

# Beautés et secrets de l'Afar

Conférence A.MI.S 27 mars 2010

*Pierre Fort*

# *Remerciements...*

- **Société Volcanique de Genève (SVG) :**  
**P. Vetsch, V. Barthès, D. Corneloup, L. Cantamessa**
- **J. Varet (BRGM) et F. Barberi**
- **G. de Saint-Cyr (Aventure & Volcans)**
- **J.M. Bertrand et F. Valla (FFCAM)**
- **L. Fort**

# *Introduction*

- L'auteur a participé à un voyage initié par le Comité Scientifique du Club Alpin Français (FFCAM)
- Organisé par Guy de Saint-Cyr (Aventure & Volcans)
- Objectif : découverte de l'Afar en Ethiopie
- Durée : 2 semaines (du 27/12/09 au 9/1/10)
- Groupe : 12 personnes y.c. Guy

# *Beautés et secrets de l'Afar*

- 1. Géologie régionale de l'Ethiopie
- 2. Sur les trapps éthiopiens  
et le rift est-africain
- 3. Géologie de l'Afar
- 4. Site géothermal de Dallol
- 5. Du nord au sud de l'Erta Ale



# Itinéraire

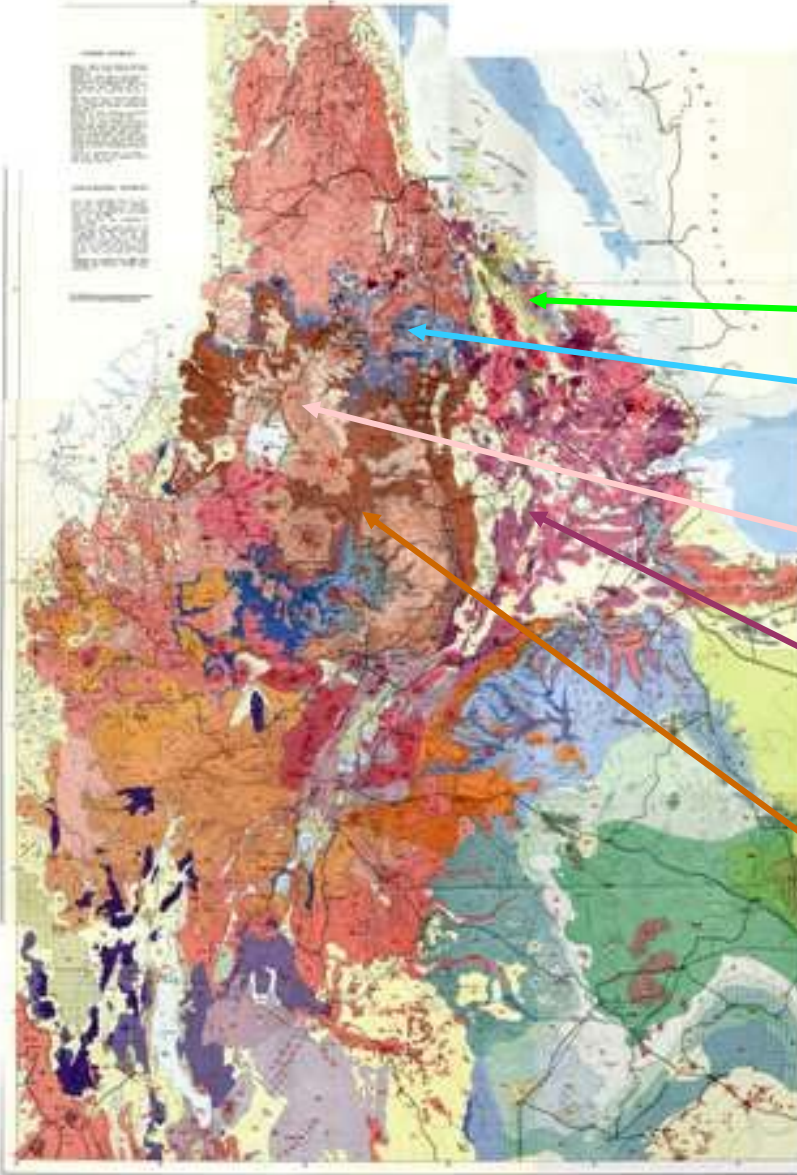
Conférence Afar A.M.I.S 27-3-10  
Pierre Fort

# 1. *Géologie régionale de l'Ethiopie*

- 1.1 Chronologie
- 1.2 Point chaud de l'Afar
- 1.3 Trapps éthiopiens et rift est-africain



## Carte géologique de l'Ethiopie



Carte : CNRS et Consiglio Nazionale delle Ricerche

- Vert : évaporites
- Bleu : trias jurassique
- Rose clair : socle précambrien
- Mauve violet : volcanisme rift EA et Afar
- Marron, rose : trapps (ET)

# 1.1 Chronologie (1/2)

- Avant 30 Ma, substrat précambrien, avec matériels issus du démantèlement d'une chaîne antérieure (granites, gneiss et grès) .
- Vers 30 Ma (Oligocène), formation d'un dôme lié à un panache mantellique entraînant un amincissement de la croûte continentale, avec émission, pendant 1 Ma, des Trapps Ethiopiens (ET), sans extension notable du rift est-africain
- Vers 29 Ma, début de la mise en place des grands volcans boucliers du plateau éthiopien qui se poursuivra jusqu'au Miocène (13 Ma)
- Entre 25 et 20 Ma, début de l'extension, vers le nord, du rift est-africain
- Simultanément, activation des trois grands rifts ( mer rouge, golfe d'Aden et rift est-africain), avec convergence au point triple de l'Afar



# 1.1 Chronologie (2/2)

- Vers 10 Ma, orientation vers le nord ouest de l'extension du rift est-africain, à l'intérieur de la dépression Afar
- Entre 3 et 1.8 Ma (Pliocène-Pléistocène), volcanisme intense dans le sud de la dépression Afar : séries «stratoïdes» sur 1500 m d'épaisseur
- Au Pléistocène, au nord et au centre du plateau éthiopien, activité volcanique strombolienne, sur des fractures liées à l'ouverture du rift
- A partir de 1 Ma, émission de laves et formation d'édifices volcaniques dans l'Afar
- Au quaternaire, dans la dépression de l'Afar, poursuite de l'extension au centre, au niveau de l'Erta Ale, et invasion de la mer Rouge par le nord, vers 0,2 Ma, suivie d'une évaporation totale.

# 1.2 Le point chaud de l'Afar

- Relation étroite entre trapps, point chaud, panache et ouverture des continents.
- Des panaches géants issus du manteau fracturent les continents, émettent des trapps. Leur racine reste vivante au travers de points chauds.
- Point chaud de l'Afar vers 30 Ma : le plus jeune du globe, après la Réunion (60 Ma) et l'Islande (55Ma)
- 3 types de points chauds : « primaires », issus de la couche D'', au plus profond du manteau (2700 à 2900 Km), « secondaires », issus de la base de la zone de transition (700 Km), « tertiaires », liés à la tectonique des plaques lithosphériques.
- Sous l'Afar, le panache partirait d'en dessous de la zone de transition
- Point chaud de l'Afar à la convergence des 3 plateaux-trapps d'Ethiopie, de Somalie et du Yémen)
- Le caractère de point chaud expliquerait pourquoi la dépression de l'Afar est émergée.

Source : Nouveau voyage au centre de la terre (V. Courtillot)



Point chaud

Limite des zones de trapps

# 1.3 *Trapps éthiopiens et rift est-africain* (1/4)

## Les trapps

- Vers 30 Ma, apparition de la série des Trapps Ethiopiens (ET)
- Durée d'émission inférieure à 1 Ma
- Origine : panache mantellique de diamètre d'environ 2000 km, centré en Afar, couvrant l'Ethiopie, la Somalie et le sud-ouest de la péninsule arabique, sur 610 000 km<sup>2</sup>.
- 350 000 km<sup>2</sup> en Ethiopie, épaisseur variant de quelques centaines de mètres à 3 000 m (vers les Mts du Simien)
- 200 000 km<sup>3</sup> de volume de matières volcaniques émises (400 m épaisseur rapporté à surface de la France)

## 1.3 Trapps éthiopiens et rift est-africain (2/4)

- Abondance de laves acides (parfois 30%), caractéristique des trapps d'Éthiopie, en général au sommet de la série volcanique
- Basaltes tholéitiques puis alcalins.
- Evolution du pôle basique vers pôle acide (trachytes et rhyolites) : par cristallisation fractionnée et contamination crustale du magma : laves « bimodales »
- Formes d'orgues basaltiques, dykes.
- Niveaux supérieurs souvent scoriacés, avec ignimbrite massive, d'origine probable de nuées ardentes.
- Phénocristaux de plagioclases, olivine et pyroxènes dans basaltes + vacuoles avec zéolites, chlorites ou carbonates, jusqu'à 10% du volume total.
- Obsidienne présente dans rhyolites.

*D'après V. Barthès, SVG bulletin No 79 mai 2008*



# 1.3 Trapps éthiopiens et rift est-africain (3/4)

## Le rift

- Longueur du rift est africain : 6500 Km, dont 1500 Km en Ethiopie
- Vers 25- 20 Ma, début de l'extension de la partie nord du rift
- Etirement et ouverture de failles majeures de direction N/S
- Depuis les hauts plateaux jusqu'à la dépression centrale, succession de fossés d'effondrement avec basculement des blocs vers l'extérieur.
- Remplacement des basaltes alcalins par des basaltes de transition syn-rift, associés à des rhyolites et des granites.
- Ouverture lente du rift (1 à 4 mm par an), en comparaison des 2 autres rifts de la mer Rouge et du golfe d'Aden (1 à 3 cm par an).
- Au Pléistocène, volcanisme strombolien sur des fractures liées à l'ouverture du rift : fusion de la croûte profonde ?.

d'après V. Barthès , bulletin SVG No 79 mai 2008

# 1.3 Trapps éthiopiens et rift est-africain (4/4)

## Les volcans boucliers

- De 29 à 13 Ma, mise en place des volcans boucliers, donc beaucoup plus longue que la mise en place des trapps.
- Volcans de morphologie voisine des volcans hawaiiens.
- Comagmatiques (cogénétiques) des trapps : même alimentation à partir du point chaud de l'Afar.
- Situés le long de grandes fractures subparallèles au rift, à ~200 km de son axe, provoquées par son ouverture
- Volcans majeurs : Choke (4050 m), Mts Simien (→4533 m), Guguftu
  - Mt Choke (4050 m), au NW d'Addis-Abeba, mis en place il y a 22 Ma, diamètre basal de 100 km, épaisseur de 1400 m au dessus du plateau des trapps

d'après V. Barthès (SVG)



## 2. Sur les trapps éthiopiens et le rift est-africain

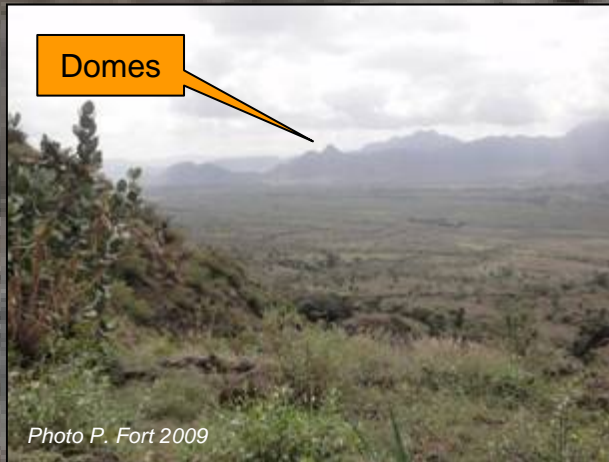
- 2.1 Les trapps vers le nord (d'Addis à Makele)
- 2.2 Les séries pré-rift du plateau tigréen
- 2.3 Les zones de transition en descendant vers l'Afar
- 2.4 Le rift est-africain en remontant de l'Afar

Carte about.com



## 2.1 Les trapps vers le nord (1/5)

### Morphologie des trapps



Collines et escarpements, entrecoupés de vallées évasées se développant sur de grandes lignes de failles.



Reliefs tabulaires

Altitude 1500 a 2500m

## 2.1 Les trapps vers le nord (2/5)



Le lac d'Ashenge, au pied des contreforts du Mt Abune Yosef (4190m)  
(volcan bouclier)



## 2.1 Les trapps vers le nord (3/5)



- Belles coupes de laves basaltiques, avec des dépôts blancs, souvent abondants (probablement lits d'ignimbrites)

- Les laves contiennent des zéolites, en vacuoles cm ou en filon

## 2.1 Les trapps vers le nord (4/5)



- Beaux villages, très compacts et soignés
- Cultures en terrasse de céréales (blé ou tef)

## 2.1 Les trapps vers le nord (5/5)



- Les amharas sont en majorité chrétiens (monophysites, proches des coptes orthodoxes)
- Bonne cohabitation avec les musulmans



## 2.2. *Séries pré-rift du plateau tigréen (1/6)*

- 3 types de séries observées sur le terrain
  - Séries protérozoïques et paléozoïques
  - Séries sédimentaires du jurassique
  - Séries volcaniques de l'éocène

## 2.2. Séries pré-rift du plateau tigréen (2/6)



- Précambrien :
  - calcaires à stromatolites
  - grauwackes (vers 700 Ma)



- Ordovicien :
  - blocs de tillite (vers 450 Ma)

## 2.2. Séries pré-rift du plateau tigréen (3/6)

- Séries jurassiques :
  - Bancs calcaires de l'oxfordien
  - Surmontés de grès
  - Brachiopodes articulés



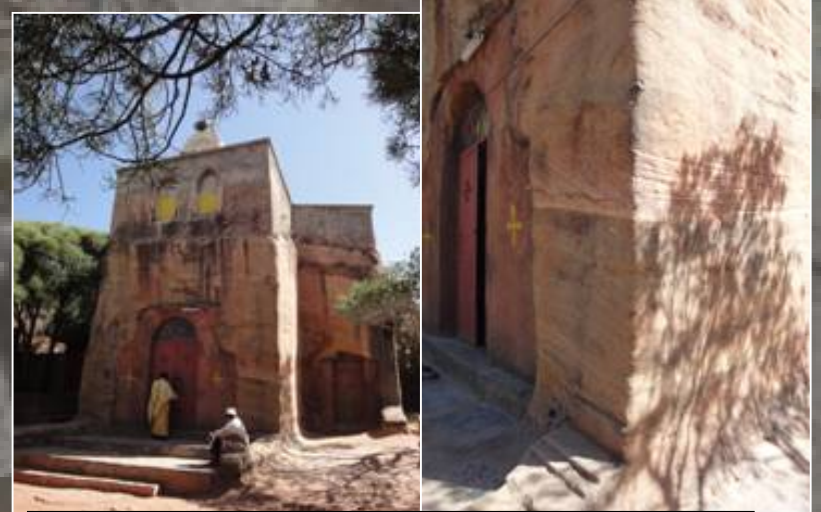
## 2.2. Séries pré-rift du plateau tigréen (4/6)

Les églises du Tigré ont été taillées dans le grès

Elles ont pour la plupart été construites avant le Xème siècle, puis embellies et remaniées vers le XVème.

Eglise de Chirkos

Eglise de Mikaël Imba





## 2.2. Séries pré-rift du plateau tigréen (5/6)

- Séries volcaniques de l'éocène

- grande densité de boules de dolérite sur toute la surface du plateau
- blocs de quartz, de métadolérites...
- manifestation d'intrusions gabbroïtiques d'âge éocène (vers 40 Ma) donc antérieures à la formation des trapps
- signes précurseurs de l'évènement majeur de la montée des trapps (30 Ma)?

## 2.2. Séries pré-rift du plateau tigréen (6/6)

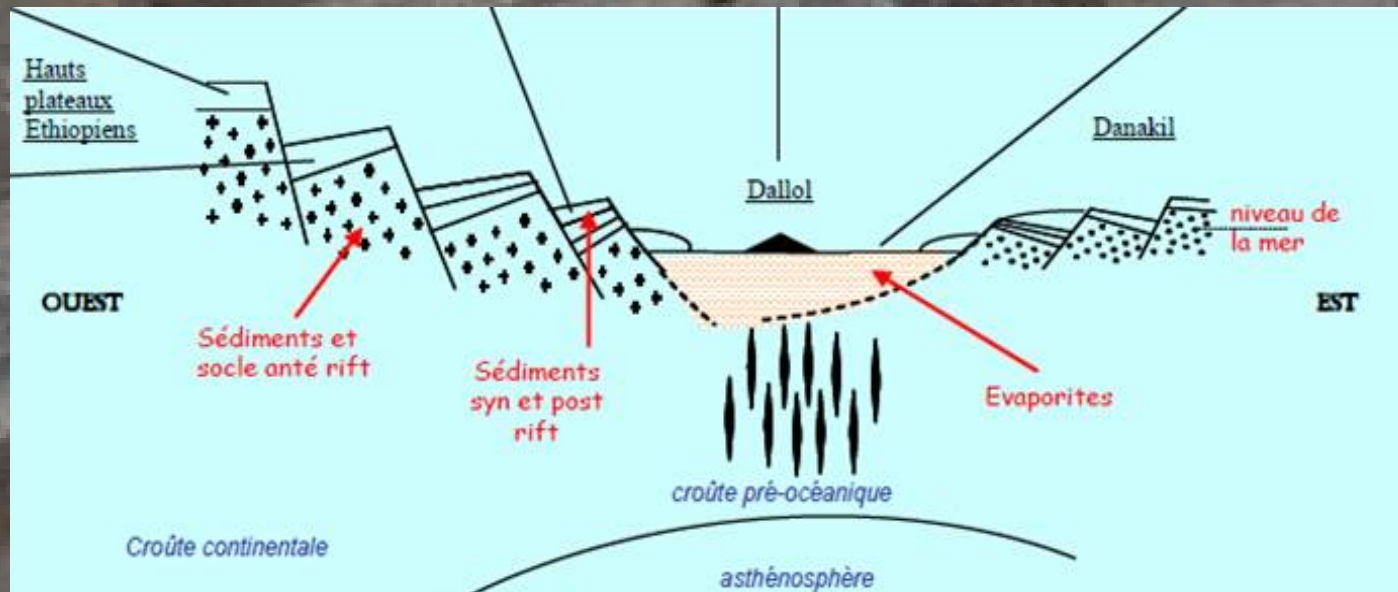
- Fermes du Tigré :
  - architecture et propreté remarquables
  - méthodes traditionnelles de battage du blé, les ânes assurant la traction animale.





## 2.3 En descendant vers l'Afar (1/4)

Coupe O-E des formations, socle et sédiments, antérieures à l'ouverture du rift



- décalées par des failles et basculées vers l'ouest
- recouvertes en discordance par des dépôts syn ou post rift
- le tout recoupé par des intrusions magmatiques (dykes, sills) ou granitiques (plutons).

Source V. Barthès, Bulletin SVG No 79 mai 2008

## 2.3 En descendant vers l'Afar (2/4)



- Bancs calcaires du protérozoïque (antérieurs à 600 Ma).

- Séries massives très plissées, probablement volcano-sédimentaires, à tectonique très marquée (pendages 30 – 45°)



- Cailloux charriés par l'oued : grande diversité (dolérites, gabbros, granites et quartz).

## 2.3 En descendant vers l'Afar (3/4)

- Sédiments calcaires  
(*ante-rift*)
- Sédiments sur grès  
(*discordance syn/post rift*)





## 2.3 En descendant vers l'Afar (4/4)

- A l'entrée de la plaine de sel, immense glacis d'érosion
- Sur 60 Km jusqu'à l'arrivée à Ahmed Ila.
- Reg, constitué en majorité de gabbros et de diorites
- Pierres noircies en surface par altération ferrugineuse



Photo P. Fort 2009

«mosquée» Danakil



## 2.4 En remontant de l'Afar par le rift (1/2)

Photo P. Fort 2010



Photo P. Fort 2010



- Site géothermal d'Alolobed (au nord de *Mille*)
- Dépôts minéraux divers, dont natron

## 2.4 En remontant de l'Afar par le rift (2/2)

- Coulée basaltique au nord du rift, à l'est de l'Awash (en bordure de l'Afar)
- Volcan Ayelu (2010m) en bordure est du rift

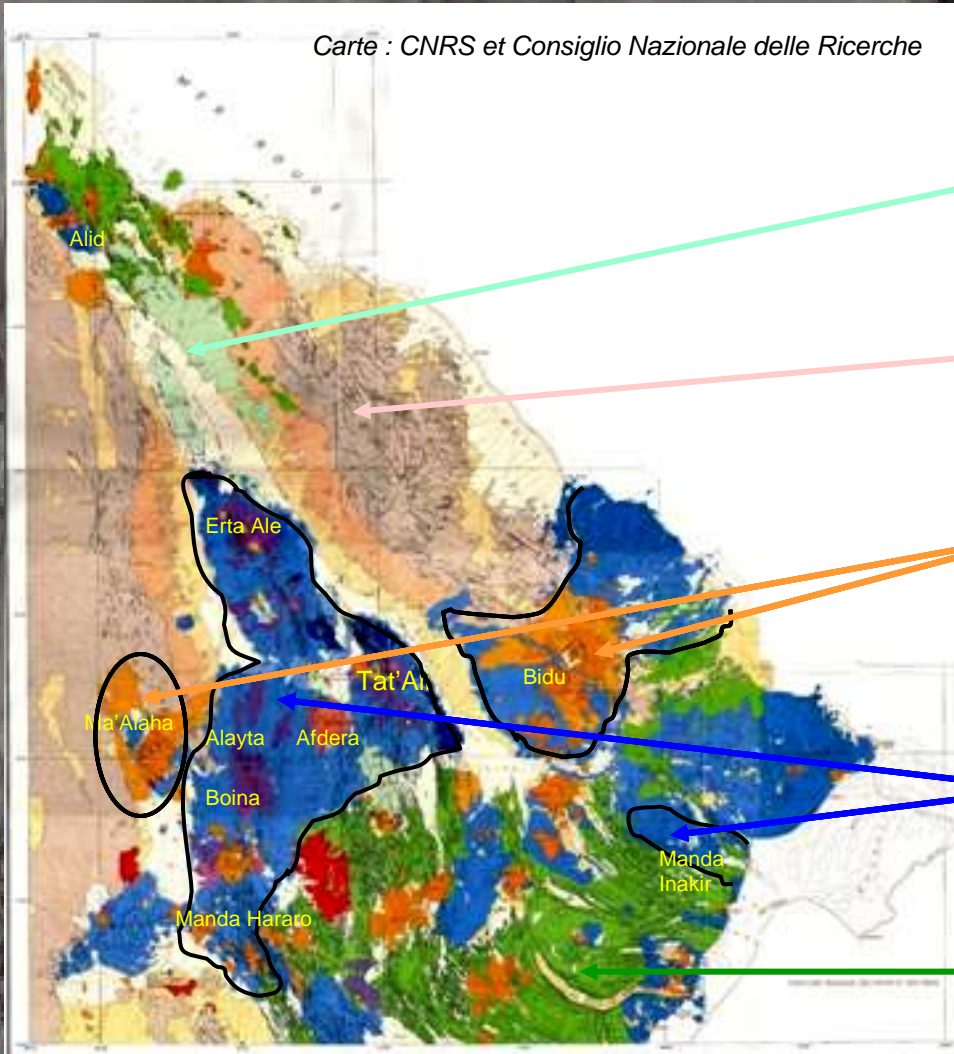


## 3. *Géologie de l'Afar*

- 3.1. Chronologie et aperçu structural
- 3.2 Des laves très variées : pourquoi ?
- 3.3 Plancher océanique ou continental ?
- 3.4. Modèle tectonique de plaques ?

# 3.1 Chronologie et aperçu structural (1/4)

Carte : CNRS et Consiglio Nazionale delle Ricerche



- Evaporites
- Alpes Danakil
- Séries transverses et volcans marginaux
- Chaînes axiales
- Séries stratoïdes



# 3.1 Chronologie et aperçu structural (2/4)

## Chronologie

d'après V. Barthès (SVG) et J. Varet

- Vers 10 Ma, ouverture du rift est africain bloquée au nord, poursuivie vers le NNW dans l'Afar
- De 3 à 1.8 Ma (pliocène-pléistocène), mise en place des séries de basalte «stratoïdes», à partir du sud de l'Afar, sur 1500 m d'épaisseur
- Rotation de 14 ° vers l'ouest de la plaque nubienne (bloc Danakil) par rapport à la plaque somalienne, attestée par une anomalie paléomagnétique majeure (2.5 Ma).
- A partir de 1 Ma, émergence des chaînes volcaniques axiales : nord (Alid), centre (Erta Ale, Tat'Ali, Alayta, Boina, Manda Hararo) et sud (Manda Inakir, Dama Ale)
- Vers 0.2 Ma, invasion de la mer Rouge par le nord de l'Afar, créant un golfe de 250 Km de profondeur, limité par le plateau Ethiopien et les alpes Danakils
- Jusqu'à 32 Ka, cycles d'ouvertures (par subsidence), d'évaporations et de fermetures (par le volcanisme d'Alid au nord), conduisant au stade actuel de la «plaine de sel», sur une épaisseur de 2000 m d'évaporites

# 3.1 Chronologie et aperçu structural (3/4)

## Trois groupes d'unités volcaniques

- Séries sratoïdes :
  - failles d'extension et basculements, durant toute la mise en place
  - activité fissurale (laves et ignimbrites) + cratères volcaniques (laves, dômes et pyroclastes)
  - laves intermédiaires → alcalins (dans les séries supérieures)
  - volcans rhyolitiques à l'intersection des lignes de faille
- Chaînes axiales
  - Dominance basaltique très forte
  - Accrétion dans fissures, en alignement régional NNW
  - Epaisseur amoindrie de la croûte
- Structures transverses et unités marginales
  - Quaternaire tardif, dans les marges ouest et est de l'Afar
  - Le long des lignes de faiblesse tectonique pré-rift du bloc continental
  - Unités marginales : volcans rhyolitiques Ma'Alaha et Bidu, liés à une tectonique transverse

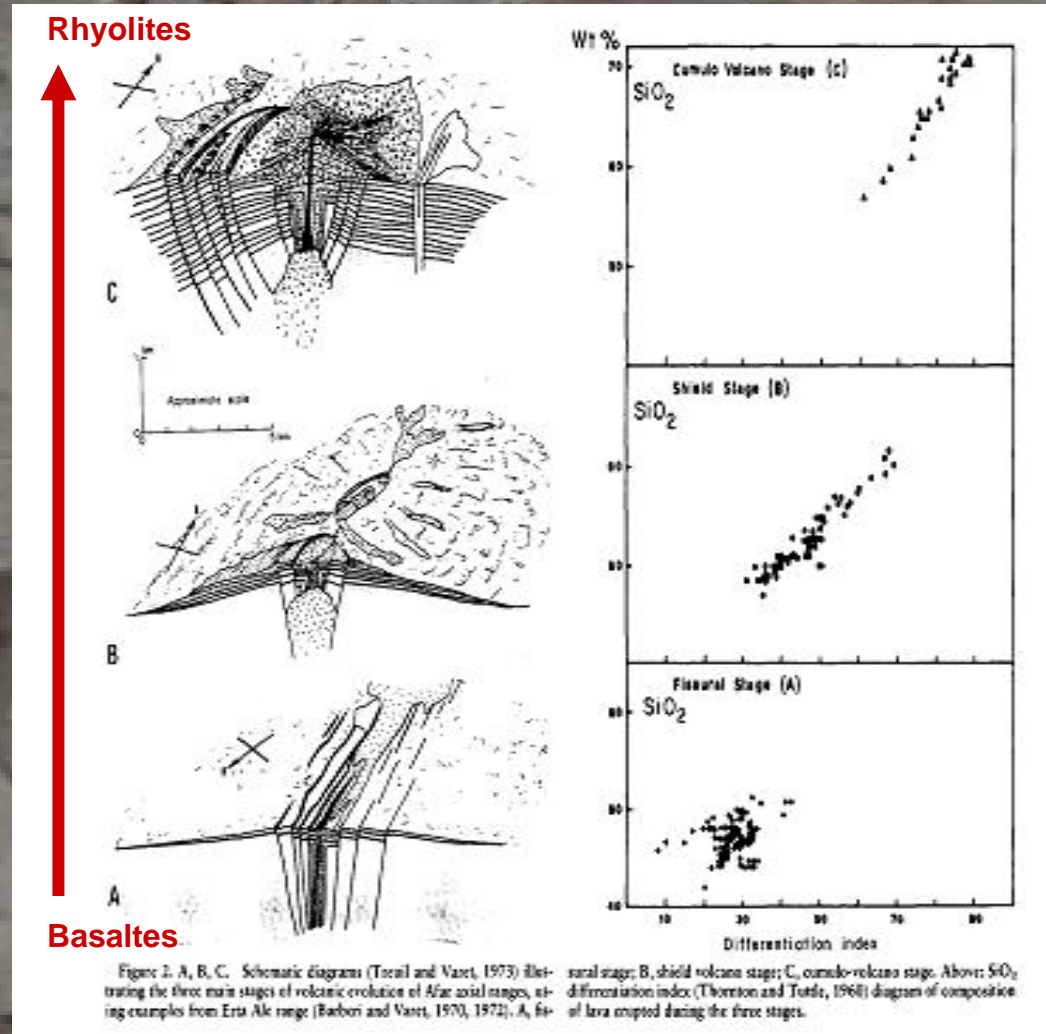
Source : J. Varet, Thèse doctorat 1973 : genèse et différenciation des magmas basaltiques, exemple de l'Afar

# 3.1 Chronologie et aperçu structural (4/4)

## Les chaînes axiales

- **C. Stade cumulovolcan**
  - Boina et Tat'Ali
  - laves différenciées (trachytes → rhyolites peralkalines).
- **B. Stade bouclier**
  - Erta Ale, Alayta, Dâma Ale
  - laves intermédiaires riches en fer
- **A. Stade fissural**
  - Manda Anakir, Manda Hararo, Asal
  - basaltes transitionnels (tholéitiques → alcalins)

Source : F. Barberi et J. Varet, *Geological Society of America Bulletin* sept 1977 : *Volcanisme de l'Afar, tectonique des microplaques*



## 3.2. Des laves très variées : pourquoi ?

- Lien étroit entre les variations de la composition des magmas basaltiques primaires et leur position géographique et structurale :
  - L'alcalinité croît avec l'âge : du centre vers les marges de la dépression
  - L'alcalinité croît avec l'âge : laves d'un même volcan (souvent)
- Différenciation des magmas basaltiques expliquée surtout par un processus de cristallisation fractionnée :
  - **Approche géologique** : évolution des basaltes tholéitiques vers les rhyolites, en corrélation avec l'évolution volcanologique (du stade fissural au stade cumulovolcan, en passant par le stade bouclier)
  - **Approche pétrologique** : dans les chaînes axiales, variation continue de composition des plagioclases (domaine basalte), de l'anorthite (-) et de l'orthose (+) (domaine alcalin), des oxydes de fer et des sulfures (basaltes vers laves intermédiaires)
  - **Approche géochimique** : par analyse des concentrations des roches en REE (terres rares) fortement et faiblement hydromagmatophiles
- Autres processus de différenciation : liés à la phase gazeuse (calderas, pyroclastes) ou à la contamination sialique (près des marges, et au sud des séries stratoïdes)

Source : J. Varet, Thèse doctorat 1973 : genèse et différenciation des magmas basaltiques, exemple de l'Afar



### 3.3. *Plancher océanique ou continental ?*

- Le plancher de l'Afar, hors chaînes axiales et marges, peut être interprété :
  - soit comme un dépôt de croûte océanique
  - soit comme une lithosphère continentale amoindrie, recouverte d'épanchements basaltiques
- Résultats des données géophysiques et géochimiques :
  - existence probable d'un plancher océanique, composé de manteau supérieur chaud partiellement fondu (800 degrés à 15 Km de profondeur)
  - présence de lambeaux de croûte continentale amoindrie d'origine pré-rift
- La genèse des liquides magmatiques primaires de l'Afar s'expliquerait par un processus de fusion partielle continu d'un manteau homogène :
  - évolution continue à partir des termes alcalins (sur le plateau éthiopien) vers les tholéiites des rides océaniques
  - série complète d'affinité tholéitique dans les laves de certains volcans (Afdera)
- Analogies avec d'autres zones d'expansion océanique du globe .
  - structure de rift symétrique avec vallée axiale, âge du volcanisme croissant de l'axe vers les marges
  - épaisseur de croûte faible dans la zone axiale (inférieure à 4 Km)

Source : J. Varet, Thèse doctorat 1973 : genèse et différenciation des magmas basaltiques, exemple de l'Afar

## 3.4. Modèle tectonique de plaques ? (1/3)

- **3 frontières de plaques bien définies**

- **a) sillon médian de la mer Rouge :**

- du NW vers SE, jusqu'aux îles Hanish
- puis disparition du sillon au niveau d'une structure transverse SW/NE

- **b) sillon médian du golfe d'Aden**

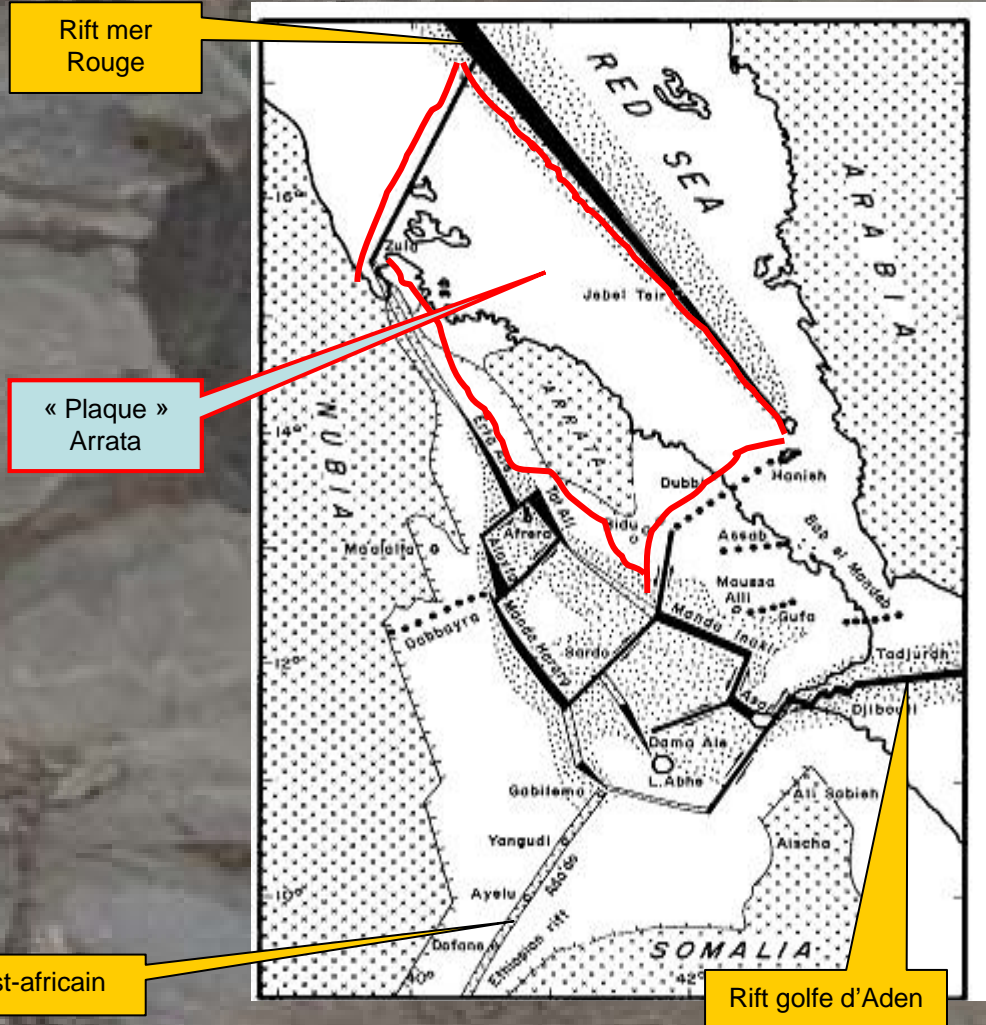
- segments de dorsale, de direction E/W
- délimités par failles transformantes SW/NE
- enfoncement dans l'Afar par le golfe de Tadjourah → Goubhet al Kaarab-Asal.

- **c) rift est-africain**

- frontière des plaques Nubie et Somalie
- depuis le Kenya jusqu'au lac Abhe dans l'Afar

- **séparation moins nette entre Mer Rouge et nord de l'Afar**

- par le bloc Danakil (ou Arrata), de croûte continentale amincie
- frontière avec la plaque nubienne bien marquée à l'ouest avec le segment de l'Erta Ale et la plaine de sel
- frontière nord du bloc Danakil mal définie.

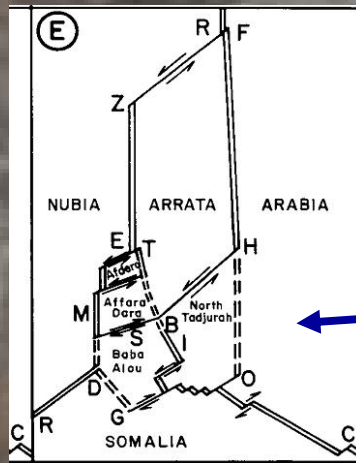


Source : F. Barberi et J. Varet, *Geological Society of America, Bulletin* sept 1977 : *Volcanisme de l'Afar, tectonique des microplaques*

## 3.4. Modèle tectonique de plaques ? (2/3)

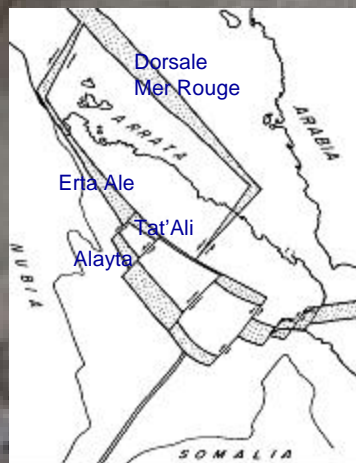
- Les différents modèles :

- veulent expliquer la tectonique régionale autour du point triple des 3 grandes dorsales
- comportent un nombre croissant de microplaques,
- limitées par chaînes axiales et failles transverses
- modèle le plus élaboré : 5 microplaques



- Le taux d'expansion océanique :

- est plus grand dans les segments uniques que dans les segments parallèles couplés,
- augmente vers le nord dans la dorsale de la mer Rouge, et vers le sud dans la dorsale de l'Erta Ale
- augmente vers le nord dans la chaîne du Tat'Ali, et vers le sud dans la chaîne de l'Alayta
- Ces différences pourraient être liées à une rotation des miniplaques



Source : F. Barberi et J. Varet, *Geological Society of America, Bulletin* sept 1977 : *Volcanisme de l'Afar, tectonique des microplaques*



## 3.4. Modèle tectonique de plaques ? (3/3)

### conclusions

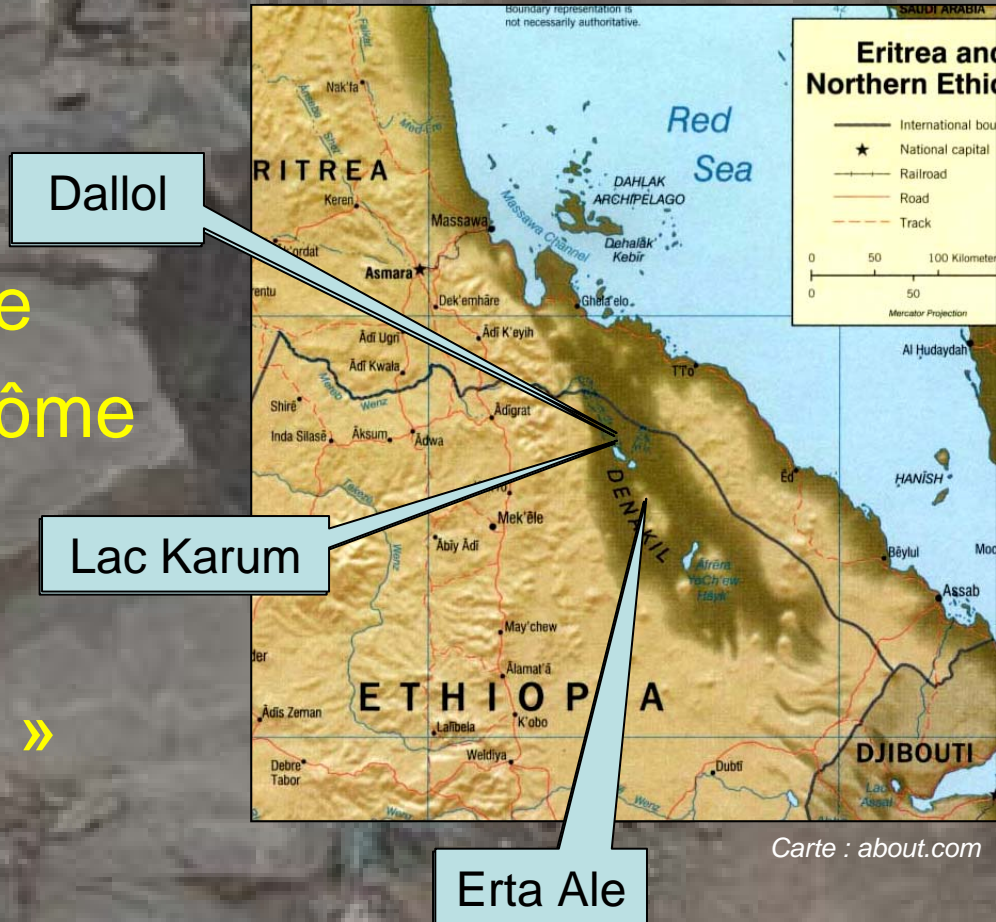
d'après J. Varet, Thèse doctorat 1973 : *genèse et différenciation des magmas basaltiques, exemple de l'Afar*

- Les caractères géophysiques, géologiques et pétrologiques de l'Afar peuvent être expliqués par la théorie des plaques
- Elle implique un schéma complexe de segments d'expansion coexistants et de frontières transformantes, définissant une mosaïque de microplaques dans la zone de jonction des 3 grands rifts.
- Mais un modèle strict de tectonique de plaques rigides ne peut être appliqué, car l'échelle de ces micro-plates est trop petite :
  - largeur des frontières d'une plaque souvent du même ordre que ses dimensions
  - pas de failles transformantes, mais des failles obliques liées à la tectonique régionale
- L'Afar, zone tampon entre les 3 plaques nubienne, somalienne et arabique, continue toutefois de s'ouvrir lentement.
- Tôt ou tard (dans quelques Ma), avec l'ouverture du rift est-africain, il devrait rejoindre le grand océan en formation avec la mer Rouge et le golfe d'Aden



# 4. Site géothermal de Dallol

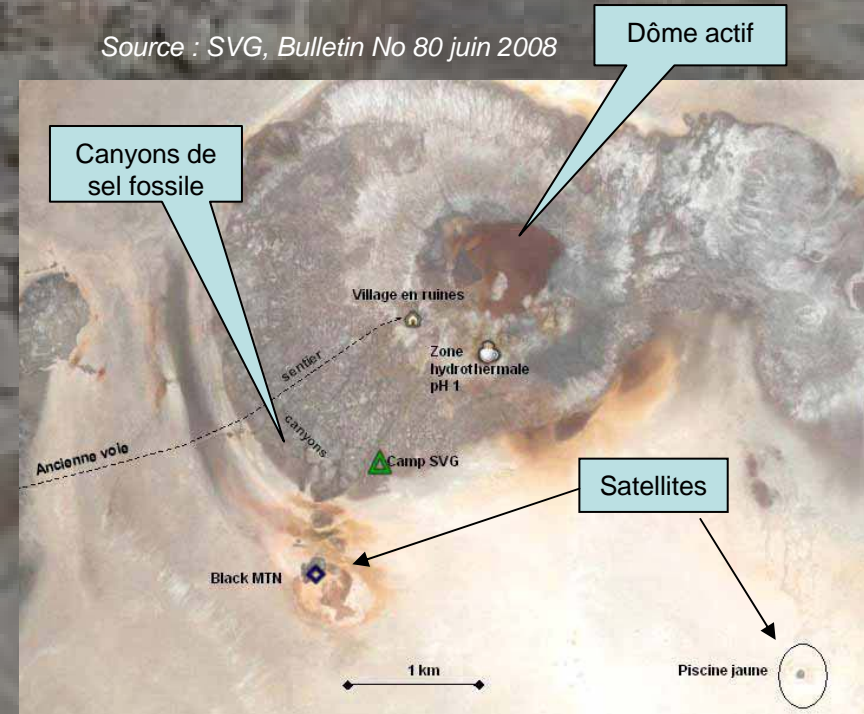
- 4.1 Le site et son histoire
- 4.2. Les merveilles du dôme
- 4.3. Les sites satellites
- 4.4. Les canyons de sel
- 4.5. Les « forçats du sel »



# 4.1. Le site et l'histoire de Dallol (1/3)

- Le site : 3 points d'intérêt géologique
  - Le dôme de Dallol (site hydrothermal actif le plus spectaculaire)
  - Les satellites de Black Mountain et du lac Jaune
  - Les canyons de sels fossiles

Source : SVG, Bulletin No 80 juin 2008



# 4.1. Le site et l'histoire de Dallol (2/3)

## Encore un peu de géologie...

- Conjugaison d'un contexte volcanique de rift émergé et d'une série complète d'évaporites parmi les plus importantes au monde (épaisseur >2000 m).
- Dallol est probablement un diapir, formé par extrusion des couches d'évaporites, à partir d'une intrusion magmatique sous jacente.
- Les couches ainsi soulevées ont gardé leur stratigraphie originelle dans la partie externe du dôme, puis l'érosion et la dissolution ont formé les canyons.
- Aucun matériel magmatique n'est visible, y compris dans la partie sommitale du bombement, la plus chaude, siège d'une intense activité hydrothermale.
- Processus variés de dissolution et de recristallisation secondaire.

## Beaucoup de questions en suspens...

- nature et l'origine des gaz
- origine de l'eau et profondeur de circulation
- Processus responsables des transformations observées à certains endroits (Black Mountain...)

## ...et des réponses diverses pour l'eau

- infiltration d'eau de la mer rouge.
- nappe fossile.
- infiltration d'eau de ruissellement des hauts plateaux dans les failles du rift.
- eau de structure (dissolution des sels hydratés), eau juvénile (d'origine magmatique),
- condensation en surface des remontées de vapeur et dissolution des couches de sel superficielles.

# 4.1. Le site et l'histoire de Dallol (3/3)

...de la chimie et de la minéralogie

## Principaux évaporites recensés

- Halite : NaCl
- Sylvite : KCl
- Bischofite :  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Carnallite :  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Anhydrite :  $\text{CaSO}_4$
- Gypse :  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Hexahydrite :  $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Epsomite :  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Polyhalite :  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Kaïnite :  $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Source : SVG Bulletin 80 juin 08

## Éléments présents dans les eaux thermales (dont certains d'origine magmatique possible)

	(mg/l)
Fe	4900
Mg	3100
Mn	270
Al	160
B	140
Si	130
Ca	125
Zn	48
Cu	2.6
Se	1.9
As	0.5
Hg	$2.4 \times 10^{-3}$
Ag	$2.0 \times 10^{-3}$

Source : SVG Bulletin 32 avril 03



## 4.2. Les merveilles du dôme (1/3)

Sommet à -60m (plaine de sel -140m)

Fossiles de bouches fumerolliennes



Photo P. Fort 2009



Photo P. Fort 2009



Photo P. Fort 2009

## 4.2. Les merveilles du dôme (2/3)

Minéraux en formation :  
fumerolles et sources  
thermales



Photo P. Fort 2009



Photos P. Fort 2009



## 4.2. Les merveilles du dôme (3/3)



- Eaux très acides riches en minéraux divers
- Donnant une palette infinie de couleurs

# 4.3. Les sites satellites (1/2)

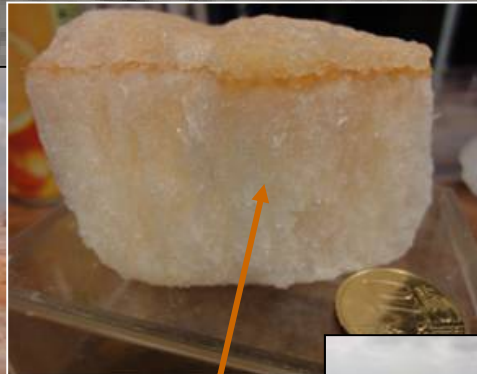
,Phot L. Cantamessa, SVG Bulletin No 32 avril 2003

## Black Mountain

Photo P. Fort 2010



Photo P. Fort 2010



- Dôme de sel noir « métamorphisé »
- Lac noir (origine explosion phréatique en 1926)
- Emanations de coulées blanches cireuses (surtout bischofite)

Bischofite





## 4.3. Les sites satellites (2/2)

Photo P. Fort 2009



La « piscine jaune » et autres sites

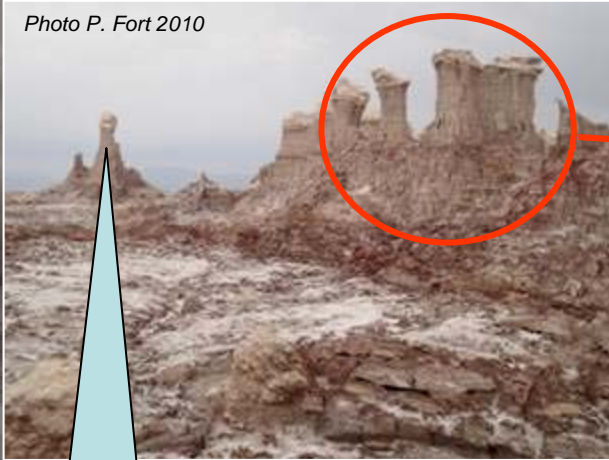
- Piscine jaune
  - nombreux geysers
  - fluides jaunes
  - saumures calciques non sulfureuses
  - consistance huileuse
- Près du lac Karum
  - nouveaux geysers en permanence
  - fluides bleu noir semblables à ceux de Black Mountain



Photo P. Fort 2010

## 4.4. Les canyons de sel

Photo P. Fort 2010

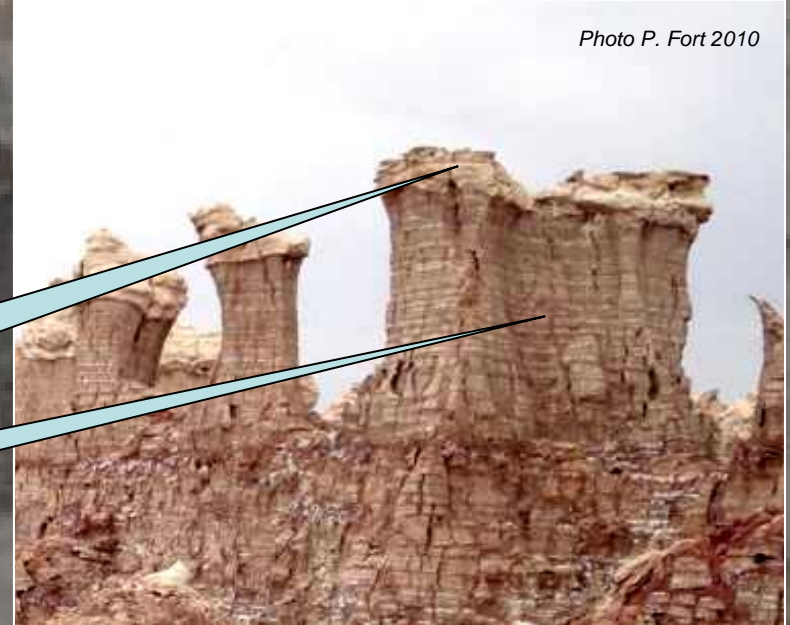


Cheminées de fée  
→ 30 m de hauteur

calcaires coralliens  
gypse  
anhydrite

Lits alternés de sels de sodium  
et potassium / magnésium

Photo P. Fort 2010



- zone aride d'environ 1 Km<sup>2</sup>
- origine : érosion d'évaporites massives formées lors de l'invasion de la dépression Afar par la mer Rouge vers 200 K années
- série des évaporites de l'extérieur vers l'intérieur du bassin :
  - débris de calcaires récifaux
  - gypse, anhydrite, halite
  - sels potassiques et magnésiens
- Mines de potasse exploitées avant guerre, projet de réhabilitation

## 4.5. Les «forçats du sel» de Karum (1/3)

- Exploitation ancienne du sel du lac Karum, déjà du temps de la reine de Saba...
- Entièrement manuelle
- Gisement en renouvellement continu :
  - dalles de sel formées par rétractation, suite à la dessiccation du sol
  - après l'exploitation en saison sèche, reformation de saumure par remontées du sol et l'apport des eaux de la saison des pluies
  - séchage à nouveau et, au bout de deux ans, restauration du sol en son état initial



Photo P. Fort 2010



Photo P. Fort 2009



## 4.5. Les «forçats du sel» de Karum (2/3)



Dalles constituées d'interlits de 2 cm d'épaisseur, alternant, au rythme saisonnier annuel, couches blanches et couches grises (salies par les dépôts éoliens)





## 4.5. Les «forçats du sel» de Karum (3/3)

### L'économie du sel



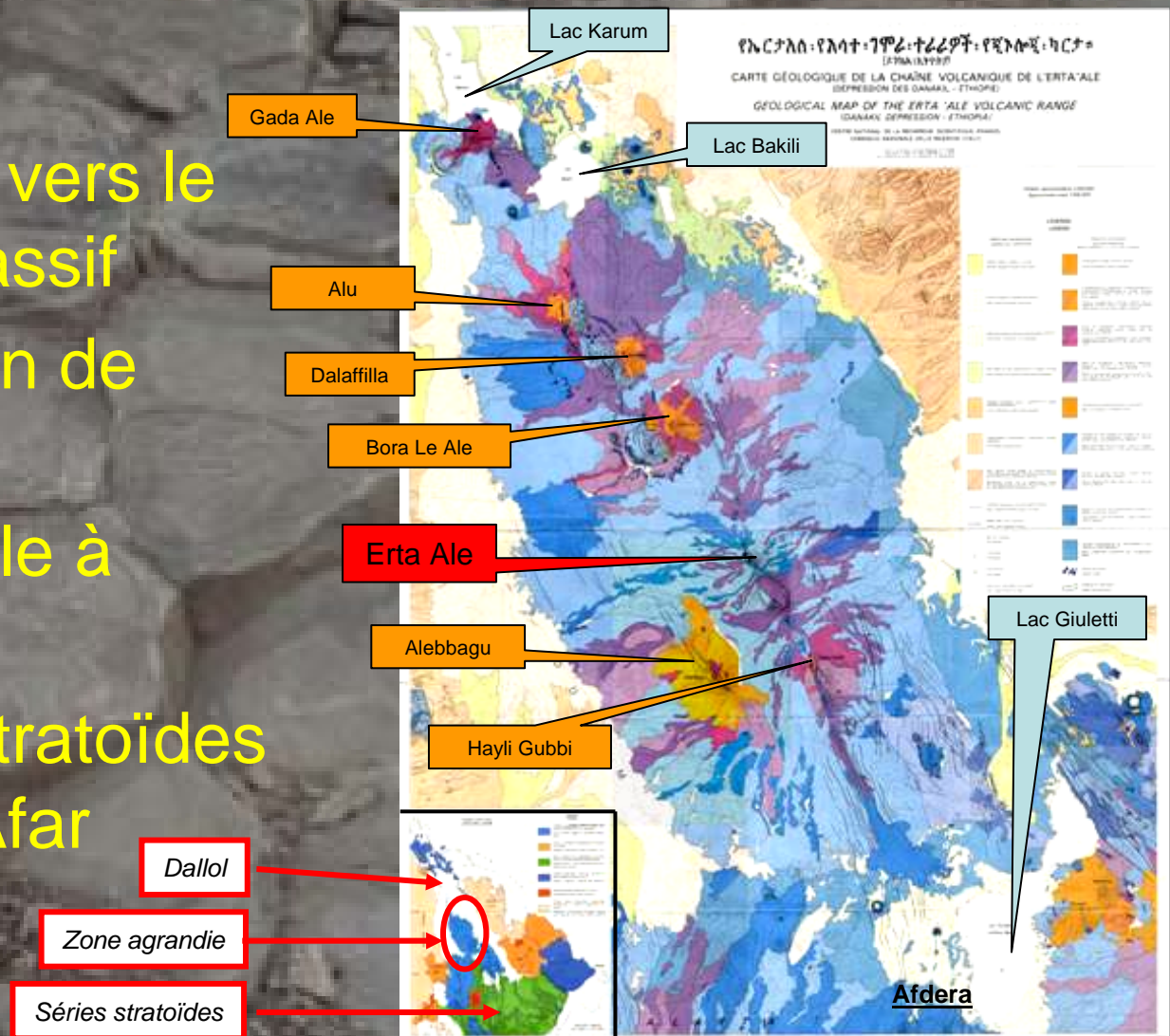
Photo P. Fort 2009

- (1 Euro = 18.38 Birr)
- sel gris destiné à la consommation animale
  - caravanes de 20 à 50 dromadaires
  - briquettes de 5Kg
  - jusqu'à 28 briquettes par dromadaire
  - sel négocié à 2.5 Birr/briquette après extraction (3 cts €/Kg)
  - prix de 11 Birr/br. (12 cts €/Kg rendu à Bera Ale (bas du plateau tigréen)
  - prix de 15 Birr / br. (16 cts €/Kg) rendu à Makale (haut du plateau)
  - puis transfert dans les camions pour expédition dans le nord de l'Ethiopie et vers Addis.

# 5. Du nord au sud de l'Erta Ale

Carte : CNRS et Consiglio Nazionale delle Ricerche

- 5.1. Du nord vers le centre du massif
- 5.2. Le volcan de l'Erta Ale
- 5.3. D'Erta Ale à Afdera
- 5.4. Séries stratoïdes au sud de l'Afar



## 5.1. du nord vers le centre du massif (1/2)

- Au nord de la chaîne, le Gada Ale (287m), domine la rive sud du lac Karum
- Le volcan Dalaffilla (613m), parfaitement conique
- Laves rhyolitiques
- Explosion récente (2007)

Photo P. Fort 2010



Photo J.M. Bertrand 2010





## 5.1. du nord vers le centre du massif (2/2)

- Les volcans au nord de l'Erta Ale sont plutôt de type explosif
- L'Erta Ale est un volcan bouclier type
- L'eau est l'un des problèmes majeurs des Danakils

Photo J.M. Bertrand 2010



Erta Ale (613m)

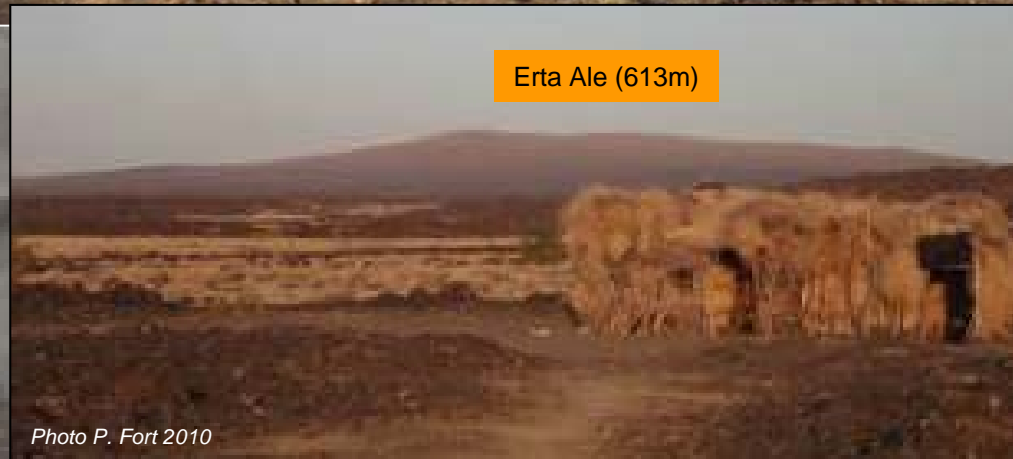


Photo P. Fort 2010



Photo P. Fort 2010



## 5.2. Le volcan de l'Erta Ale (1/6)

### Carte d'identité

- Age : 12000 ans
- Altitude : 613 m
- Type : bouclier
- Laves : basaltes et intermédiaires
- Structure : caldeira avec deux « pit craters »
  - Nord, visqueux
  - Sud, fluide avec lac «permanent»

### Activité très variable

depuis 1967 :

- 1 débordement dans la caldeira (1972)
- 1 débordement hors de la caldeira (1973-74)
- disparition du lac de lave nord (1987)
- disparition puis réapparition du lac sud (2004)

## 5.2. Le volcan de l'Erta Ale (2/6)

### Cratère nord

- Diamètre ~300 m
- Profondeur ~ 90m
- Rares effusions de lave  
(observées lors de notre séjour)
- Hornitos actifs
- Montée synchrone des lacs nord et sud en 1973 : suggère une alimentation unique depuis une chambre magmatique commune



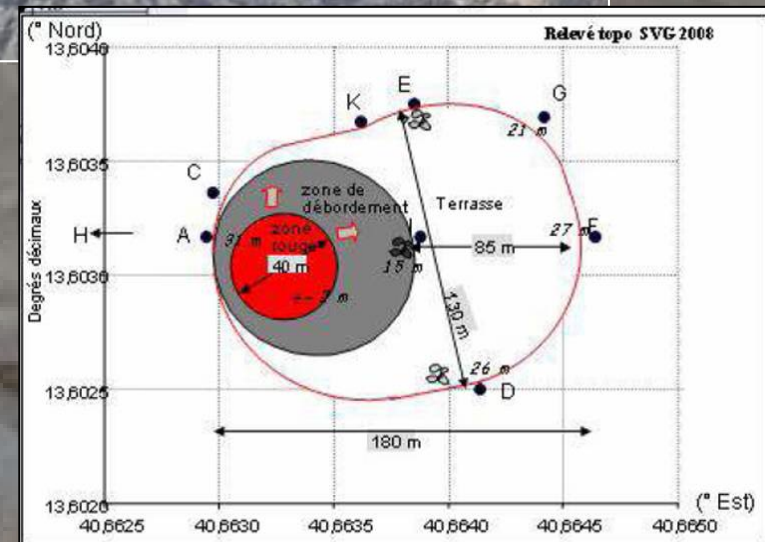
# 5.2. Le volcan de l'Erta Ale (3/6)

## Cratère sud

- Selon mesures faites par la SVG en 2008 :
  - pit crater Ø 180m
  - zone active Ø 40m
  - zone de débordement Ø 100m
- Sans avoir fait de mesures, nos estimations au 4 janvier 2010 :
  - zone active Ø 90m
- dimensions pouvant varier d'un jour à l'autre...



Photo P. Fort 2010



Source : SVG, Bulletin No 79 mai 2008

# 5.2. Le volcan de l'Erta Ale (4/6)

L'activité du lac du cratère sud lors du 4 janvier 2010

Relativement calme : nuit du 3/1  
et journée du 4/1

zébrures typiques, exutoire  
de lave en fontaine près du  
flanc nord

En fin d'après-midi, l'activité du  
lac s'intensifie :

mouvements de « plaques  
» (fissurations, plongées et  
recouvrements) couvrant  
les deux tiers de la surface  
émission intense de gaz  
sulfureux à partir du flanc  
nord





## 5.2. Le volcan de l'Erta Ale (5/6)

L'activité du lac du cratère sud lors du 4 janvier 2010

- Vers 22h, explosion spectaculaire du lac, sur son flanc nord, avec des gerbes de lave de plus de 15m, durant quelques secondes.
- La paroi nord s'effondre sur une longueur de 70 m et le niveau du lac baisse de quelques mètres
- Comme par enchantement, les fumées ont presque cessé....
- Nous avons donc eu la chance d'assister au phénomène rare d'un dégazage massif du lac.



# 5.2. Le volcan de l'Erta Ale (6/6)

## Les laves de l'Erta Ale

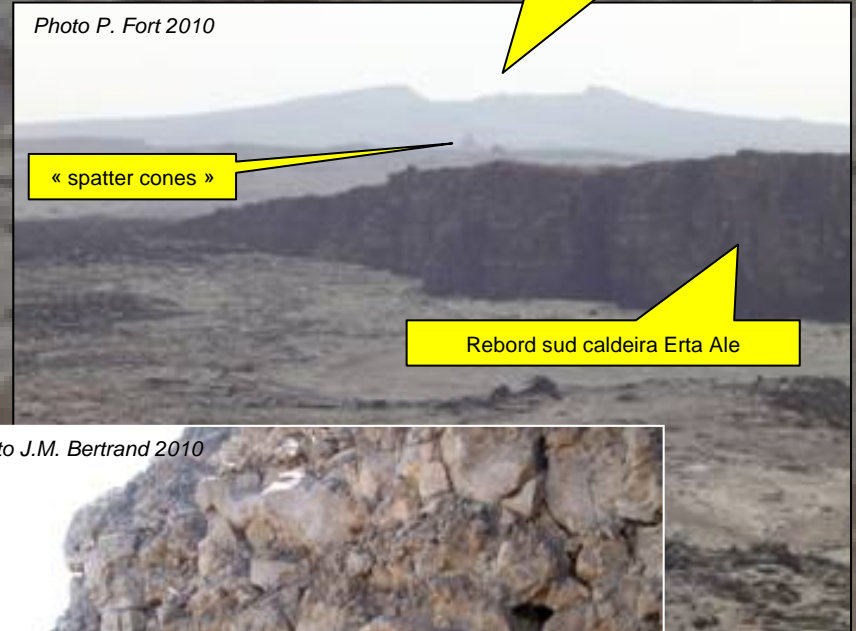
Volcan bouclier Hayli Gubbi (613m)  
(basaltes et trachytes)

Photo P. Fort 2010



Basaltes en laves cordées, près du lac

Photo P. Fort 2010



« spatter cones »

Rebord sud caldeira Erta Ale

Photo J.M. Bertrand 2010



Trachytes / rhyolites au plancher de la caldeira

Photo P. Fort 2010



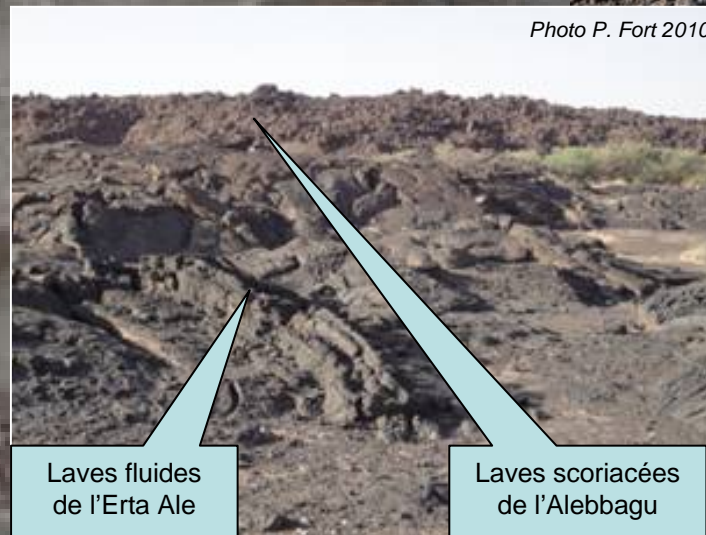
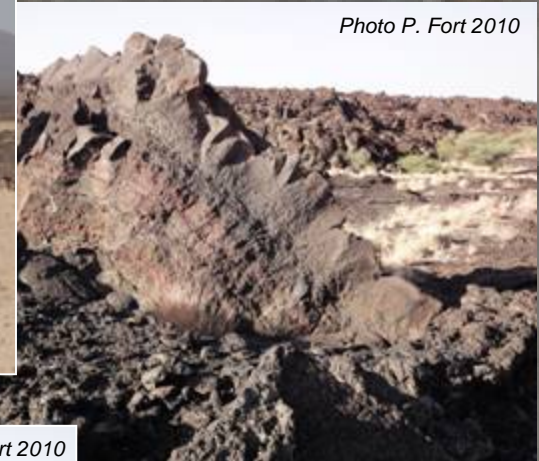
Cheveux de Pélé



## 5.3. D'Erta Ale à Afdera (1/3)

### Volcan Alebbagu (1031m)

- Coulées vitreuses en dôme
- Ignimbrites et pierres ponce
- Laves scoriacées
- Laves différenciées  
(trachytes alcalins, rhyolites → peralcalines)

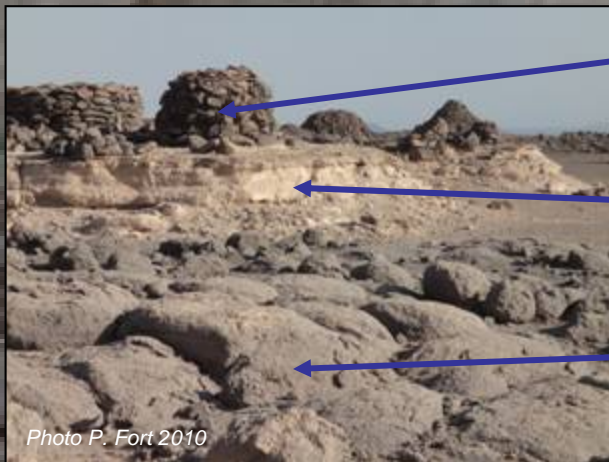
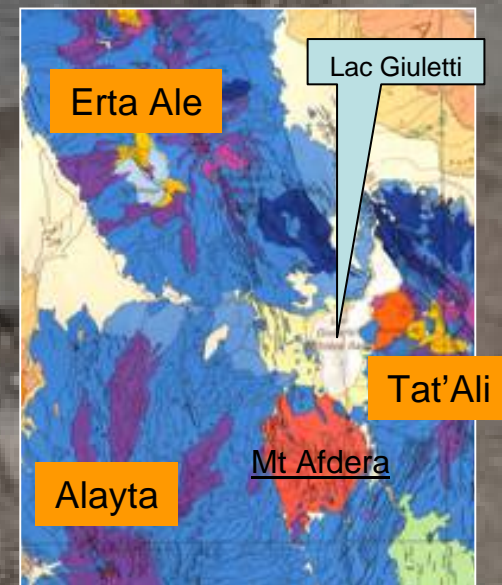


## 5.3. D'Erta Ale à Afdera (2/3)

### Le volcan d'Afdera

- Coincé entre les chaînes axiales de l'Erta Ale, Alayta et Tat'Ali
- Laves intermédiaires (andésites / dacites) et rhyolites
- Calcaire et diatomites lacustres récents (10 à 5 K années)

Dômes intrusifs à l'approche d'Afdera



Sépultures danakil

Diatomites lacustres

Laves de l'Afdera



## 5.3. D'Erta Ale à Afdera (3/3)

- Afdera est réputé pour le sel de son lac (Giuletti) propre à la consommation humaine
- Gypse, formé lors de l'invasion de l'Afar par la mer Rouge il y a 200 Ka



## 5.4. Séries stratoïdes au sud de l'Afar (1/2)

- Epanchements massifs de lave sur 1500m d'épaisseur
- Chaîne axiale d'Alayta à l'ouest
- Prolongée au sud par la chaîne du Manda Hararo, en pleine activité  
(ouverture en 2007 d'une fissure sur 65 Km à partir du volcan Dabbahu)



## 5.4. Séries stratoïdes au sud de l'Afar (2/2)



Intrusion  
de diorite



- Laves intermédiaires
- Rhyolites dans niveaux supérieurs
- Ignimbrites
- Couches d'obsidienne
- Cinérites rubanées





# Et pour finir ce voyage de rêve...



Photo Y. Peysson 2009

*Dégustez une bonne injera...*



Photo Y. Peysson 2010

*...bien épicée...*



Photo J.M. Bertrand 2010

*...et un café à la cardamome  
préparé par des mains expertes !*

**Ameseguena-low / Yakeu Yellé ! Merci...**