

### 3.3. La classification morphologique des gemmes

Tous les minéraux se développent selon des systèmes cristallins bien définis et sont constitués par une substance bien définie où atomes, ions ou molécules sont assemblés suivant un réseau cristallin régulier. Lorsqu'ils sont bien formés, les individus cristallins sont limités par des faces planes. La structure interne et le réseau cristallin d'un cristal déterminent ses propriétés physiques, tant mécaniques qu'optiques : forme, dureté, clivage, cassure, poids spécifique, caractère optique, etc. La cristallographie classe les cristaux en sept (7) systèmes qui se différencient les uns des autres par leurs éléments de symétrie, ou par la forme de leur maille élémentaire parallélépipédique : les arêtes de la maille définissent les trois axes cristallographiques a,b,c selon la notation de Miller.

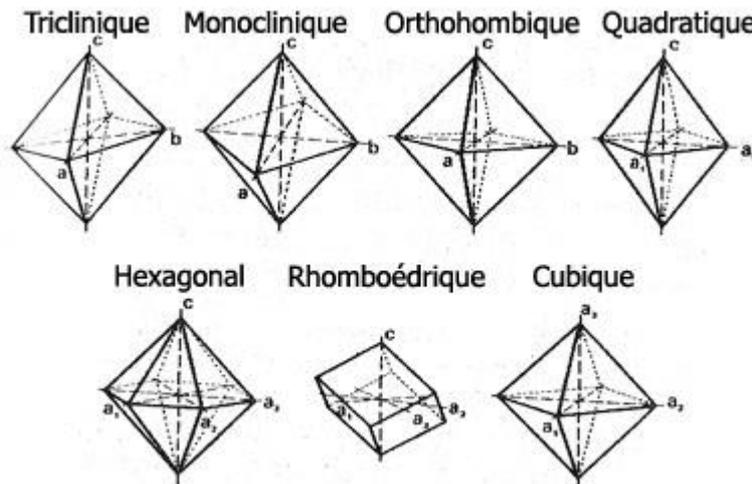
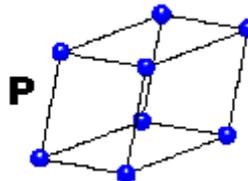
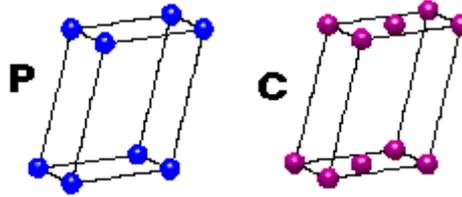


Figure 11 : Les systèmes cristallins des gemmes

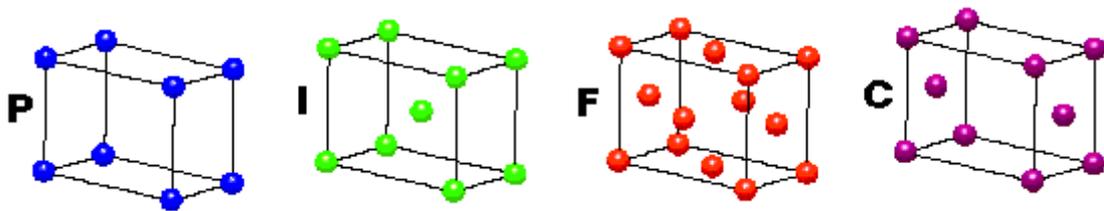
- 1) Le système **triclinique** est le système le plus général car il englobe tous les autres comme des cas particuliers. Les côtés de la maille (appelés *axes*) sont obliques. Leurs dimensions (largeur, longueur et hauteur) sont toutes inégales. On peut le décrire comme un prisme incliné dont les 6 faces sont des parallélogrammes. L'amazonite, la labradorite, la cyanite se cristallisent dans ce système.



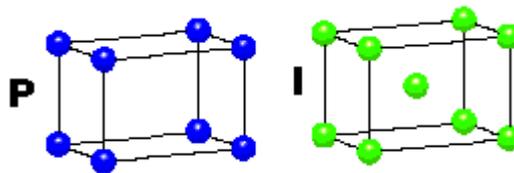
- 2) Si nous prenons deux de ces axes (ici ceux du plan horizontal) et que nous les écartons pour ajuster l'angle à  $90^\circ$ , nous obtenons le système **monoclinique**. C'est un parallélépipède incliné avec 4 faces rectangulaires. Les 2 autres sont des parallélogrammes. Le spodumène, la diopside, la titanite (sphène) en font partis.



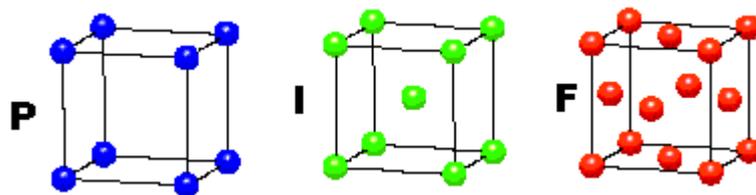
- 3) Redressons le 3e axe à la verticale afin qu'il soit à angle droit avec les deux autres et nous obtenons le système **orthorhombique**. C'est un prisme droit avec 6 faces rectangulaires. La topaze, le péridot, la cordiérite, le chrysobéryl sont des exemples type de ce système.



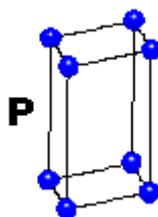
- 4) Continuons nos ajustements en modifiant la longueur des axes. Lorsque deux de ces axes ont une longueur égale, une face devient carrée. Nous obtenons le système **quadratique** ou **tétragonal** avec 2 faces carrées et 4 faces rectangulaires. Le zircon, l'apatite, la scapolite se cristallisent dans ce système.



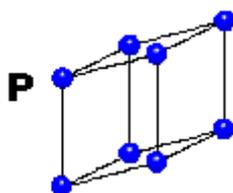
- 5) Enfin, si le troisième axe a la même longueur que les deux autres, cela devient un cube. C'est le système **cubique**. Le diamant, la fluorite, le spinelle, le grenat font partis de ce système.



- 6) Le système **hexagonal** dérive du système orthorhombique en ajustant l'angle de deux axes à  $120^\circ$ . On obtient un prisme droit dont la base est un losange. Le béryl, l'apatite en font partis.



- 7) Dans le système **rhomboédrique**, les trois axes sont de même longueur et les trois angles sont égaux, mais non droits. Les faces sont toutes des losanges (des rhombes). Plusieurs variétés de gemmes font parties de ce système comme quartz, la tourmaline, le corindon.



### 3.4. Les outils d'analyse des gemmes

Cette partie explique de manière très simple, les principes physiques sur lesquels le fonctionnement des différents instruments repose. Que mesure-t-on et pour quelle raison ?

#### 1) *L'expertise du gemmologue*

Pour autant on ne peut se fier exclusivement à la couleur pour déterminer la nature d'une pierre, car rien ne ressemble plus pour l'œil du profane (et souvent du professionnel aussi compétent soit-il) à un rubis naturel, qu'un spinelle rouge, une tourmaline rubellite, un grenat pyrope, un morceau de verre au plomb teinté de rouge, un rubis de synthèse (fabriqué en laboratoire) ou même une pierre

composite tel un doublet composé d'une fine couche de grenat (pour l'éclat) et une épaisse couche de verre (pour la couleur et le volume).

Les outils du gemmologue sont, d'une part, ses connaissances sur les propriétés physiques et optiques des pierres, une batterie d'appareils de mesure et d'observation qui lui permettent de procéder par élimination et enfin une loupe gemmologique couplée à un sens de l'observation qui en première intention, et à la condition de connaître les inclusions spécifiques à chaque pierre, sont souvent déterminants dans le verdict final.

Le gemmologue pose son diagnostic par élimination en tenant compte de son observation minutieuse et de tout un tas de mesures telles que la densité, l'isotropie, l'indice de réfraction, le pléochroïsme, la spectroscopie.

- **Le poids spécifique ou la densité** : permet de déterminer la nature de la gemme analysée par la pesé hydrostatique
- **Les principes de l'optique physique**
  - **La loupe 10X** : permet également d'observer la qualité de taille d'une pierre gemme et ses inclusions éventuelles
  - **Le polariscope** : permet de trier les pierres que l'on observe parmi 4 groupes :
    - ✓ Isotrope uniréfringente cubique : Spinnelle, Grenat, Fluorite, Diamant
    - ✓ Anisotrope biréfringente : Émeraude, Aigue Marine, Tourmaline, Péridot
    - ✓ Amorphe micro cristalline : Agathe, Opale, Cornaline, Ambre
    - ✓ Fausse Biréfringence : Spinnelle synthétique, Ambre, Résines
- **Le réfractomètre** : permet d'indiquer l'indice de réfraction d'une pierre gemme. Grâce à cet outil assez simple d'utilisation, il permet d'éliminer près de 80 % des pierres factices ou autres gemmes pouvant se confondre avec la pierre analysée.
- **Le spectroscopie** : permet de distinguer certains pierrens synthétiques ou verres, mais aussi d'analyser la nature du colorant de la pierre
- **Le filtre Chelsea** : permet de faire la différence entre l'émeraude naturelle et l'émeraude synthétique, mais aussi de détecter la présence de chrome dans une gemme analysée
- **Le dichroscope** : permet de détecter le pléochroïsme des pierres biréfringentes, présence de dichroïsme ou de trichroïsme

## 2) *L'expertise du laboratoire*

Il est rare de ne pouvoir déterminer la nature précise d'une pierre, en revanche, dans la cas d'une pierre parfaitement limpide et sans inclusion décelable avec le matériel de base du gemmologue, une analyse de laboratoire s'impose pour déterminer son caractère naturel ou synthétique car on l'imagine, la valeur marchande d'une gemme naturelle est bien supérieure à celle d'une pierre synthétique aux qualités équivalentes.

Les laboratoires procèdent de la même façon mais avec un matériel bien plus pointu permettant une analyse approfondie et également la détection éventuelle de traitement.

- **Le microscope binoculaire :** permet d'observer avec une infime précision l'intérieure d'une pierre gemme. On le rencontre en général dans tous les laboratoires de gemmologie. Il peut être également très utile pour l'observation de gemmes brutes par les lapidaires.
- **La photoluminescence :** méthode de stimulation de la fluorescence est la plus utilisée, elle se sert d'une lampe à haute pression en quartz, et dont la lumière est filtrée à travers le verre de Wood.
  - ✓ L'Ultra Viloet (UV) sert à tester les effets luminescents avec deux types de rayons.
  - ✓ L'UV long de longueur d'onde 365nm et UV court 254 nm.
- **Le spectromètre UV-Vis-PIR :** permet l'analyse de la matière grâce à ses interactions avec des radiations électromagnétiques. Connaître le lien entre la couleur perçue d'une espèce chimique organique ou inorganique et la longueur d'onde au maximum de son absorbance.

On parle de spectroscopie UV-visible, lorsque ces interactions sont observées dans le domaine UV-Visible (UV: 200 à 400nm et Visible 400 à 800nm). Un spectrophotomètre permet de visualiser ces bandes d'absorptions.

## **Chapitre 4. Notion de gîtes minéraux**

La distribution spatiale des gîtes est liée aux environnements géodynamiques. Chaque environnement géodynamique peut être plus ou moins spécialisé pour différents types de gîtes.

Le but d'une classification des gîtes est de constituer des groupements sur la base d'analogies entre les gîtes semblables, est l'essence même de la gîtologie. Comme tous les gîtes minéraux sont

différents dans les détails, les classes et types sont basés sur les connaissances actuelles. Il existe plusieurs systèmes de classifications.

Les gemmes proviennent de nombreuses régions du monde. Elles sont tantôt isolées et dispersées, tantôt groupées en grande quantité. Un gisement est un site exploitable du fait de sa richesse en gemmes. Les lieux où ne se trouvent que quelques gemmes isolées sont dits localisations ou indices. Le mot « provenance » inclut toutes les notions précédentes.

Selon l'origine des roches renfermant les pierres précieuses, on distingue les gisements « magmatiques » (formés à partir du magma), « sédimentaires » (constitués d'une suite de dépôts) et « métamorphiques » (résultant de la transformation – métamorphisme – de roches préexistantes sous l'effet d'élévation de température et de pression).

Il est assurément plus opportun, en général, de parler de gisements « primaires » ou « secondaires », selon que les gemmes se trouvent sur leur site de formation géologique (« premier lieu ») ou qu'elles aient été transportées (« second lieu »).

#### **4.1. Gîtes magmatiques**

Ils sont directement associés à la présence, à un moment donné, d'un magma intrusif

##### **4.1.1 Gîtes pneumatolytiques**

Les gîtes pneumatolytiques se forment à partir de fluides chauds de faible densité (vapeur d'eau CO<sub>2</sub>, F, Cl...) issus des liquides magmatiques dont ils s'isolent vers la fin de leur cristallisation. L'action la plus commune des pneumatolytes est la greisenisation des roches, c'est-à-dire leur transformation en un assemblage de quartz et de muscovite. La topaze, la tourmaline, la cassérite, sont fréquentes dans ce type de formation.

##### **4.1.2 Gîtes de contact**

Ces gîtes de contact sont issus des actions conjuguées de la chaleur d'un magma intrusif et des fluides qui lui sont associés sur les roches encaissantes. Les skarns, qui sont des roches carbonatées enrichies en silicates (pyroxes, épidote, grenats) et aussi, bien souvent, en minéraux tels que la scheelite, la molybdénite, la chalcopyrite, en sont l'exemple le plus fréquent.

##### **4.1.3 Gîtes hydrothermaux**

On désigne par gîte hydrothermal toute concentration minérale ou métallifère formée à partir de fluides, essentiellement aqueux, de température inférieure au point critique de l'eau (473°C). A

partir de ces fluides, qui transportent à l'état dissous et complexé des substances chimiques, la précipitation des minéraux a lieu par diminution de la température, de la pression, et/ou par changement de la composition chimique et de l'acidité du milieu, provoquant ainsi la sursaturation de la solution.

Selon la température de cristallisation des minéraux, on distingue :

- les gîtes de haute température ou **hypothermaux** formés entre 300 et 473°C;
- les gîtes de moyenne température ou **mésothermaux** formés entre 150 et 300°C;
- les gîtes de basse température ou **épithermaux** formés entre 50 et 150°C.

Les gîtes de type fentes alpines résultent de phénomènes hydrothermaux.

## **4.2. Gîtes sédimentaires**

Les gîtes sédimentaires prennent naissance au cours des processus conduisant aux dépôts de sédiments dans les dépressions naturelles (mers, lacs, sebkhas, lagunes, etc.) ou artificielles (salins, marais salants, etc.). Ainsi se forment, entre autres, les gîtes évaporitiques, ou salifères, dont les minéraux principaux sont le gypse, l'halite, la sylvinite, l'aragonite, entre autres.

### **4.2.1 Gîtes détritiques**

Les grains qui résultent du démantèlement d'une roche sous l'effet de l'érosion sont véhiculés par l'eau à une distance plus ou moins éloignée de leur origine, les minéraux les plus denses se déposent les premiers. C'est ainsi que certains minéraux se concentrent dans des sites particuliers pour former les gîtes alluvionnaires ; exemples : gîtes alluvionnaires (" placers ") de l'or, du platine, de la cassitérite.

### **4.2.2 Gîtes alluvionnaires**

Gîtes sédimentaires détritiques se formant, par transport et concentration de minéraux utiles, dans les alluvions des cours d'eau et des plages.

### **4.2.3 Gîtes d'infiltrations**

Ce sont des gisements nés de la précipitation de minéraux, par lessivage des parties superficielles de l'écorce terrestre et/ou de gisements de minéraux plus anciens se trouvant près de la surface.

### **4.2.4 Gîtes d'oxydation et de cémentation**

Ce sont surtout des minéraux secondaires résultant de l'oxydation de minéraux métalliques primaires que nous rencontrons dans ces gîtes. L'oxydation des minéraux concernés se produit entre

le niveau hydrostatique et la surface du sol. C'est une zone oxydante où l'eau circule aisément. Le chapeau de fer de certains gisements est l'illustration parfaite de ce phénomène qui se traduit par une forte concentration d'hydroxydes de fer (limonites). En dessous du niveau hydrostatique, l'oxygène joue un rôle moindre et l'on passe à une zone réductrice appelée zone de cémentation. Elle se révèle très intéressante au point de vue minier, car il s'y produit des enrichissements en métal (argent ou cuivre).

### **4.3. Gîtes métamorphiques**

Le métamorphisme est, dans la majorité des cas, un processus endogène (c'est-à-dire qui se produit à l'intérieur du globe terrestre). Le métamorphisme agit sur des roches à l'état solide. Il consiste en des modifications structurales, minéralogiques et chimiques exercées sur une roche lorsque celle-ci est soumise à des conditions physico-chimiques (essentiellement pression et température) différentes de celle de sa formation. Le métamorphisme se situe entre les processus sédimentaires (faible pression/faible température) et magmatiques. En effet si une roche métamorphique fond, elle devient une roche magmatique. L'une des conséquences les plus directes du métamorphisme est la transformation minéralogique et parfois chimique de la roche, par recristallisation. S'y ajoute le plus souvent la déformation, avec le développement d'une schistosité ou d'une foliation.

#### **4.3.1 Le métamorphisme de contact**

Le métamorphisme de contact est localisé au contact des roches magmatiques et il affecte des enclaves et les terrains qu'il traverse, il est surtout lié à l'élévation de la température, élévation provoquée par l'intrusion magmatique.

#### **4.3.2 Le métamorphisme régional**

Le métamorphisme régional forme de grandes régions métamorphiques, caractéristiques de nombreuses chaînes de montagnes et de boucliers anciens. Typiquement, le métamorphisme régional suppose une élévation de la température et de la pression.

## **Chapitre 5. Techniques de prospection**

Dans la configuration de l'étude des gisements spécifiques de la Vallée de la Sahatany ainsi que dans le cadre de la description géologique de cette région, des travaux ont été réalisés, qu'on peut subdiviser en trois (3) principales étapes pour connaître ses caractéristiques géologiques.

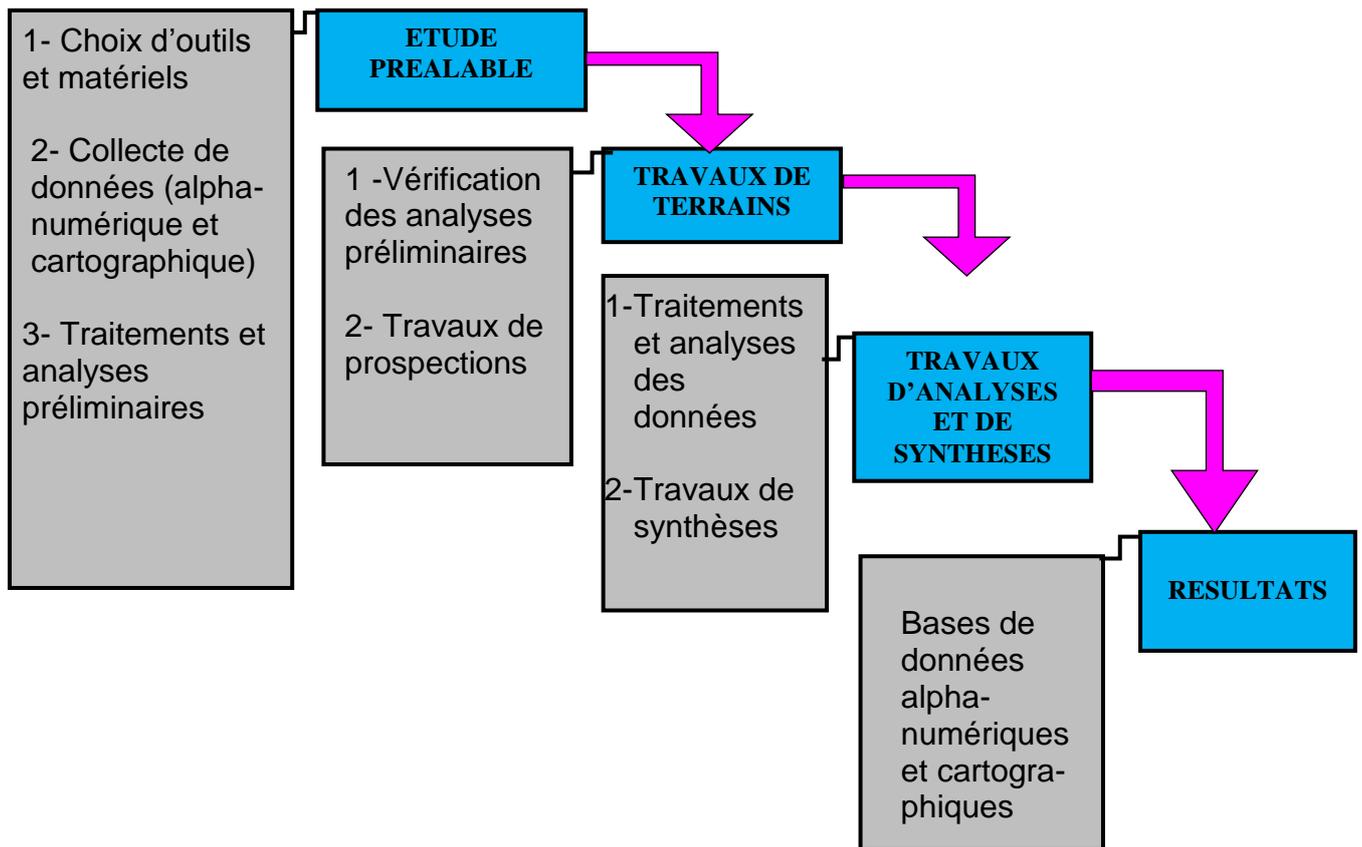
- 1) L'étude préliminaire appelée aussi étude préalable,
- 2) Les travaux de terrain
- 3) Les travaux d'analyses et de synthèses.

L'objectif focal de ces étapes est d'avoir les différentes informations concernant les caractéristiques géologiques de cette région à l'aide de l'exploitation des résultats antérieurs ainsi que la collecte de nouvelles données géologiques.

## **5.1. Etude préliminaire**

La préparation d'une mission de terrain est certainement l'une des étapes cruciales déterminant le bon déroulement d'une campagne de prospection. Elle consiste principalement à rassembler et à compiler des données géographiques à l'aide des cartes et de nombreuses informations de natures diverses, comme des cartes topographiques, géologiques, géomorphologiques, métallogéniques, pédologiques, géomorphologiques et éventuellement des photos satellitaires et/ou aériennes ainsi qu'éventuellement des cartes géophysiques, géochimiques préexistantes complétées quelques fois par des plans de travaux miniers antérieurs. Toutes les informations afférentes à ces cartes sont regroupées et synthétisées afin de déterminer au mieux les potentialités minérales d'abord d'une région (prospection régionale ou stratégique) et ensuite des gisements cibles (localités), plus détaillé (prospection détaillée ou tactique).

A travers cette étude, plusieurs données ont été utilisées, qui peuvent être sous formes de données alphanumériques (documents écrits, livres, revues scientifiques, ...) ou des données cartographiques (carte topographique de la feuille N50 fournie par le FTM, anciennes cartes géologiques de Manandona éditée par le Service Géologique de Madagascar en 1965, images satellites de type Landsat 7 ETM+ fournies par USGS).



**Figure 12 : Démarche générale de l'étude depuis l'étude préliminaire jusqu'aux résultats**

Les données collectées ont été compilées aux données géologiques anciennes pour qu'elles soient cohérentes et exploitables.

Ce travail s'appuie également sur l'utilisation du SIG ou Système d'Information Géographique qui est incontournable pour le traitement et l'analyse des données cartographiques ainsi que l'analyse spatiale des données géologiques ainsi collectées.

### 5.1.1 Données géographiques

Deux (02) principales routes carrossables toute l'année constituent l'axe joignant le village Ibity à la capitale de Madagascar : la RN7 qui relie la ville d'Antananarivo jusqu'à la bifurcation située au Sud du village de Vinanikarena compte une distance d'environ 178 km. De ce croisement, la route d'intérêt provincial reliant le Chef lieu de la Commune rurale Ibity est d'environ d'une distance de 12 Km.

Administrativement, la zone d'étude touche trois communes rurales :

- la commune d'Alatsinainy-Ibity
- la commune de Mangarano du District d'Antsirabe-II
- la commune de Tritriva du District de Betafo.

Toutes appartiennent à la région Vakinankaratra.

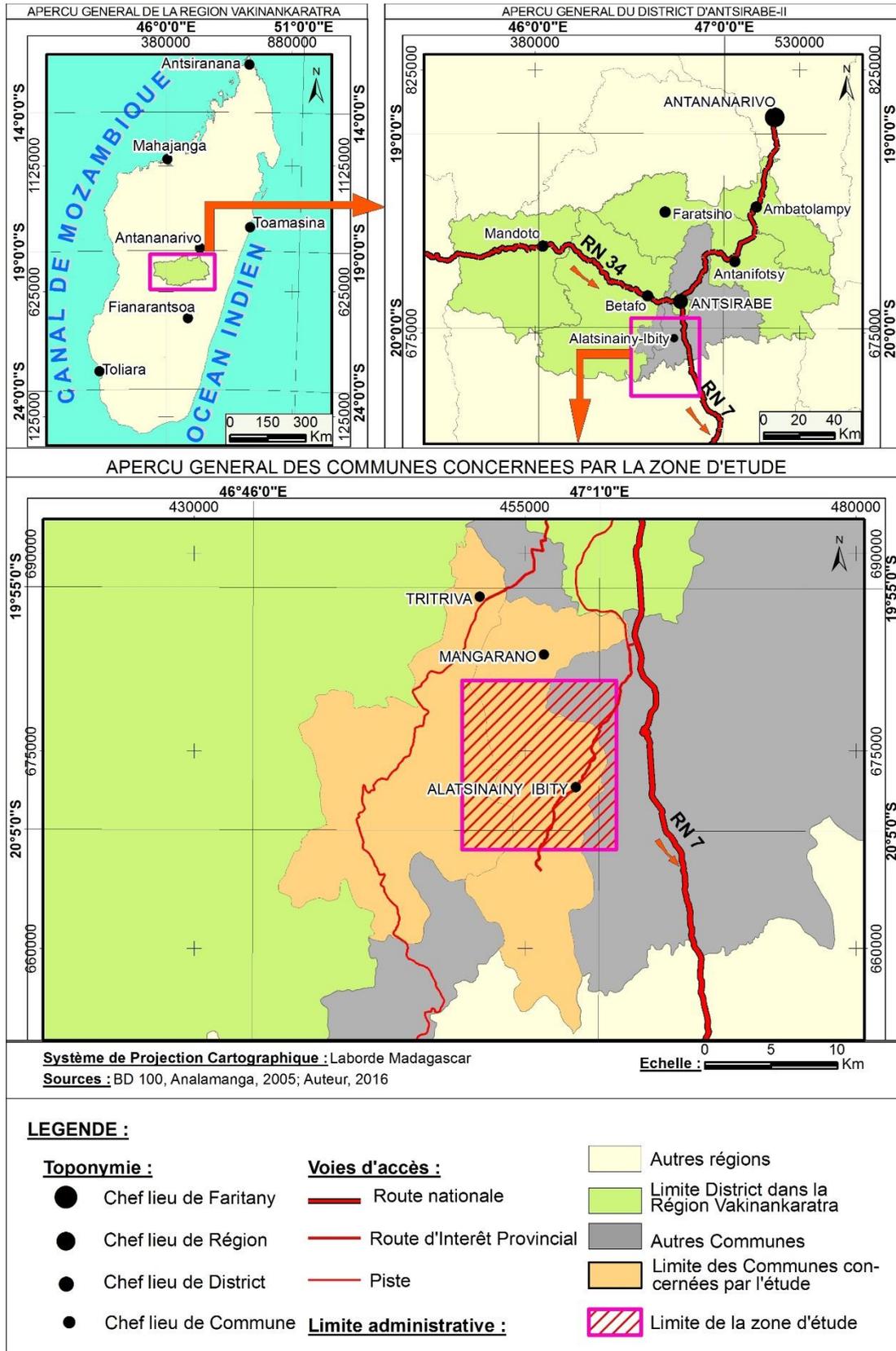


Figure 13 : Carte de localisation de la zone d'étude

Antsirabe possède un climat océanique chaud avec un hiver sec (Cwb) selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne est de 18.5°C et les précipitations sont en moyenne de 563 mm.

Les périodes optimales de travail sur les sites d'exploitations sont limitées à cause des précipitations pendant la période de pluie, qui génèrent des flux très abondants. Les extractions se font généralement d'avril en octobre pendant la saison sèche.

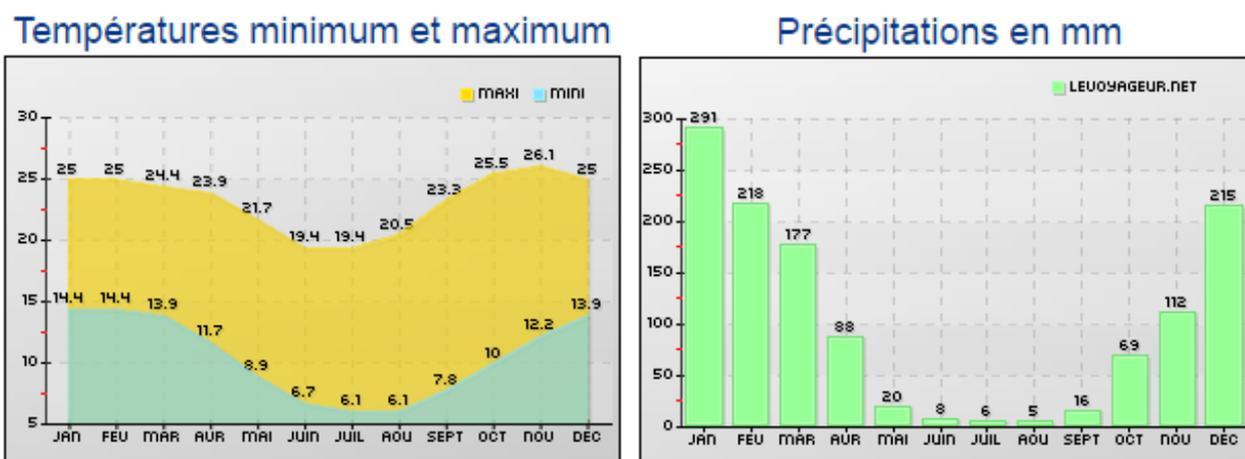


Figure 14 : Températures et Précipitations par période

### 5.1.2 Historique

Du côté de la Vallée de la Sahatany, de jolis rubellites et prismes polychromes continuent à être extraits. Chez certaines rubellites, les zones qui alternent sont toutes colorées en rouge plus ou moins vif ; le centre par exemple est d'un rouge violacé intense, les zones médianes et périphériques sont rouges ou roses de différentes nuances voire même incolores. Chez d'autres le centre est composé de jaune ou de brun, et la périphérie composée par de la rubellite. L'inverse a lieu également sur de gros cristaux qui paraissent noirs alors que les parties centrales sont d'un beau rouge. Lorsque les zones sont nombreuses elles sont fort minces. Les propriétés optiques de la tourmaline examinées sur des pièces rouge-sang, rouge plus pâle et sur un cristal zoné montrent qu'elles sont toutes légèrement biaxes

Depuis 1988, jusqu'à nos jours plusieurs milliers de tonnes ont été sorties de la vallée de la Sahatany, où des collectionneurs ont de nouveaux fait l'acquisition de superbes cristaux zonés de liddicoatite si richement coloré, aux étranges dessins géométriques, des chercheurs ont pu déterminer leur formule chimique si complexe et ont proposé d'ériger une espèce nouvelle, qu'ils ont nommé liddicoatite en l'honneur du gemmologue américain R.T. Liddicoat. (Dunn. 1977)

En 2000, un grand nombre de pegmatites, notamment celles de Tsarafara, Ilapa, Ampatsikaitra, Manjaka, Maharitra et Antandrokomby, ont produit à partir de grandes cavités miarolitiques, des échantillons spectaculaires de cristaux rouges ou polychromes de tourmaline, parfois des gemmes de béryl rose vif.

- ✓ Différentes couleurs de tourmalines sont issues de cette vallée, généralement d'espèces lithinifères, sodiques de la série elbaïte-dravite-schörl telles que :
  - Schörl ou la tourmaline noire, riche en fer
  - Achroïte ou la tourmaline incolore, riche en lithium, absence de fer ou présence en très faible quantité
  - Verdelite ou la tourmaline verte, riche en chrome
  - Dravite ou tourmaline brun-jaune, présence d'éléments majeurs en fer, en magnésium et de titane
  - Rubellite ou la tourmaline rose à rouge, riche en magnésium et en fer
  - Indicolite ou la tourmaline bleue, d'éléments majeurs en manganèse, en titane et d'éléments en traces de cuivre

Tous ces éléments ont permis à Madagascar en 2010 d'être répertorié en tant que pays producteurs de pierres de couleurs sur le marché mondial.

On peut voir sur cette carte regroupant les gisements connus du côté de l'Afrique, particulièrement à Antsirabe où la première exploitation de la tourmaline a eu lieu en 1904, la coloration « sable ou beige » montre la nature des substances minérales extraites dominantes, ici c'est pour les pierres semi-précieuses qui englobent toutes les pierres fines (tourmaline, béryl, quartz et autres minéraux accessoires).

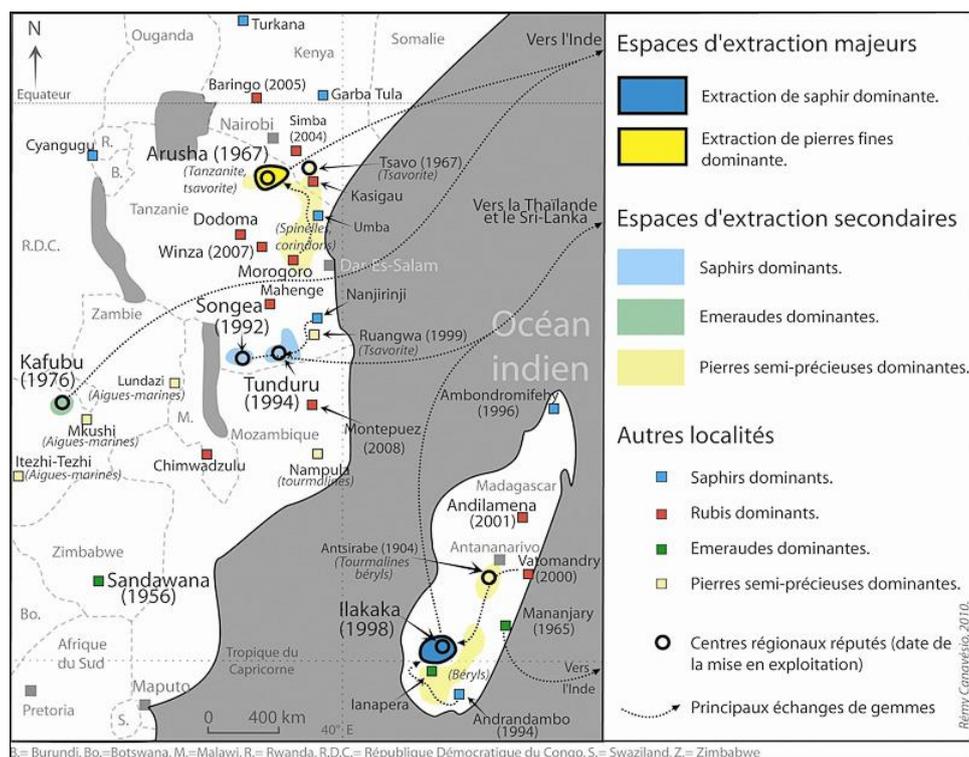


Figure 15 : Espace d'extraction majeur, espace d'extraction secondaire, autres localités.

## 5.2. Travaux sur terrain

Des travaux de relevés d'échantillons ont été effectués dans la zone sélectionnée après avoir collecté, traité et analysé les différentes données nécessaires à la réalisation de cette prospection.

Au cours de cette phase, les anciennes mines de tourmalines ont été ciblées principalement, qui peuvent être abandonnées ou non actuellement ; ainsi que de nouveaux sites occupés par les exploitants miniers. Toutes les données géologiques (pétrographiques, minéralogiques, structurales et cartographiques) nécessaire à travers cette étude ont été collectées et analysées.

La zone d'étude est localisée géographiquement entre les méridiens 46°55'0,0" E et 47°1'0,7" E, et entre les parallèles 19°58'0,8" S et 20°5'0,8" S, c'est-à-dire elle s'étend sur une superficie de 149,589 km<sup>2</sup>. Au cours des travaux de prospections géologiques, on a visité et étudié principalement douze (12) sites (Figure16).

**Tableau 3 : Principaux sites visités au cours des travaux de prospection**

<b>Numéro</b>	<b>Nom de la zone</b>
1	Manjaka
2	Avidahy
3	Antsofimbato
4	Antanetinilapa
5	Tsarafara
6	Ankarinarivo
7	Antokambohitra
8	Antsahalava
9	Soamangana
10	Avaratsena
11	Andrianampy
12	Ambatonapetraka

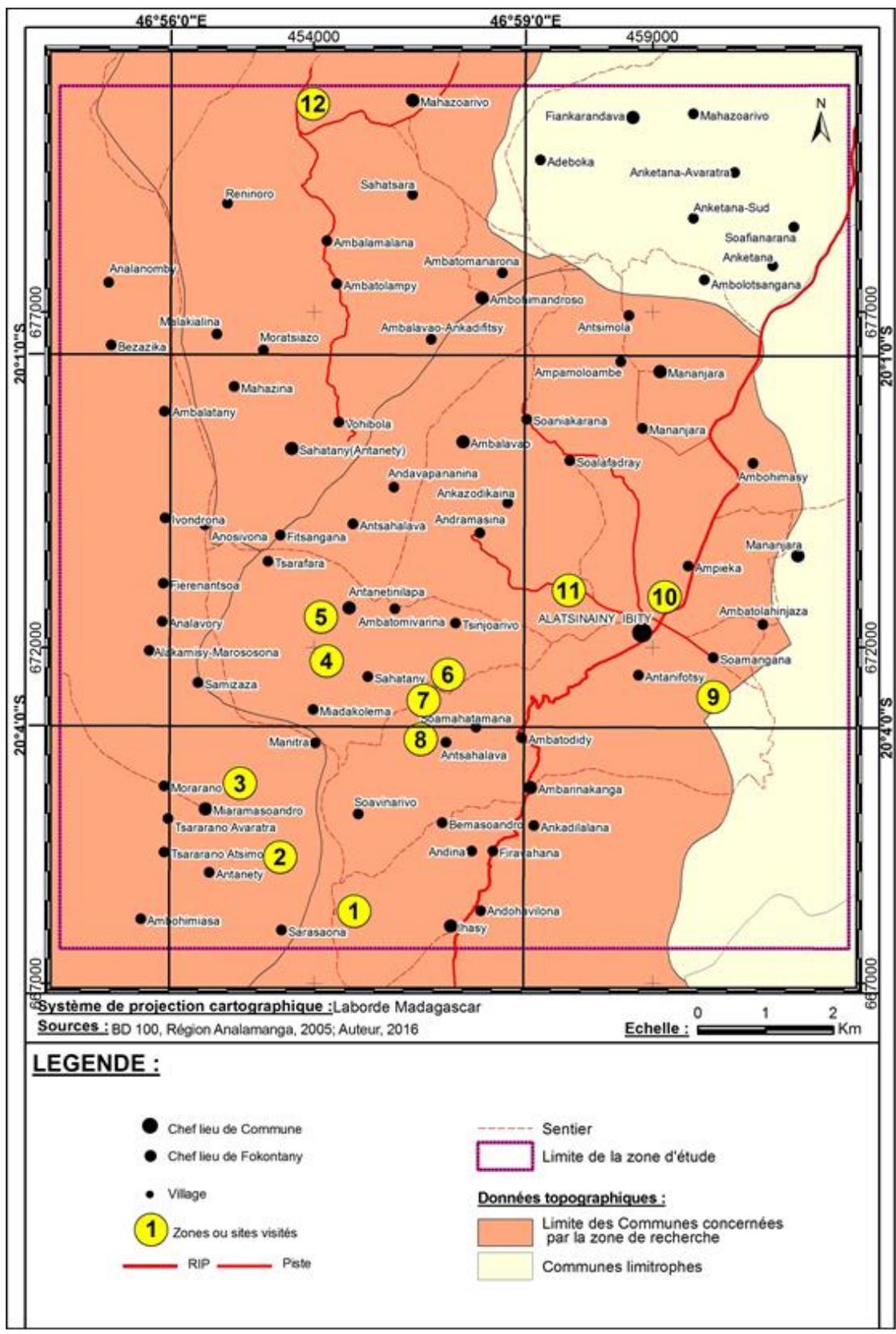


Figure 16 : Délimitation de la zone d'étude