

Conférence

Laboratoire Français de Gemmologie

16 mai 2018

# L'émeraude colombienne d'hier et d'aujourd'hui



Giuliani Gaston  
GET/IRD  
et CRPG/CNRS

Jeff Scovil

CRPG

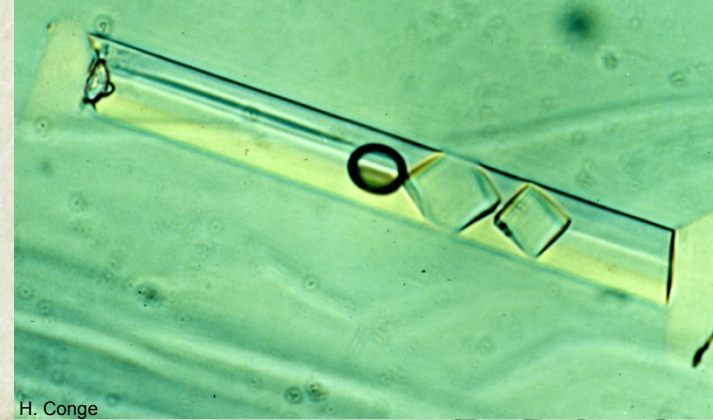




(Extra Lapis, 2002)



(Extra Lapis, 2002)



H. Conge

Colombian emerald deposits

# Plan de la conférence



- 1 – L'émeraude : définition, paradoxes et mode de formation
- 2 – La particularité géologique des gisements colombiens
- 3 – L'émeraude colombienne d'hier et d'aujourd'hui
- 4 – Conclusions





Gisements d'émeraude brésiliens et zambiens

# 1



## 1 - L'émeraude : définition, paradoxes et mode de formation

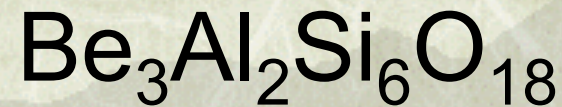




(Extra Lapis, 2002)

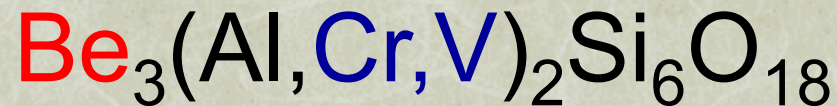
Qu'est-ce qu'une émeraude ?

Un minéral, un silicate, une variété du béryl



(Extra Lapis, 2002)

Quelle sera la formule chimique d'une émeraude ?



Le premier paradoxe de l'émeraude : la source des éléments ?



GROUPE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PERIODE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Hydrogène 1 <b>H</b>																	Hélium 2 <b>He</b>
2	Lithium 3 <b>Li</b>	Béryllium 4 <b>Be</b>											Bore 5 <b>B</b>	Carbone 6 <b>C</b>	Azote 7 <b>N</b>	Oxygène 8 <b>O</b>	Fluor 9 <b>F</b>	Néon 10 <b>Ne</b>
3	Sodium 11 <b>Na</b>	Magnésium 12 <b>Mg</b>											Aluminium 13 <b>Al</b>	Silicium 14 <b>Si</b>	Phosphore 15 <b>P</b>	Soufre 16 <b>S</b>	Chlore 17 <b>Cl</b>	Argon 18 <b>Ar</b>
4	Potassium 19 <b>K</b>	Calcium 20 <b>Ca</b>	Scandium 21 <b>Sc</b>	Titane 22 <b>Ti</b>	Vanadium 23 <b>V</b>	Chrome 24 <b>Cr</b>	Manganèse 25 <b>Mn</b>	Fer 26 <b>Fe</b>	Cobalt 27 <b>Co</b>	Nickel 28 <b>Ni</b>	Cuivre 29 <b>Cu</b>	Zinc 30 <b>Zn</b>	Gallium 31 <b>Ga</b>	Germanium 32 <b>Ge</b>	Arsenic 33 <b>As</b>	Sélénium 34 <b>Se</b>	Brome 35 <b>Br</b>	Krypton 36 <b>Kr</b>
5	Rubidium 37 <b>Rb</b>	Strontium 38 <b>Sr</b>	Yttrium 39 <b>Y</b>	Zirconium 40 <b>Zr</b>	Niobium 41 <b>Nb</b>	Molybdène 42 <b>Mo</b>	Technétium 43 <b>Tc</b>	Ruthénium 44 <b>Ru</b>	Rhodium 45 <b>Rh</b>	Palladium 46 <b>Pd</b>	Argent 47 <b>Ag</b>	Cadmium 48 <b>Cd</b>	Indium 49 <b>In</b>	Étain 50 <b>Sn</b>	Antimoine 51 <b>Sb</b>	Tellure 52 <b>Te</b>	Iode 53 <b>I</b>	Xénon 54 <b>Xe</b>
6	Césium 55 <b>Cs</b>	Baryum 56 <b>Ba</b>		Hafnium 72 <b>Hf</b>	Tantale 73 <b>Ta</b>	Tungstène 74 <b>W</b>	Rhénium 75 <b>Re</b>	Osmium 76 <b>Os</b>	Iridium 77 <b>Ir</b>	Platine 78 <b>Pt</b>	Or 79 <b>Au</b>	Mercure 80 <b>Hg</b>	Thallium 81 <b>Tl</b>	Plomb 82 <b>Pb</b>	Bismuth 83 <b>Bi</b>	Polonium 84 <b>Po</b>	Astate 85 <b>At</b>	Radon 86 <b>Rn</b>
7	Francium 87 <b>Fr</b>	Radium 88 <b>Ra</b>		Rutherfordium 104 <b>Rf</b>	Dubnium 105 <b>Db</b>	Seaborgium 106 <b>Sg</b>	Bohrium 107 <b>Bh</b>	Hassium 108 <b>Hs</b>	Meitnerium 109 <b>Mt</b>	Darmstadtium 110 <b>Ds</b>	Roentgenium 111 <b>Rg</b>	Copernicium 112 <b>Cn</b>	Ununtrium 113 <b>Uut</b>	Ununquadium 114 <b>Uuq</b>	Ununpentium 115 <b>Uup</b>	Ununhexium 116 <b>Uuh</b>	Ununseptium 117 <b>Uus</b>	Ununoctium 118 <b>Uuo</b>
				Lanthane 57 <b>La</b>	Cérium 58 <b>Ce</b>	Praséodyme 59 <b>Pr</b>	Néodyme 60 <b>Nd</b>	Prométhium 61 <b>Pm</b>	Samarium 62 <b>Sm</b>	Europium 63 <b>Eu</b>	Gadolinium 64 <b>Gd</b>	Terbium 65 <b>Tb</b>	Dysprosium 66 <b>Dy</b>	Holmium 67 <b>Ho</b>	Erbium 68 <b>Er</b>	Thulium 69 <b>Tm</b>	Ytterbium 70 <b>Yb</b>	Lutéций 71 <b>Lu</b>
				Actinium 89 <b>Ac</b>	Thorium 90 <b>Th</b>	Protactinium 91 <b>Pa</b>	Uranium 92 <b>U</b>	Neptunium 93 <b>Np</b>	Plutonium 94 <b>Pu</b>	Américium 95 <b>Am</b>	Curium 96 <b>Cm</b>	Berkélium 97 <b>Bk</b>	Californium 98 <b>Cf</b>	Einsteinium 99 <b>Es</b>	Fermium 100 <b>Fm</b>	Mendélévium 101 <b>Md</b>	Nobélium 102 <b>No</b>	Lawrencium 103 <b>Lr</b>

tableau-periodique.fr

lithophile

sidérophile à HT

Légende:

Non-métaux

Métaux alcalins

Métaux alcalino-terreux

Métaux de transition

Métaux pauvres

Métalloïdes

Halogènes

Gaz nobles

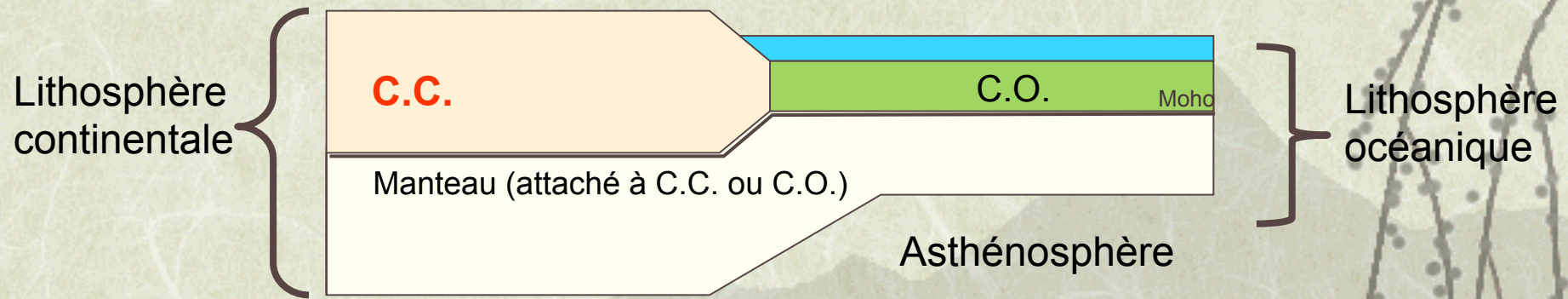
Lanthanides

Actinides

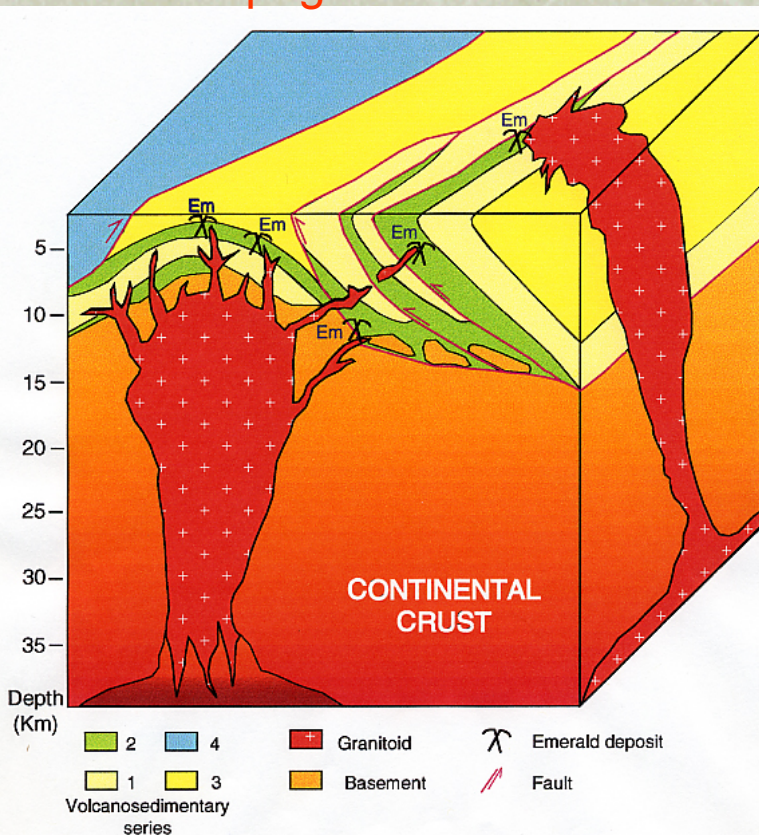
Be vs. Cr-V



# La croûte continentale et ses granites : source du Be



## Granites et pegmatites





Be

CRUSTAL



granites et pegmatites crustaux

Gisements de béryl

Be métal (industries spatiales et militaires, alliages,...)

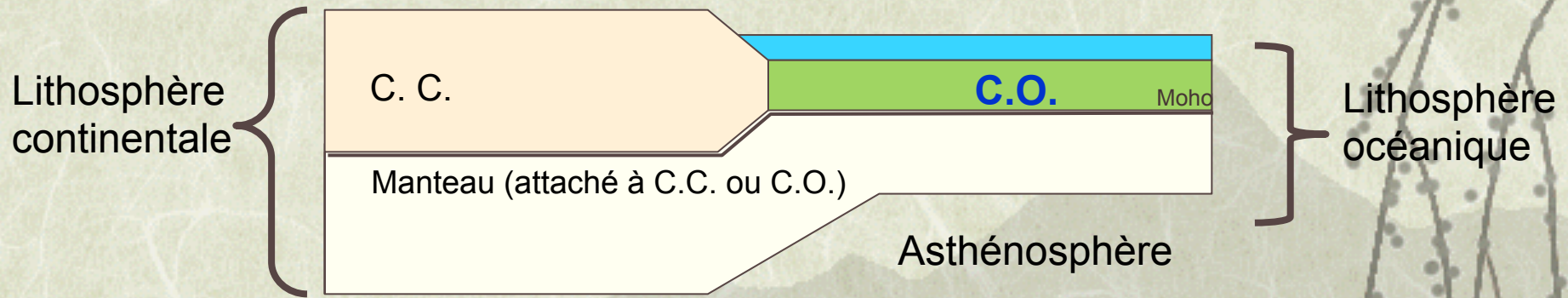
Croûte continentale = 2.1 ppm (ppm = 1mg/kg)

Granites à deux micas = 5 à 10 ppm

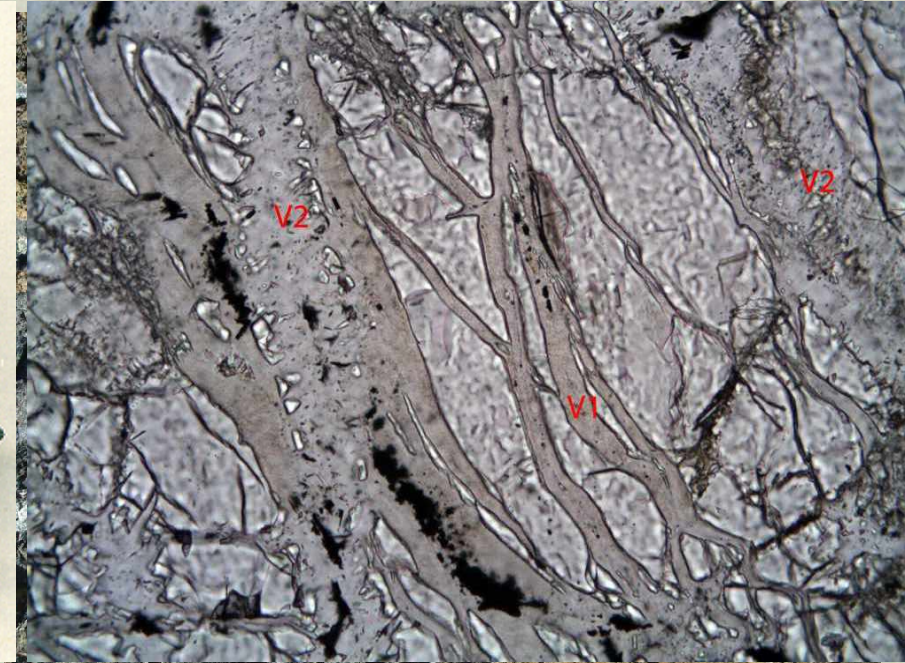
Granites spécialisés > 200 ppm



# La croûte océanique et ses roches : source du V et Cr

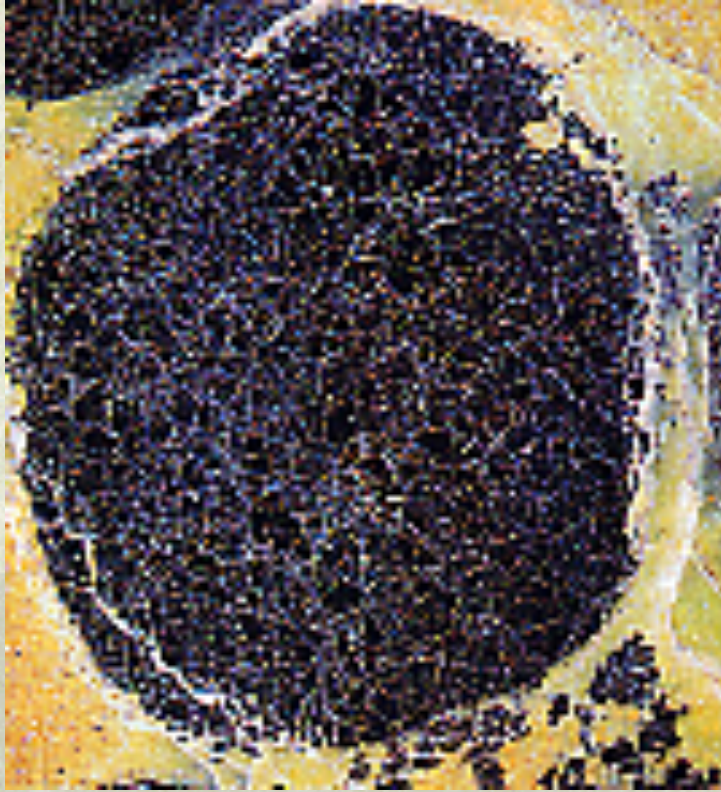


Péridotites (dunite, lherzolite,...) transformées en serpentinites





# MANTELLIQUE



**Chromite ( $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$ )**

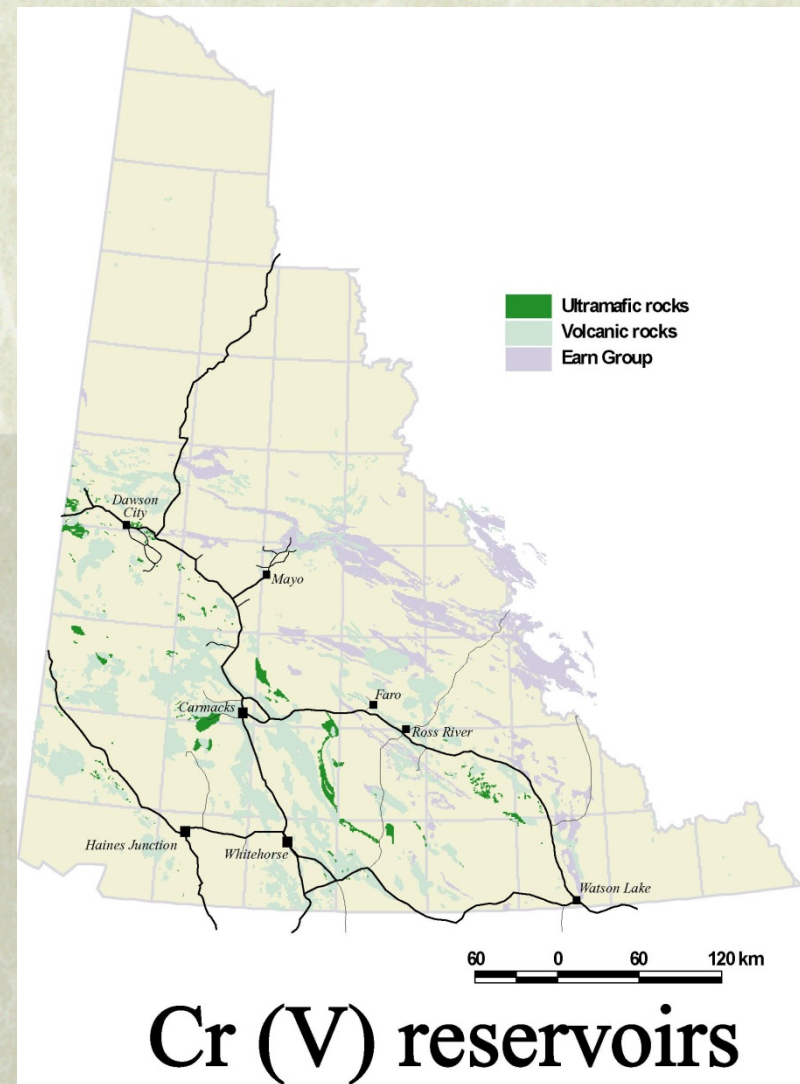
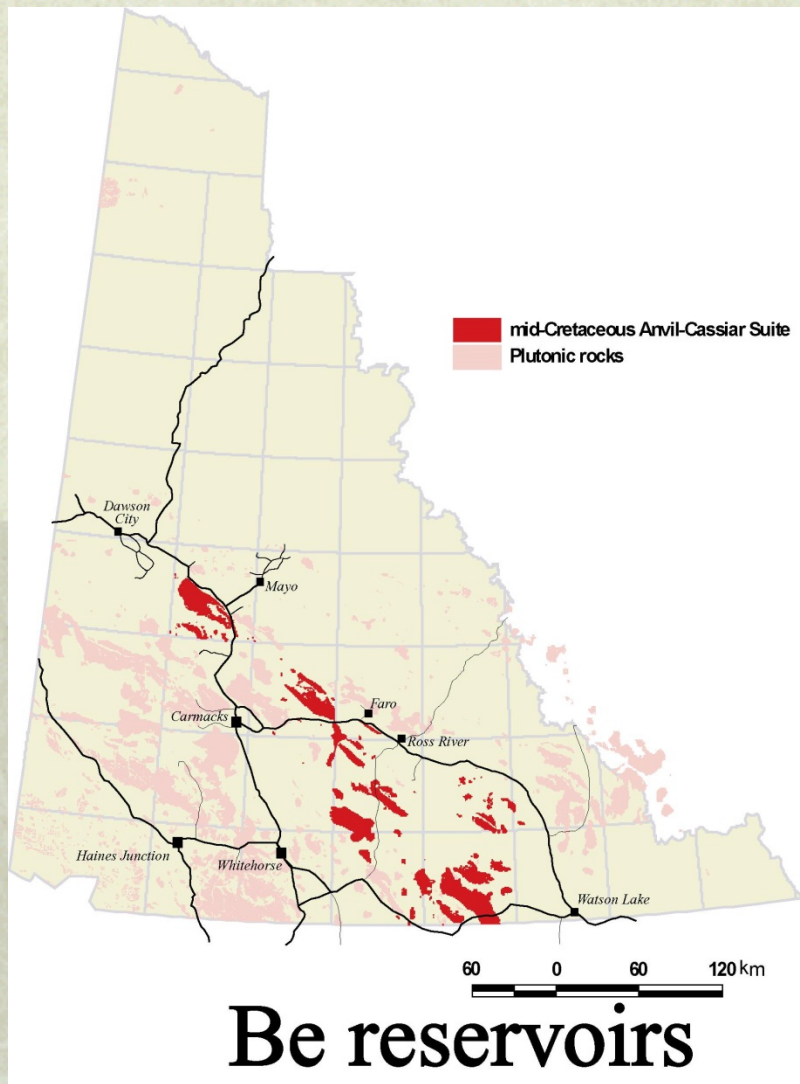
**Coulsonite ( $\text{Fe}^{2+}\text{V}^{3+}_2\text{O}_4$ )**

Cumulats de formations ultramafiques litées  
dunites, serpentinites, anorthosites

Gisements de chromite : Cr et V métal (industrie, alliages,...)

Croûte continentale Cr = 140 ppm  
V = 190 ppm



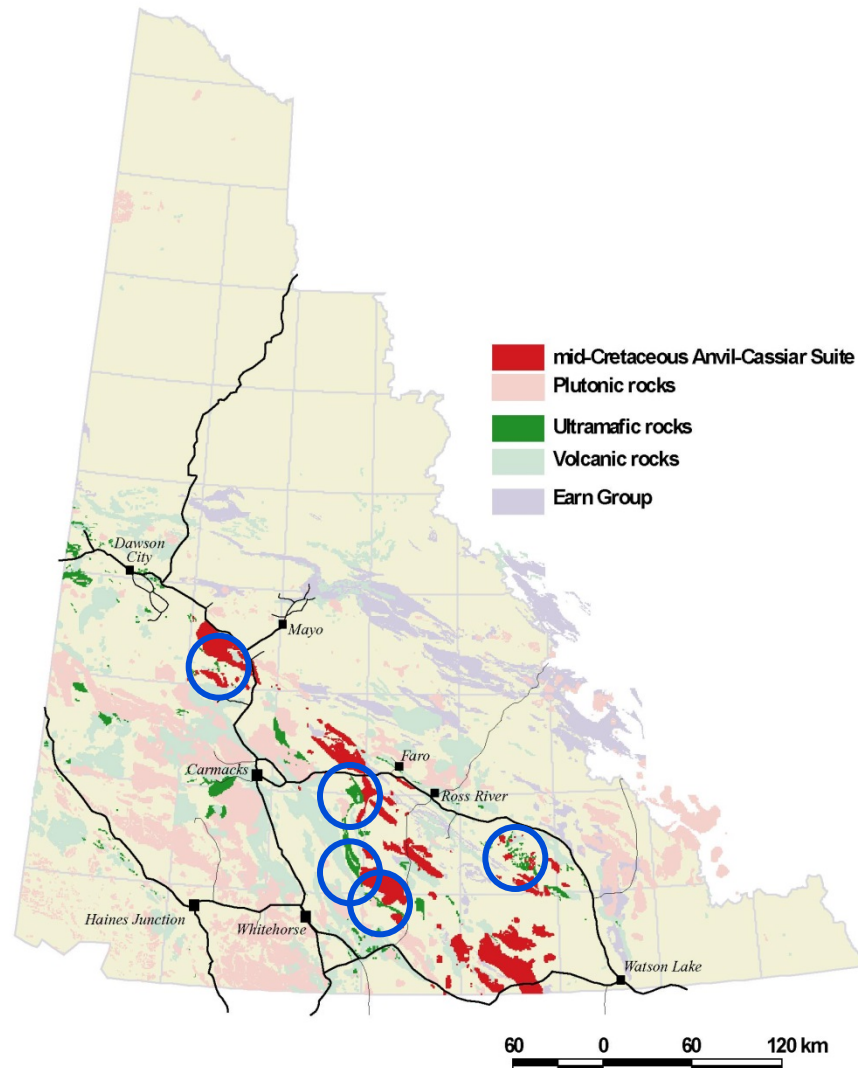


carte courtoisie  
de D.C. Murphy

Le deuxième paradoxe de l'émeraude : rencontre des deux réservoirs et mobilité des éléments?

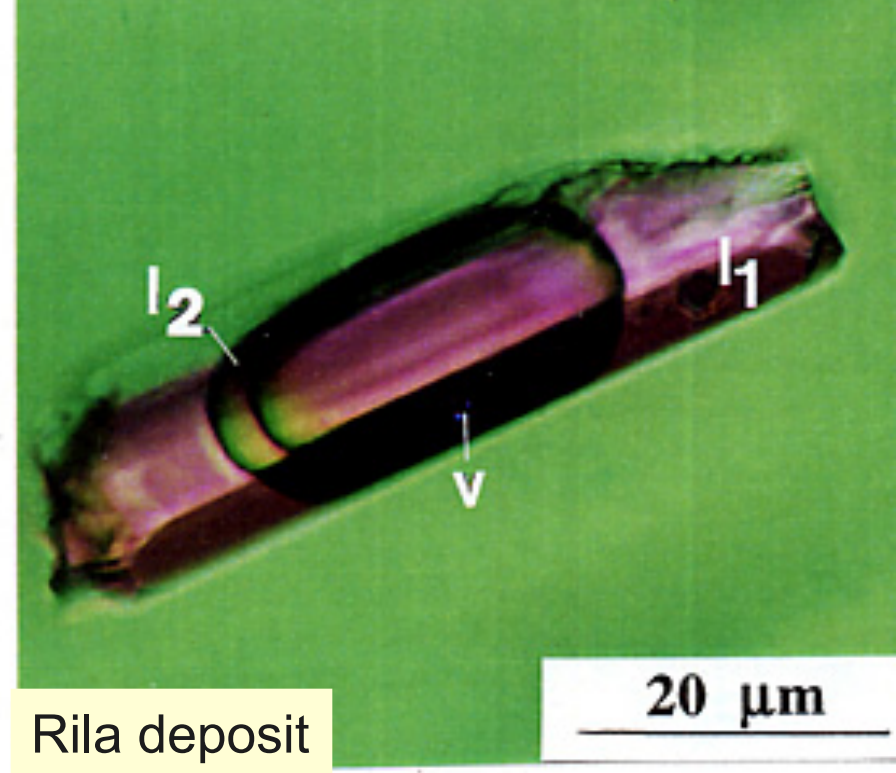
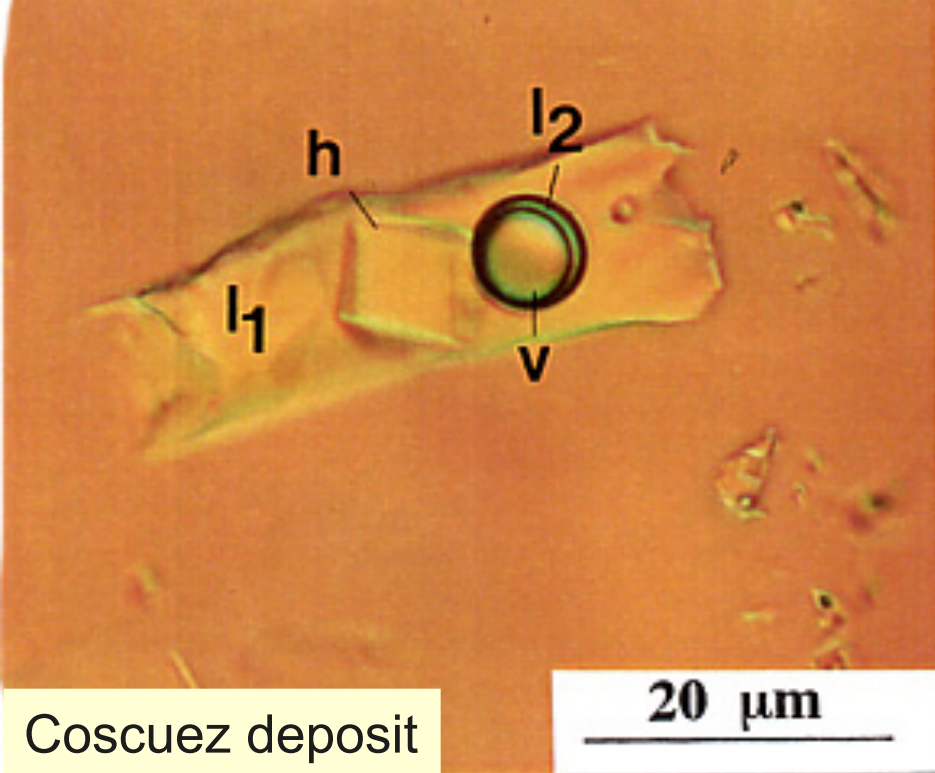


# Where the two reservoirs come together...



carte courtoisie  
de D.C. Murphy



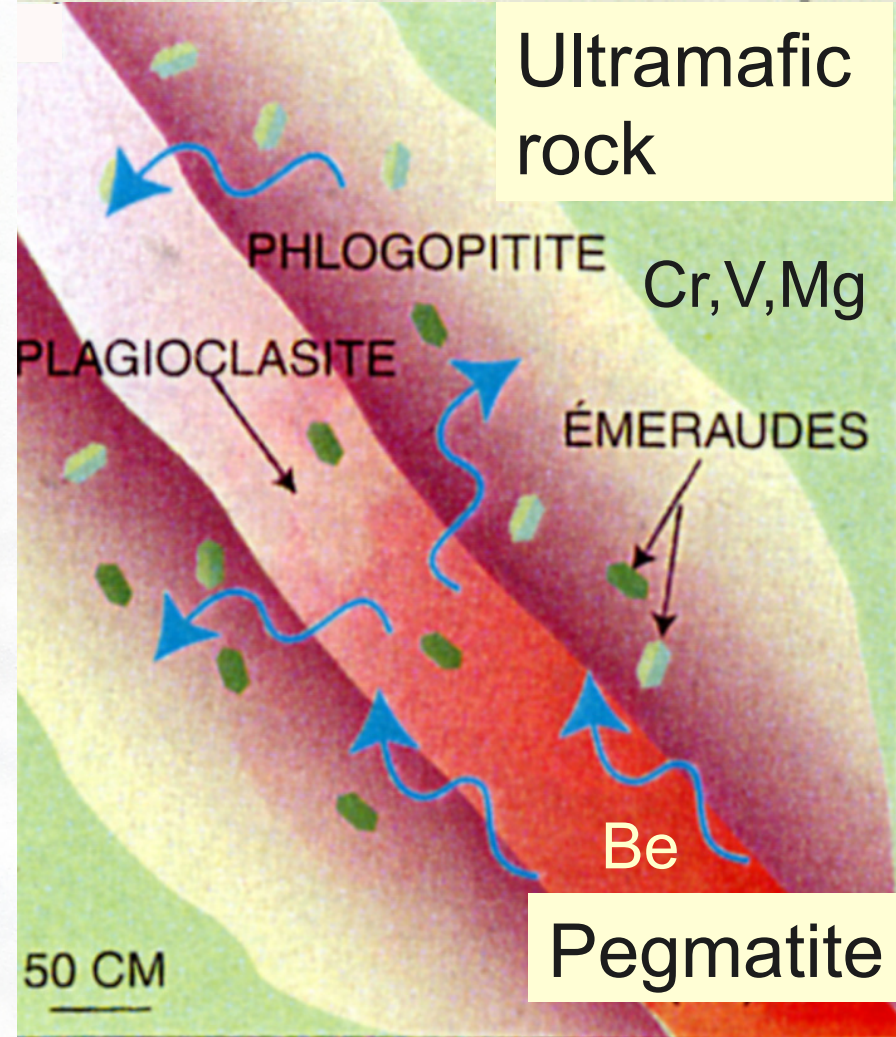


Les inclusions fluides, vestiges des fluides parentaux de l'émeraude et des circulations fluides

La condition préalable à la mobilité des éléments ?

La circulation de fluides entre les deux réservoirs chimiques





← Fluide →  
**Be** versus **Cr et V**





Gisements d'émeraude  
**Type Granite**

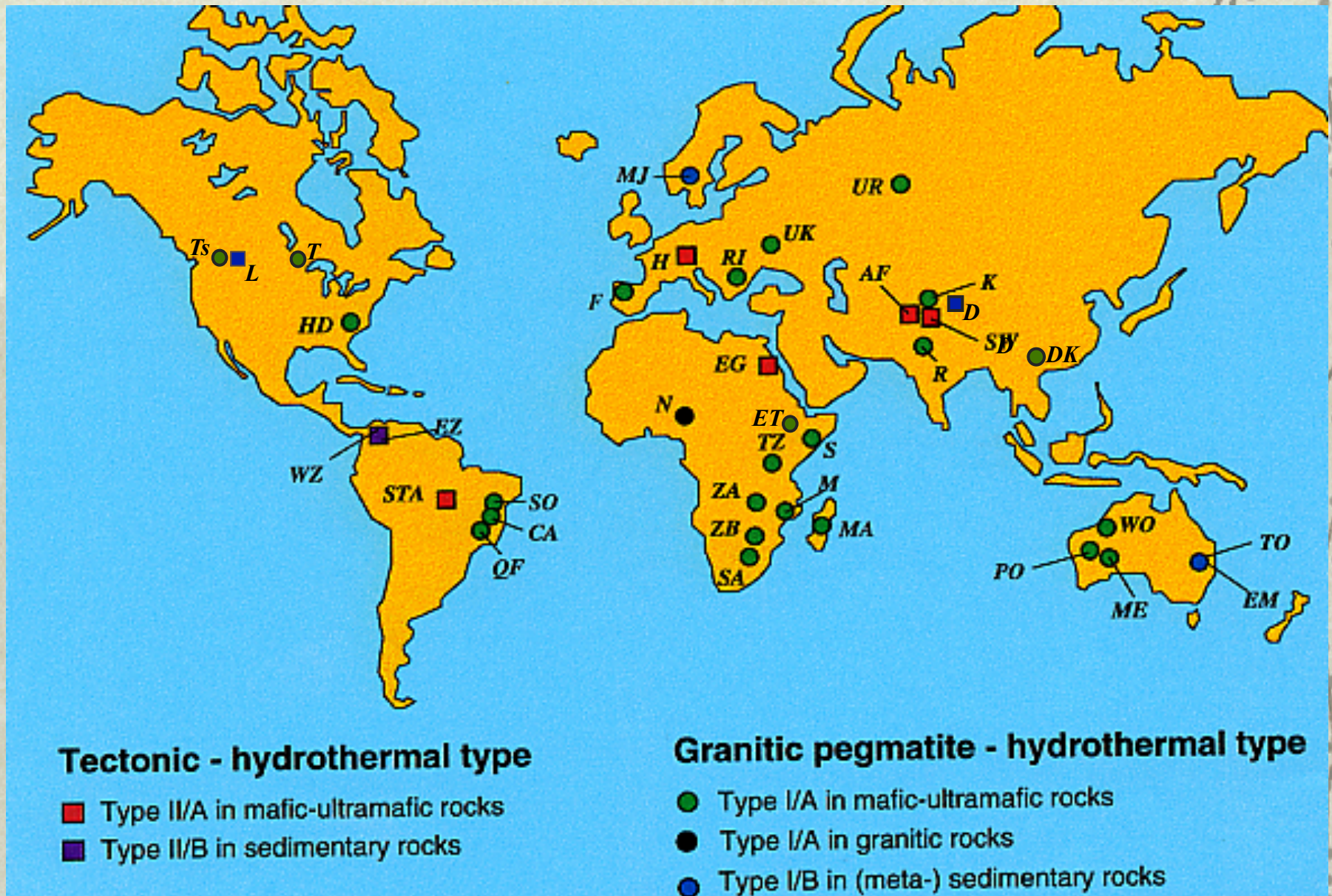


Gangues à émeraude





# Les gisements d'émeraude dans le monde





# Production officielle d'émeraude dans le monde

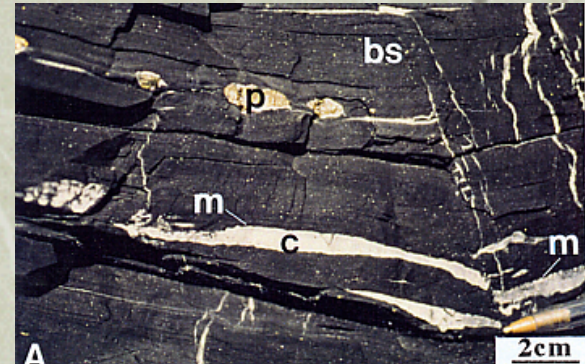
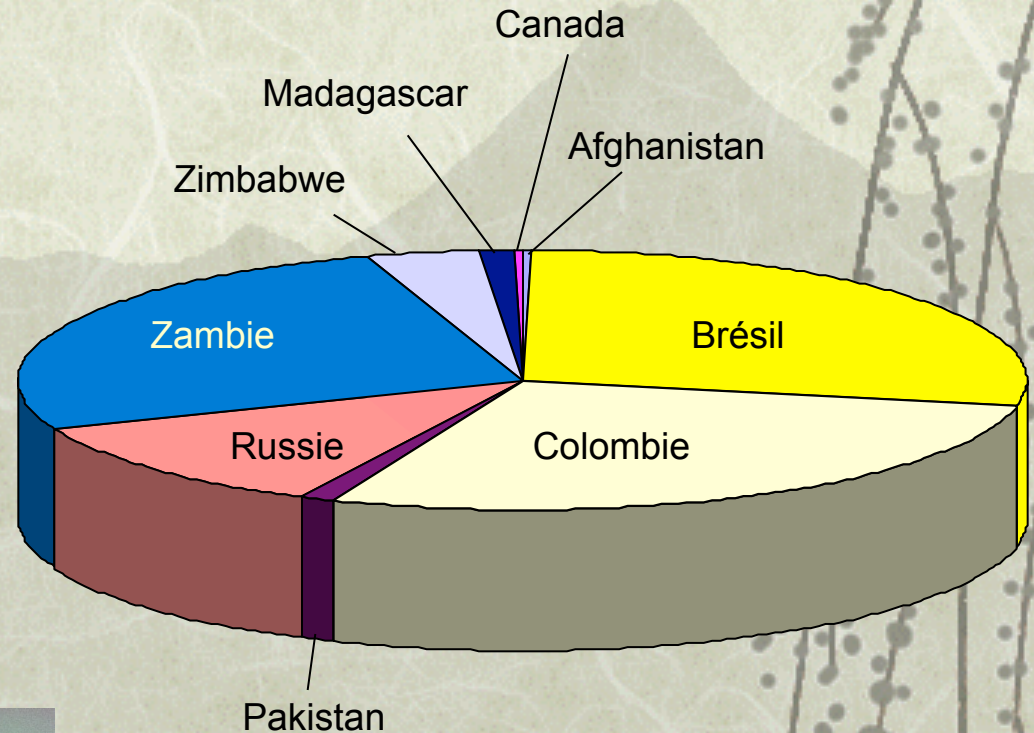
2005 ~ 5400 kg

par l'USGS (Yager et al., 2008)

En 2011

55% production mondiale (4,4 M. Ct)

~70 % Type granitique ou Brésilien



~30% Type schiste argileux ou Colombien





(Extra Lapis, 2002)



(Extra Lapis, 2002)



(H et E. Van Pelt)



(H. Conge)

Colombian emerald deposits

2

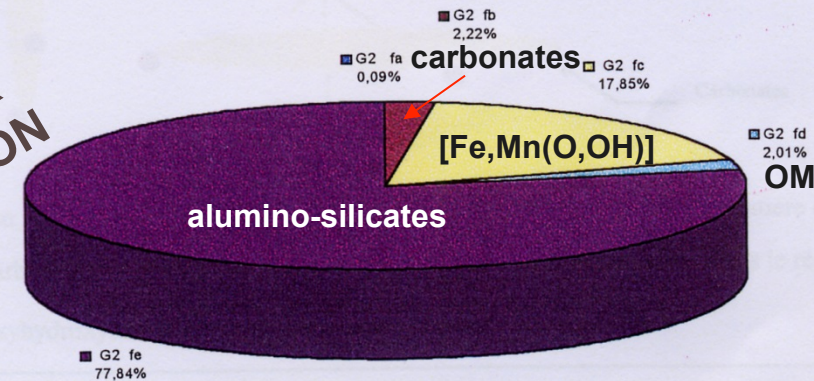
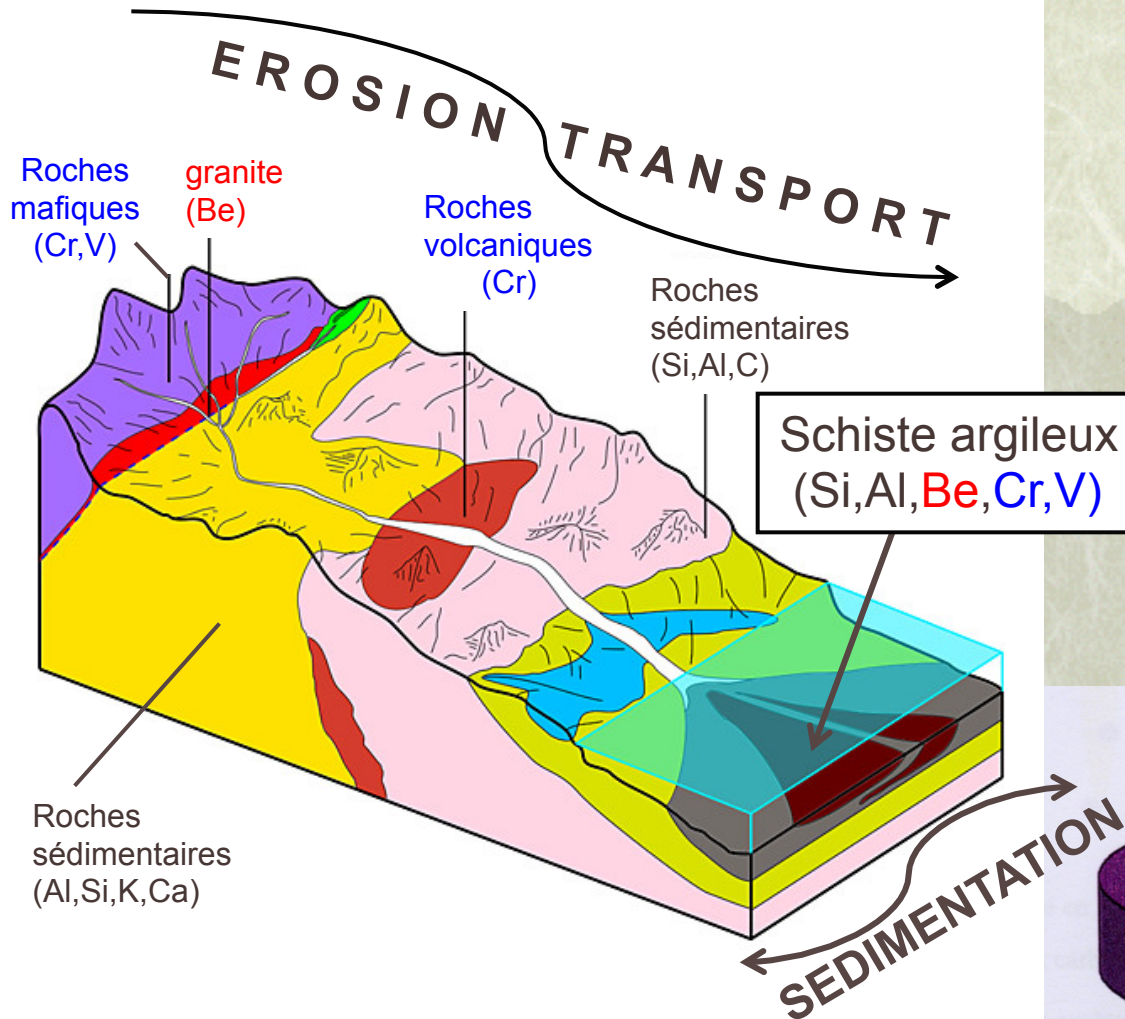


## 2 - La particularité géologique des gisements colombiens



# Bassin sédimentaire de la Cordillère orientale

## schiste argileux à MO - calcaires - évaporites



$^9\text{Be}_{\text{Sa}} = 4 \text{ ppm}$

Pourcentage en  $^9\text{Be}$  dans les minéraux du schiste argileux (Sa) de Chivor

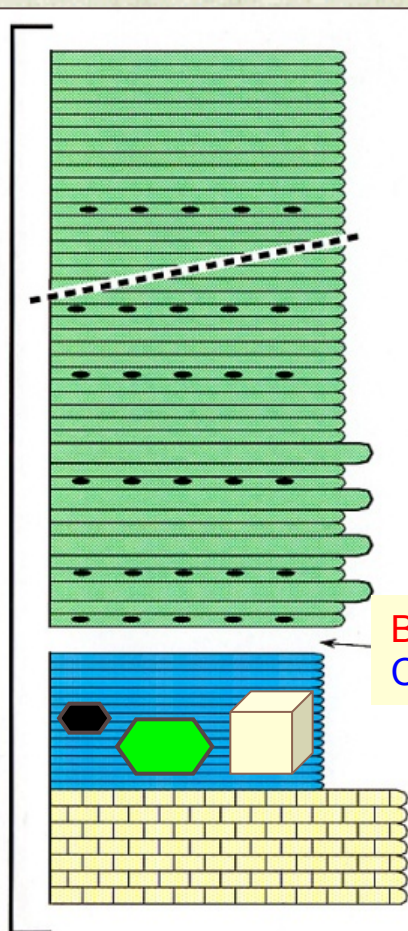


125 Ma

Barremian

Hauterivian

134 Ma



Be ~ 4-5 ppm  
Cr et V ~ 30 à 200 ppm

(Branquet, 1999)

Veines et brèches  
à carbonates et pyrite

## Bassin sédimentaire de la Cordillère orientale

schiste argileux à MO – calcaires - évaporites

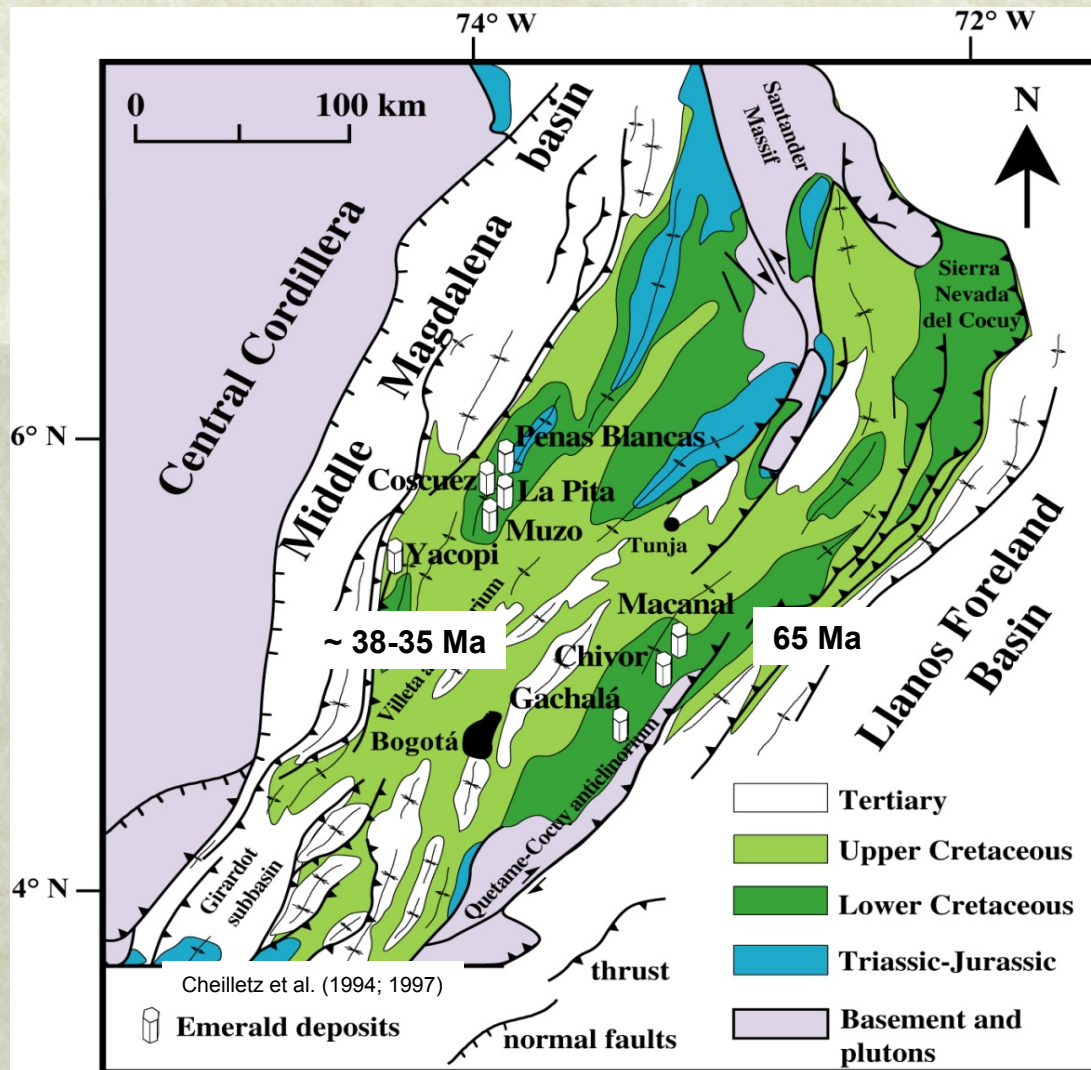


M. Bastos)





# Emeraude du bassin sédimentaire de la Cordillère orientale de Colombie



Deux âges de formation au Cénozoïque



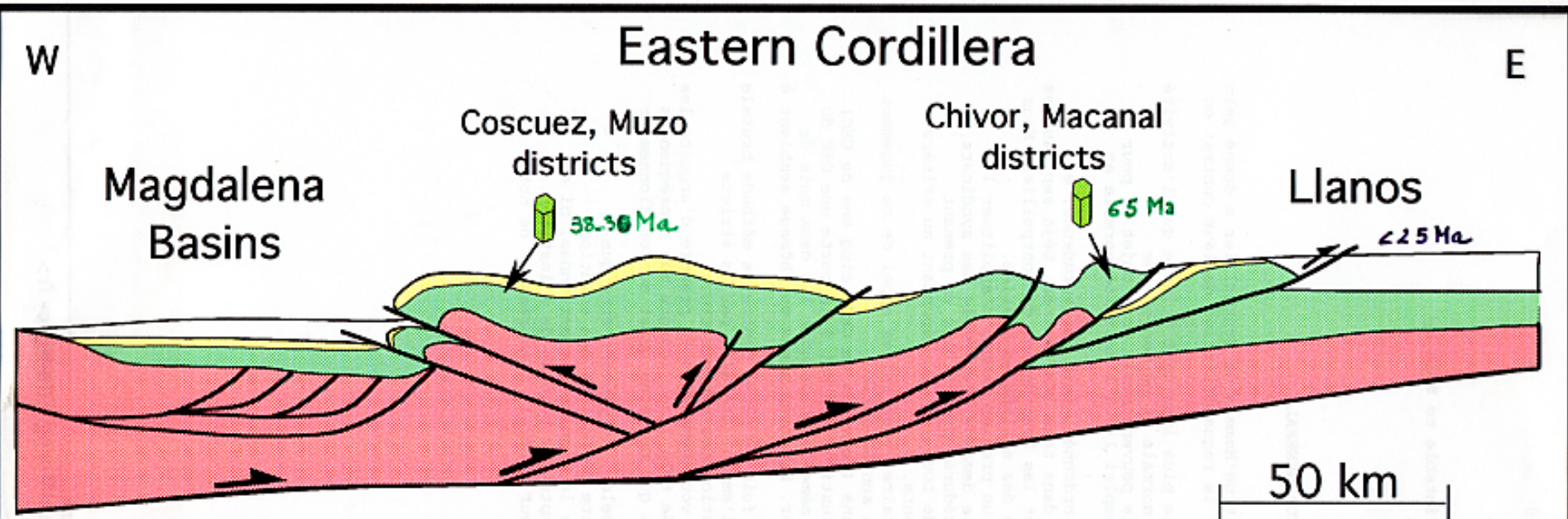


G. Giuliani

Déformation et structuration du bassin de la Cordillère orientale dues à l'accélération de la convergence entre les plaques Nazca et sud-américaine



A. Cheilletz



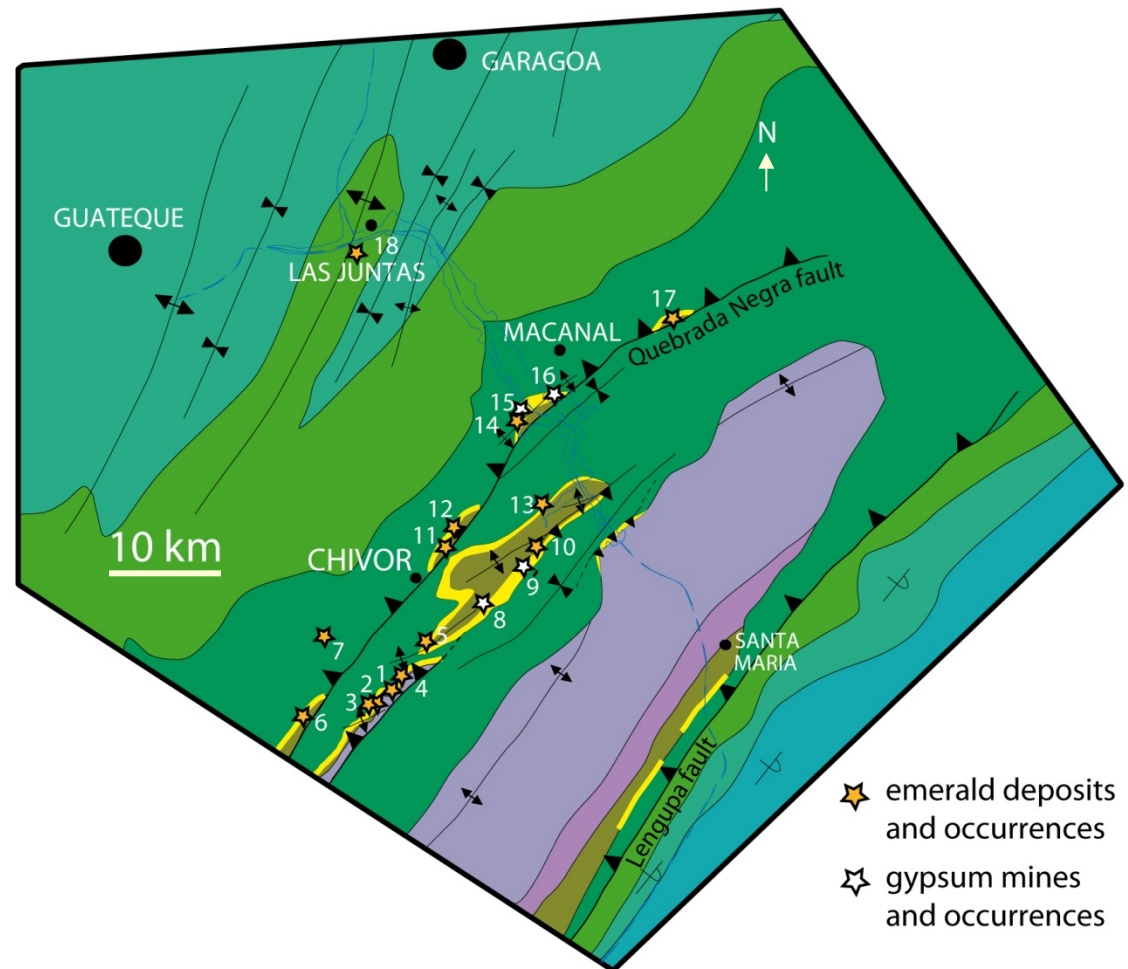
(Modified from Cooper et al., 1995)



# Zone à émeraude orientale

## Lithostratigraphie du district minier de Chivor

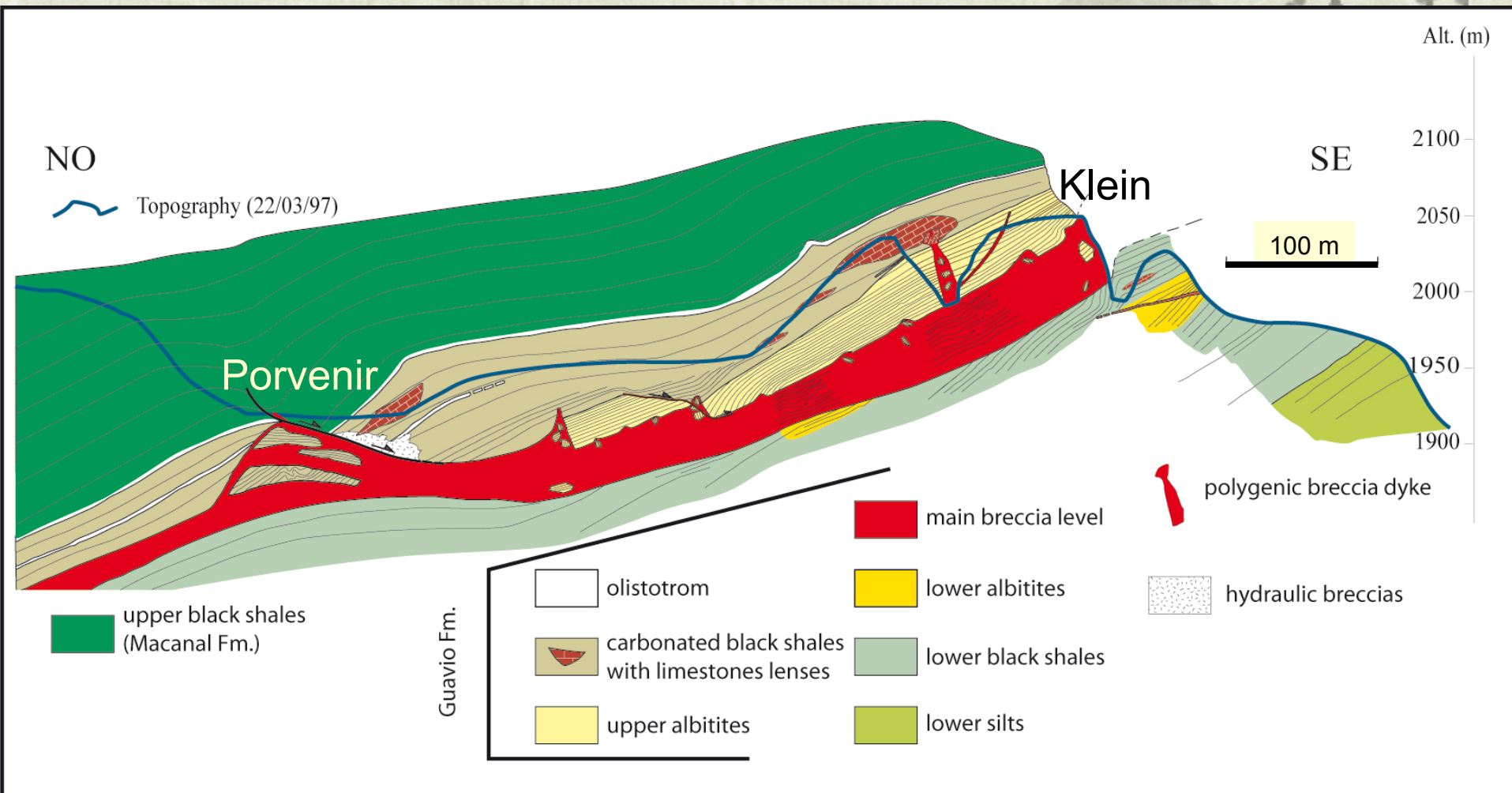
Niveau régional de brèche hydrothermale  
d'origine évaporitique





# Zone à émeraude orientale

## Lithostratigraphie du district minier de Chivor

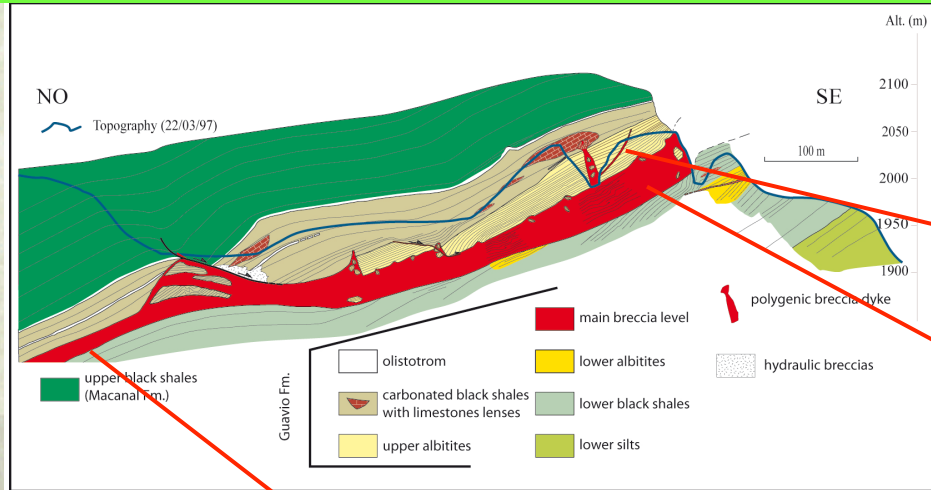


Branquet et al. (1999)

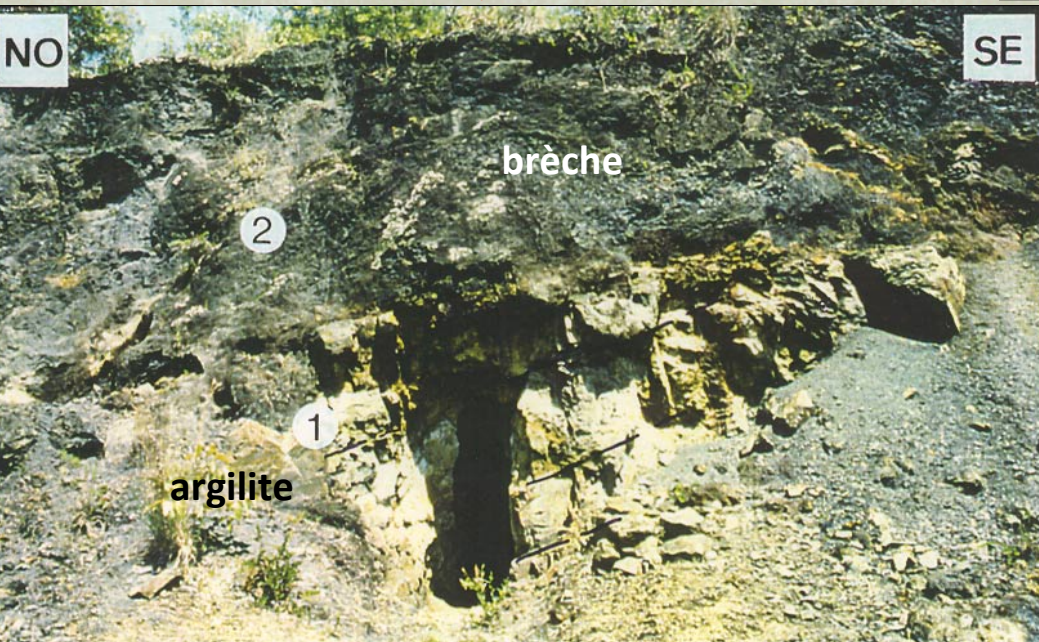
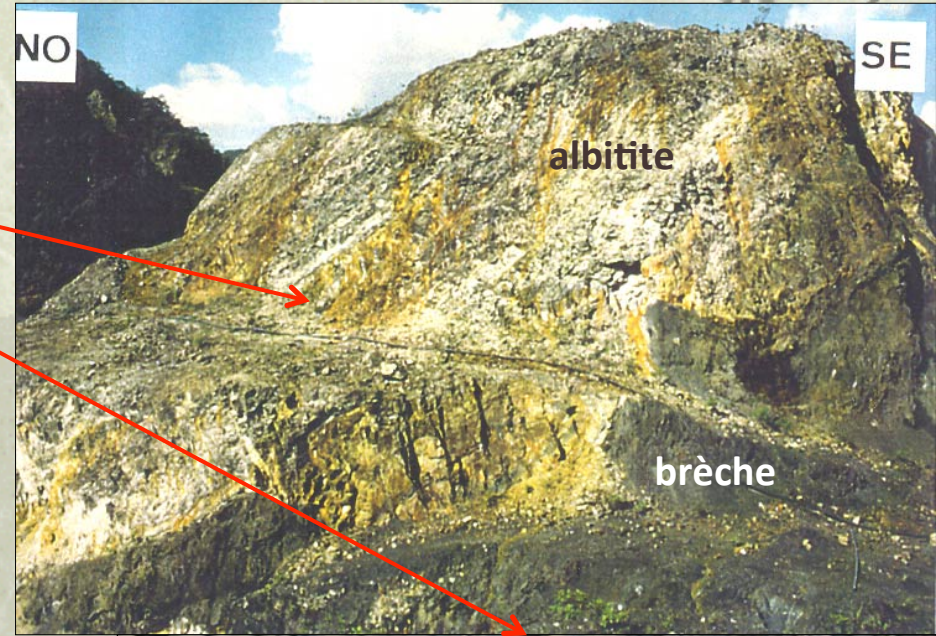


# Zone à émeraude orientale

## Lithostratigraphie du district minier de Chivor



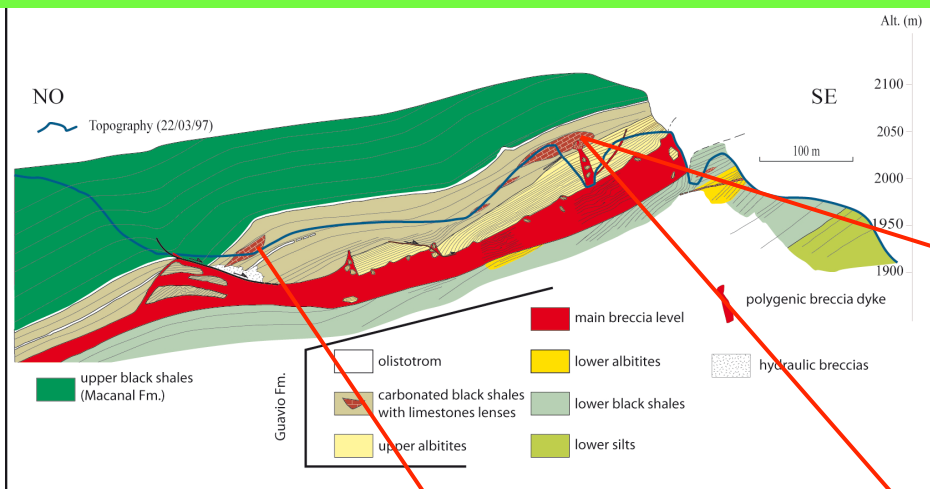
Branquet et al. (1999)





# Zone à émeraude orientale

## Lithostratigraphie du district minier de Chivor



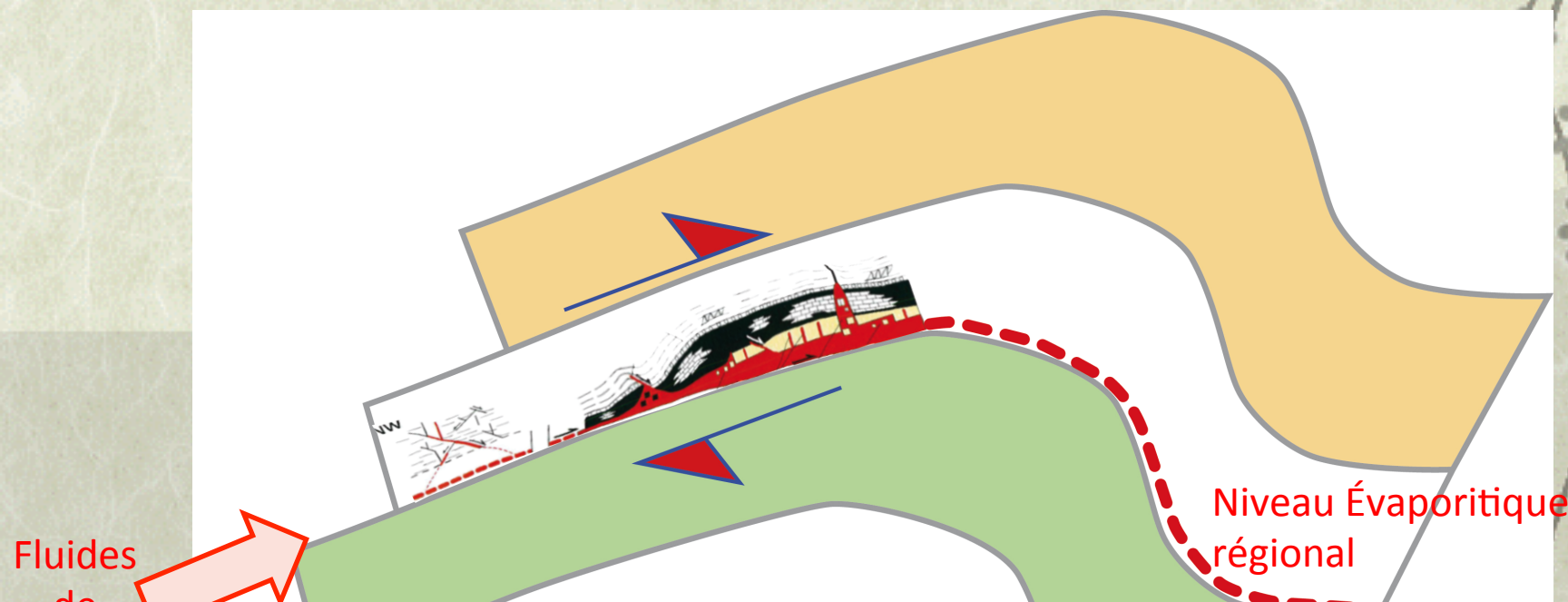
Branquet et al. (1999)



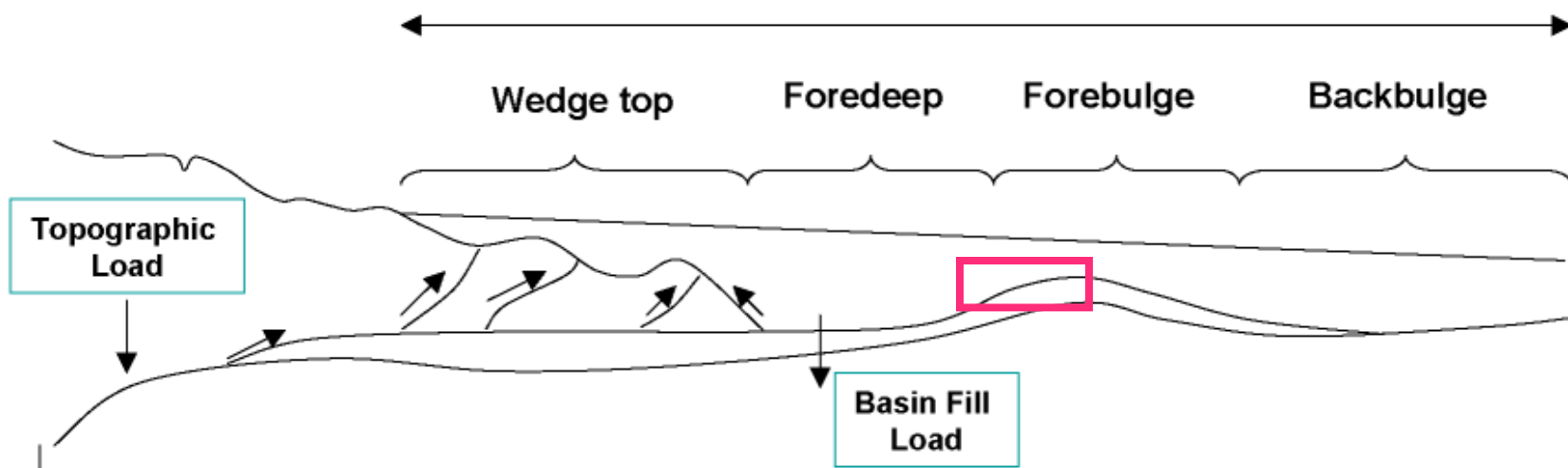


# Zone à émeraude orientale

## La minéralisation et son interprétation à 65 Ma



Foreland Basin System



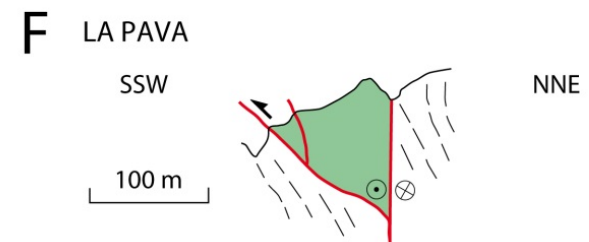
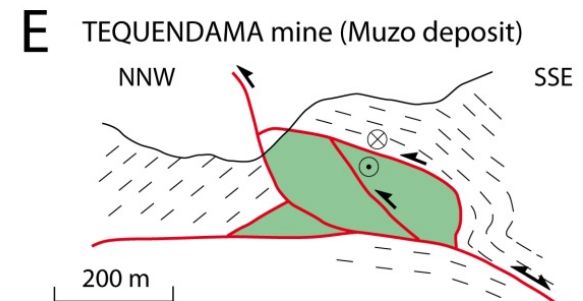
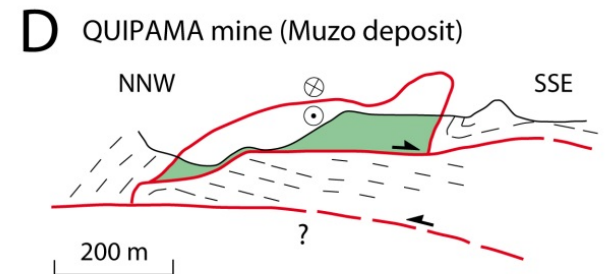
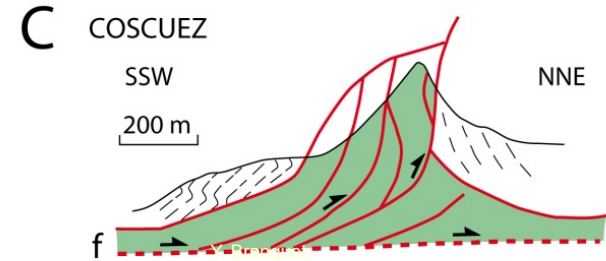
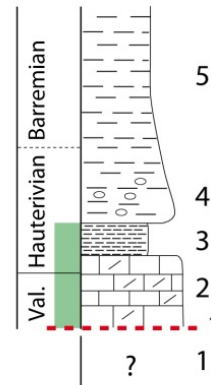


# Zone à émeraude occidentale

## Lithostratigraphie du district minier de Coscuez



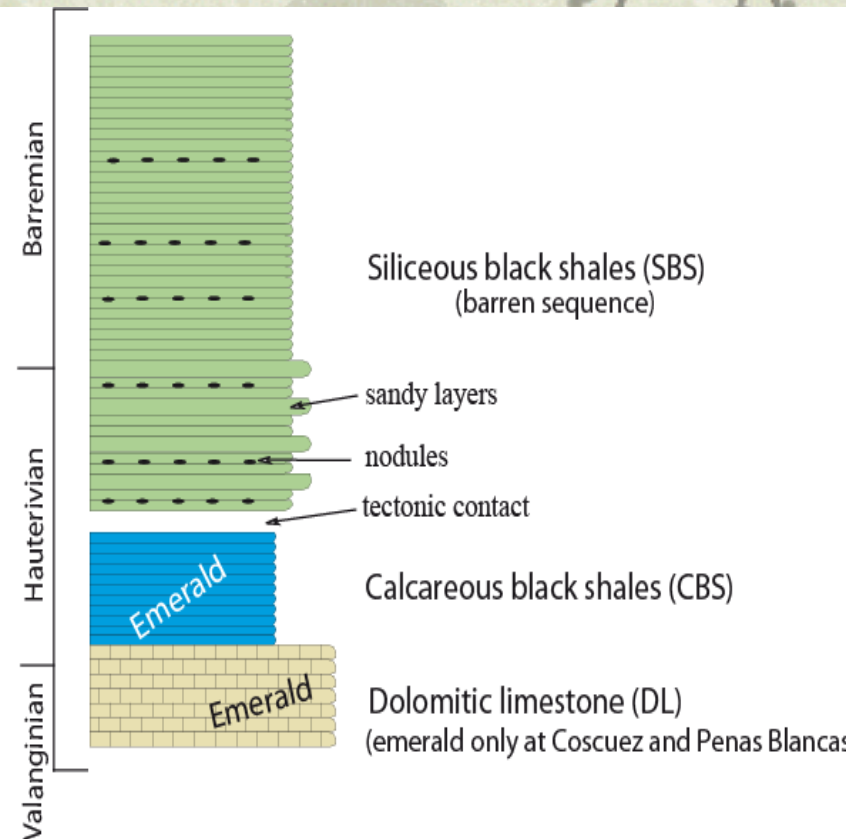
Tectonique régionale  
en compression





# Zone à émeraude occidentale

## Lithostratigraphie du district minier de Coscuez

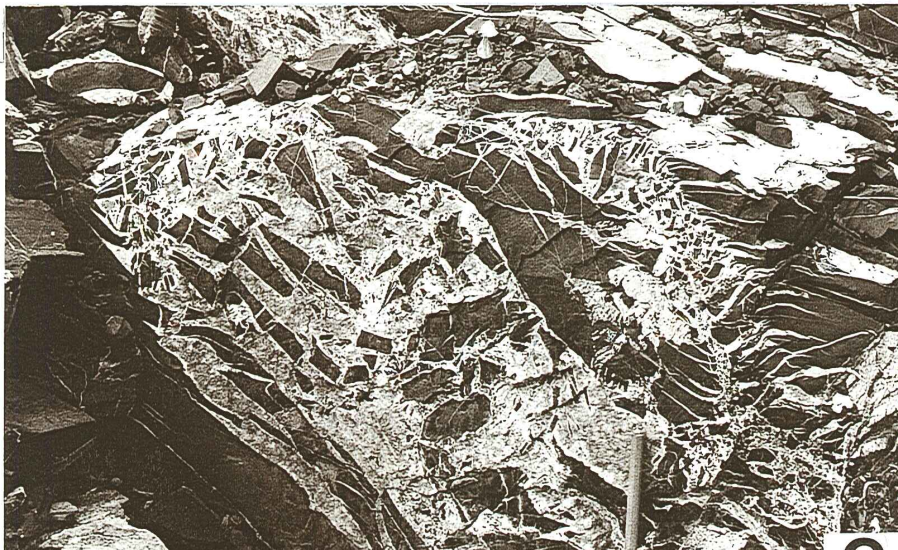
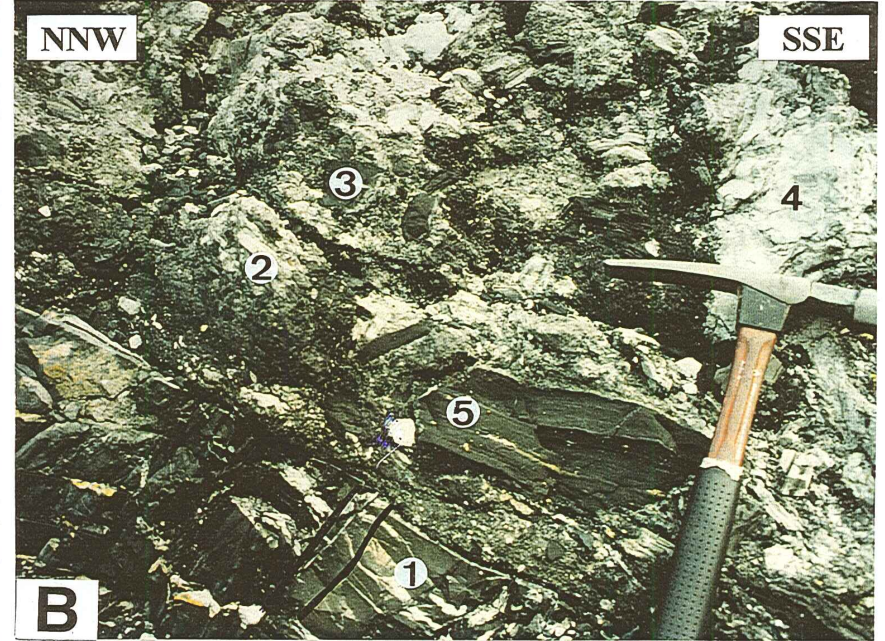
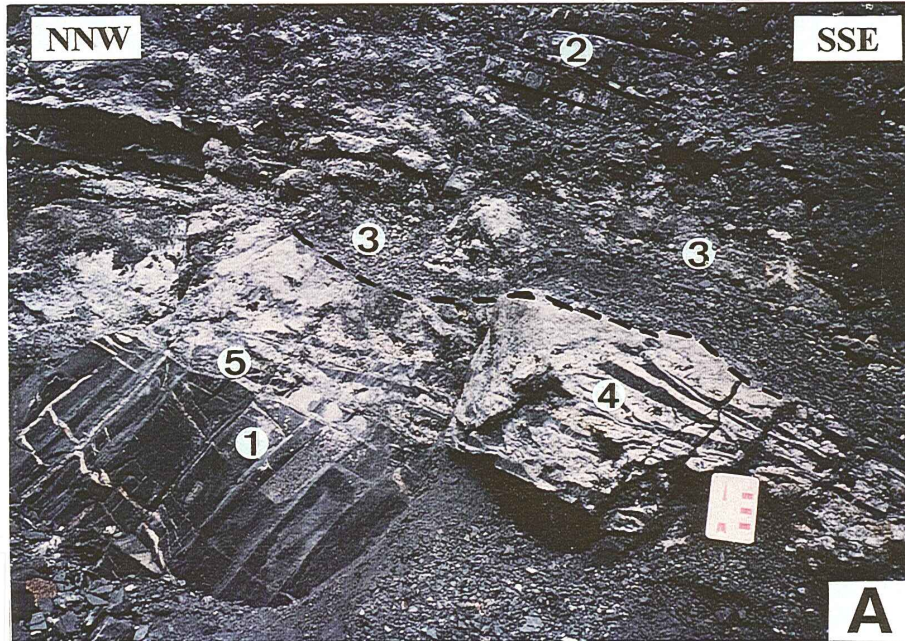


Branquet (1999)



# Zone à émeraude occidentale

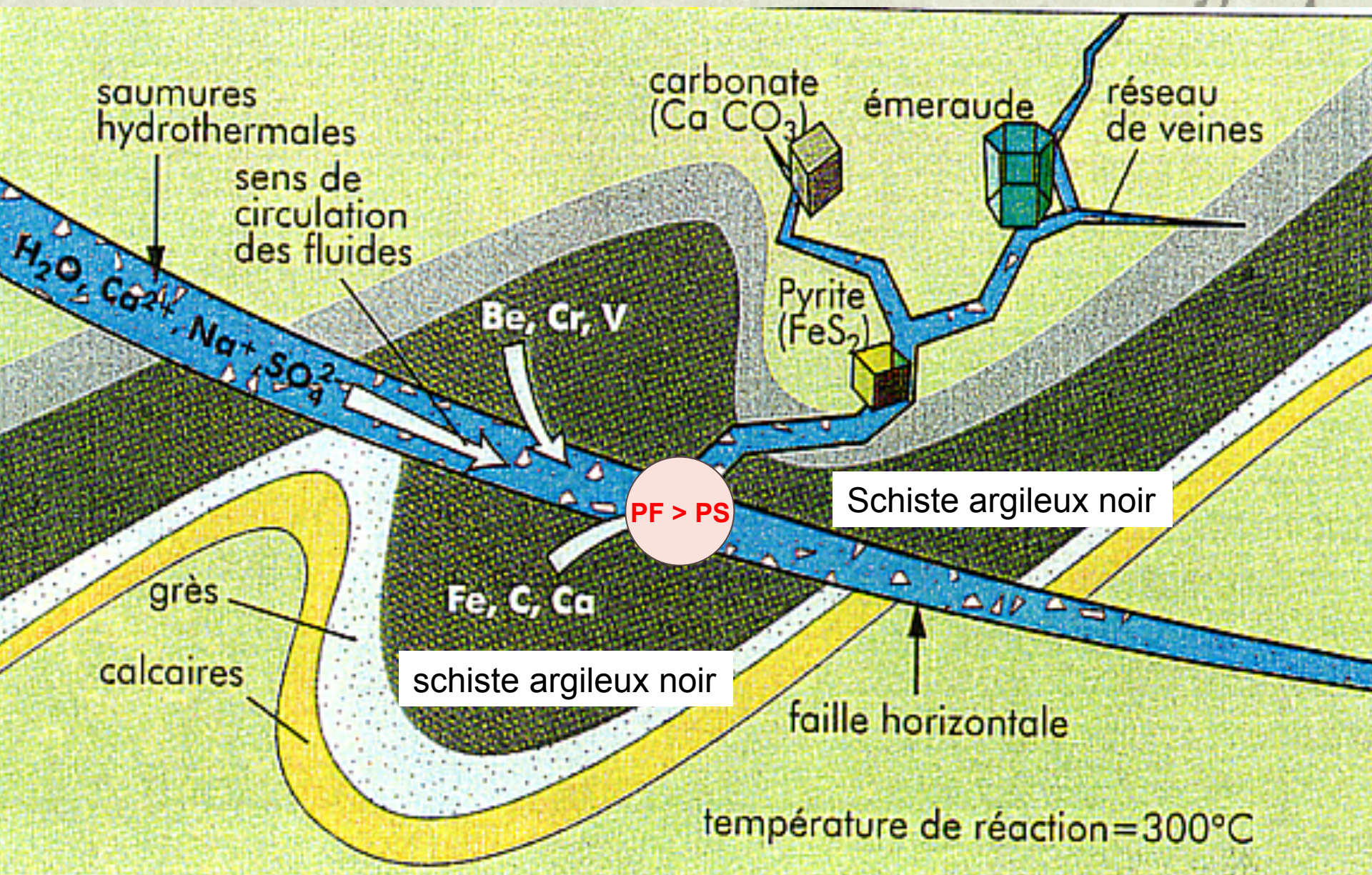
## Tectonique du district minier de Coscuez





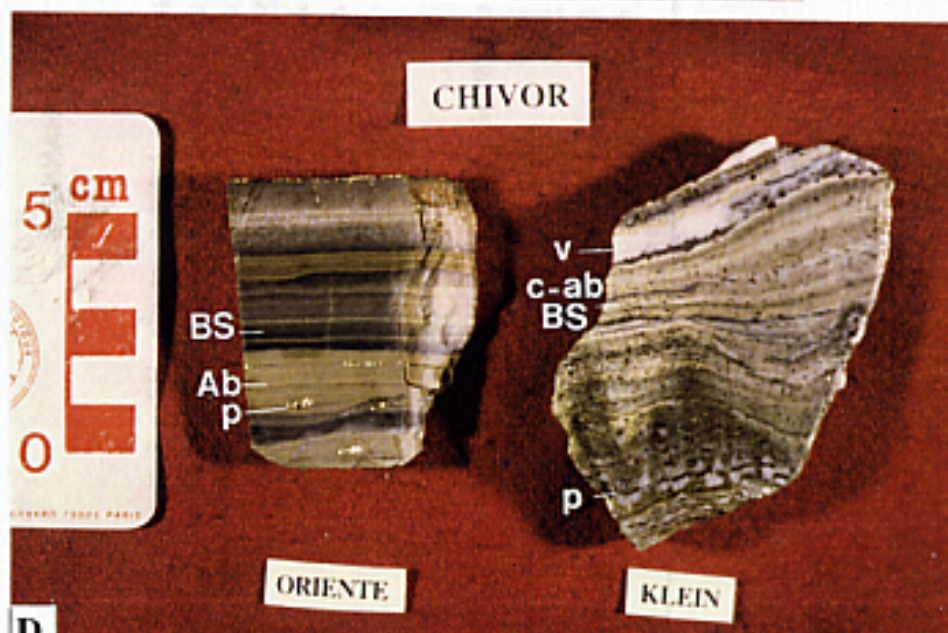
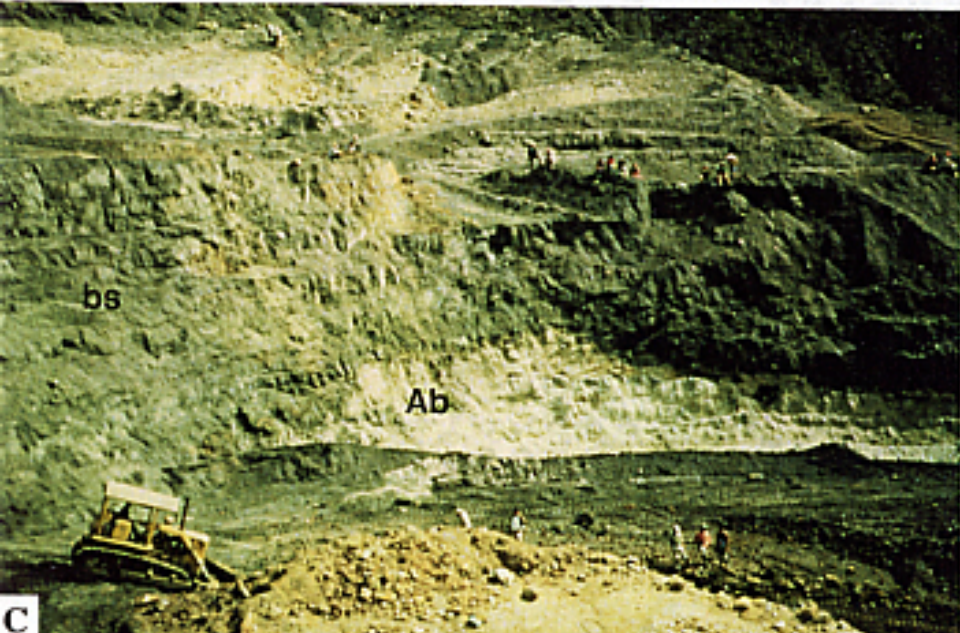
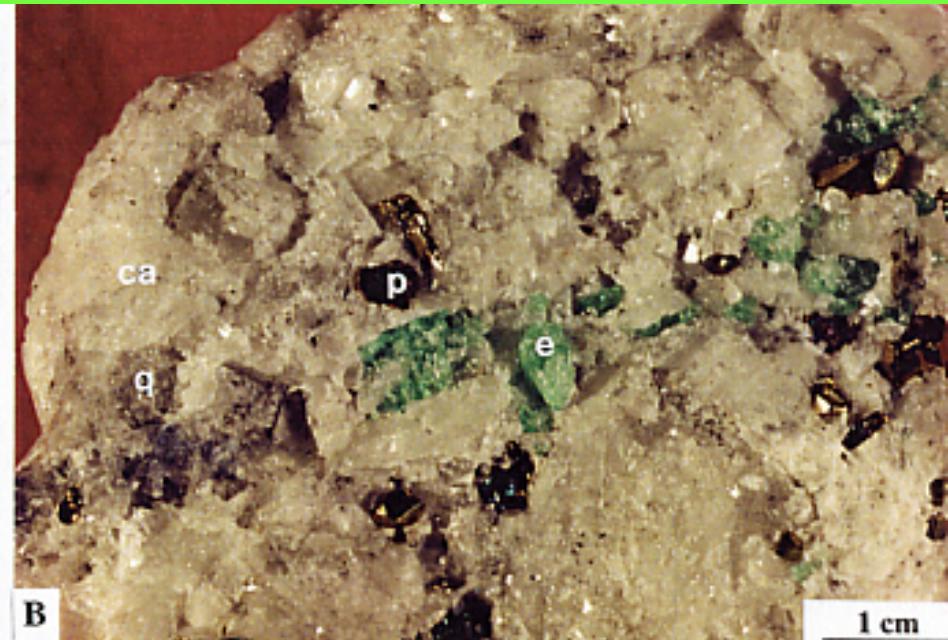
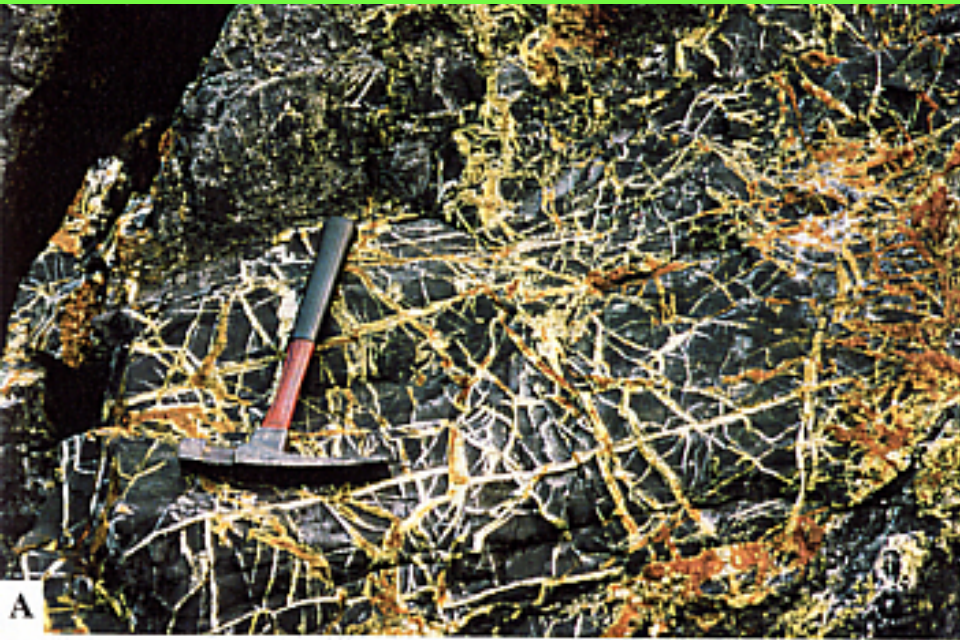
# Zone à émeraude occidentale

## Modèle génétique





# Conséquences du modèle génétique sur les caractéristiques et les particularités de l'émeraude colombienne et de sa paragenèse





# Conséquences du modèle génétique sur les caractéristiques et les particularités de l'émeraude colombienne et de sa paragenèse



R. Currier

Emeraude de Gachalá,  
868 ct, 5 cm

4 émeraudes du «Banco de la  
Republica», de 220 à 1796 ct

Magnifiques cristaux



H. Et E. van Pelt



Arkenstone

Cristaux d'émeraude, 4 cm



# Conséquences du modèle génétique sur les caractéristiques et les particularités de l'émeraude colombienne et de sa paragenèse



Parisite et émeraude sur calcite, L: 7cm, La Pita

Paragenèses uniques



Pyrite et émeraude, l: 3,2cm, Chivor



Quartz et parisite, h: 8,4cm, Muzo

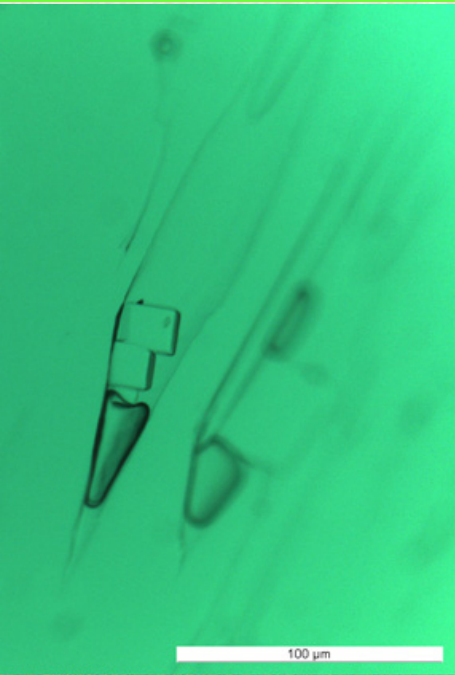
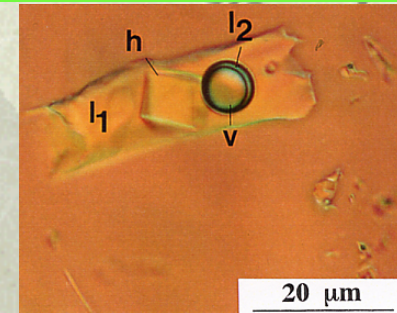


# Conséquences du modèle génétique sur les caractéristiques et les particularités de l'émeraude colombienne et sa paragenèse

## Inclusions fluides

$\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2-(\text{Ca}-\text{K}-\text{Mg}-\text{Fe}-\text{Li}-\text{SO}_4)$

Salinité ~ 40 wt % eq. NaCl



## Fluides de bassin

$\text{SO}_4 \sim 400 - 500 \text{ ppm}$

$\text{Pb} \sim 30 - 380 \text{ ppm}$

$\text{Zn} \sim 200 - 300 \text{ ppm}$

$\text{Ba} \sim 200 - 600 \text{ ppm}$

$\text{Li} \sim 400 - 4300 \text{ ppm}$

Giuliani et al. (2017)

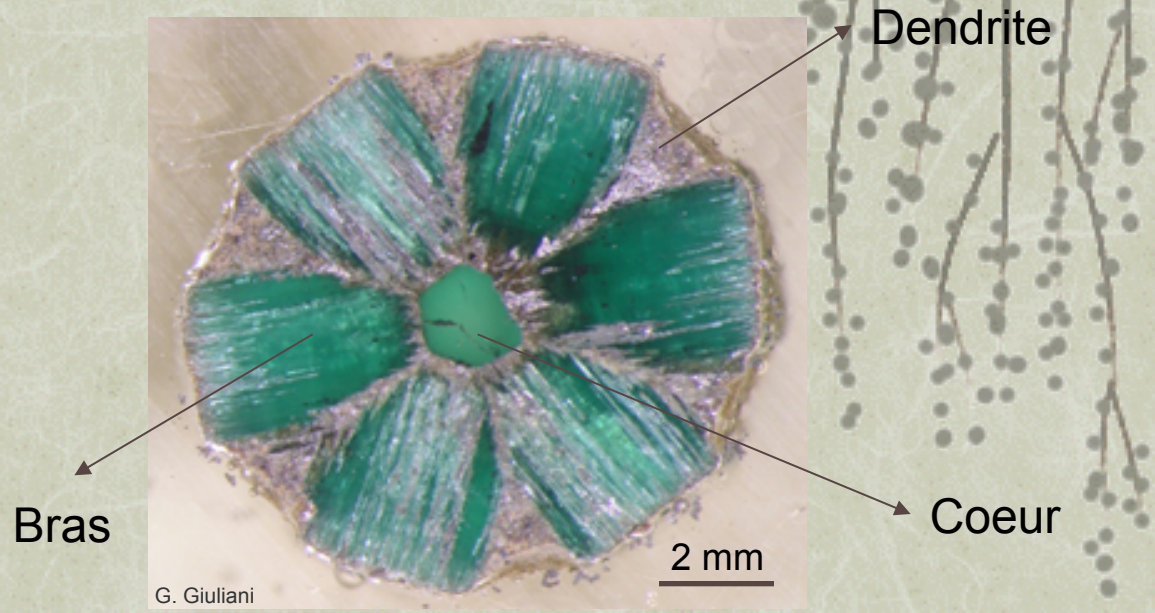
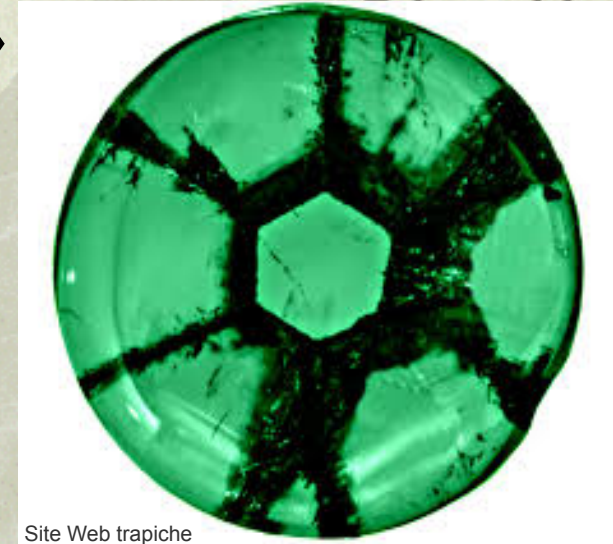
S de la pyrite = sulfates évaporitiques  
 $\text{H}_2\text{O}$  de l'émeraude = eaux de bassin



# Conséquences du modèle génétique sur les caractéristiques et les particularités de l'émeraude colombienne et sa paragenèse



## Emeraude «trapiche»



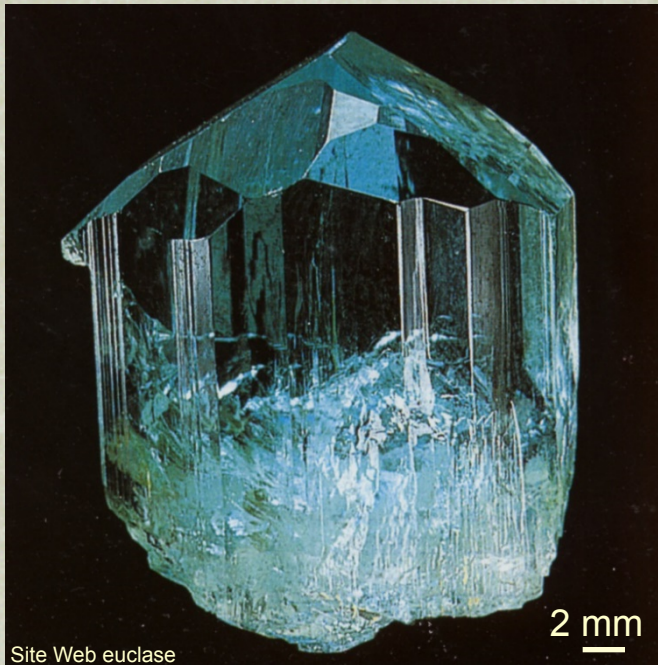


# Conséquences du modèle génétique sur les caractéristiques et les particularités de l'émeraude colombienne et sa paragenèse

3 mm



L.-D. Bayle



Site Web euclase

2 mm

Gachalá

Euclase  
 $\text{BeAlSiO}_4(\text{OH})$



J. Budd, Mineralogical Record

3.5 cm

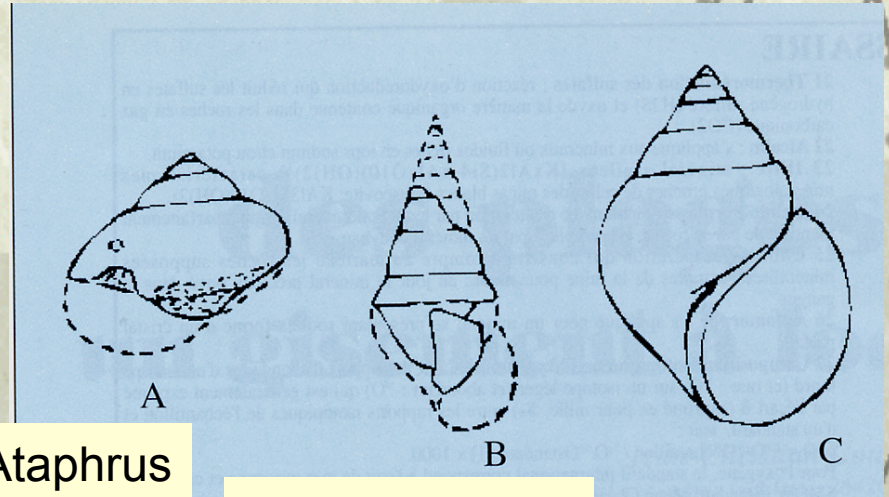
La Marina



# Conséquences du modèle génétique sur les caractéristiques et les particularités de l'émeraude colombienne et sa paragenèse



H. et E. Van Pelt



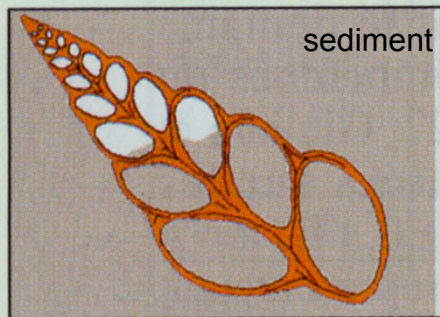
Ataphrus

Pseudomelania

Ampullospira

Détermination : J-C Fischer (MNHN)

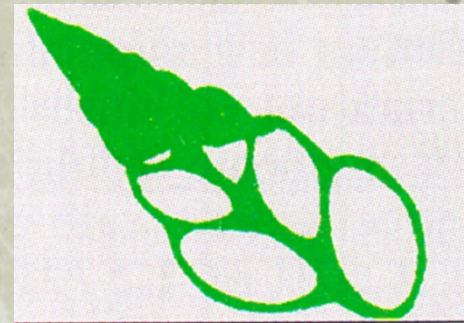
Vuillet et al. (2004)



145 Ma : Berriasien



135 à 99 Ma : dissolution  
de la coquille en aragonite



65 Ma : remplissage par l'émeraude  
avec imprégnation des espaces vacants

Mécanisme d'épigénie par dissolution et substitution (Pseudomelania)





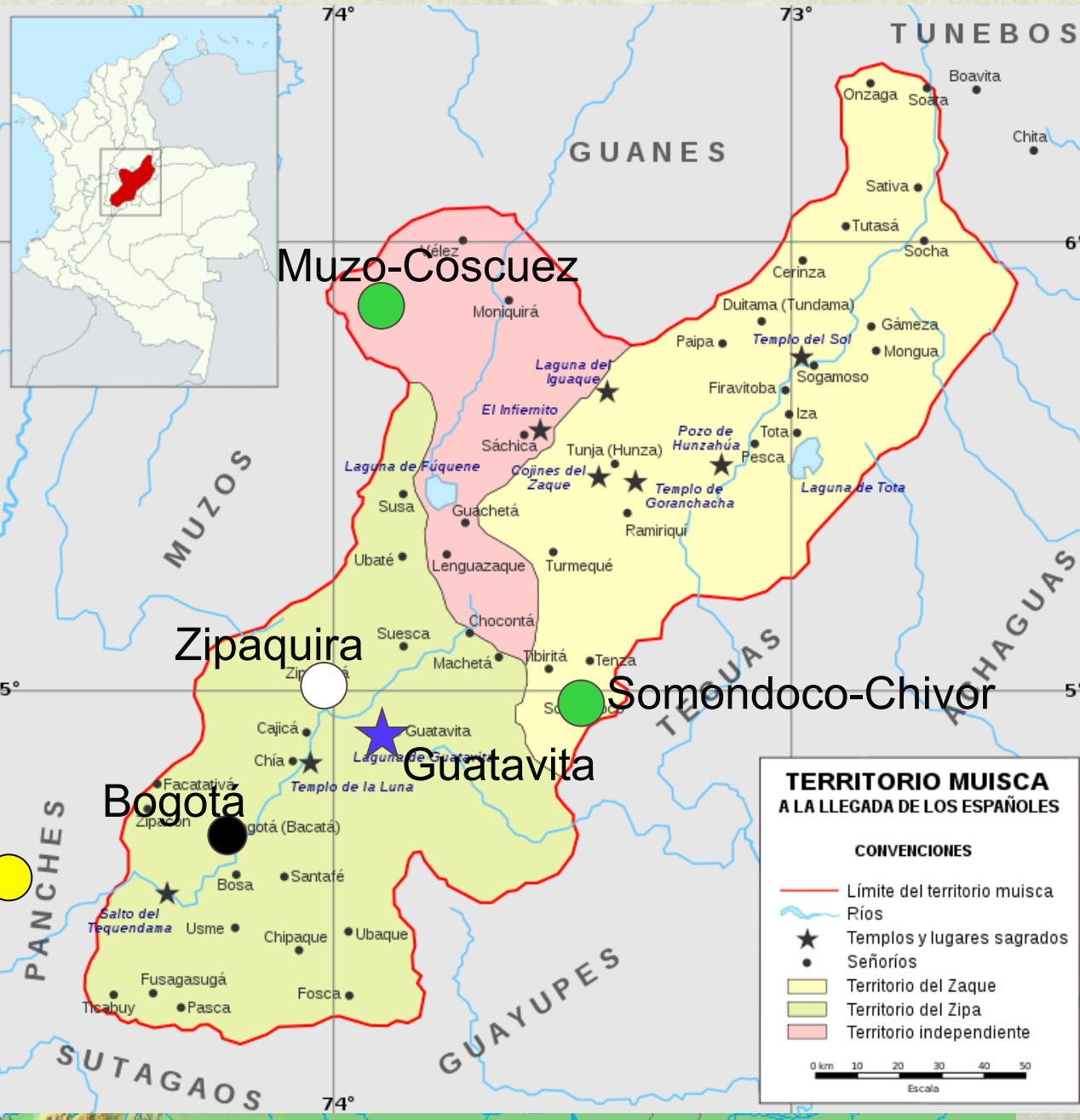
3



L'émeraude colombienne d'hier et d'aujourd'hui



# Epoque Précolombienne et le territoire Muisca au XVI<sup>ème</sup> siècle



Cacique Tisquesusa (1514-1537)



Radeau d'or et légende de Guatavita (Musée de l'or) (1514-1537)



Bijoux Muisca

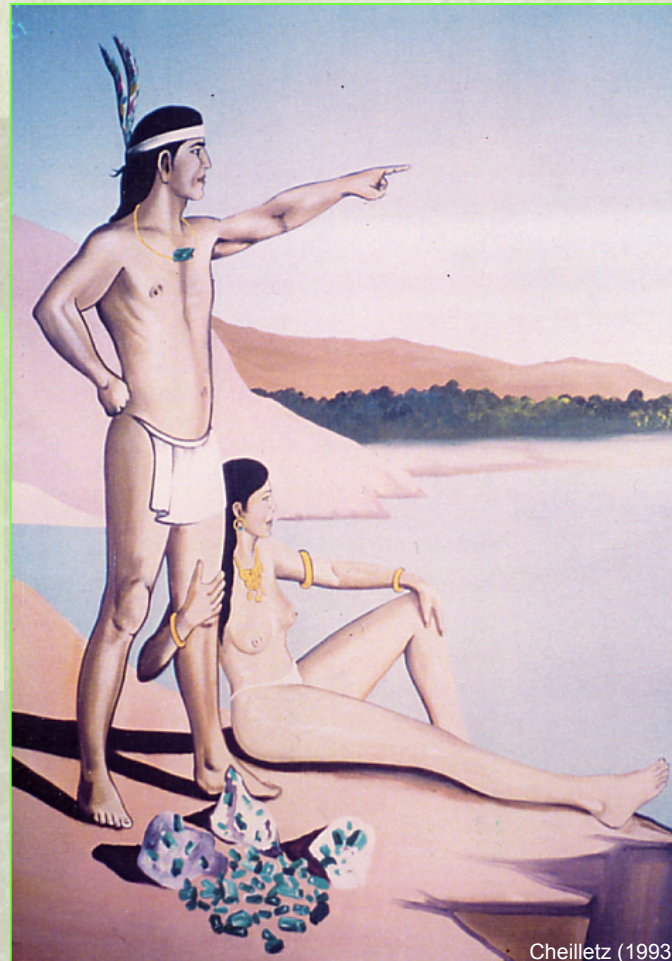


# A l'Epoque Précolombienne : les Muisca (600-1600)

1537-38 Gonzalo Jiménez de Quesada fonda Bogotá



La découverte des mines :  
Chivor (1537-38)  
Muzo (~1560-64)  
Cosquez (1590-1600)  
Peña Blancas (1650)



Culture Muisca

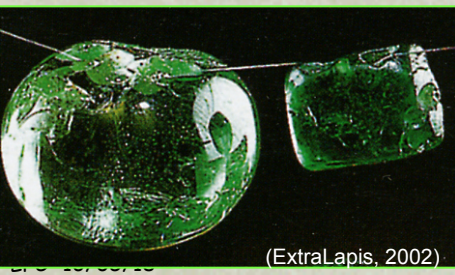


Mine Tequendama

Giuliani (1988)



Le présumé cadeau de l'Empereur aztèque Moctezuma II à H. Cortez (1519) fut en fait offert par Philippe II d'Espagne à son cousin Ferdinand II de Habsbourg.



(ExtraLapis, 2002)



# L'exploitation des mines de Somondoco par les conquistadores

1000-1537 : exploitation des mines par les Muiscas



1537-1672 : Les conquistadores exploitent plusieurs mines



Cotte d'armes de  
G. J. de Queseda



forêt  
cristal d'émeraude

Capitaine Valenzuela, 12 mars 1537

1672 : fin de l'exploitation (et de l'esclavage) suite à un ordonnance du roi Charles II d'Espagne



Mineralogical record (2016)

1672-1896 : Les mines sont oubliées pendant deux siècles

Weldon et al. (2016)



# Au XVI et XVIIème siècle dans le Nouveau monde, le commerce des émeraudes

Armada espagnole : commerce par mer avec le nouveau monde

L'émeraude et les gemmes favorites des souverains Moghols notamment les empereurs Jahangir et Shah Jahan au Rajhastan (1605-1658)



Portrait de  
Shahuddin Mohammed  
Shah Jahan



Mogul Emerald  
Dated to 1695 • 217.80 carats

H. et E. Van Pelt

L'émeraude du grand Moghol gravée en  
1695, vendue en 2001 pour 2.2 millions  
US\$ , Doha, Quatar, (h= 5,1 cm)



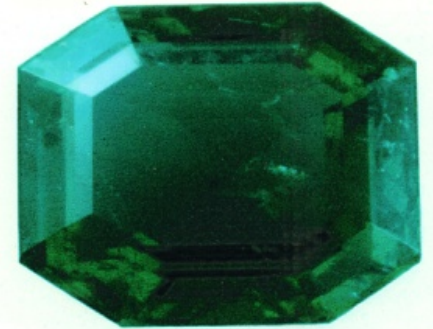
# Au XVIème siècle dans le Nouveau monde et le commerce des émeraudes

L'émeraude favorite des souverains Moghols au XVIème siècle notamment les empereurs Jahangir et Shah Jahan: les émeraudes dites «veilles mines»



T. Hammid

Emeraude de Coscuez, 150 ct,  
gravée en Inde au 19ème siècle



G. Giuliani

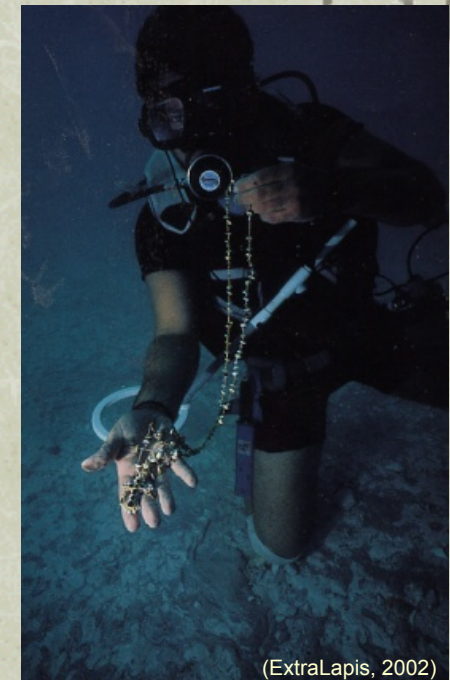
Emeraude « Moghol »  
dite « Vieilles mines »



# Galions espagnols et naufrages



Découverte du galion en 1985 par l'équipe de Mel Fisher  
Exposition au Musée de Key West, Floride (USA)

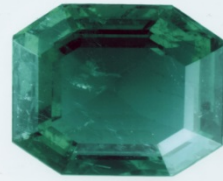
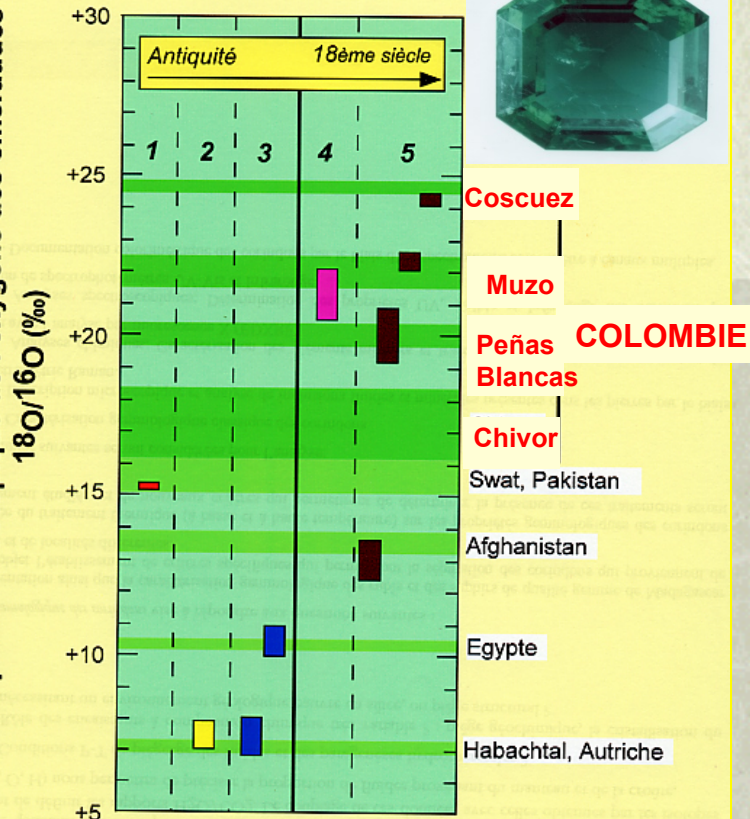


Naufrage du galion Nuestra señora de Atocha en Floride (1622)

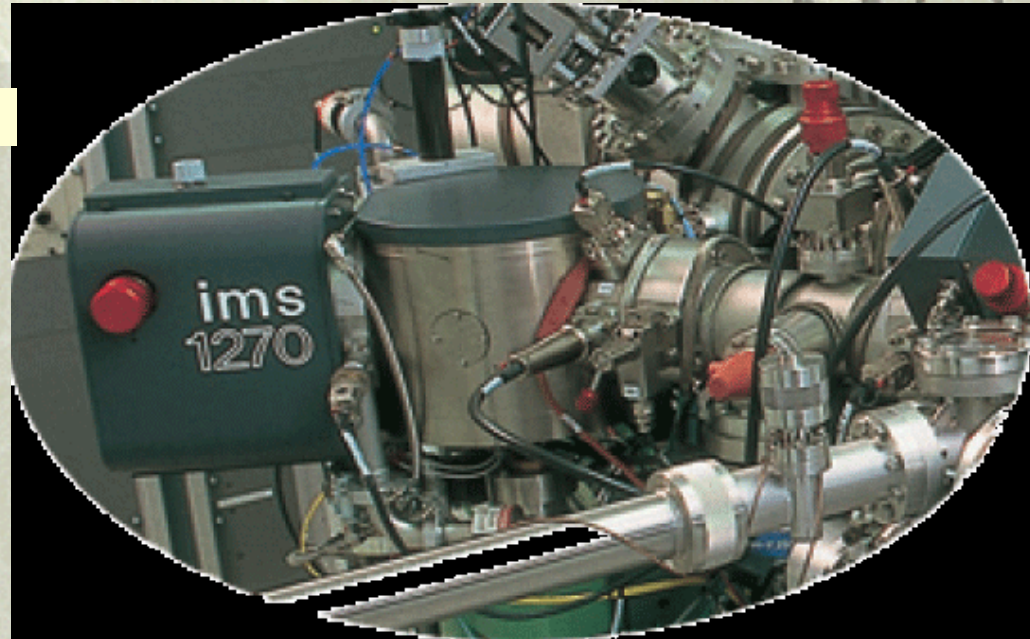


# Détermination de l'origine géographique des émeraudes historiques

Composition isotopique de l'oxygène des émeraudes



Sonde ionique du CRPG/CNRS  
Les isotopes de l'oxygène  
(54% O<sub>2</sub> émeraude)



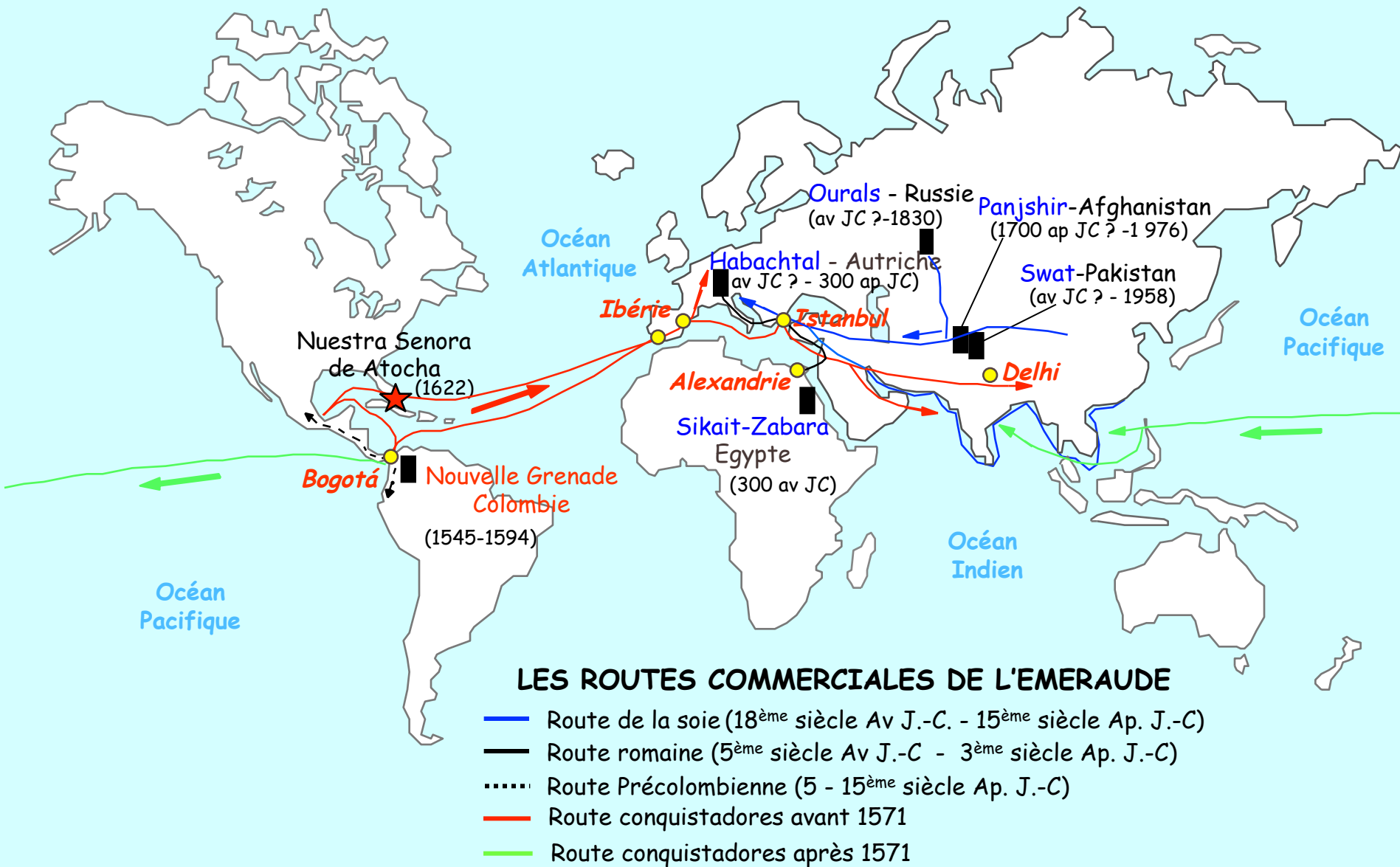
- 1 ■ Boucle d'oreille Gallo-romaine (Méribel)
- 2 ■ Emerald of the front of the Holy Crown of France
- 3 ■ Emeralds used by Abbé Haüy
- 4 ■ Emerald of the Spanish Girdle 'Nuestra Señora de Atocha'
- 5 ■ Emeralds 'Old Mines' (Treasure of Nizam of Hyderabad)

***Emeraude historiques***

(Giuliani et al., 2000)



# Les routes commerciales des émeraudes historiques



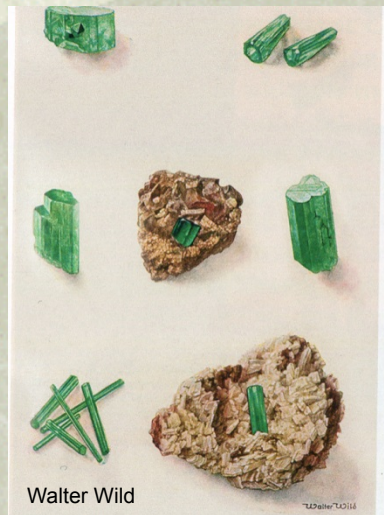


# L'exploitation des mines de Chivor au XXème siècle

1672-1896 : Les mines sont oubliées pendant près de deux siècles

1896-1911 : Francisco Restrepo les redécouvre et les exploite...

1911-1914 : Fritz Klein rejoint Francisco Restrepo



Livre de Klein (1925) Smaragde Unter dem Urwald. O. Arnold press, Berlin  
(Emeraude dans la jungle)

1915-1924 : mines gérées par McFadden



# L'exploitation des mines de Chivor au XXème siècle

1926-1931 : mines gérées par Peter W. Rainier aidé par Chris Dixon en 1932



Period Jewels./Weldon (2016)



GIA/Weldon (2016)

Exploitation des mines vers 1930 (Photo P. Rainier)

Rainier P.W. (1942) Green Fire. Random House, New York.  
mis en scène en 1954 avec Grace Kelly et Stewart Grenger



# L'exploitation des mines de Chivor au XXème siècle

1932-1936 : Opérations suspendus à cause de fortes agitations

1940-1950 : mines gérées par Anderton

1956-1977 : mines gérées par Bronkie



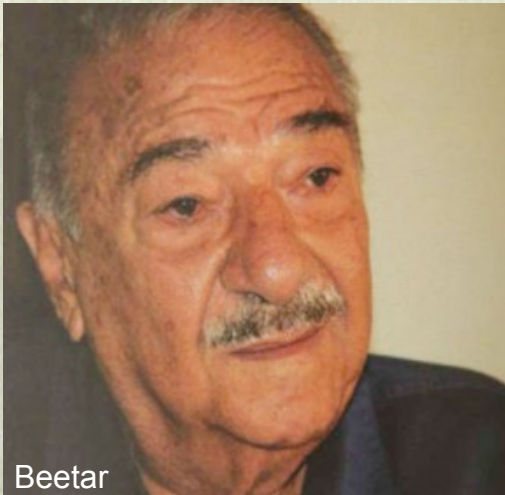
R. Weldon

Collier à émeraude de Chivor et diamant,  
36.02 ct émeraudes en taille briolette,  
18,34 ct autres émeraudes et le diamant  
central de 5,03 ct. Pionner Gems



# L'exploitation des mines de Chivor au XXème siècle

1977-1981 : propriété des «Mines de Chivor»,  
consortium Beetar, Carranza, frères Quintero



Beetar



Carranza



Victor Quintero

1981- : Propriété de «Inversiones Quintero»

Le Tsar des émeraudes, Victor Carranza,  
né en 1935 et mort le 4 avril 2013 (à 77 ans)





# L'exploitation des mines de Chivor et Gachalá au XXème siècle



H. et E. Van Pelt

Emeraude Patricia, 650 ct, 6.5x2.5 cm,  
Chivor, offerte par Klein au American  
Museum of Natural History de New York

## Cristaux fameux

El monstro : 16.020 ct

Emilia : 7025 ct



Rock Currier

L'émeraude de Gachalá, 1967, 868 ct, 5 cm, Gachalá



...et du côté de Muzo dans les années 1988-1998...



Le Rio Itoco en 1998

D. Schwarz



...et du côté de Muzo dans les années 1988-1998...



G. Giuliani



A. Cheilletz

Le chantier du Zincho en 1988

LFG 16/05/18

30.000 guaqueiros indépendants en 1993



## ...et du côté de Coscuez dans les années 1985-1995

### Exploitations en carrière



1988



1992



1995

Modification du paysage  
et énormes rejets d'argilite et carbonates  
dans les vallons et rivières :  
formation de barrages artificiels  
et pollution argileuse des rivières



## ...Les cristaux du côté de Muzo et Coscuez



Emeraude «Duc de Devonshire», 1383,95 ct, 5x6 cm, Muzo, offerte par Pierre I du Brésil en 1831 au 6<sup>ème</sup> duc du Devonshire William Cavendish



Emeraude de Coscuez, 1759 ct, 8.9x5 cm, découverte entre 1947-1969, Banco de la Republica, Bogotá, Musée de l'Or, N°8 de la collection



## Et la découverte de la mine de la Pita en 1997

Mine située entre Muzo et Coscuez

2015 : Zuliana De Esmeraldas Ltda



A. Watzl, Mineralogical Record

Cristaux d'émeraude, h = 3,7 cm



R. Weldom, Mineralogical Record

El Itoco, h = 10 cm, 472 ct



Site Web La Pita

Emeraude et calcite, 4 cm



# ...et la magnificence de l'émeraude au cours du temps



Muiscas



Broche émeraude Hooker, 75,47 ct, 1955, National Museum, Washington

Conquistadores au XVI-XVIIème siècle



Custodia de la Iglesia de San Ignacio de Bogotá « La Lechuga » Musée de l'or



Collier du Maharadja d'Indore (45ct)

R. Weldon

Moghols au XVIIème siècle





4



## Conclusions

... *Enough said*



Conférence

Laboratoire Français de Gemmologie

16 mai 2018



Merci de votre attention

CRPG

