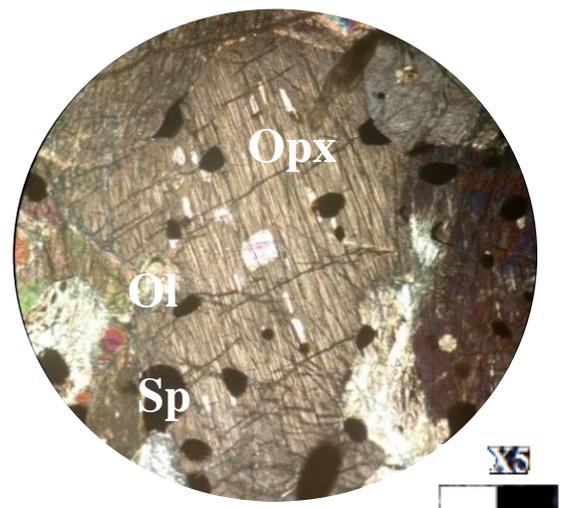


Fig. 29 : l'orthopyroxène avec exsolutions de clinopyroxène + inclusion d'olivine + spinelle (texture poicilitique) en LP.

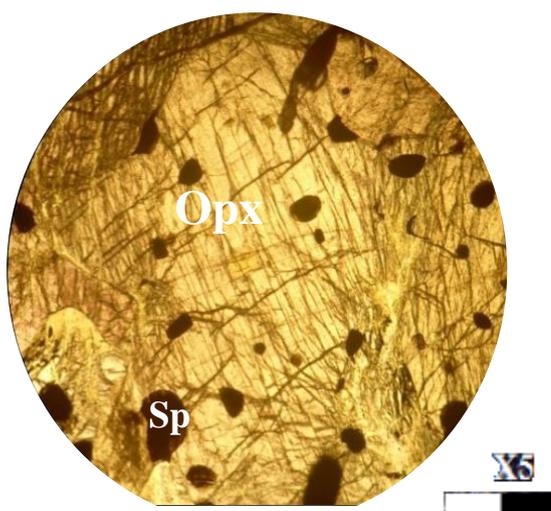


Fig. 30 : l'orthopyroxène avec exsolutions de clinopyroxène + inclusion d'olivine + spinelle (texture poicilitique) en LN.

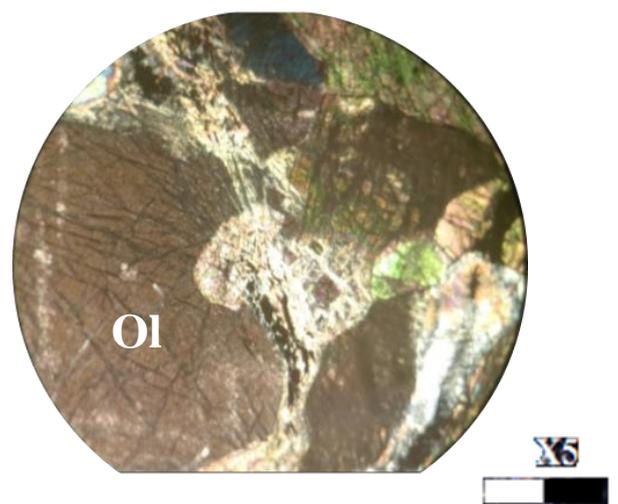


Fig. 31 : l'olivine interstitiel partiellement serpentinisé en LP.

b) Harzburgite :**✓ Description macroscopique :**

Harzburgite : est une variété de péridotite principalement constitué des deux minéraux, olivine et d'une proportion plus faible d'Orthopyroxène visible dans les montagnes du Harz de l'Allemagne.

Elle contient généralement quelques pour cent de spinelle riche en chrome comme minéral accessoire.



Fig.32 : Péridotite (Harzburgite).

✓ Description Microscopique :

La composition modale moyenne des harzburgites est: 50% d'olivine, 35-40% d'orthopyroxène, 7 à 8% de clin pyroxène et 2 à 5% de spinelle.

Les roches sont fortement déformées et ont une texture porphyroclastique avec une petite quantité de porphyroclaste et avec des reliques de texture poeicilitique (**Fig. 36**) le degré de recristallisation est plutôt faible.

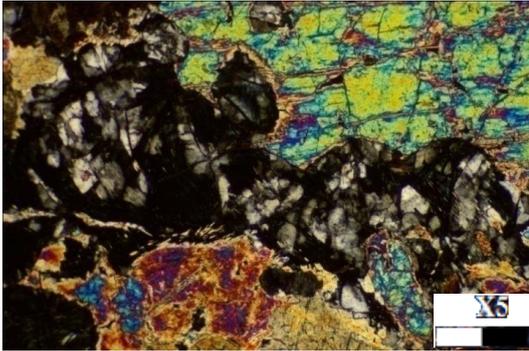


Fig.34 : Péridotite (Harzburgite) grains avec des couleurs grisâtre d'interférence sont olivine . fortement serpentinisé; grains gris jaunâtre au centre et en haut à gauche sont ortho pyroxène.

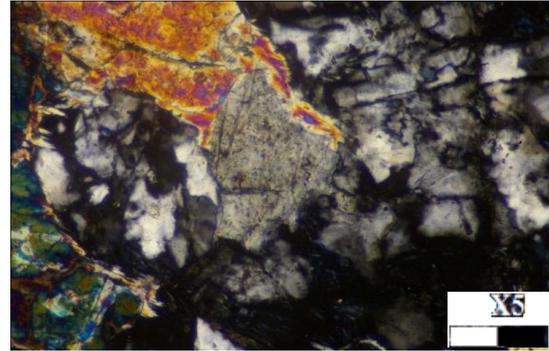


Fig.35 : Péridotite (Harzburgite), grain gris au centre est ortho pyroxène; zones gris foncé avec des polygones gris clair et blanc sont serpentine.

- **Olivine :**

Dans les harzburgites, les olivines mesurent moins de 3mm, environ 50 %, et présentent de nombreuses grains d'olivines totalement serpentinisé inclus dans l'orthopyroxène (**Fig.37**).

- **Orthopyroxène :**

Représenté par l'enstatite Il forme des porphyroclastes peuvent atteindre 4 mm, les orthopyroxène automorphes et polygonaux de texture porphyroclastique et poeicilitique.

Ils contiennent des inclusions d'olivine ; les orthopyroxène sont toujours fortement déformés avec extinction onduleuse, ils contiennent des inclusions d'olivine, parfois de spinelle, inclusion d'exsolutions de clinopyroxène sont fines et droites occupant les plans de clivages (**Fig.38**).

- **Clinopyroxène :**

De petites taille variante entre 1 mm- 2 mm, 15% environ, interstitiels, les clinopyroxène sont subautomorphes et contiennent des inclusions de forme sub arrondies d'olivines serpentinisé.

- **Plagioclase :**

Les plagioclases occupent les interstices de taille variant entre 0.5 0.7 mm, 5% environ, visible le plus souvent en reliques il est fortement altéré en saussurite, il est en position inter cumulât, et présente des inclusions fréquente de spinelle en grains automorphe (**Fig.39**).

- **Spinelle :**

Les grains de spinelle de couleur brun foncé (0,1 mm), environ 2 %, automorphe, le plus souvent agglomérés il est inclus dans l'orthopyroxène, l'olivine et le plagioclase. (Fig.41).

- **Biotite :**

Nous observons des paillettes de biotites 1 à 2 mm, moins de 3%, brune interstitielle et en inclusion dans l'orthopyroxène.

Elles a la particularité d'être déformée à plan de clivage en kind band (Fig.40), parfois désagrégée et présente un début de décoloration avec occupation des plans de clivages par des oxydes de fer cette biotite n'est certainement que le produit de phénomènes hydrothermal.

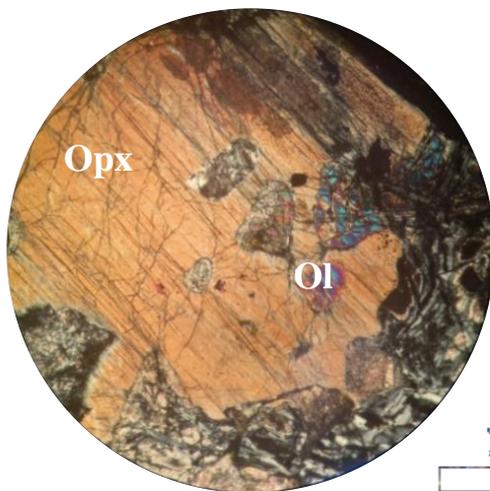


Fig. 36 : texture poeicilitique, l'olivine en relique (serpentinisé dans l'orthopyroxène), l'orthopyroxène à exsolutions de clinopyroxène en LP.

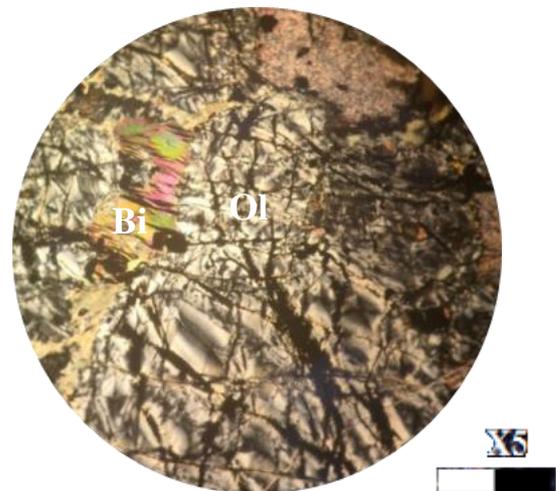


Fig.37 : porphyroclaste d'olivine totalement serpentinisé et biotite déformé en LP.

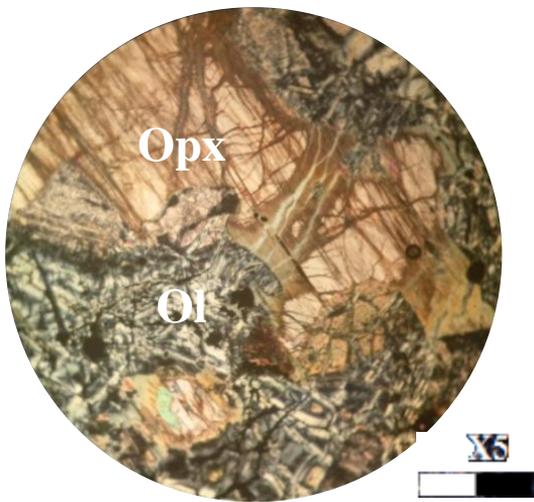


Fig.38 : l'orthopyroxène à exsolutions de clinopyroxène et l'inclusion d'olivine anastomosée(Serpentinisé) en LP.

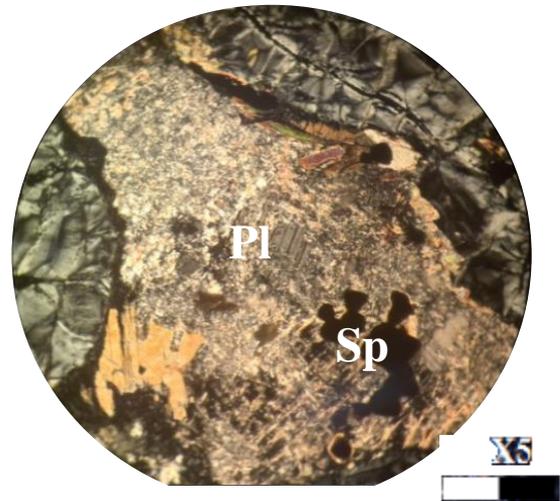


Fig.39 : relique de plagioclase interstitiel à inclusion de spinelle en LP.

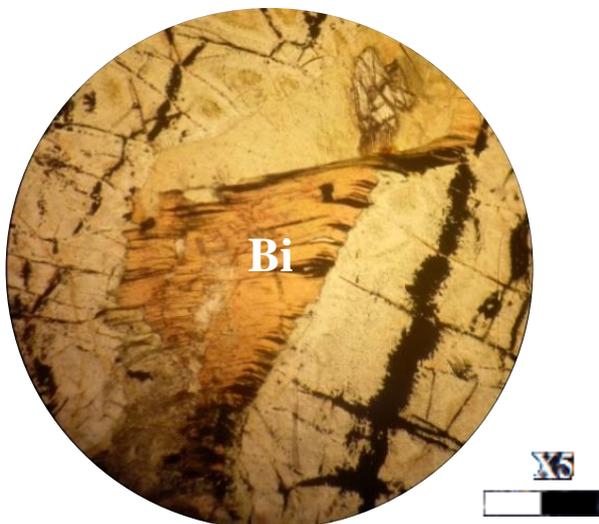


Fig.40 : biotite déformé en LN.

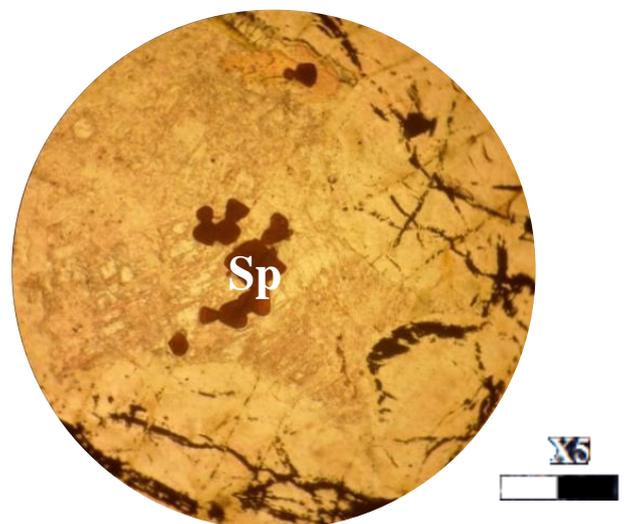


Fig.41: spinelles agglomérés en LN.

c) Dunite :

✓ Description macroscopique :

Dunite : Roche contenant 90% ou plus d'olivine avec un peu de pyroxène, spinelle (chromite) et parfois d'amphibole, de biotite et de grenat.

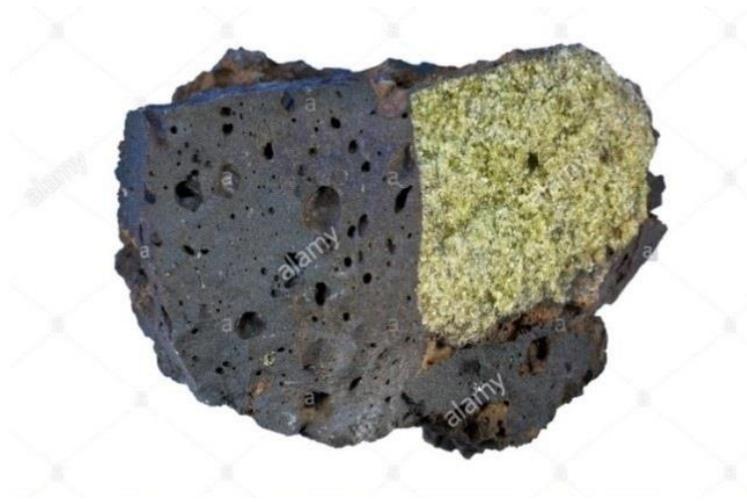


Fig. 42 : Dunite (péridotite) xénolite intérieur lave basaltique.

✓ Description Microscopique :

Une texture granulaire grossière texture polyhedral (texture mosaïque) (**Fig.43**) avec point triple 120° . Le minéral le plus représentatif est l'olivine.

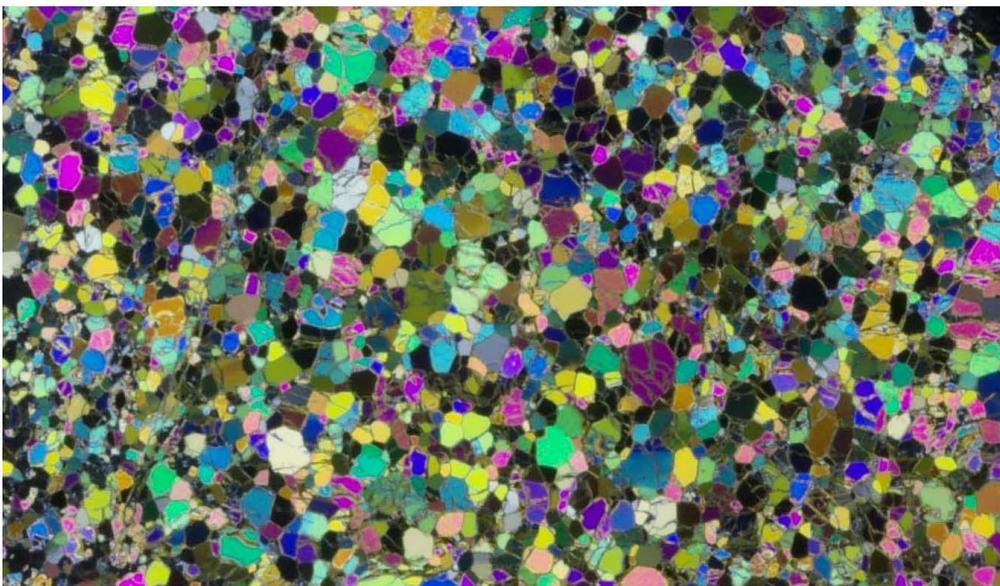


Fig.43 : texture polyhedral (texture mosaïque) en Dunite.

- **Olivine :**

Elle représente environ 80 % de la roche en cristaux subautomorphes de taille comprise entre 0.5 0.8 mm, elle est fraîche, saine et dépourvue de toute altération. (Fig.44).

- **Orthopyroxène :**

Moins abondant 15 à 17 % de taille comprise entre 0.6 et 1 mm à fin clivages et présentant des exsolutions de clinopyroxène.

- **Spinelle :**

Environ 5 % de forme subautomorphe allant jusqu'à 0.5 mm le plus souvent regroupé en plusieurs individus, parfois présentant la forme amiboïde, on note également un phénomène assez représentatif il s'agit d'interaction avec l'olivine avec apparition de réaction en forme de symplectite. (Fig.46).

Certains cristaux de spinelle présentent des formes particulières, en petits cristaux allongés et orientés ou sous forme de fines gouttes d'eau inclus dans l'olivine et Orthopyroxène. (Fig.45).

La lame présente également un phénomène particulier n'ayant pas de relation directe avec notre échantillon il s'agit de petites poches occupées par du verre volcanique certainement de composition basaltique, piégé, et de texture aphanitique (sans phénocristaux) c'est un verre isotrope contenant de fines granules d'opaques. Ces poches occupent les vides interstitiels de taille n'excédant pas 1 mm.

Ce verre piégé dans cette enclaves sont certainement de composition différente que celle des basaltes hôtes (Fig.47 et Fig. 49), l'origine de ce verre et leur rôle dans les processus mantellique (fusion partielle, métasomatisme, interaction manteau liquide, dissolution / cristallisation ...etc.).

Parmi les modèles nous distinguons :

- ✓ Une origine par fusion de minéraux hydroxylés.
- ✓ Une origine par fusion partielle in situ.
- ✓ Une origine par infiltration.

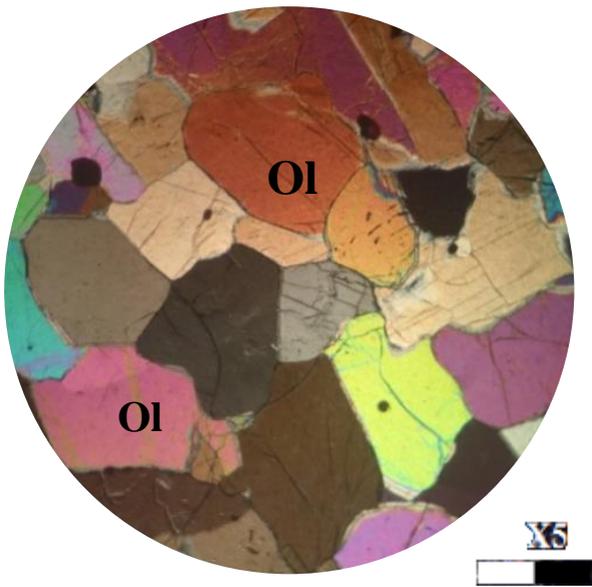


Fig.44: vue ensemble de la roche (texture mosaïque) en LP.

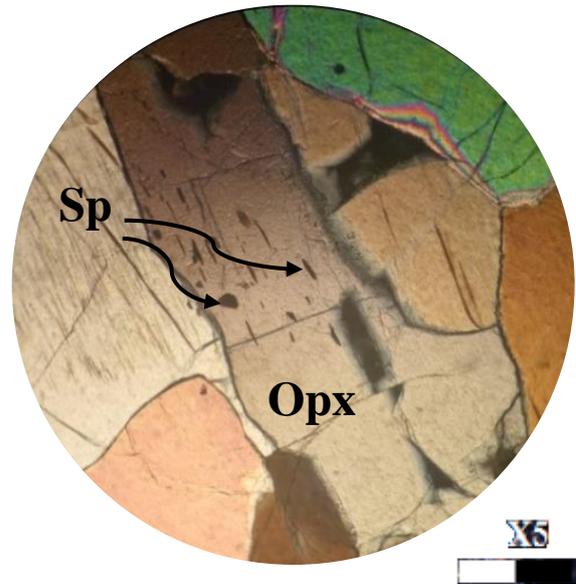


Fig.45 : inclusion de spinelle dans l'Orthopyroxène en LP.

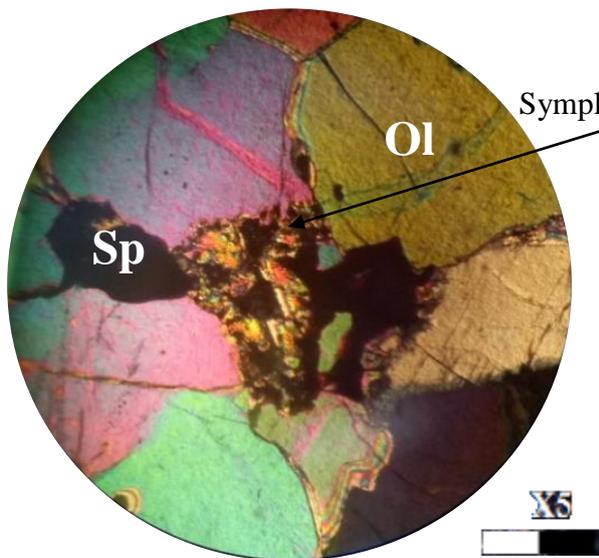


Fig.46 : réaction entre spinelle et olivine (symplectite) en LP.

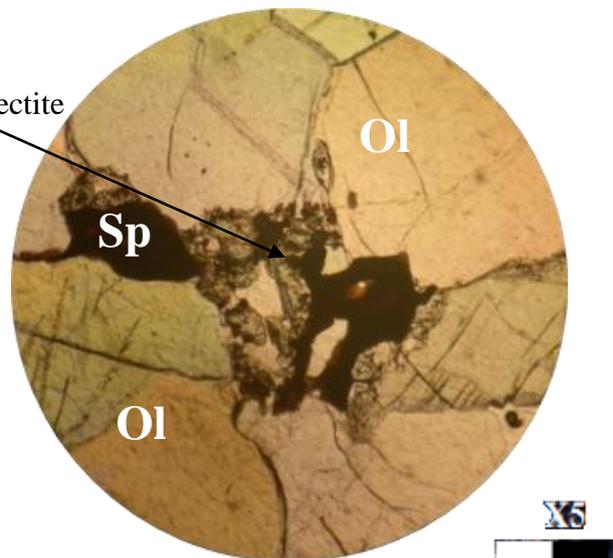


Fig.47: réaction entre spinelle et olivine (symplectite) en LN.

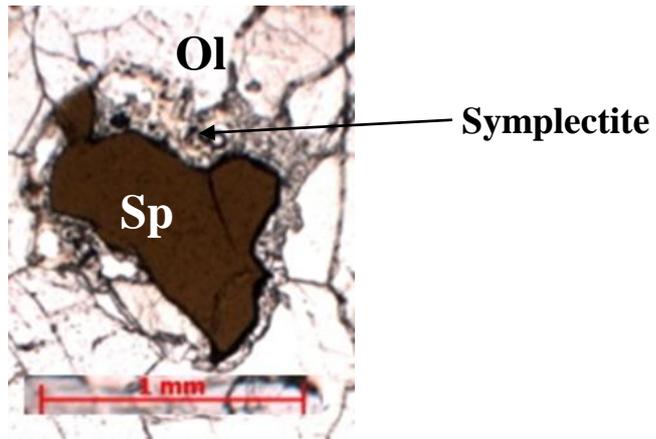


Fig.47 a) : réaction entre spinelle et olivine (symplectite) en LN.

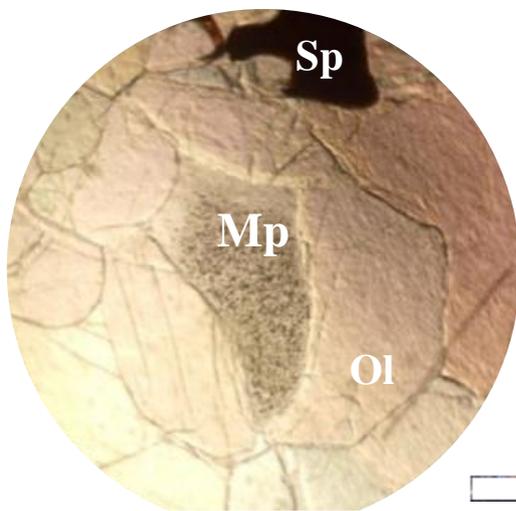


Fig.48 : les magmas piégés(Mp) (sans phénocristaux) en LN.

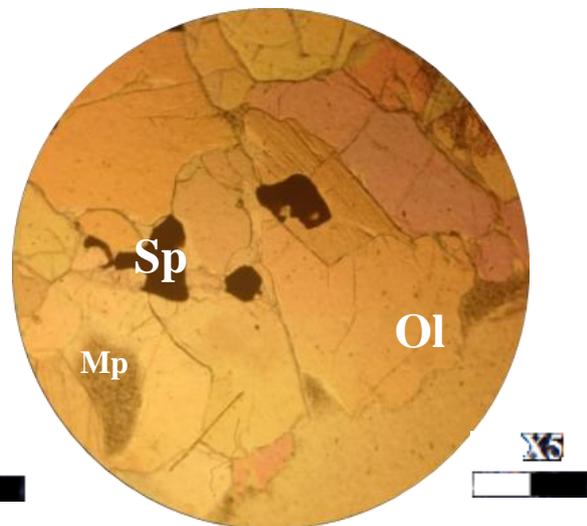


Fig.49 : spinelle dans l'olivine forme particulière en LN.

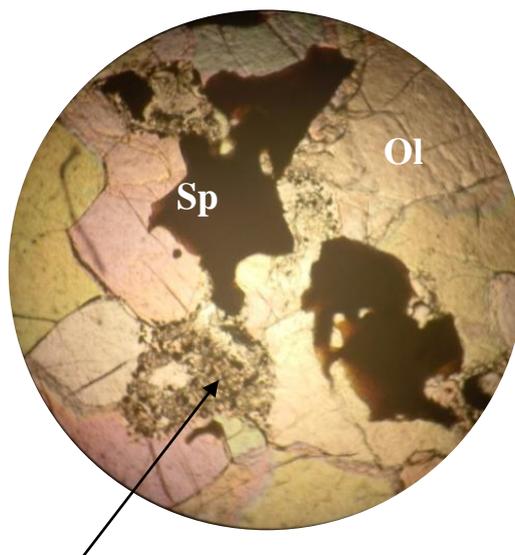
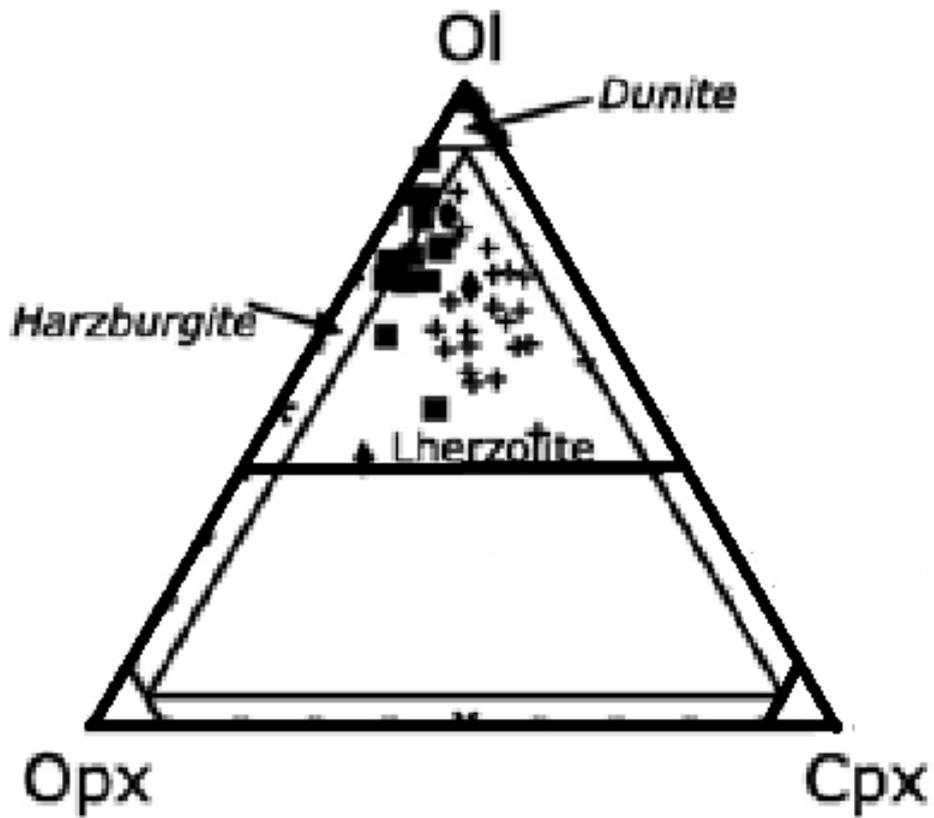


Fig.50 : verre volcanique aphanitique (sans phénocristaux) en LN.



Modal minéralogie de péridotite (données pour Meerfelder Maar de O'connor et al. 1996 ; les données Gees de Lloyd et al. 1991 ; données Dreiser Weiher de Stosch et al. 1980).

- Dreiser Weiher
- + Meerfelder Maar
- ◆ Gees

III.3. Conclusions :

Les lherzolites sont les lithologies les plus abondantes alors que les harzburgites et les dunites sont moins nombreuses ; ils sont majoritairement des roches à spinelle.

Les enclaves ultramafiques de cette étude proviennent de plusieurs localités réparties sur l'ensemble de la région, Ces enclaves reflètent le caractère hétérogène, d'un point de vue pétrographique, minéralogique du manteau lithosphérique présent sous le massif rhénan.

Le manteau à spinelle est majoritairement réfractaire il se compose essentiellement de roches pauvres en clinopyroxène (harzburgites) avec une texture prédominante de type porphyroclastique, Le manteau de cette localité, a une texture dominante de type équi-granulaire, et ne contient que très rarement des phases hydroxylées.

Les lherzolites se sont certainement formées par réaction d'un liquide silicaté (sub-alcalin/alcalin) peu différencié, alumineux et sodique, avec un protolithe harzburgitique réfractaire, ce qui a entraîné la cristallisation de clinopyroxène et d'orthopyroxène aux dépens des olivines l'existence d'un métasomatisme carbonatitique.

La plupart des suites de roches mantelliques montrent des variations des concentrations des proportions minéralogiques.

Ces variations sont classiquement attribuées à différents degrés d'extraction de liquides lors de processus de fusion partielle. En effet, à partir d'une Lherzolite, l'obtention d'une Harzburgite peut se faire par simple fusion partielle, puis pour des degrés de fusion plus importants, il est possible de former des dunites (rares).

Le spinelle et le clinopyroxène sont les premières phases minérales à fondre, puis vient le tour de l'orthopyroxène, et ainsi, la séquence de fusion obtenue est la suivante (P < 2 GPa ; Walter et al. 1995).

Lherzolite > Harzburgite > Dunite.

Références Bibliographiques

D

Dautria, P. 1988. Les conglomérats des bordures du rift Cénozoïque rhénan. Dynamique Sédimentaire et contrôle climatique. Thèse, Université de Strasbourg I.

E

Edel, J.B, Fuchs,K,Gelbke, C and Prodehl, C, 1975.Deep structure of the southern Rhine Graben area, from seismic refraction. *J. Geophys.* 41, 333–356.

Edel, J-B, Campos-Enriquez, O, Goupillot, M et Kiro, K-N, 1982. Levé magnétique du fossé Rhénan supérieur. Interprétation géologique. *Bull Bur Rech Géol Min* 2:179–192.

Edel, J.B., Lutz, H et Elsass, P., 2002. Le socle varisque et les tectoniques rhénanes dans le fossé Rhénan méridional: traitement et interprétation de la carte gravimétrique du fossé à partir du levé haute densité des MDPA. *Geol. Fr.* 3, 43–59.

Edel, J.B, Whitechurch, H and Diraison, M, 2006.Seismicity wedge beneath the Upper Rhine Graben due to backwards Alpine pushes. *Tectonophysics*, 428 (1-4), 49-64.

K

Kraml, M. Keller, J and Henjes-Kunst, F., 1999. Time constraints for the carbonatitic intrusions of the Kaiserstuhl Volcanic Complex, Upper Rhine Graben, Germany. *Journal of Conference Abstracts* 4, p.322.

M

Michon, L. 2000. Dynamique de l'extension continentale - Application au Rift Ouest-Européen par l'étude de la province du Massif Central. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand; France.

Michon, L., van Balen, R-T., Merle, O and Pagnier, H., 2003. The Cenozoic evolution of the Roer Valley rift system integrated at a European scale, *Tectonophysics*, 367, pp. 101–126

N

Nelson, J. B. 1986.An Alternate Derivation of the Three-dimensional Hilbert Transform Relations from First Principle. *Geophysics* 51, 1014–1015.

Références Bibliographiques

S

- Schwab, K., 1987.** Compression and right-lateral strike-slip movements at the South Hunsrück borderfault (southwest Germany). *Tectonophysics*, 137, 115-126.
- Sissingh, W., 1998.** Comparative Tertiary stratigraphy of the Rhine Graben, Bresse Graben and Molasse Basin: correlation of Alpine Foreland events. *Tectonophysics*, 300: 249-84.
- Sittler, C., 1965.** Le Paléogène des fossés Rhénan et Rhodanien. Etudes sédimentologiques et paléoclimatiques. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 24, 392p.
- Sittler, C., 1969.** Le fossé Rhénan en Alsace, aspect structural et histoire géologique. *Rev. Geogr.Phys. Geol. Dynamique*, (2)6(5): 465-494.
- Sittler, C., 1972.** Le Sundgau, aspect géologique et structural. *Bull. Sci. Géol.* 25, pp. 93–118.
- Sittler, C., 1985.** Les hydrocarbures d'Alsace dans le contexte historique et géodynamique du fossé Rhénan. *Soc. Nat. Elf Aquitaine Production, BCREDP 9*, pp. 336-371.
- Streckeisen (1976).** Classification des roches ultramafiques dans le diagramme (Ol - Opx – Cpx).

V

- Villemin, T., 1986.** Tectonique en extension, fracturation et subsidence: le fossé Rhénan et le bassin Sarre-Nahé. Thèse de Doctorat de l'université Paris VI, Paris, 270 p.
- Villemin, T and Bergerat, F., 1987.** L'évolution structurale du fossé Rhénan au cours du Cénozoïque: un bilan de la déformation et des effets thermiques de l'extension, *Bull. Geol. Fr.* 8, pp. 245–255.
- Villemin, T., Alvarez, F and Angelier, J., 1986.** The Rhinegraben: extension, subsidence and shoulder uplift, *Tectonophysics* 128, pp. 47–59.
- Von Eller, J.P., 1984.** Guide géologique régionale de la France: Vosges-Alsace. Masson, Paris, 182p.

W

- Wimmenauer W., 1962.** Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls. Teil IV: Die Gesteine der phonolitischen Familie. Teil V: Die subvulkanischen Breccien. *Neues Jahrbuch der*

Références Bibliographies

Mineralogie, Abhandlungen, 98:367–415.

Wimmenauer, W., 1974. The alkaline province of the Central Europe and France. In: SØRENSEN (Eds). The alkaline rocks. John Wiley & Sons, 622p.

Z

Ziegler, P.A., 1992. European cenozoic rift system. Tectonophysics, Vol. 208, pp. 91-111.

Liste des Figures

Fig1: Classification des roches ultramafique dans le diagramme	5
Fig2 : Classification des roches ultramafiques dans le diagramme	5
Fig3 : Systèmes de failles et provinces magmatique structurant l'Europe de ouest et central.....	13
Fig4 : Schéma du modèle géodynamique proposé ici d'expliquer l'origine de l'ECVP.....	13
Fig5: Carte de localisation le graben du Rhin	15
Fig6 : Aspect géologique et localisation du Fossé Rhénan.....	18
Fig7: Schéma simplifié du graben du Rhin entre Bâle et Mayence.....	24
Fig8 : Carte des roches volcaniques cénozoïques d'Europe centrale	26
Fig9: Carte géologique et répartition des centres volcaniques dans le fossé rhénan.....	27
Fig10: modal minéralogie de péridotite	48

La liste des photos

Photo 1: Vue microscopique d'une Néphéline à Olivine à bordure iddiggsitisée dans une matrice constituée de fin cristaux de Néphéline et de Pyroxène dans la photo A (LN) et photo B (LP)	29
Photo 2: Vue microscopique de Néphéline basanite dans la Photo 1 (LN) et même échantillon dans la Photo 2 (LP).....	29
Photo 3: Vue microscopique de Limburgite phénocristaux d'augite automorphes dans la Photo 1 (LN) et même échantillon dans la Photo 2 (LP).....	29
Photo 4: Vue microscopique de Tuf Limburgite dans la Photo 1 (LN) et même échantillon dans la Photo 2 (LP)	30
Photo 5: Vue microscopique de Téphrite à Leucite dans la Photo A (LN) et même échantillon dans la Photo B (LP)	30
Photo 6: Vue microscopique d'une Essexite montrant des cristaux d'augite zoné, quelque Olivine, lattes des labradorites et quelques cristaux de leucite bien formée, et certain minerai d'opagues(magnétite) dans un fond plus fin dans la photo (LP).....	30
Photo 7: Vue microscopique d'un porphyre d'augite titanifère automorphe montrant le zonage de croissance dans la photo 1 (LN) et photo 2 (LP).....	31
Photo 8: Vue microscopique d'une Phonolite montrant des phénocristaux de Pyroxène et d'amphibole dans la photo A (LN) et photo B (LP).....	31
Photo 9: a. Vue microscopique de Phonolite montre de Pyroxène avec la macle h1. (LP)	32
b. Vue microscopique de Tuf Phonolitique montre des Lithoclastes et Cristalloclastes (LP)	32
Photo 10: Vue microscopique d'une phonolite à texture microlithique porphyrique et fluidale La texture est microlithique porphyrique et fluidale. Dans la photo A (LN) et la photo B (LP).....	32
Photo 11 : Basalte alcalin à texture porphyrique microlitique à hyalo-microcristalline, elle renferme des phénocristaux de Clin pyroxène, d'olivine, et minéraux opaque.....	33
Photo 12 : Tuf basaltique à texture cristallo-lithoclastique à fond presque absent hyalin (amorphe) vitreuse, éléments fins constitué de lithoclastes et cristallolastes variables appartenant aux roches du substratum et aux roches volcaniques.....	33
Photo 13 : Schorenbergite : c'est une phonolite à nosean et leucite, il s'agit d'une roche volcanique extrêmement rare (sinon unique) de la localité de Schorenberg près de Rienden dans l'Eife.....	34
Photo 14 : Les Selbergites sont des phonolites très riches en leucite et en noséane, à texture est porphyrique et un fond légèrement microlithique à hyalo- microcristallin.....	34
Photo 15 : Phénocristaux haiÿne –Noseane présentant la couleur (bleu) et (Les bords bruns), région Schellkopf, Eifel, en Allemagne.....	35
Photo 16 : a. Néphéline basanite : ou néphéline à olivine à texture porphyrique microlitique à néphéline, clinopyroxène (variété augite) et olivine	35

: b. Leucite à néphéline la texture est porphyrique microlitique. Dans cette lave, nous reconnaissons principalement la Leucite, la Néphéline subautomorphe et totalement altéré en Analcime et de clinopyroxène et d'Amphibole déstabilisée (épigénisée) et de Leucite, de Cpx, d'oxydes de Fer.....	35
Photo 17: Xénolite de Lherzolite dans le basalte. Masses vertes sont péridotite (Lherzolite), masse grise est basalte.....	37
Photo 18 : Vue ensemble de la lame en LP	38
Photo 18 : Vue ensemble de la lame en LN.....	38
Photo 19: Clinopyroxène avec d'ésolution de l'orthopyroxène et l'olivine poicilitique serpentins en LP.....	39
Photo 20: L'orthopyroxène avec ésolution de clinopyroxène + inclusion d'olivine + spinelle (texture poicilitique) en LP.....	39
Photo 21: L'orthopyroxène avec ésolution de clinopyroxène + inclusion d'olivine + spinelle (texture poicilitique) en LN.....	39
Photo22: L'olivine interstitiel partiellement serpentinisé en LP.....	39
Photo 23: Péridotite (Harzburgite).....	40
Photo 24: Péridotite (Harzburgite) Grains avec des couleurs vives d'interférence sont olivine; grains gris jaunâtre au centre et en haut à gauche sont ortho pyroxène; zones gris foncé avec des polygones gris clair et blanc sont serpentine.....	41
Photo 25: Péridotite (Harzburgite) grains de couleur sont olivine; grain gris au centre est ortho pyroxène; zones gris foncé avec des polygones gris clair et blanc sont serpentine.....	41
Photo 26: Texture poicilitique, l'olivine en relique (serpentinisé dans l'orthopyroxène), l'orthopyroxène à ésolution de clinopyroxène en LP.....	42
Photo 27: Porphyroclaste d'olivine totalement serpentinisé et biotite déformé en LP.....	42
Photo 28: L'orthopyroxène à ésolution de clinopyroxène et l'inclusion d'olivine anastomosée (Serpentinisé) en LP.....	43
Photo 29: Relique de plagioclase interstitiel à inclusion de spinelle en LP.....	43
Photo 30 : Biotite déformé en LN.....	43
Photo 31: Spinelle agglomérés en LN.....	43
Photo 32 : Dunite (péridotite) xénolite intérieur lave basaltique.....	44
Photo 33 : Texture polyhedral (texture mosaïque) en dunité.....	44
Photo 34 : Vue ensemble de la roche (texture mosaïque) en LP.....	46
Photo 35 : Inclusion de spinelle dans l'Orthopyroxène en LP.....	46
Photo 36 : Réaction entre spinelle et olivine (symplectite) en LP.....	46
Photo 37 : Réaction entre spinelle et olivine (symplectite) en LN.....	46
Photo 38 : Les magmas piégés (sans phénocristaux) en LN.....	47
Photo 39 : Spinelle dans l'olivine forme particulière en LN.....	47
Photo 40 : Verre volcanique aphanitique (sans phénocristaux) en LN.....	47

La Liste des Tableau :

Tableau 1: Classification des roches ultramafiques en fonction de la nature de la phase alumineuse ..4

Tableau 2:Nomenclature des types texturaux à caractère cumulative7

Tableau 3 : Récapitulatif des textures métamorphiques 8

Tableau 4 : la grande variété de type des roches.....28