

Les **gisements métalliques**,  
des **anomalies géochimiques**,  
**traceurs** des interactions manteau-croûte,  
**de processus géologiques**  
et des **contextes géodynamiques**



**Anne-Sylvie André-Mayer**  
Professeur à l'Université de Lorraine  
Ecole Nationale Supérieure de Géologie  
Directrice du centre de recherche GeoRessources



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



geo  
Ressources



## Les diamants, des anomalies minéralogiques associés à des roches volcaniques

😊👉 1<sup>er</sup> ordre 👈 facile !

Diamant  
Domaine P-T

Roche encaissante  
volcanique  
alcaline ultramafique  
« kimberlite »

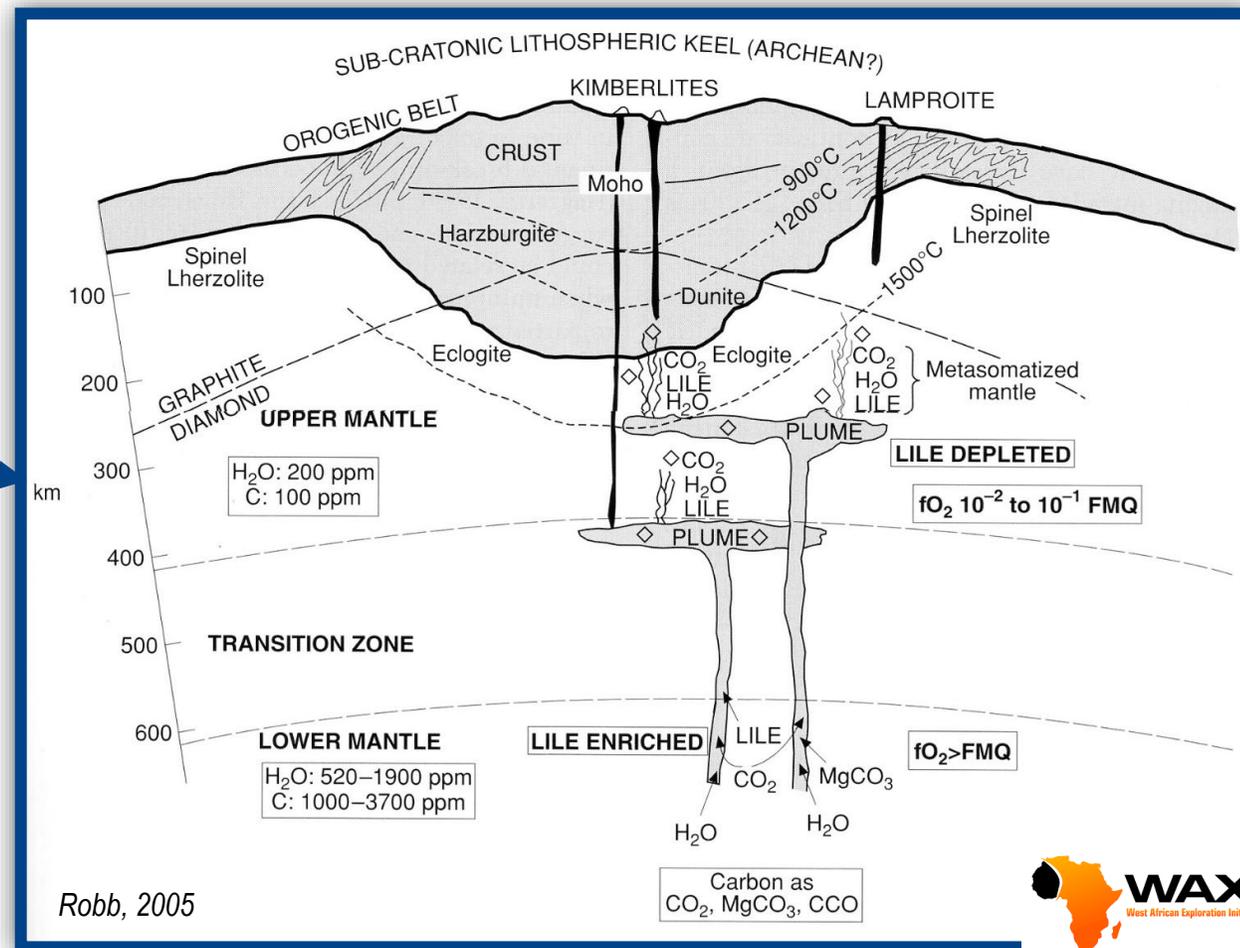


### Caractérisation de l'objet géologique

Type de gisement

Processus de formation

Environnement géodynamique



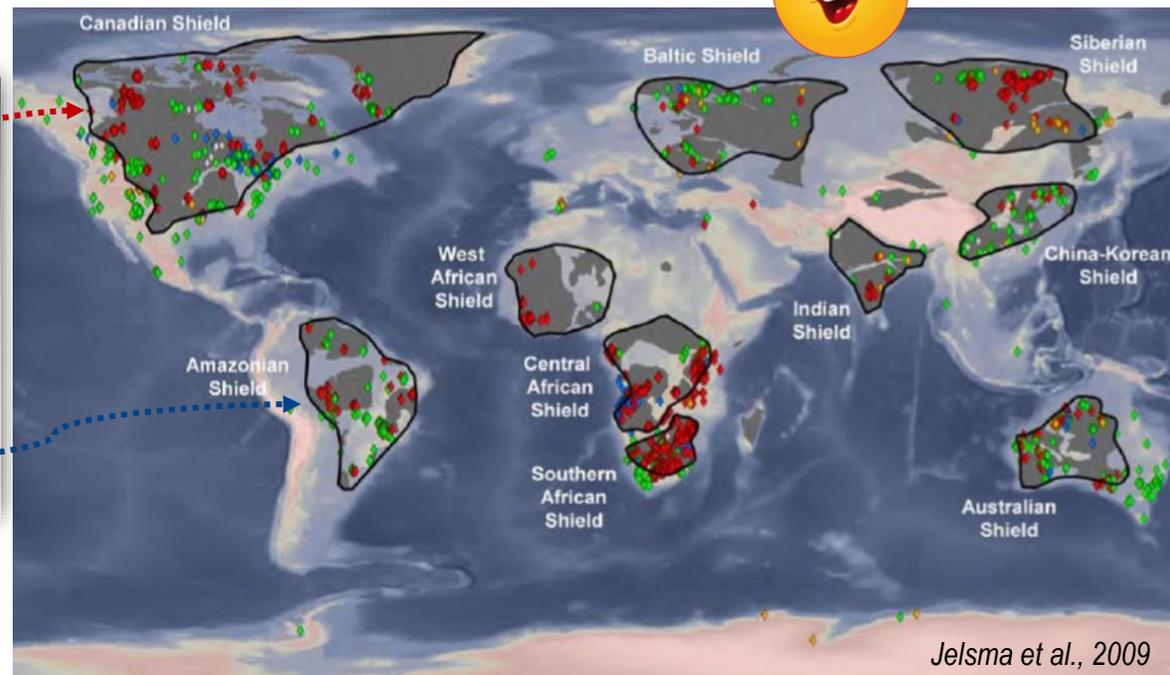
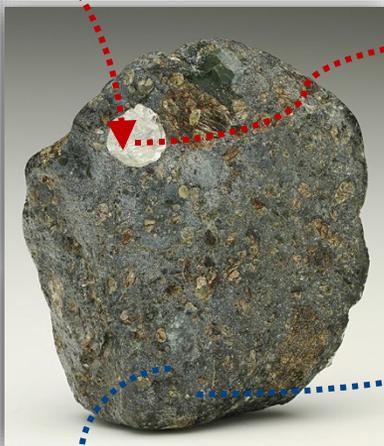
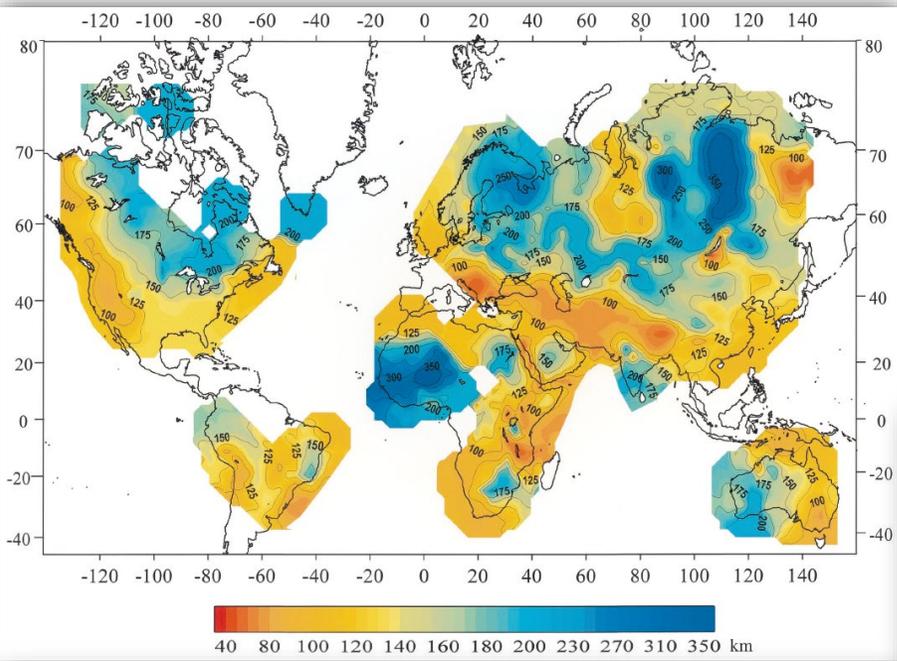
# L'exemple des diamants

Où trouver les diamants 📍 Guide d'exploration  
**Vision empirique** « ou de médecin légiste »



Artemevia & Mooney, 2001

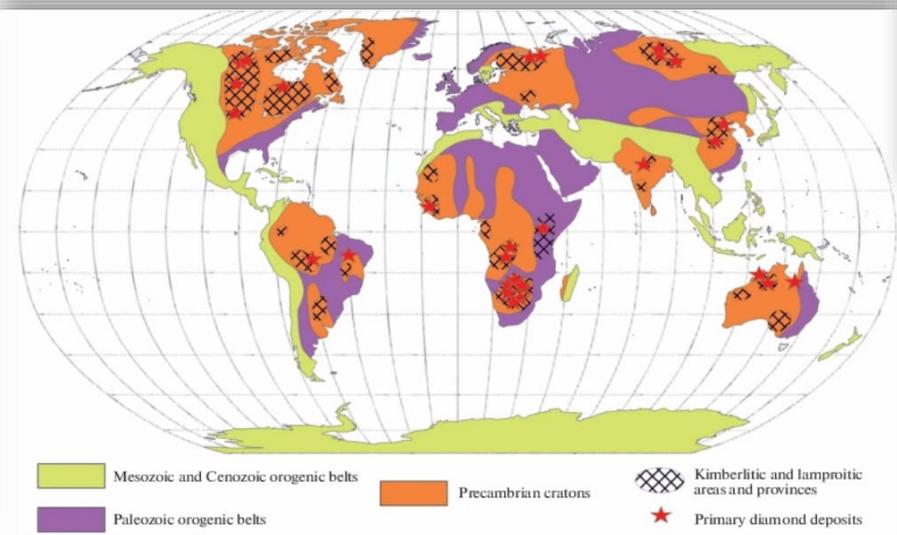
Diamant  
 Domaine P-T



Jelsma et al., 2009

Roche encaissante  
 volcanique alcaline ultramafique  
 « kimberlite »

Kaminsky and Voropaev, 2021



# Dans la vraie vie...de beaux challenges

## Archives géologiques

Chromitite, Togo **Cr**

1 cm



Syenite à Nb-Ta, Crevier, Grenville, Québec

**Nb-Ta ± REE**

Groulier et al., 2020

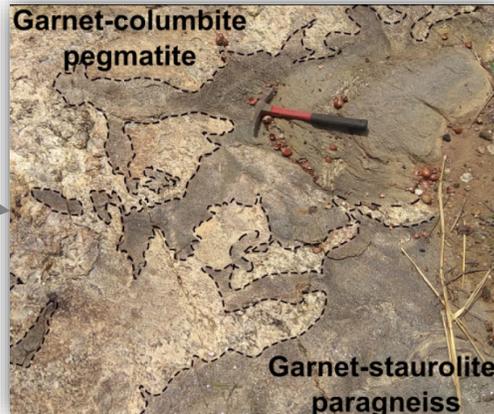


Turlin et al., 2017

**REE**



Granite à monazite, Grenville, Canada



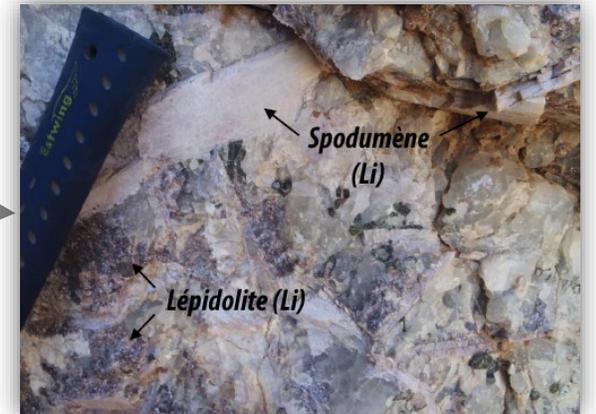
**Nb-Ta**

Bonzi et al., 2021

Mangodara district, Burkina Faso

**Li**

Pegmatite d'Orange River (AfS)



© C. Ballouard

Dans quels contextes géodynamiques  
les chromitites protérozoïques (**anomalie en Cr**)  
et leurs roches encaissantes serpentinisées se sont-elles formées ?

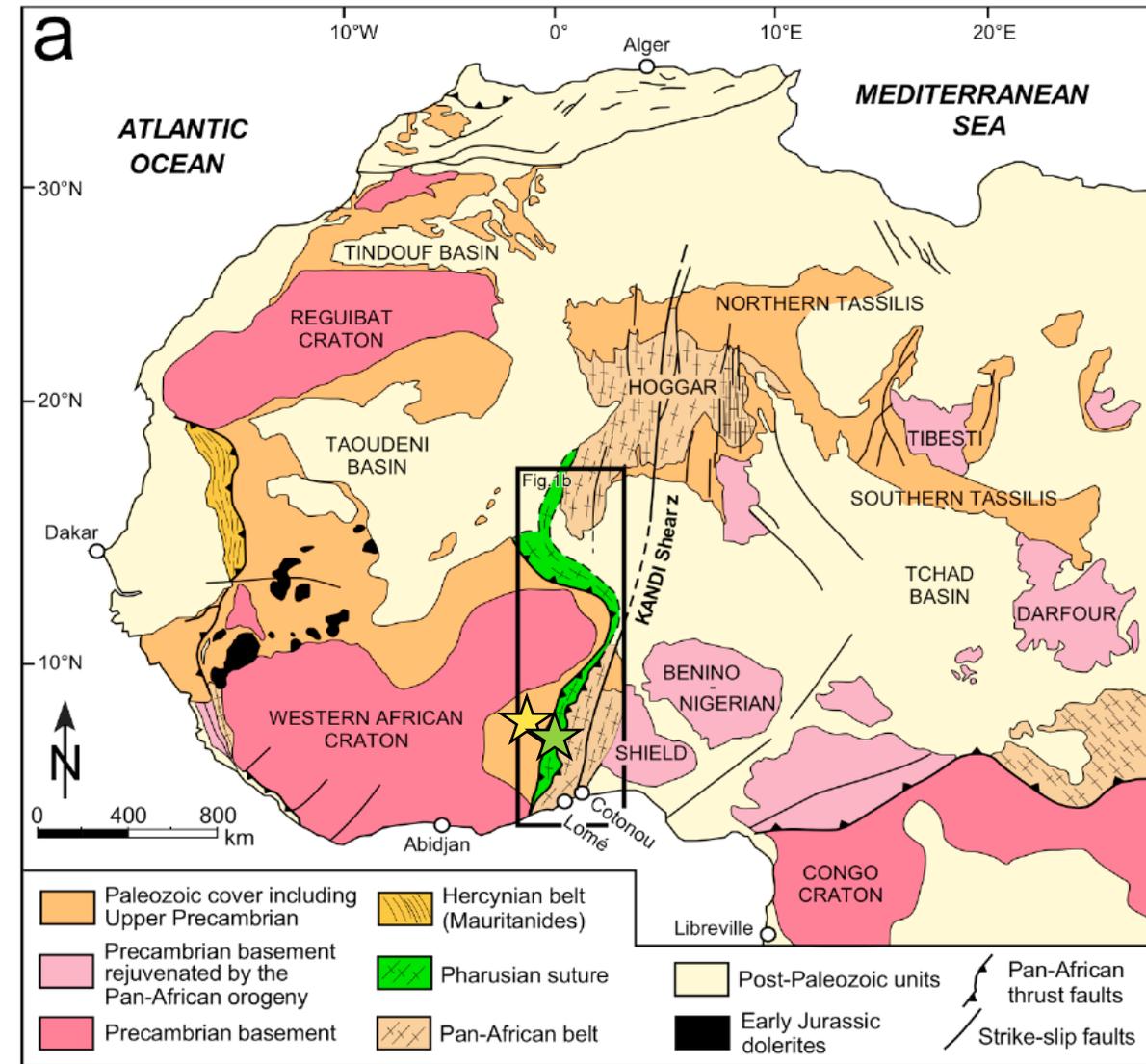


Mesh  
Veines  
Bastite

- Ceinture orogénique panafricaine des Dahoméides
- Terrains déformés, métamorphisés, textures complexes, contexte géodynamique en discussion



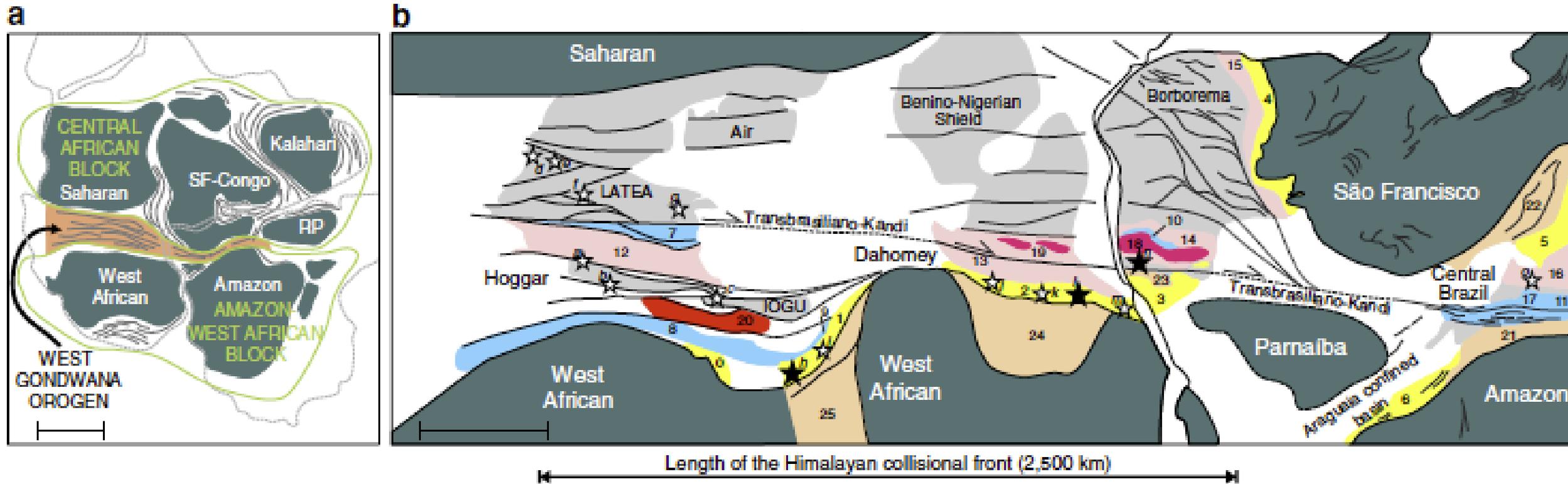
**Signification géodynamique**  
**Une zone de suture ?**



★ : Ghana

★ : Togo

- Ceinture orogénique panafricaine des Dahoméyides
- Terrains déformés, métamorphisés, textures complexes, contexte géodynamique en discussion



## Les archives géologiques pour en discuter

Precambrian Research 320 (2019) 261–280

Contents lists available at ScienceDirect

Precambrian Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/precamres](http://www.elsevier.com/locate/precamres)

Transition from subduction to collision recorded in the Pan-African arc complexes (Mali to Ghana)

Stéphane Guillot<sup>a,\*</sup>, Yao Agbossoumondé<sup>b</sup>, Jérôme Bascou<sup>c</sup>, Julien Berger<sup>d</sup>, Guillaume Duclaux<sup>e</sup>, Nadège Hilairé<sup>f</sup>, René-Pierre Ménot<sup>c</sup>, Stéphane Schwartz<sup>g</sup>

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

Precambrian Research

Precambrian Research 151 (2006) 101–118

[www.elsevier.com/locate/precamres](http://www.elsevier.com/locate/precamres)

The mafic layered complex of the Kabyé massif (north Togo and north Benin): Evidence of a Pan-African granulitic continental arc root

G. Duclaux<sup>a,b,\*</sup>, R.P. Ménot<sup>a</sup>, S. Guillot<sup>c</sup>, Y. Agbossoumondé<sup>d</sup>, N. Hilairé<sup>e</sup>

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

Journal of African Earth Sciences

Journal of African Earth Sciences 39 (2004) 201–208

[www.elsevier.com/locate/jafrearsci](http://www.elsevier.com/locate/jafrearsci)

Geochemistry of high-pressure granulites from the Pan-African Dahomeyide orogen, West Africa: constraints on the origin and composition of the lower crust

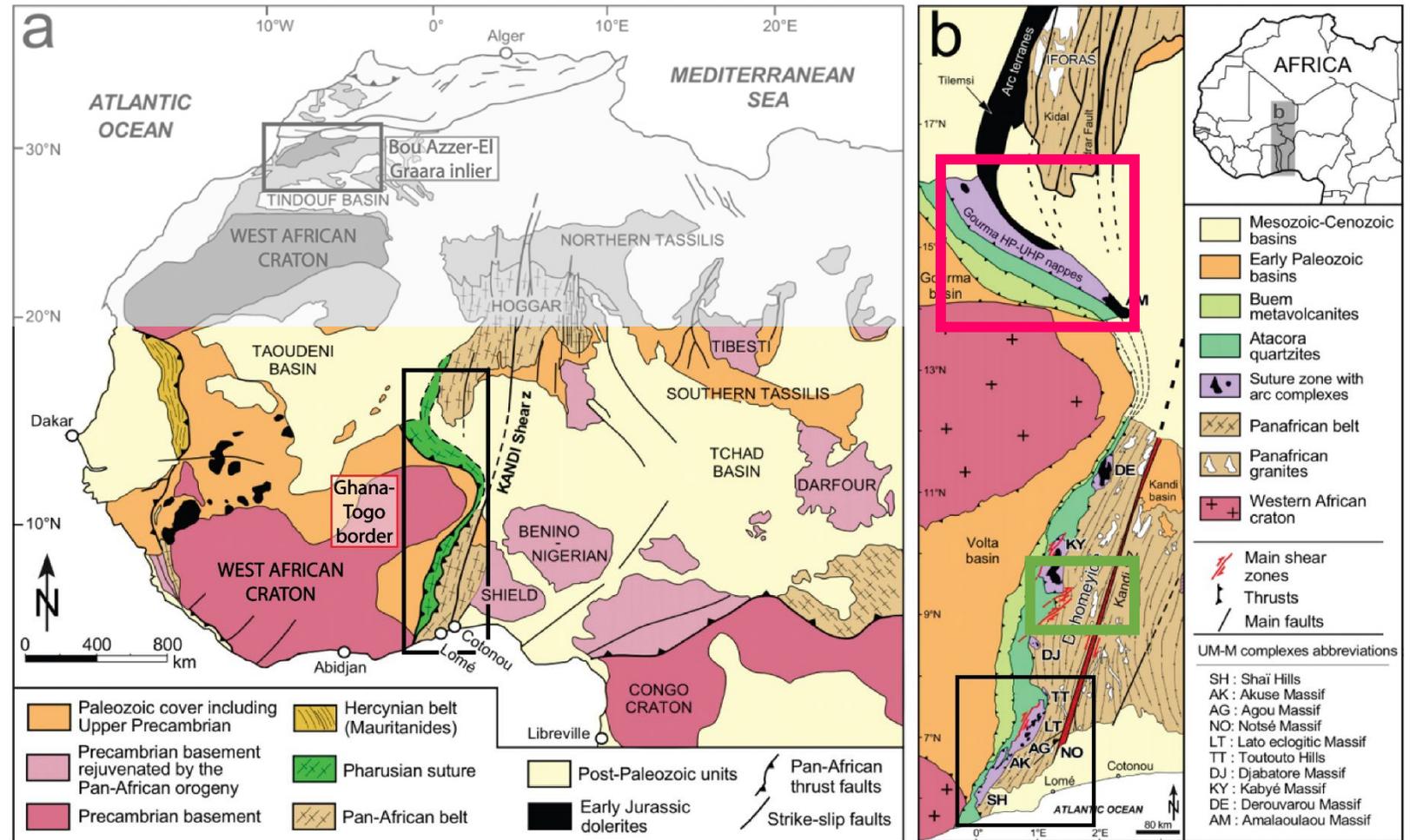
Kodjopa Attoh<sup>a,\*</sup>, Jennifer Morgan<sup>a,b</sup>

Contrib Mineral Petrol (2011) 162:773–796  
DOI 10.1007/s00410-011-0624-5

ORIGINAL PAPER

Deep inside a neoproterozoic intra-oceanic arc: growth, differentiation and exhumation of the Amalaoulaou complex (Gourma, Mali)

Julien Berger · Renaud Caby · Jean-Paul Liégeois · Jean-Claude C. Mercier · Daniel Demaiffe



## Péto-structural, géochimie, isotopie (géo-chronologie, tracage)

Precambrian Research 320 (2019) 261–280

Contents lists available at ScienceDirect

Precambrian Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/precamres](http://www.elsevier.com/locate/precamres)

Transition from subduction to collision recorded in the Pan-African arc complexes (Mali to Ghana)

Stéphane Guillot<sup>a,\*</sup>, Yao Agbossoumondé<sup>b</sup>, Jérôme Bascou<sup>c</sup>, Julien Berger<sup>d</sup>, Guillaume Duclaux<sup>e</sup>, Nadège Hilairet<sup>f</sup>, René-Pierre Ménot<sup>c</sup>, Stéphane Schwartz<sup>g</sup>

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

Precambrian Research

Precambrian Research 151 (2006) 101–118

[www.elsevier.com/locate/precamres](http://www.elsevier.com/locate/precamres)

The mafic layered complex of the Kabyé massif (north Togo and north Benin): Evidence of a Pan-African granulitic continental arc root

G. Duclaux<sup>a,b,\*</sup>, R.P. Ménot<sup>a</sup>, S. Guillot<sup>c</sup>, Y. Agbossoumondé<sup>d</sup>, N. Hilairet<sup>e</sup>

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Journal of African Earth Sciences

Journal of African Earth Sciences 39 (2004) 201–208

[www.elsevier.com/locate/jafrearsci](http://www.elsevier.com/locate/jafrearsci)

Geochemistry of high-pressure granulites from the Pan-African Dahomeyide orogen, West Africa: constraints on the origin and composition of the lower crust

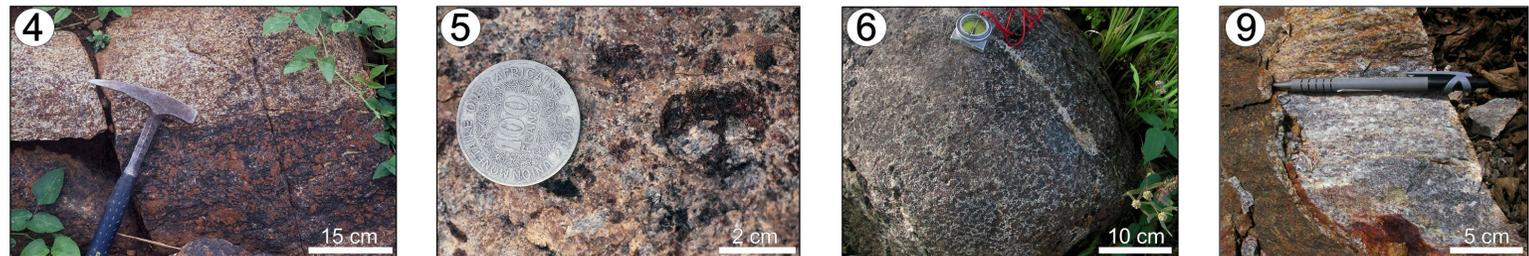
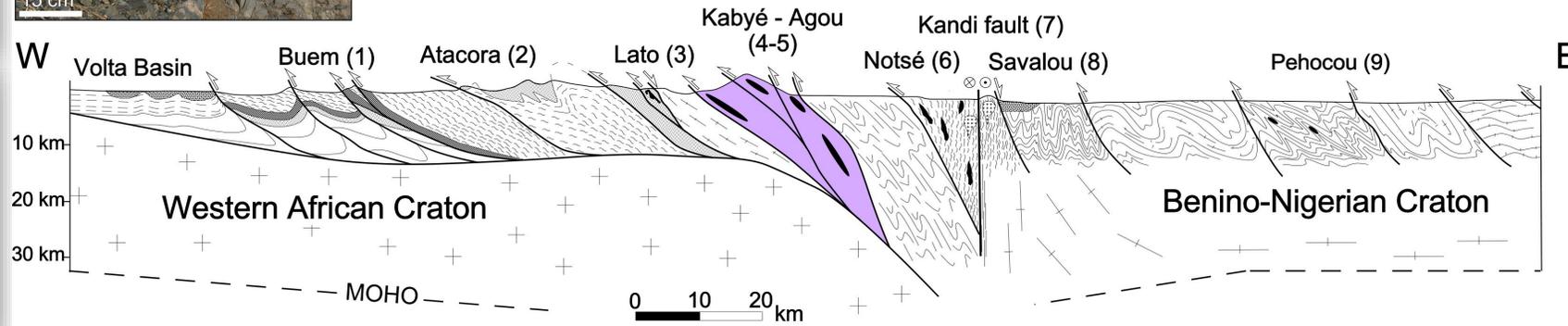
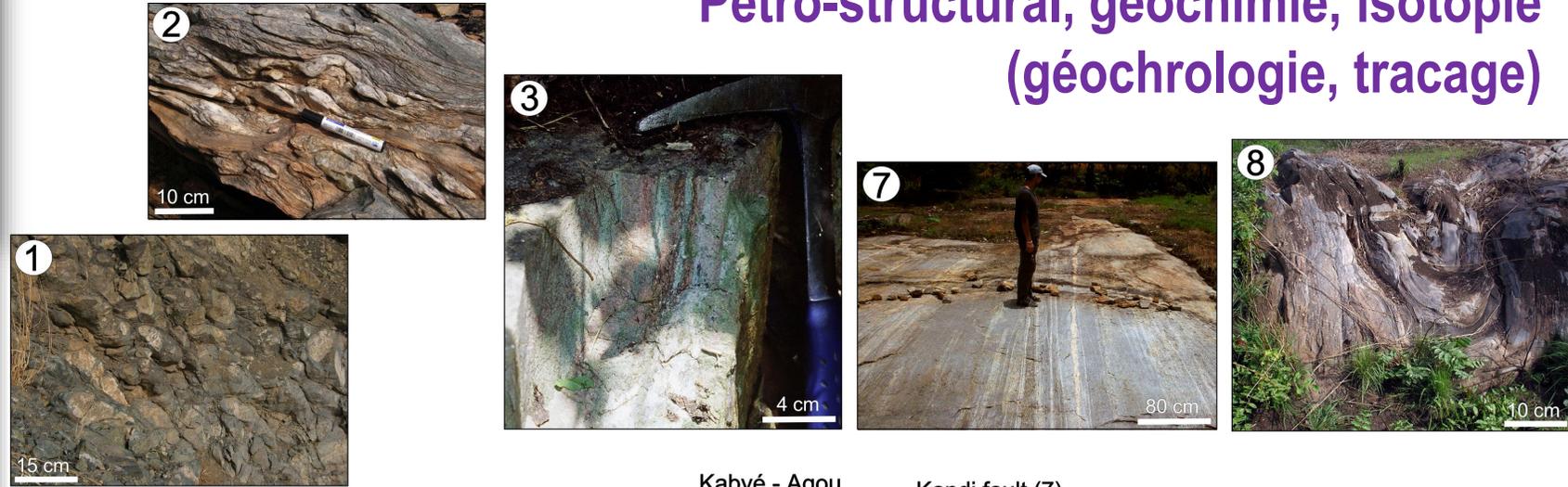
Kodjopa Attoh<sup>a,\*</sup>, Jennifer Morgan<sup>a,b</sup>

Contrib Mineral Petrol (2011) 162:773–796  
DOI 10.1007/s00410-011-0624-5

ORIGINAL PAPER

Deep inside a neoproterozoic intra-oceanic arc: growth, differentiation and exhumation of the Amalaoulaou complex (Gourma, Mali)

Julien Berger · Renaud Caby · Jean-Paul Liégeois · Jean-Claude C. Mercier · Daniel Demaiffe



Precambrian Research 320 (2019) 261–280

Contents lists available at ScienceDirect

Precambrian Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/precamres](http://www.elsevier.com/locate/precamres)

Transition from subduction to collision recorded in the Pan-African arc complexes (Mali to Ghana)

Stéphane Guillot<sup>a,\*</sup>, Yao Agbossoumondé<sup>b</sup>, Jérôme Bascou<sup>c</sup>, Julien Berger<sup>d</sup>, Guillaume Duclaux<sup>e</sup>, Nadège Hilairé<sup>f</sup>, René-Pierre Ménot<sup>c</sup>, Stéphane Schwartz<sup>f</sup>

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

Precambrian Research

ELSEVIER

Precambrian Research 151 (2006) 101–118

[www.elsevier.com/locate/precamres](http://www.elsevier.com/locate/precamres)

The mafic layered complex of the Kabyé massif (north Togo and north Benin): Evidence of a Pan-African granulitic continental arc root

G. Duclaux<sup>a,b,\*</sup>, R.P. Ménot<sup>a</sup>, S. Guillot<sup>c</sup>, Y. Agbossoumondé<sup>d</sup>, N. Hilairé<sup>e</sup>

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Journal of African Earth Sciences

ELSEVIER

Journal of African Earth Sciences 39 (2004) 201–208

[www.elsevier.com/locate/jafrearsci](http://www.elsevier.com/locate/jafrearsci)

Geochemistry of high-pressure granulites from the Pan-African Dahomeyide orogen, West Africa: constraints on the origin and composition of the lower crust

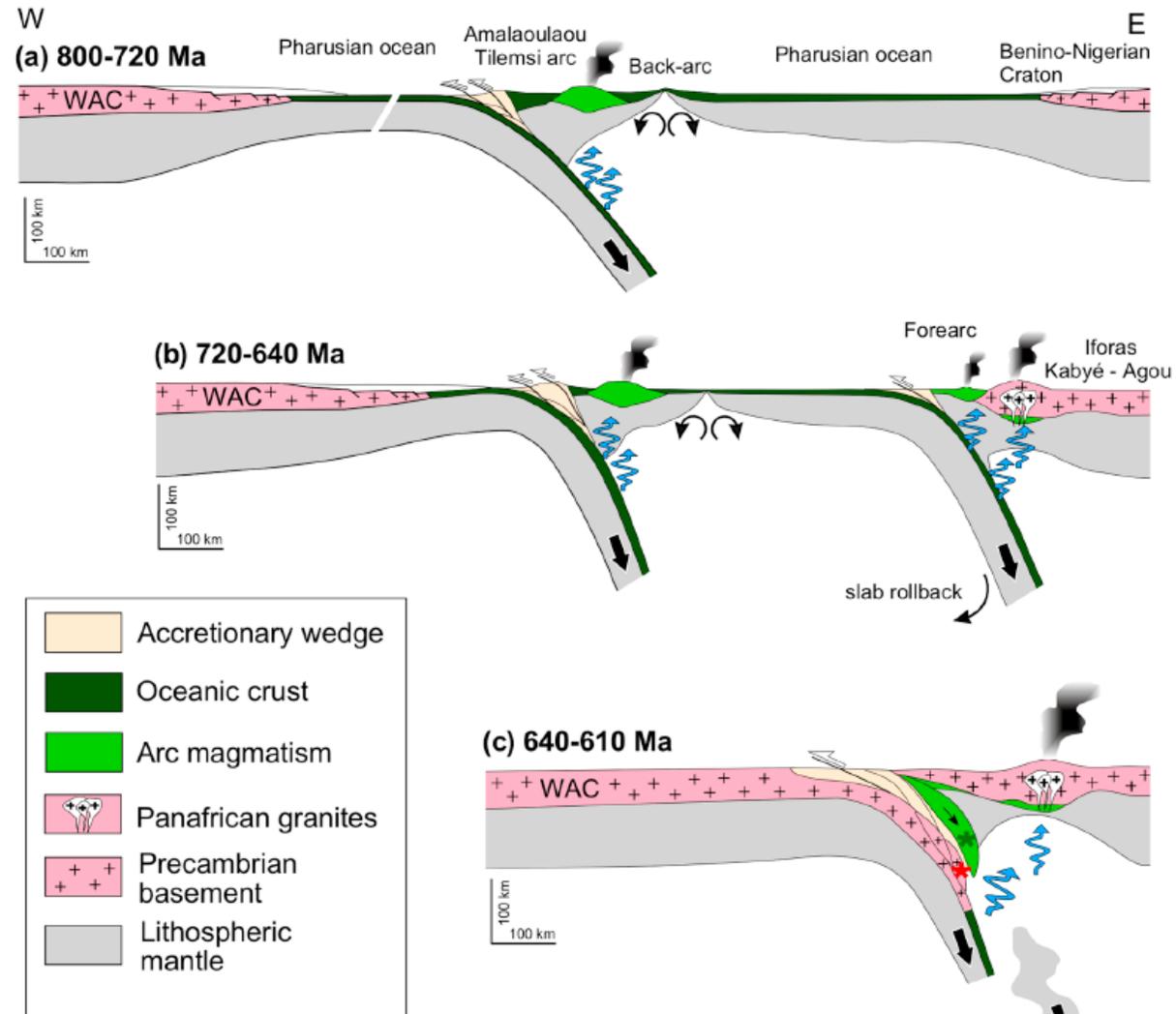
Kodjopa Attoh<sup>a,\*</sup>, Jennifer Morgan<sup>a,b</sup>

Contrib Mineral Petrol (2011) 162:773–796  
DOI 10.1007/s00410-011-0624-5

ORIGINAL PAPER

Deep inside a neoproterozoic intra-oceanic arc: growth, differentiation and exhumation of the Amalaoulaou complex (Gourma, Mali)

Julien Berger · Renaud Caby · Jean-Paul Liégeois · Jean-Claude C. Mercier · Daniel Demaiffe

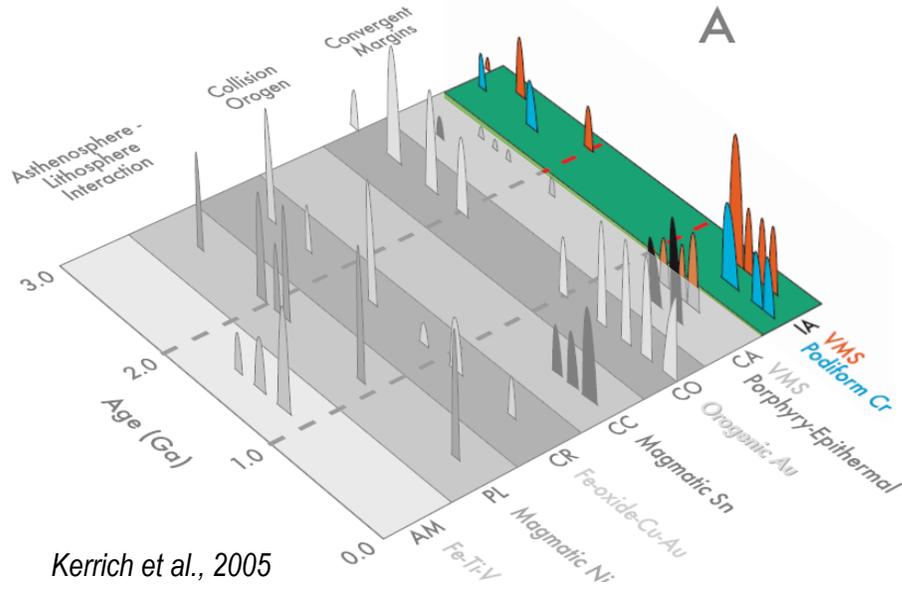


**Subduction**

**Collision**

Guillot et al., 2019

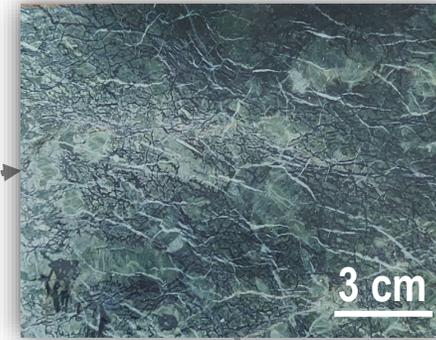
# Une application au Togo - Ghana



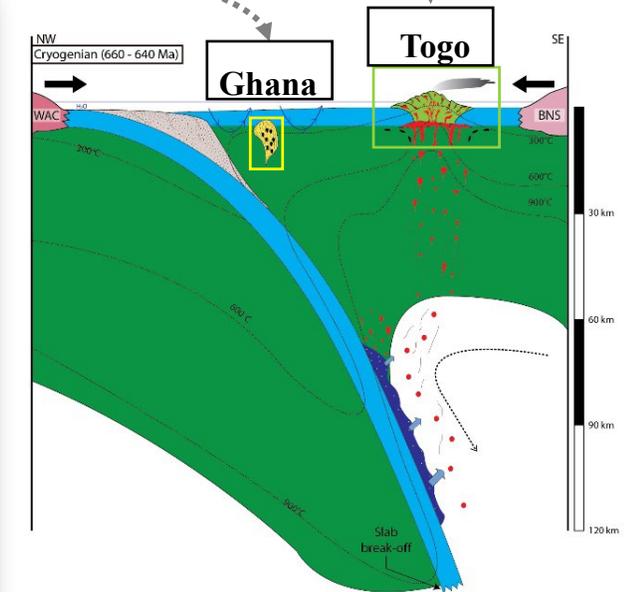
Kerrich et al., 2005



Serpentine, Ghana



Chromitite, Togo



**Marcel Sogle**, Directeur de la Direction Générale des Mines et de la Géologie  
**Dadga Egbam**, Géologue DGMG Service géologique du Togo  
**Aurélien Eglinger**, Université de Lorraine - GeoRessources  
**Nicolas Thébaud**, University of Western Australia - CET

**Romain Deflin**, Master Géologie exploration Sulfures  
**Bastien Zapp**, Master Géologie exploration 2021 Chromitites  
**Yohann Kerreueur**, Master Terres & Planètes 2022, les serpentinites



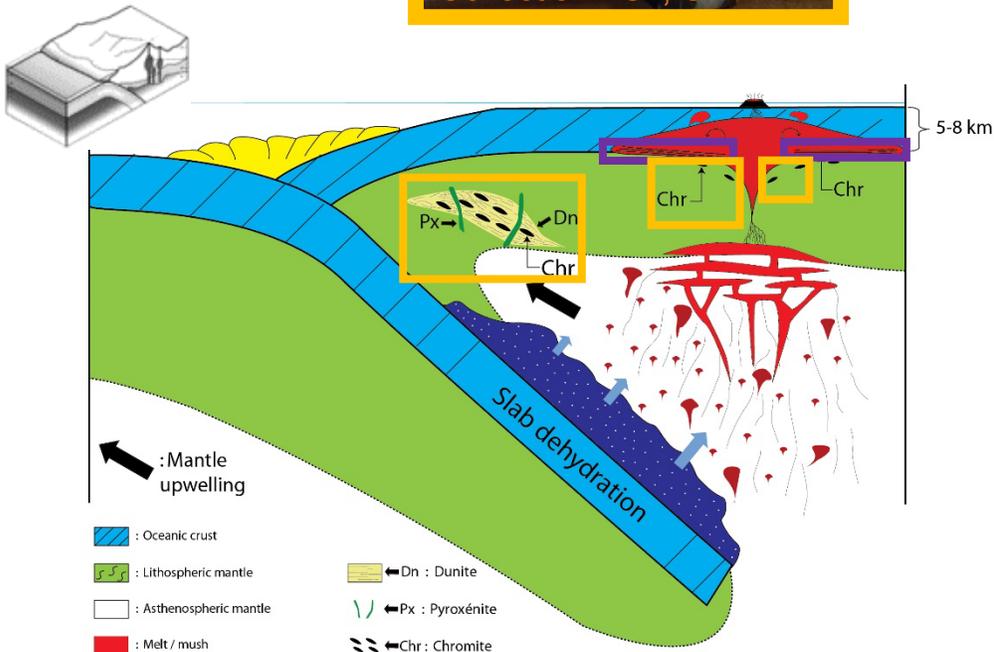
## Comment déterminer le contexte géodynamique d'une chromitite ?

## Chromitites stratiformes

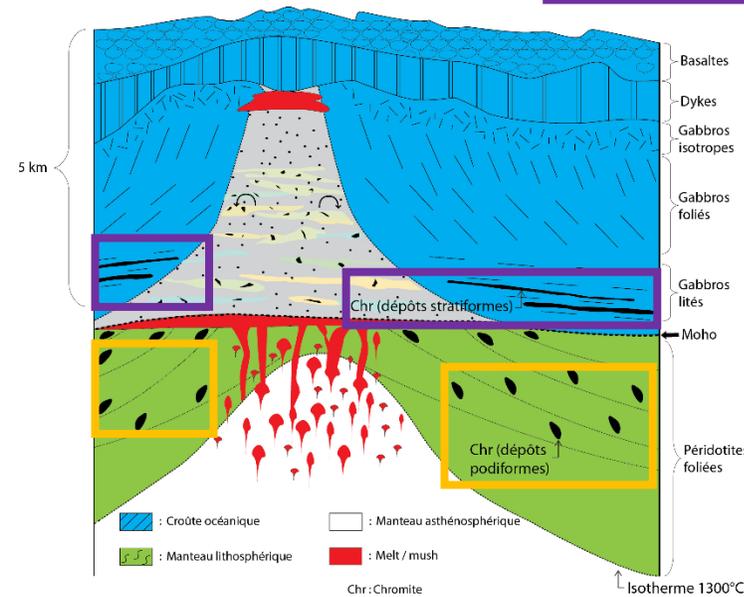
Chromitites  
podiformes



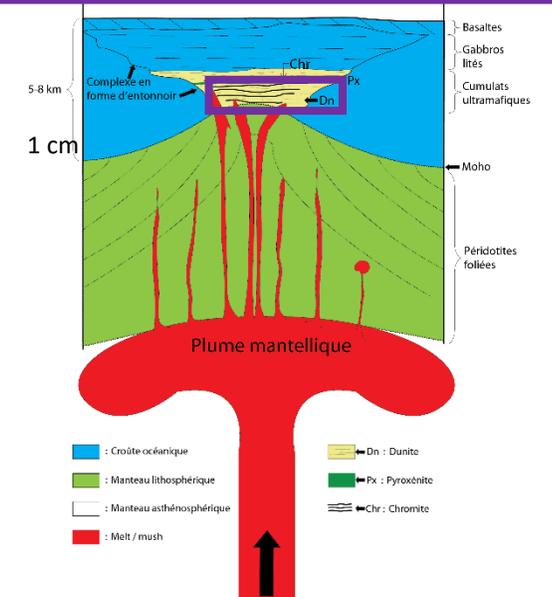
→ En se basant  
sur leur **texture** ...



Modifié d'après Zhang et al., 2016

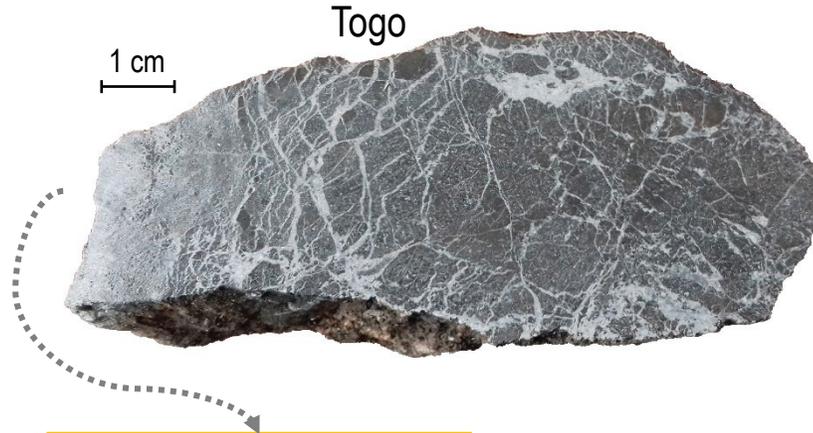


Modifié d'après France et Bouilhol (en préparation)



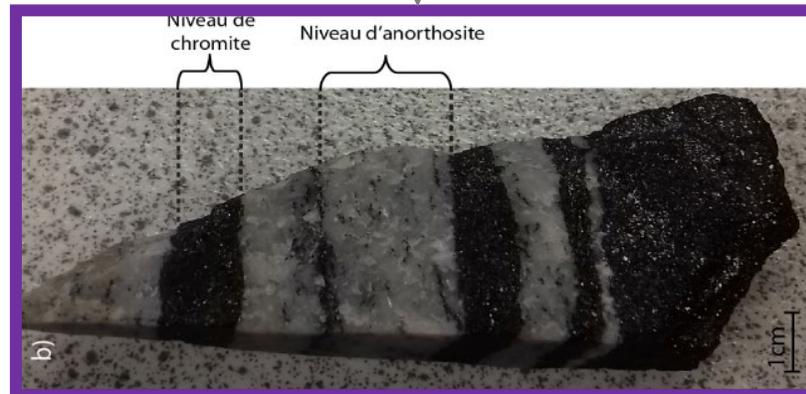
Modifié d'après Naldrett, 2004 13

Les archives géologiques à disposition  **des chromitites** + serpentinites



**Chromitites  
podiformes**

Collection FST, UL



**Chromitites  
stratiformes**

Collection ENSG, UL

**Dans la vraie vie...les chromitites sont souvent déformées, métamorphisées et altérées...**

## Comment déterminer le contexte géodynamique d'une chromitite dans des terrains déformés, métamorphisés et altérés ?

→ En couplant les études pétrostructurales avec la géochimie

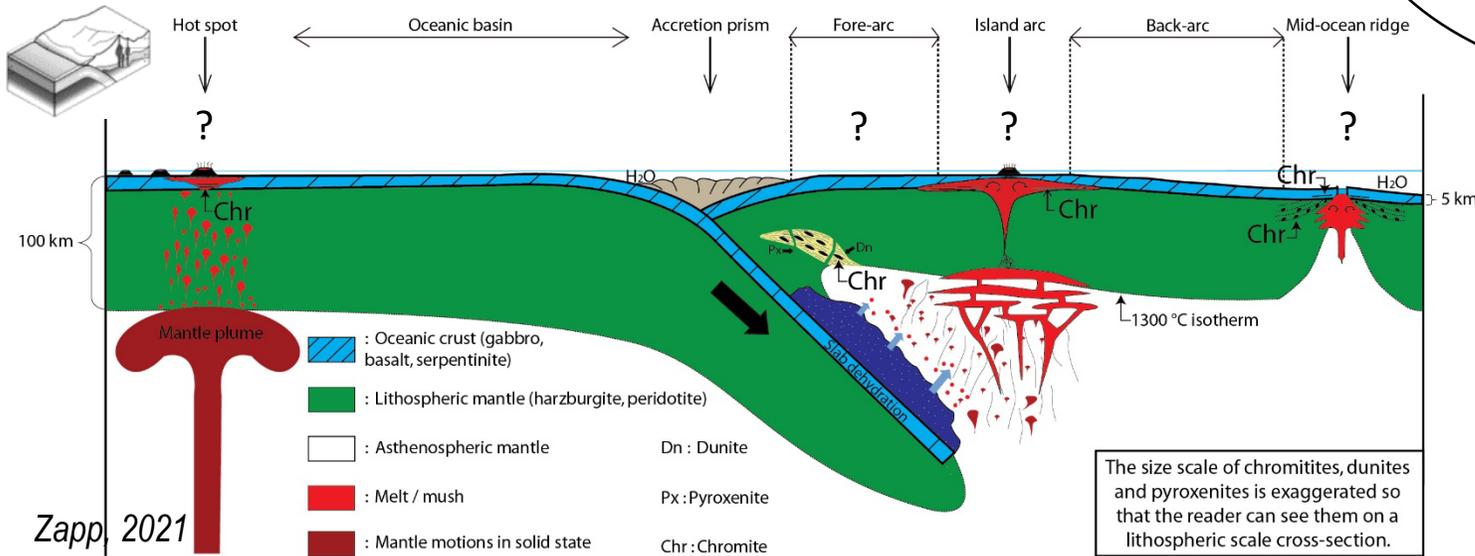
Ghana



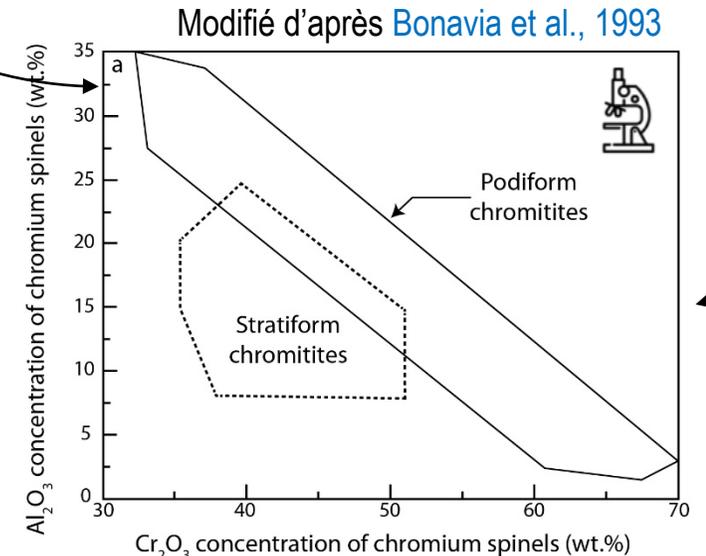
Togo



?

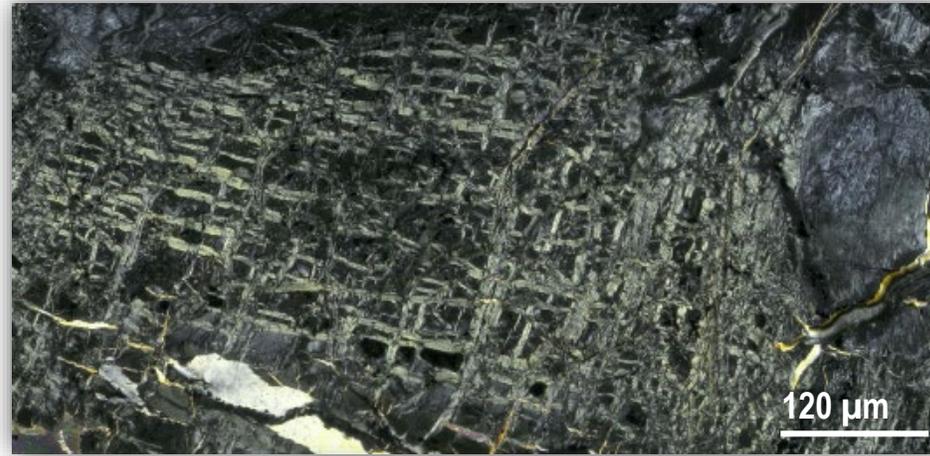
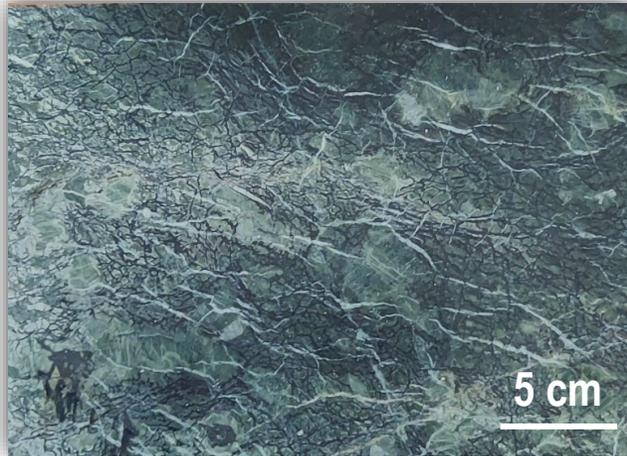


Modifié d'après Matveev et Balhaus, 2002 ; Naldrett, 2004 ; Zhang et al., 2016

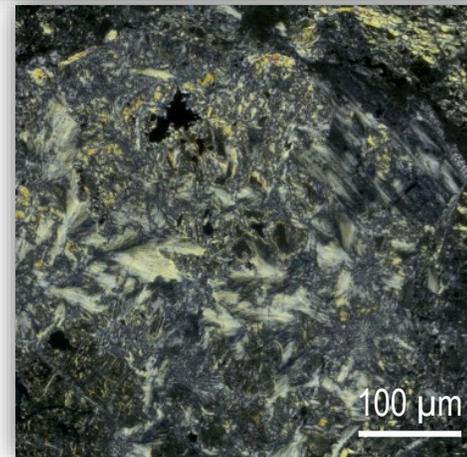
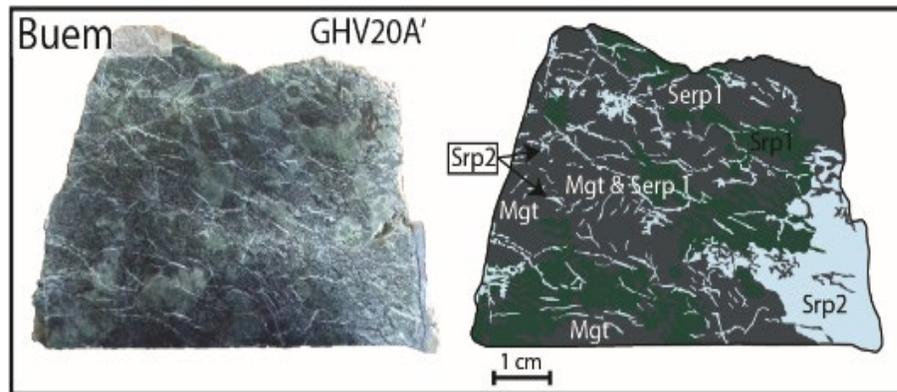


?

Les archives géologiques à disposition  des chromitites + **serpentinites**



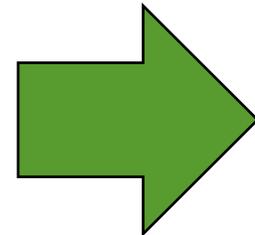
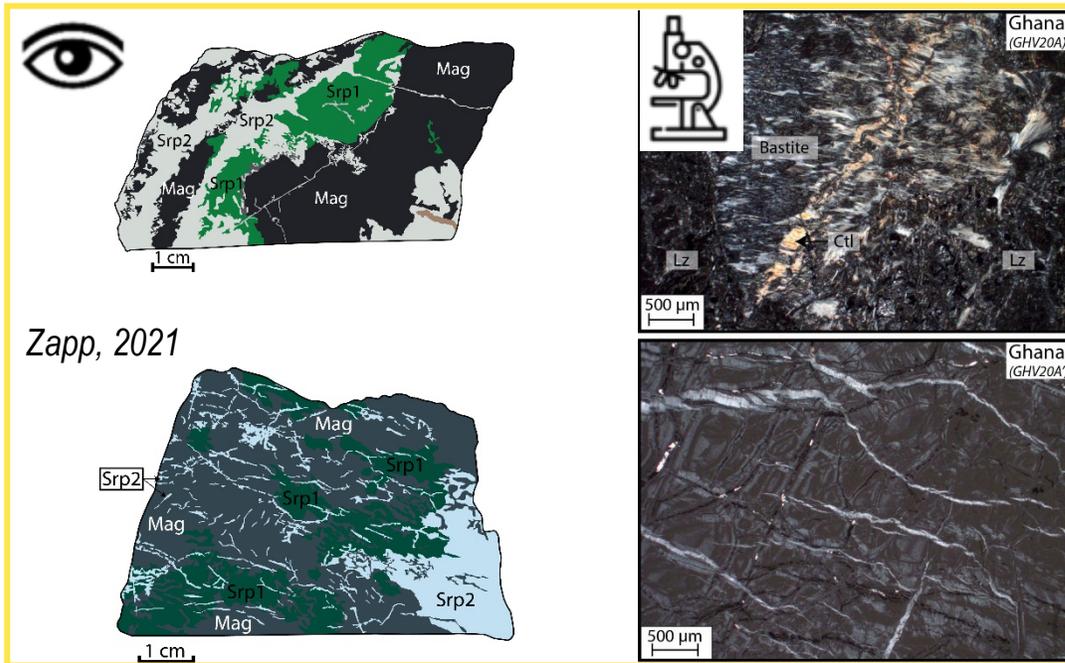
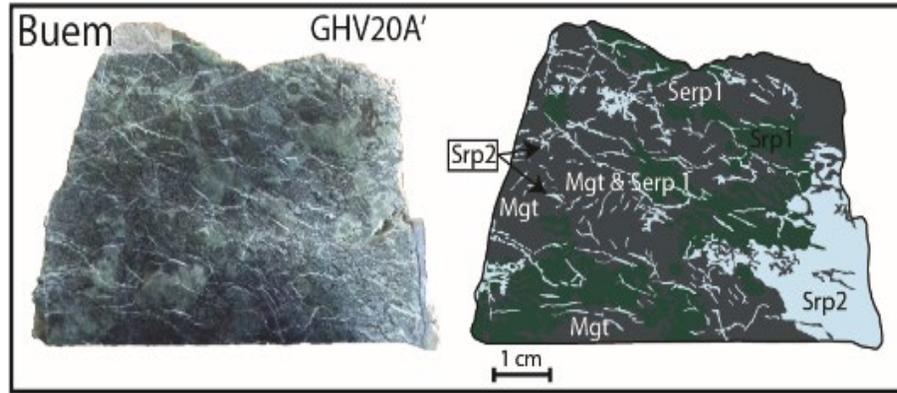
Mesh  
Veines  
Bastite



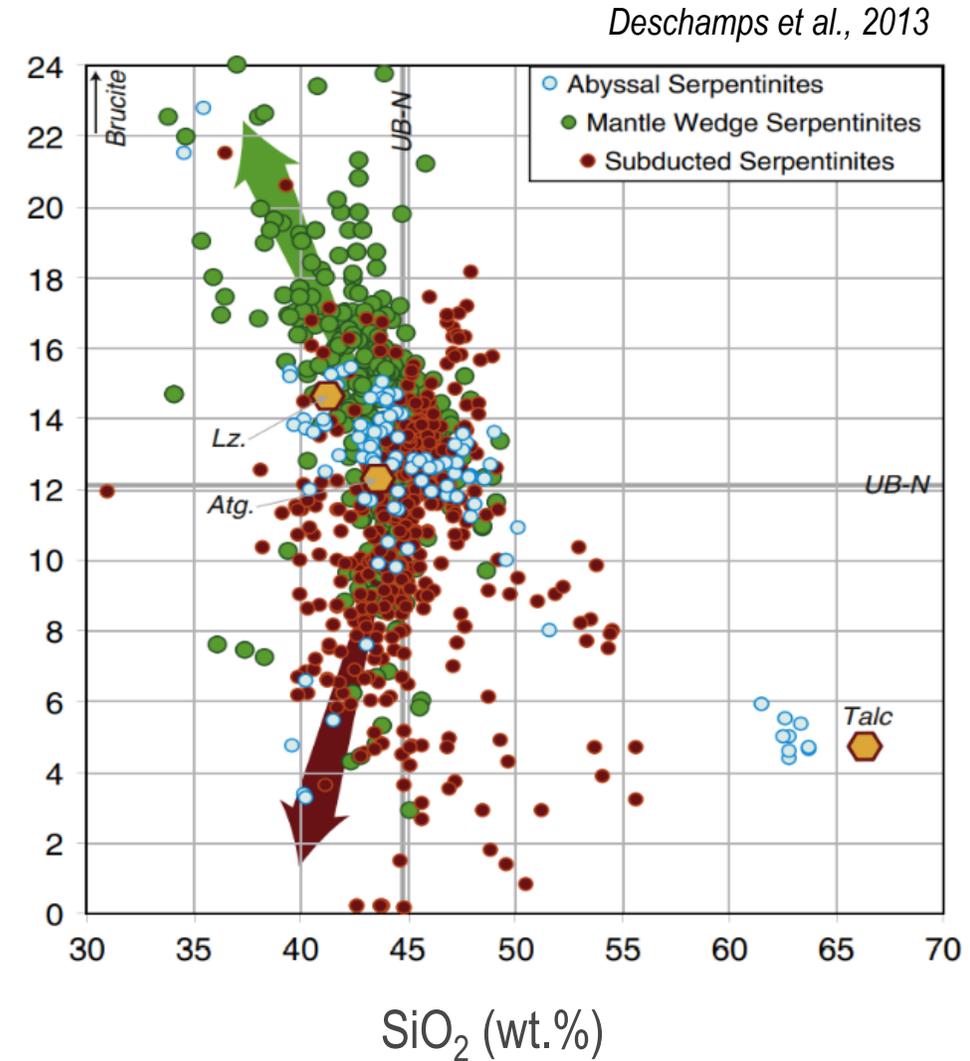
Plumose  
En grain

**...et les serpentinites enregistrent différentes generations de serpentine durant le cycle orogénique**

# Une application au Togo - Ghana

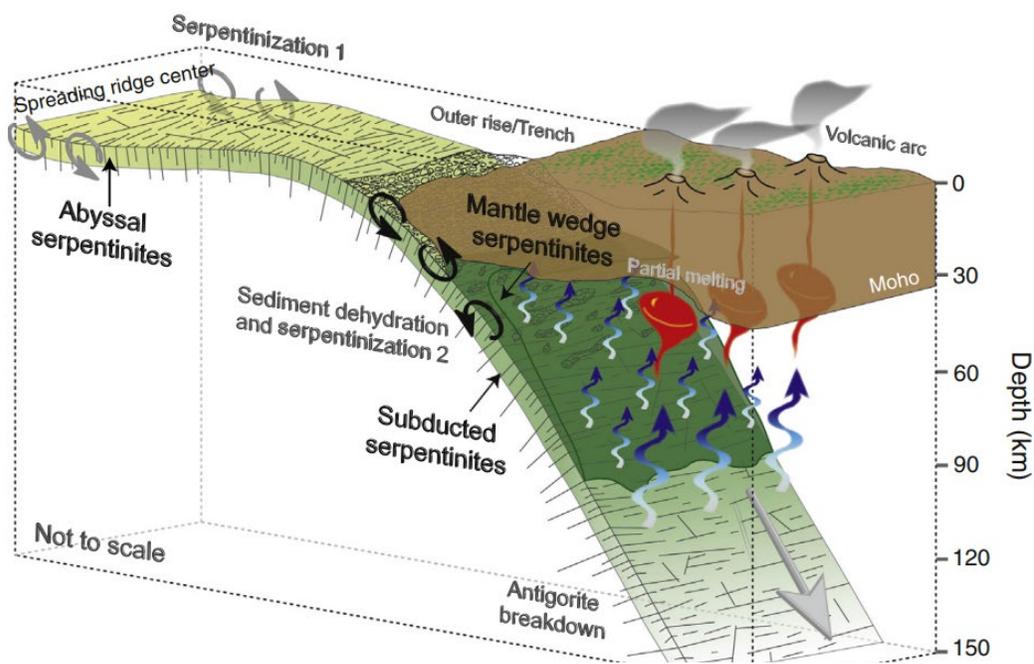


L.O.I. (wt.%)



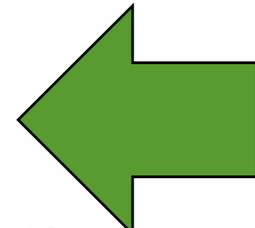
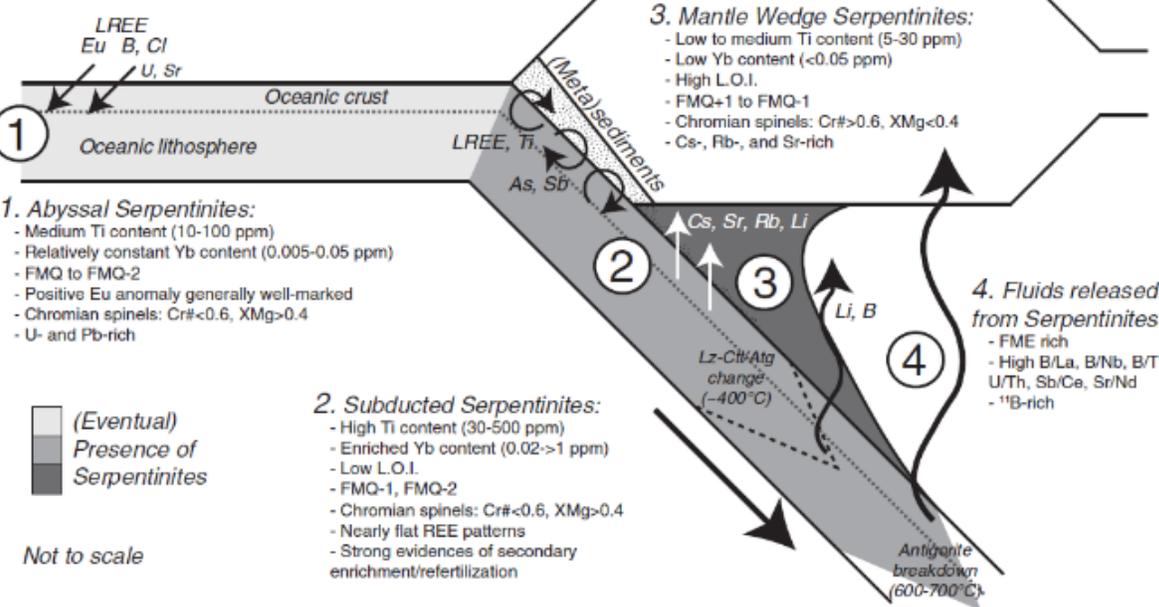
# Une application au Togo - Ghana

Deschamps et al., 2013

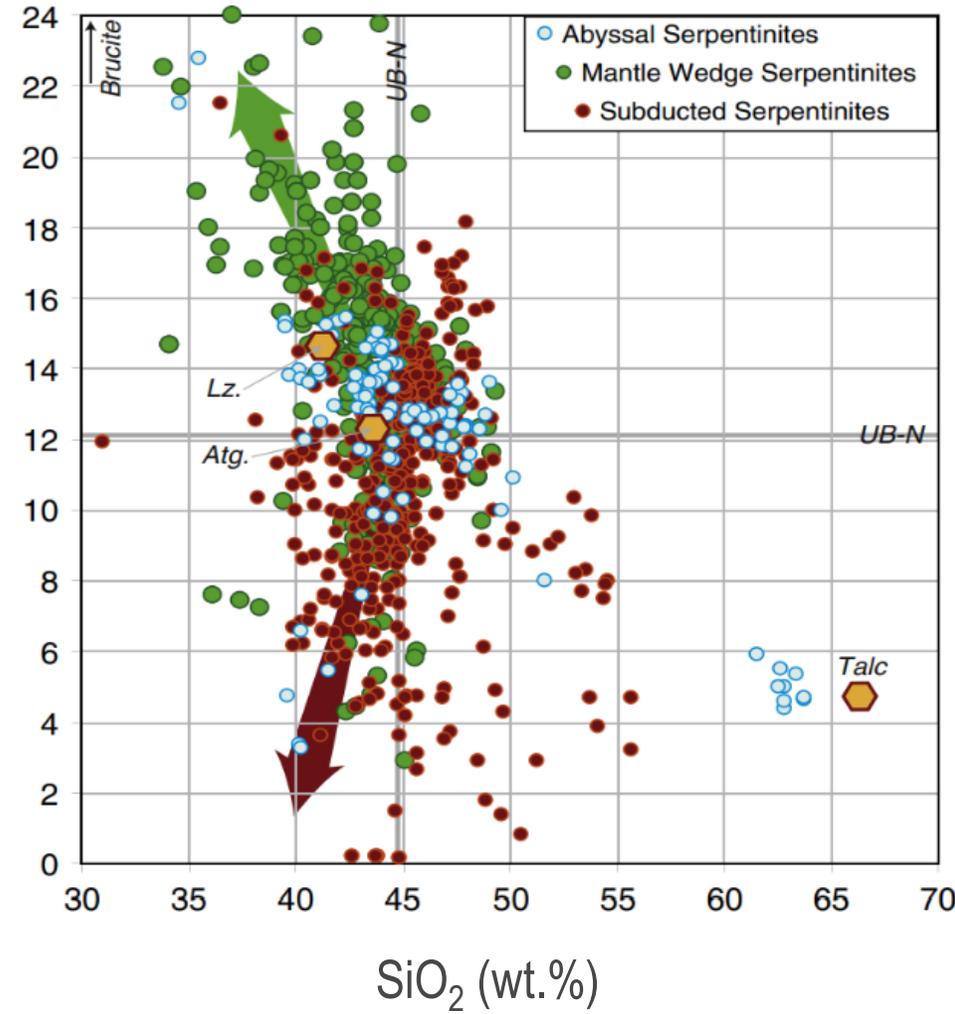


## Geochemical Characteristics of Serpentinites in Subduction Context

Arc volcanism



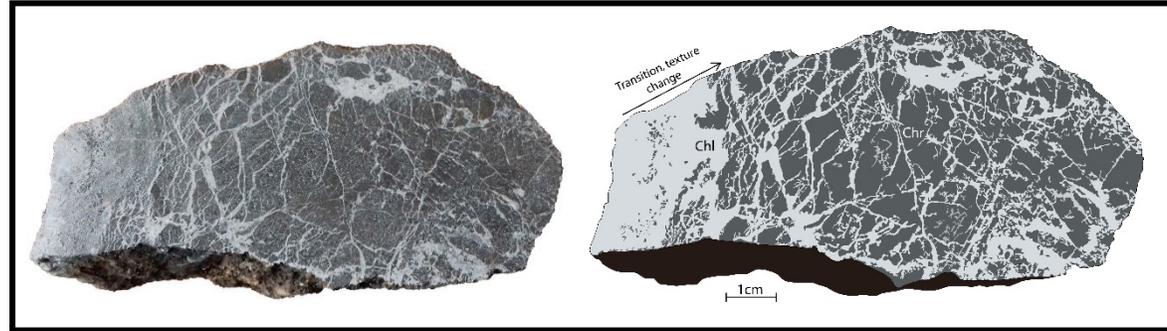
L.O.I. (wt.%)



Depth range of slabs below arcs

## Pétero - Géochimie

Macroscopie –  
section polie  
Microscopie optique



( $\mu$ XRF)

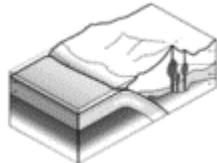
Microsonde  
électronique

MEB



Textures, paragenèse,  
altération

( $\mu$ XRF)



ID-sample	Location	Lithology	Macroscopy	Thin section	SEM	$\mu$ XRF	Raman	EPMA	LA-ICP-MS
GHV20A	Ghana	Serpentinite	X	X			X		
GHV20A'	Ghana	Serpentinite	X	X			X	X	X
GHV20B	Ghana	Chromitite	X	X	X			X	X
TG14a	Togo	Amphibolite	X	X				X	
TG14b	Togo	Chromitite	X	X	X	X		X	X

Type de chromitite/Serpentine  
Géochimie des chromite  
serpentine/chlorite

Chr

LA-ICP-MS

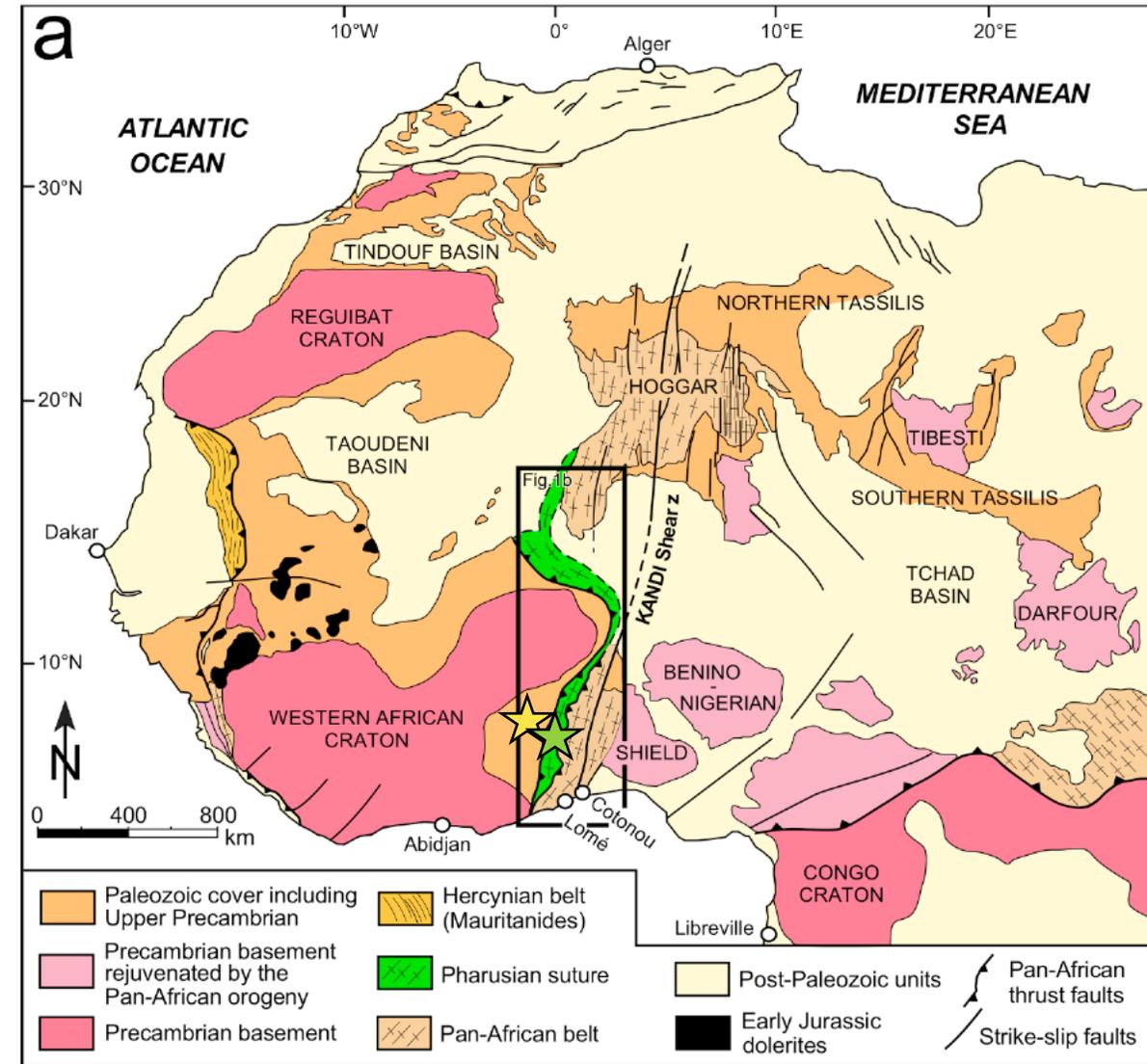
Chr – Chl  
– Srp

Processus pétrogénétiques

Environnement géodynamique

Dans quels contextes géodynamiques les chromitites protérozoïques (anomalie en Cr) et leurs roches encaissantes serpentinisées se sont-elles formées ?

- Ceinture orogénique panafricaine des Dahoméides
- Terrains déformés, métamorphisés, textures complexes, contexte géodynamique en discussion

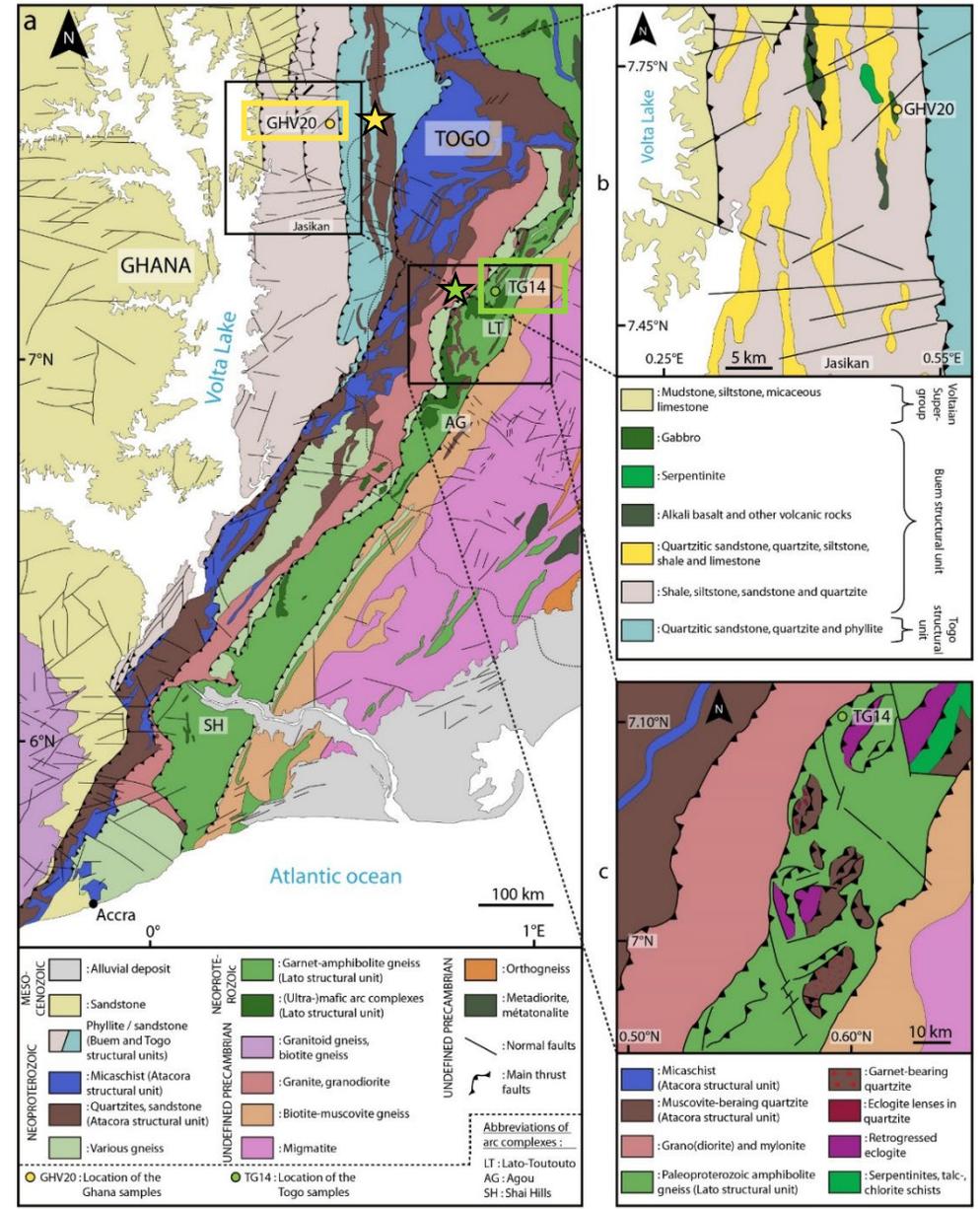


★ : Ghana

★ : Togo

## Frontière Ghana-Togo

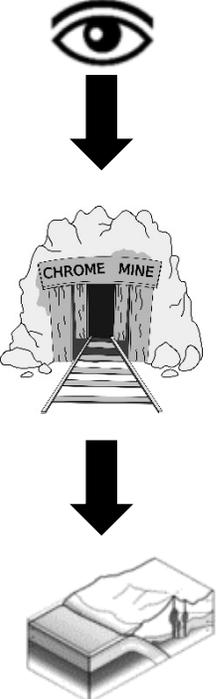
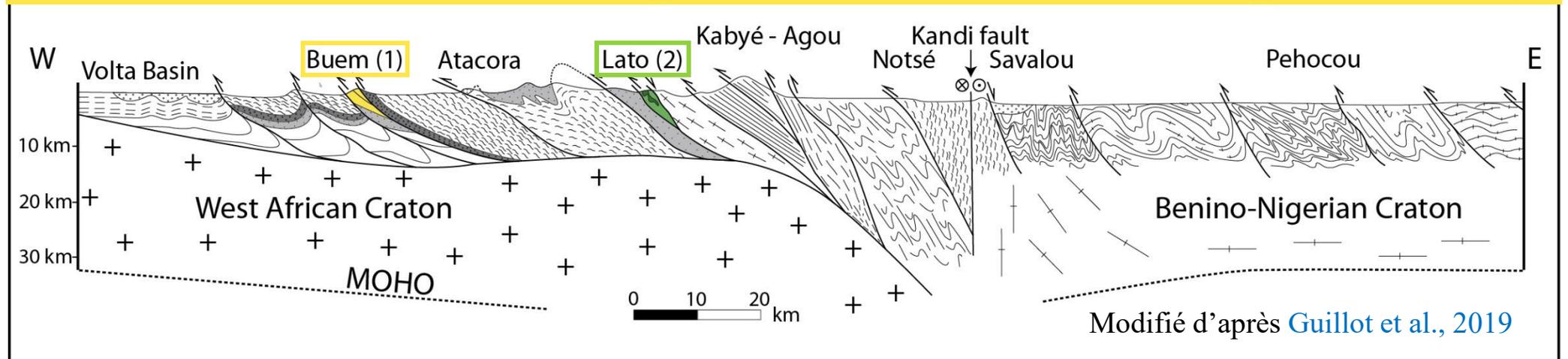
- À l'Ouest : **Unité Structurale de Buem** : échantillons du Ghana (*phyllites, quartzites, basaltes et gabbros, serpentinites*)
- **Zone de suture controversée** : au moins 8 massifs ultramafiques (Amalaoulaou, Derouvarou, Kabyé, Djabatore, Lato - Toutouto, Agou, Akuse et Shai Hills ; *granodiorites, gneiss amphibolitiques, éclogites, micaschistes, serpentinites...*)
- Eclogites + faciès amphibolites = datés syn ou post-collision continentale panafricaine (-638 -582 Ma)
- Qu'en est-il des étapes précédentes du cycle de Wilson ? (*basaltes, gabbros, serpentinites, chromitites...*)



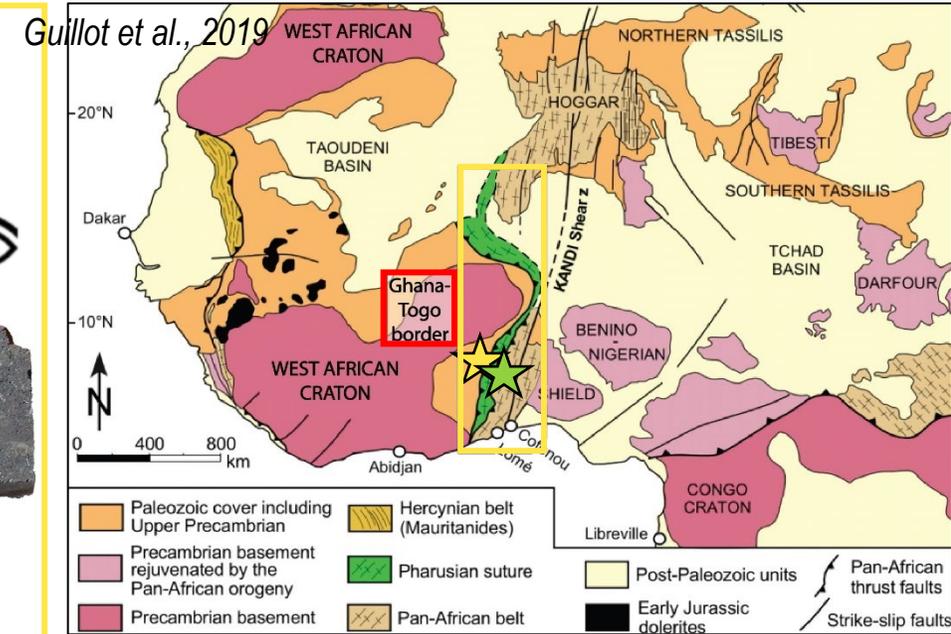
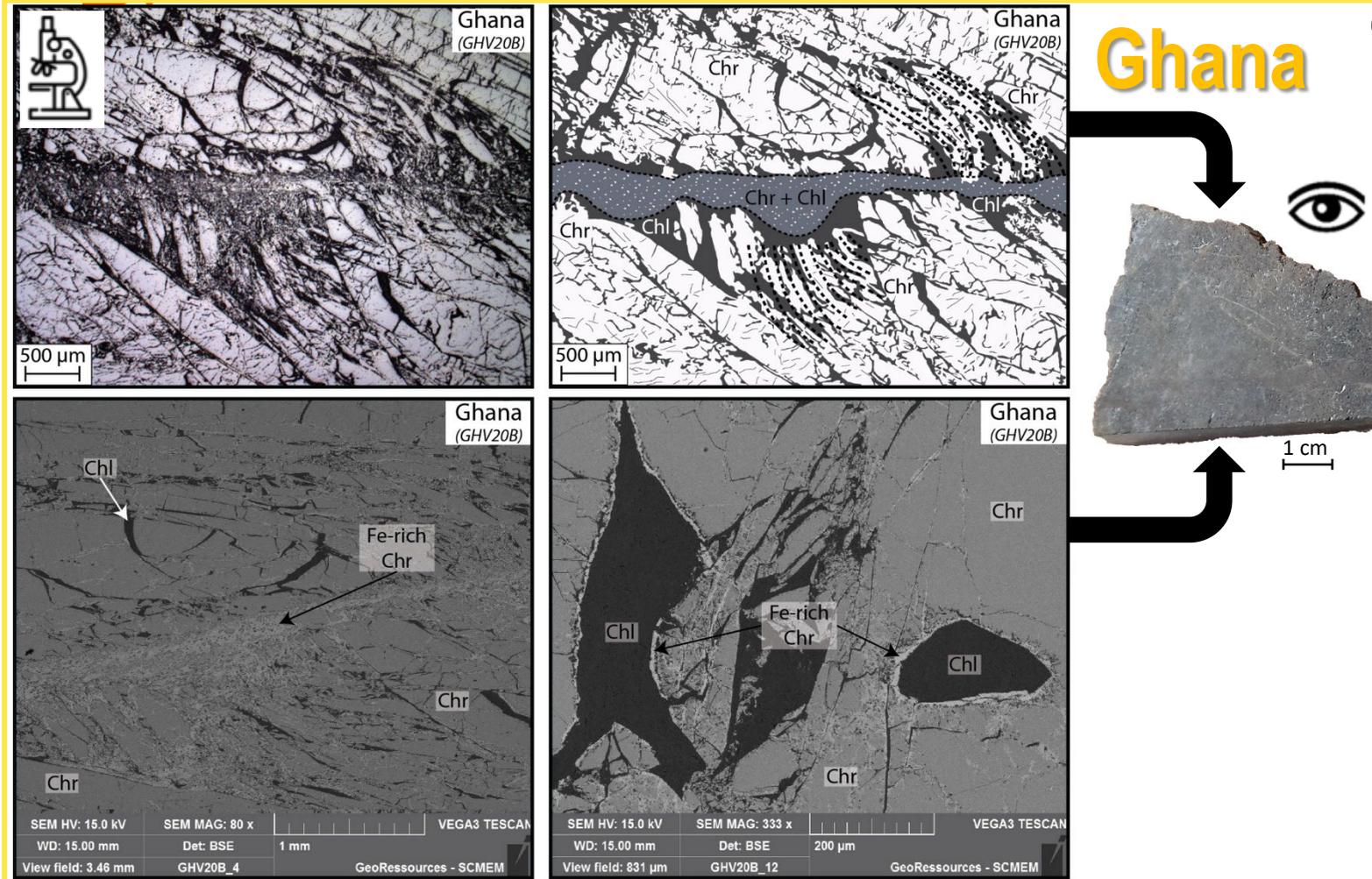
Modifié d'après Kwayisi et al., 2017

Modifié d'après Agbossoumondé et al., 2001

## Les archives géologiques à disposition des chromitites + serpentinites

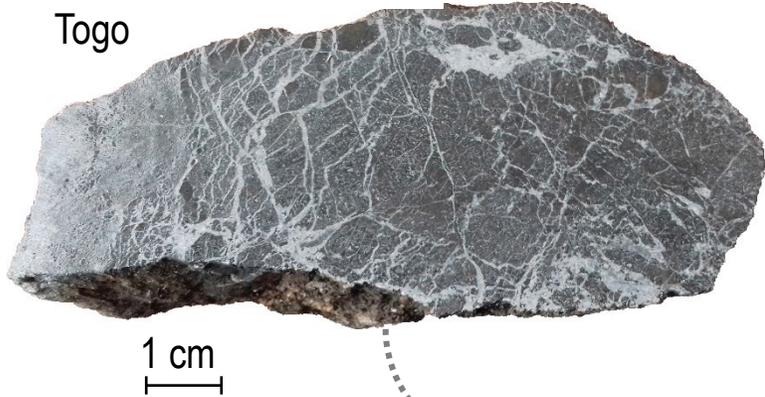


# Une application au Togo - Ghana





Togo



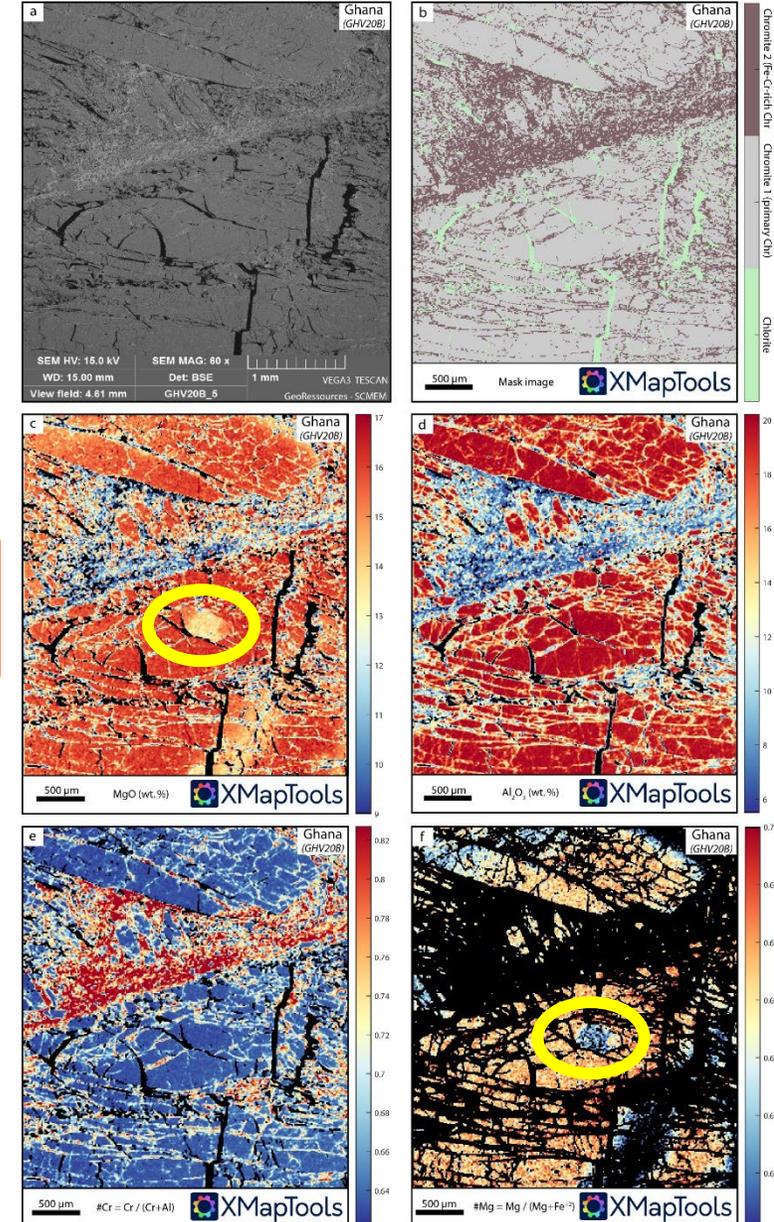
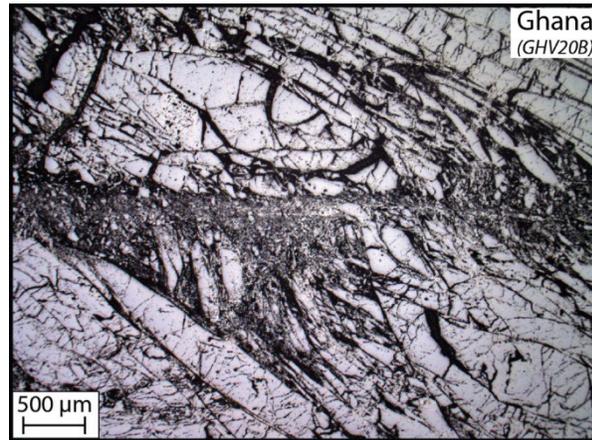
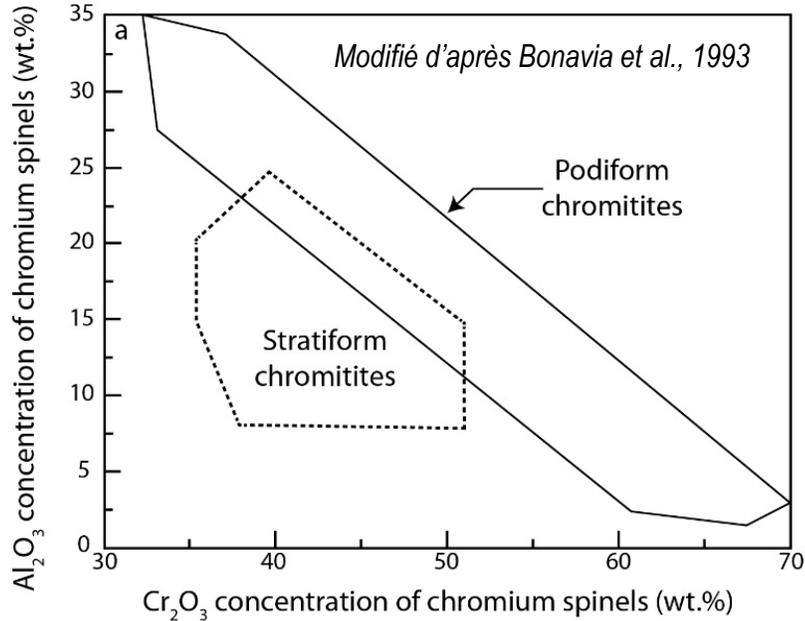
1 cm

Géochimie de la chromite !

## Les chromites disposent-elles d'une géochimie fiable ?

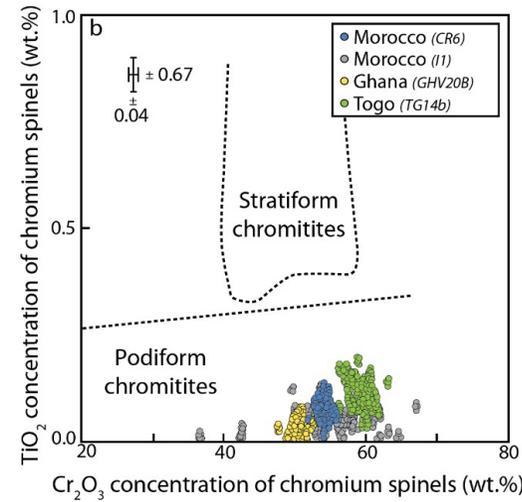
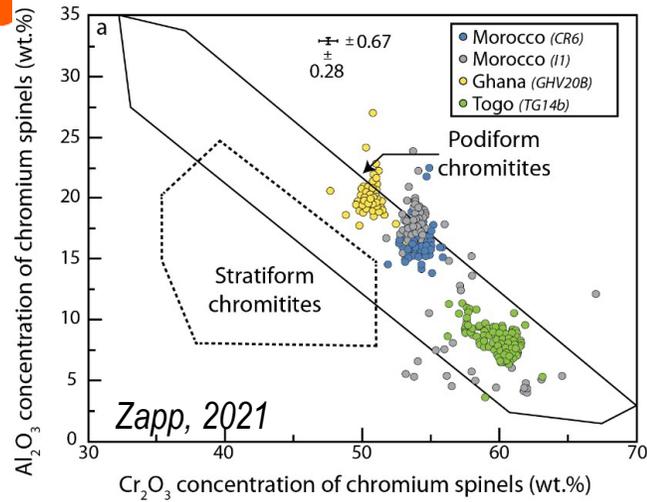


**Chimie des cœurs de chromite**

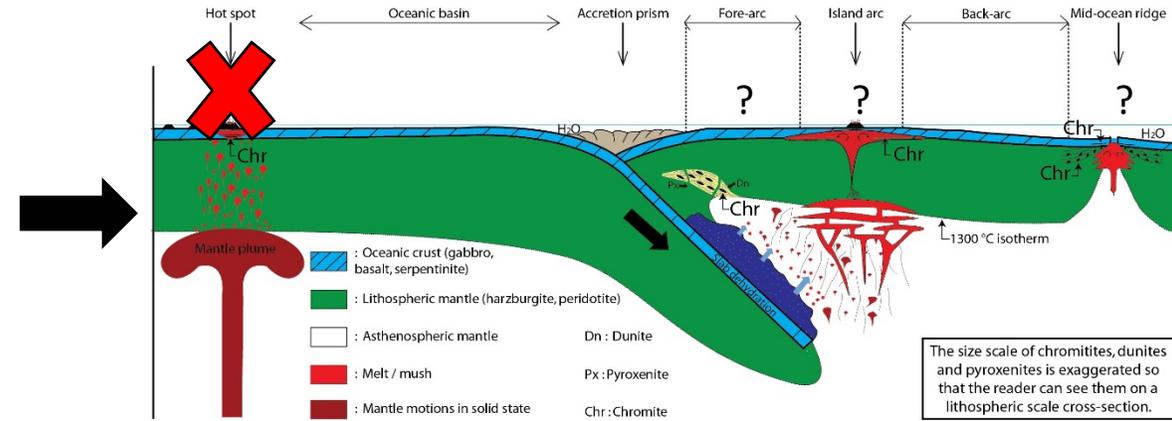




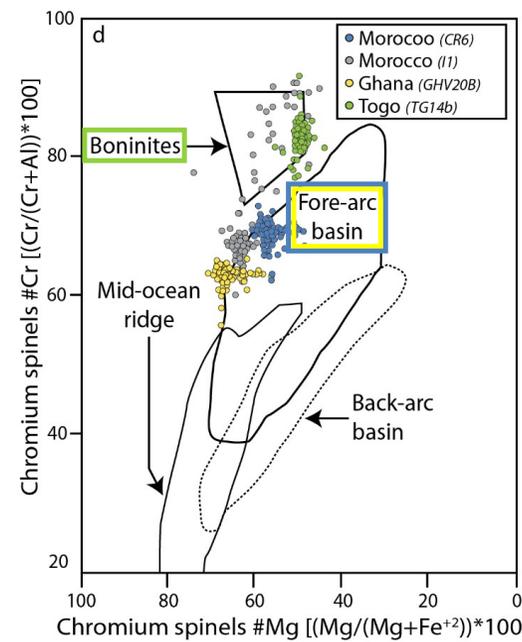
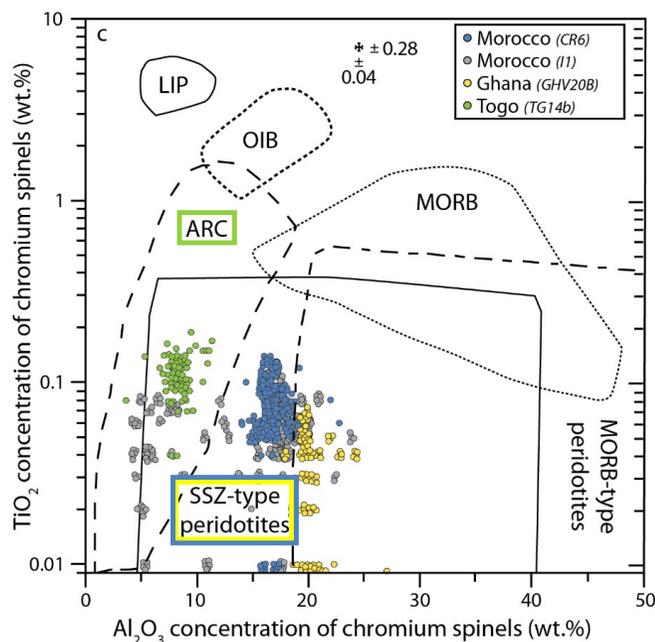
# Une application au Togo - Ghana



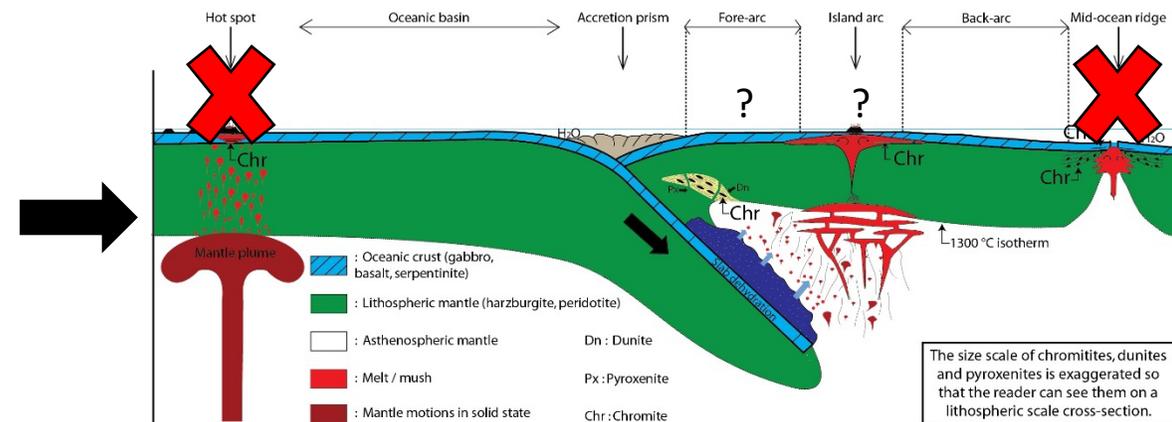
Modifié d'après Dönmez et al., 2014 ; Arai et al., 2004



Modifié d'après Matveev et Balhaus, 2002 ; Naldrett, 2004 ; Zhang et al., 2016

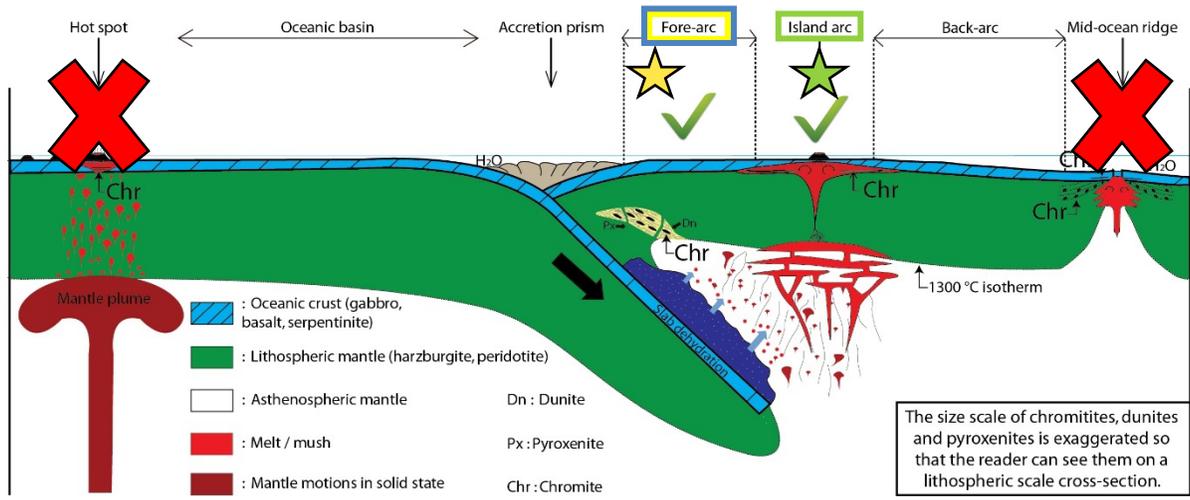
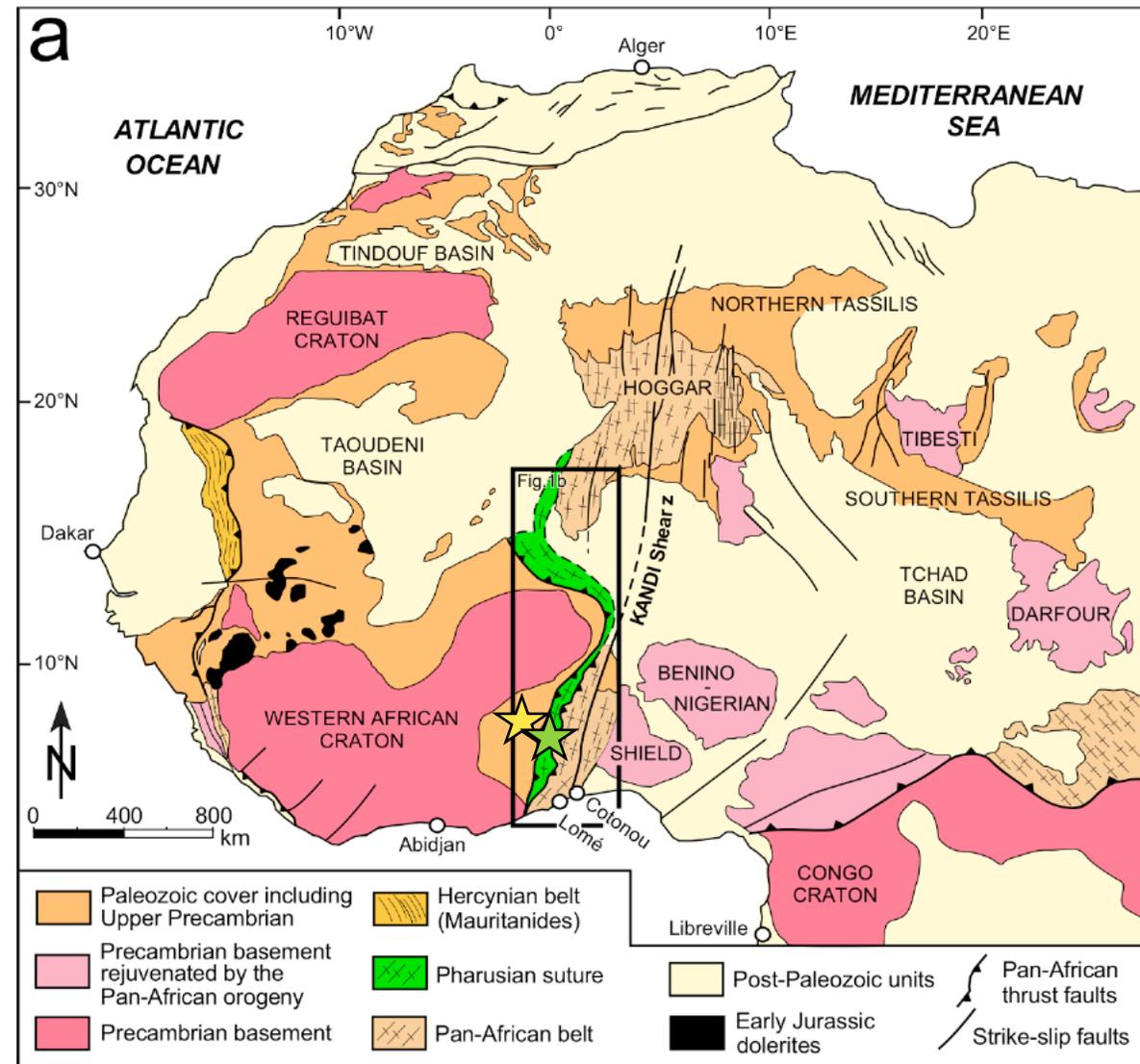
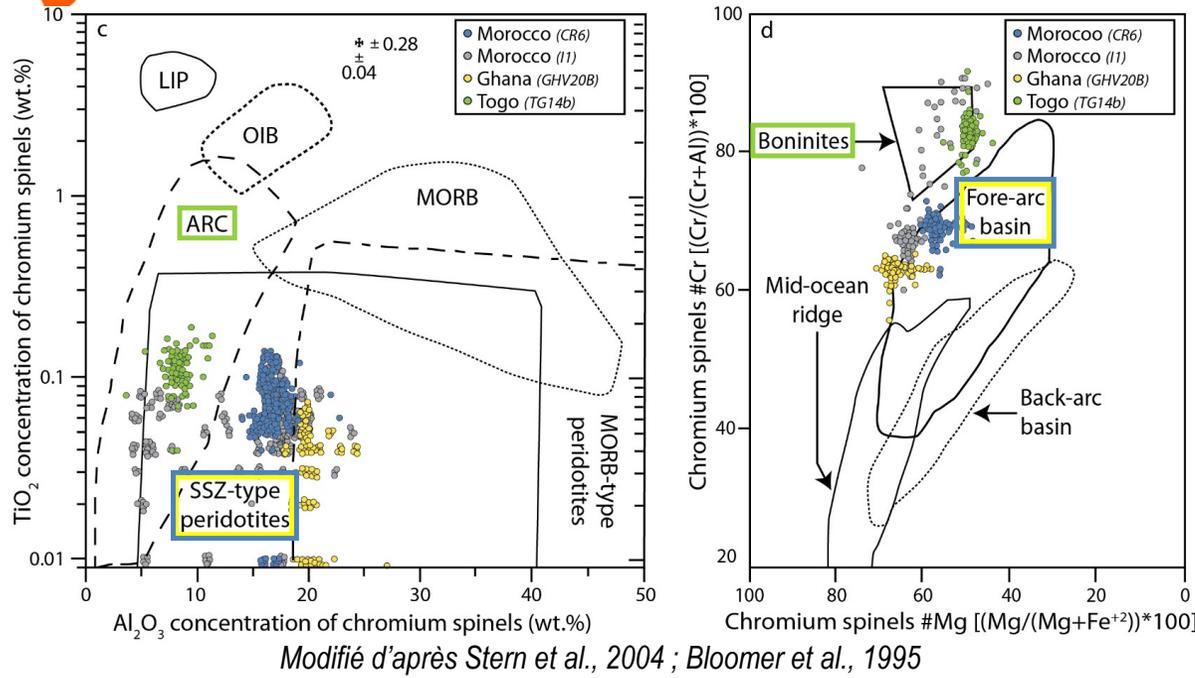


Modifié d'après Stern et al., 2004 ; Bloomer et al., 1995



Modifié d'après Matveev et Balhaus, 2002 ; Naldrett, 2004 ; Zhang et al., 2016

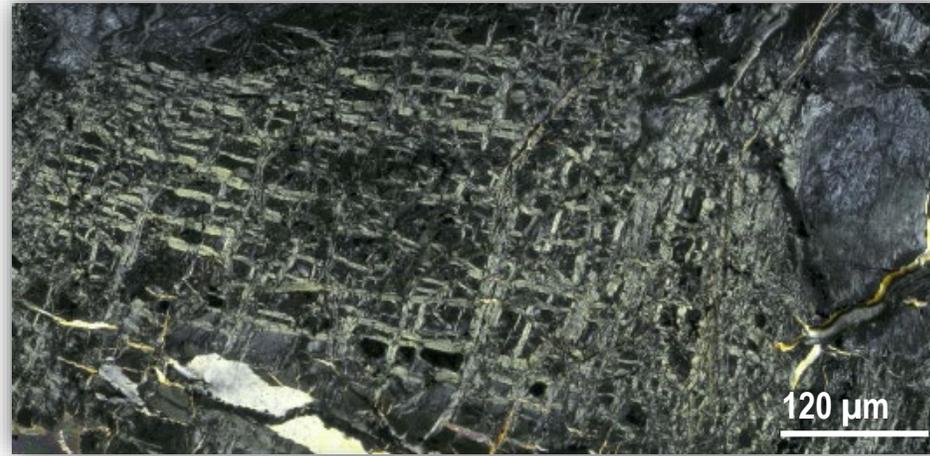
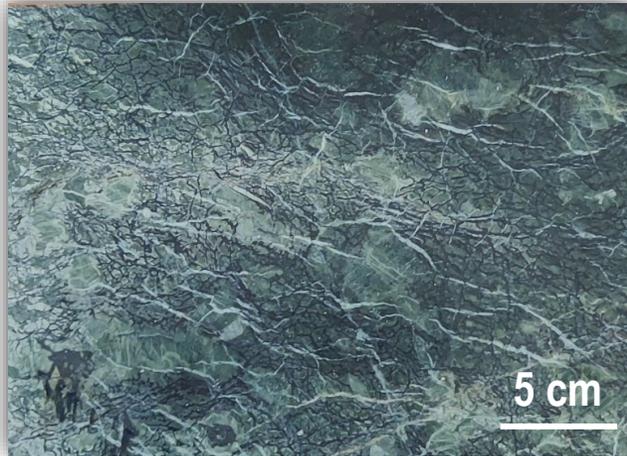
# Une application au Togo - Ghana



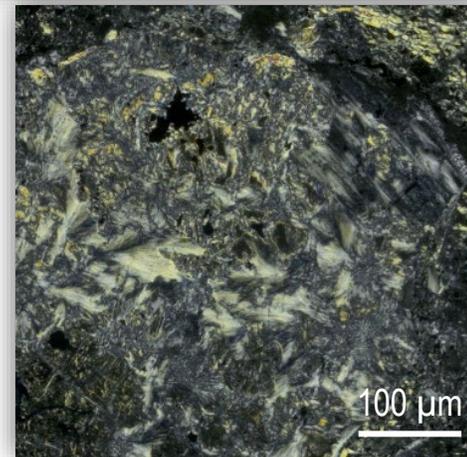
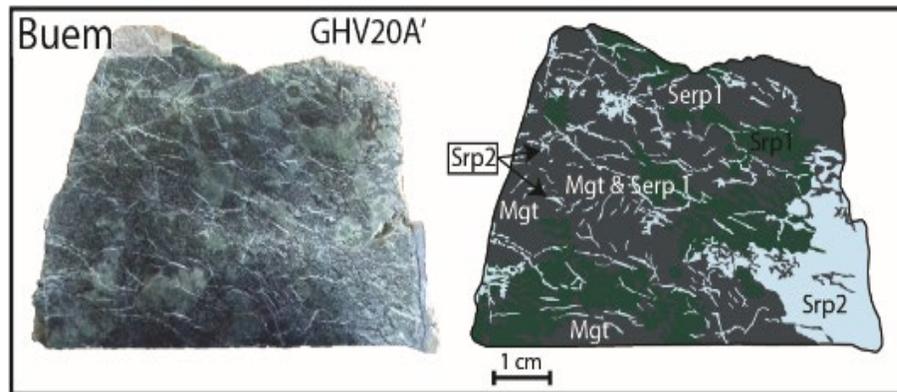
★ : Ghana

★ : Togo

Les archives géologiques à disposition  des chromitites + **serpentinites**



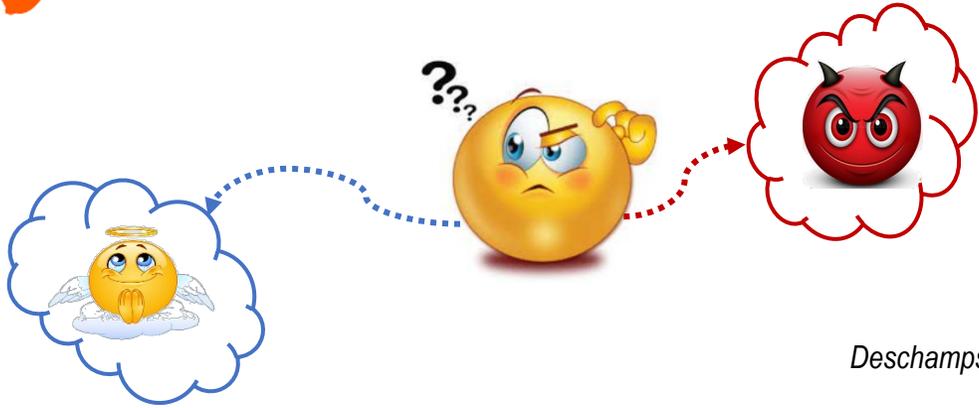
Mesh  
Veines  
Bastite



Plumeuse  
En grain

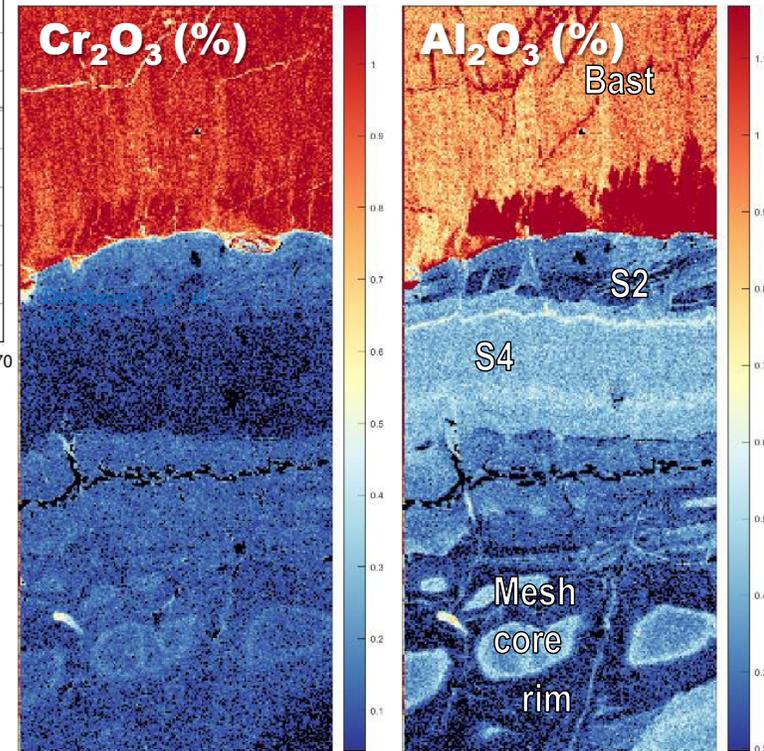
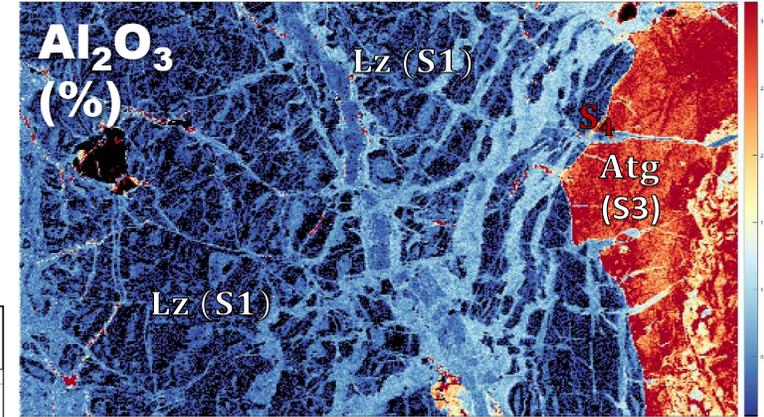
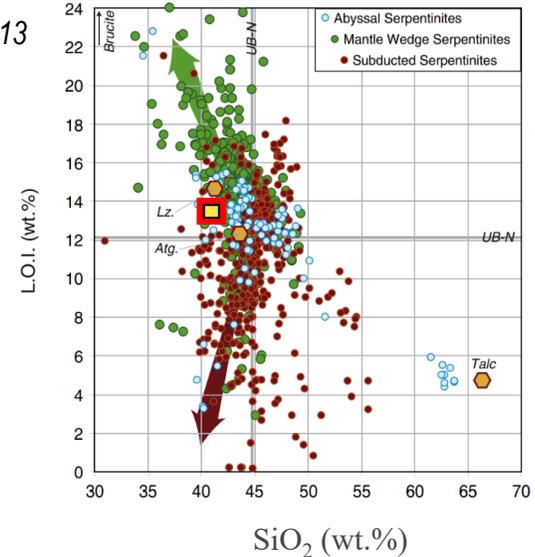
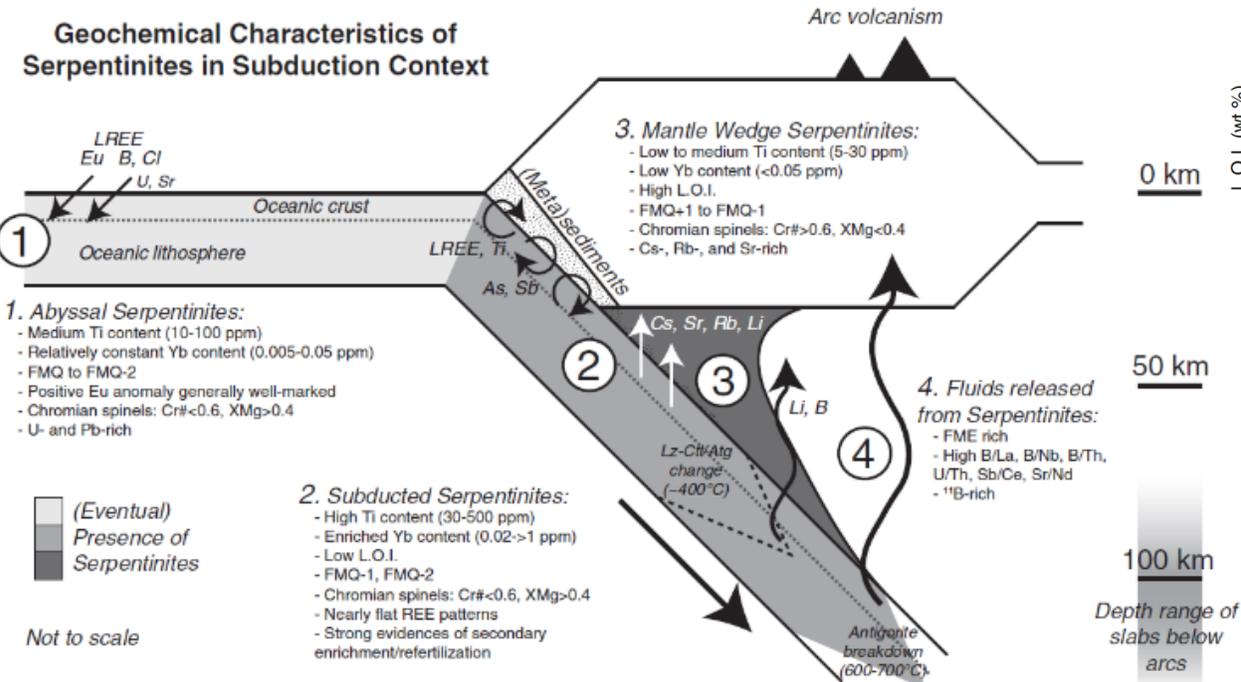
**...et les serpentinites enregistrent différentes generations de serpentine durant le cycle orogénique**

## Les serpentines disposent-elles d'une géochimie fiable ?



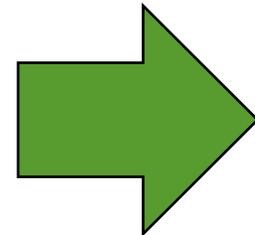
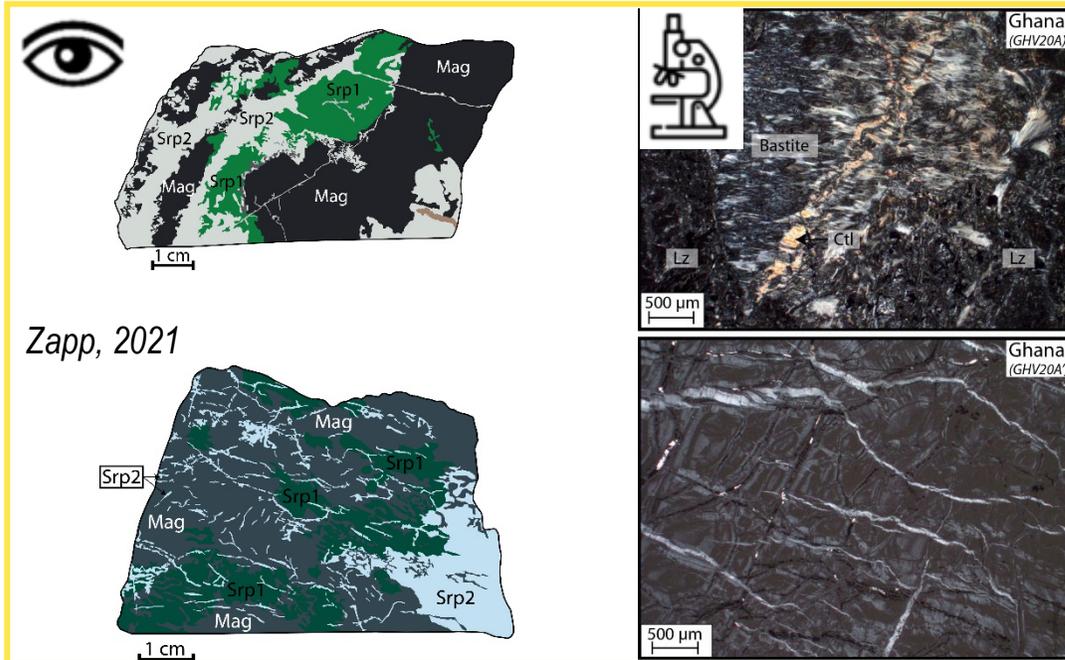
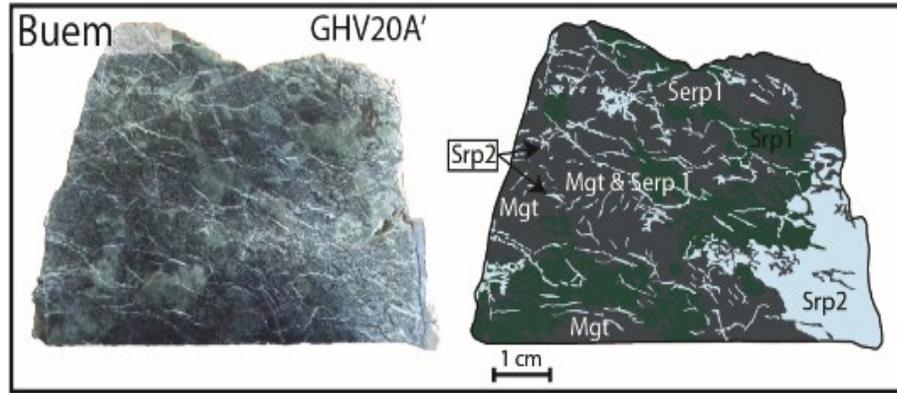
Deschamps et al., 2013

### Geochemical Characteristics of Serpentinites in Subduction Context

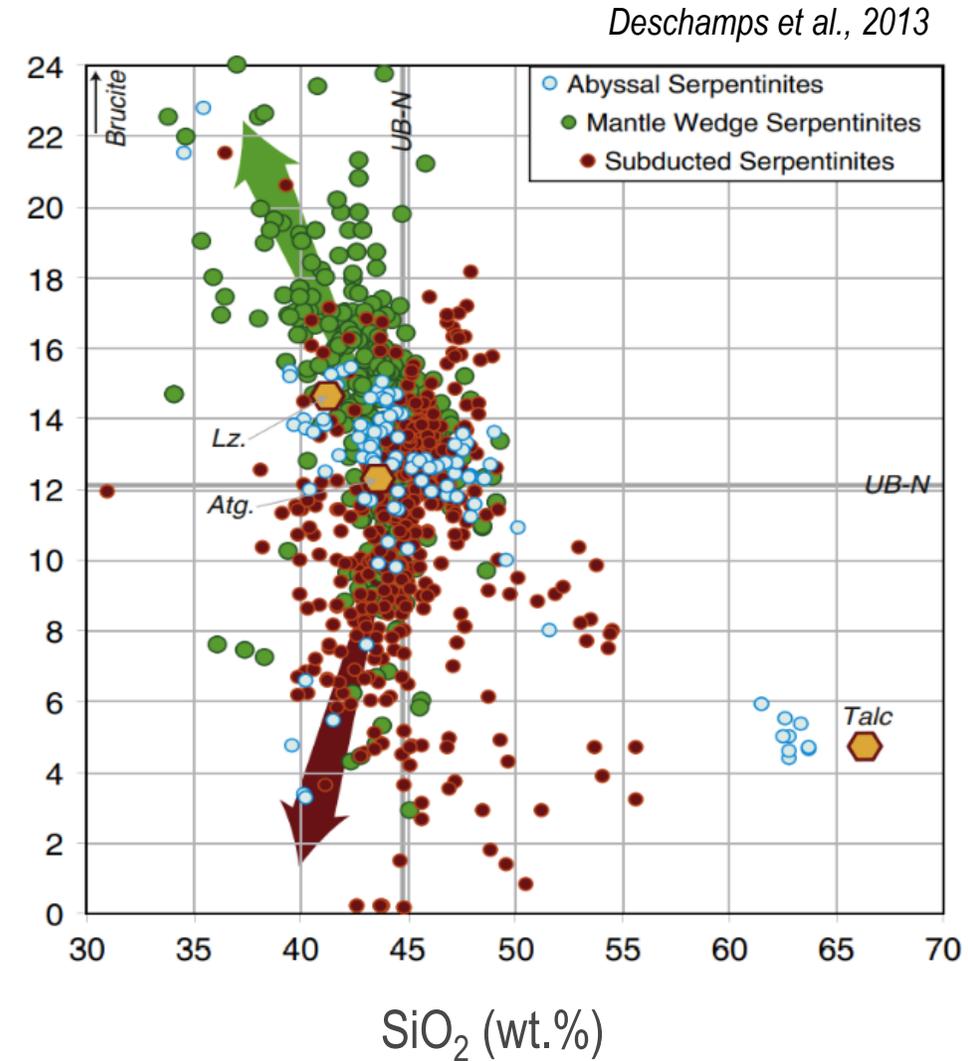


Not to scale

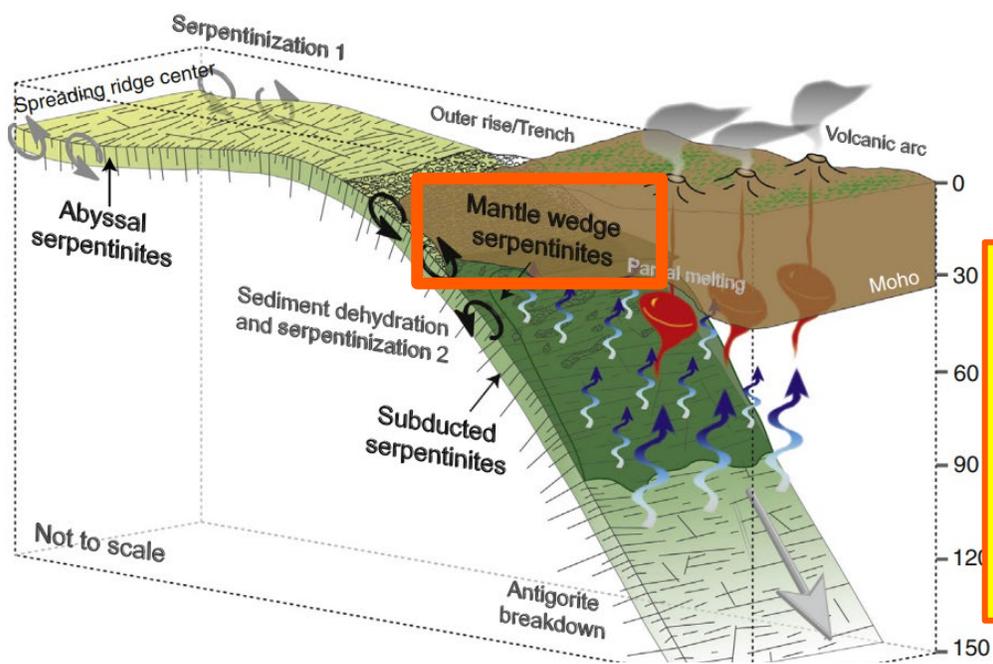
# Une application au Togo - Ghana



L.O.I. (wt.%)

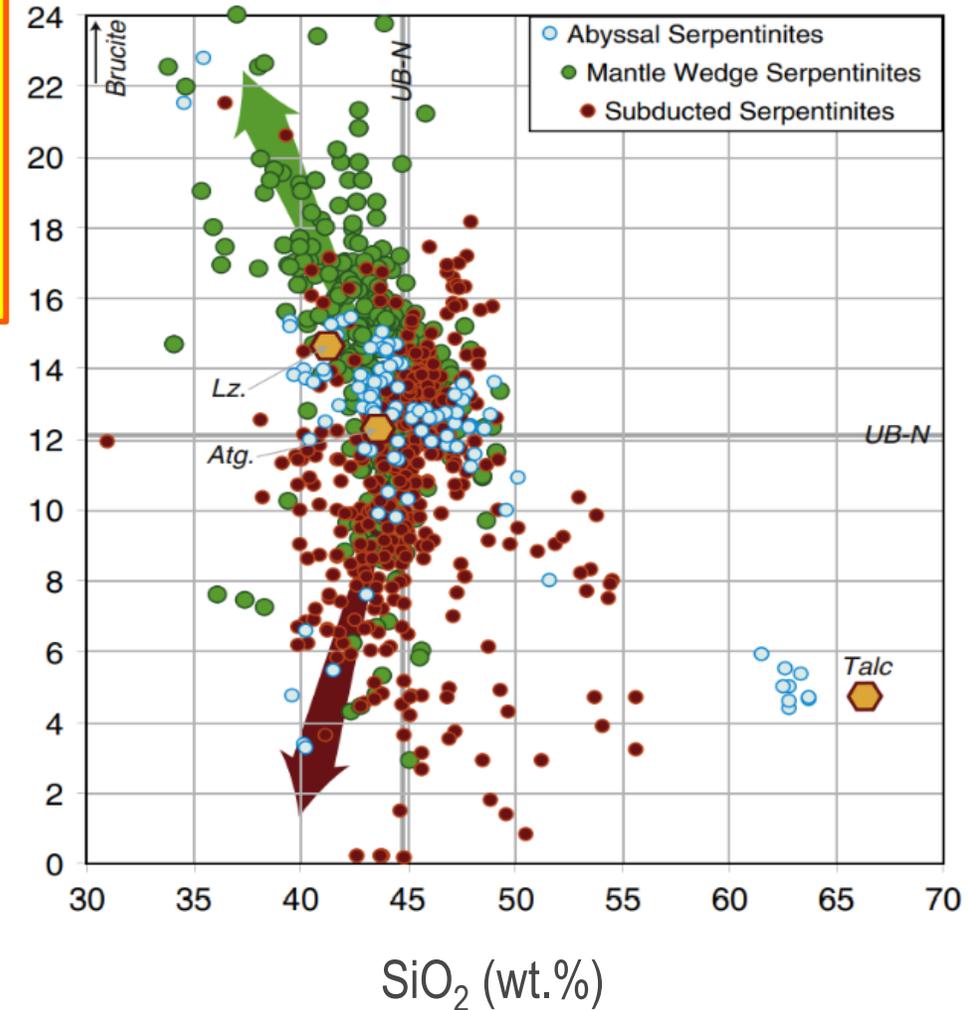


# Une application au Togo - Ghana

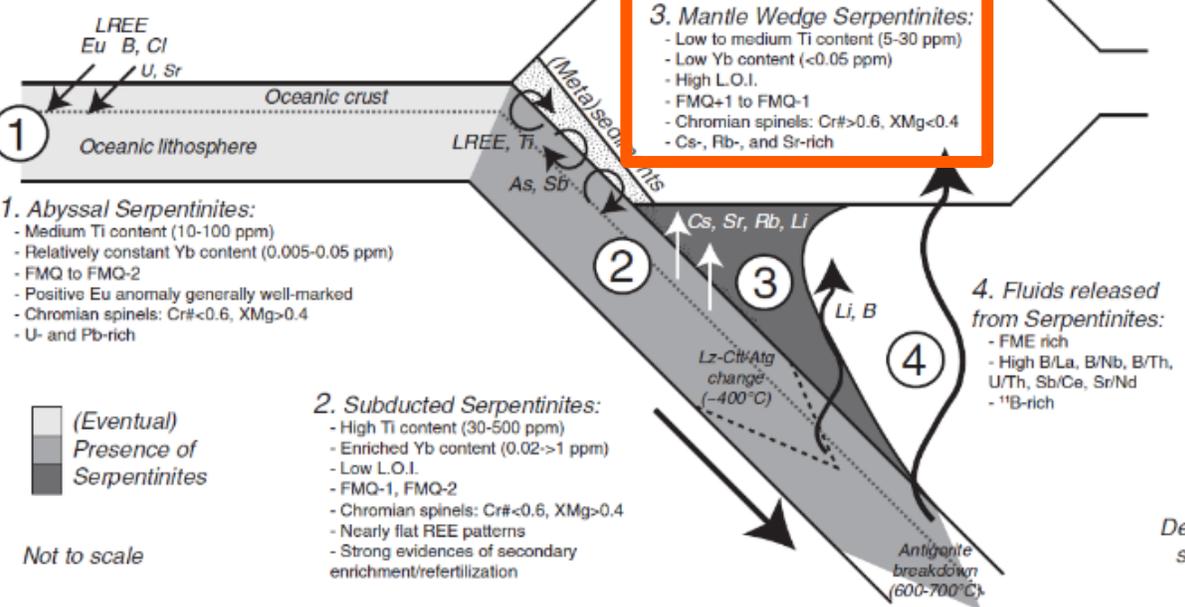


**Roches totales :**  
 $13,70 < \text{LOI} : 13,85 \%$   
 $40,24 < \text{SiO}_2 < 40,25 \text{ wt.}\%$   
 (Pour les serpentinites du Ghana)

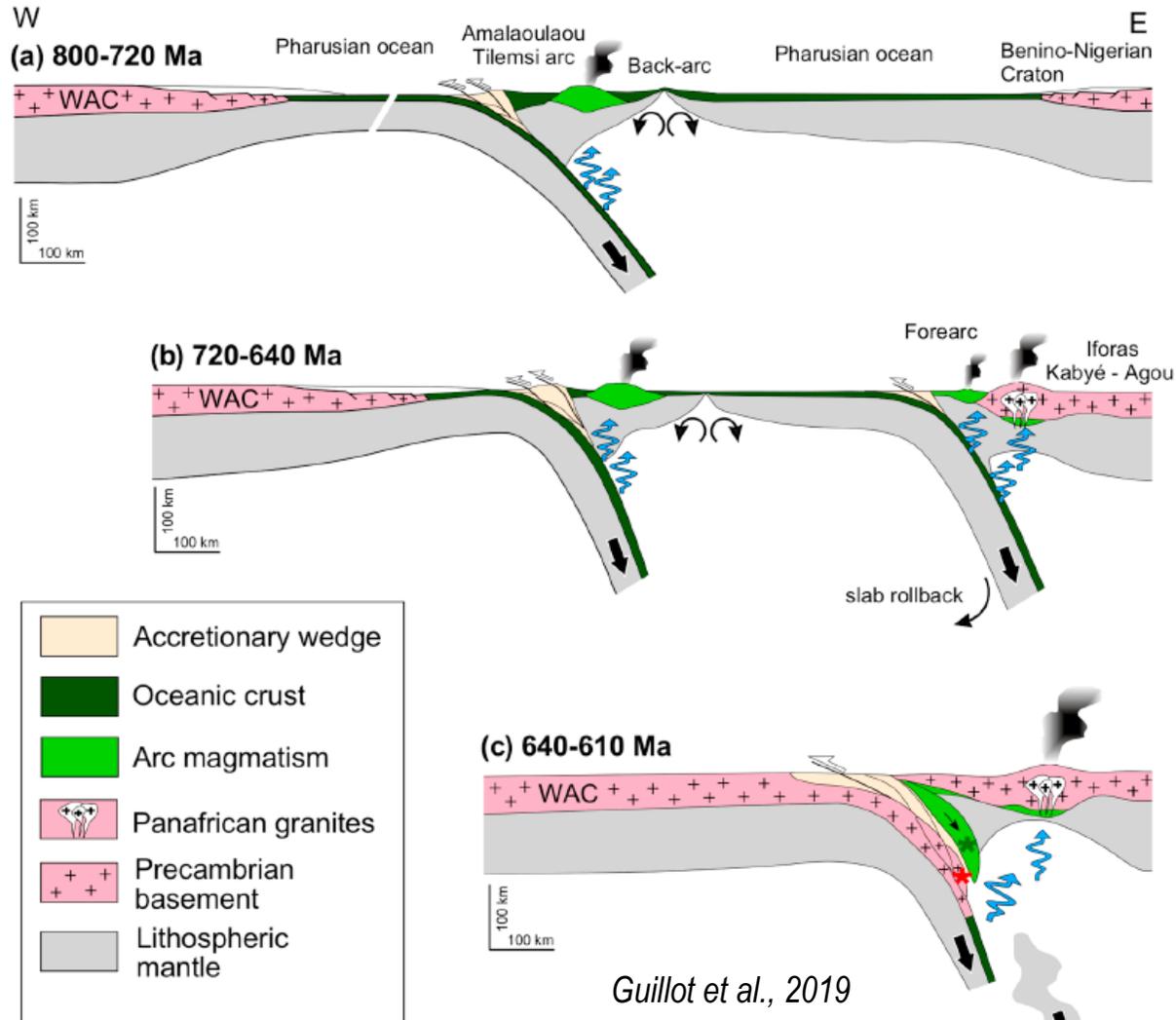
Deschamps et al., 2013



## Geochemical Characteristics of Serpentinites in Subduction Context

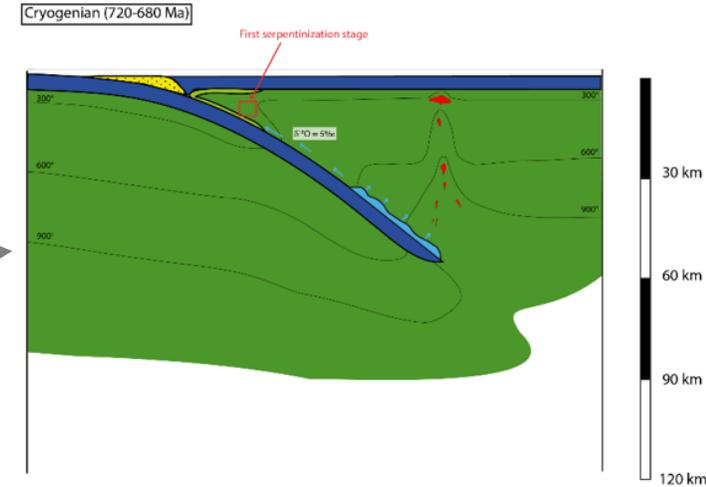


# Une application au Togo - Ghana



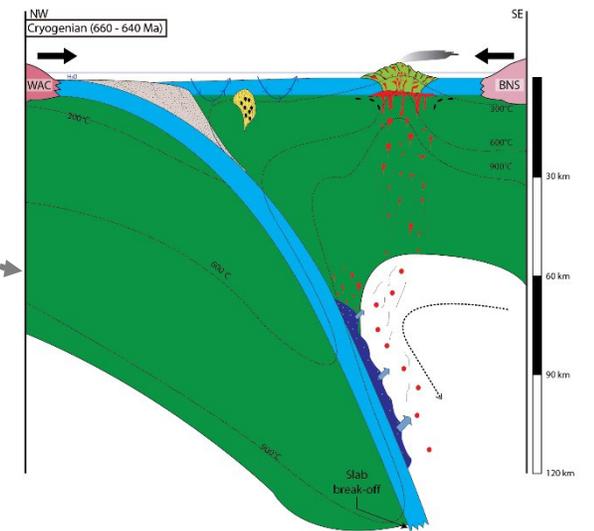
720 – 680 Ma

Subduction



660-640 Ma

Collision



Les **gisements métalliques**,  
des **anomalies géochimiques**,  
**traceurs** des interactions manteau-croûte,  
**de processus géologiques**  
et des **contextes géodynamiques**



**Anne-Sylvie André-Mayer**  
Professeur à l'Université de Lorraine  
Ecole Nationale Supérieure de Géologie  
Directrice du centre de recherche GeoRessources



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



geo  
Ressources

