

Vulkanizmus a jeho následky

III b.

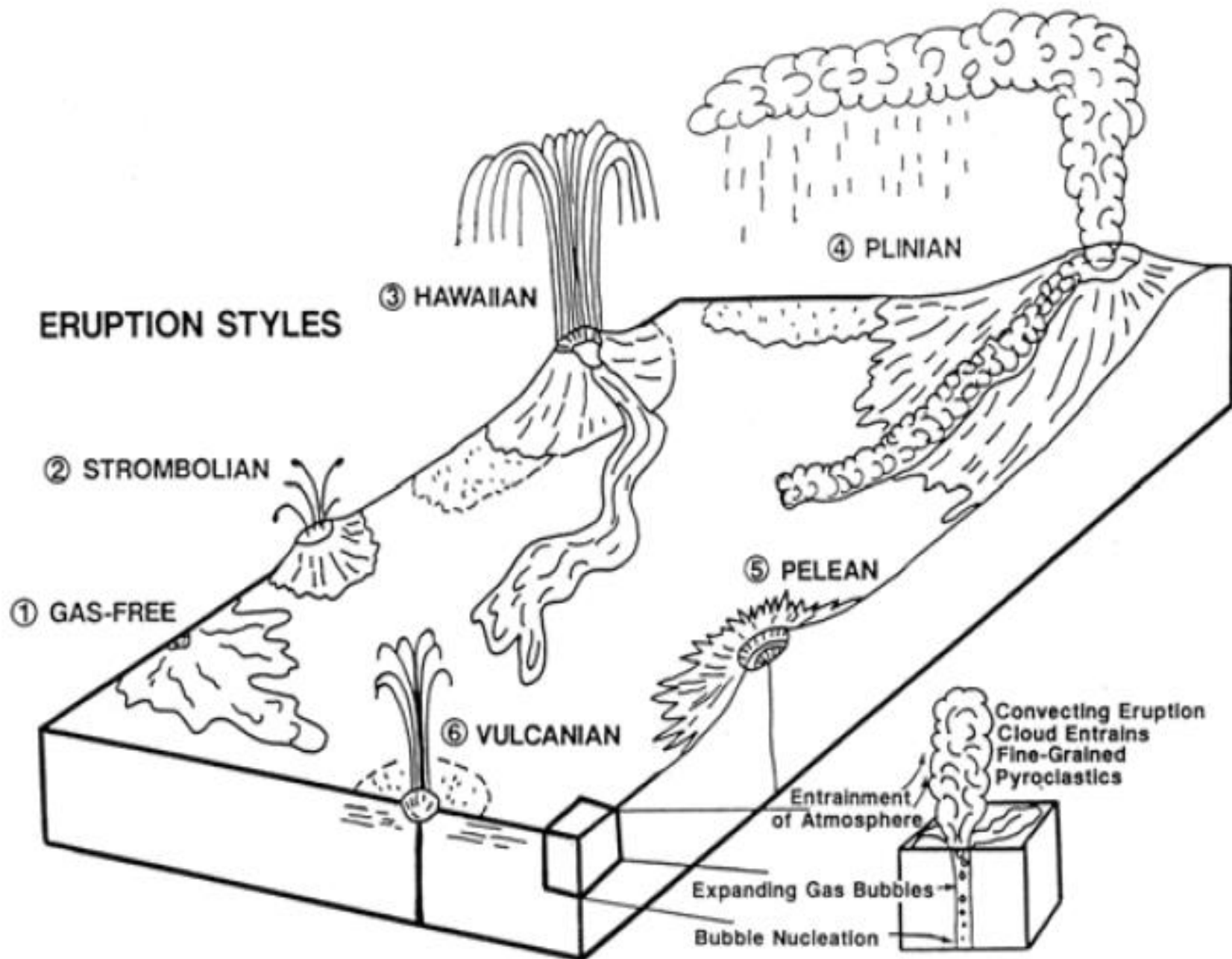
III. Produkty vulkanické aktivity

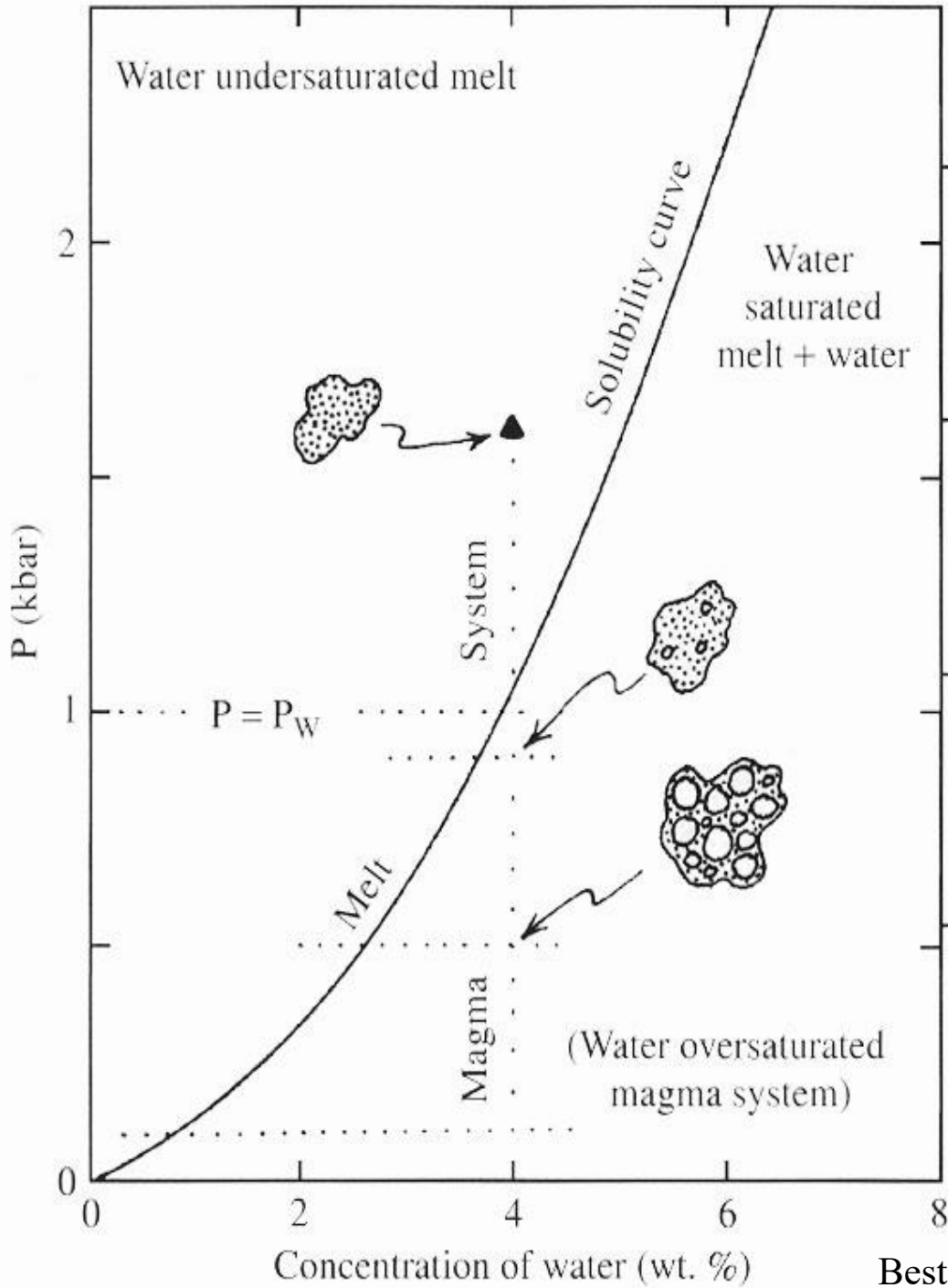
David Buriánek

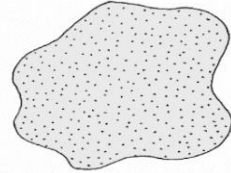
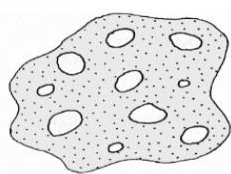
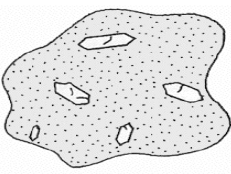
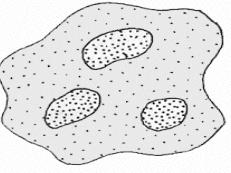
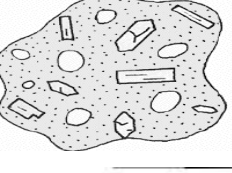
B. Produkty sopečných explozí

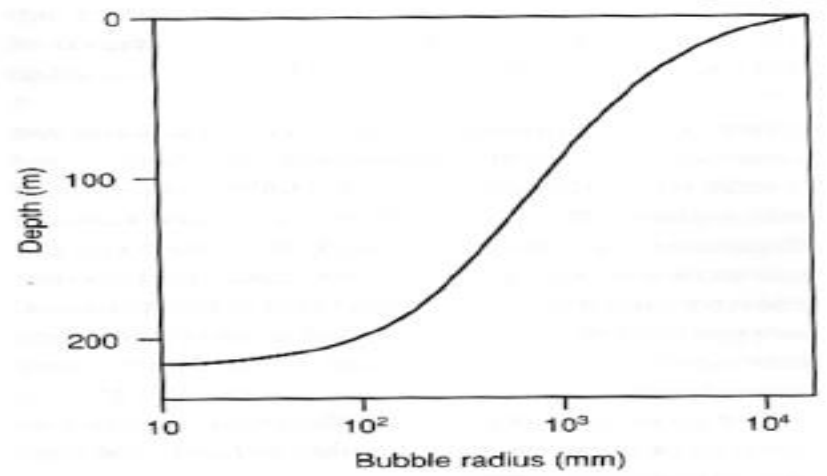


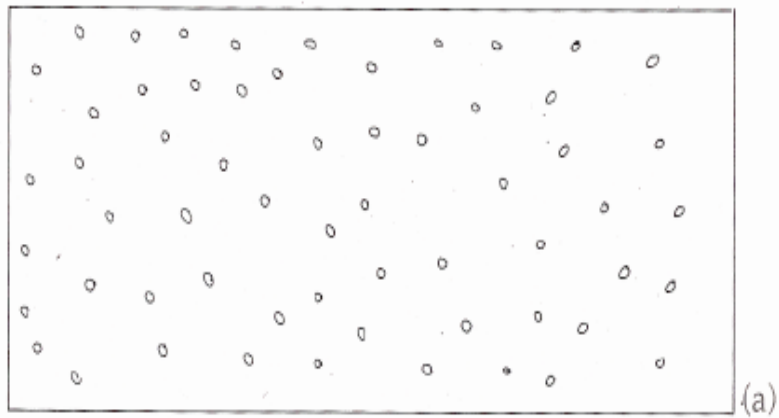
Malý pyroklastický proud na Etně, Sicílie, 25.10.1999. Photo: R. Carniel



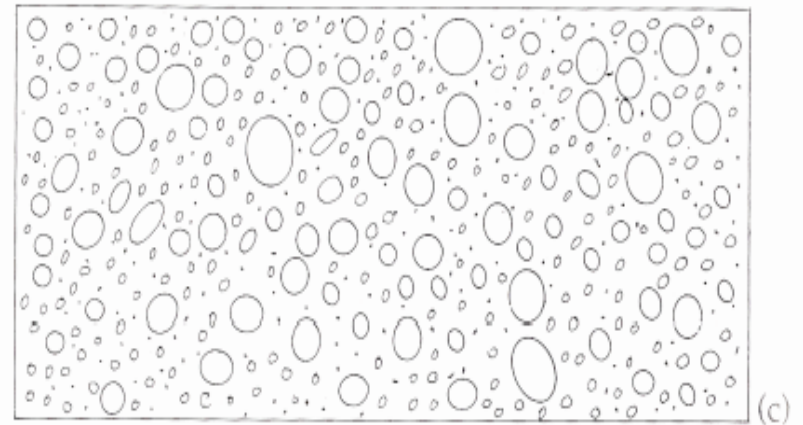


- jednofázový systém
(fluida jsou rozpuštěna v tavenině) 
- dvojfázový systém
(fluida + tavenina) 
- dvojfázový systém
(olivín + tavenina) 
- dvojfázový systém (2 taveniny) 
- čtyřfázový systém
(tavenina + fluidy + olivín + plagioklas) 

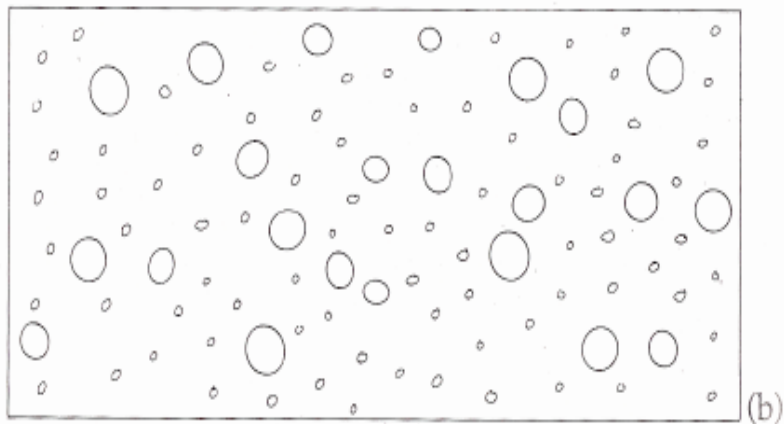




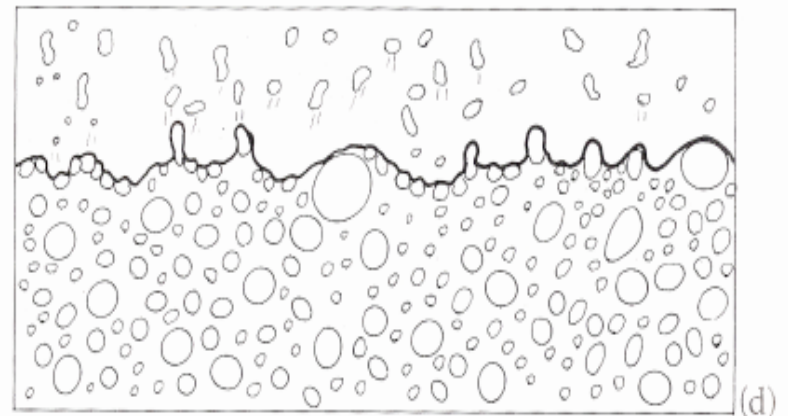
Bubble Nucleation



Froth Saturation



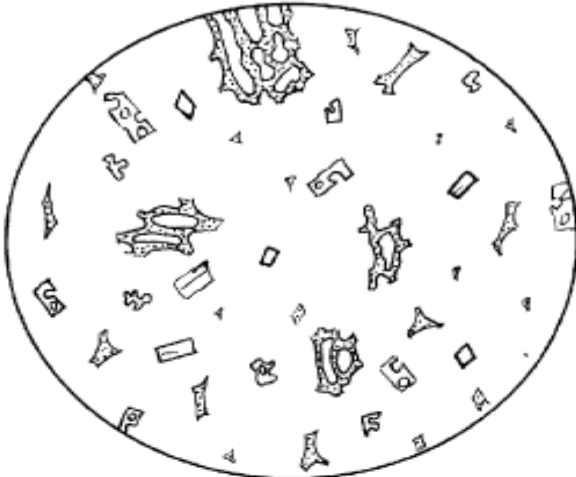
New Nuclei and Growth



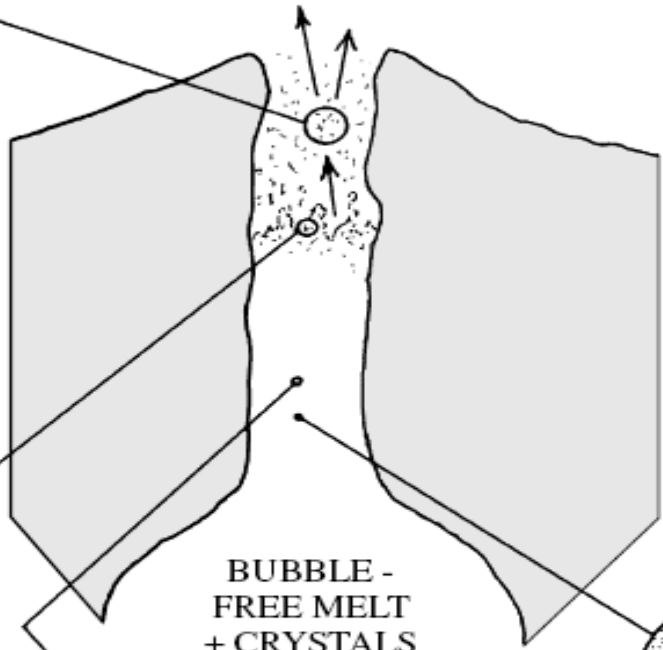
Fragmentation

65-70 obj. % fluid

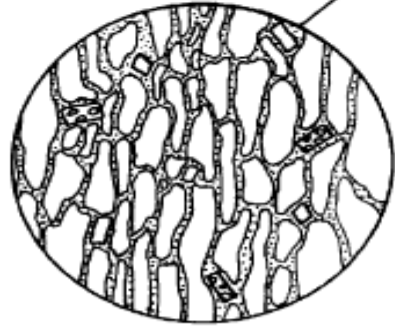
DISPERSED
PYROCLASTS IN A
GREATLY EXPANDED
CONTINUOUS GAS PHASE



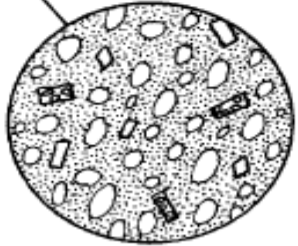
Pyroclasts consisting of
(1) euhedral phenocrysts
(2) irregular, exploded
phenocrysts
(3) exploded vitroclasts



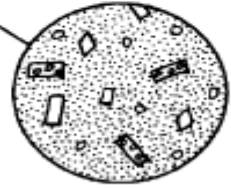
DISPERSED
BUBBLES IN A
CONTINUOUS
MELT



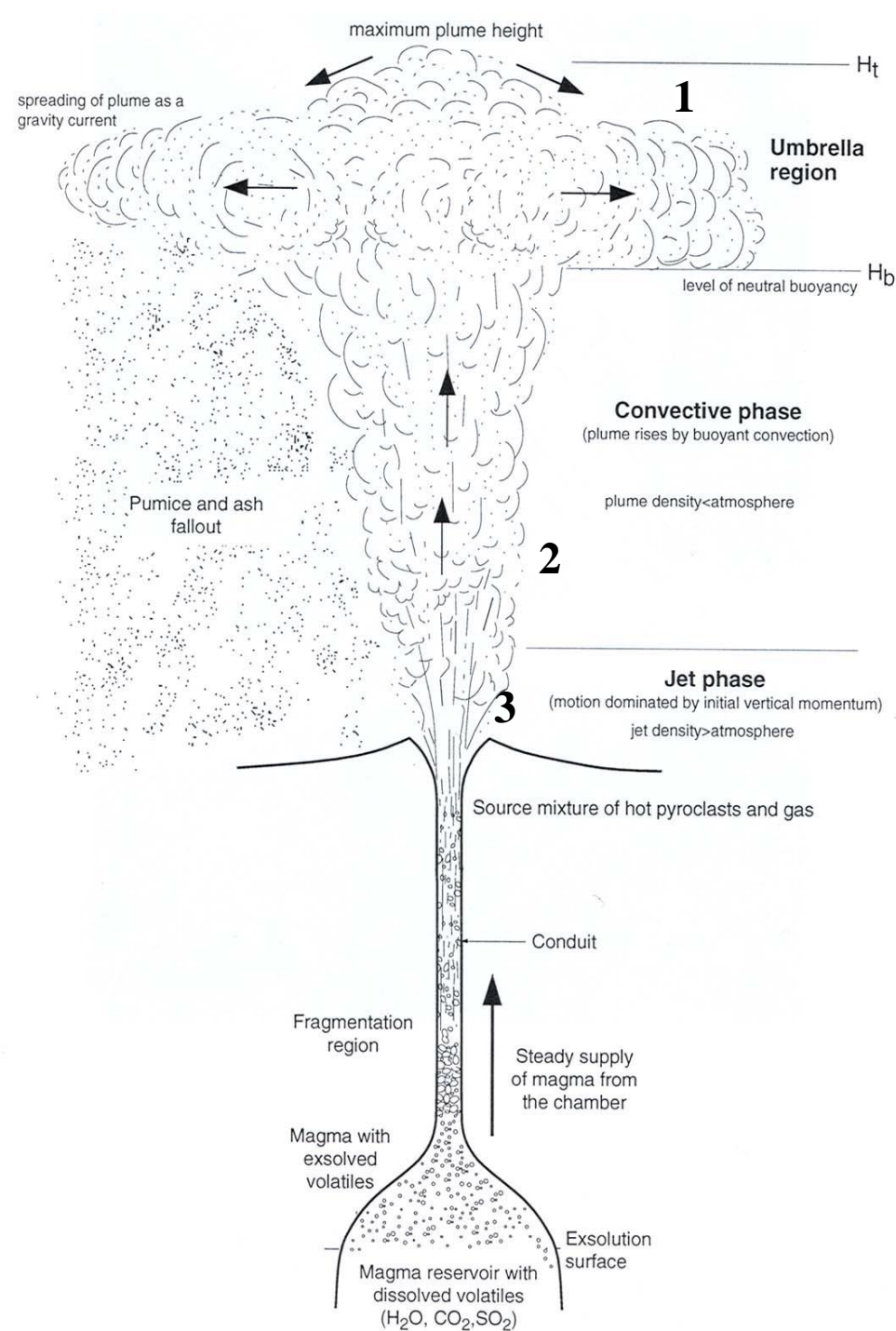
Unstable foam
with overpressured
bubbles (+ crystals)



Larger, more abundant
bubbles (+ crystals) in
melt

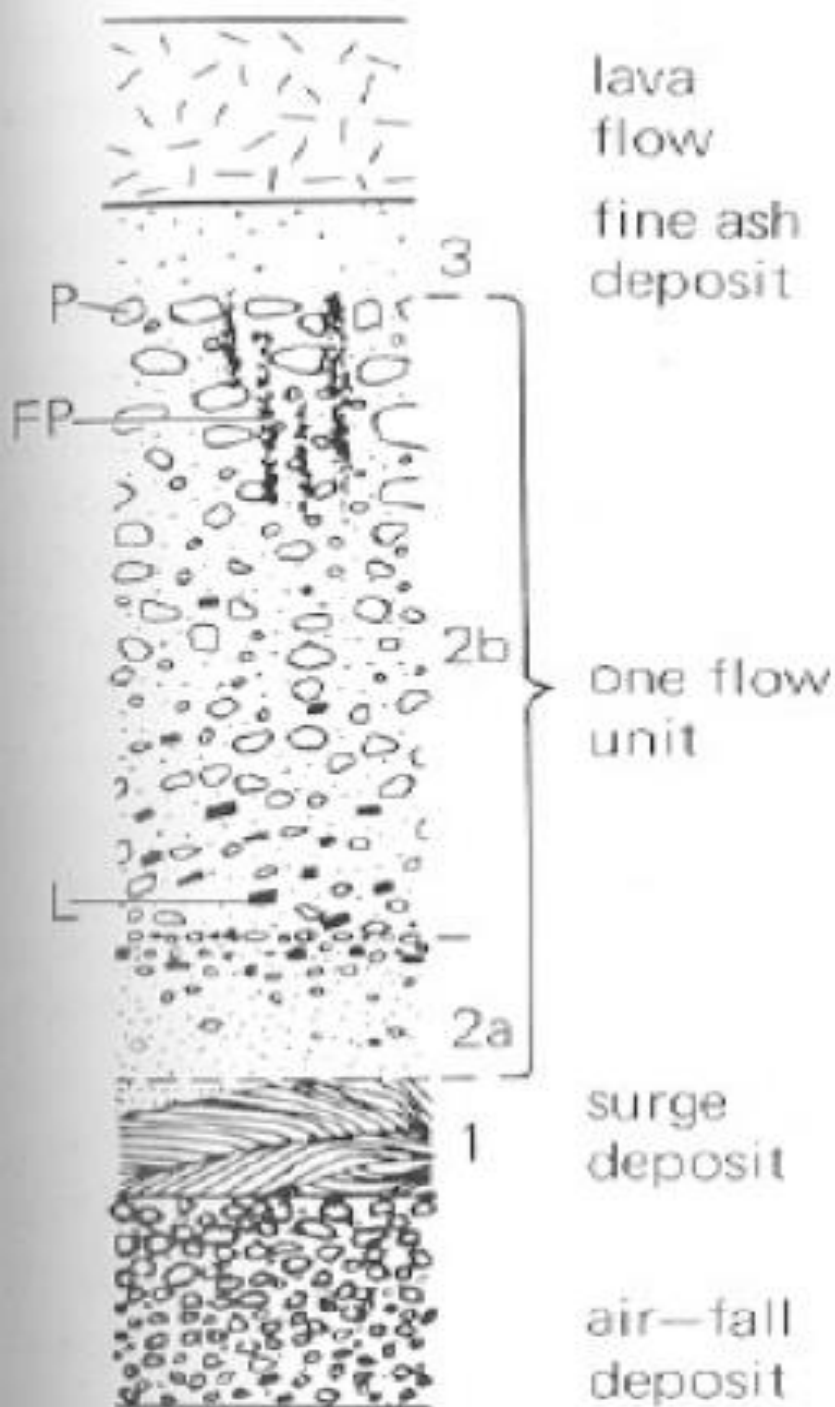


Sparse, small bubbles
(+ crystals) in melt



1. s rostoucí výškou klesá hustota atmosféry, ve výšce H_b již nemají částice dostatečný vztlak a pyroklastika se začínají pohybovat laterálně
2. celková hustota menší než okolní atmosféra (horký vzduch + produkty exploze), částice mají vztlak díky turbulentním pohybům, rychlost v konvekční části je kolem 10-100 m/s, max. rychlost ve střední části proudu
3. částice dosahují velké rychlosti díky expandujícímu plynu, 100 m/s pro Strombolský typ a Hawaiský typ a >600 m/s pro Pliniovský typ

Stratovulkány



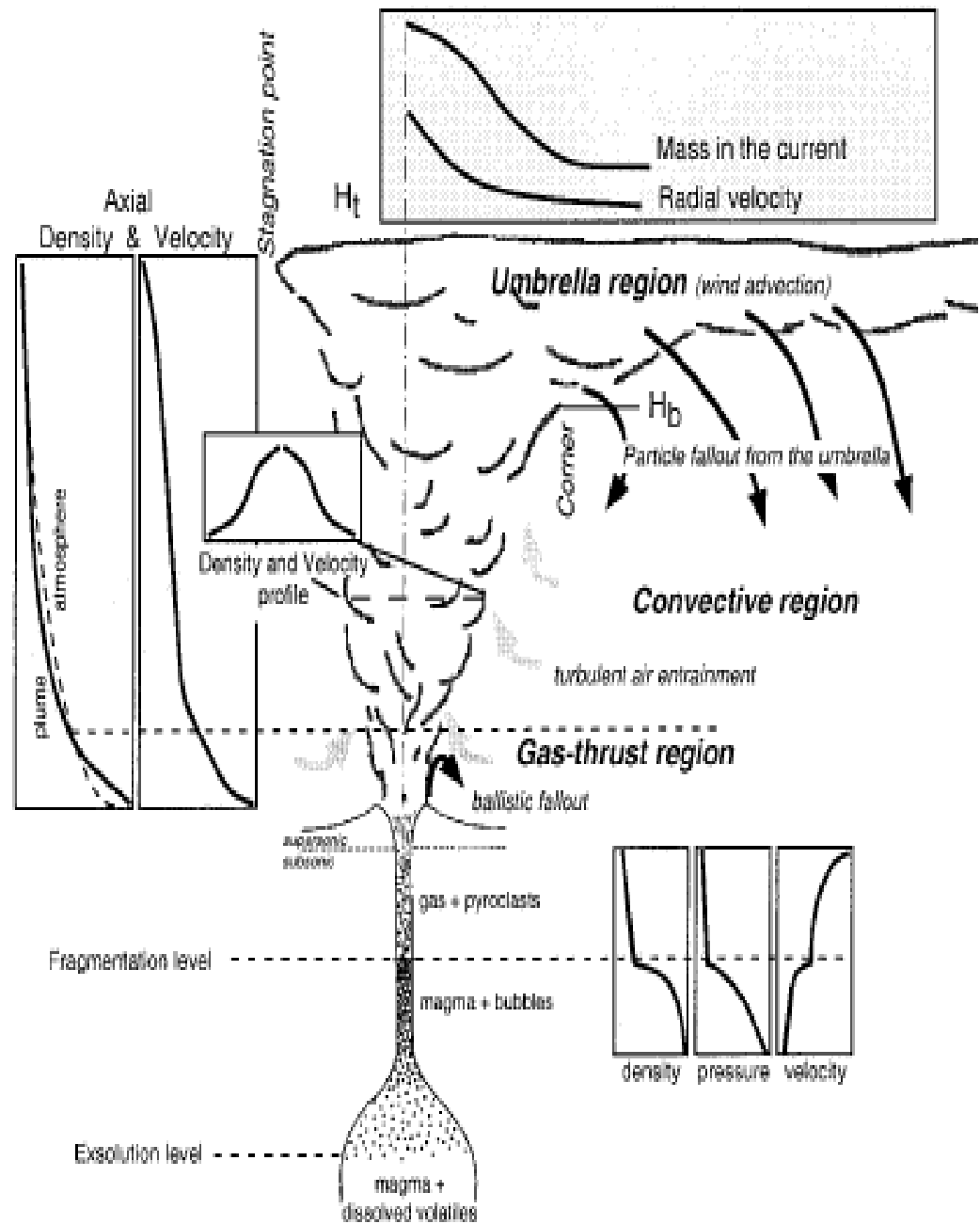
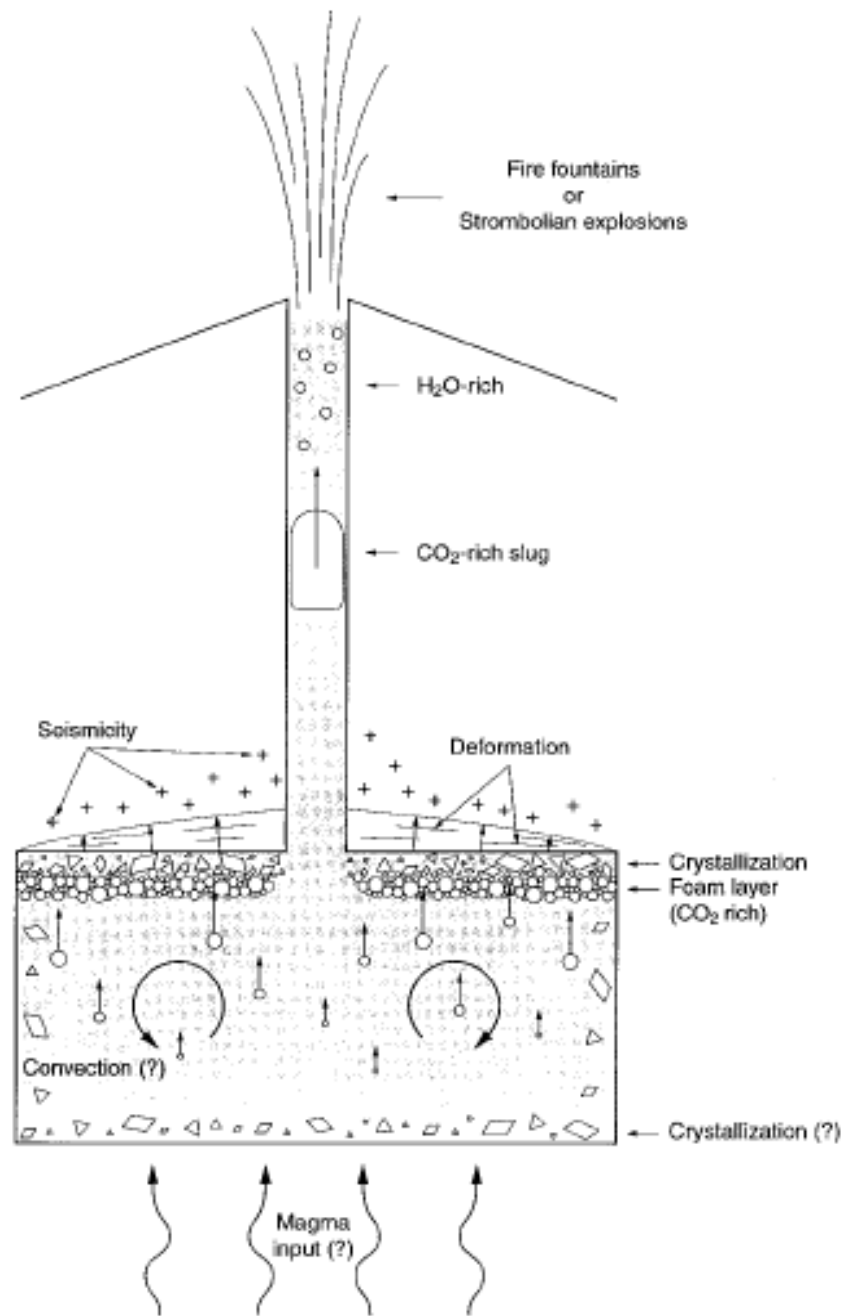
- Schematický diagram pyroklastické eruptivní periody
- Pyroklastické napadávky s inverzní gradací jsou v podloží
- 1) surge
- 2a) bazální vrstva pyroklastického proudu s inverzní gradací
- 2b) hlavní část proudu má normální gradaci litických fragmentů a opačnou gradaci pemzových úlomků, litické fragmenty (L) jsou koncentrovány na bázi a pemza je koncentrována v horní části proudu (P), v horní části jsou také fumarolové přívodní kanály (Fumarolic pipes = FP) v horní části
- 3) vrstva popelové napadávky a poté následuje lávový výlev

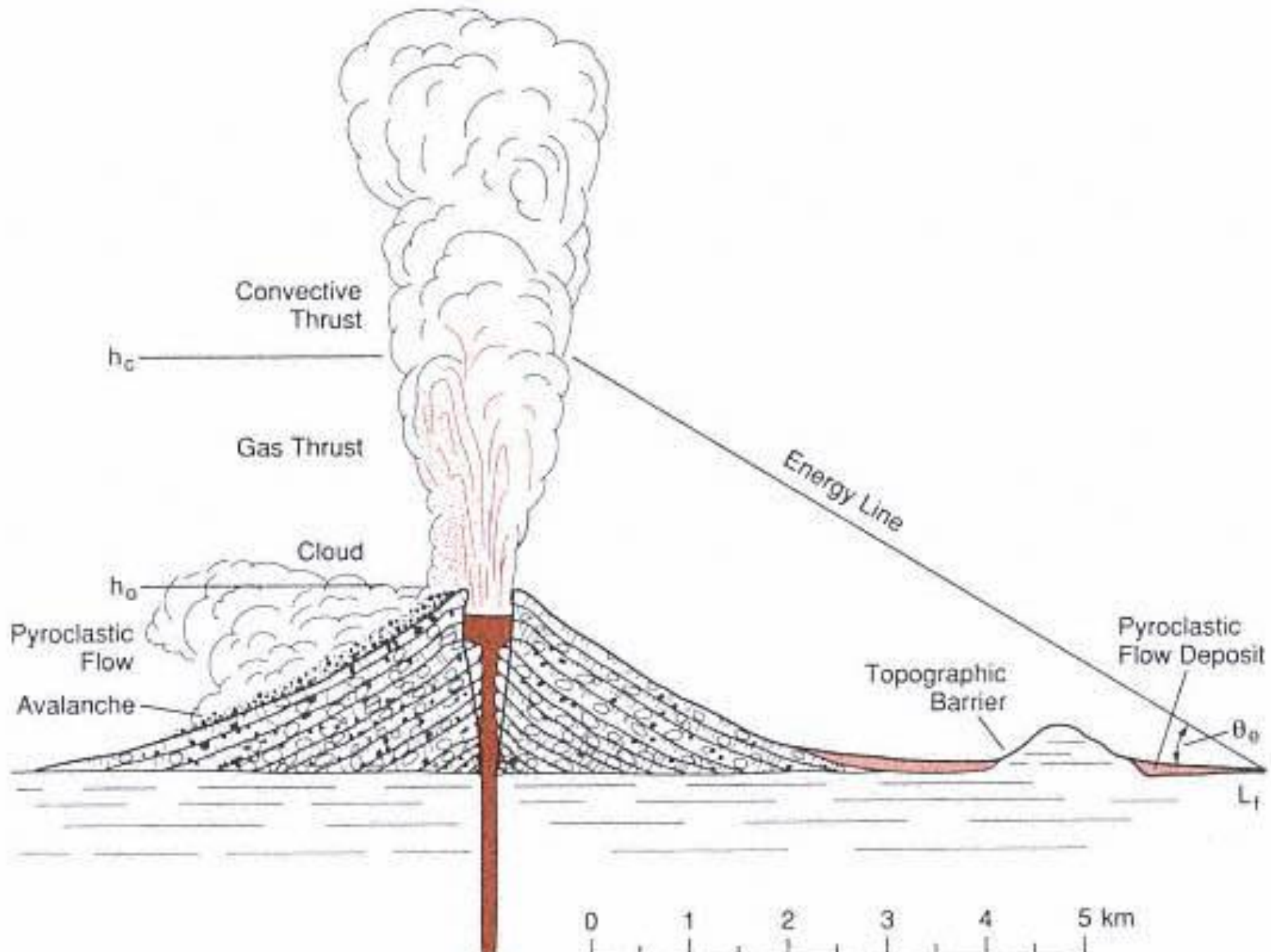
Masaya (Nikaragua)

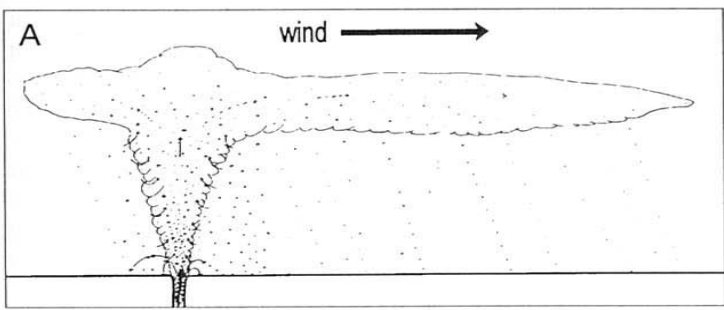


Vulcano (Italie)

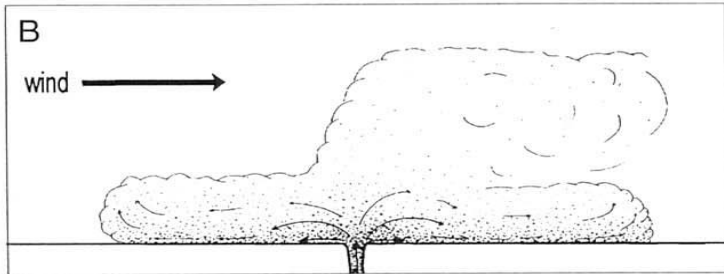




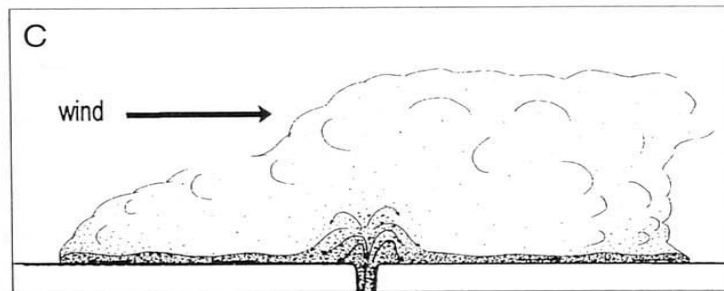




Fall (spad): vertikální trajektorie, nízká koncentrace



Surge: horizontální trajektorie, nízká koncentrace



Flow: horizontální trajektorie, vysoká koncentrace

FIGURE 1 Schematic diagram to illustrate the three main end-member transport systems for the emplacement of pyroclastic deposits. (A) Fall: high buoyant plume carrying all except coarsest particles to heights of kilometers to tens of kilometers above the surface; particles sedimented from plume to form deposit; plume dispersal controlled by wind direction and strength. Coarsest clasts (arrows) follow ballistic trajectories and fall within 3–5 km of vent regardless of wind. (B) Surge: ground-hugging relatively dilute density current with gradual (exponential?) downward increase in density; not influenced by wind, but generating a secondary buoyant plume that is wind affected. (C) Flow: ground-hugging, clearly defined, concentrated density current with accompanying dilute overriding cloud; not influenced by wind, but generating a secondary buoyant plume that is wind affected.

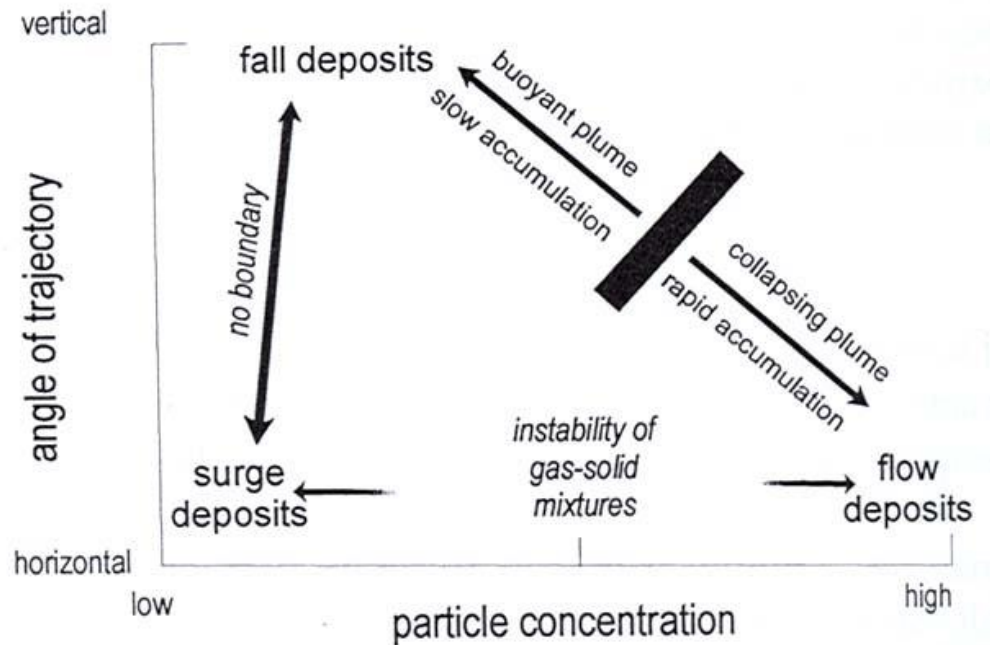
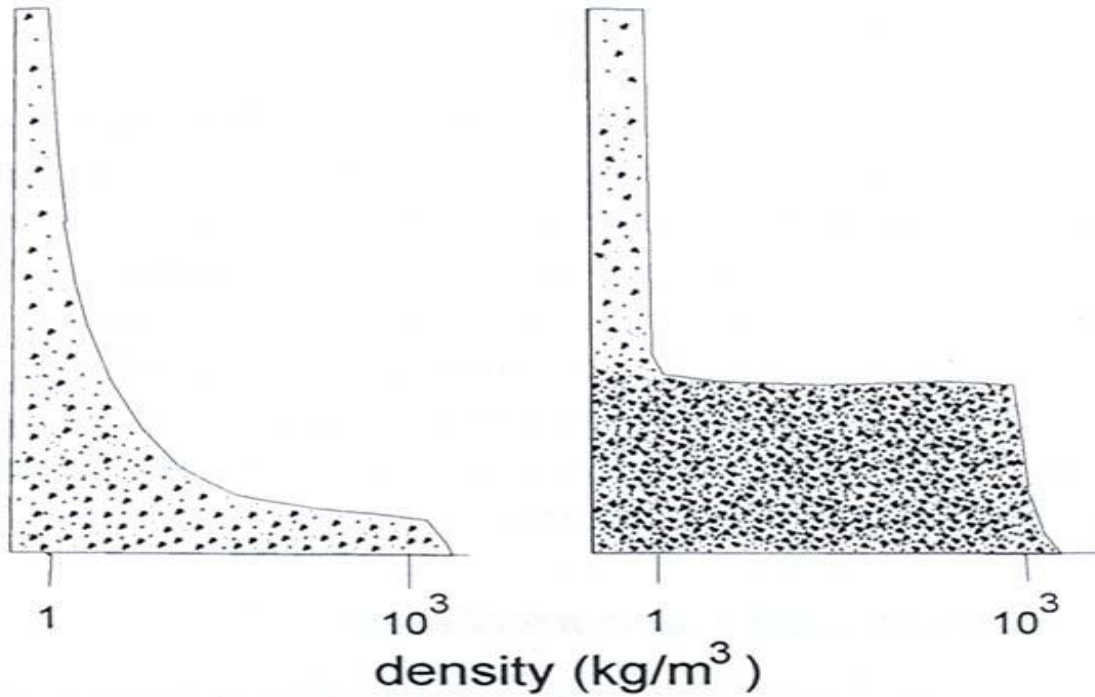
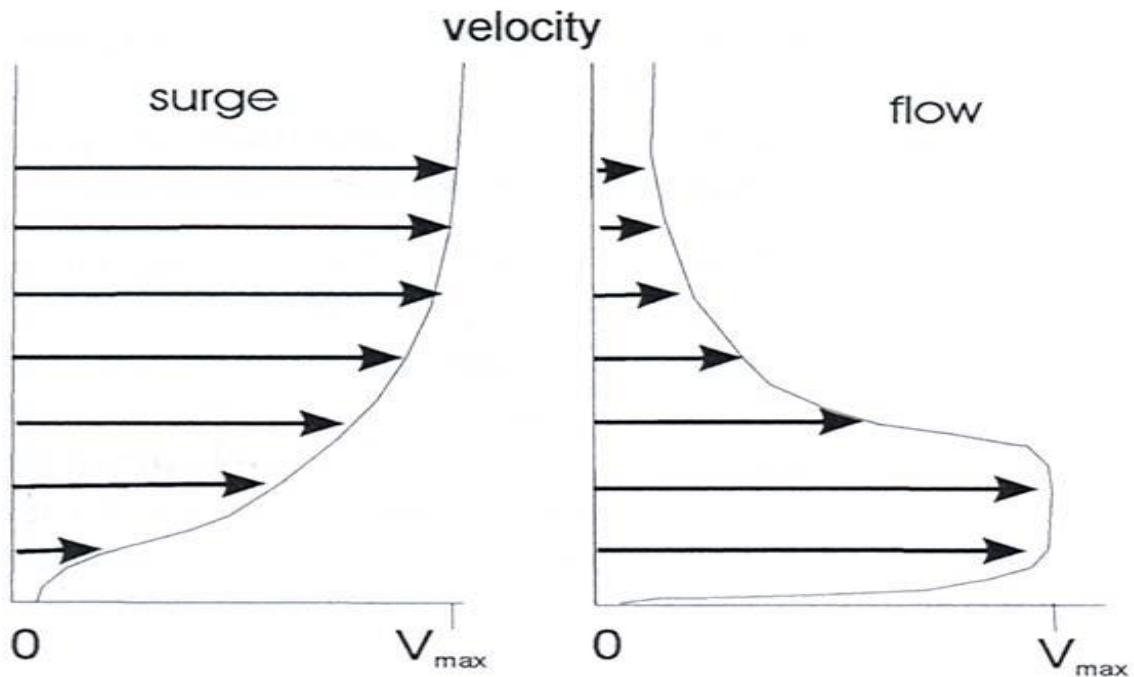
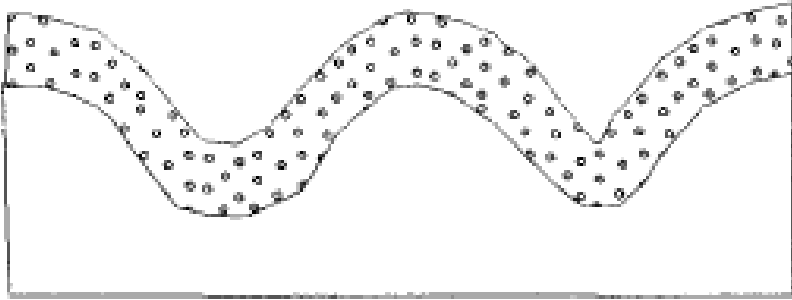


FIGURE 6 Sketch diagram of the particle concentration in the depositing material versus the trajectories of depositing clasts showing the inferred boundaries between the three main depositional regimes that lead to the three main types of pyroclastic deposit. See text for discussion.

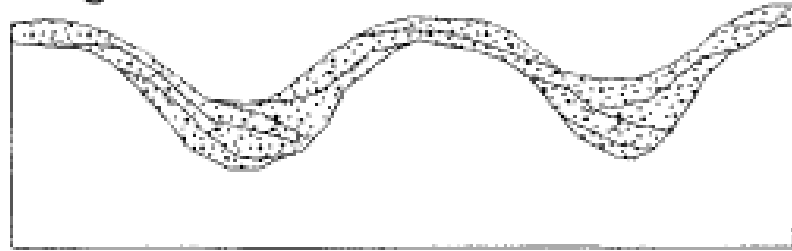
height above base of flow



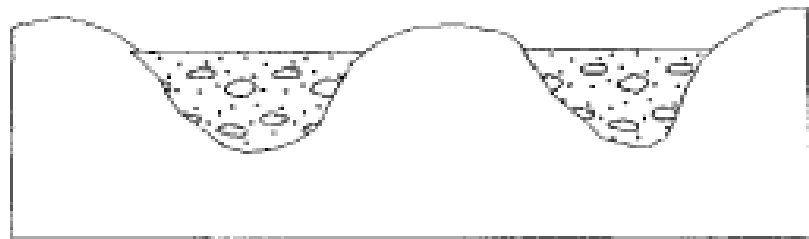
fall



surge



flow

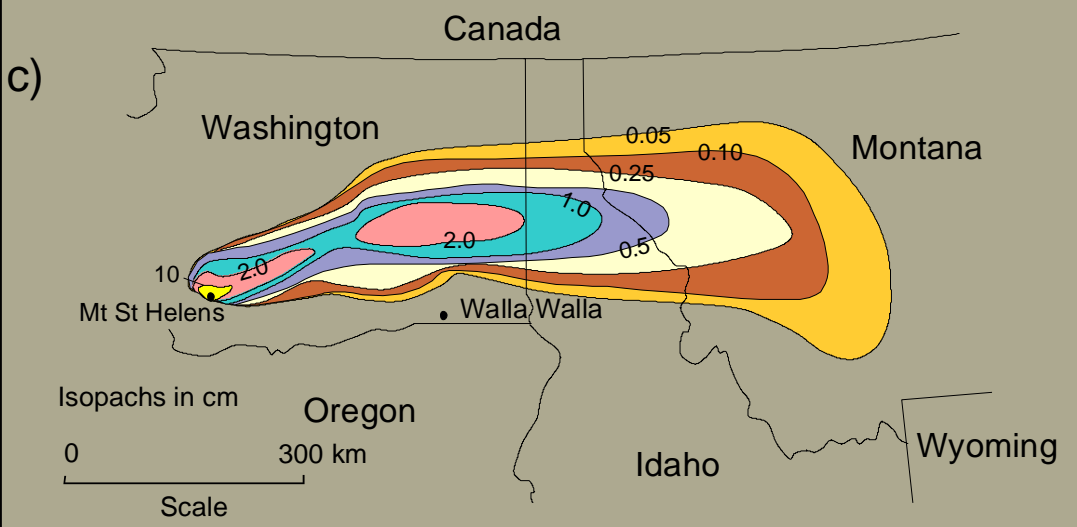
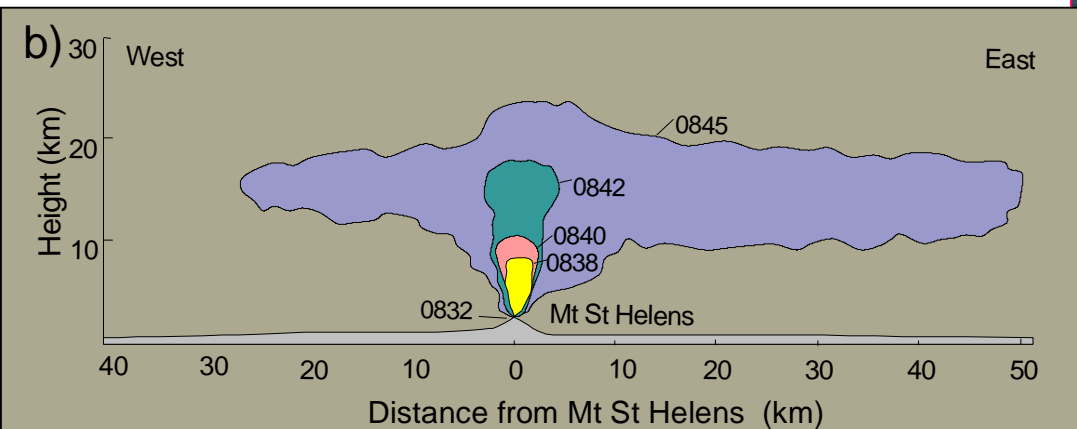


Schematický diagram hlavních typů pyroklastických uloženin

- 1) Fall (napadávky – spad): vzájemně paralelní vrstvy pyroklastik bez známek vnitřní eroze a dobře vytríděné, vrstvy kopírují terén
- 2) Surge (ignimbrity): vrstvy nekopírují terén, vrstvy nejsou průběžné a mění se jejich mocnost, křížové zvrstvení, erozivní kontakty, nepříliš dobře vytríděné
- 3) Flow (lahary): vyplňují terénní nerovnosti, většinou špatně zvrstvené nebo nezvrstvené, nevytríděné 3) vrstva popelové napadávky a poté následuje lávový výlev

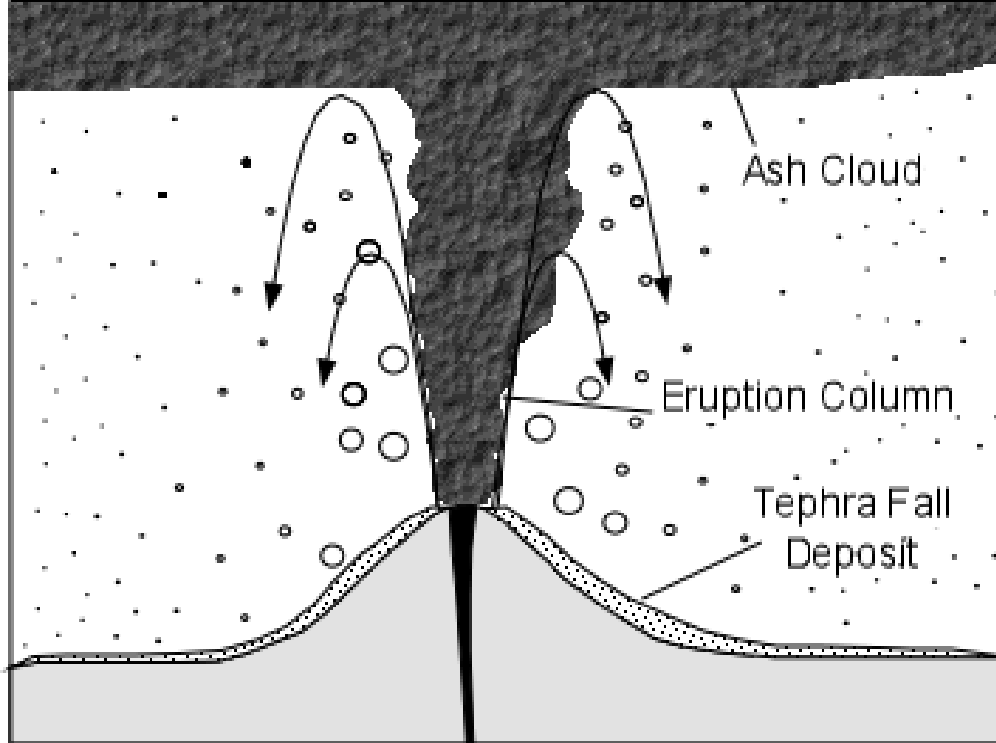
1) Tefra

- **autigenní:** juvenilní-z nového magmatu,
- **resurgentní:** ze starých sopečných uloženin
- **allotigenní:** cizí (nesopečný) materiál z okolí sopky nebo z jejího podloží



Ash cloud and deposits of the 1980 eruption of Mt. St. Helens. **a.** Photo of Mt. St. Helens vertical ash column, May 18, 1980 (courtesy USGS). **b.** Vertical section of the ash cloud showing temporal development during first 13 minutes. **c.** Map view of the ash deposit. Thickness is in cm. After Sarna-Wojcicki *et al.* (1981) in *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington. USGS Prof. Pap., 1250, 557-600.*

- vulkanické bomby a bloky doletí na vzdálenost několika km
- lapily desítky až stovky km
- popel statisíce km
- v okolí vulkánu může vzniknout vrstva tefry o mocnosti až několik stovek m



Erupční oblak (*Eruption cloud*)

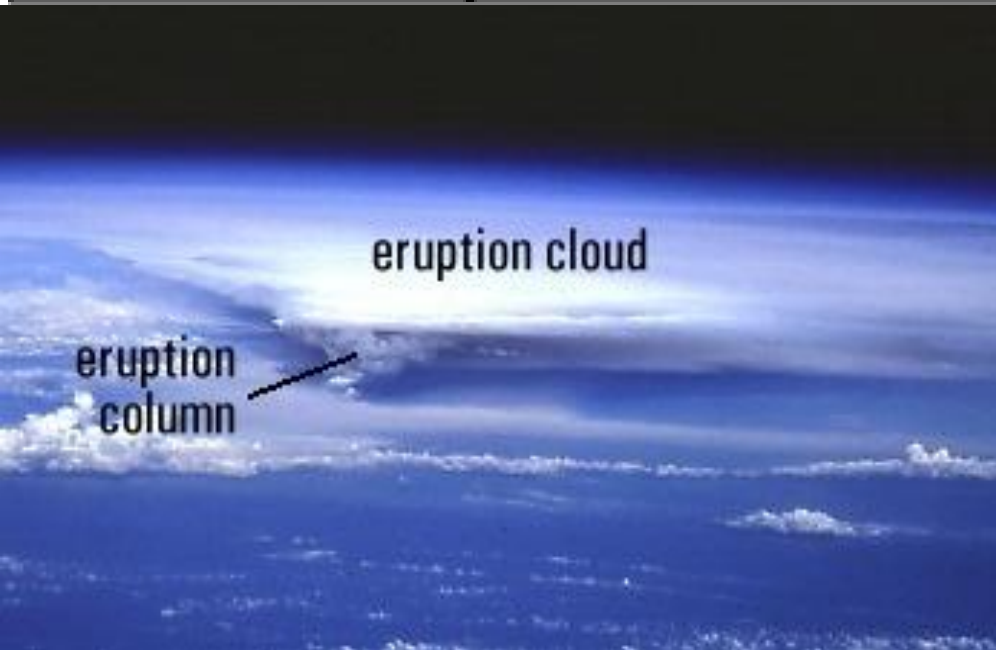
- je oblak tvořený popelem a plyny ve směru větru od erupce (může mít světlou i tmavou barvu)
- může dosáhnout až tisíce kilometrů od vulkánu
- někdy dokonce popel ze sopky oběhne celou Zemi

Erupční sloupec (*eruption column*)

- je vertikální sloup tefry a plynů stoupající z ústí vulkánu

Napadávky tefry (*tephra fall deposit*)

- tefra padající z pyroklastického sloupce vytváří gradačně zvrstvený komplex



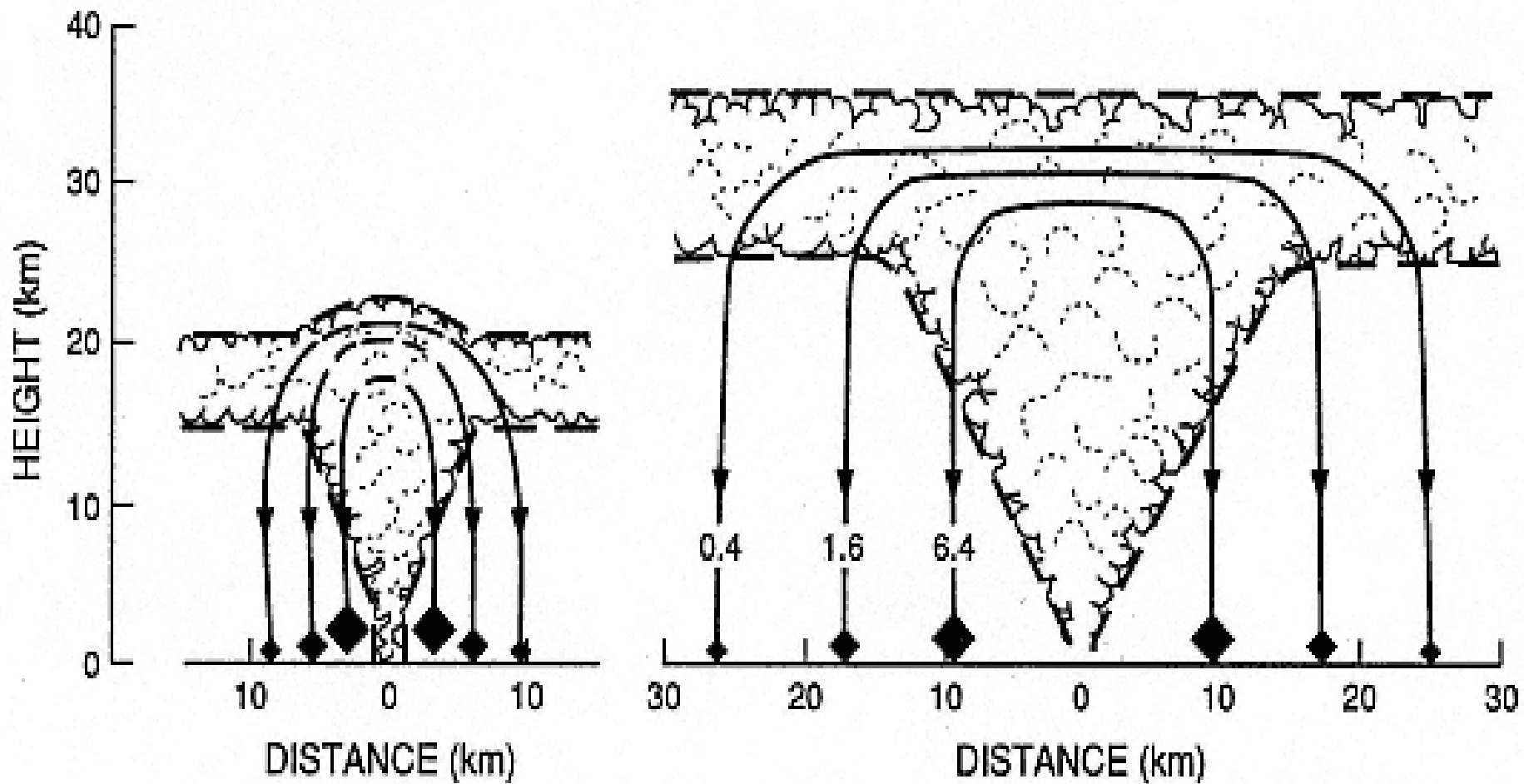
Photographs taken by Space Shuttle astronauts about 24 hours after the start of the eruption of Rabaul Caldera. The eruption column rose to at least 18 km above sea level where the volcanic ash and gas were blown west to form a fan-shaped eruption cloud.

Photographs provided by NASA, STS064-116-064 September 20, 1994



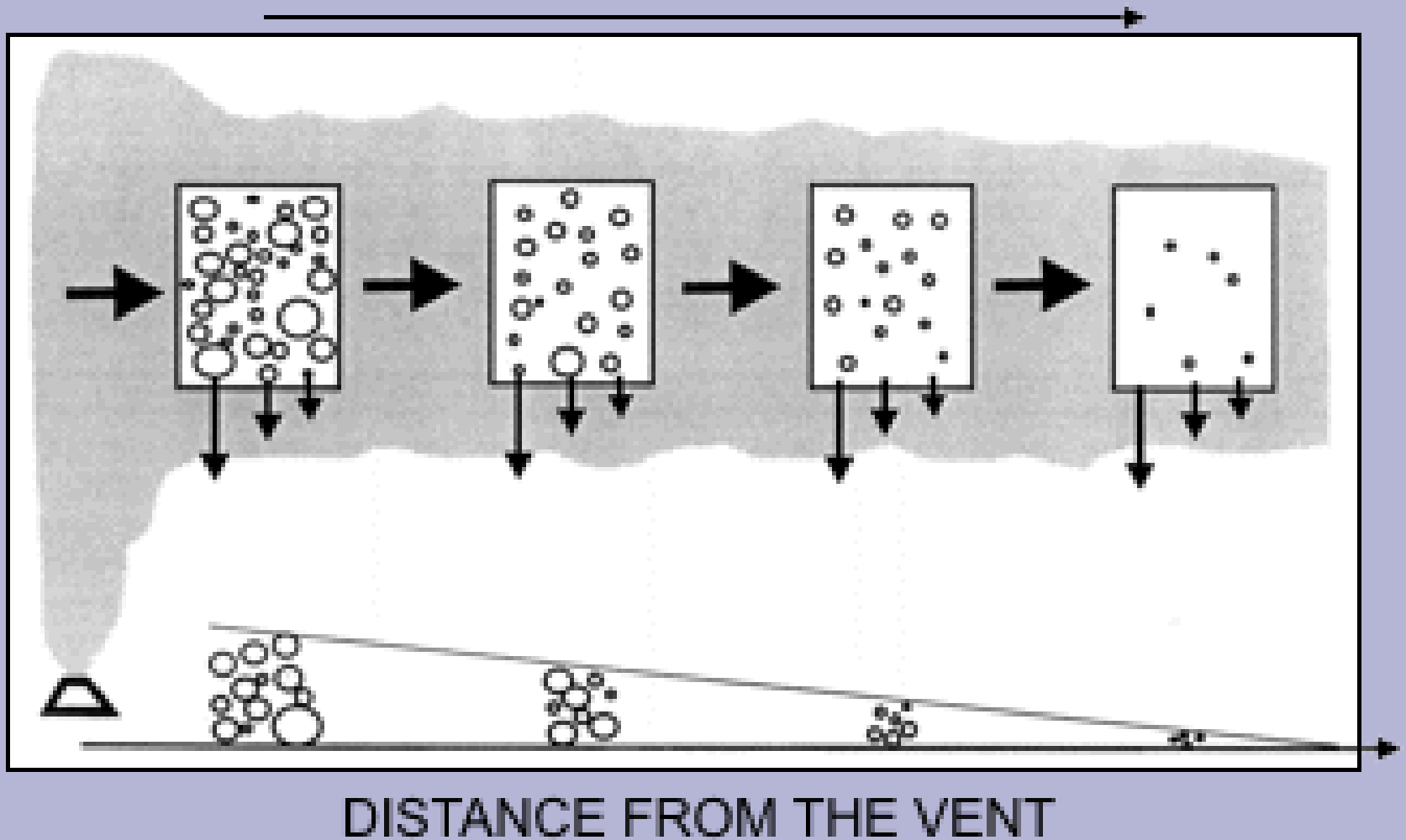


polohy tefry na svahu sopky Vulkano (Italie)



- trajektorie klastů, které padají z pyroklastického oblaku při pliniovské erupci (Carey and Sparks, 1986.)
- velikost klastů je uvedena v cm
- příklady pro oblak 35-km vysoký 21-km vysoký

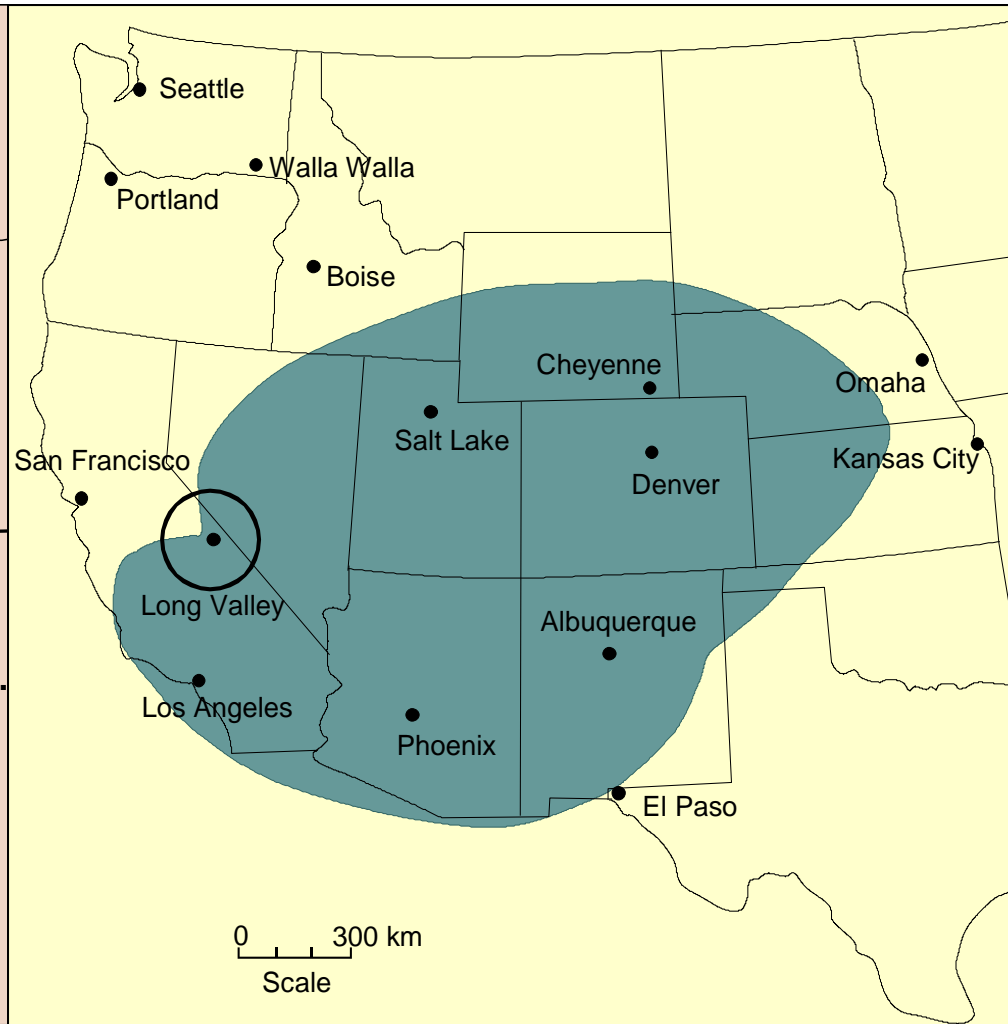
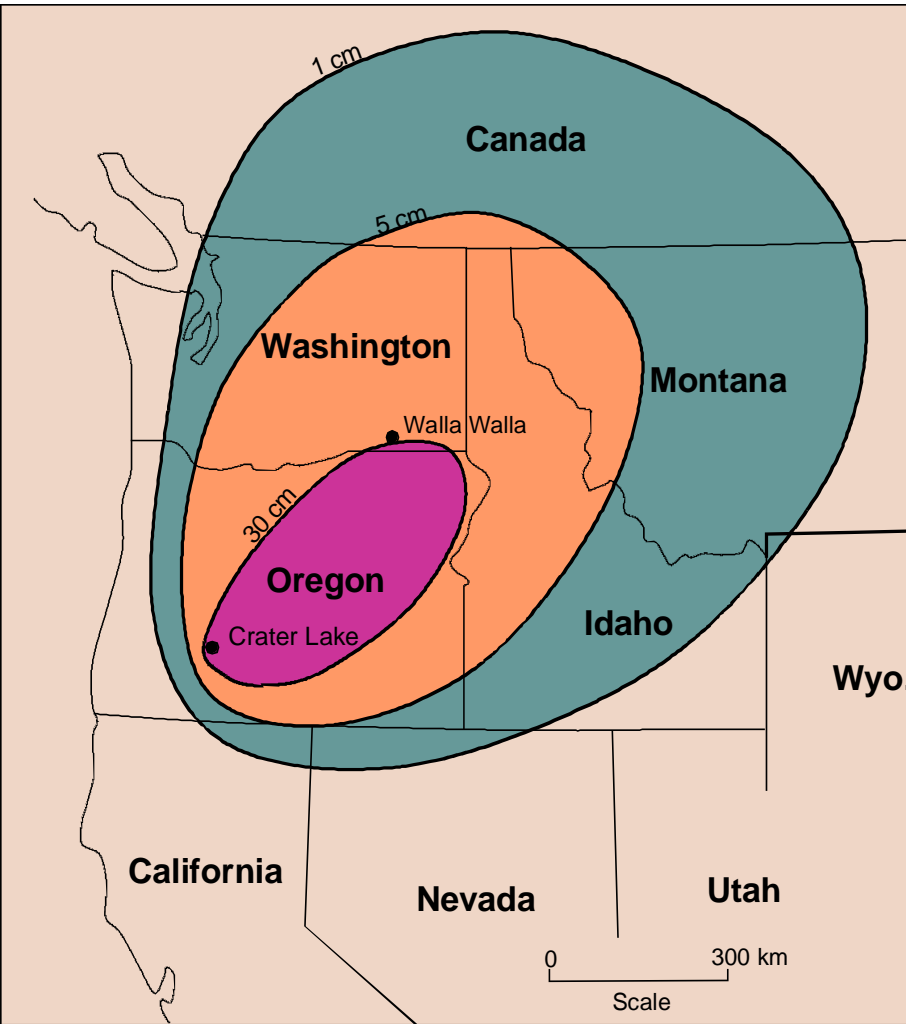
A SPECIFIC VOLUME OF THE CLOUD
IS CONVEYED Laterally



Johnston, 1997

Napadávky vulkanického popela (*Air fall tuff*)

- Jemnozrnňý popelový materiál z erupčního oblaku

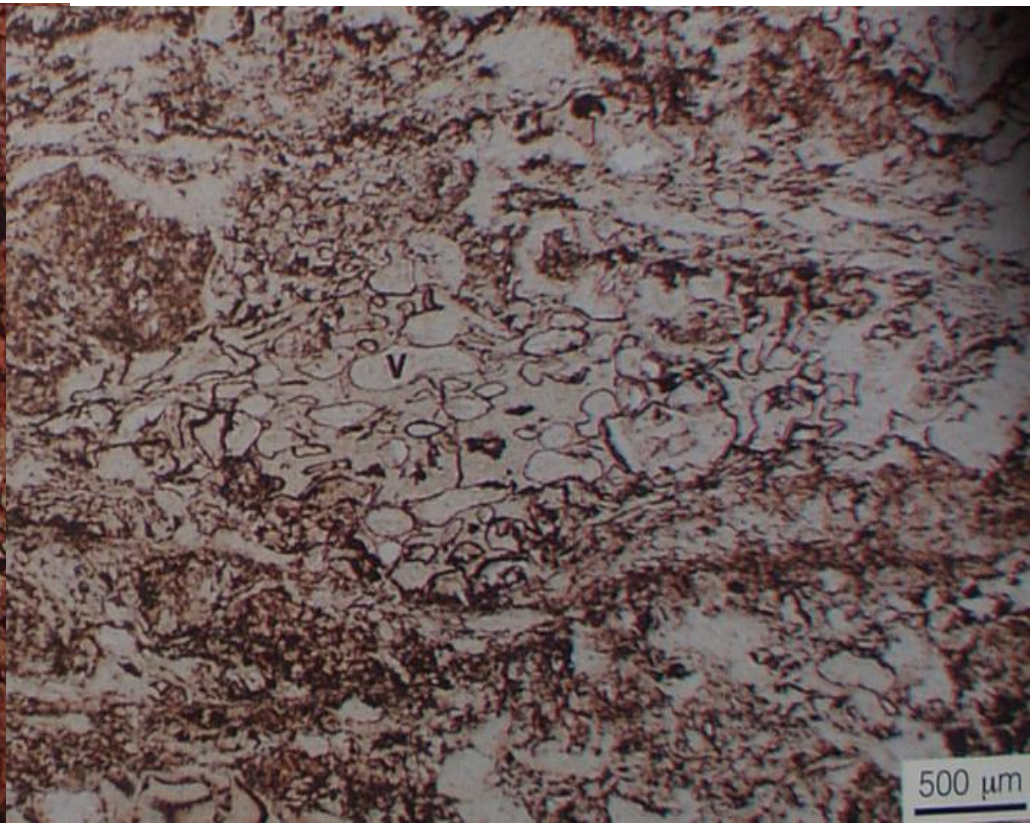


Approximate aerial extent and thickness of Mt. Mazama (Crater Lake) ash fall, erupted 6950 years ago. After Young (1990), Unpubl. Ph. D. thesis, University of Lancaster. UK.

Maximum aerial extent of the Bishop ash fall deposit erupted at Long Valley 700,000 years ago. After Miller *et al.* (1982) *USGS Open-File Report 82-583*.

• bazaltická struska vzniklá spadem

- dominují zde lapily
- červená barva je způsobená termální oxidací při kontaktu horkých lapil s atmosférou
- nepravidelný tvar lapil je výsledkem rozpadu vesikulárního magmatu na kusy
- alterovaná scoria z metamorfovaného basaltického vulkanoklastického pískovce
- obsahuje vejčité dutiny (V) mimo ně jsou nahromaděny drobné opakní minerály
- některé vesikule vyplňuje jemný sericit a albit
- jemnozrná skelná hmota je částečně rekrystalovaná



Pemza - Mađarsko





**Vulkanická puma
Etna - Sicílie**



**Průřez vulkanickou pumou
Boaco - Nikaragua**

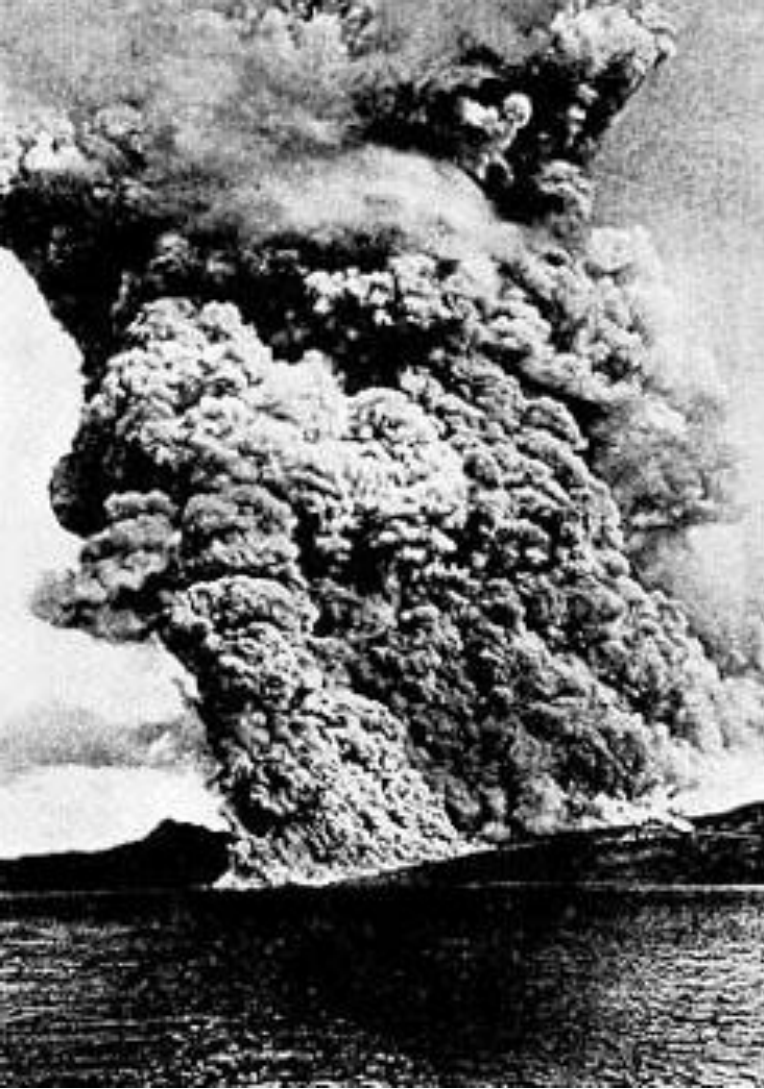


Tufy – Vrbičky (lom) Doupovské hory



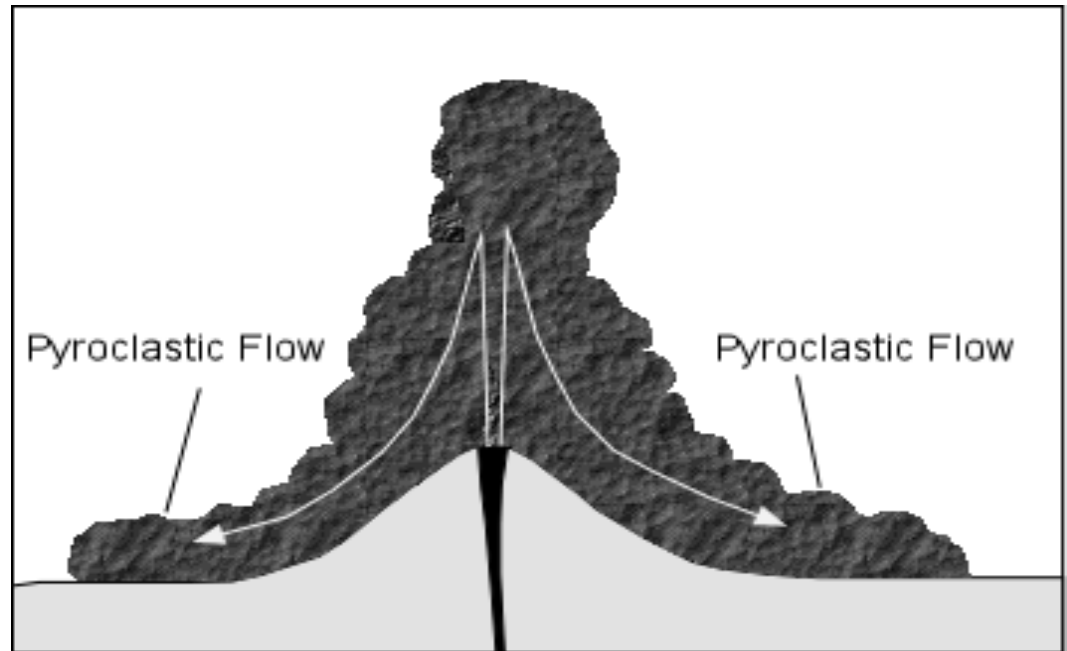
Krystalový a popelový tuf – Vrbičky (lom) Doupovské hory





2) Pyroklastické proudy (ignimbrity) (*pyroclastic flow*)

- když pyroklasticky erupční sloupec kolabuje vznikají pyroklastické proudy (*pyroclastic flow*)
- pyroklastický proud je tekutá směs pevných a částečně natavených fragmentů hornin a expandující směs plynů a par
- směs je těžší než vzduch
- tyto proudy se pohybují po úbočí vulkánu velmi rychle (nad 100 km/h)
- bývají velmi horké a obsahují toxické plyny



Pyroclastic flow, Mt. Pelée, Martinique (1902) -- The village of St. Pierre on the island of Martinique was destroyed by a pyroclastic flow similar to the one shown here. This photo was taken a few months after the destruction of St. Pierre. Pyroclastic flows had not been previously described by volcanologists. This type of pyroclastic flow is called a nuée ardente, composed of hot, incandescent solid particles derived from the collapse of a lava dome. Other types of pyroclastic flows, derived from collapse of the eruptive column, are pumice bearing, and their deposits are called ignimbrites. Photo by Lacroix, 1902.

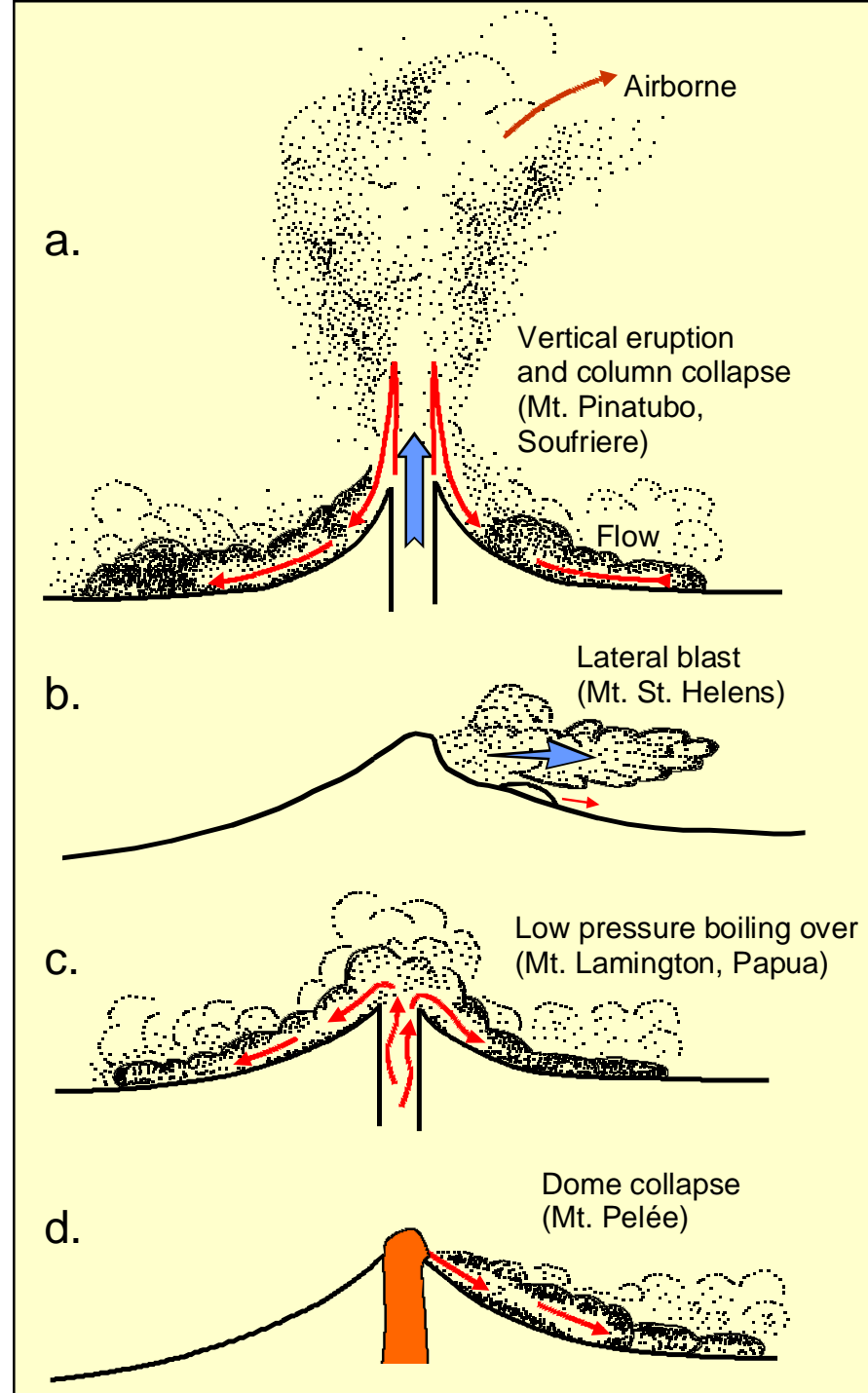


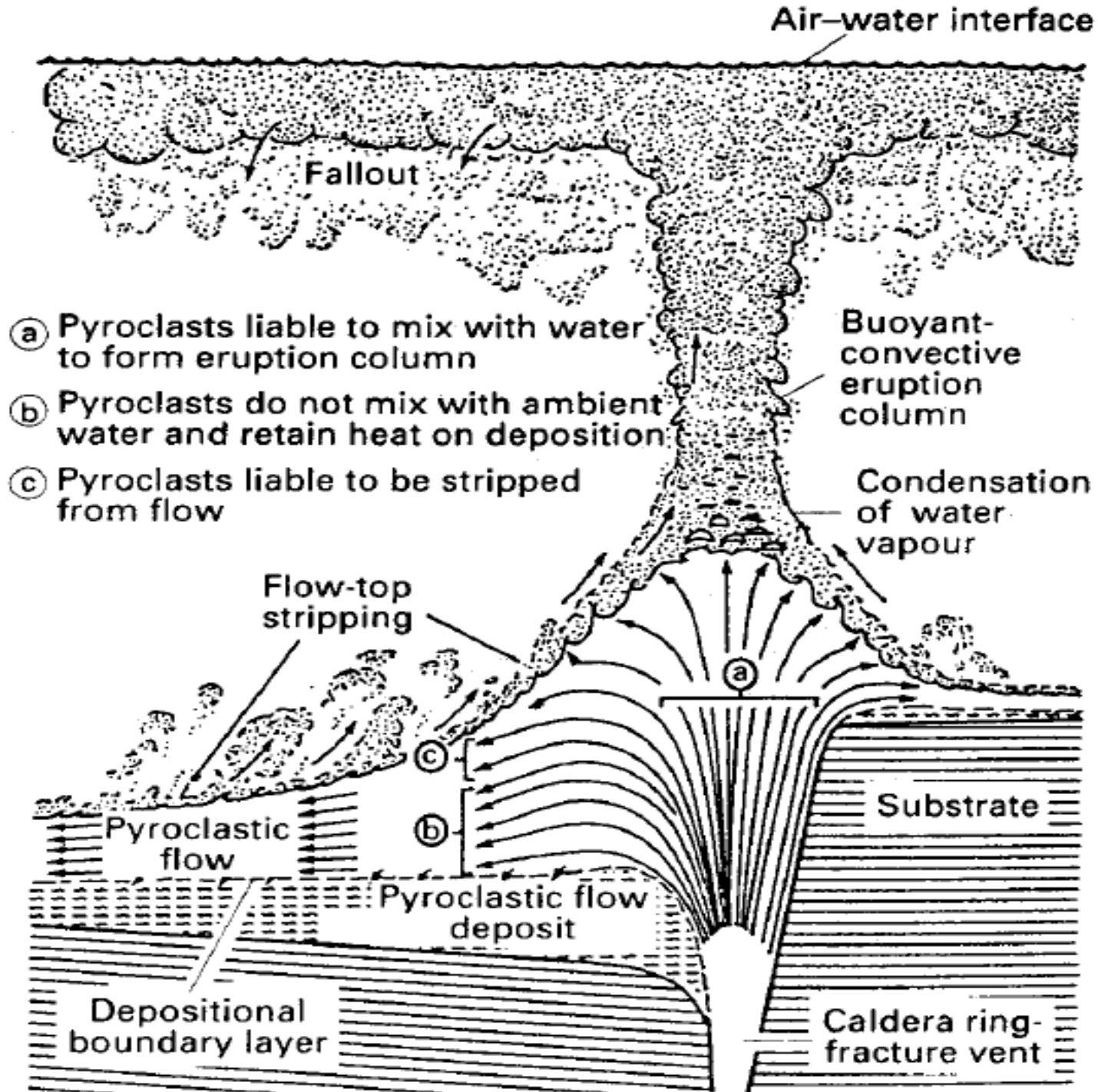
Uložení pyroklastického proudu vyplnilo koryto řeky Marella, Mount Pinatubo, Filipíny; 1991

- mají teplotou od 100 do 800° C
- při vysoké teplotě dojde ke spečení (lahary)
- pyroklastické proudy jsou velmi nebezpečné
- mají obrovskou kinetickou energii, rychlost a daleký dosah většinou kolem 10-15 km (maximálně kolem 100 km od zdroje)
- zničení Pompejí v roce 79 při erupci sopky Vesuv v Itálii nebo exploze sopky Mont Pelée v Karibiku v roce 1902

- Typy pyroklastických proudů (MacDonald, 1972; a Fisher–Schminke, 1984) a příčiny jejich vzniku :

- kolaps explozivního vertikálního sloupce pliniovské erupce, materiál padá znovu na zem a putuje po svahu sopky v podobě horkého mraku
- zničení části sopky při velké explozi - postranní výbuch k jakému došlo na Mt. St. Helens v roce 1980
- „zpěnění“ (“Boiling-over”) magmatu s vysokým obsahem plynů z jícnu
- kolaps sopečného dómu a jeho následný rozpad - gravitační kolaps dómu.



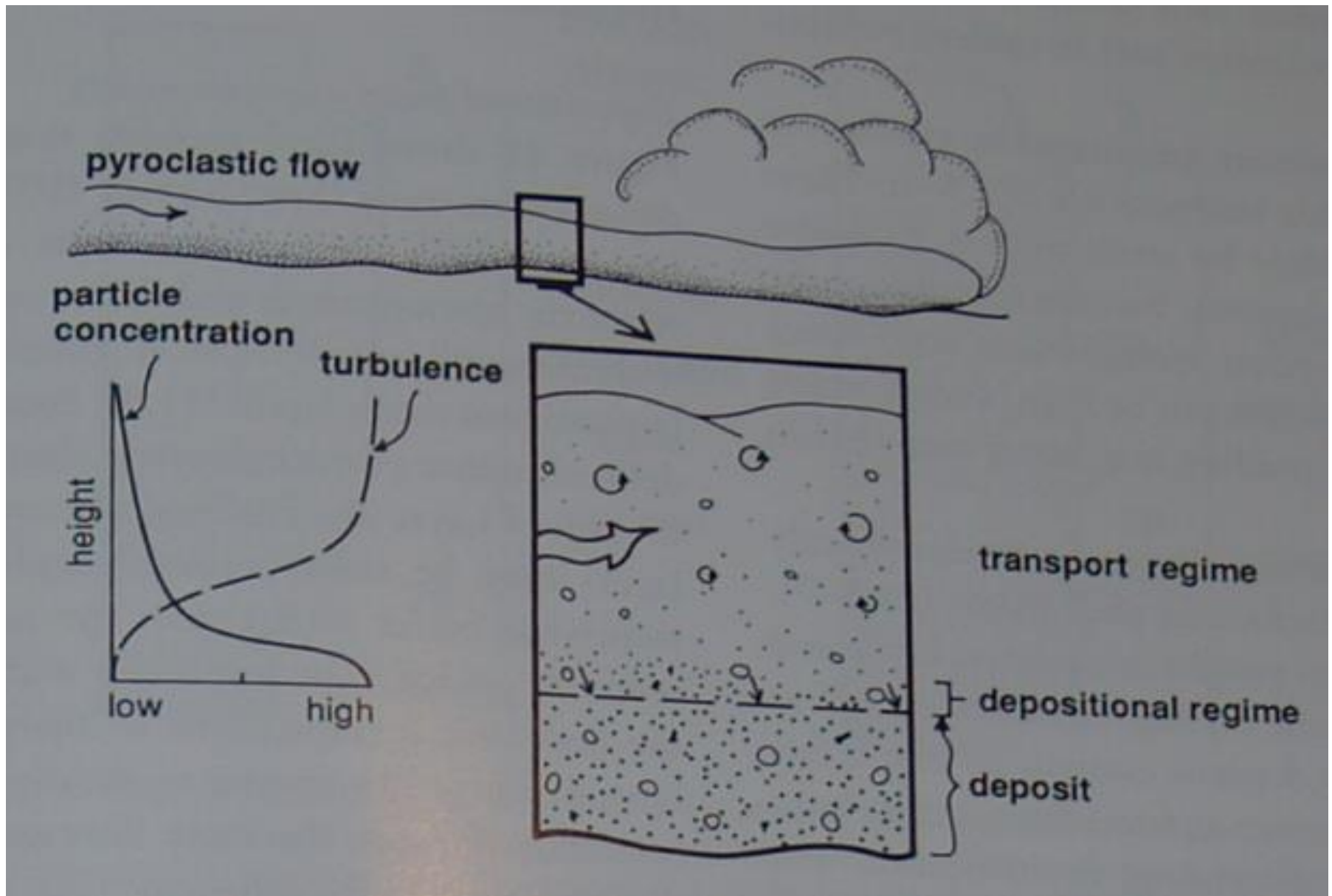




Collapse of lava dome generates pyroclastic flow on Unzen Volcano, Japan, on March 23, 1993

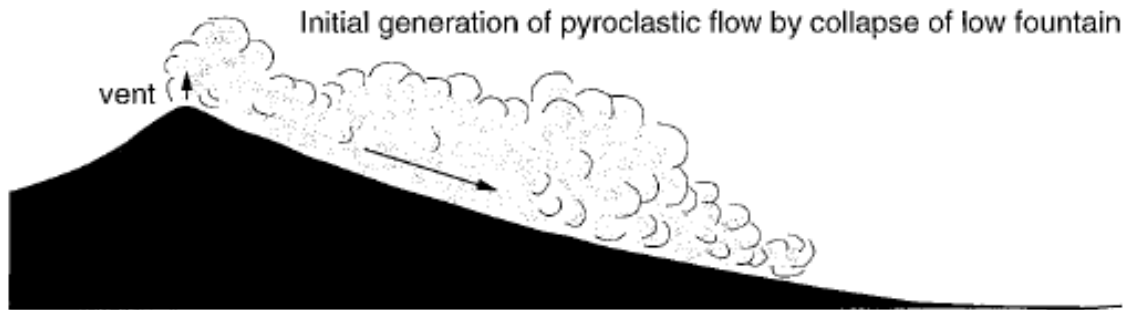
The fall of fresh lava and hot rock debris from a lava dome or thick lava flow can generate scores of pyroclastic flows. The repeated collapse of a growing lava dome atop Unzen Volcano caused thousands of small but dangerous pyroclastic flows between 1991 and 1995.

<http://volcanoes.usgs.gov/Hazards/What/PF/PFFormation.html>

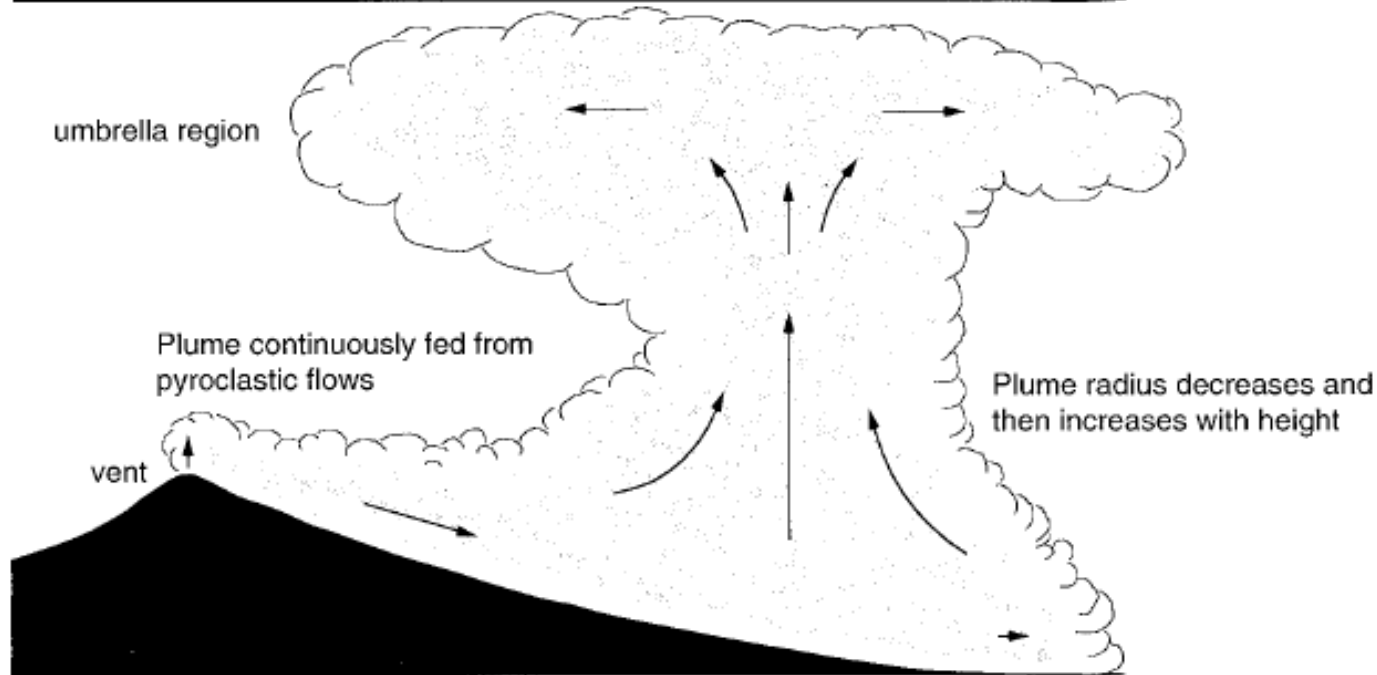
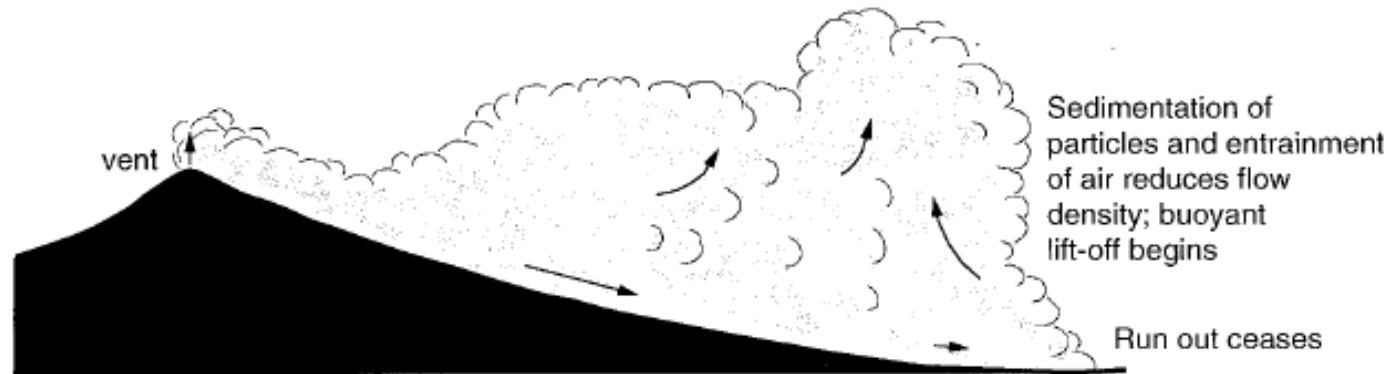


- progresivní agradace pyroklastického sedimentu během jeho usazování
 - v horní části proudu dochází k turbulenci a tím se snižuje hustota proudu
- (Branney-Kokelaar, 1992 a Druitt, 1992)

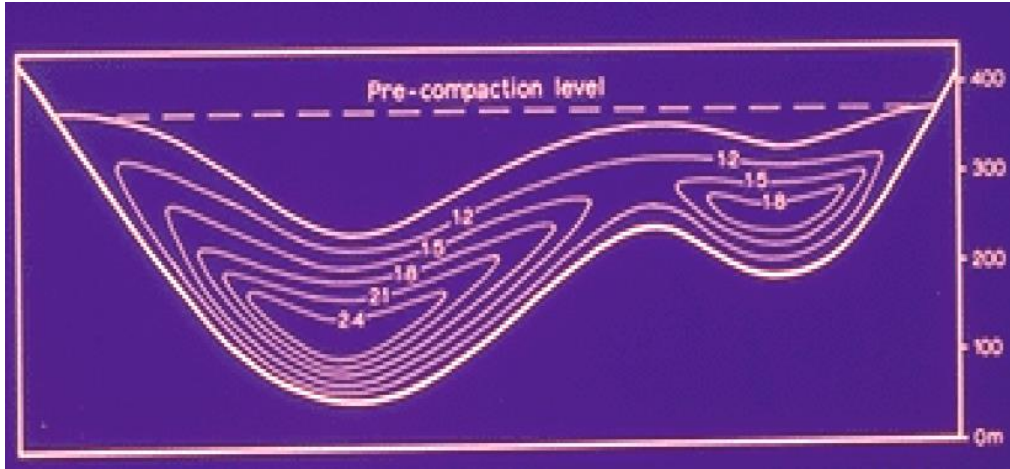




Vývoj ko-ignimbritévého chocholu z pyroklastického proudu sestupujícího ze svahu vulkánu



- To jak bude výsledný sediment vzniklý z pyroklastického proudu vypadat závisí na mechanismu usazení, procesu chladnutí, procesu spékání, a sekundární krystalizaci (např. devitrifikace)
- Během sedimentace dochází k několika procesům: (1) ztráta vzduchu z oblaku, (2) ztráta plynu, (3) mechanická kompakce, (4) kompakce způsobená spečením, (5) deformace



Intenzita spečení v závislosti na topografii terénu

	ϕ	ρ
Before deflation	.90	.25
Before degassing	.65	.86
Loose packing	.60	1.00
Partly welded	.45	1.35
Densely welded	.10	2.20
Completely welded	.00	2.45

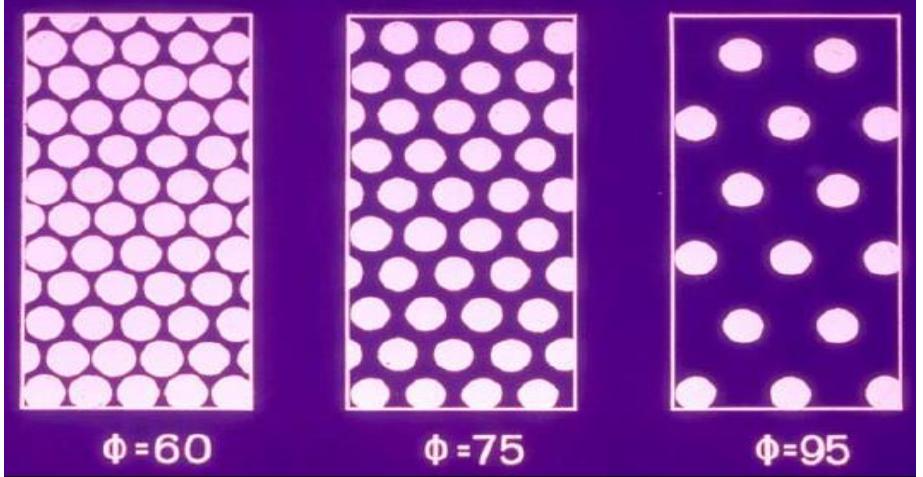
Vývoj hustoty oblaku a množství pórů od chvíle kdy oblak ještě obsahuje vzduch až po úplné spečení

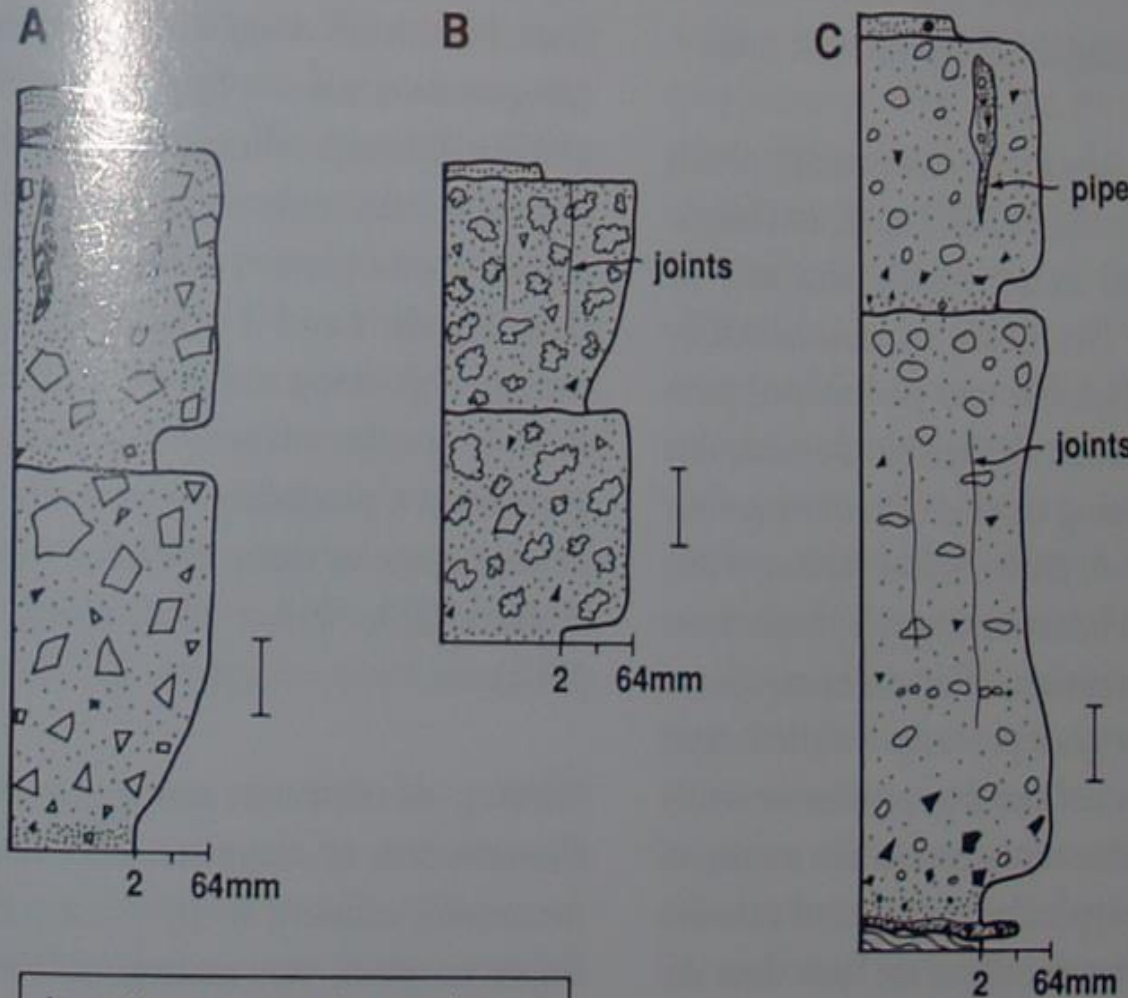
Solid fraction (G)

Pore fraction (ϕ)

Density (ρ)

Powder density (ρ_p)





- | | |
|-------------------------------|---|
| juvenile components : pumice | ○ |
| scoria | ◻ |
| poorly vesicular | ◻ |
| glass shards and crystals | ⊠ |
| accretionary lapilli | ● |
| non-juvenile lithic fragments | ◄ |

Tři typy pyroklastických proudů

A) Block and ash proud
(Fisher-Heiken, 1982)

- ostrohranné lapily s nízkým obsahem póru a popel
- lapily jsou termálně oxidované ale nespečené

B) Scoria and ash proud
(Naim-Self, 1978)

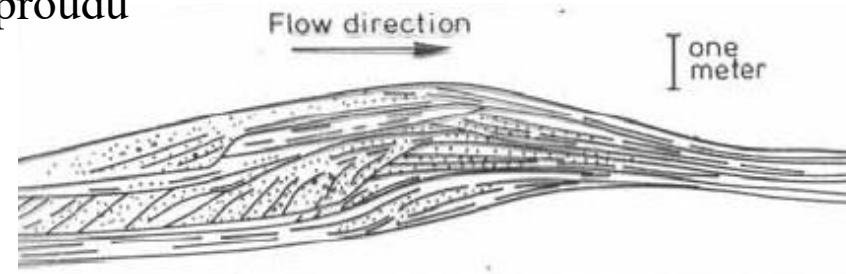
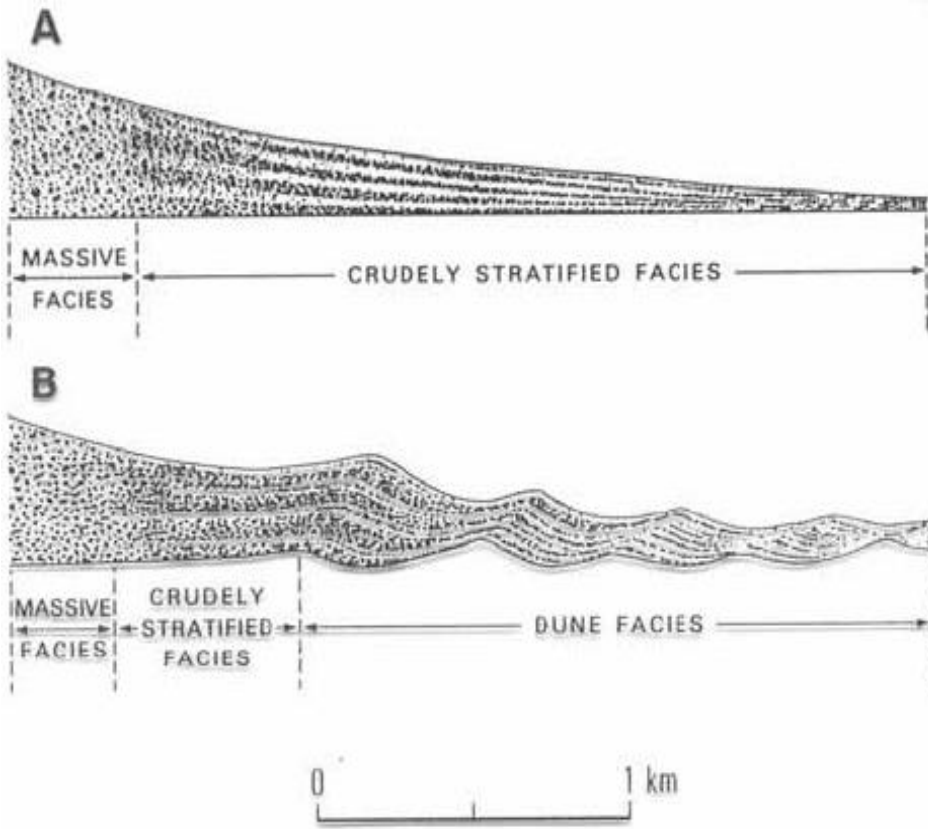
- převládají úlomky andezitové a bazaltové strusky
- nebývají časté
- ke spečení dochází jen v případě že je mocnost malá

C) Pemzový pyroklastický proud nebo ignimbrit
(Sparks et al. 1973)

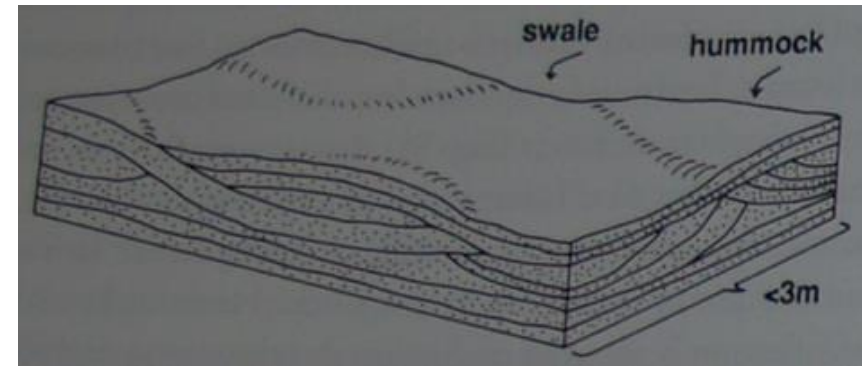
- hodně pemzy, krystalů a vulk. skla v matrix
- kyselé horniny
- několik procent litických fragmentů
- různý stupeň spečení a devitrifikace

Pyroklastické vlny (Pyroclastic surges)

- jsou produktem žhavých turbulentních pyroklastických proudů
- jemné a hrubší částice jsou dispergovány v plynu a vodní páře
- na bázi je proud nejhustší a pohybuje se jako proudová vlna
- může dokonce erodovat podloží
- typické je šikmé zvrstvení
- vytrídění je lepší než u běžných pyroklastických proudů



Vnitřní zvrstvení – chute-and-pool (Schmincke et al., 1973)



Hlavní znaky hummocky (pahrbkovitá) křížového zvrstvení (Allen., 1985)

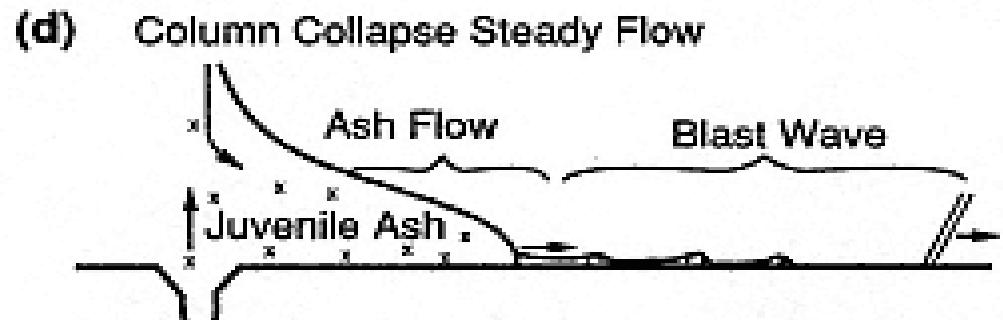
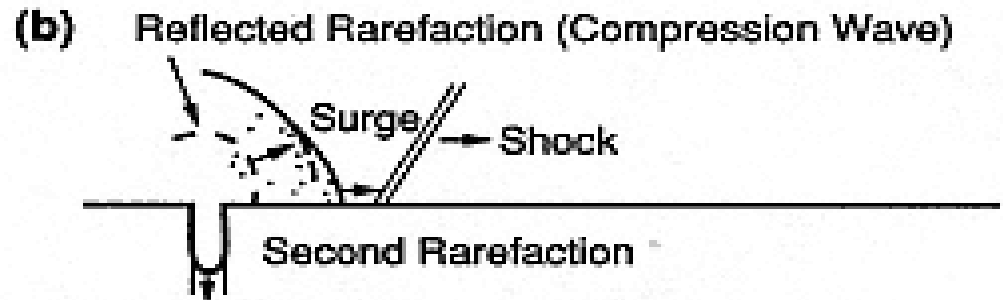
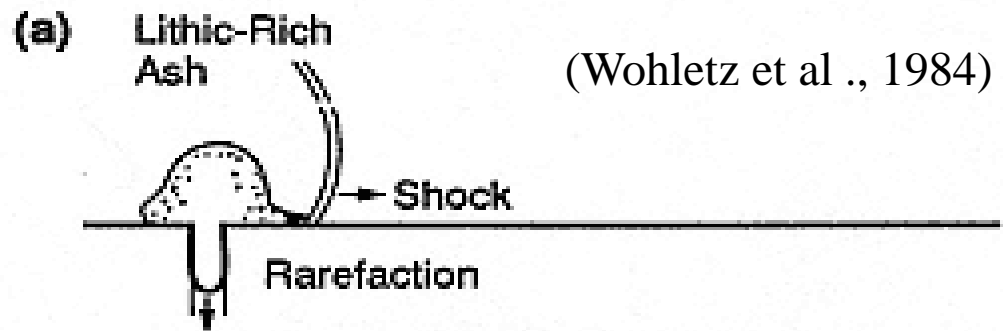


Source, Nikaragua



Pyroklastická vlna (Pyroclastic surge) Boaco (Nikaragua)

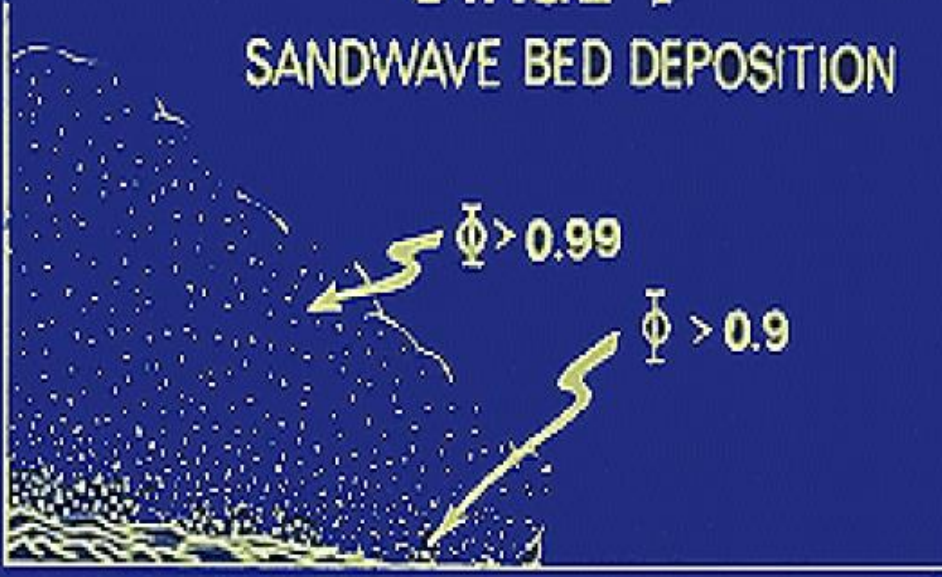
(Wohletz et al., 1984)



- Model chování pyroklastických vln během počátečního stádia pliniovské erupce:
- a) Přetlakový výbuch způsobí šokovou vlnu jdoucí před popelem bohatým na litické fragmenty,
- šokové vlny způsobují zředění pyroklastického materiálu
- b-c) od místa výbuchu se šíří šokové vlny,
- způsobují zředění na okrajích proudu,
- vznikají tak explozivní vlny (blast wave) které jsou v předpolí hlavního proudu pyroklastik
- d) Začíná kolabovat pyroklastický sloup a usazuje se časný popel z jícnu (juvenile ash)

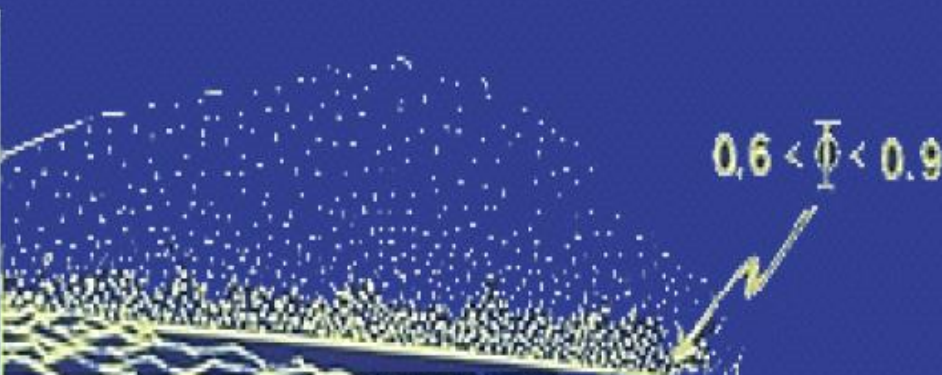
STAGE I

SANDWAVE BED DEPOSITION



STAGE II

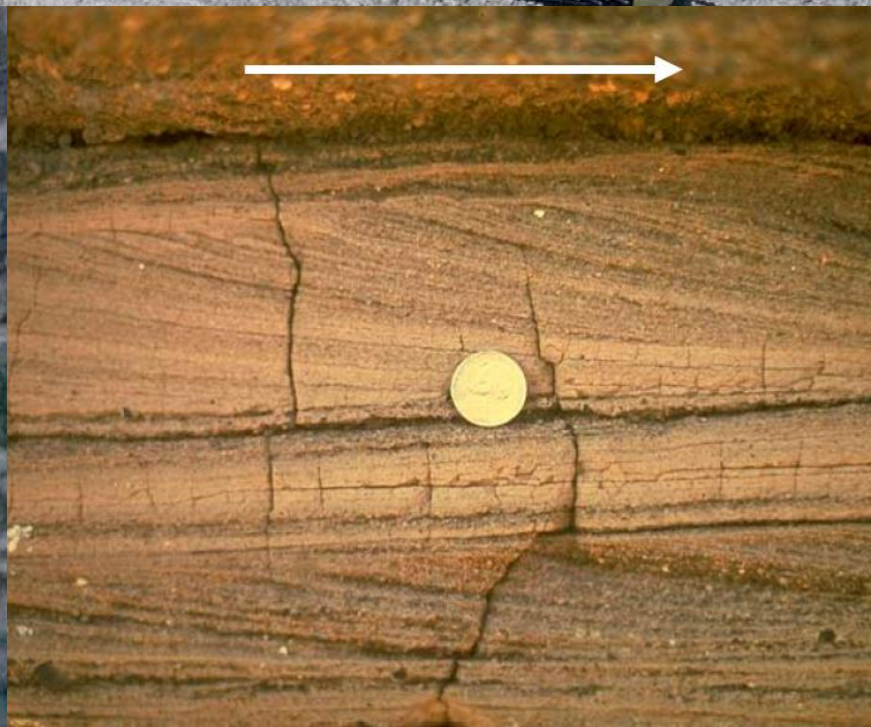
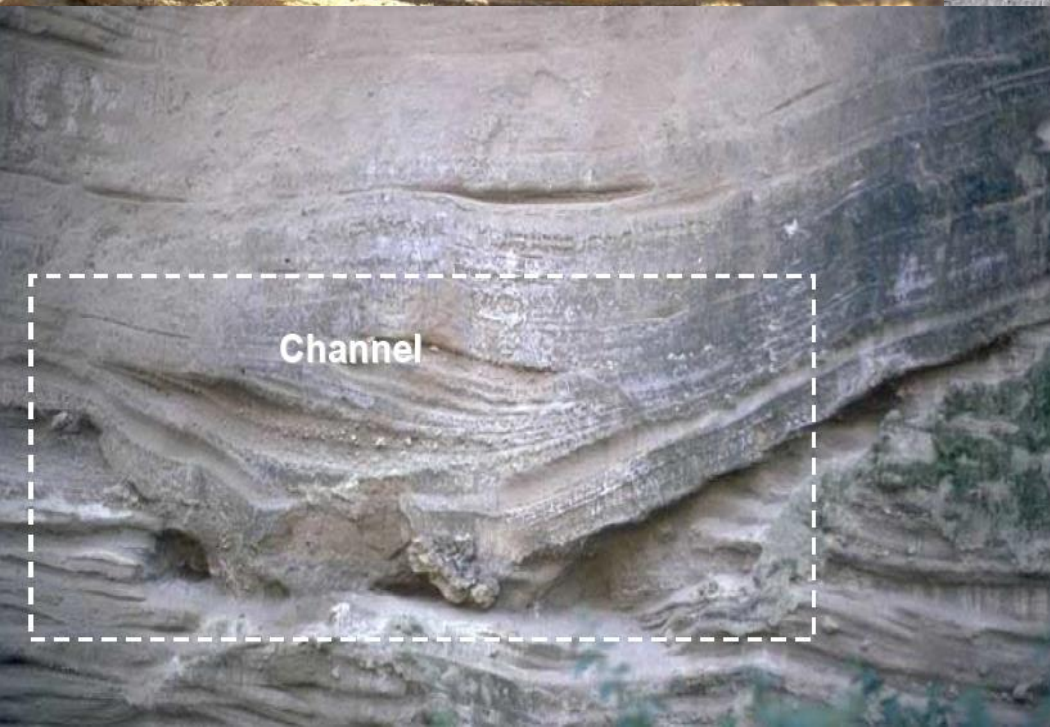
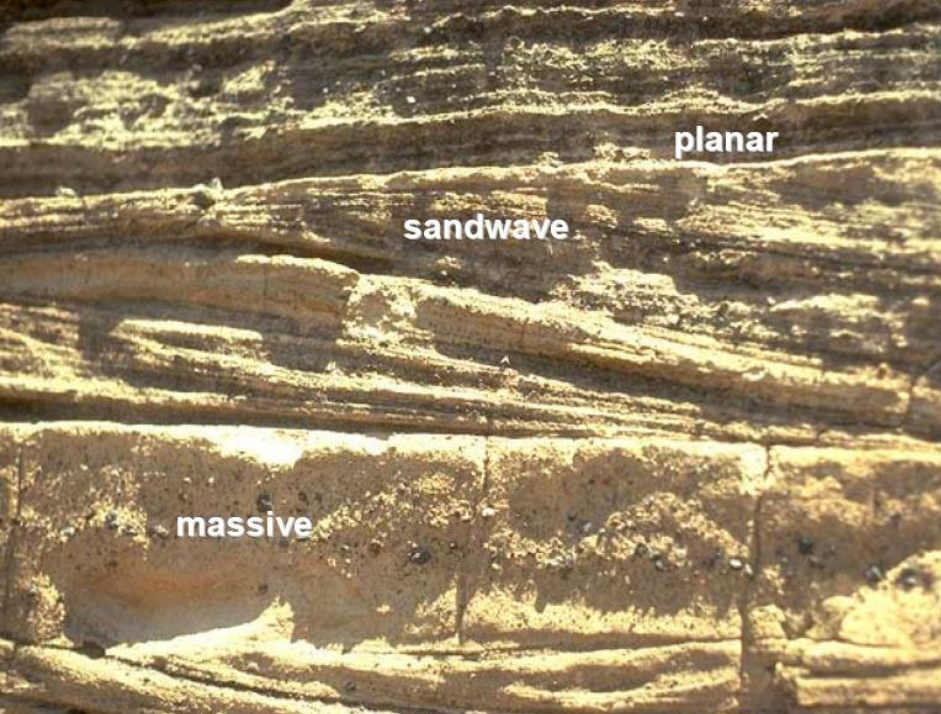
MASSIVE BED DEPOSITION



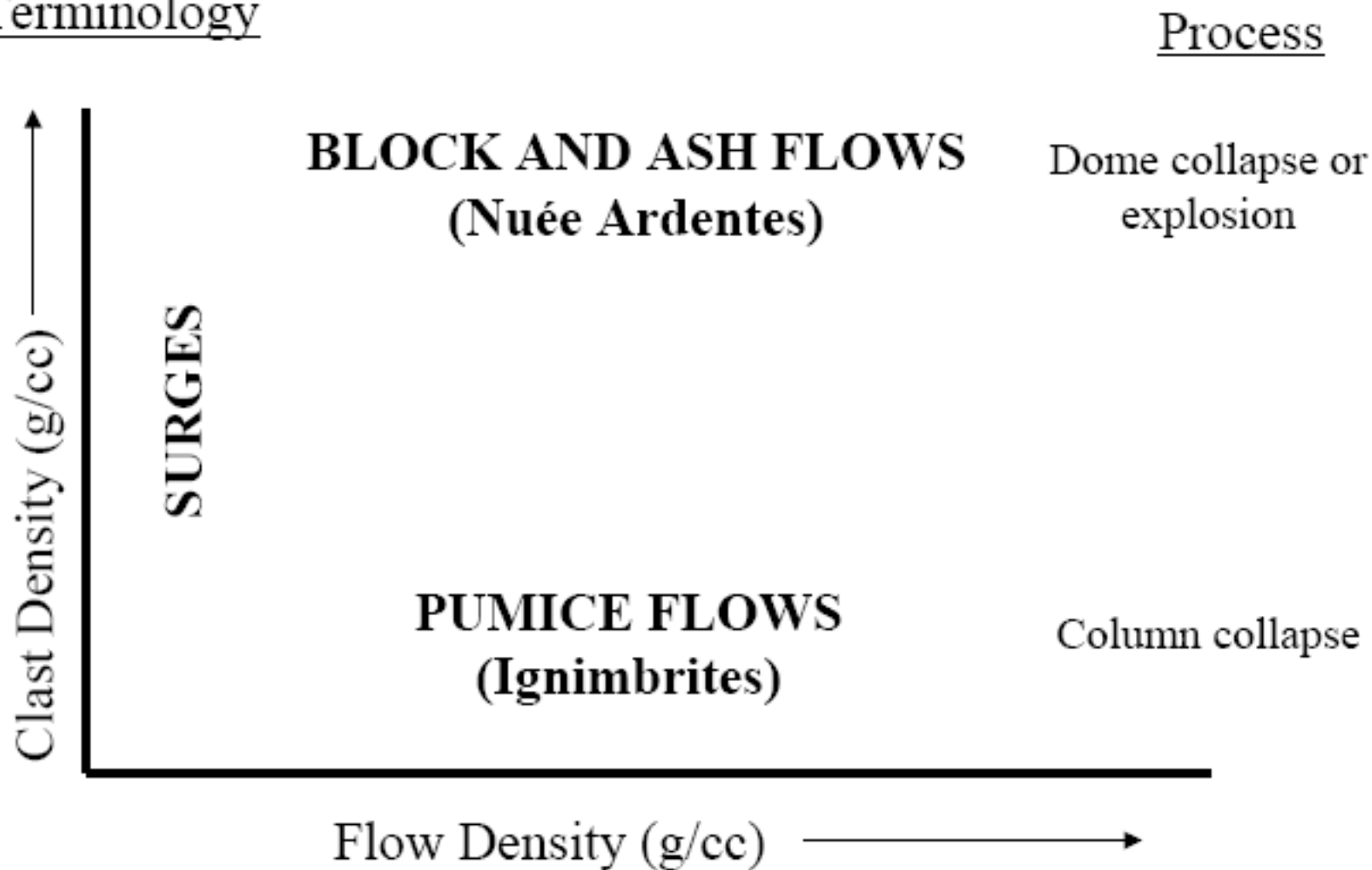
STAGE III

PLANAR BED DEPOSITION





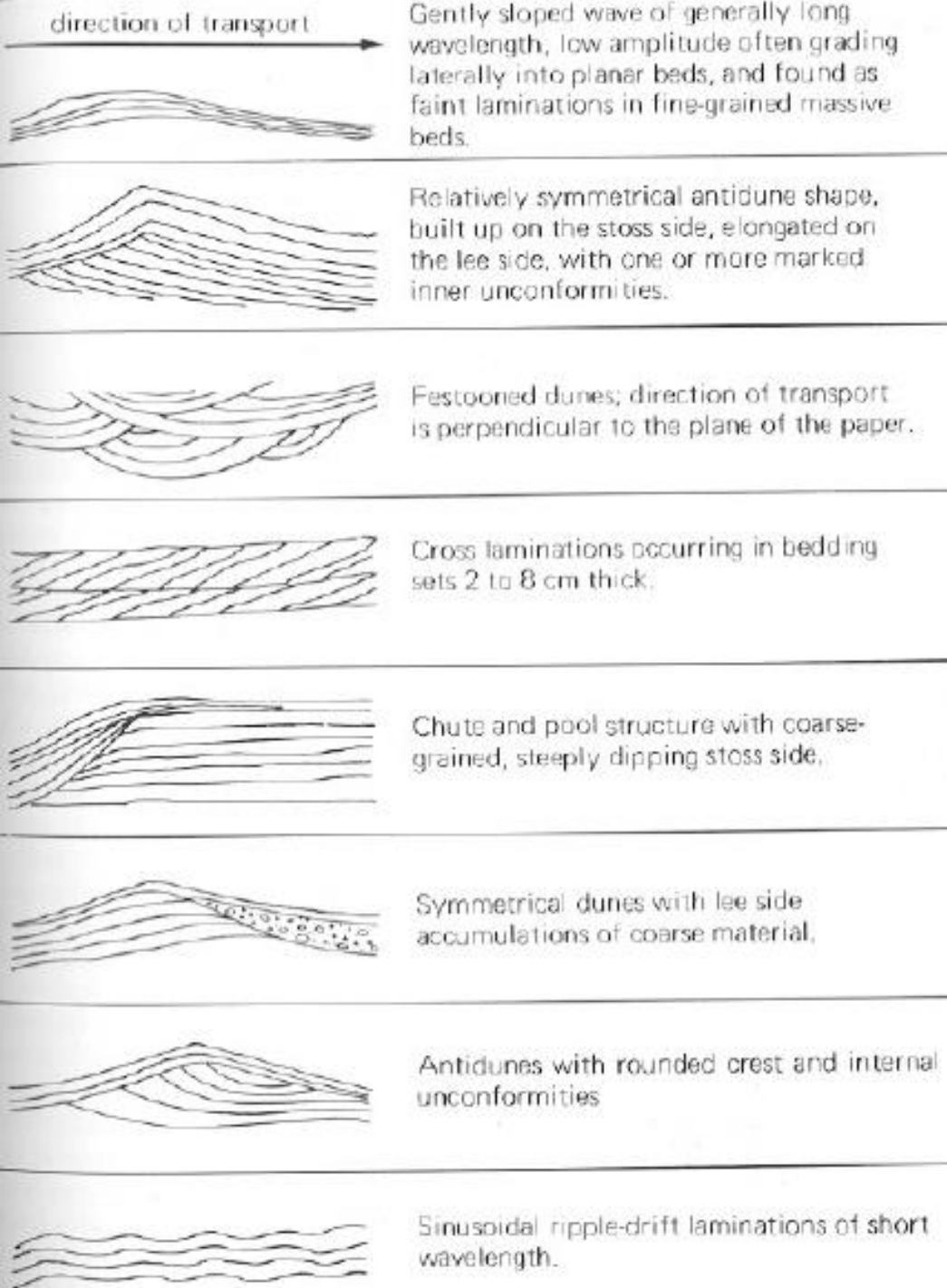
Basic Terminology



Vztah mezi hustotou proudu a hustotou klastů



Source, Nikaragua



- **způsob transportu:** neustálý laterální proud přes podloží, rytmická saltace, pohyb v sustenzi
- **plošný rozsah:** usměrněný, částečně řízený odtokovými možnostmi reliéfu
- **sedimentační struktury:** tence zvrstvené, vykazují řadu sedimentárních struktur (duny, různé typy zvrstvení, deformace v mokřím sedimentů)
- **zrnitostní charakteristika:** špatně nebo středně vytríděné jemný až hrubý popel
- **mechanismus erupce:** vulkánská, Pliniovská, freatická, hydrotermální
- surge je řidší než pyroklastický proud
- proto surge snadněji překonává terénní nerovnosti a má větší rozsah a je nesnadněji předvídatelný



Source, Nikaragua

Pyroklastické vlny (Surges)

Bazální pyroklastické vlny (Base Surges)

- Poprvé popsány na vulkánu Taal (Moore 1967)
- Velmi podobné s usazeninami generovanými nukleárním výbuchem
- Vznikají v důsledku interakce magmatu s vodou například v maarech
- Sedimenty dosahují vzdálenosti 5-6 km od vulkánu

Spodní pyroklastické vlny (Ground Surges)

- Tyto sedimenty vznikají na bázi pyroklastického proudu (laharů)
- Jsou jemně planárně a často také křížově zvrstvené
- Mocnost vrstev je kolem 1 m
- Jsou složeny hlavně z litických fragmentů a fragmentů krystalů

Pyroklastické vlny popelového mraku (Ash Cloud Surges)

- Je nejvíce ničivý typ
- Vytváří tenkou vrstvou
- Pohybuje se velkou rychlostí (10 – 100 m/sec) a nese sebou stromy, bloky hornin