

Présentation

Dans le cadre du centenaire de la naissance d'Haroun Tazieff, une des conférences présentées a porté sur le volcanisme des Iles Galápagos.

Le choix de ce thème peut paraître lointain, voir exotique, et aux antipodes du volcanisme de l'Escandorque, si ce n'est qu'il s'agit du même type de volcanisme, et qui a donné des morphologies assez similaires, si on excepte les effets de la mer dans le cas des Galápagos.

Voir un environnement naturel ancien avec dans l'esprit un exemple géographique actuel est une des gymnastiques de l'imagination les plus courantes depuis qu'on s'est persuadé que la connaissance des phénomènes actuels aide à comprendre les événements géologiques du passé.

Cette conférence propose un aperçu général du volcanisme des Galápagos, sous ses aspects les plus divers, historiques, scientifiques et économiques. Puissent certains de ces aspects, notamment celui des morphologies volcaniques, aider à mieux regarder ensuite les vieilles coulées volcaniques de l'Escandorque.



Les Iles Galápagos

Du volcanisme de point chaud au droit maritime



Jean F. Dumont
et
Essy Dumont Santana

4^{ème} Journées Haroun Tazieff Brenas-Carlencas-Mérifons 11-15 juin 2014



Centre Haroun
Tazieff pour les Sciences de la Terre



Ce que nous verrons successivement

- 1) Localisation des Galapagos
- 2) Découverte et courte histoire
- 3) *Description*: Nature du volcanisme
- 4) *Analyse*: Migration du volcanisme
- 5) *Interprétation*: Du point chaud à la plate-forme
- 6) *Conséquences et implications*: Risque sismique, risque littoral et droit maritime
- 7) Conclusion

Ce que nous verrons successivement

- 1) **Localisation des Galapagos**
- 2) Découverte et courte histoire
- 3) *Description*: Nature du volcanisme
- 4) *Analyse*: Migration du volcanisme
- 5) *Interprétation*: Du point chaud à la plate-forme
- 6) *Conséquences et implications*: Risque sismique, risque littoral et droit maritime
- 7) Conclusion

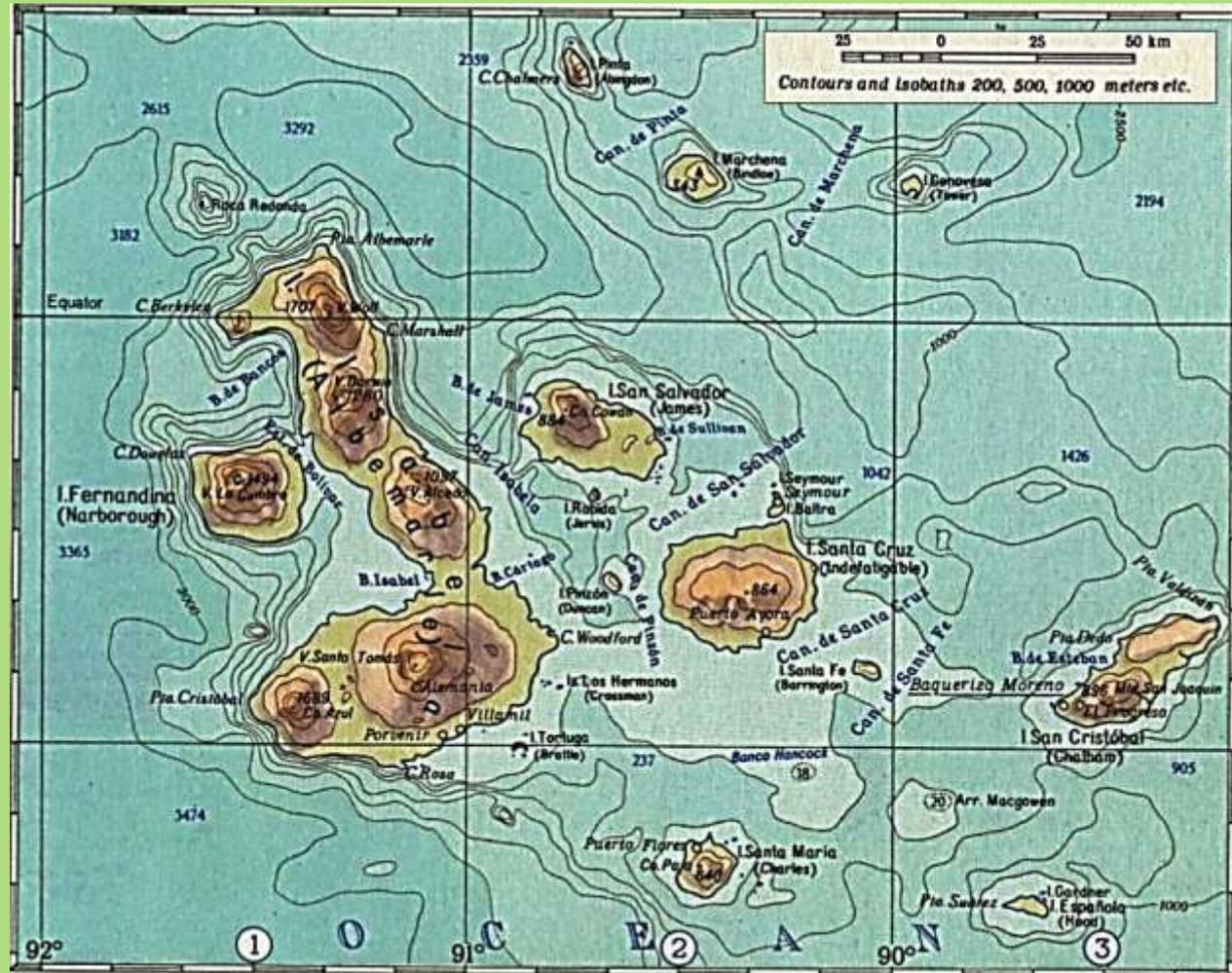
Les noms des Iles Galapagos

- 1535: À la découverte: pas de nom
- Milieu du 16e siècle : *Islas Encantadas*
- 1574: *Insulae de los Galopegoes (A. Ortelius)*
- 1684-1794: Toponymie anglaise des iles
- 1892 : **Archipiélago de Colón**



Les Iles Galapagos en chiffre

- Distance du continent: 1000km
- Surface: 8006 km² (total)
- Isabela: 4588 km²
- 11 iles
- 42 ilots inf à 1km²
- 26 rochers émergés
- Plancher océanique à -3000m
- altitudes: 1500-1700m à l'Ouest
800-900m à l'Est
- 1832 Première colonie (300pers)
- 1981: 5 000 habitants
- 2009: 25 000 habitants



Ce que nous verrons successivement

- 1) Localisation des Galapagos
- 2) Découverte et courte histoire**
- 3) *Description*: Nature du volcanisme
- 4) *Analyse*: Migration du volcanisme
- 5) *Interprétation*: Du point chaud à la plate-forme
- 6) *Conséquences et implications*: Risque sismique, risque littoral et droit maritime
- 7) Conclusion



Les îles Galápagos
ont été découvertes par hasard le 10 mars 1535
par l' évêque de Panama Tomas de Berlanga,
dont le galion dériva vers l'Ouest,
entre Panama et Lima.

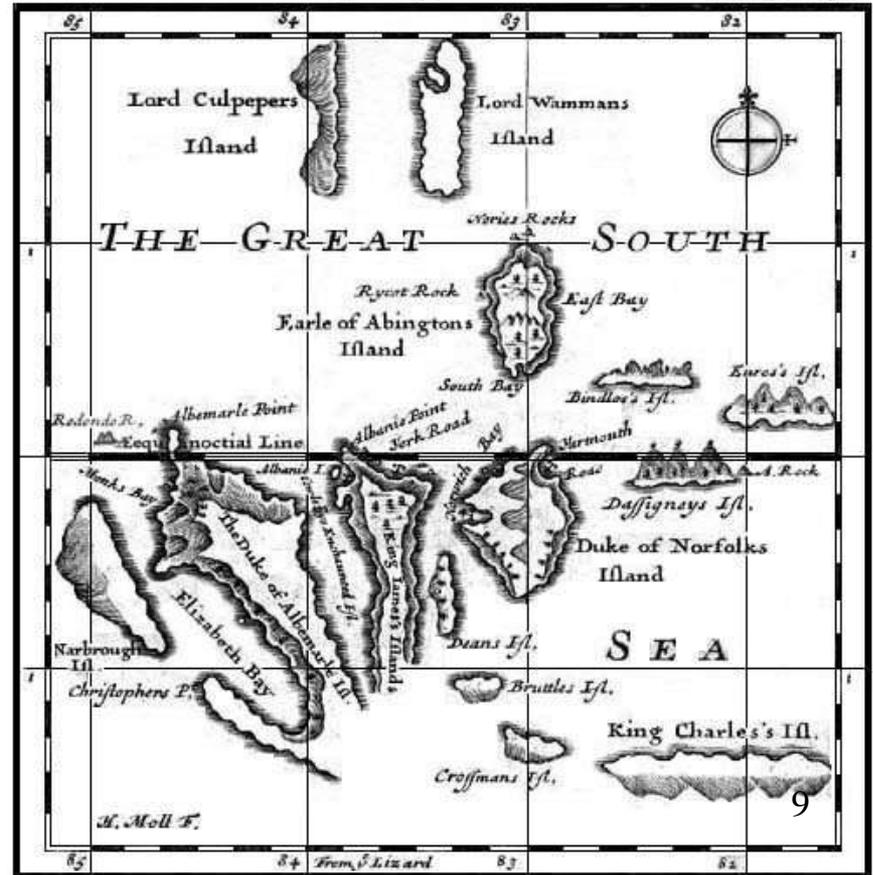
Les Galápagos furent ensuite un repère de pirates anglais et français venus harceler les galions espagnols. Ces pirates étaient parfois aussi des érudits qui contribuèrent à cartographier et décrire ces îles, motivant plus tard la visite de Charles Darwin.



En 1698 le pirate John Eaton réalise la première carte des Galapagos



The GALLAPAGOS ISLANDS
Discovered by Cap^t John Eaton Place this at P. 9.

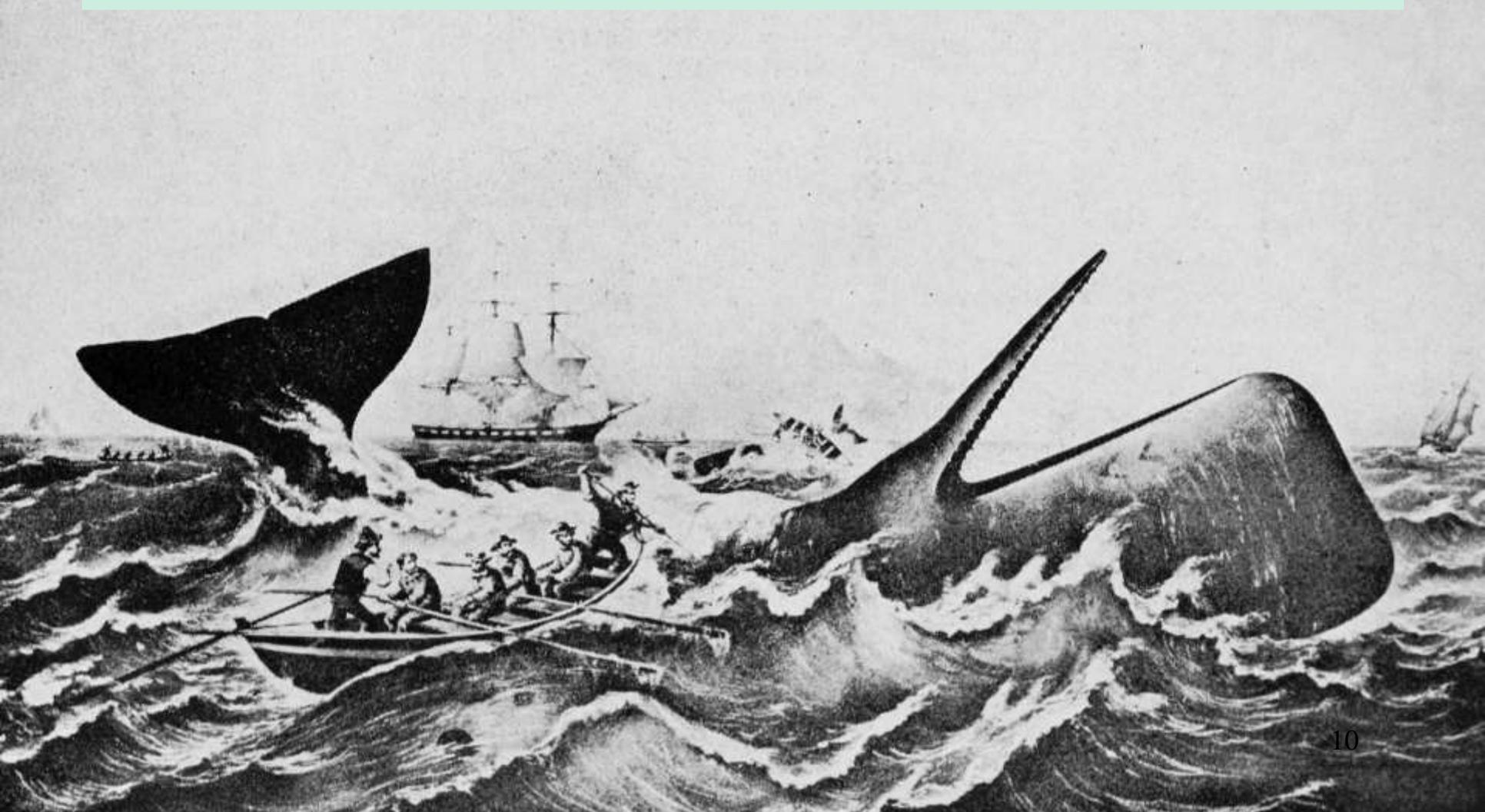


Les plus fameux pirates:

- Francis Drake 1577
- Guillermo Schouten 1616
- John Cook 1680
- Richard Hawkins 1595
- William Dampier 1690
- Ambrose Cowley 1682

En 1793 James Colnett fait une première description de la faune et de la flore des Galápagos, et suggère d'utiliser ces îles comme base pour la chasse à la baleine.

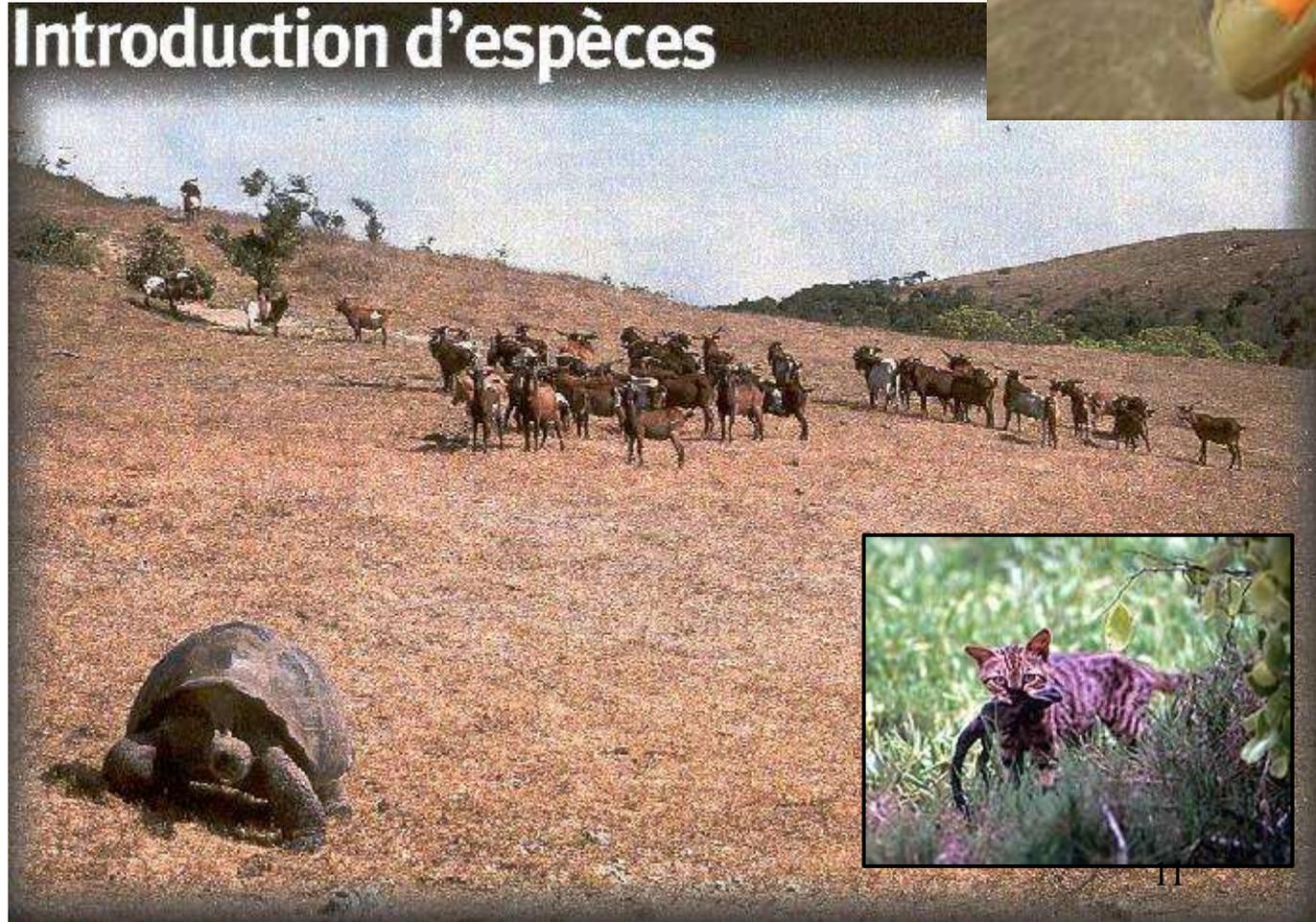
Le 19^e siècle sera l'époque des baleiniers et des premières communautés résidentes dans l'île de Floreana.

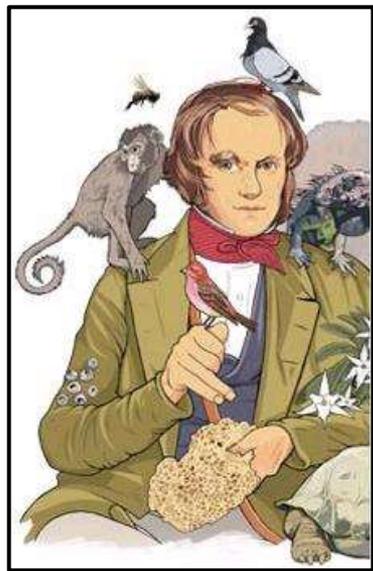


- Pirates et baleiniers ont introduit aux Galápagos des espèces animales domestiques destinées à servir de réserve alimentaire lors de leurs passages.
- Depuis cette faune a pullulé et menace maintenant la faune locale par la destruction des œufs et des jeunes individus de tortues, iguanes, piqueros ...

Introduction d'espèces

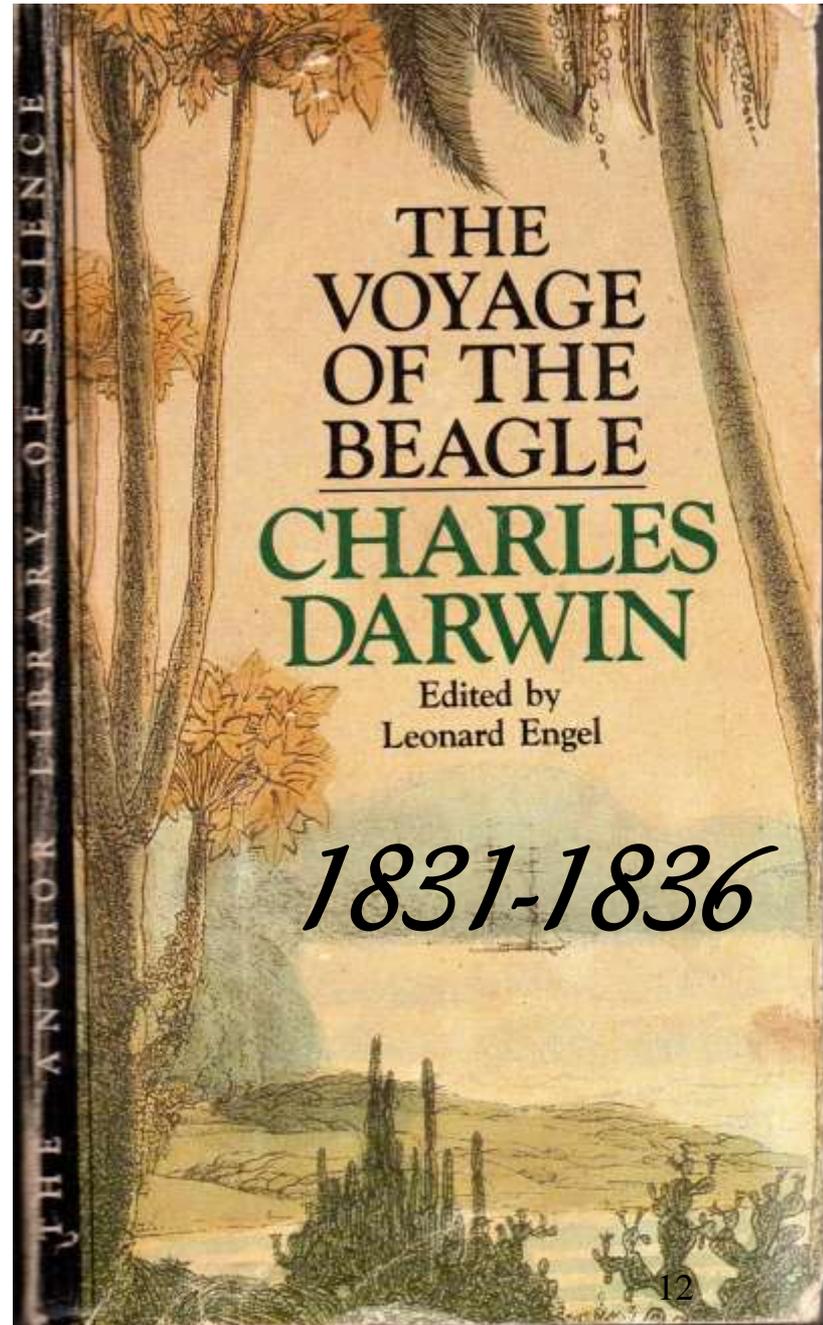
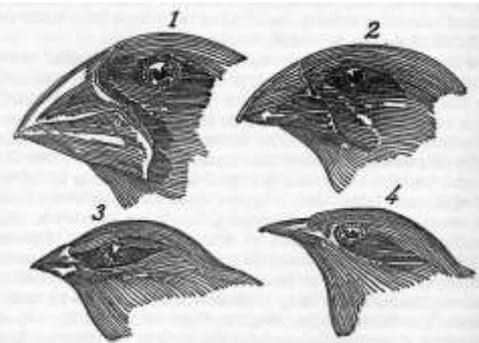
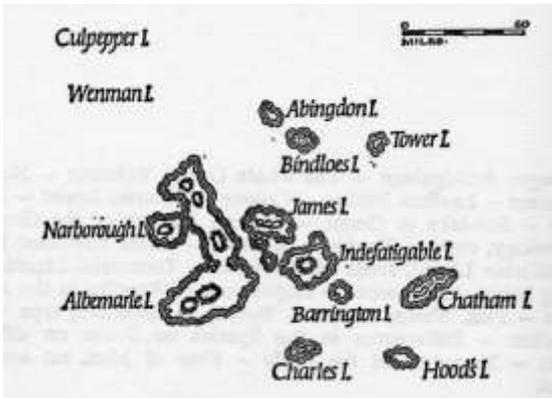
La chasse de chèvres, porcs, vaches, chiens et chats redevenus sauvages est la seule qui soit autorisée aux Galápagos !





Charles Darwin fit des îles Galapagos un trésor scientifique sans pareil au monde

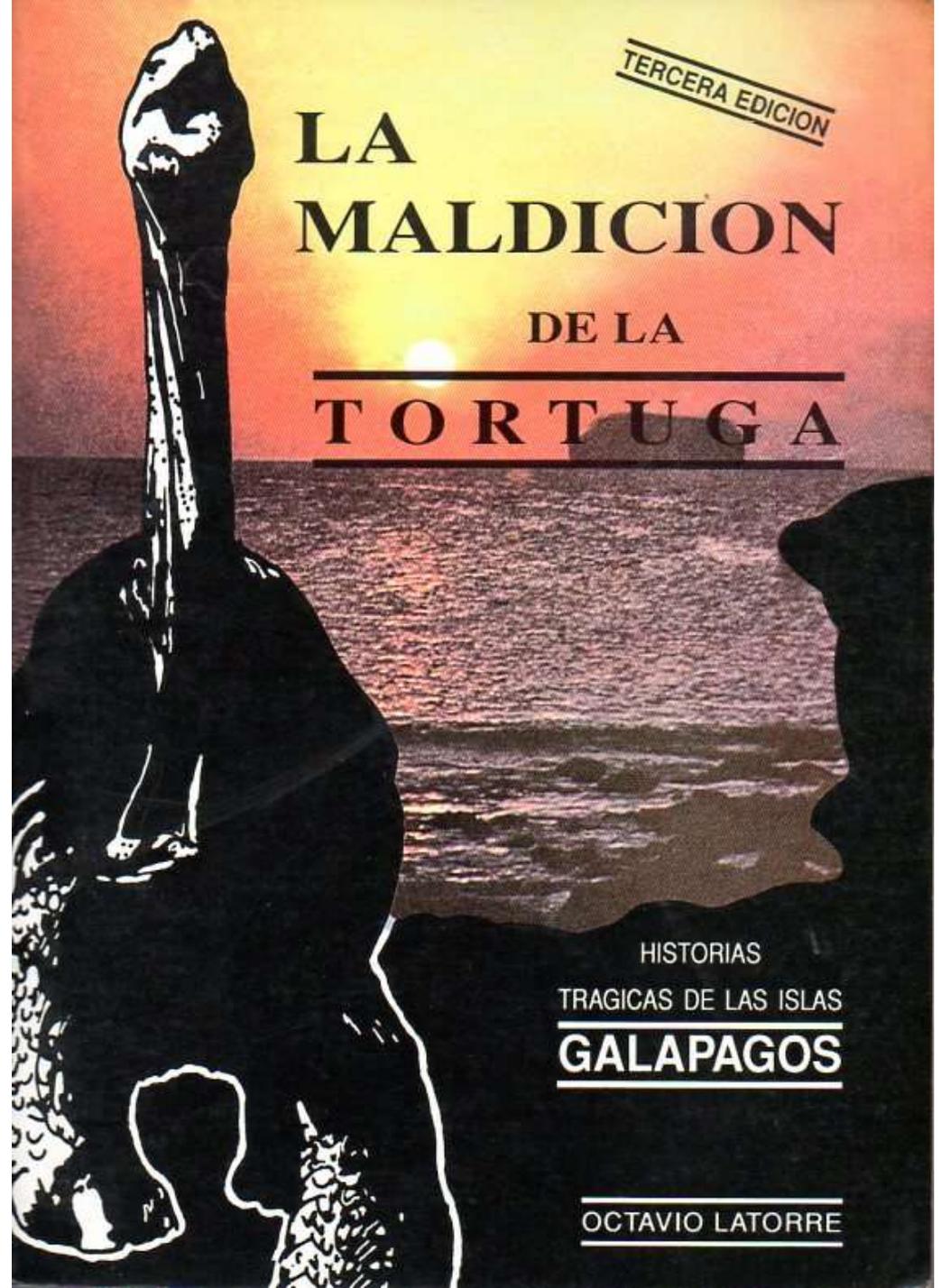
Les pinsons des Galapagos et la carte des îles dans l'édition de 1860



La fin de la piraterie et de la chasse à la baleine n'a pas apporté le calme aux Galapagos...

La vie y reste difficile: pénurie d'eau, absence de production locale, éloignement du continent...

MAIS



..les Galapagos sont devenues malgré tout un haut centre du tourisme international

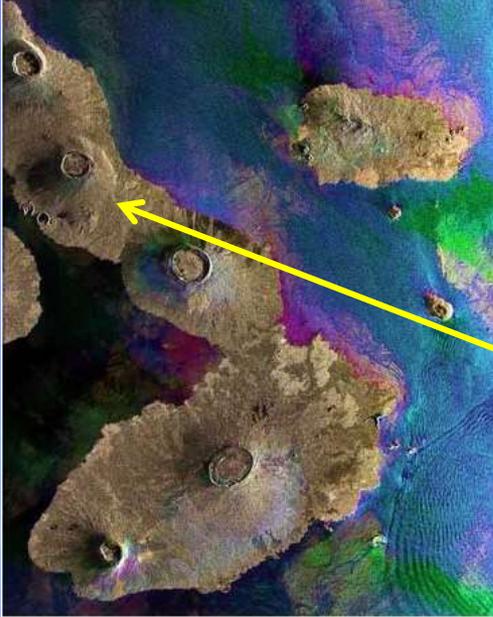


Ce que nous verrons successivement

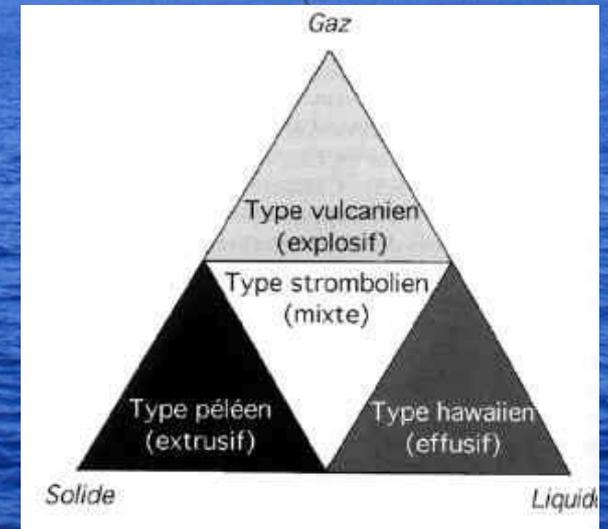
- 1) Localisation des Galapagos
- 2) Découverte et courte histoire
- 3) *Description: Nature du volcanisme***
- 4) *Analyse: Migration du volcanisme*
- 5) *Interprétation: Du point chaud à la plate-forme*
- 6) *Conséquences et implications: Risque sismique, risque littoral et droit maritime*
- 7) Conclusion

3) Nature du volcanisme

Le volcanisme des Galápagos est de **type hawaïen** avec des **volcans bouclier** très amples et aux pentes faibles (moins de 6°).



Le volcan Darwin sur l'île Isabela
Altitude: 1280m
Diamètre: 23 km



Deux grands types de coulées volcaniques forment les volcans bouclier :

- Les laves à surfaces lisses de type « pahoehoe »
- Les laves de type « aa » de blocs et plaques

Eruption de la Sierra Negra, Ile Isabela, Octobre 2005



<http://www.earth-of-fire.com/325-categorie-10975247.html>

Le volcanisme de type hawaïen se caractérise par des laves basaltiques liquides qui s'écoulent en rigoles ou en nappes sur les flancs du volcan.



<http://www.rtve.es/alacarta/videos/programa/volcan-cerro-azul-galapagos-erupcion/114855/>

Ce volcanisme est identique à celui qui forme la croûte géologique des fonds océaniques.

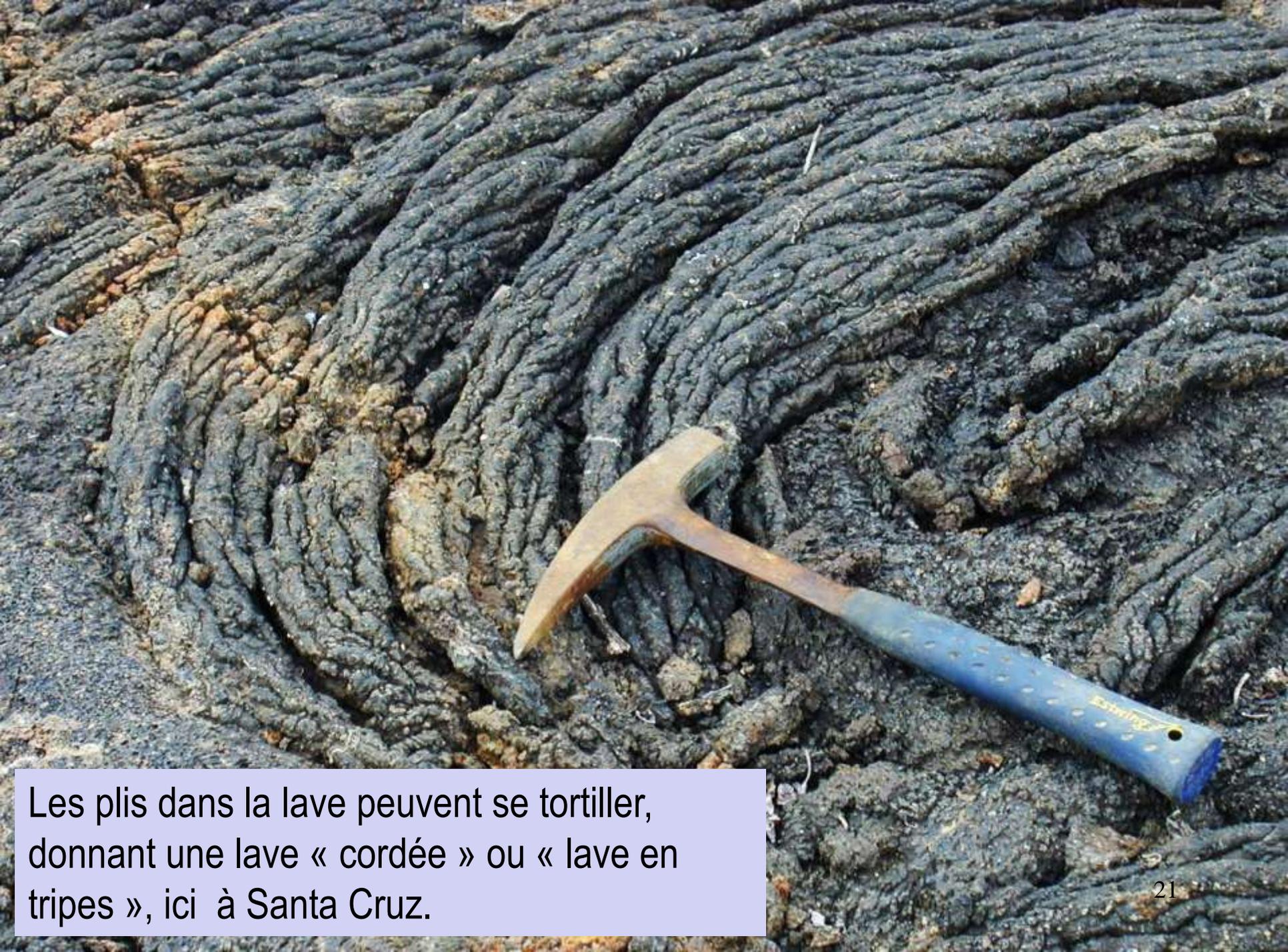


Des bouches plus petites sont visibles sur la couronne des grands volcans



- La coulée de type **pahoehoe** (mot hawaïen signifiant lave unie, ou lisse) est une lave basaltique dégazée qui s'écoule comme un liquide.
- Les coulées de pahoehoe présentent une surface lisse et ondulante, souvent plissée.
- Le front de la coulée progresse à une vitesse qui peut dépasser 500m à l'heure, et s'écoule le long des pentes dans des rigoles.
- La lave s'accumule dans les dépressions locales et les parties basses du volcan, et atteint souvent la mer.





Les plis dans la lave peuvent se tortiller, donnant une lave « cordée » ou « lave en tripes », ici à Santa Cruz.

La lave liquide s'écoule
d'abord dans une rigole...



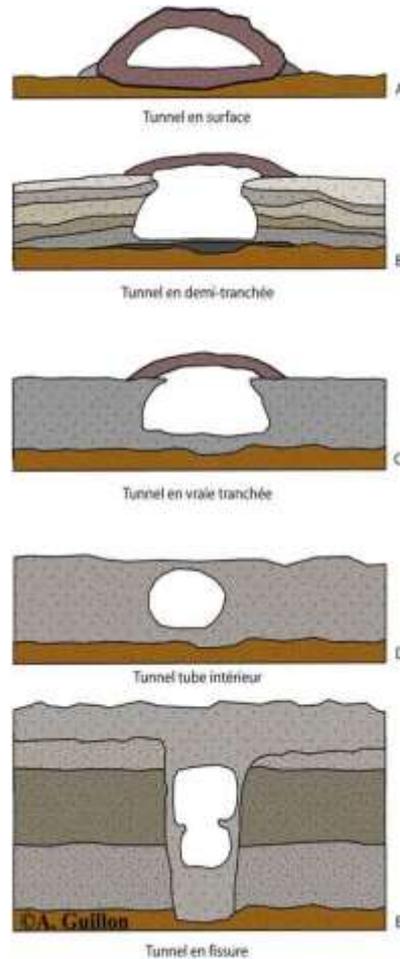
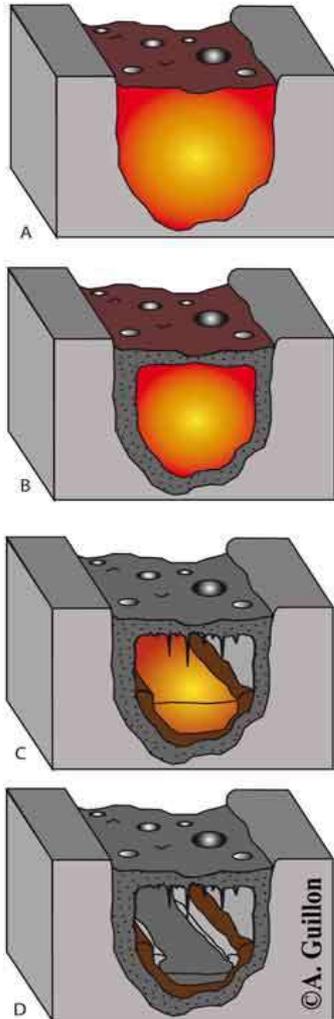
Rigoles de lave à Hawaii

Rigoles de lave à Isabela



Les rigoles de lave peuvent se transformer en tunnels...

Etapes de la formation d'un tunnel de lave suivant A. Guillon



La lave qui refroidit sur les bords d'une rigole de grande taille forme une croûte qui construit un tunnel, à l'intérieur duquel la lave continue de couler.

Le tunnel limite le refroidissement de la lave qui peut ainsi aller très loin, jusqu'à plusieurs dizaines si la topographie le permet.

A. Guillon 2013

Tunnel de lave dans l'île Santa Cruz
La taille des tunnels peut atteindre
10m de haut et 6m de large

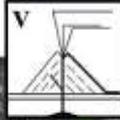


Tunnel de lave perforé en
surface, île Isabela

Les grands tunnels peuvent être masqués en surface,
attention à ne pas tomber dedans!



Tunnel de lave, un exemple en France (3). Par Alain Guillon.
Monistrol d'Allier (43)



Cette Géol'Image Volcan N°20, termine le triptyque des 3 fiches sur les tunnels de lave. Après avoir expliqué leur formation, puis les éléments caractéristiques que l'on peut y trouver, cette dernière fiche montre un exemple en France métropolitaine. En effet, dans nos départements d'outremer, et en particulier à la Réunion, le phénomène est commun. Il est intéressant de pouvoir observer dans nos régions volcaniques, le même phénomène.

L'ensemble de tunnels de lave présenté dans ce Géol'Images se situe le long de la D589 entre Monistrol d'Allier et Saint-Privat d'Allier, soit à 25 km au SW du Puy-en-Velay, sur la carte géologique de Cayres (XXVII-36). Les tunnels sont perpendiculaires à l'Allier qui coule actuellement 100 m en contre-bas sur le socle constitué des orthogneiss de l'arc de Fix. Ces tunnels de lave se sont formés à la base de puissantes coulées Villafranchiennes (2,7 Ma), de basalte alcalin des plateaux, qui ont rempli d'anciennes vallées, sur une épaisseur allant de 50 à 100 m. Au-dessus de chaque tunnel de lave, l'érosion a laissé une forme typique en pain de sucre (photo 1).

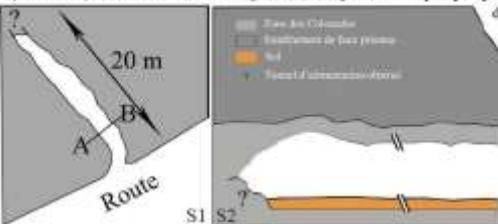
Sur sa partie encore conservée, le tunnel, orienté SE-NW (schéma S1), fait environ 20 m de longueur, il bifurque vers



1. Aspect en «Pain de sucre» des coulées à tunnels.

le sud à sa sortie. Attention, les notions exprimées ici de «fonds», «sorties» et «entrées» ne préjugent en aucun cas de la direction initiale de la coulée ayant formée ces tunnels. Le fond est obstrué par un bouchon de lave. Ses dimensions intérieures vont en diminuant de l'entrée vers le fond, l'entrée fait environ 2 m de haut pour 1,50 m de large (S2). La base du tunnel a été détruite par les travaux de la voirie il y a quelques années, puis en 2007 pour l'élargissement de la route.

L'entrée du tunnel (photo 2) montre une coupe détaillant les différents faciès basaltiques dans lesquels il s'est mis en place. Le tunnel occupe la quasi-totalité de la hauteur de la zone de l'entablement (S3-2), la zone de fausses colonnades (S3-3) démarrant juste au-dessus, par l'intermédiaire du toit du tunnel, basalte massif non prismé (S3-1). La prismation de l'entablement, change rapidement de direction, indiquant



Références : Carte géologique CAYRES (XXVII-36) CBRGM.

Septembre 2008

Dans le Massif Central aussi:

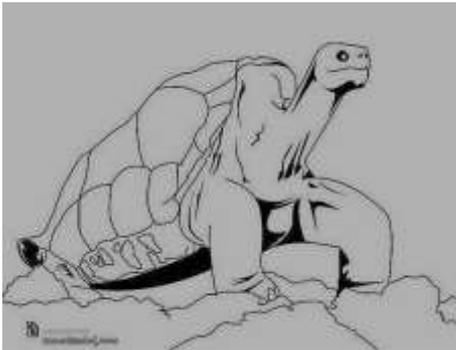
Découverte d'un tunnel de lave dans le Velay Juin 2013

*Alain Guillon, membre de la SAGA,
et Casimir Cortial, membre du Groupe
Géologique de la Haute-Loire (GGHL).*



Les coulées de lave de type « aa » (lave rugueuse, qui fait mal) sont de consistance pâteuse, de même composition que les pahoehoe mais mal dégazées, ou sensiblement plus riches en silice. La coulée avance en chenille, la surface supérieure refroidie charriant des plaques qui sont fracturées en blocs et recyclées au front de la coulée, où ces blocs ils sont de nouveau incorporés à la coulée. (ici à Hawaï)

Bien quelles avancent lentement (de 5m à 50m à l'heure) ces coulées sont particulièrement dangereuses pour les tortues qui s'enferment et se laissent recouvrir



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Aa_large.jpg

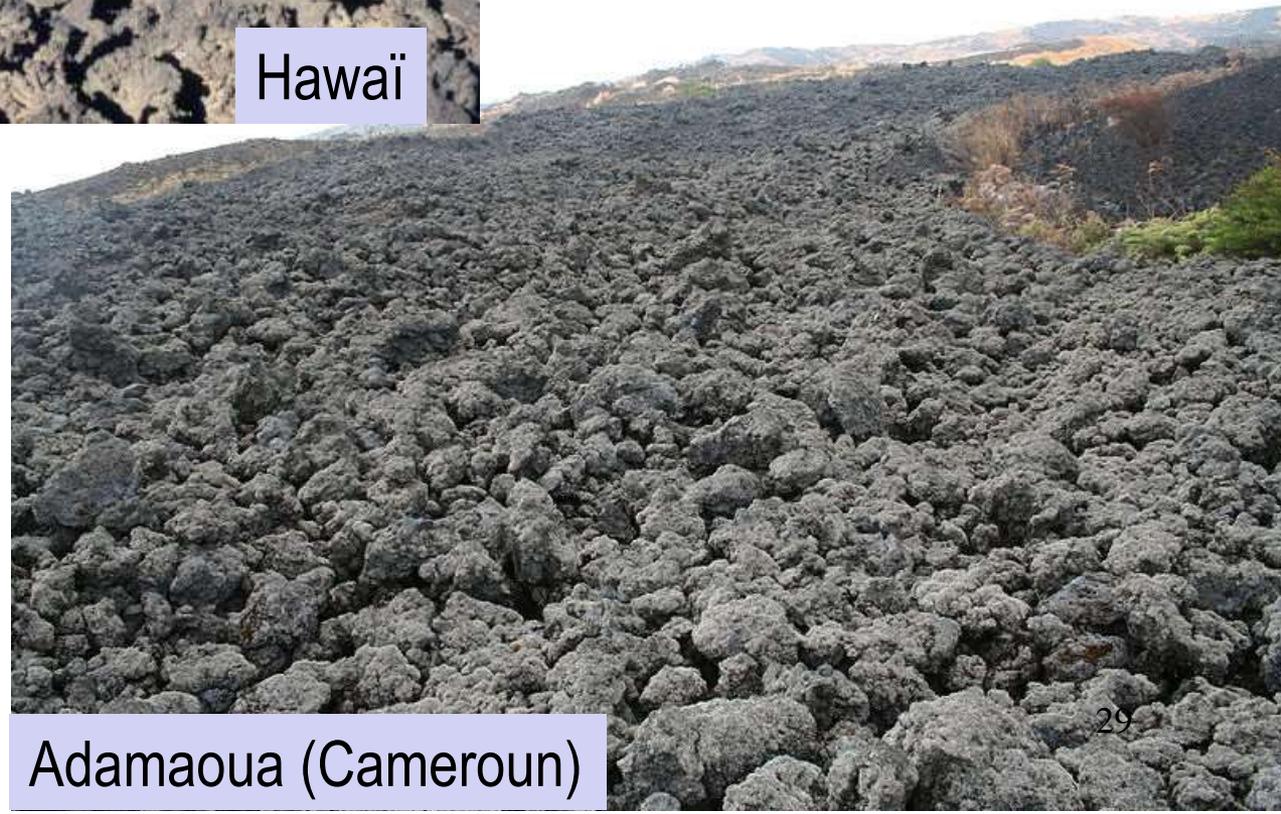
(C) U.S. Geological Survey



Photographie : Pierre Thomas

Hawaï

Les surfaces de laves aa sont difficiles à traverser (blocs instables et tranchants).



Adamaoua (Cameroun)

Vers le bas, les coulées (aa ou pahoehoe) forment des surfaces de très faible pente, se terminant par un littoral rocheux très indenté par les digitations successives des coulées.



Digitation des coulées

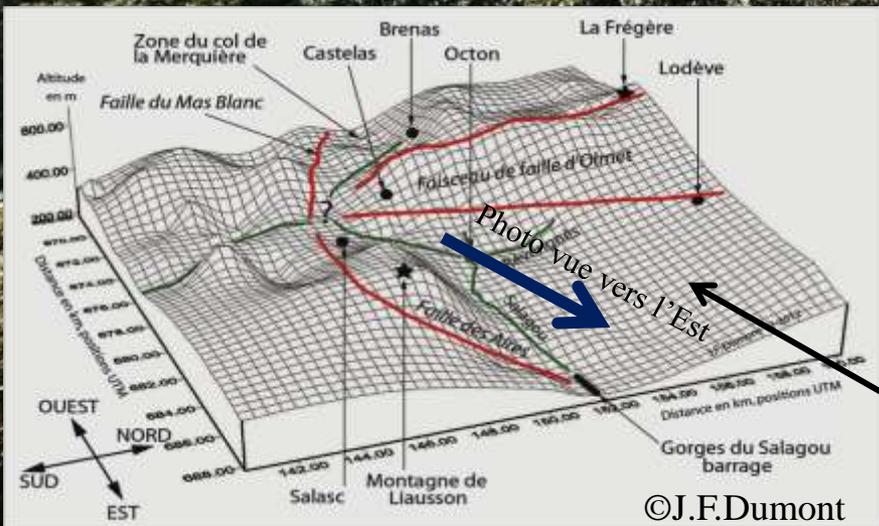
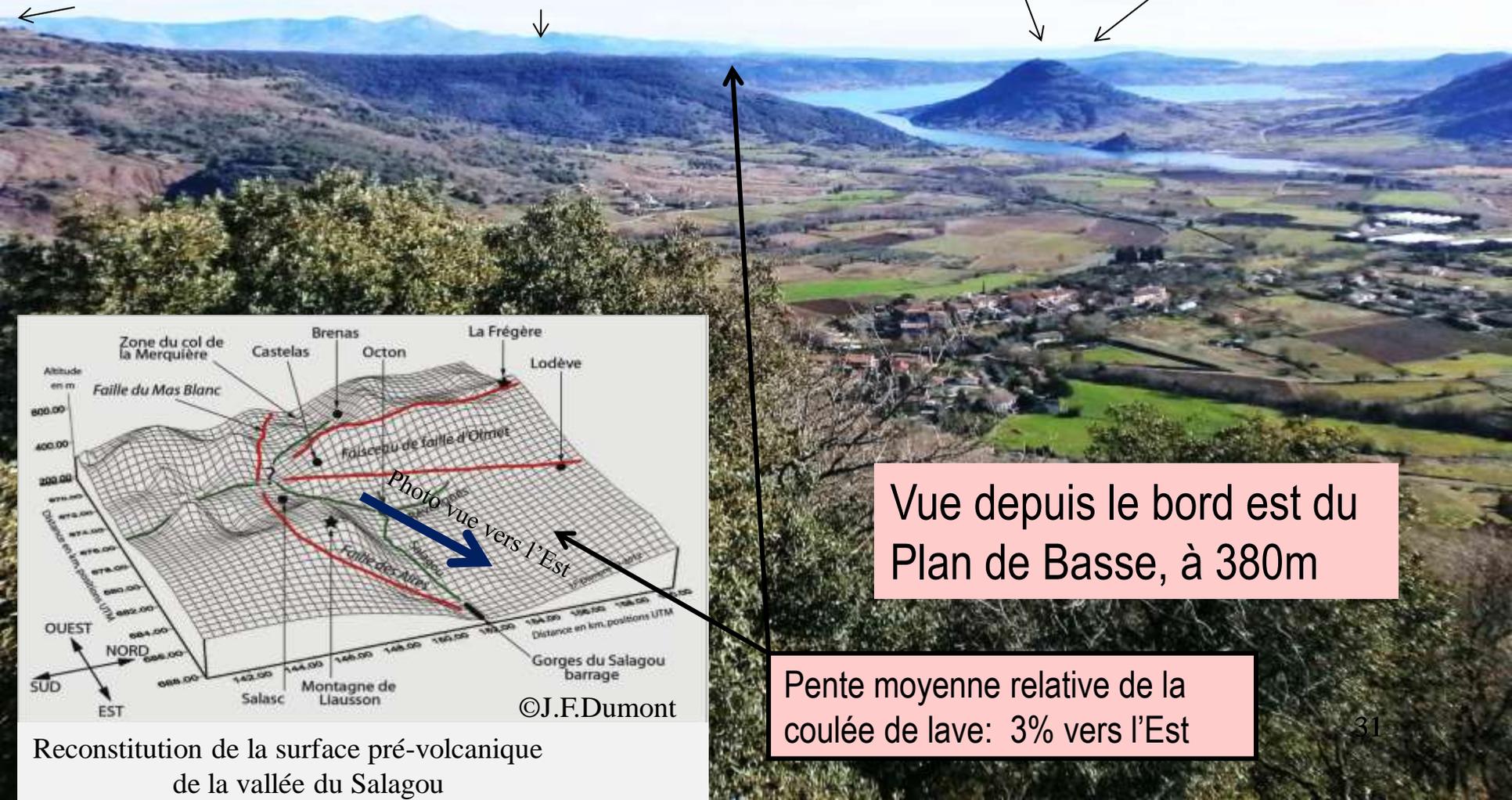
1

2

1

Dans la vallée du Salagou les coulées volcaniques d'il y a 1.5 millions d'année formaient une surface de très faible pente (le « lac de lave » de B. Gèze), que l'on peut reconstituer par l'alignement des sommets des différents plans (Basse, Carol, La Sure, l'Auverne) comme sur la photo.

Carols 407m 2,5km	L'leuzède 350m 3,5km	La Sure 321m 4km	L'Auverne 300-260m 8km
-------------------------	----------------------------	------------------------	------------------------------



Vue depuis le bord est du Plan de Basse, à 380m

Pente moyenne relative de la coulée de lave: 3% vers l'Est

Reconstitution de la surface pré-volcanique de la vallée du Salagou

Sur les marges basses des grands volcans

Puis, à l'approche du littoral, on observe des volcans plus petits formés par des projections de scories et de lapilli,

Ce sont des volcans de type « surtseyen* »

Ils sont caractérisés par l'émission de lave à fleur d'eau, et par un cratère souvent envahi par l'eau de la mer

* Du volcan de Surtsey, en Islande

Les volcans de type surtseyen

En bord de mer les laves sont pulvérisées par l'eau vaporisée des explosions phréatiques, et déposées sous forme de lapilli, des accumulations de fragments de ponce de 2mm à 6cm. Ces dépôts construisent de petits appareils volcaniques situés sur les flancs des grands volcans baignés par la mer.

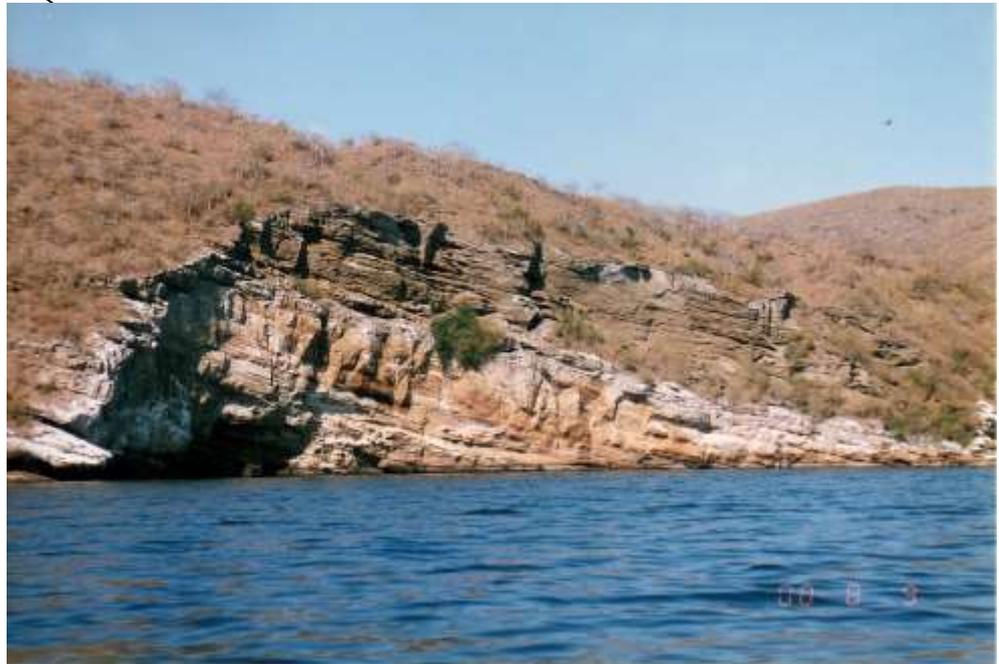
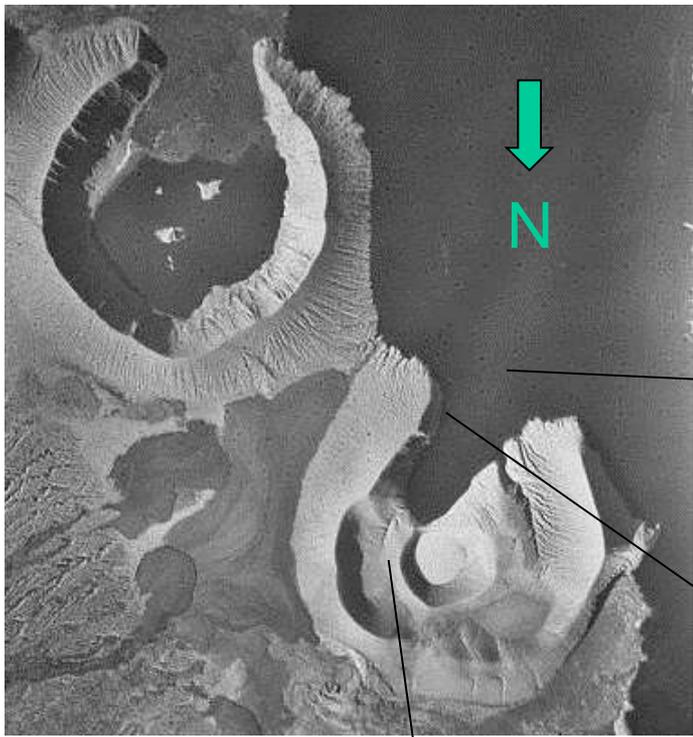
La Caleta Tagus sur Isabela



L'érosion marine dégage des baies à fond sableux offrant des refuges aux bateaux.

Ici la baie a été ultérieurement fermée par une coulée de lave aa/pahoehoe

Les couches de lapilli permettent de reconstituer les formes des appareils volcaniques



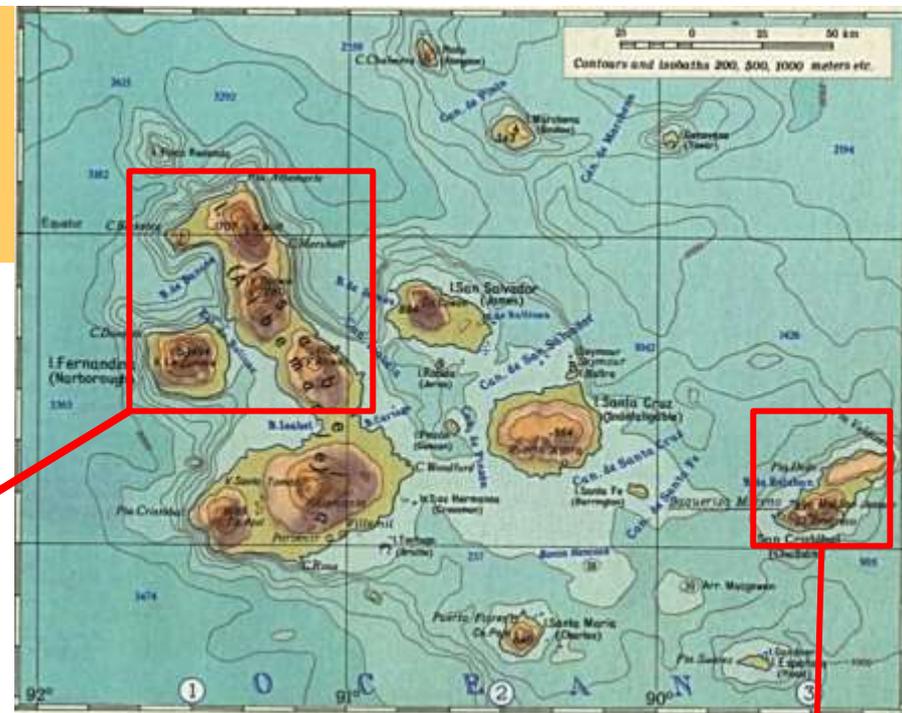
Ce que nous verrons successivement

- 1) Localisation des Galapagos
- 2) Découverte et courte histoire
- 3) *Description*: Nature du volcanisme
- 4) ***Analyse*: Migration du volcanisme**
- 5) *Interprétation*: Du point chaud à la plate-forme
- 6) *Conséquences et implications*: Risque sismique, risque littoral et droit maritime
- 7) Conclusion

4) Migration du volcanisme:

- Le volcanisme est plus ancien vers l'Est
- Avec l'âge le plancher des volcans s'enfonce

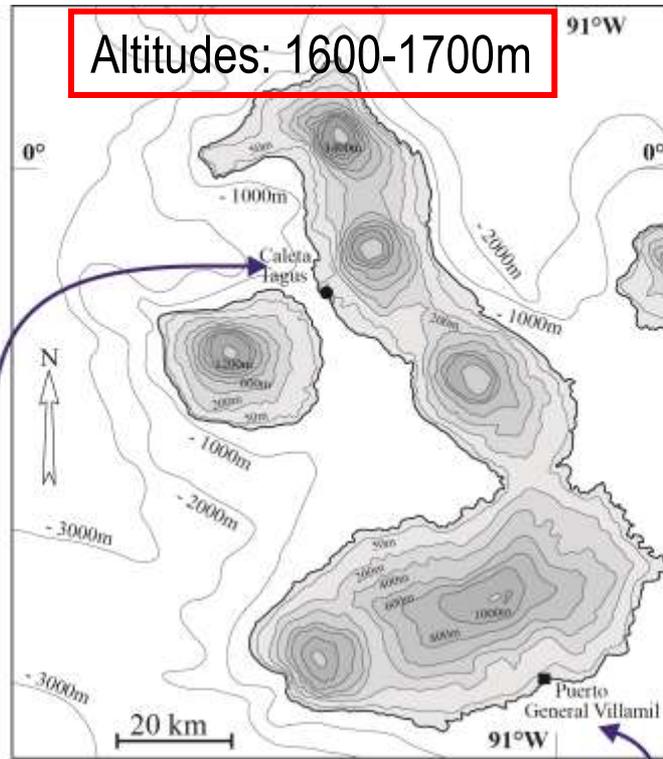
Sur Isabela les volcans sont actifs et dessinent le contour de l'île.



Sur San Cristobal les grands appareils volcaniques sont érodés

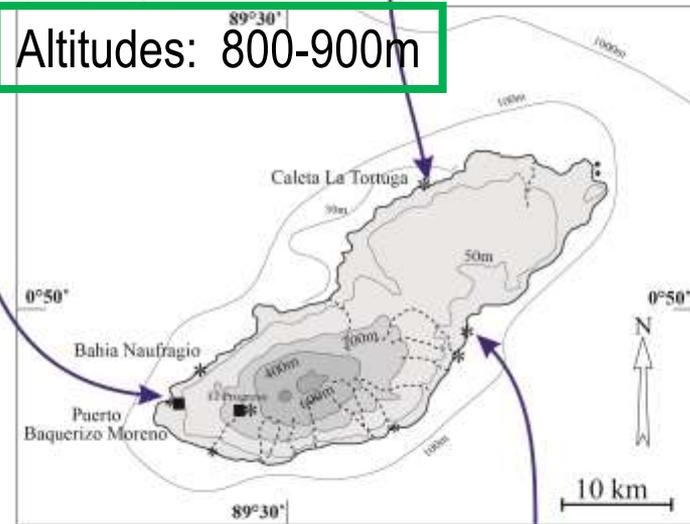


La différence d'âge du volcanisme s'observe aussi sur la morphologie des côtes



E2a Costa aserrada originada por flujos de lava plástica

E2b Costa abrupta erosionada en un volcán de tuff



Isla San Cristobal



E3a Costa volcanica (tuff) formada por un cono



E3b Costa con salientes rocosos formada por tuneles de lava liquida

Isla Isabela

Morphologie côtière de volcanisme actif

Côte en érosion et volcanisme inactif depuis au moins 50 000 ans

Dans l'univers des roches noircies, on trouve sur les îles les plus anciennes des plages de sable blanc...



Les datations radiométriques K/Ar montrent que les volcans sont de plus en plus anciens vers l'Est

EST
DISTANCE vers l'EST
OUEST

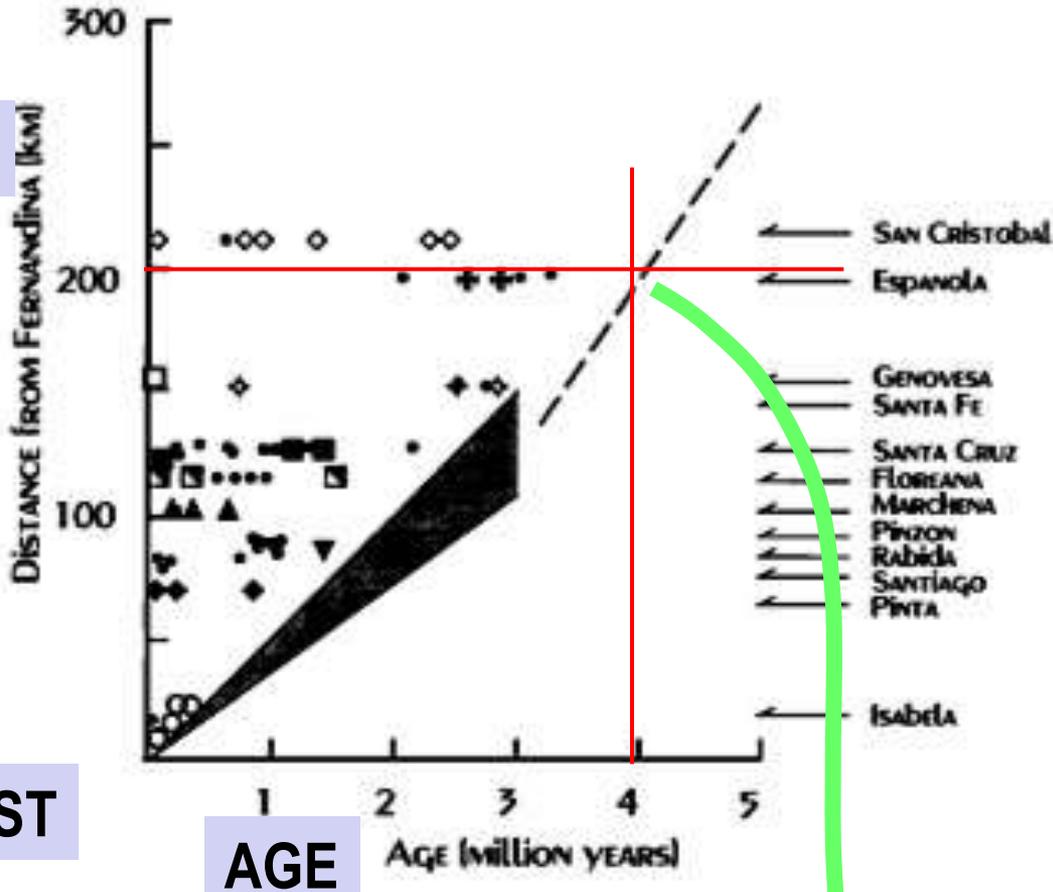


TABLE 2. K-Ar Age Determinations on Galapagos Basalts

Sample	Location	Percent K	Percent Radiogenic ⁴⁰ Ar	Age $\pm 1\sigma$, Ma
Espanola				
GB6-2	Gardner Bay	0.645	3.08	2.61 \pm 0.15
GB6-3	Punta Suarez	0.391	24.18	2.77 \pm 0.04
Floreana				
FL-3	Main Series	0.894	3.66	1.52 \pm 0.08
E-110	Flank Series	0.365	0.12	0.08 \pm 0.13
E-108	Flank Series	0.365	0.72	0.35 \pm 0.11
Genovesa				
GB6-8		0.072	0.00	0.00
Isabela				
E-237	Volcan Darwin	0.582	0.00	0.00
E-142	Volcan Alcedo	2.440	7.88	0.15 \pm 0.02
			6.97	0.12 \pm 0.01
DG-48	Volcan Alcedo	2.930	3.90	0.07 \pm 0.024
DG-43	Volcan Alcedo	0.430	0.00	0.00
DG-27	Volcan Alcedo	0.450	0.52	0.15 \pm 0.05
Marchena				
E-10		0.172	0.88	0.10 \pm 0.04
M-34		0.299	4.69	0.56 \pm 0.04
M-51		0.241	1.42	0.11 \pm 0.02
M-67		0.176	0.73	0.12 \pm 0.04
M10		0.172	0.88	0.10 \pm 0.04
Pinta				
E-8		0.627	0.28	0.03 \pm 0.025
P-21		0.357	2.81	0.89 \pm 0.24
P-30		0.400	0.00	0.00
Pinzon				
E-68b		0.504	3.24	1.40 \pm 0.08
E-70		1.20	3.04	1.04 \pm 0.07
San Cristobal				
SC-1	Southwest	0.838	1.43	0.77 \pm 0.18
SC-20	Southwest	0.888	6.82	1.33 \pm 0.04
SC-23	Southwest	0.473	33.27	2.35 \pm 0.03
SC-28	Southwest	0.639	15.36	0.89 \pm 0.03
SC-34	Southwest	0.539	21.04	2.33 \pm 0.039
SC-61	Northeast	0.540	0.27	0.05 \pm 0.039
Santa Cruz				
GB6-5	Las Plumas	0.271	3.67	1.31 \pm 0.10
SC-108	NE Pinnacle	0.573	6.26	1.12 \pm 0.07
SC-151	South Shield	0.662	0.31	0.03 \pm 0.025
			1.19	0.024 \pm 0.011
Santa Fe				
GB6-4		0.516	16.57	2.76 \pm 0.04
GB6-5		0.800	1.35	0.72 \pm 0.09
SF-13		0.515	7.27	2.50 \pm 0.08
Darwin Island				
DA-1		0.303	0.45	0.39 \pm 0.15
DA-2		0.266	0.48	0.41 \pm 0.16
Wolf Island				
W90-2		0.249	4.92	1.60 \pm 0.07
W90-4		0.241	3.97	0.88 \pm 0.13
Roco Redonda				
E-156		0.534	0.19	0.053 \pm 0.054

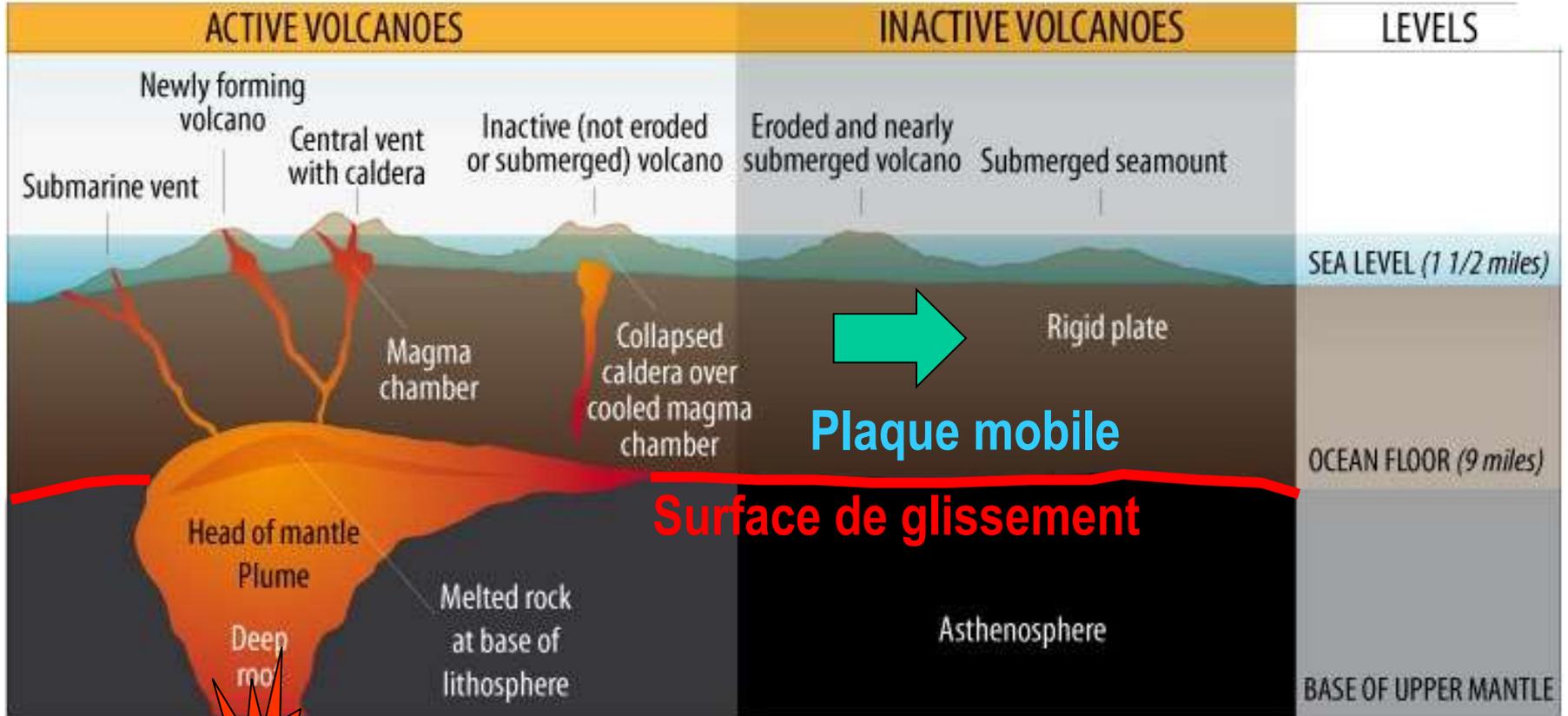
Fig. 5. Present distance of Galapagos lavas from the westernmost eruptive center (Fernandina) plotted against their K-Ar ages. Shaded region shows the position predicted for a fixed hotspot centered beneath Fernandina. Dashed line illustrates the pre-3 Ma motion of 65 mm/yr.

200km en 4 millions d'années représente ~ 5cm/an

Ce que nous verrons successivement

- 1) Localisation des Galapagos
- 2) Découverte et courte histoire
- 3) *Description*: Nature du volcanisme
- 4) *Analyse*: Migration du volcanisme
- 5) *Interprétation*: Du point chaud à la plate-forme**
- 6) *Conséquences et implications*: Risque sismique, risque littoral et droit maritime
- 7) Conclusion

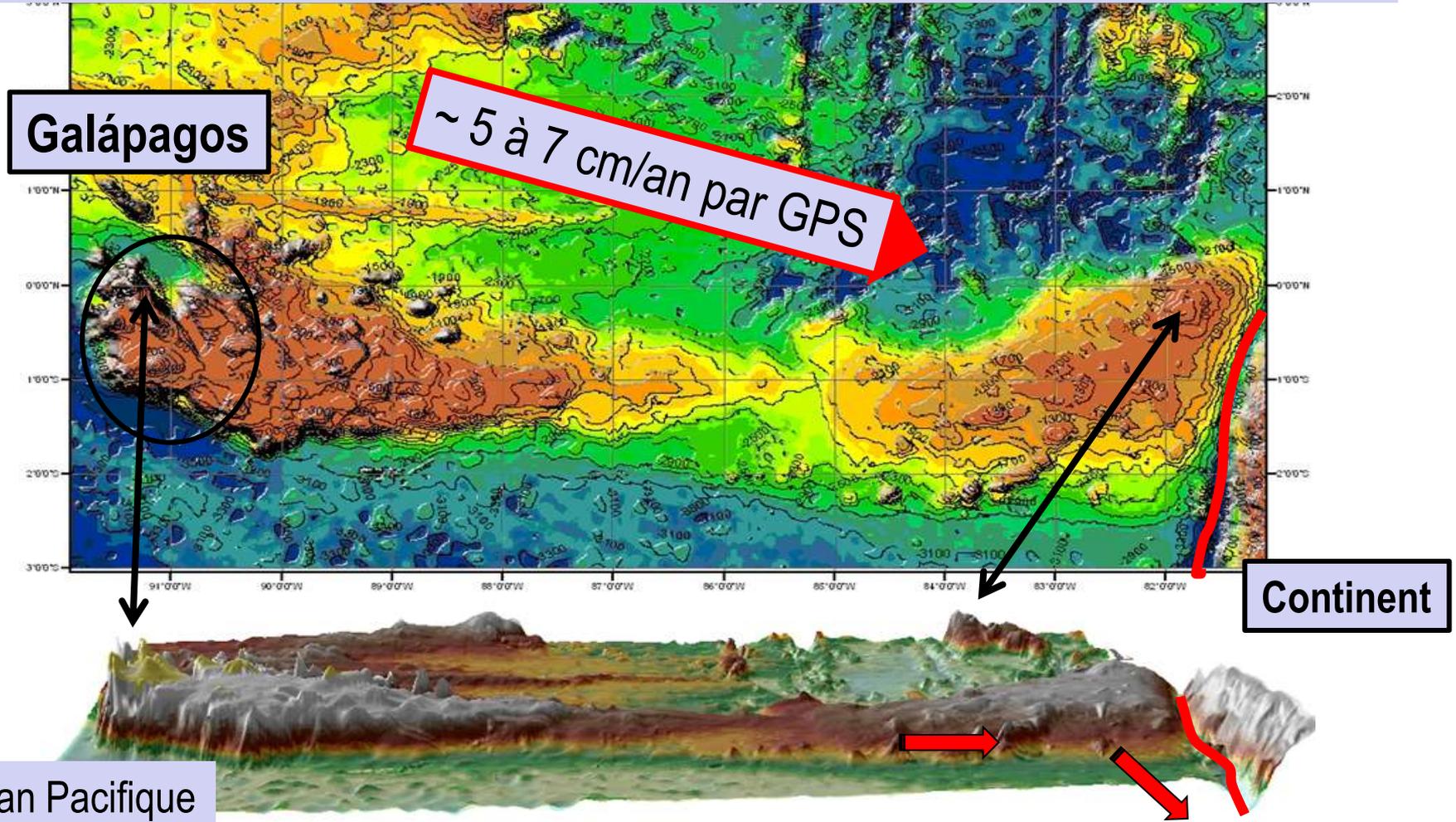
Fonctionnement d'un point chaud



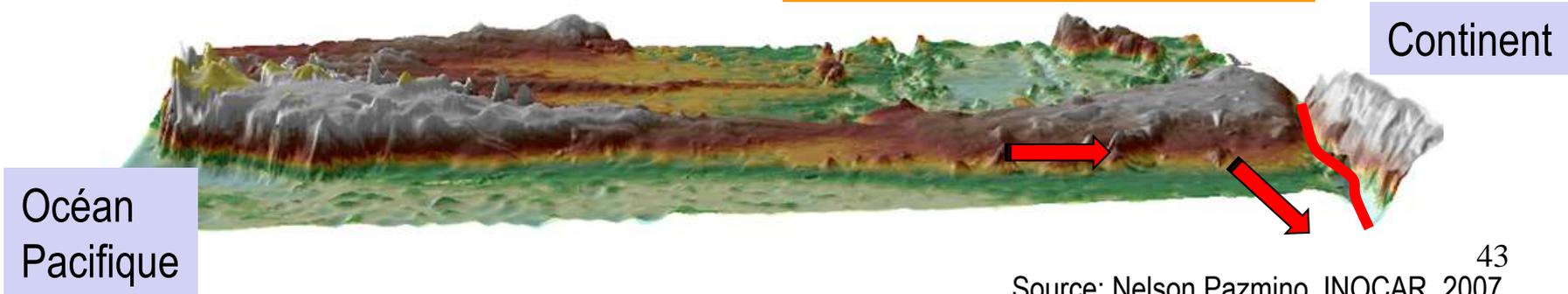
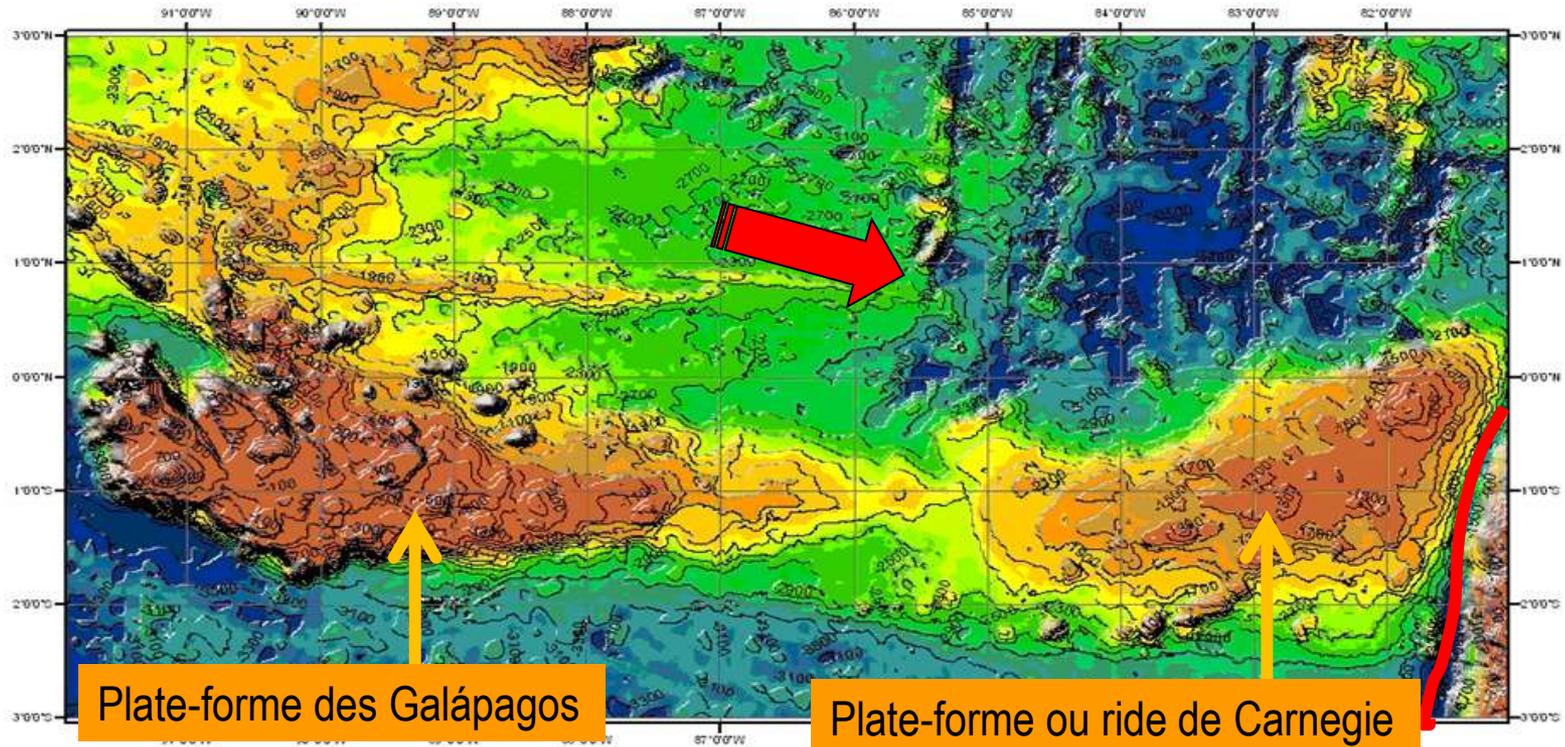
Point chaud fixe / axe de la terre

5) Du point chaud à la plate-forme

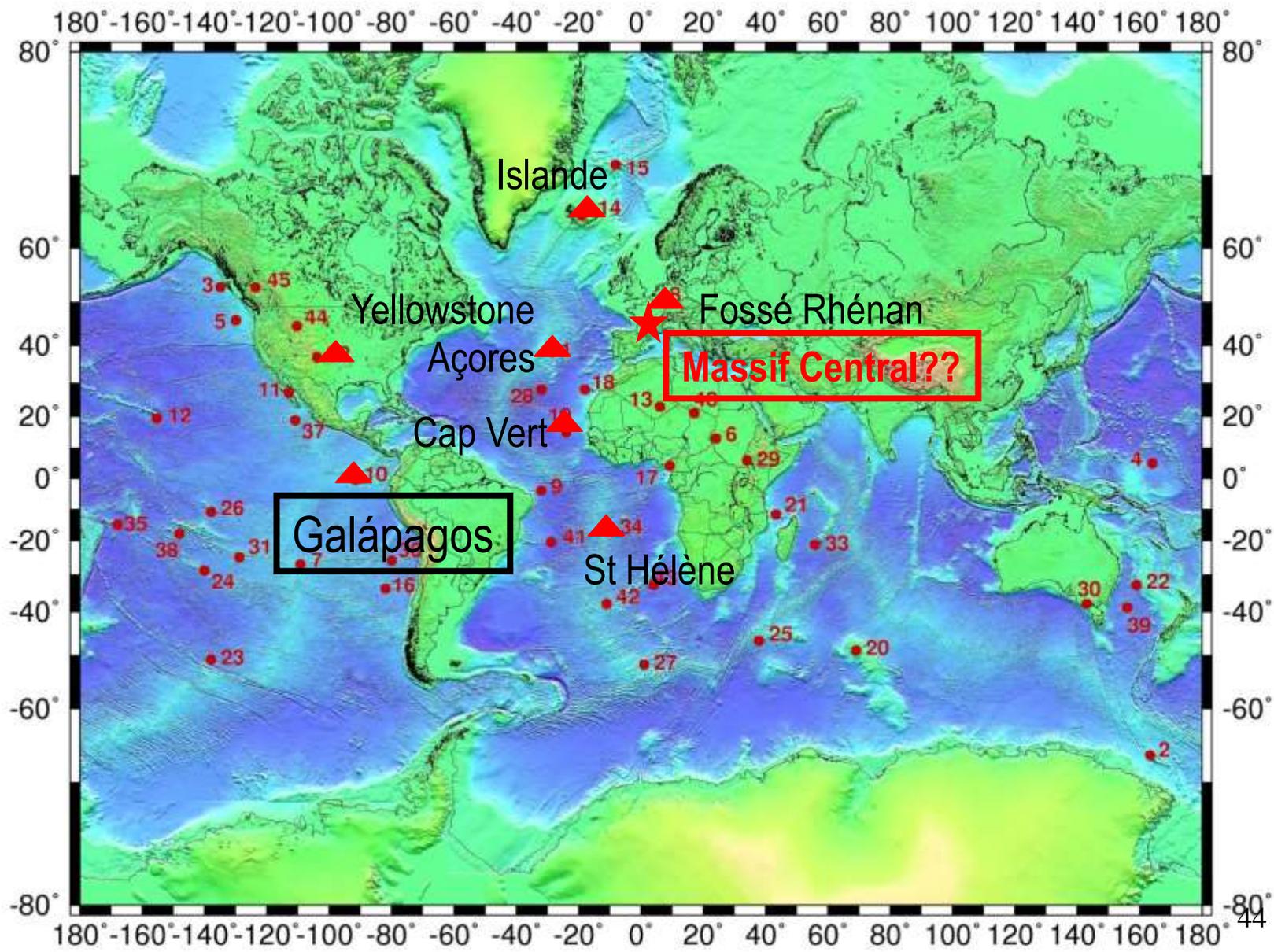
En fait on sait par les positions GPS (notamment), que ce n'est pas la source du volcanisme qui se déplace mais que **le fond de l'océan se déplace sur une source fixe de volcanisme**, nommée « **point chaud** » (Hot Spot)



En se déplaçant le volcanisme du point chaud forme sur la plaque mobile qui est au-dessus une plate-forme ou haut fond volcanique. Cette plate-forme s'étend jusqu'au continent où elle entre dans la zone de subduction sud-américaine.



Les points chauds dans le monde

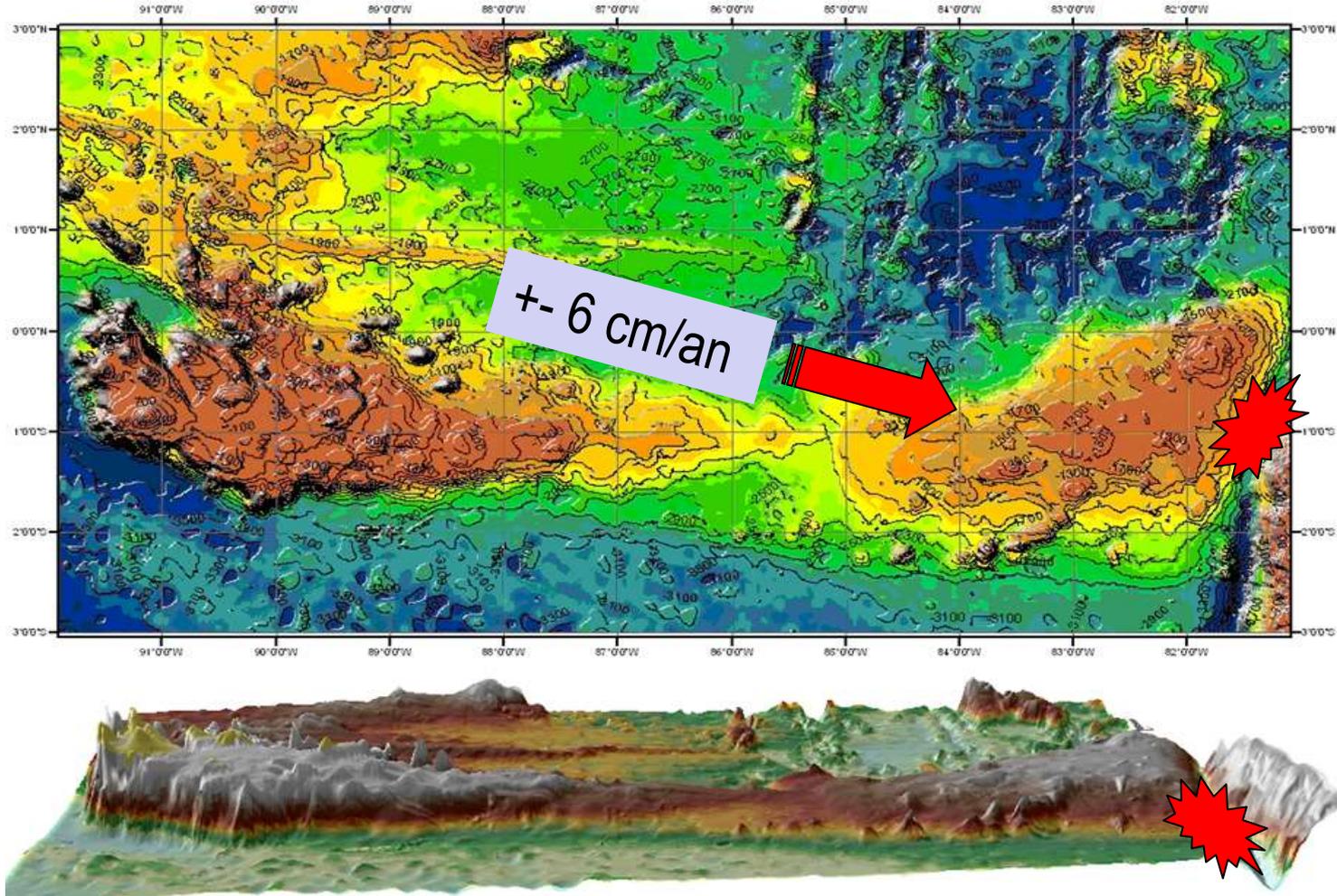


Ce que nous verrons successivement

- 1) Localisation des Galapagos
- 2) Découverte et courte histoire
- 3) *Description*: Nature du volcanisme
- 4) *Analyse*: Migration du volcanisme
- 5) *Interprétation*: Du point chaud à la plate-forme
- 6) ***Conséquences et implications: Risque sismique, risque littoral et droit maritime***
- 7) Conclusion

Risques majeurs liés à la sismicité

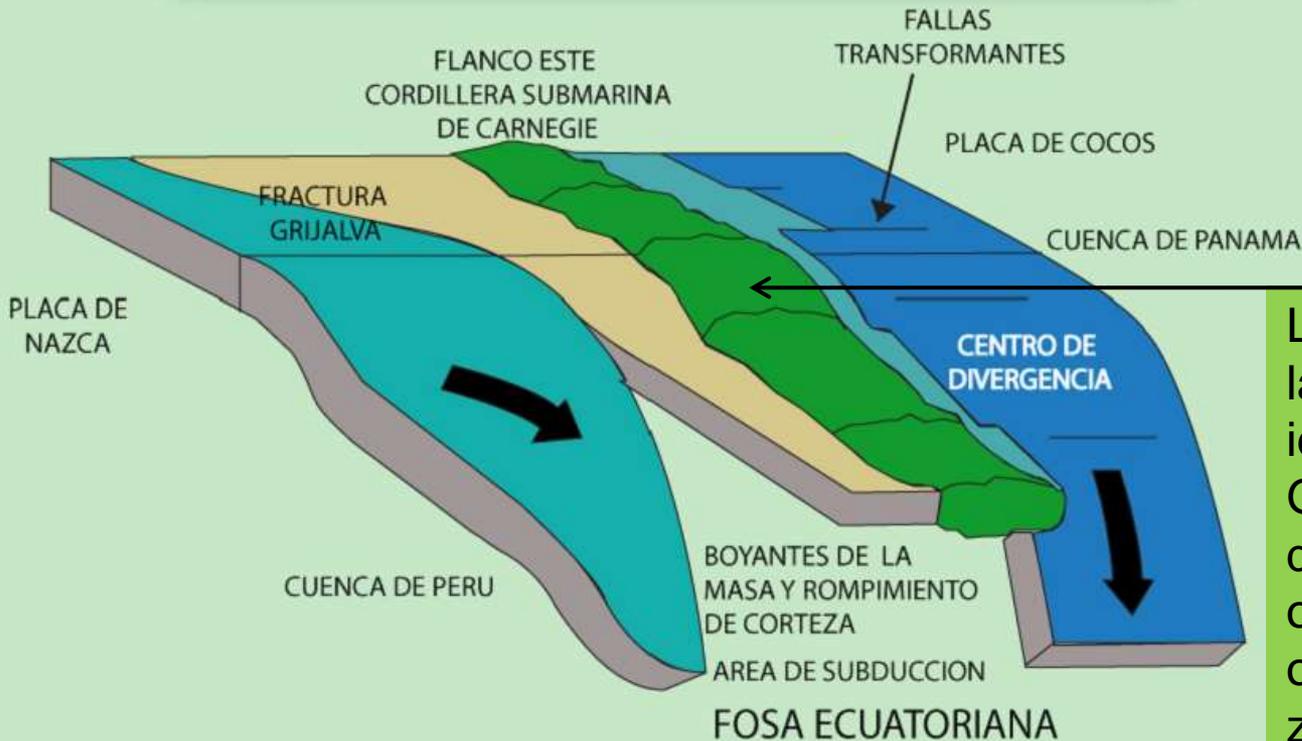
Le relief de la plate-forme de Carnegie forme une résistance supplémentaire à l'endroit où elle s'enfonce sous le continent américain.



Source; Nelson Pazmino, INOCAR, 2007

Modèle de subduction de la plate-forme Galápagos-Carnegie sous le continent sud-américain

CORTEZA OCEANICO QUE INGRESA AL AREA DE SUBDUCCION Y COLISIONA CON LA PLATAFORMA CONTINENTAL ECUATORIANA



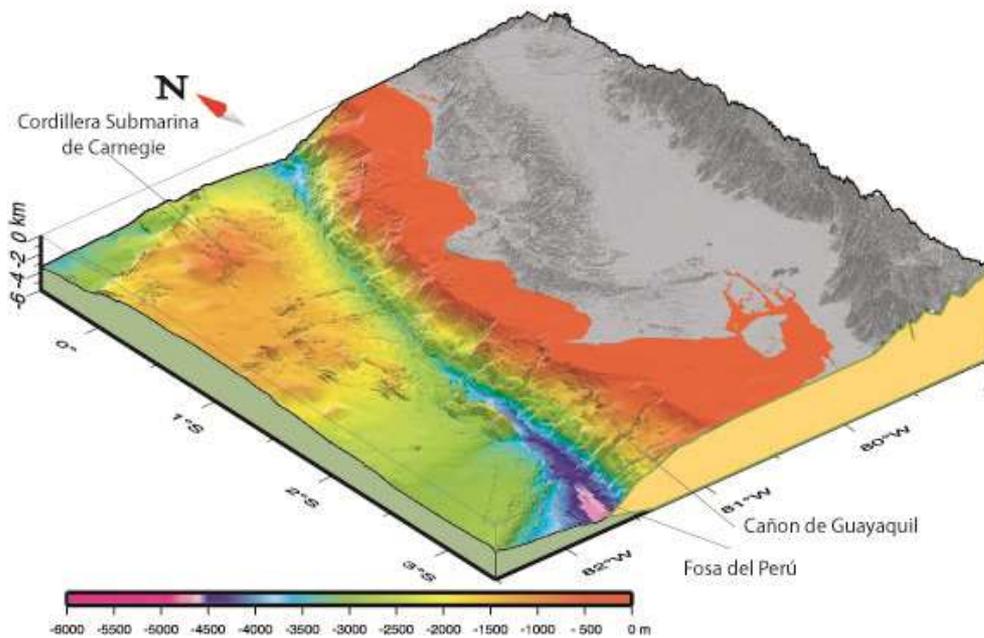
Les roches volcaniques de la Cordillère de Carnegie, identiques à celles des Galápagos, sont moins denses que celles du fond océanique environnant et ont du mal à entrer dans la zone de subduction, formant une résistance contre le bord du continent sud-américain

Cet effet de butoir entraine le soulèvement de la côte équatorienne en face de la ride de Carnegie.

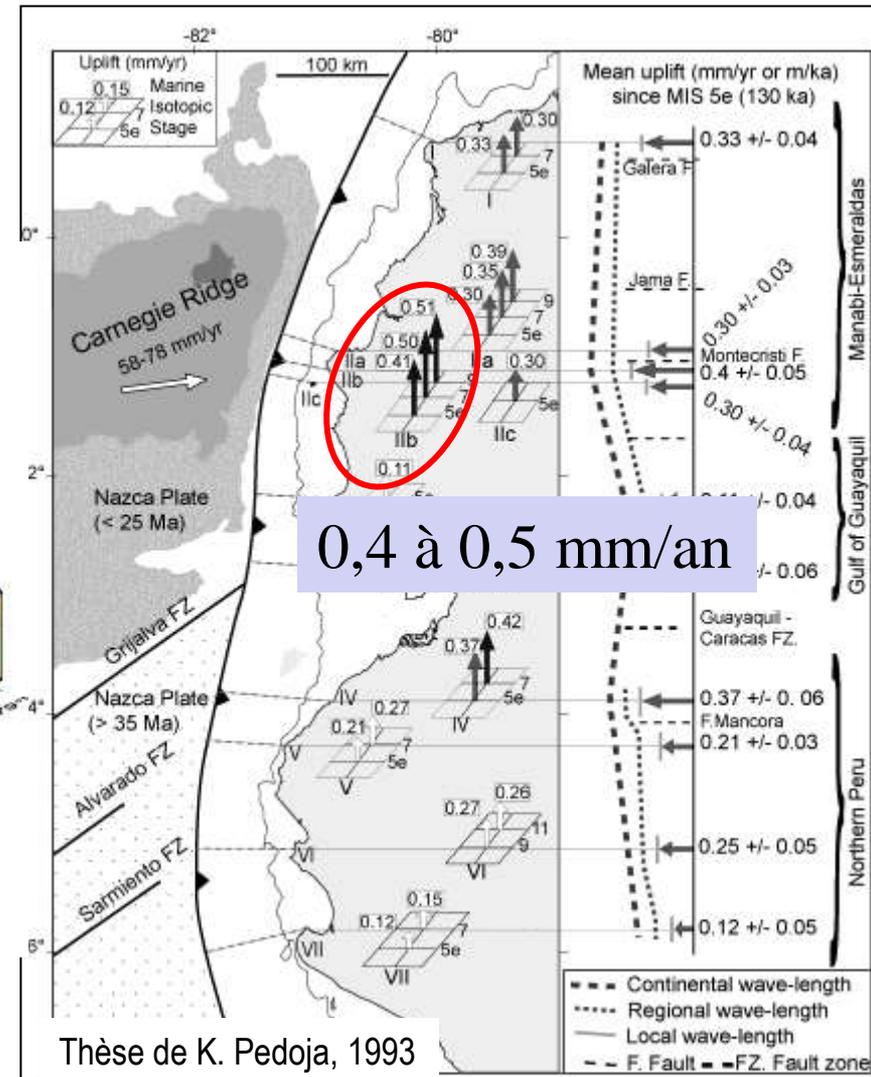
En face de la plate-forme de Carnegie la côte d'Equateur se soulève de 0,4-0,5 mm par an.

Un cumul de plus de 300m est observé durant le Quaternaire

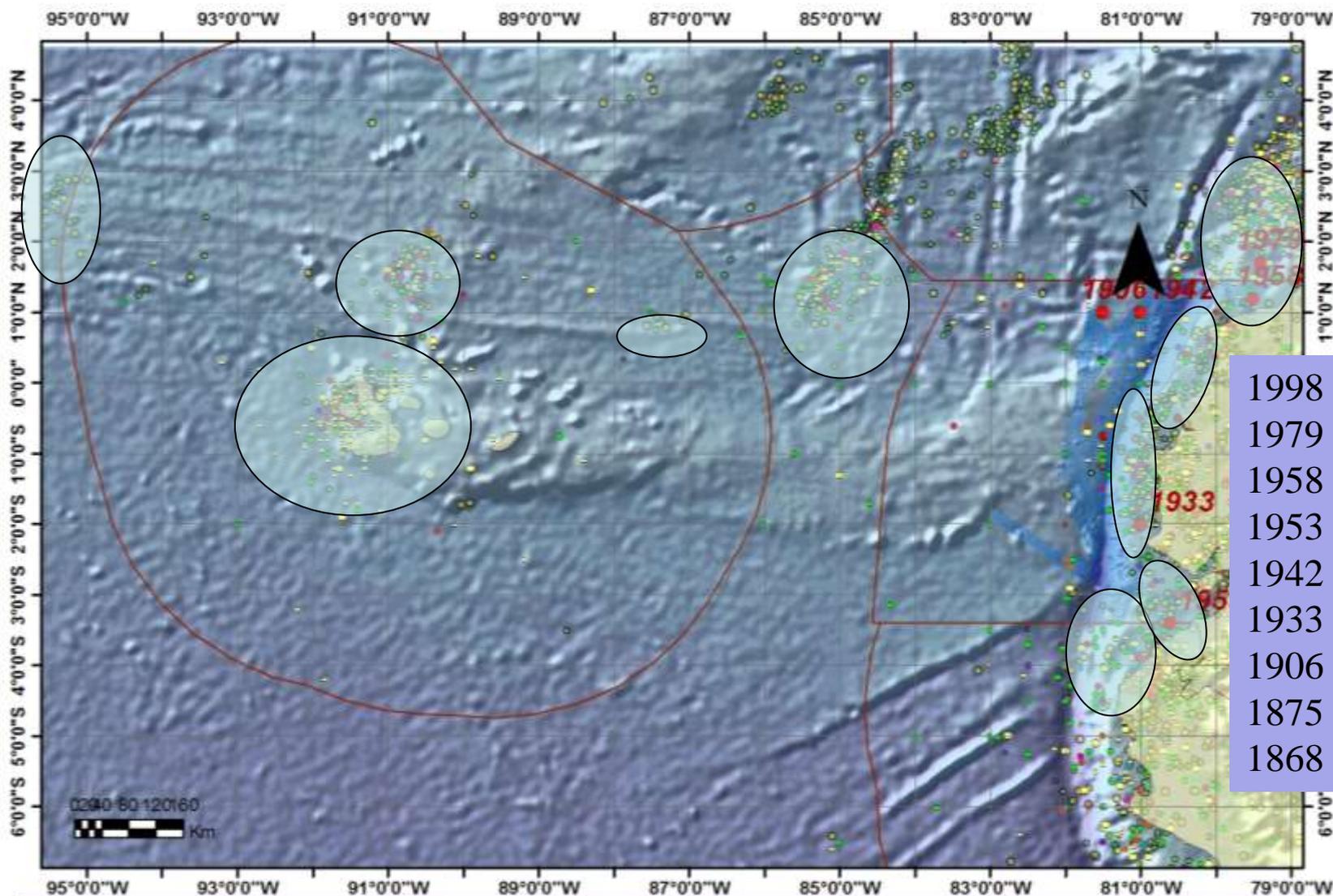
Morfología Submarina del Area Sur de la Plataforma Ecuatoriana



Source; Nelson Pazmino, INOCAR, 2007



Des séismes destructeurs sont aussi localisés à cet endroit



DISTRIBUCION DE SISMOS EN EL ECUADOR
 Profundidad indicada en la carta
 Tsunamis históricos

Elaborado por: INOCAR⁴⁹

Source; Nelson Pazmino, INOCAR, 2007





Implication sur de Droit de la Mer



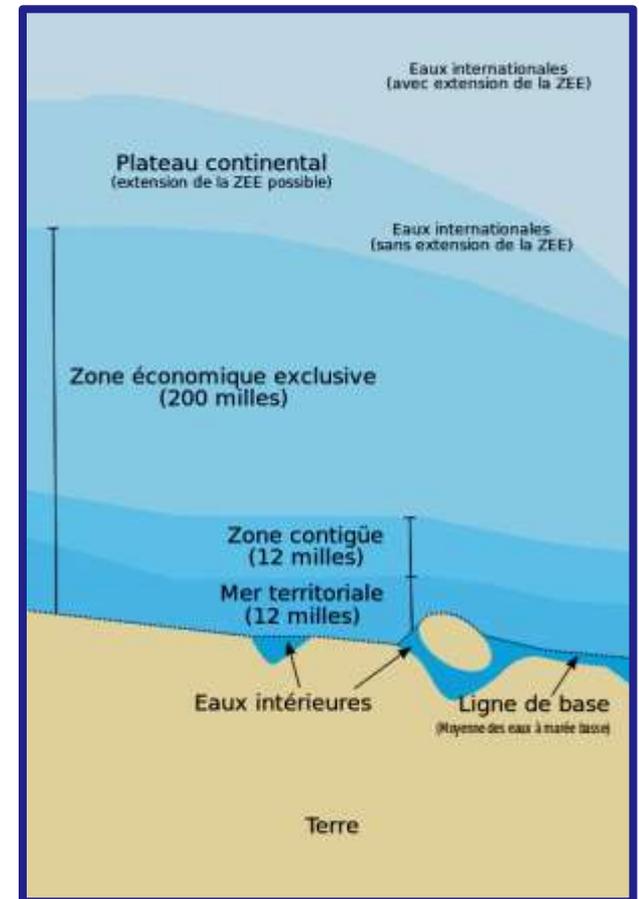
Et si les relations géologiques entre les Galápagos / Carnegie / et le Continent permettaient à l'Equateur d'étendre ses droits maritimes et sa zone économique?

La CONVEMAR, Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer, reçoit les dossiers scientifiques des pays demandant l'extension à 200 milles de leur plateau continental

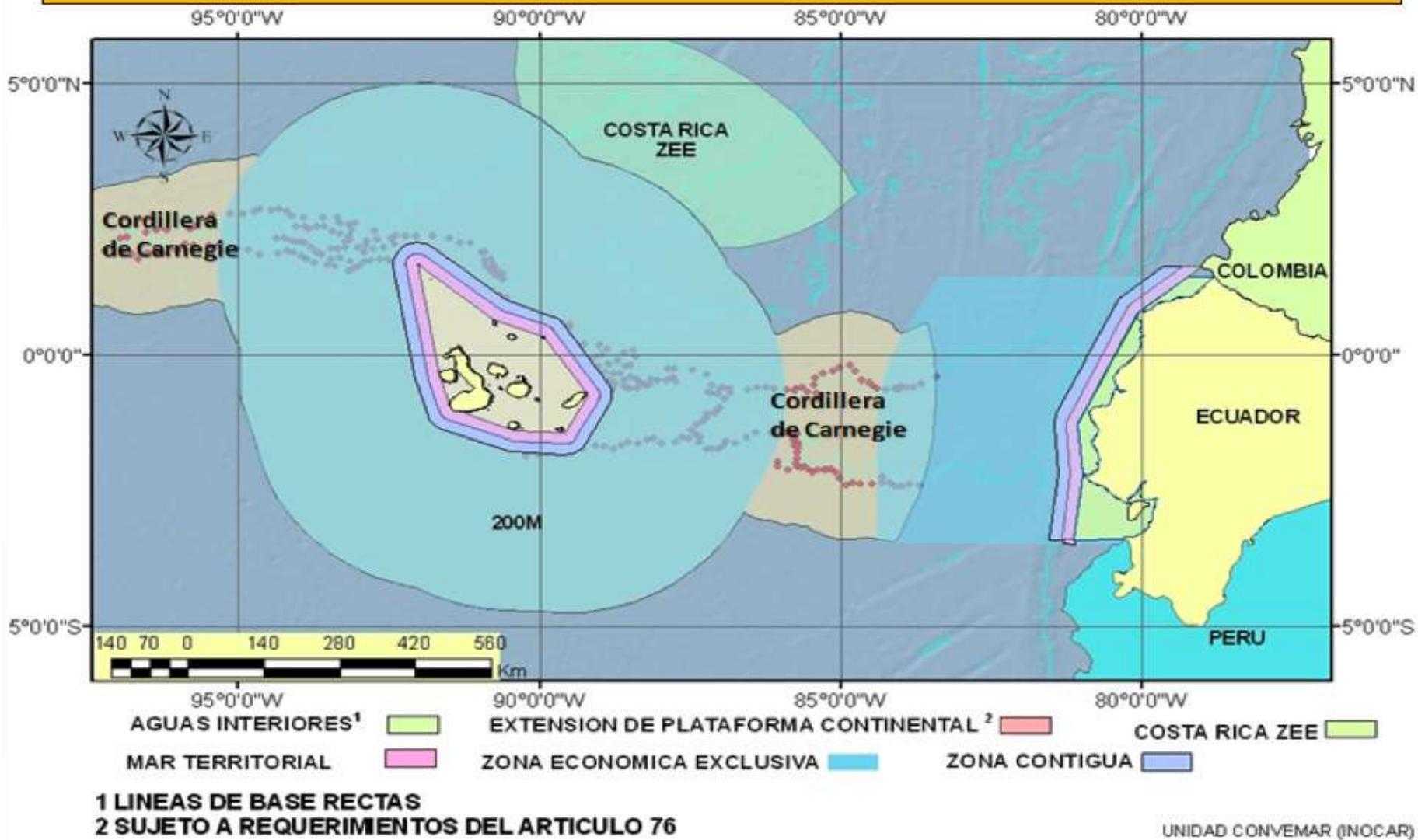
PARTIE VI : Plateau continental

Article 76 : Définition du plateau continental

1. Le plateau continental d'un Etat côtier comprend les fonds marins et leur sous-sol au-delà de sa mer territoriale... jusqu'à 200 milles marins des lignes de base ...



EXTENSIÓN DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL Y LA CORDILLERA DE CARNEGIE



(Gráfico 7. Fuente: Unidad CONVEMAR (INOCAR))

Ce que nous verrons successivement

- 1) Localisation des Galápagos
- 2) Découverte et courte histoire
- 3) *Description*: Nature du volcanisme
- 4) *Analyse*: Migration du volcanisme
- 5) *Interprétation*: Du point chaud à la plate-forme
- 6) *Conséquences et implications*: Risque sismique, risque littoral et droit maritime
- 7) **Conclusion**

B.A.E. ORION Navire océanographique de l'Equateur



La connaissance des risques naturels majeurs et les enjeux économiques et géopolitiques justifient les investissements en études scientifiques autour des Galápagos : géologie, géophysique, milieu marin chimique et biologique, climat, océanographie...

Crédits et remerciements

Nombre des résultats scientifiques qui sont utilisés ici sont repris des publications faites à la suite des études qui ont été menées dans le cadres de programmes de coopération entre l'IRD (Institut français de Recherche pour le Développement) et l'INOCAR (Institut Océanographique de la Marine équatorienne) durant les années 90 à 2008, et à une partie desquelles les auteurs ont participé.

D'autres éléments historiques, scientifiques ou iconographiques proviennent de la bibliographie courante des Iles Galápagos, ainsi que des figures et photos disponibles sur Internet

*Merci de votre
attention*



Sources consultées

1. Constant, P. 1993. Archipel des Galapagos. Pierre Constant Ed., ISBN: 2-9503691-3-8, 299pp
2. D'Ozouville, N., Auken, E., Sorensen, K., Violette, S., De Marsilly, G., Deffontaines et B., Merlen, G., 2008. Extensive perched aquifer and structural implications revealed by 3D resistivity mapping in a Galapagos volcano. *Earth and Planetary Science Letters*, p518-522.
3. Dumont, J.F., Santana, E. et Thouret, J.C., 2002. Volcanic Land Aggradation versus wave differential erosion: coastal landforms of Galapagos. Abstract of the 5th International Conf. on Geomorphology Tokyo.
4. Foucault, A. et Raoult, J.-F., 1995. Dictionnaire de Géologie. Masson, 324pp
5. Geist, D., 1997. Surgimiento de las Islas Galapagos. *Noticias de Galapagos*, v.56 et 57, version en espanol, p54-60.
6. Geist, D.J., Fornari, D.J., Kurz, M.D., Harpp, K.S., Soule, S.A., Perfit, M.R. et Koleszar A.M., 2006. *Geochimistry, Geophysics, Geosystems G3*, vol.7, N°12, 19 December 2006, Electronic Journal, AGU publisher, 27pp
7. Pazmino, A. 2005. Plataforma Continental del Ecuador. *Acta Oceanografica del Pacifico*, vol.13, n°1, 2005-2006, p257-269.
8. Pedoja, K., Dumont, J.F., Lamothe, M., Ortlieb, L., Collot, J.Y., Ghaleb, B., Auclair, M., Alvarez, V. et Labrousse, B. 2006. Plio-Quaternary uplift of the Manta Peninsula and La Plata Island and the subduction of the Carnegie Ridge, central coast of Ecuador. *Journal of South America Earth Sciences*, 22:1-21.
9. Pedoja, K., Ortlieb, L., Dumont, J.F., Lamothe, M., Ghaleb, B., Auclair, M. et Labrousse, B., 2006. Quaternary coastal uolift along the Talara Arc (Ecuador, Northern Peru) from new marine terrace data. *Marine Geology*, 228:73-91.
10. Regnaud H., 1985. Morphologie littorale des îles Galapagos. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 29 (2) p153-168
11. Sinton, C.W., Christie, D.M. et Duncan, R., 1996. Geochronology of Galapagos Seamounts. *Journal of Geophysical Research*, vol.101, N°B6, p:13,689-13700.
12. Standish, J., Geist, D., Harpp, K. et Kurz, M.D., 1998. The emergence of a Galapagos shield volcano, Roca Redonda. *Springer-Verlag, Contrib. Mineral Petrol.*, 133:136-148.
13. Velasquez, A., 2008. CONVEMAR en el Ecuador: recursos maritimos, situacion geopolitica y solucion de conflictos. *Maestria en Relaciones Internacionales*, Universidad Simon Bolivar, sede Ecuador, 136pp.
14. Vila, J.M., 2000. Dictionnaire de la tectonique de plaques et de la géodynamique. Gordon and Breach Science Publishers, coll. Géosciences, 541pp
15. Walker, G., 1993. Basaltic-Volcano Systems. Geological Society, London, Special Publications, v. 76; p3-38.
16. White, W.M., McBirney, A.R., et Duncan, R. A., 1993. Petrology and geochemistry of the Galapagos Islands: Portrait of a Pathological Mantle Plume. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 98, No. B11, P19513-19563, November 10, 1993.