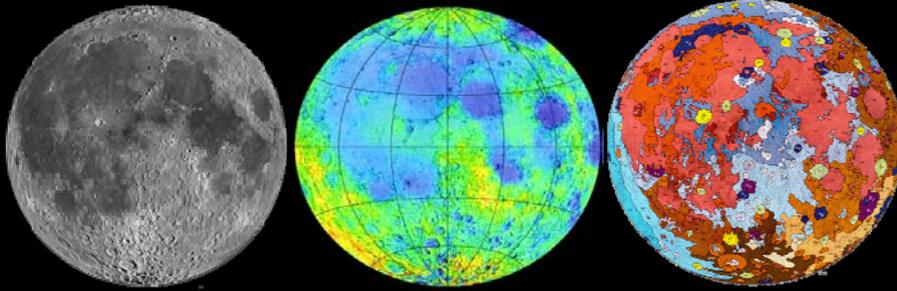


MARSEILLE, 29 juin 2019
 Centre de Physique des Particules de Marseille



POURQUOI POURSUIVRE L'EXPLORATION DE LA LUNE ?

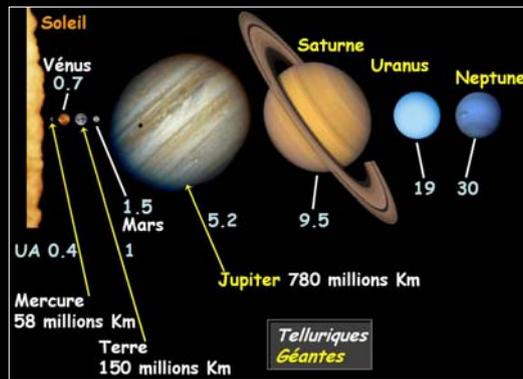


Serge Chevrel

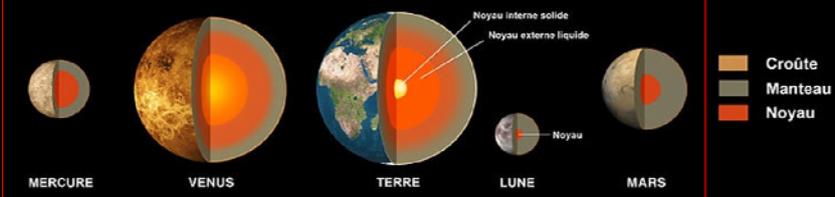


Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP) - Toulouse

LE SYSTEME SOLAIRE



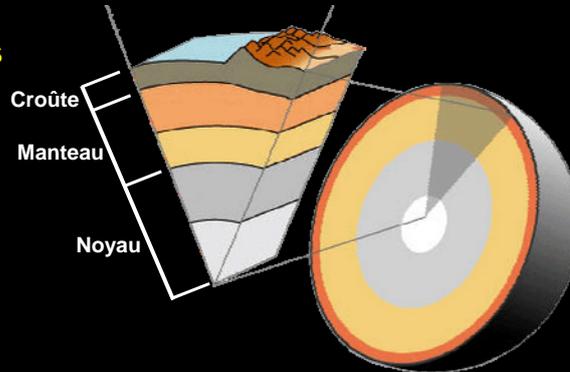
Planètes telluriques



LES PLANETES TELLURIQUES

→ **objets différenciés**

Noyau (métallique)
Manteau silicaté (rocheux)
Croûte silicatée (rocheuse)

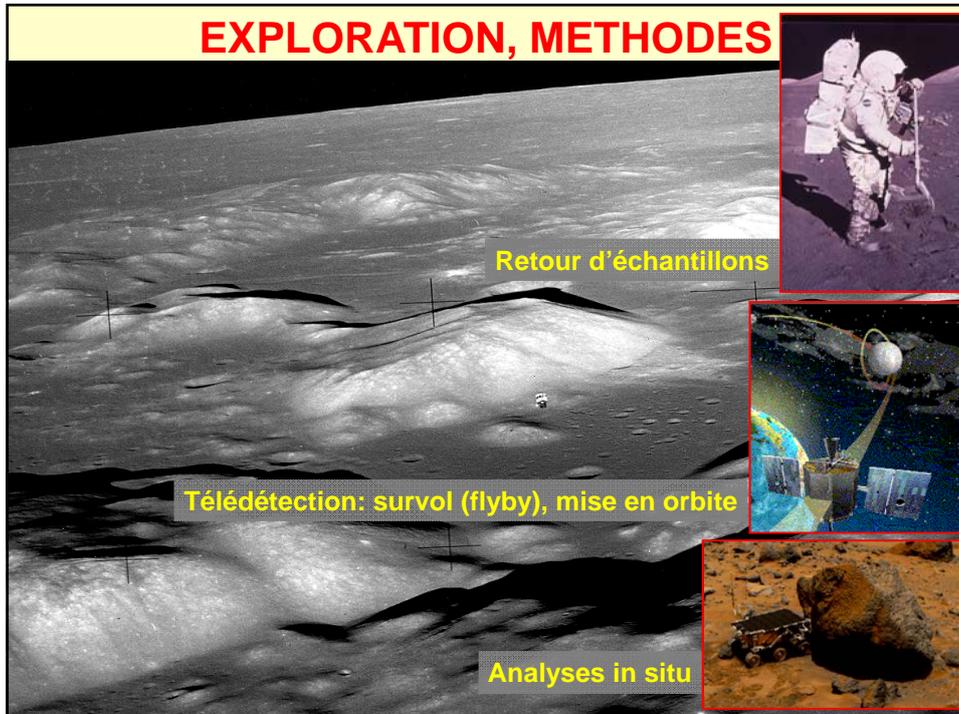


Mécanismes de formation et d'évolution depuis 4.5 Ga ?
(*identification des processus géologiques majeurs*)

→ Retracer l'histoire des planètes

Données essentielles = **ROCHES**
composition de la surface
= chimie (abondances en éléments), minéralogie
→ types de roches

EXPLORATION, METHODES



MINERAL → ROCHE

Roche

Matériau formé par un assemblage de **minéraux**

Minéral

Espèce chimique naturelle (solide cristallin)

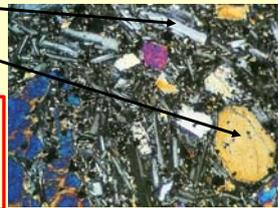
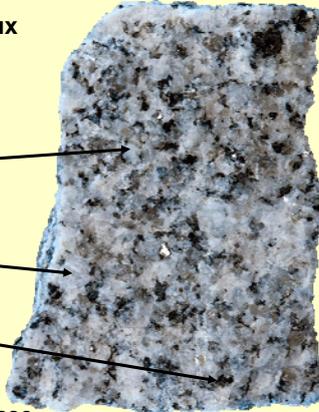
Granite

quartz,
feldspath plagioclase
mica

Basalte

feldspath plagioclase
Pyroxène
olivine

**Roches magmatiques
= roches résultant la
cristallisation d'un magma**



Apollo (1969-1972)

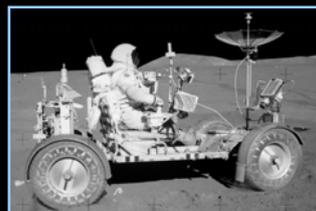


Vaisseau Apollo

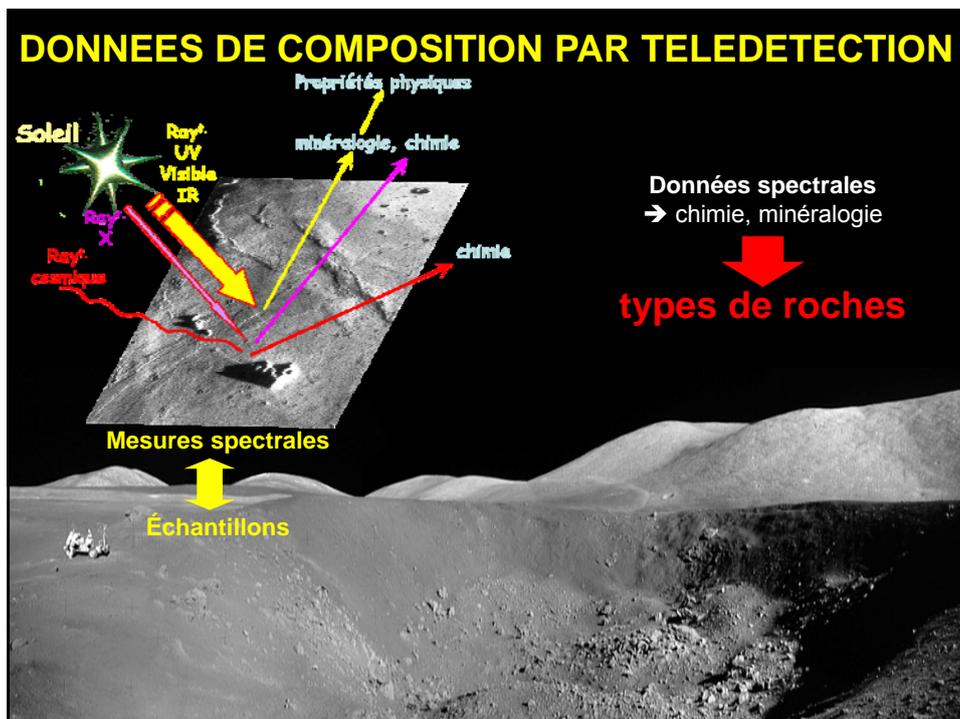
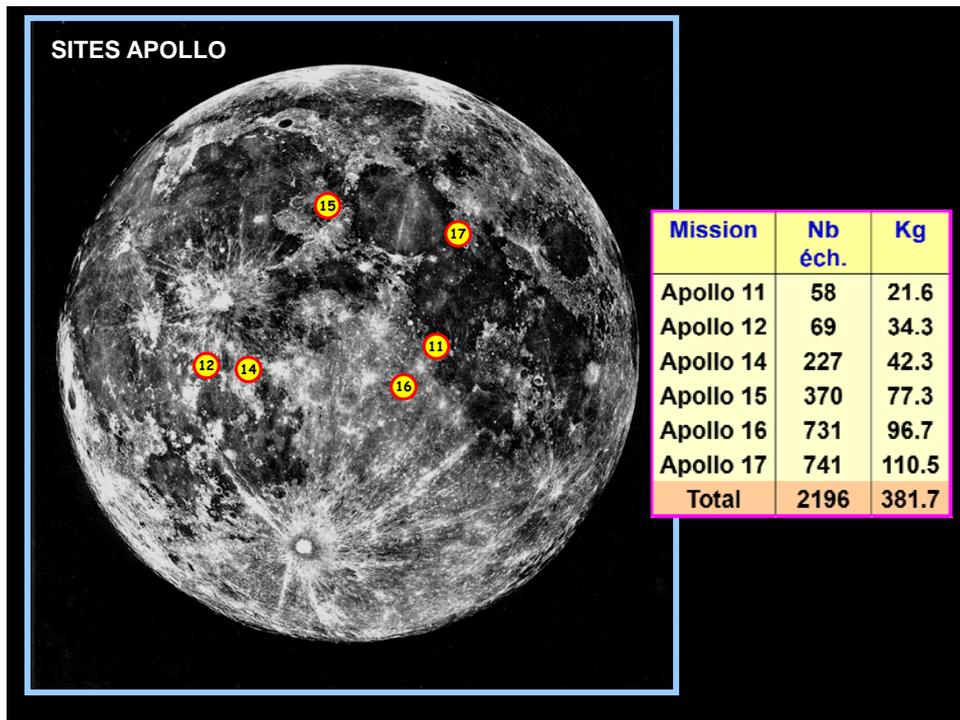
Saturne 5

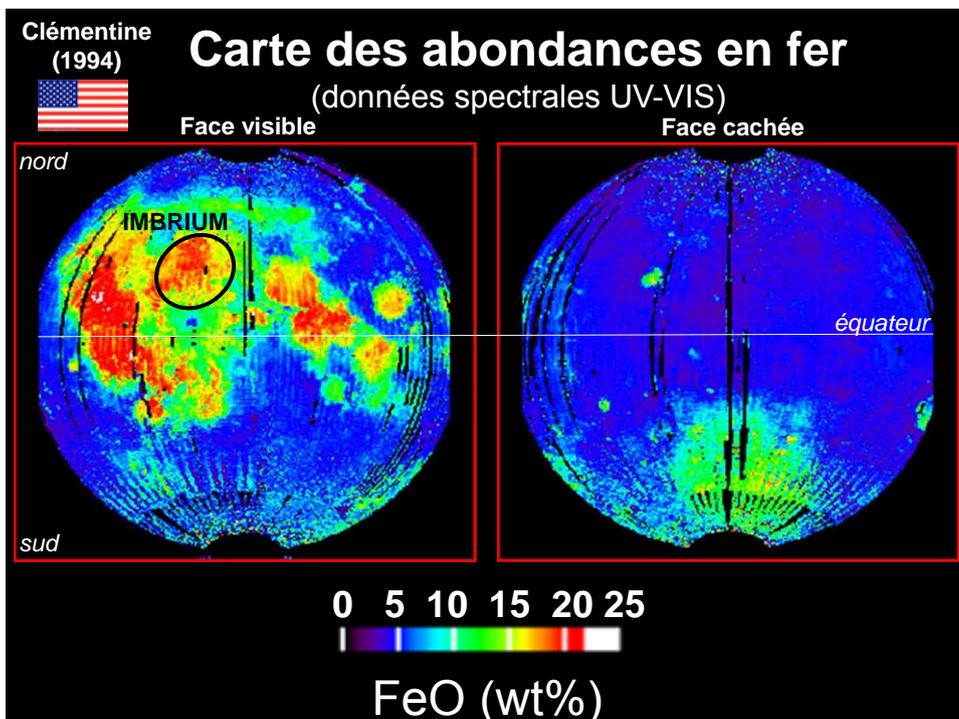
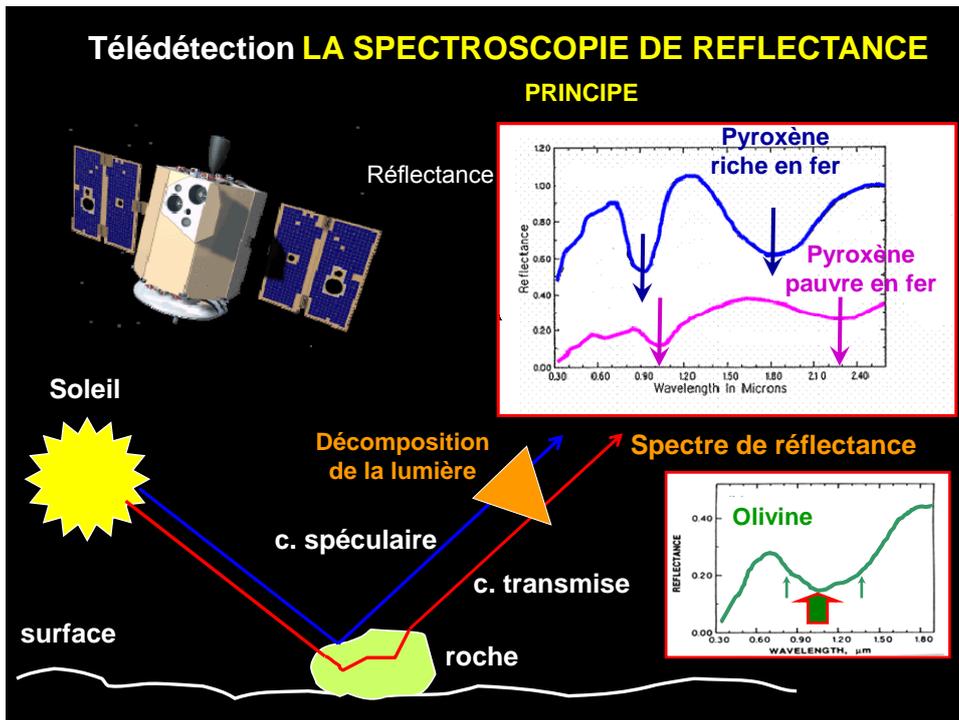


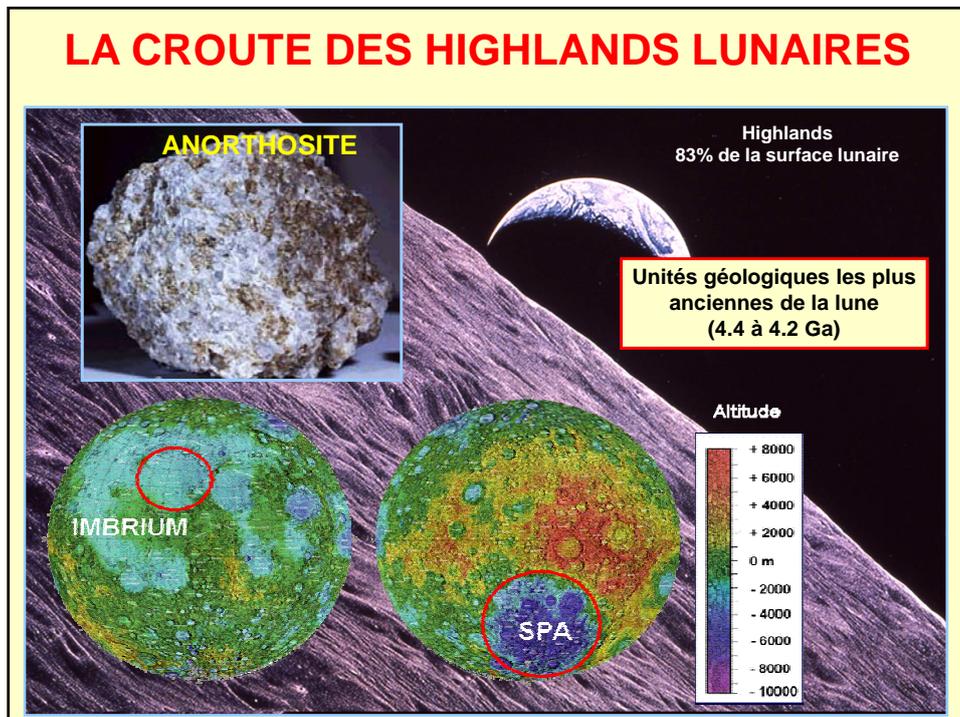
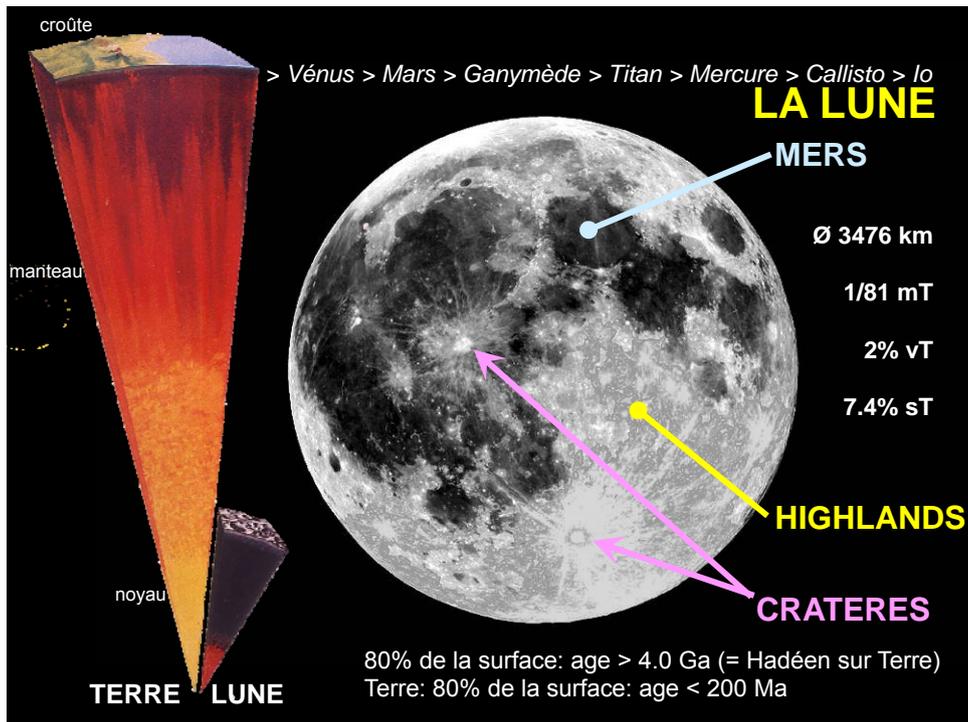
Module Lunaire



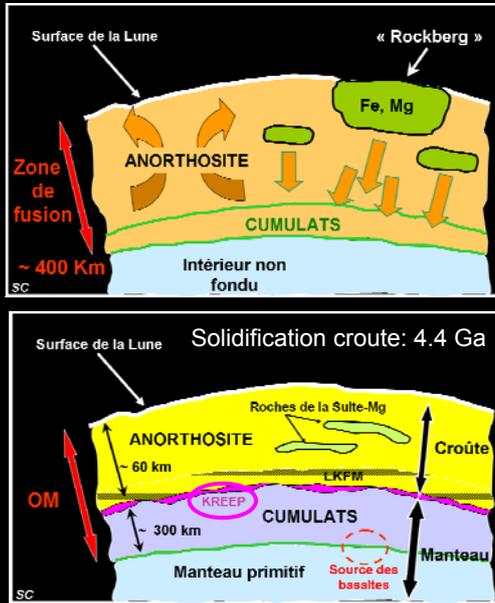
Rover lunaire







L'OCEAN DE MAGMA GLOBAL LUNAIRE (LMO)



Séquence d'évolution du LMO

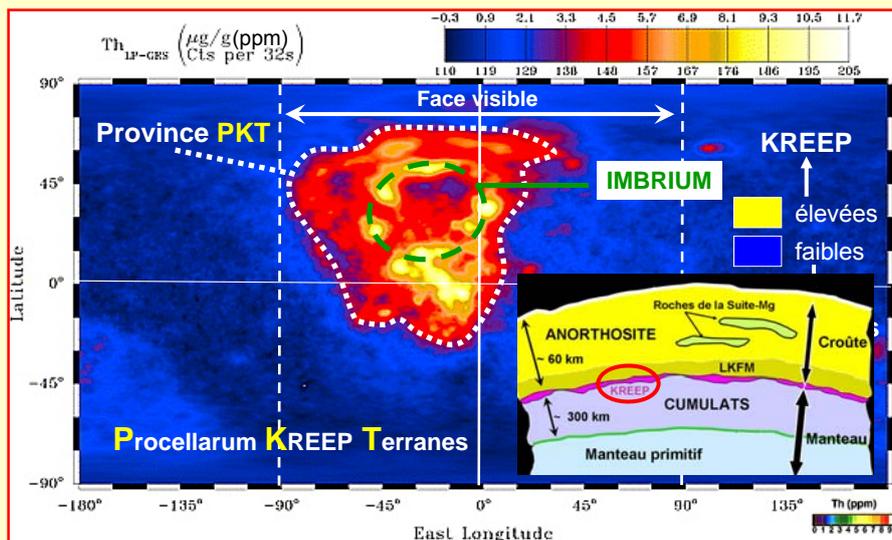
Cristallisation des minéraux lourds (riches en Mg et Fe)
 → cumulats de profondeur

Minéraux légers de fin de cristallisation en flottation dans l'océan → cumulats de surface = **anorthosites**

Fin de solidification du LMO: cristallisation des liquides résiduels riches en éléments incompatibles (dont Th) → **KREEP**

LMO = structure et évolution très complexes
 → difficile à modéliser

LA CROÛTE LUNAIRE DES HIGHLANDS Carte des abondances en Thorium (Th) = traceur de la distribution du KREEP



L'océan de magma global

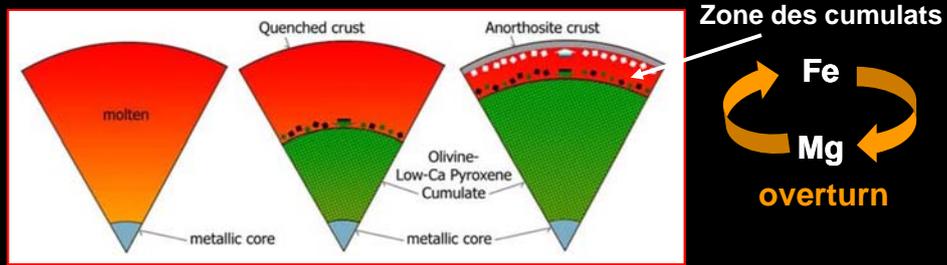
« questions/complications »



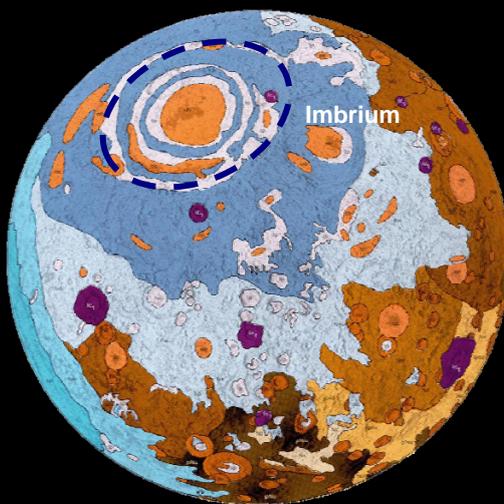
Flottation du plagioclase ?

Instabilité gravitationnelle des cumulats
→ **overturns**

Profondeur de l'océan de magma ?
Timing ? Homogène ?



LA CROUTE DES HIGHLANDS LUNAIRES LES BASSINS D'IMPACT



pic de cratérisation entre 4.1 et 3.85 Ga
= **bombardement cataclysmique**

→ 40 bassins d'impact

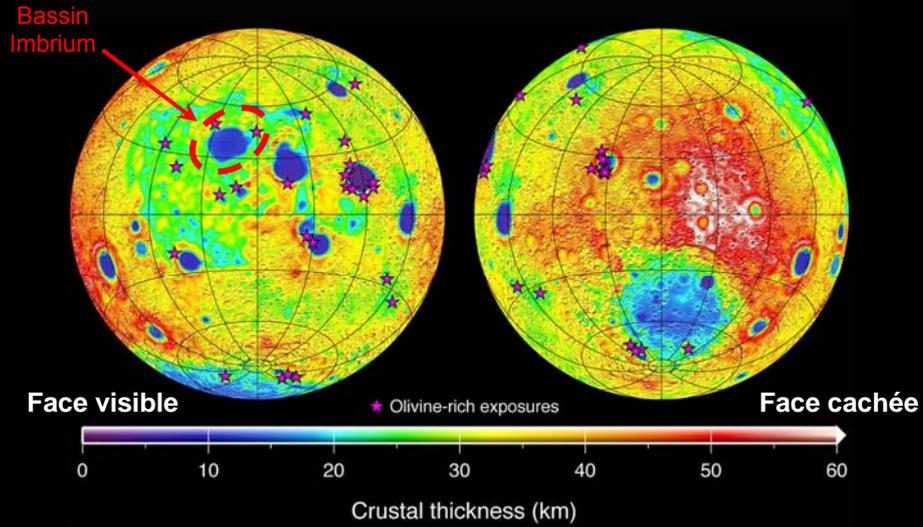
Bassin Imbrium

3.85 Ga

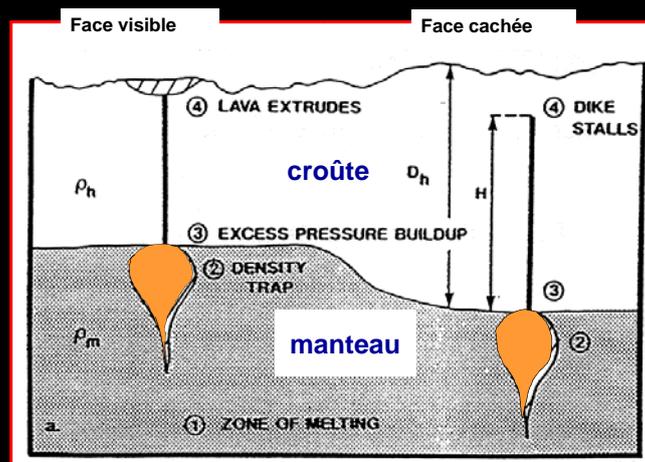
Epaisseur de la croûte lunaire



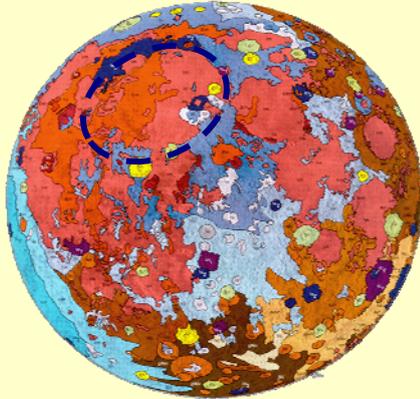
- Epaisseur moyenne: ~ 40 km (~ 0 à 110 km)
- En moyenne 17 km plus épaisse pour la FC que pour la FV



Montée des magmas depuis l'intérieur de la Lune

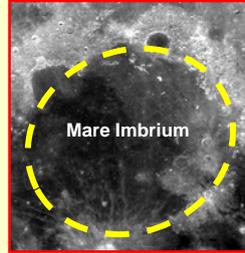


LES DEPOTS VOLCANIQUES DES MERS LUNAIRES



Remplissage (basaltes)
des bassins d'impacts
→ Mers lunaires

→ **Volcanisme non relié aux impacts**
(200 à 300 Ma après derniers impacts à 3.8 Ga)



Mare Imbrium



BASALTE

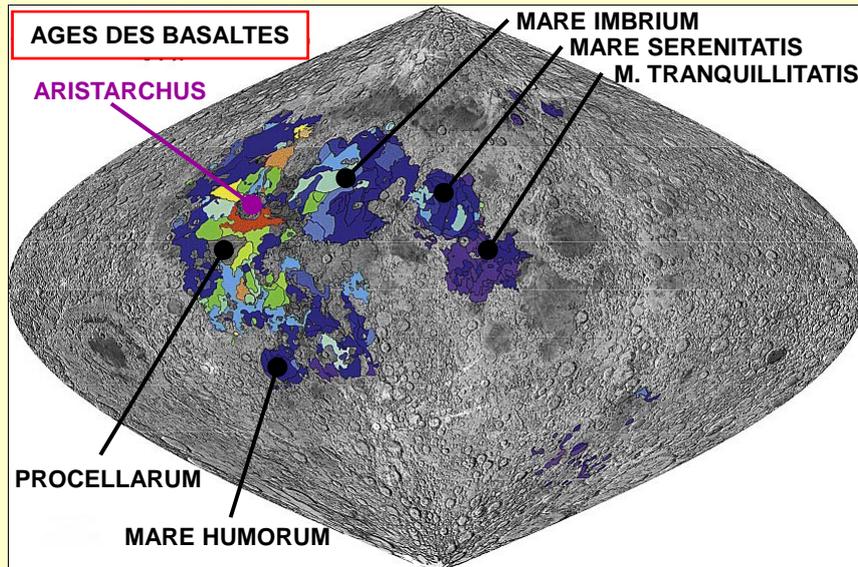
Volcanisme des mers lunaires
4.2 – 2.5 Ga

Plus grands volumes: 3.8 à 3.1 Ga
Pic d'activité: **3.6 Ga (3.5 Ga)**

Taux très bas entre 3.0 et 2.0 Ga

Dépôts les plus jeunes:
Mare Imbrium et O. Procellarum
(PKT)

Agés des dépôts volcaniques des mers (FV-centre-ouest)



AGES DES BASALTES

ARISTARCHUS

PROCELLARUM

MARE HUMORUM

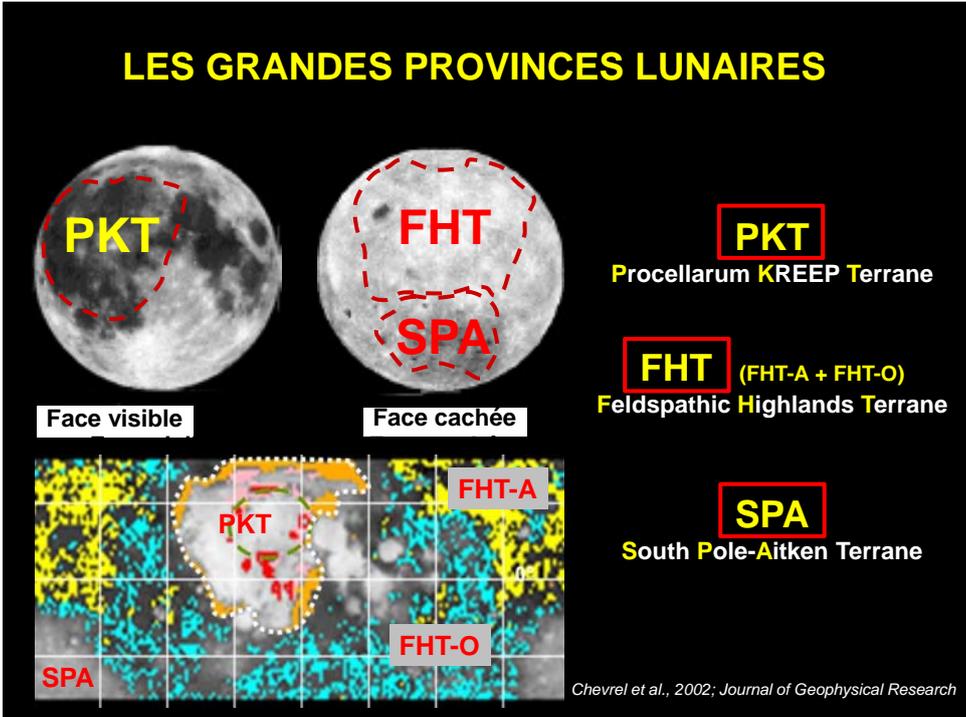
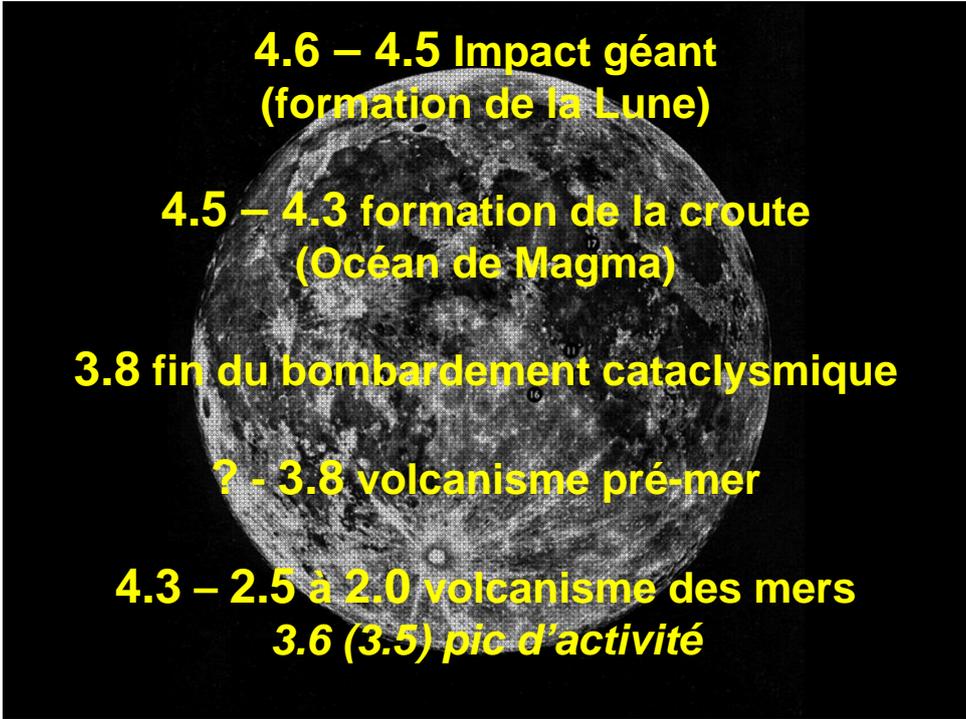
MARE IMBRIUM

MARE SERENITATIS

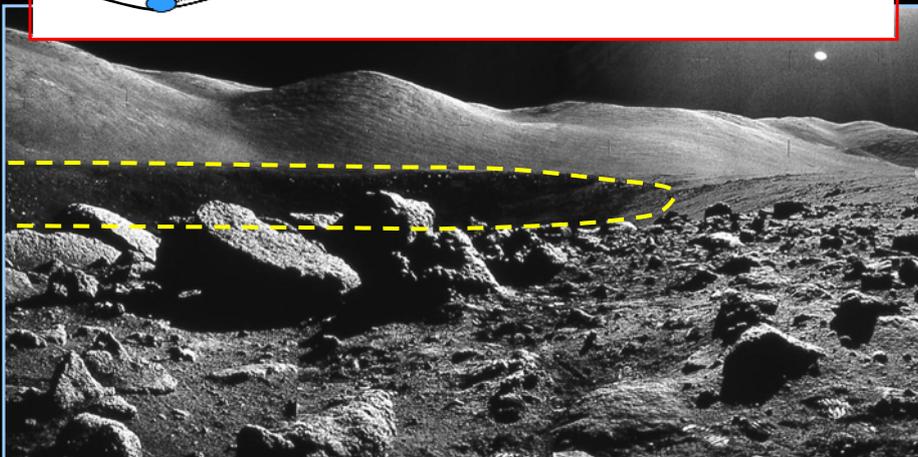
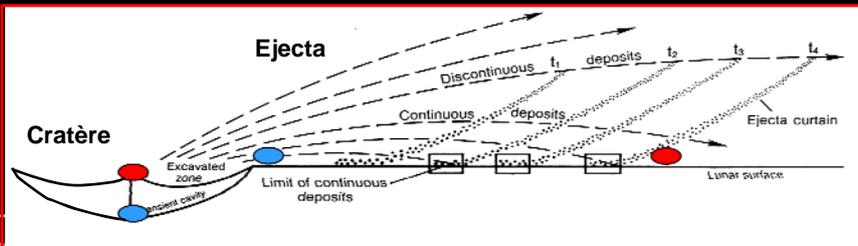
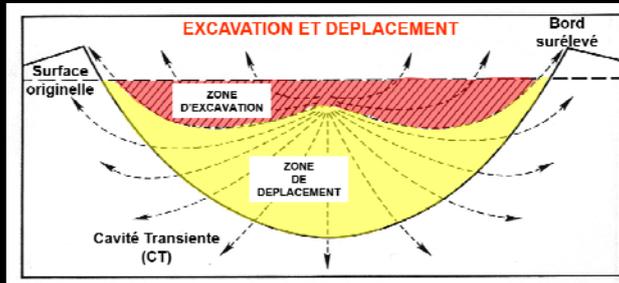
M. TRANQUILLITATIS

1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0

Hiesinger et al.,
2003



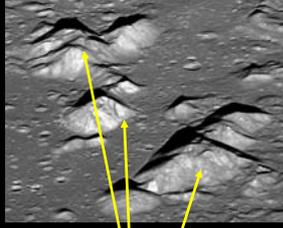
LES CRATERES D'IMPACT



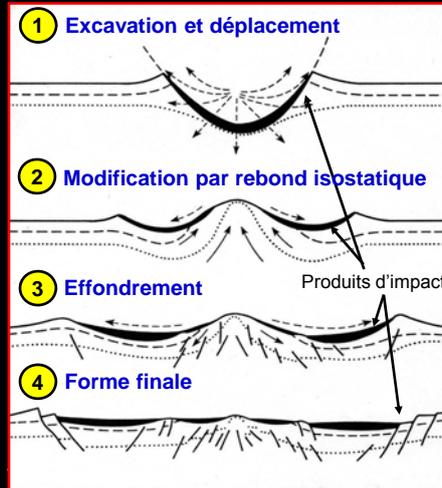
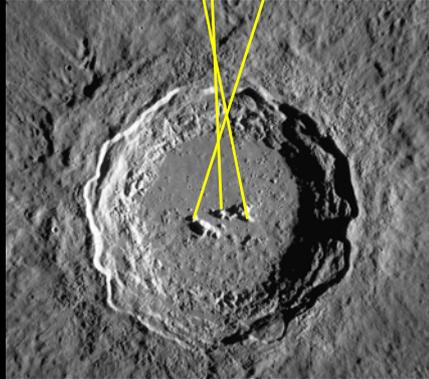
Cratère Camelot Ø 600 m (Apollo 17)

Cratères complexes **LE CRATERE COPERNIC**

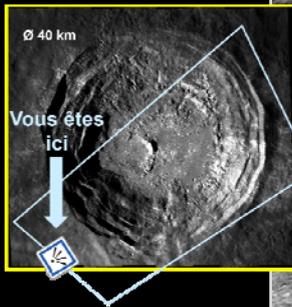
(Ø 93 km)



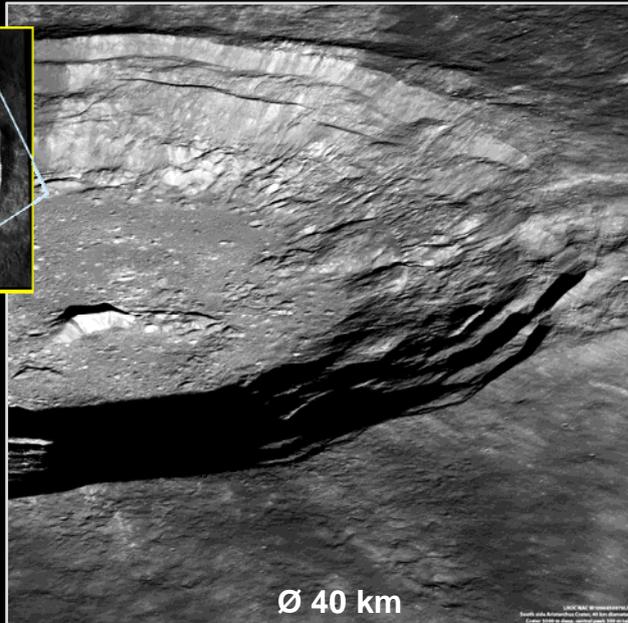
Pics centraux



LE CRATERE ARISTARCHUS



Profondeur
≈ 4000 m



LE CRATERE ARISTARCHUS

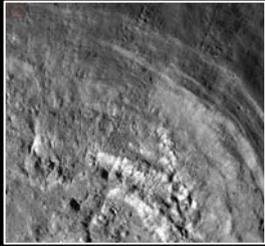
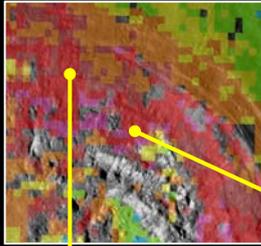
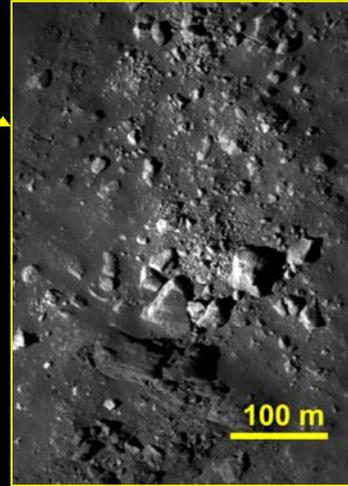


Image morphologie



Données spectrales

Images haute résolution
LRO



100 m

Relation

Morphologie
haute résolution

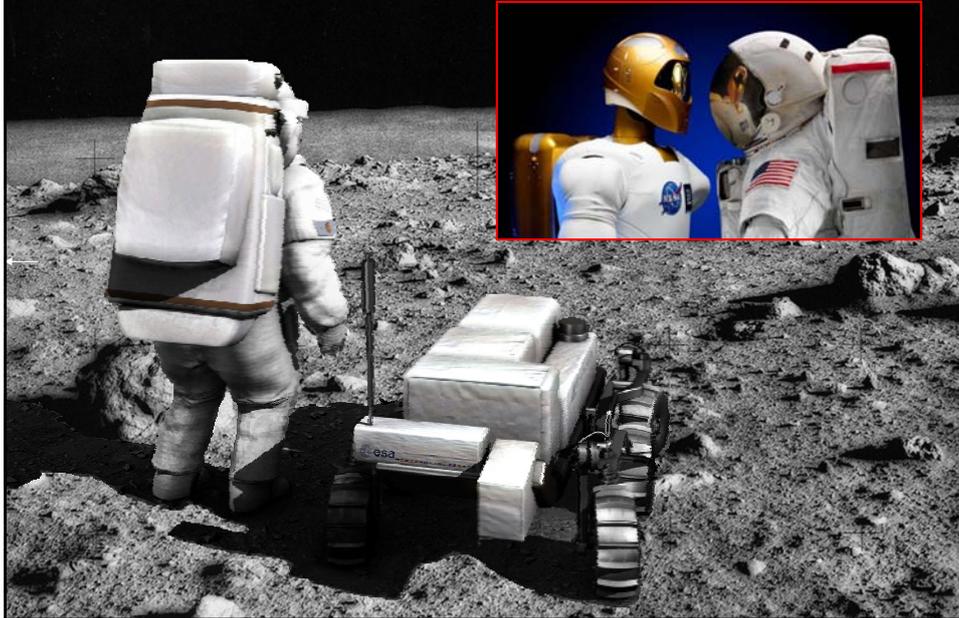


Données spectrales
(composition)

It's time to go for another walk.



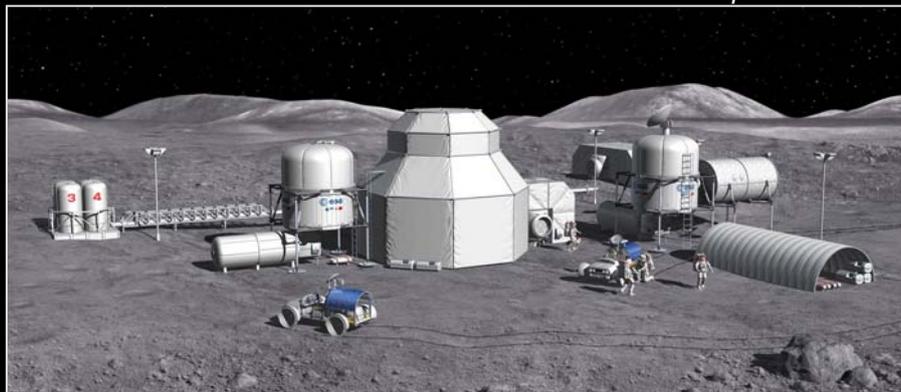
L'EXPLORATION FUTURE DE LA LUNE ASTRONAUTE ET ASSISTANCE ROBOTIQUE



RETOUR SUR LA LUNE

- Missions 7-10 jours
- « Lunar outpost »

*Science
Modules habitat
Ressources lunaires
Véhicules sol & spatiaux*



- Base lunaire permanente

*Autonomie
Exploration étendue
Transposition sur Mars*

© Serge Chevrel 2019



CNRS – UMR5277 - IRAP
Institut de Recherche en
Astrophysique et Planétologie
Observatoire Midi-Pyrénées
14 avenue E. Belin,
31400 Toulouse, France
serge.chevrel@irap.omp.eu

