

**Club d'astronomie ORION**

**Sanary sur mer**

# **LA METEORITE DE LA TOUNGOUSKA**

**par Robert Sénémeaud**

*rsenemeaud@gmail.com*

## **Explosion d'une météorite au-dessus de la plaine sibérienne de la Toungouska.**

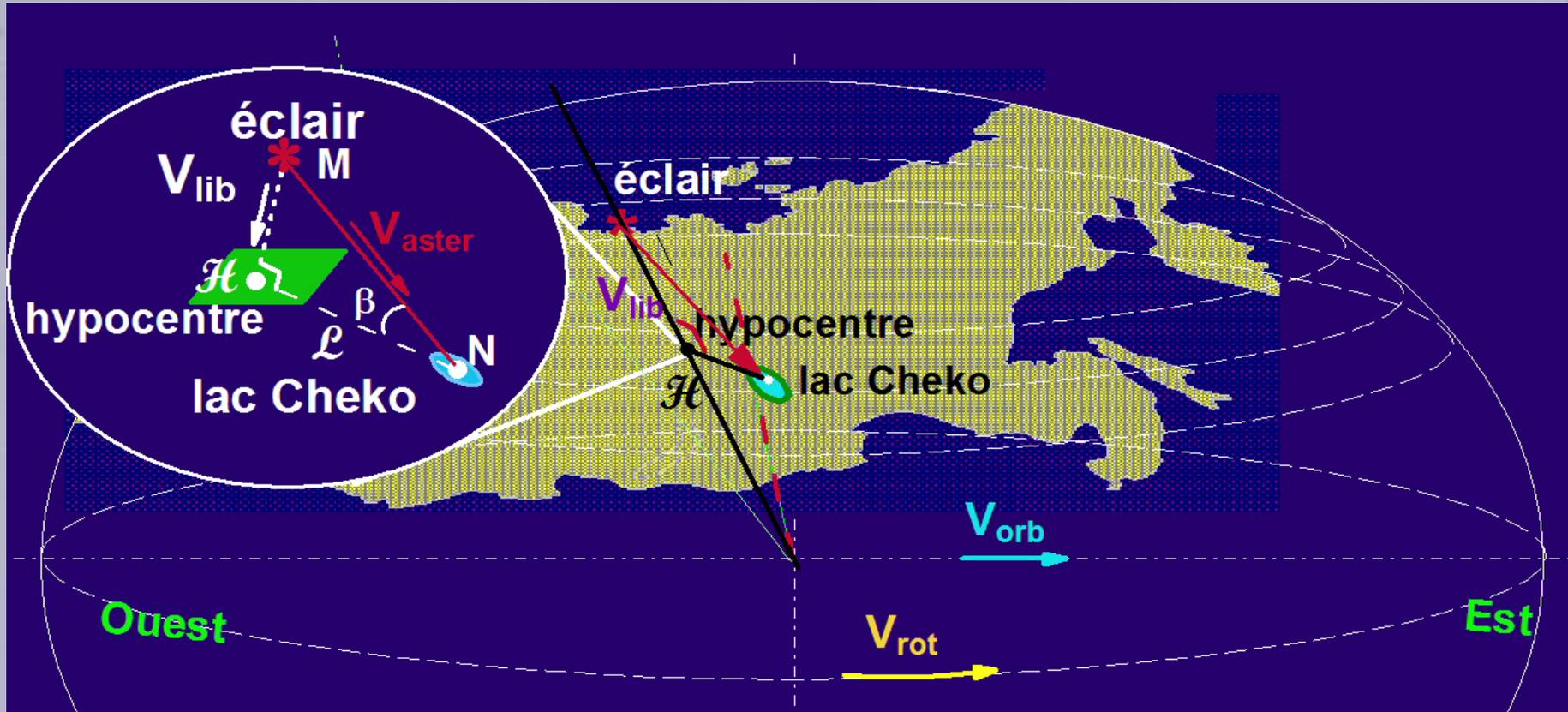
**Un fragment cométaire primaire a explosé en vol à une altitude d'environ 10000 m le 17 juin 1908 vers 7h 13 en sibérie centrale, à 3640 km de Moscou.**

**L'explosion a engendré une onde de choc dans l'atmosphère qui s'est propagée jusqu'au sol en détruisant intégralement la forêt dans un rayon de plus de 20 km, abattant 60 millions d'arbres ; le souffle fit des dégâts sur plus de 100 km. Un séisme de magnitude 5 a été enregistré à Irkoutsk, distante de 1000km de l'hypocentre de l'explosion.**

**Le cratère d'impact dans le permafrost à 7km de l'hypocentre est devenu le lac Cheko.**

**Les premières études de ce cataclisme, effectuées par des scientifiques russes, n'ont commencées qu'en 1927. A leur grande surprise ils n'ont trouvé aucune trace matérielle de la météorite.**

**Le géologue italien Gaspérini a repris ces études en 1999.**



dans le triangle MHN la tangente de l'angle  $\beta$  vaut :  $\text{tg } \beta = \frac{Z_{\text{éclair}}}{L}$

$$V_{\text{aster}} = \frac{V_{\text{lib}}}{\sin \beta} \implies V_{\text{aster}} = V_{\text{lib}} \sqrt{1 + \frac{L^2}{Z_{\text{éclair}}^2}}$$



# Lac Cheko



## Lac Cheko



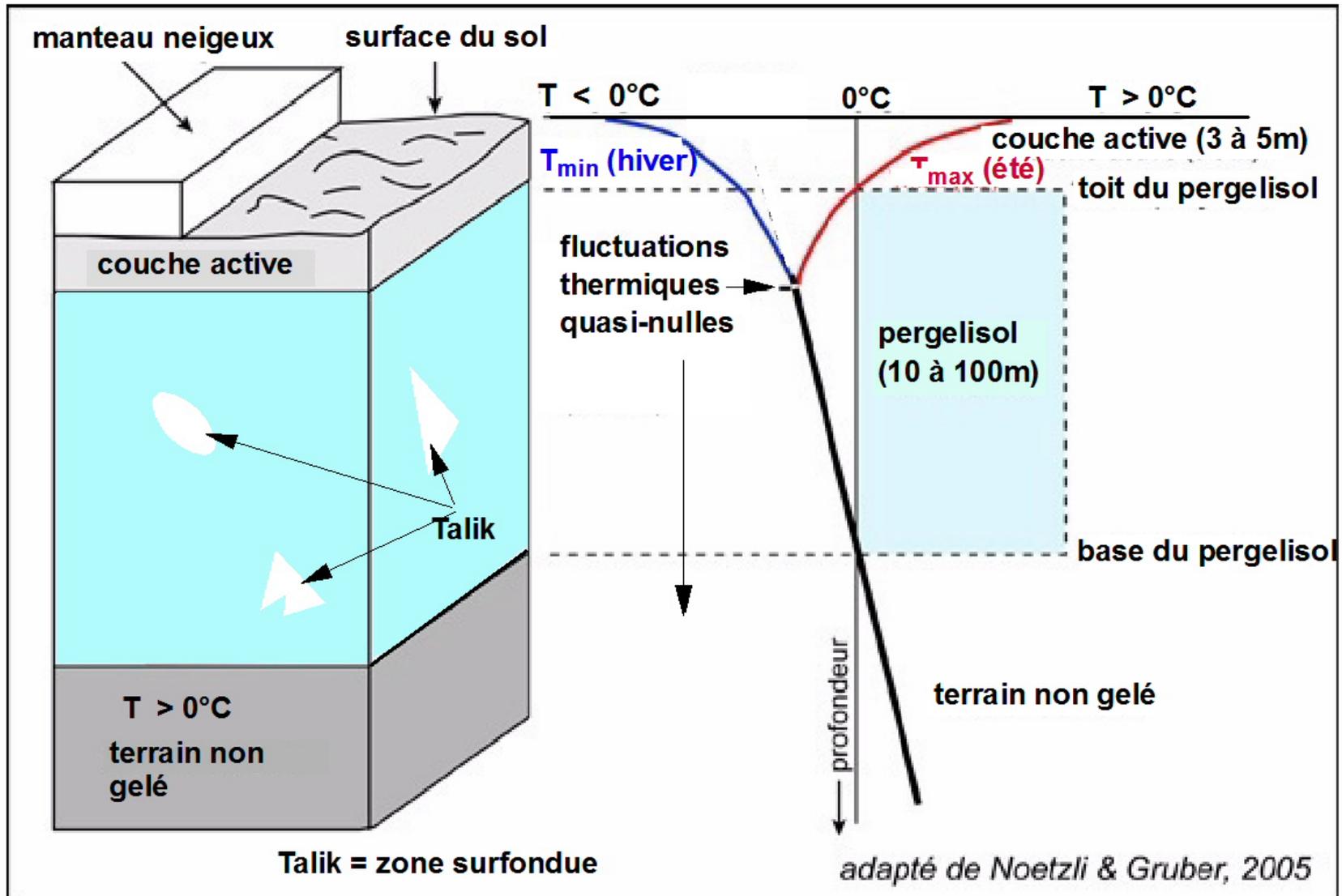
### *apparition du lac Cheko*

*Image de synthèse à partir d'un relevé bathymétrique du cratère présumé.*

*Volume tassé de permafrost déplacé par l'impact  $\approx 3$  millions de  $m^3$*

**nature du sol : pergélisol ou permafrost ( terre, sédiments, glace, eau liquide, gaz dissous : CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> ) phase solide  $\approx 25\%$**

# Profil thermique de la couche de pergélisol



## La Toungouska

Lors de sa proximité avec la planète Terre, sous l'effet des marées gravitationnelles induites, l'astéroïde se casse en divers gros fragments retrouvés sur le sol après la chute.

**La météorite de la Toungouska est-elle pierreuse ou de type cométaire?**

Sur place, et *a posteriori*, peu d'éléments trouvés au sol permettent de savoir quelle était la nature de la météorite.

Toutefois, le géologue Gaspérini a récolté dans le voisinage du lac Cheko des sphérules de Fe,Ni permettant de penser qu'un fragment solide a impacté le sol en ce lieu.

# La Toungouska

## Chute d'un astéroïde pierreux ?

La densité moyenne d'un astéroïde pierreux (mélange de silicates) est de l'ordre de 3000 à 4000 kg/m<sup>3</sup>. C'est un bloc compact.

Conséquence : pluie de morceaux météoritiques faisant une multitude de dégâts locaux, jusqu'à pouvant détruire une ville.

Ce n'est pas ce qu'on peut observer dans le cas de la Toungouska.

# La Toungouska

## Cas d'un astéroïde cométaire

Le matériau cométaire est excessivement poreux. Donc, la valeur importante du taux de vide permet aux molécules d'air de pénétrer profondément dans l'astéroïde en l'échauffant en masse et provoquant la sublimation des glaces. Celles-ci conduisent à son explosion et à la dispersion fine de sa partie pierreuse sous forme de sphérules trouvées plus tard sur le sol.

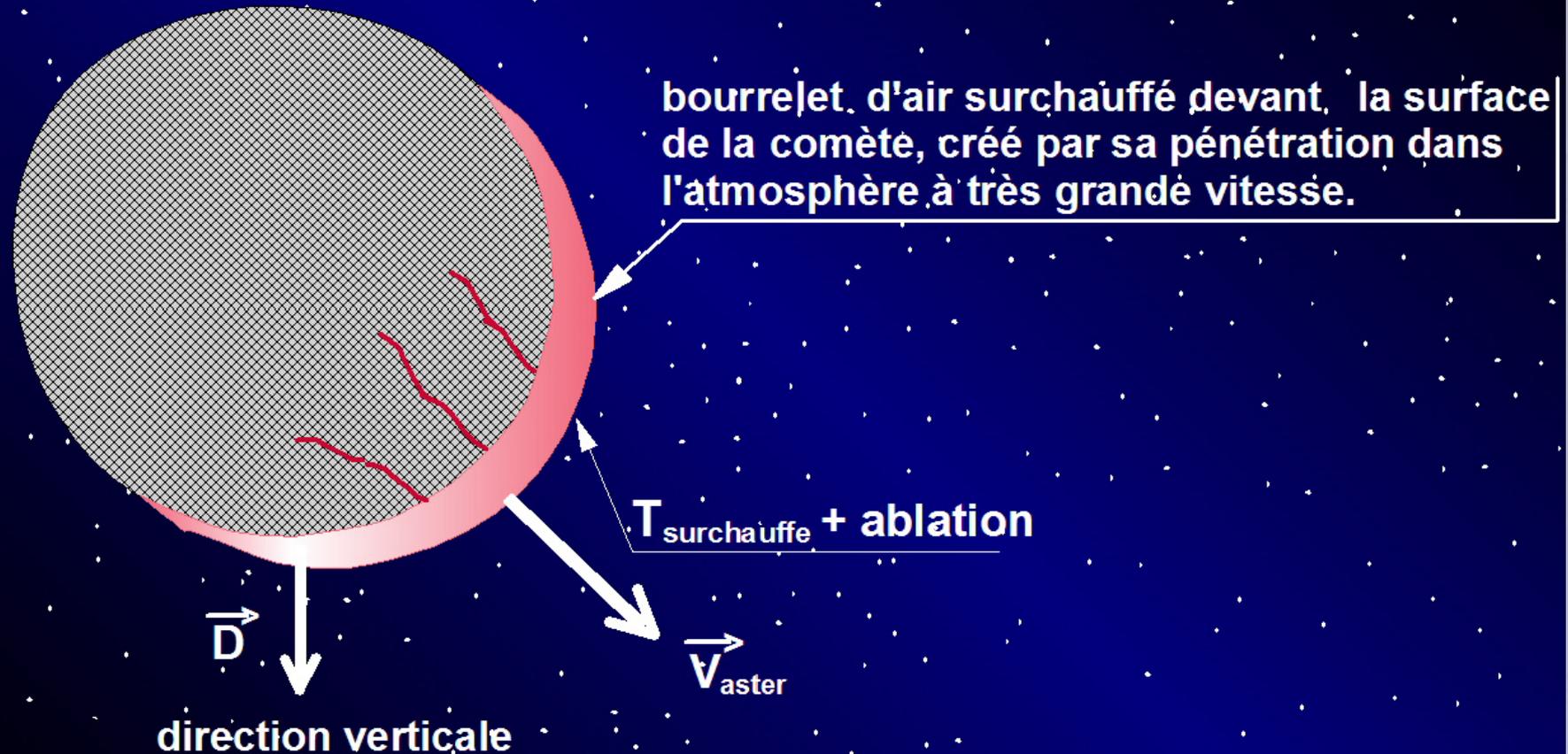
La comète avec noyau pierreux compact( lac Cheko) est le choix le plus simple pour pouvoir proposer une explication permettant de prendre en compte tous les indices relevés.

L'énergie de sublimation de la glace, constituant principal (> 50% en volume), est de :  $E_{sbl} \approx 3 \cdot 10^6$  joules / kg à laquelle il faut ajouter l'énergie de sublimation de la carboglace.

La densité du matériau cométaire est de l'ordre de 200 à 600 kg/m<sup>3</sup>.

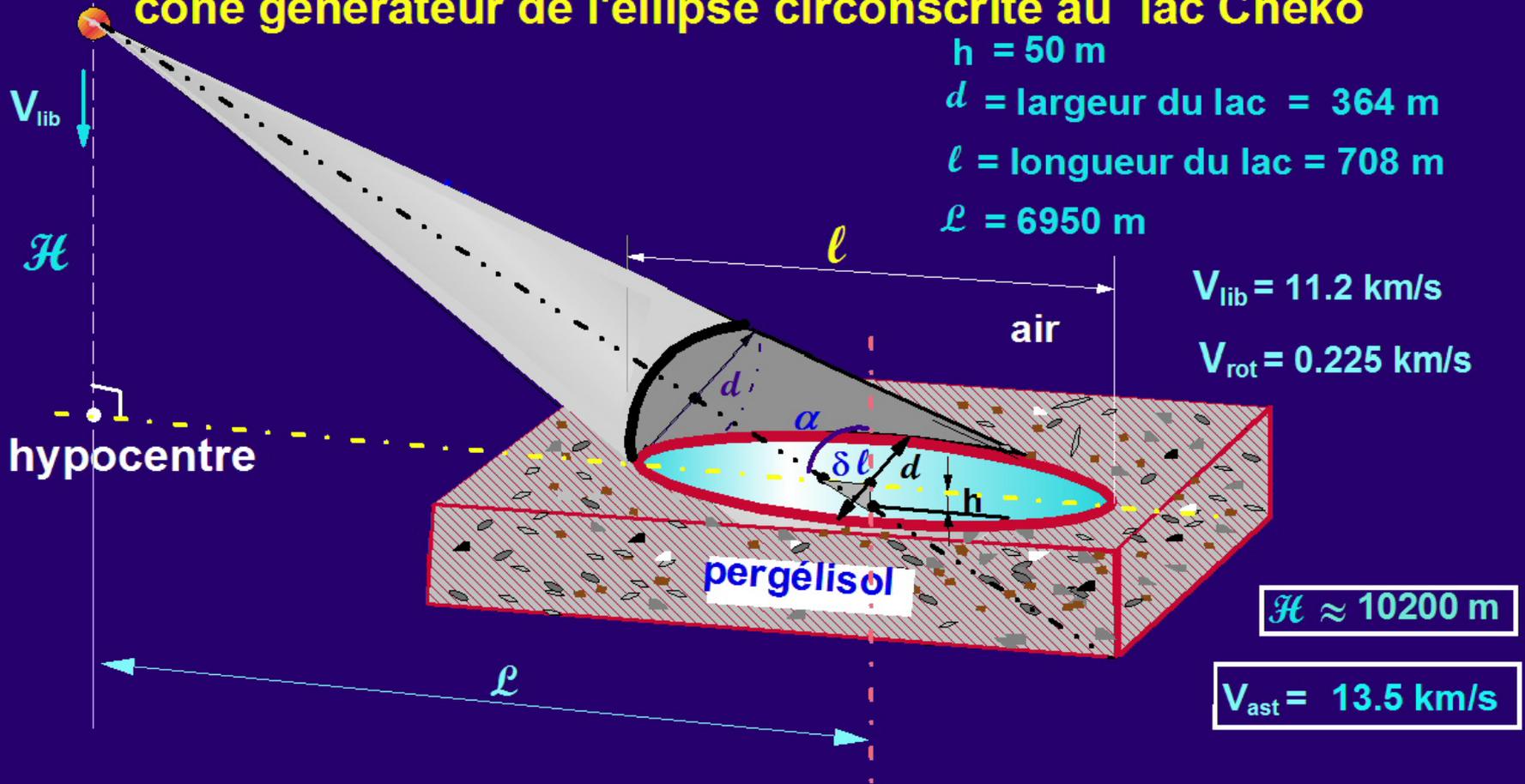
$V_{\text{aster}}$  = vitesse de la comète par rapport à la Terre.

$D$  = vitesse de l'onde choc induite par la désintégration.



# Impact avec le sol = création du lac Cheko

cône générateur de l'ellipse circonscrite au lac Cheko



$\mathcal{L} =$  distance orthodromique entre l'hypocentre et le centre du lac Cheko

# Le fragment secondaire

## bilan d'énergie

$$\underbrace{\frac{V_{ast}^2}{2} m_{fr}}_{\text{énergie cinétique}} + \underbrace{E_{fr_f}}_{\text{énergie de fusion}} + \underbrace{E_{fr_{rf}}}_{\text{énergie de refroidissement}} = \underbrace{E_{tsubl}}_{\text{énergie de sublimation de la glace}} + E_{sismique} + \underbrace{E_t}_{\text{énergie de terrassement}}$$

fragment secondaire cométaire                      permafrost initialement contenu dans le volume du lac

l'énergie spécifique de fusion du nickel et du fer ainsi que l'énergie de refroidissement des métaux formant le fragment sont connues à partir d'une bibliothèque. Tant et si bien que  $E_{fr_f}$  et  $E_{fr_{rf}}$  sont proportionnelles à  $m_{fr}$ .

Les quantités énergétiques du permafrost disparu pour donner la cavité du lac, sont aussi parfaitement calculables.

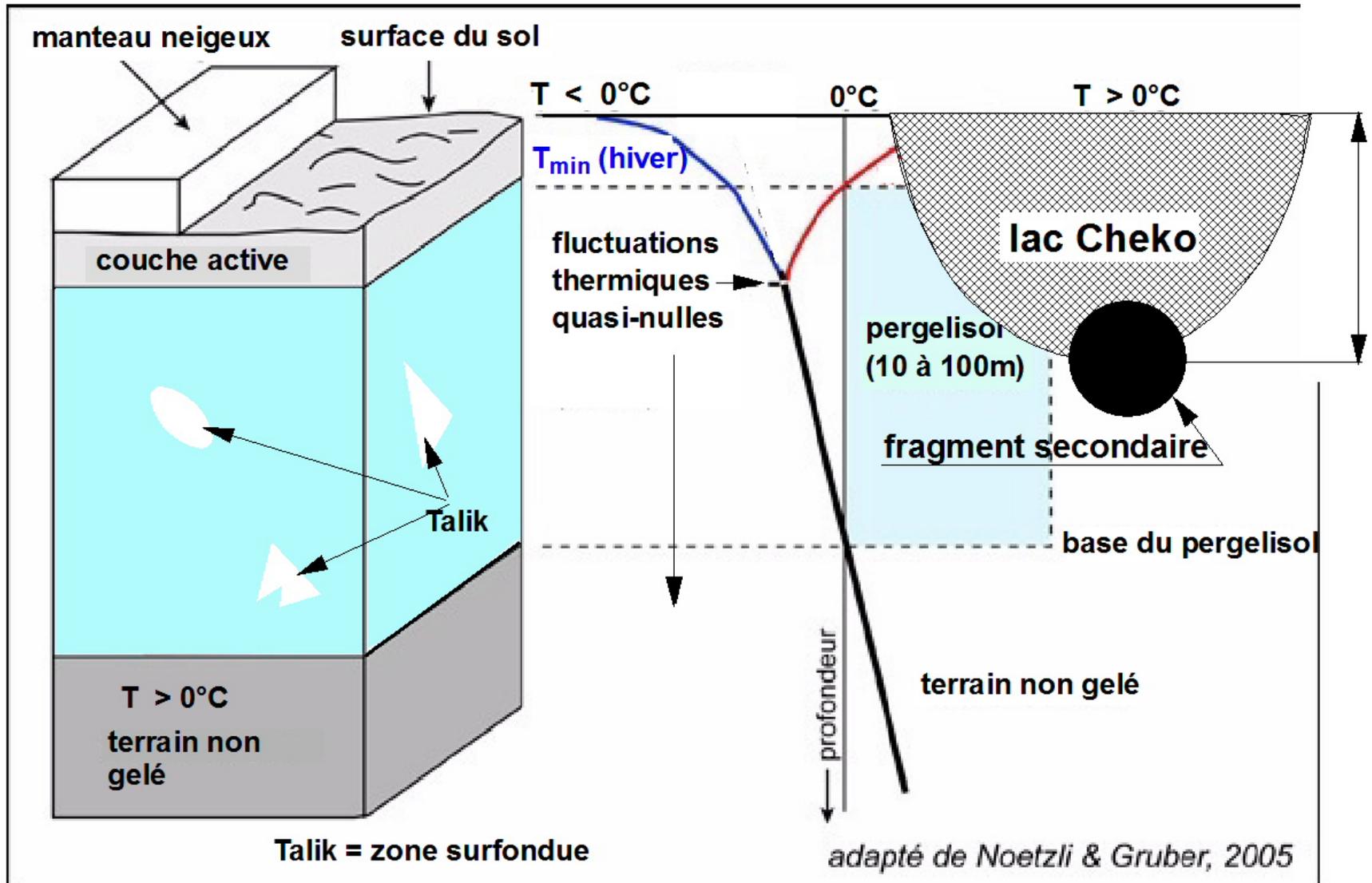
Donc la seule inconnue dans l'équation de bilan est la masse  $m_{fr}$

Ainsi avec  $V_{ast}$  connue par ailleurs, on trouve enfin :

$$m_{fr} \approx 5 \text{ milles tonnes}$$

Avec une densité métallique de 2500 kg/m<sup>3</sup> son diamètre  $\approx 15\text{m}$ .

# Profil thermique de la couche de pergélisol



l'angle solide  $\Omega_{\text{Hiro}}$  sous lequel on voit la plaine d'Hiroshima est plus grand que celui  $\Omega_{\text{Tgk}}$  sous lequel est vu depuis le flash la plaine de la Toungouska.

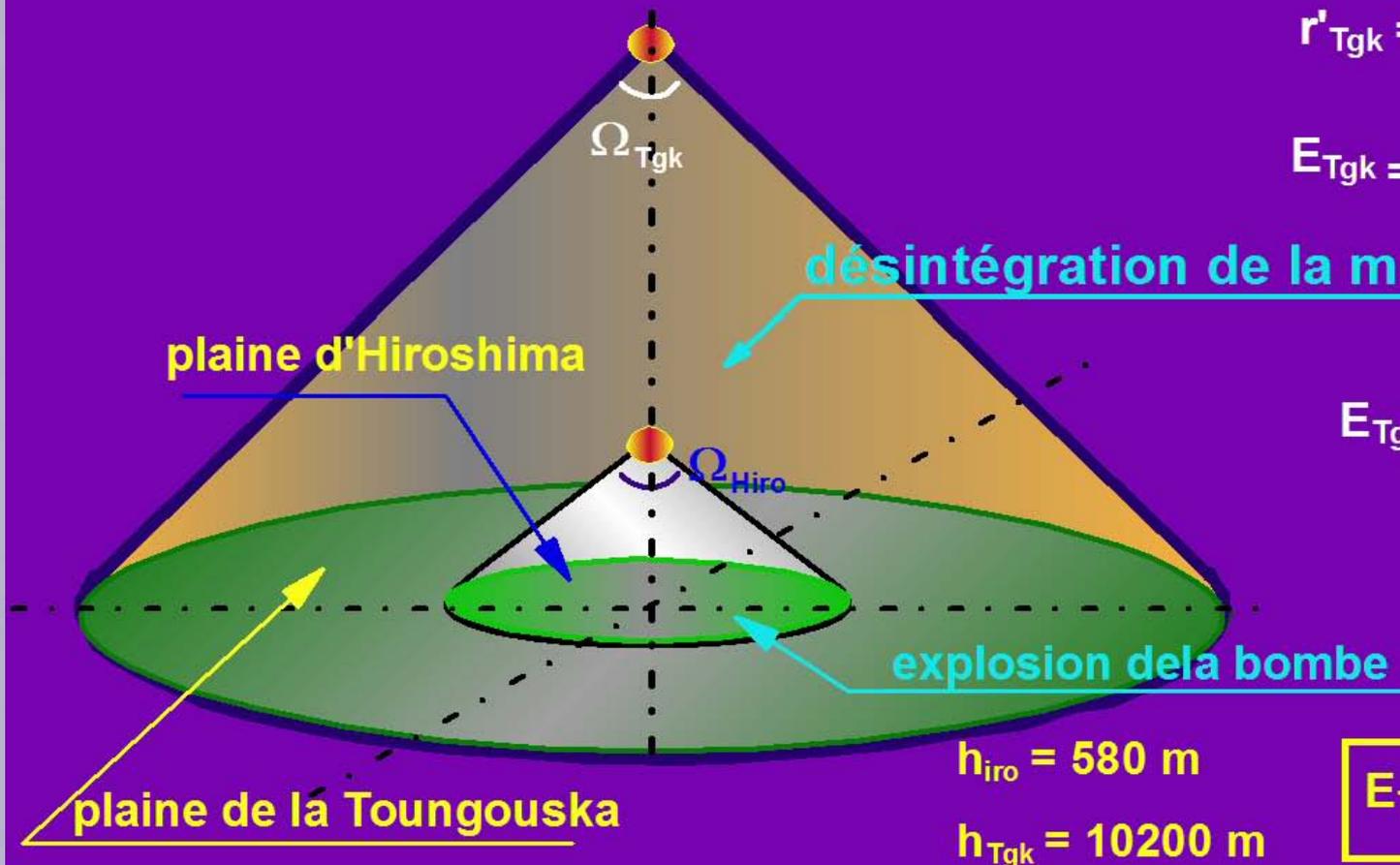
homothétie

$$r'_{\text{Tgk}} = r_{\text{Hiro}} \frac{h_{\text{Tgk}}}{h_{\text{Hiro}}}$$

$$E_{\text{Tgk}} = E_{\text{Hiro}} \frac{\pi r'^2_{\text{Tgk}}}{\pi r^2_{\text{Hiro}}}$$

désintégration de la météorite

$$E_{\text{Tgk}} = E_{\text{Hiro}} \frac{h^2_{\text{Tgk}}}{h^2_{\text{Hiro}}}$$



L'énergie de destruction :  $E_{tgk}$

Energie délivrée par la bombe d'Hiroshima  $E_{hiro} = 15 \text{ kt de TNT}$  sur  $905 \text{ km}^2$

sphère de l'onde de choc

$$E_{Tgk} = 310 \times E_{Hiro}$$

$$E_{Tg} \approx 4.7 \text{ Mt de TNT}$$

Hiroshima

surface =  $905 \text{ km}^2$

dégâts sur le sol

$h \approx 10 \text{ km}$

$S_{sol} = 31415 \text{ km}^2$

$r = 100 \text{ km}$

$R$

$r$

# Masse totale de l'astéroïde de la Toungouska

L'équation de bilan d'énergie de la météorite s'écrit encore :

## bilan d'énergie

$$E_{\text{totale}} = \underbrace{\frac{V_{\text{ast}}^2}{2} M_{\text{aster}}}_{\text{énergie cinétique}} + \underbrace{E_{\text{subl}}}_{\text{énergie de sublimation de la glace}}$$

Avec

$$E_{\text{totale}} = 4.7 \text{ Mt}$$

$$E_{\text{subl}} = 3 \text{ millions de joules /kg}$$

$$V=13500 \text{ m/s}$$

$$M_{\text{aster}} = 21000 \text{ tonnes}$$

densité de la glace compacte  $950 \text{ kg/M}^3$

Porosité de la partie glacée

porosité 60% ?

Volume =  $58300\text{M}^3$     120 mètres

porosité 20% ?

Volume =  $29200\text{M}^3$     40 mètres

## Conclusion

**Ce que nous enseigne l'événement météoritique de 1908 survenu sur la plaine de la Toungouska**

**Un fragment cométaire ayant une masse d'environ 200 000 tonnes, pour un rayon de l'ordre de 40 mètres tombant sur Terre à moins de 15 km/s, peut dévaster la région PACA (31400km<sup>2</sup>) et tuer 5 millions de personnes.**

**Toungouska : 31400km<sup>2</sup> !!**



**FIN**