

## ESSAIS RÉALISÉS À GELLENONCOURT DANS LE CADRE DE L'ABANDON DES CAVERNES

Pierre Bérest, LMS-Ecole Polytechnique, Palaiseau, France  
Vincent de Greef, LMS-Ecole Polytechnique, Palaiseau, France  
Jean-François Béraud, LMS-Ecole Polytechnique, Palaiseau, France

Benoit Brouard, Brouard Consulting, Paris, France

Cédric Lheur, CSME, Varangéville, France  
Emmanuel Hertz, CSME, Varangéville, France



Réunion du CFMR – 27 octobre 2011



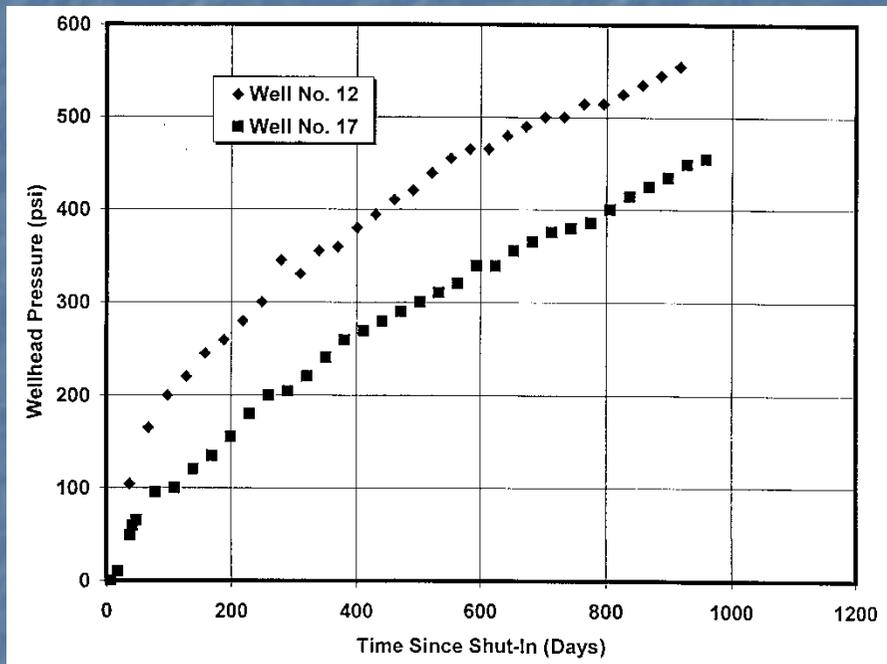
# PLAN

1. Problématique de l'abandon
2. Doublet SG13-SG14
3. Essai de compressibilité
4. Essai de dégorgement
5. Essai de montée en pression
6. Conclusions

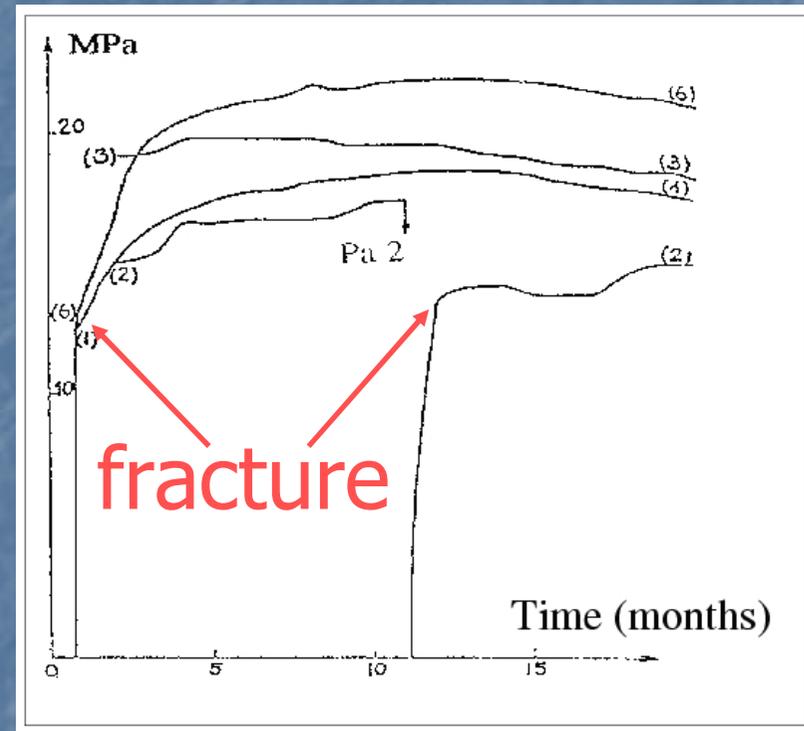
# PLAN

1. Problématique de l'abandon
2. Doublet SG13-SG14
3. Essai de compressibilité
4. Essai de dégorgement
5. Essai de montée en pression
6. Conclusions

# MONTÉE EN PRESSION DANS UNE CAVITÉ FERMÉE



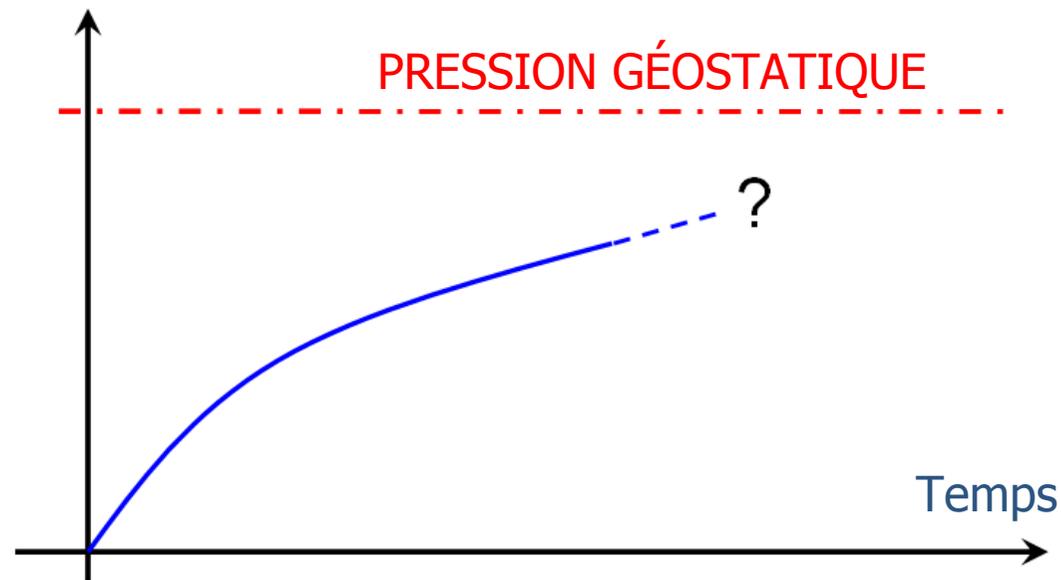
(Van Sambeek, 1990)



(Bérest et al., 1979)

# PROBLÉMATIQUE

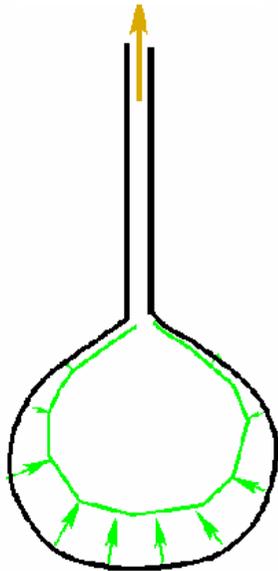
Pression dans la caverne



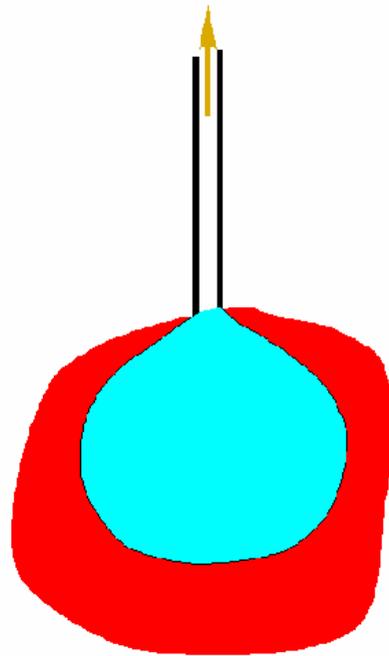
1. Pourquoi la pression augmente-t-elle ?
2. Peut-on prédire l'évolution à long terme ?

# QUATRE PHÉNOMÈNES PRINCIPAUX

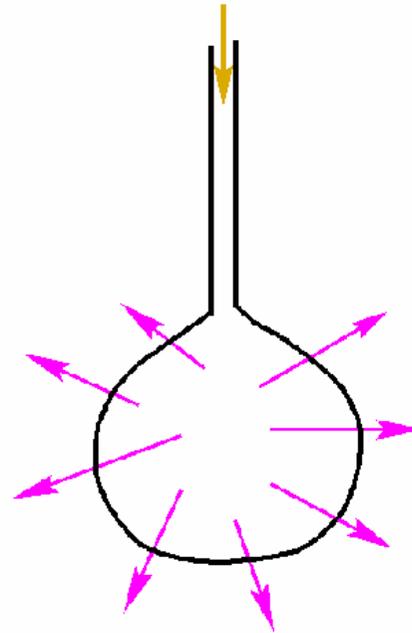
FLUAGE  
DU SEL



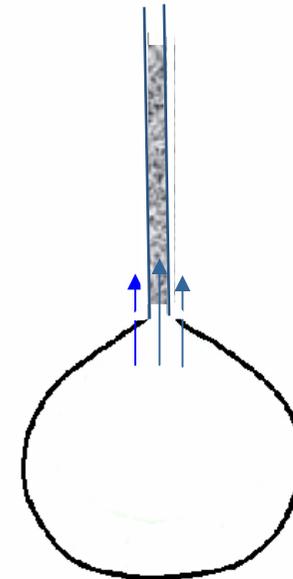
EXPANSION THERMIQUE  
DE LA SAUMURE



PERMÉATION  
DE LA SAUMURE

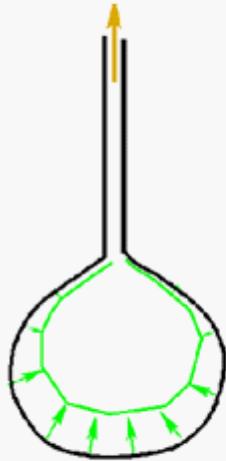


FUITES

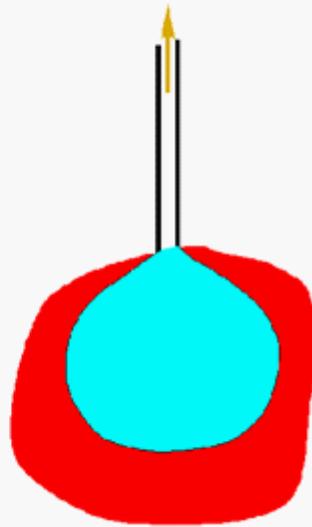


- Le sel se comporte comme un liquide.
- Le réchauffement de la saumure est très lent.
- La perméabilité du sel est très petite.
- Les fuites peuvent être non négligeables.

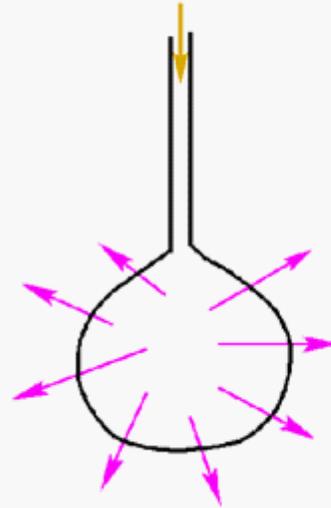
FLUAGE  
DU SEL



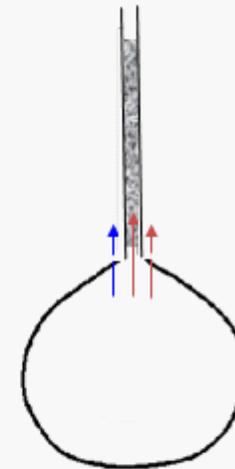
EXPANSION THERMIQUE  
DE LA SAUMURE



PERMÉATION  
DE LA SAUMURE



FUITES

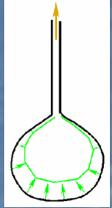


Compressibilité de la caverne

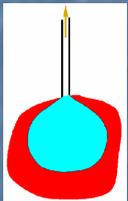


Augmentation/diminution  
de la pression dans la caverne

## FACTEURS CONTRIBUANT À UNE AUGMENTATION DE PRESSION

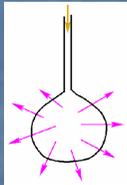


- FLUAGE DU SEL → FERMETURE DE LA CAVERNE

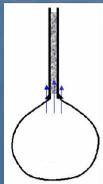


- RÉCHAUFFEMENT DE LA SAUMURE → EXPANSION THERMIQUE

## FACTEURS CONTRIBUANT À UNE DIMINUTION DE PRESSION



- PERMÉABILITÉ DU SEL → MICRO-PERMÉATION

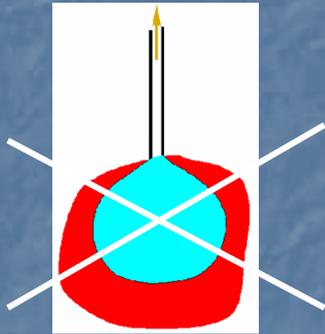


- FUITES (à travers le casing, au sabot, en tête de puits)

# ABANDON DES CAVITÉS SALINES

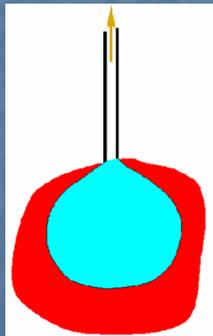
## ON PEUT DISTINGUER DEUX CAS PRINCIPAUX

### 1. L'expansion thermique peut être négligée



- Cavité non  lanc e  $\rightarrow$  Pression finale  $<$  pression géostatique
- Cavité  lanc e  $\rightarrow$  surpression possible au toit.

### 2. L'expansion thermique ne peut pas être n glig e



- Cavité profonde  $\rightarrow$  il faut attendre plusieurs années.
- Cavité peu profonde  $\rightarrow$  une perméabilité même très faible peut limiter l'augmentation de la pression.

# ESSAIS IN SITU A GELLENONCOURT

PARAMÈTRES DIRECTEMENT  
MESURABLES

Compressibilité du doublet

Evolution de la température  
de la saumure

Fuites

PARAMÈTRES INDIRECTEMENT  
CALCULABLES

Fluage du sel

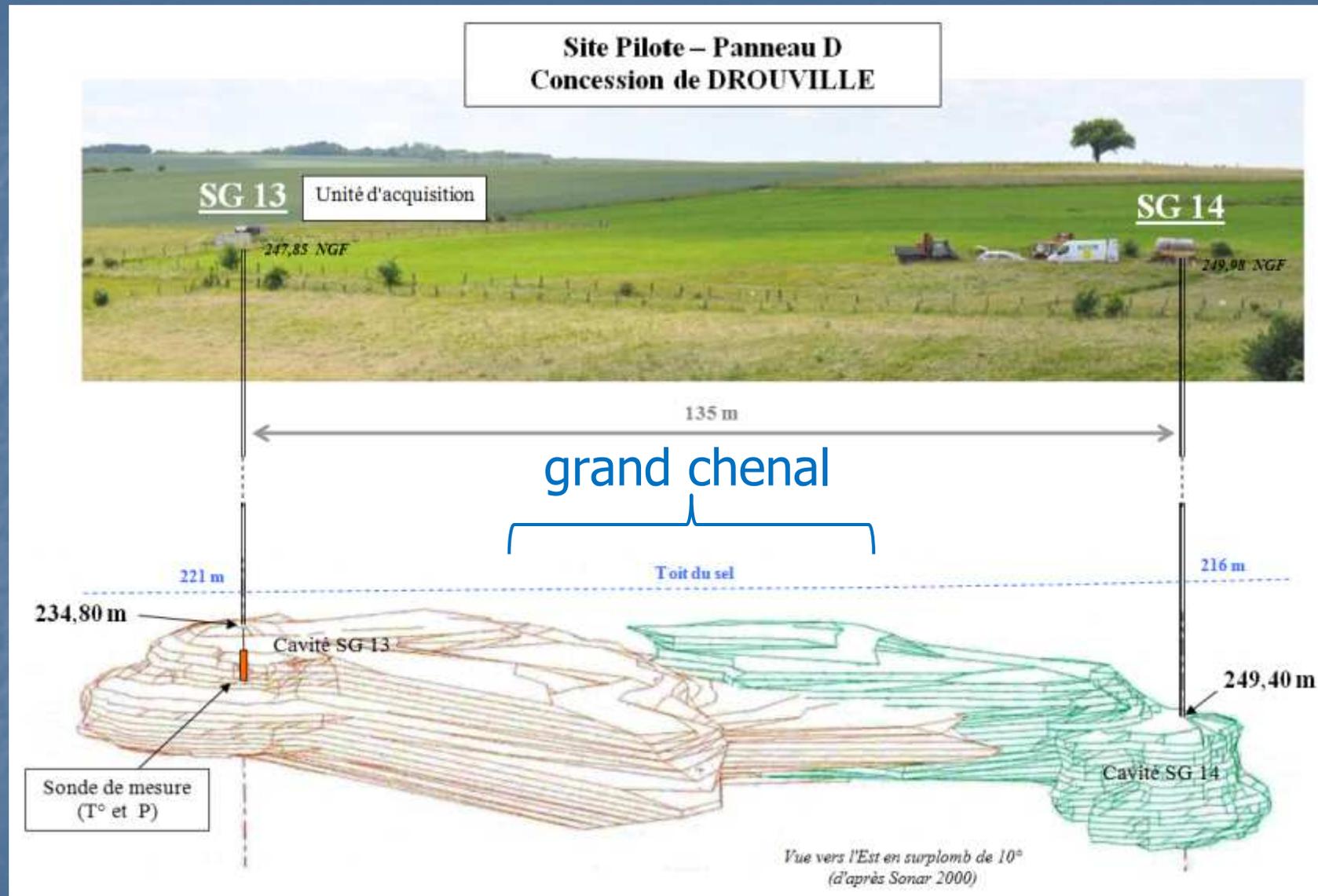
Perméabilité du sel

PRÉDICTION DU  
COMPORTEMENT À LONG TERME

# PLAN

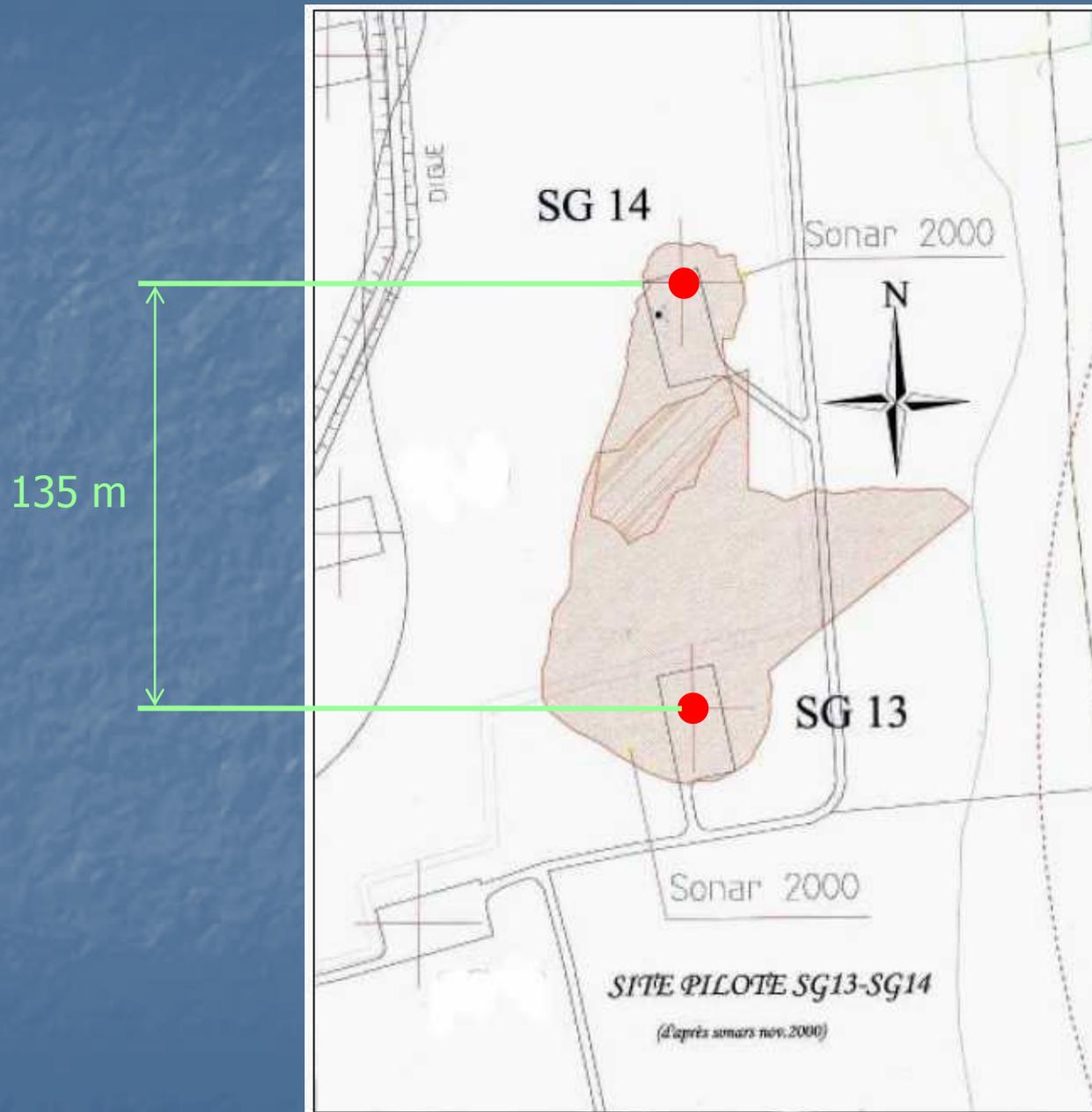
1. Problématique de l'abandon
2. **Doublet SG13-SG14**
3. Essai de compressibilité
4. Essai de dégorgement
5. Essai de montée en pression
6. Conclusions

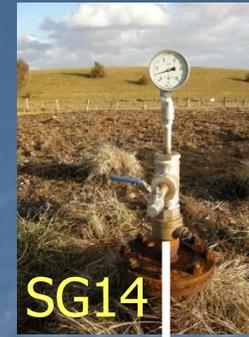
# Vue en perspective



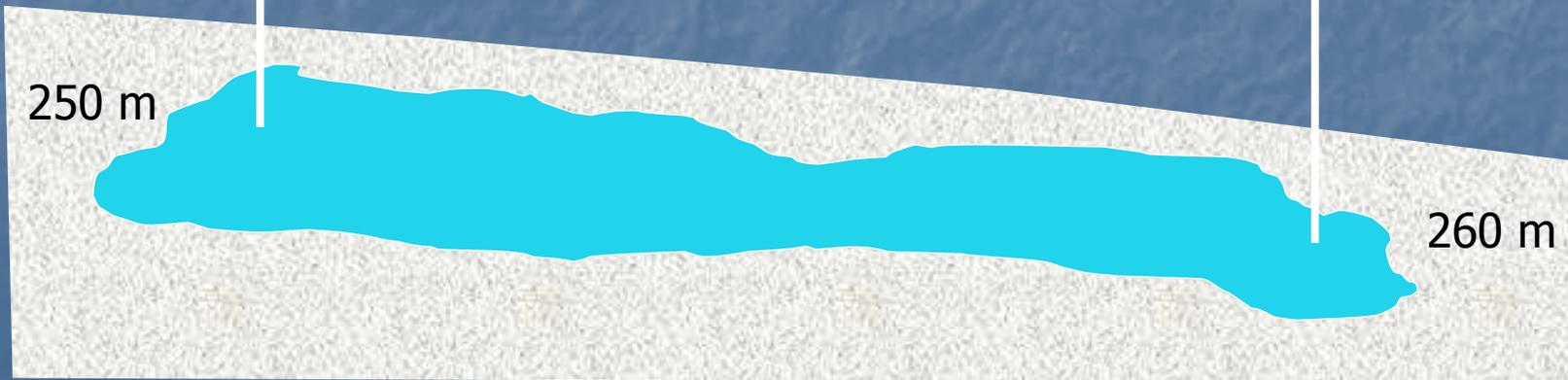
Volume sonar : 140 000 m<sup>3</sup>

# Coupe horizontale





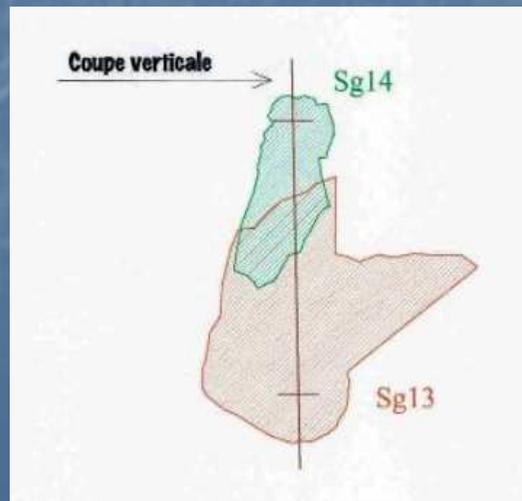
135 m



# VOLUMES ESTIMÉS A PARTIR DES SONARS (CSME)

- Volume cavité SG13 : 107 321 m<sup>3</sup>
- Volume cavité SG14 : 34 064 m<sup>3</sup>
- Volume estimé du chenal intercavités : 5 956 m<sup>3</sup>

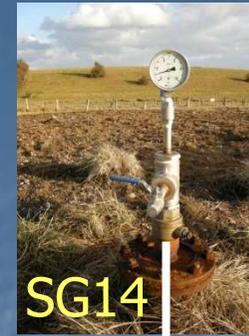
Volume total : (107 321 + 34 064) - 5 956 = **135 429 m<sup>3</sup>**



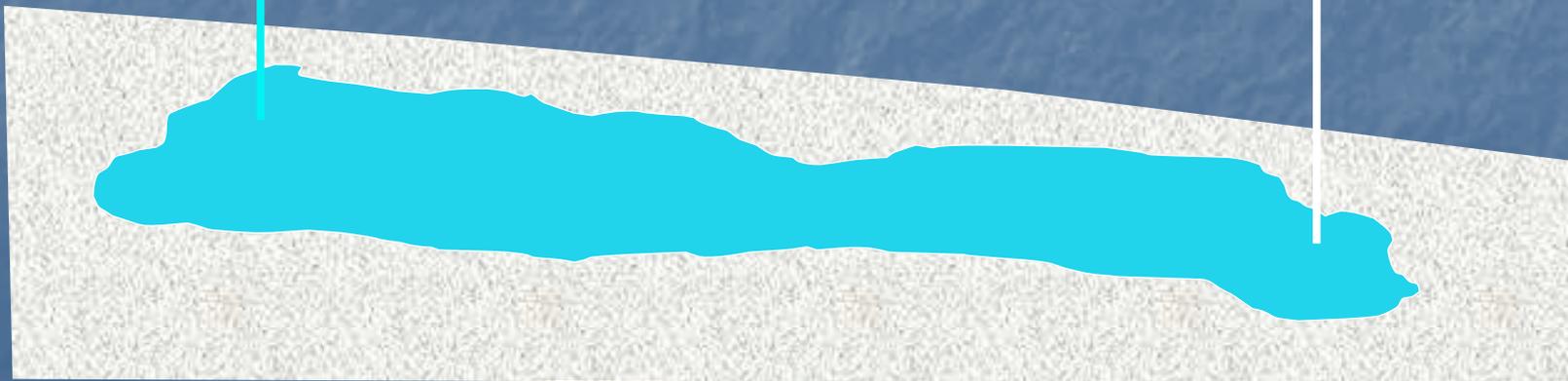
# PLAN

1. Problématique de l'abandon
2. Doublet SG13-SG14
3. **Essai de compressibilité**
4. Essai de dégorgement
5. Essai de montée en pression
6. Conclusions

purge



Essai  
de compressibilité



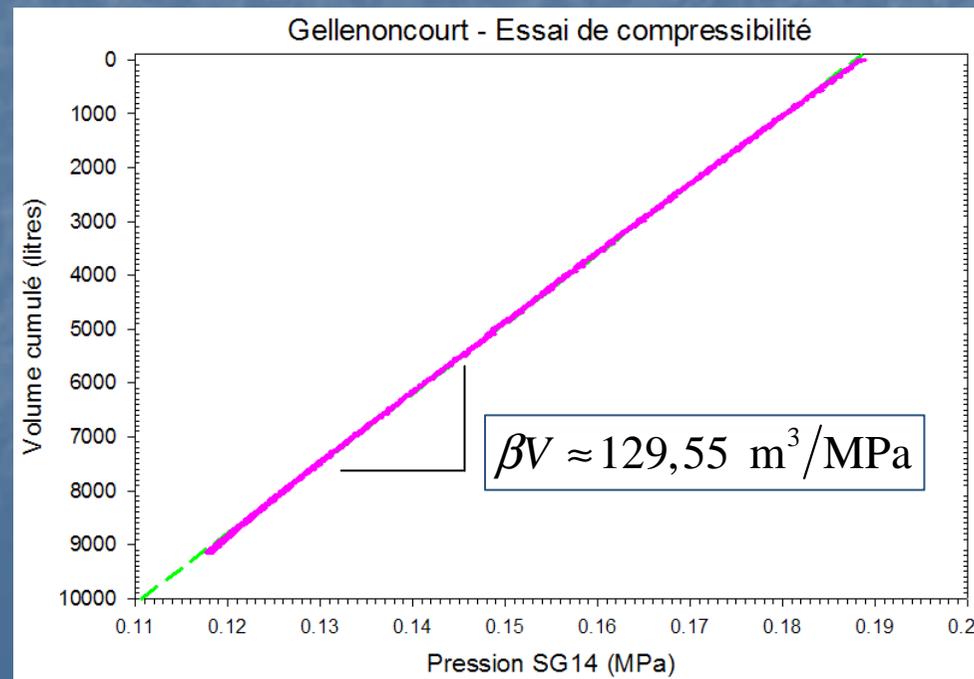
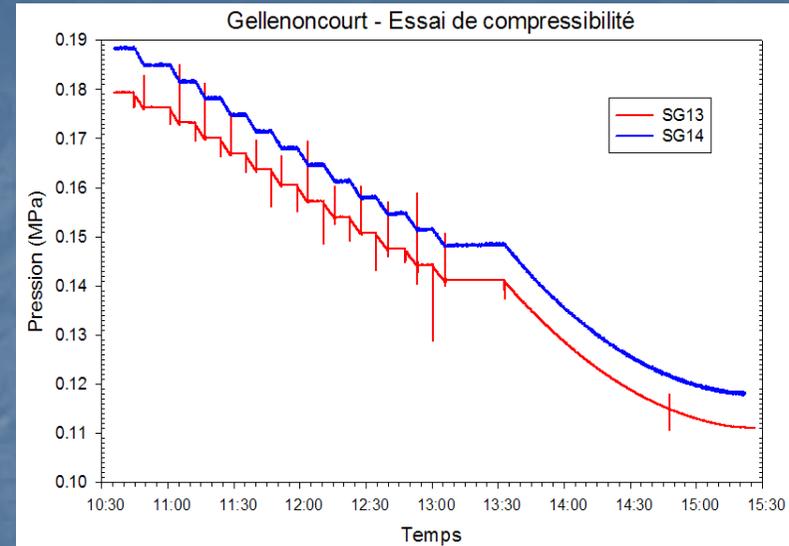
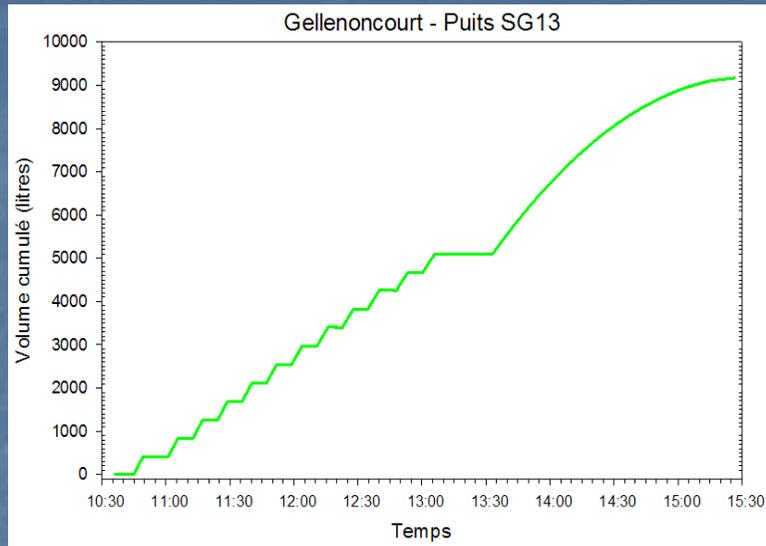
# SG13



SG14



# MESURE DE LA COMPRESSIBILITE DU DOUBLET SG13-SG14



Compressibilité du doublet :  $\beta V = 129,6 \text{ m}^3 / \text{MPa}$

Volume sonar :  $V \approx 140\,000 \text{ m}^3$

→ Coefficient de compressibilité :  $\beta \approx 9,3 \times 10^{-4} / \text{MPa}$

Valeur typique :  $\beta \approx 4 - 5 \times 10^{-4} / \text{MPa}$

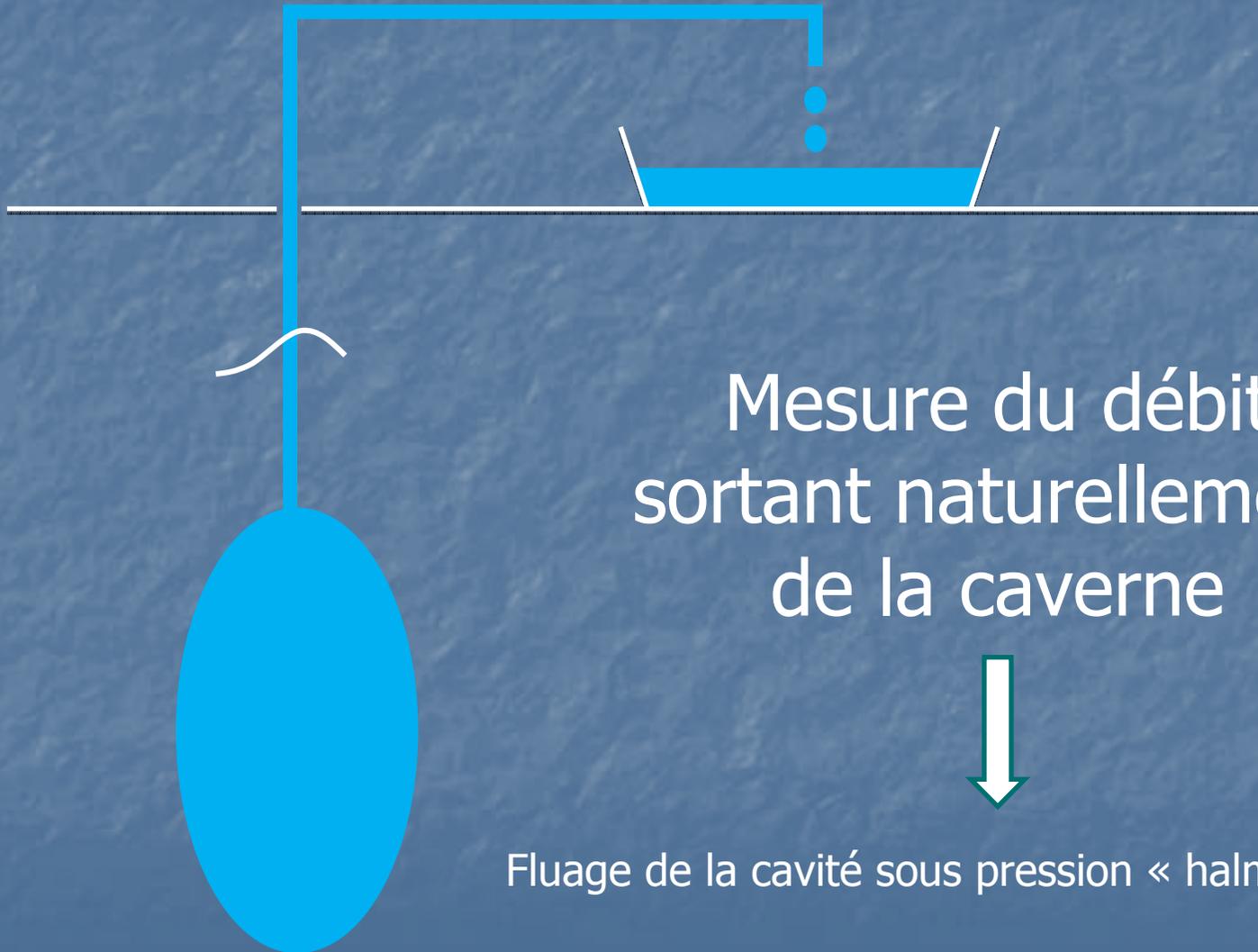
- 3 hypothèses :
- De l'air piégé dans le doublet
  - forme aplatie → plus compressible
  - + grand volume réel de saumure (insolubles+ partie cachée)

Cette dernière hypothèse est corroborée par le volume cumulé d'eau injecté pendant la phase d'exploitation. Le volume réel pourrait être de 240 000 m<sup>3</sup>.

# PLAN

1. Problématique de l'abandon
2. Doublet SG13-SG14
3. Essai de compressibilité
4. **Essai de dégorgement**
5. Essai de montée en pression
6. Conclusions

# ESSAI DE DÉGORGEMENT





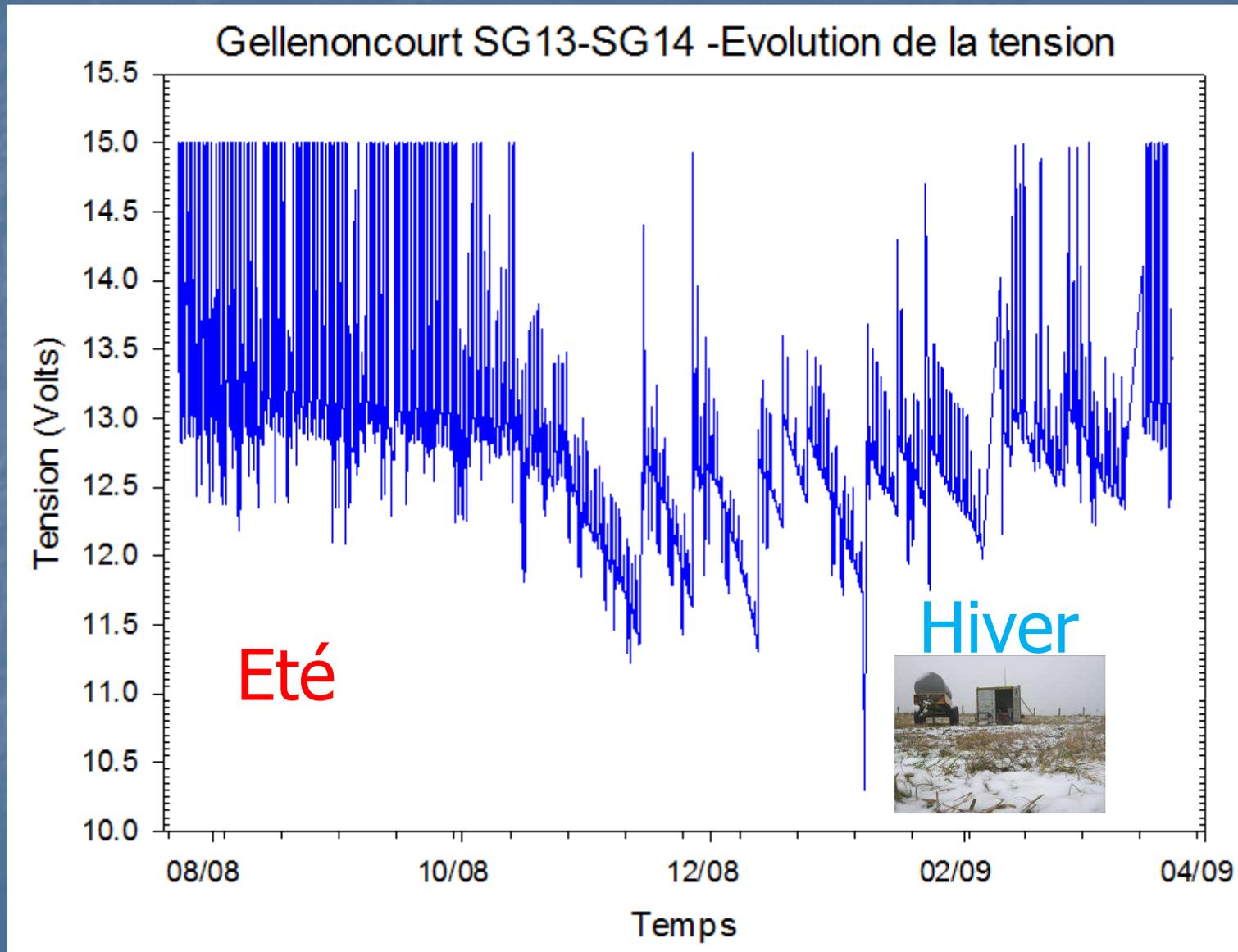
SG13







# Alimentation électrique du système





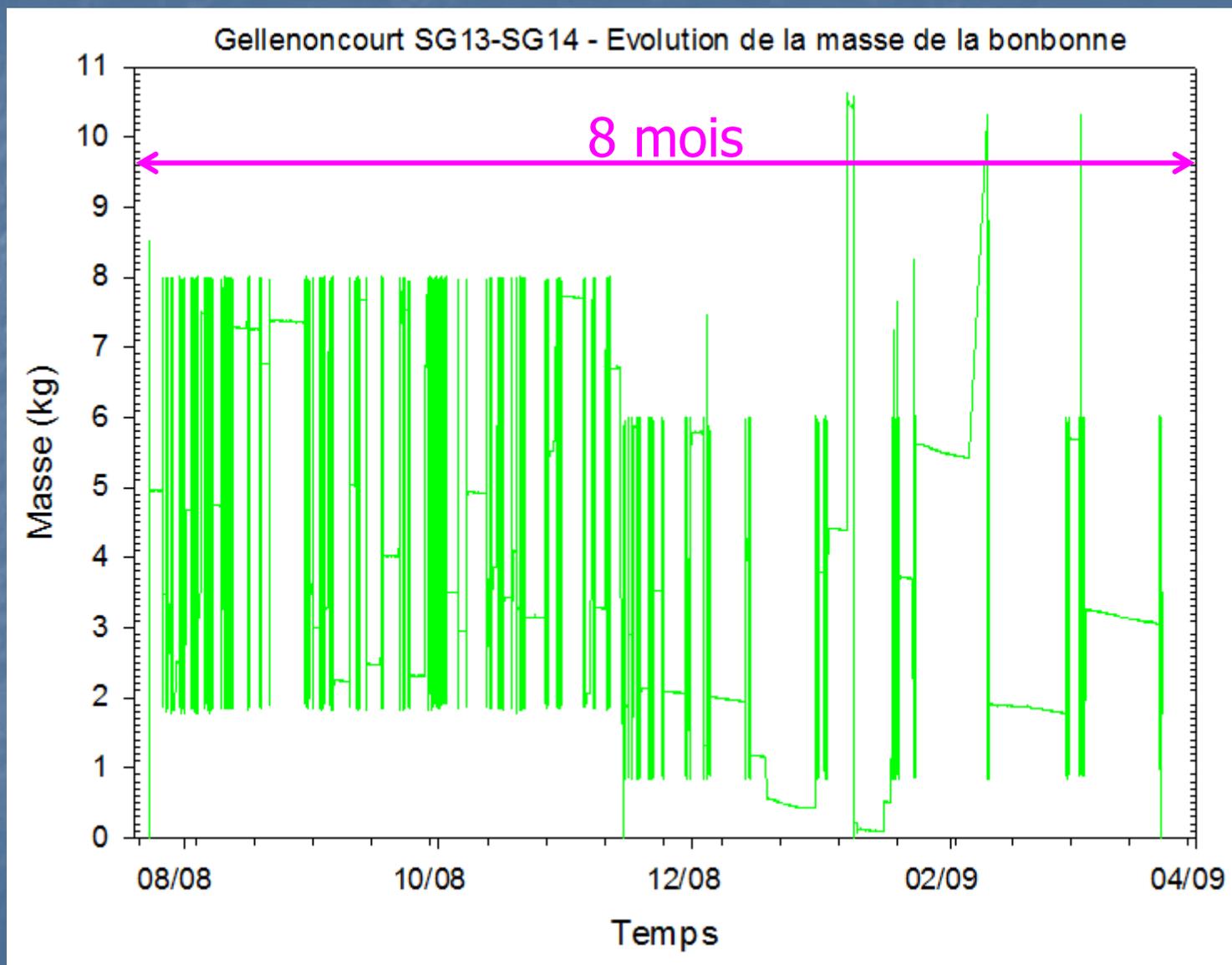
SG13



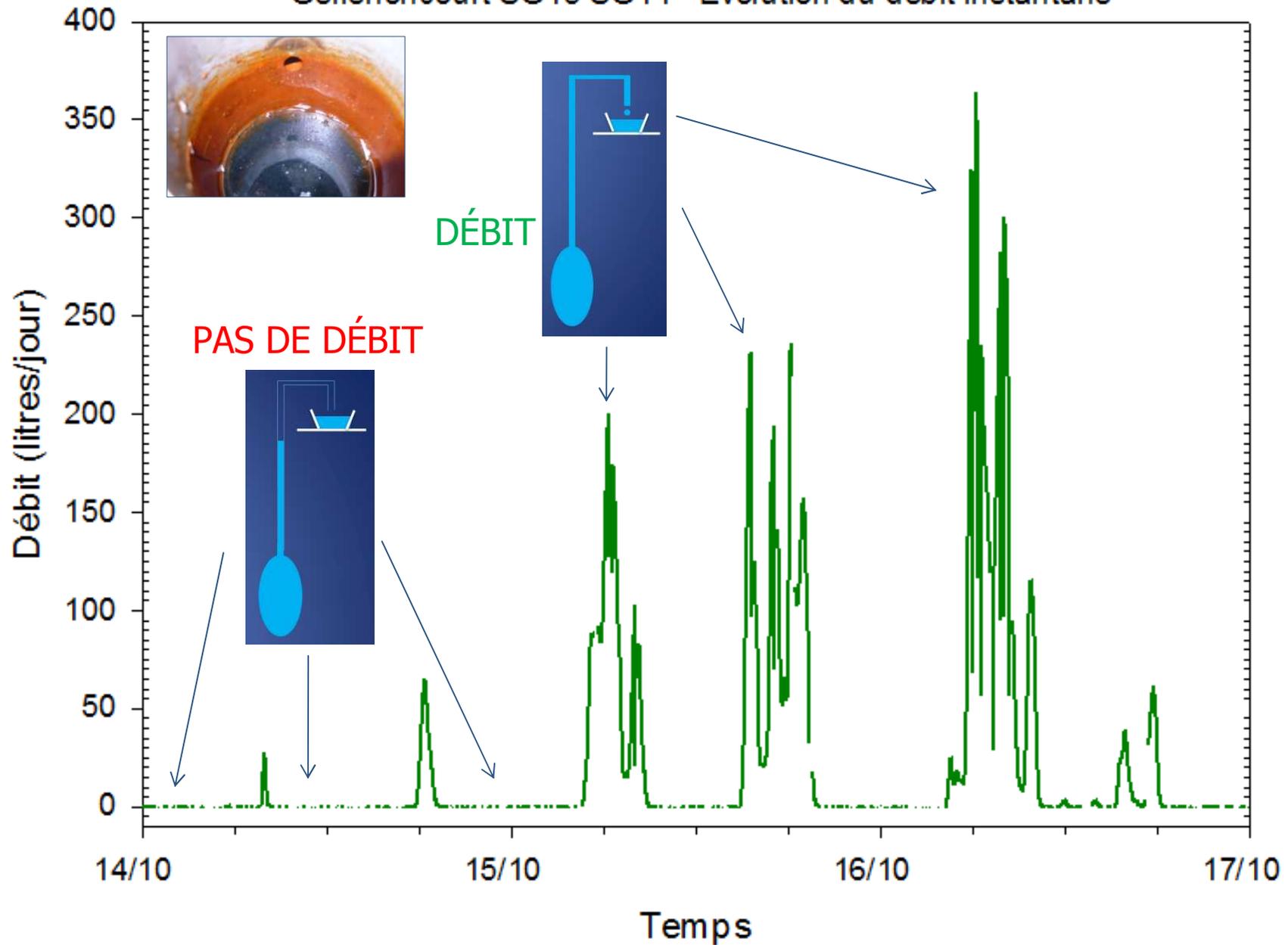


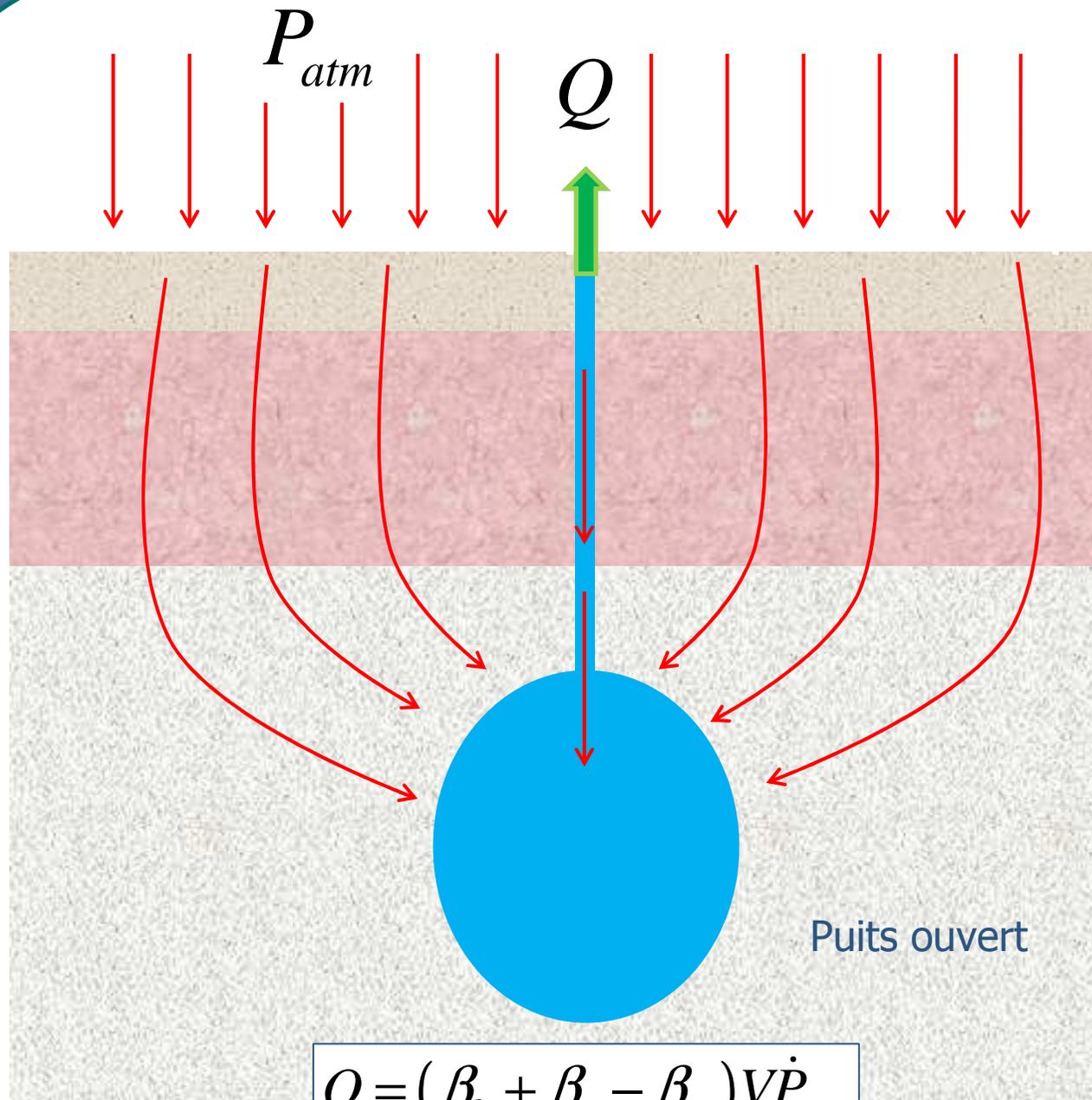


# Evolution de la masse de saumure dans la bonbonne



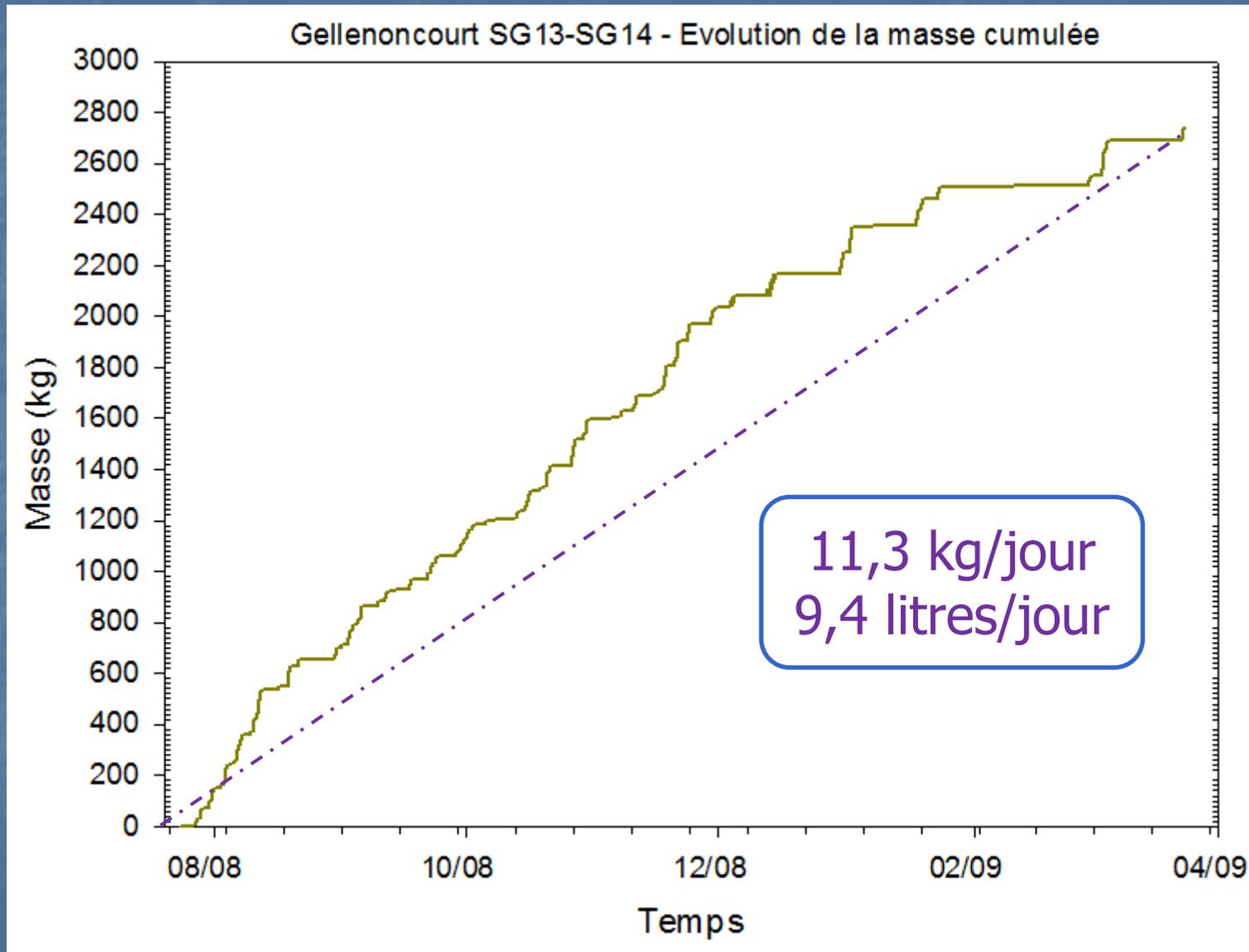
# Gellenoncourt SG13-SG14 - Evolution du débit instantané





$$Q = (\beta_b + \beta_c - \beta_\infty) V \dot{P}_{atm}$$

# Evolution de la masse cumulée de saumure



# CONCLUSIONS DE L'ESSAI DE DÉGORGEMENT

✓ Débit moyen de l'ordre de 9,4 litres/jour.

→ 3,4 m<sup>3</sup>/an ou encore 10<sup>-5</sup> /an ou 3×10<sup>-13</sup> /s

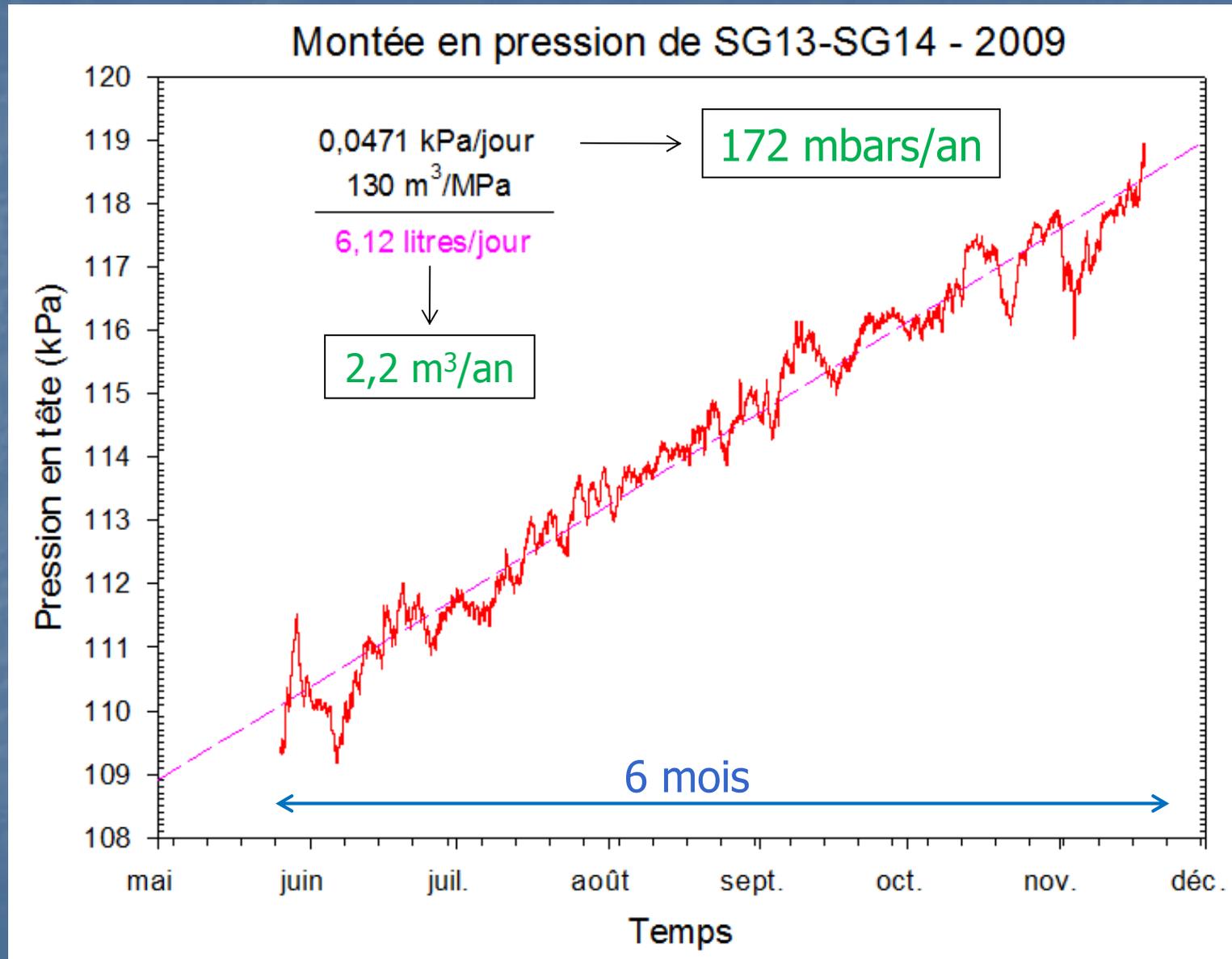
✓ C'est un majorant de la fuite à long terme car :

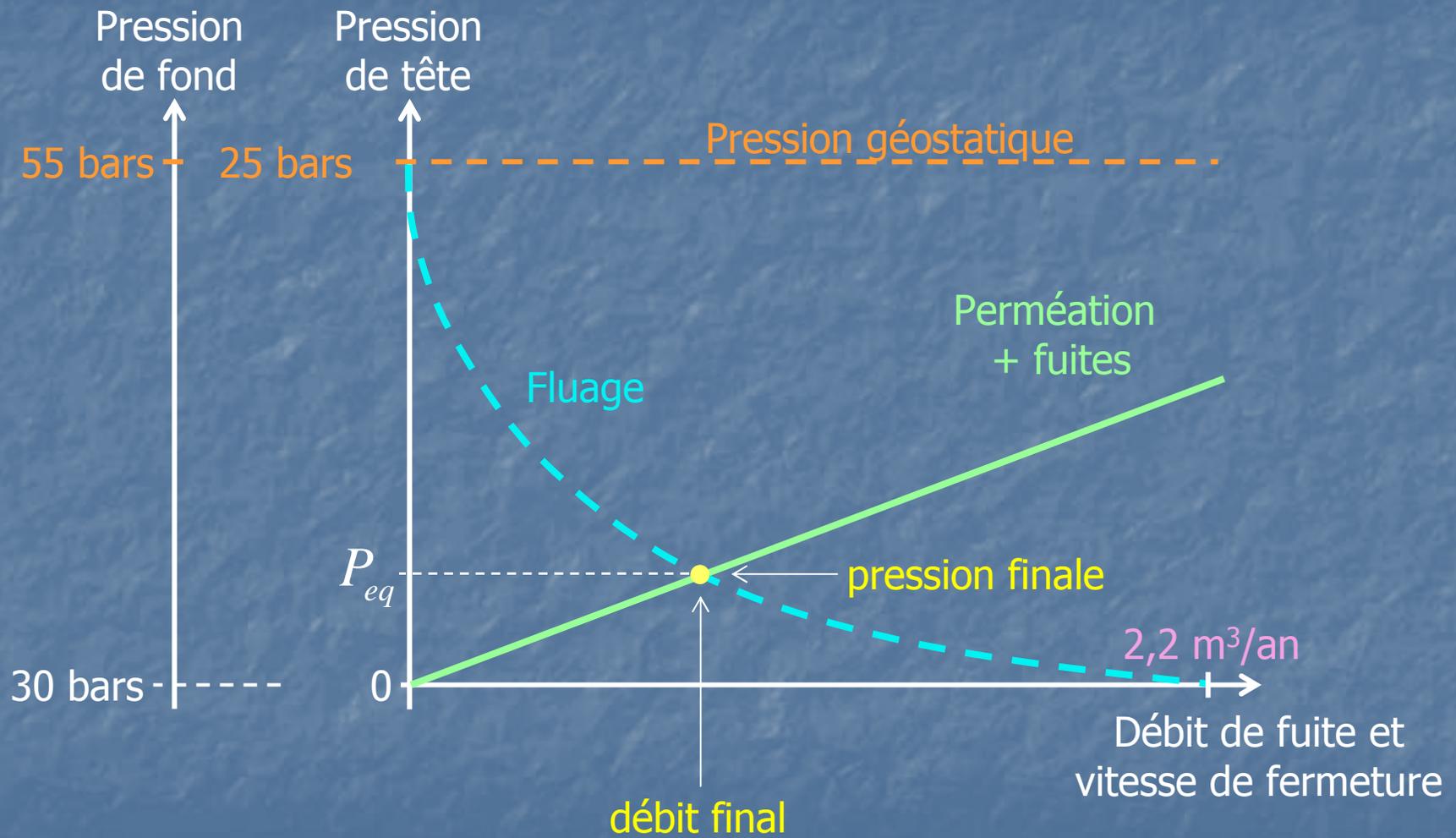
- le fluage diminue quand la pression augmente
- la température dans la cavité est stable ou diminue

# PLAN

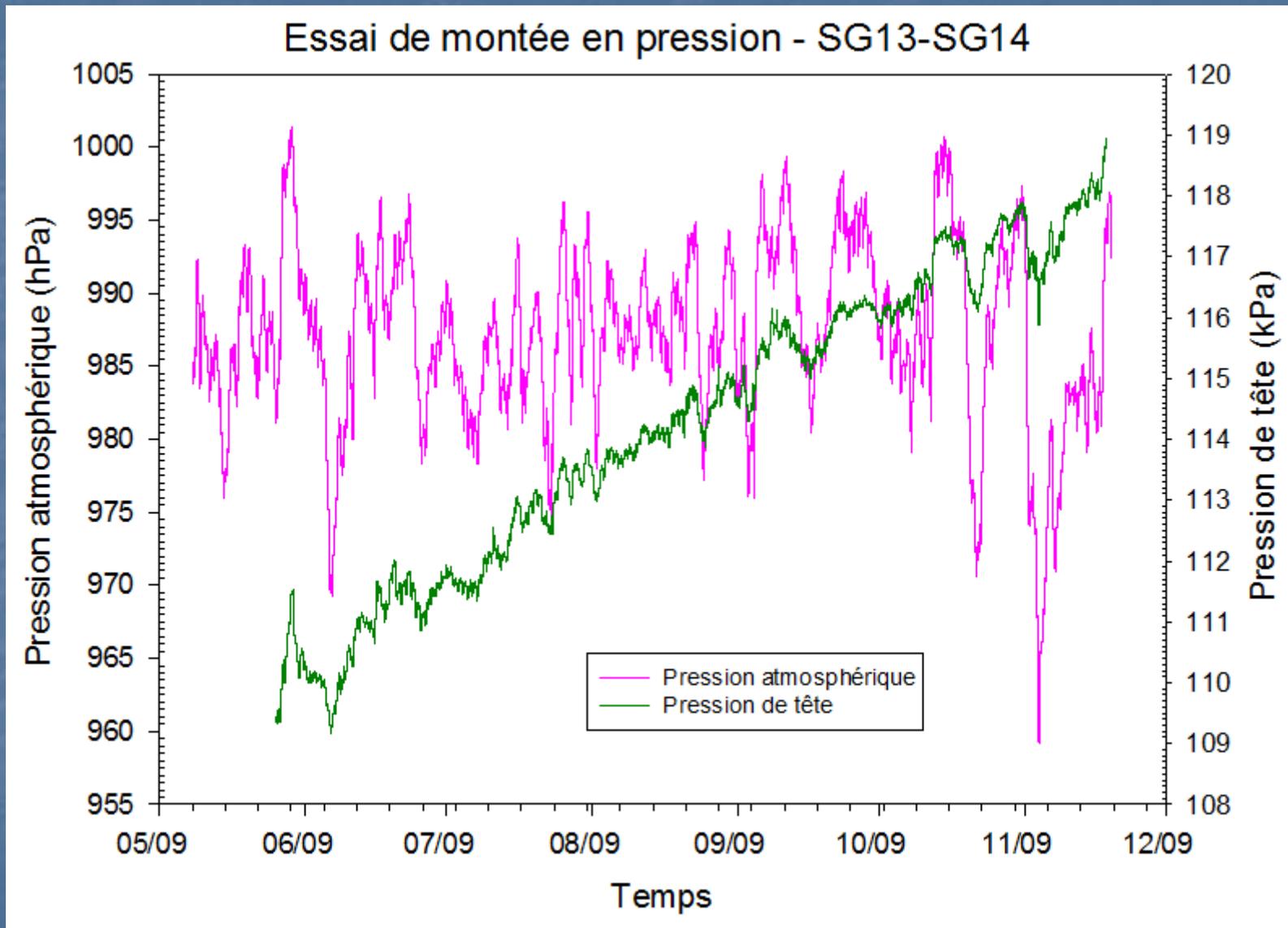
1. Problématique de l'abandon
2. Doublet SG13-SG14
3. Essai de compressibilité
4. Essai de dégorgement
5. **Essai de montée en pression**
6. Conclusions

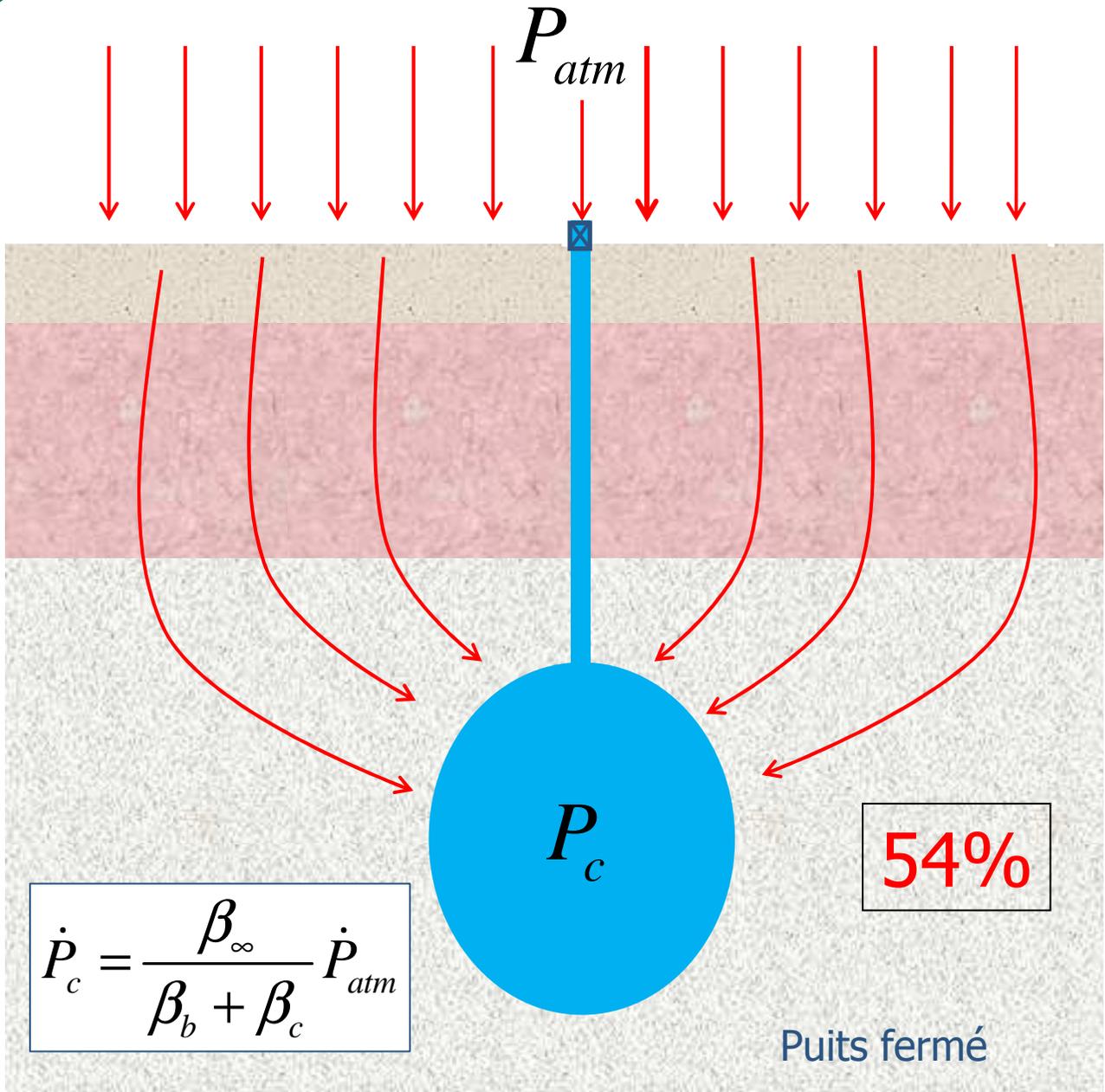
# Montée en pression – Mai à Novembre 2009





# Corrélation avec la pression atmosphérique





# PLAN

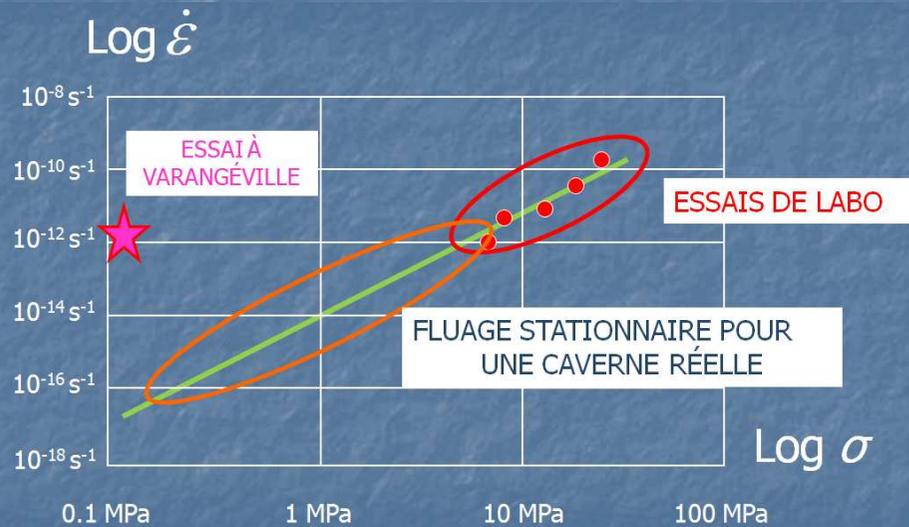
1. Problématique de l'abandon
2. Doublet SG13-SG14
3. Essai de compressibilité
4. Essai de dégorgement
5. Essai de montée en pression
6. **Conclusions**

## CONCLUSIONS

- On a mesuré in situ la vitesse de fermeture d'une grande cavité peu profonde.
- L'essai de dégorgement est difficile à interpréter dans le détail, mais a permis de déterminer un majorant du fluage et donc de la fuite à attendre à long terme : 3,4 m<sup>3</sup>/an.
- L'essai de montée en pression, plus tardif, donne une vitesse initiale (172 mbars/an) correspondant à une vitesse de fermeture de 2,2 m<sup>3</sup>/an, majorant plus précis.
- Cette estimation aurait été très difficile à partir d'essais de laboratoire :
  - Essais de fluage sur des échantillons ± représentatifs
  - Essais sous faible déviateur (<5 MPa) très difficiles en laboratoire
  - Géométrie réelle de l'ouvrage incertaine (calcul 3D)

# Merci !

# ESSAI COMPLÉMENTAIRE : FLUAGE FAIBLE CHARGE DANS LA MINE



$\pm 1$  nanomètre  
 $\pm 0,01^\circ\text{C}$

Le fluage du sel sous faible charge est beaucoup plus rapide que ce qu'on peut attendre de l'extrapolation des essais de laboratoire.