

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# Avis de l'IRSN sur la ressource géothermique dans la ZT

- **La géothermie**
  - Origine
  - Classification
- **Potentiel géothermique dans la ZT**
  - TBE
  - BE
  - ME/HE
- **Avis de l'IRSN**

Dialogue Technique  
HA et MAVL  
Séminaire  
Réversibilité –  
Ressources

30 Avril 2014

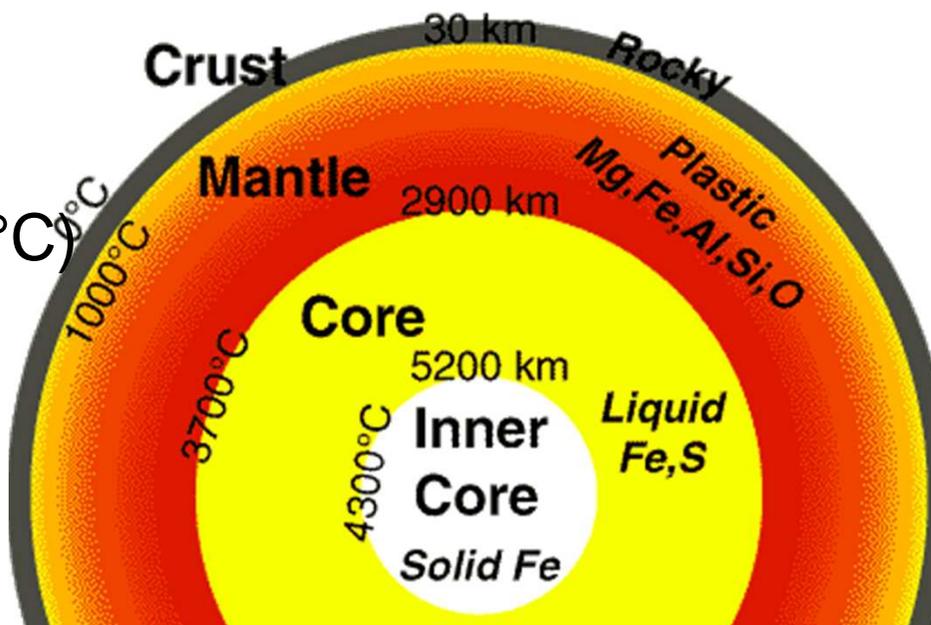
## Du Grec Geo (Terre) Thermos (Chaud)

Puissance thermique  
36 TW

Croûte terrestre  
3m à 30km (24-1000°C)



Gradient moyen  
3°C/100m



> 5 000°C au coeur du noyau de Fer

Origine de la chaleur :

70% radioactivité naturelle, 30% Libération chaleur primitive + Impact de météorites

## Température

- Très Basse Energie (TBE):  $12 < T^{\circ}\text{C} < 30$
- Basse Energie (BE) :  $30 < T^{\circ}\text{C} < 90$
- Moyenne (90 – 150°C) à Haute (>150°C) Energie (ME - HE)

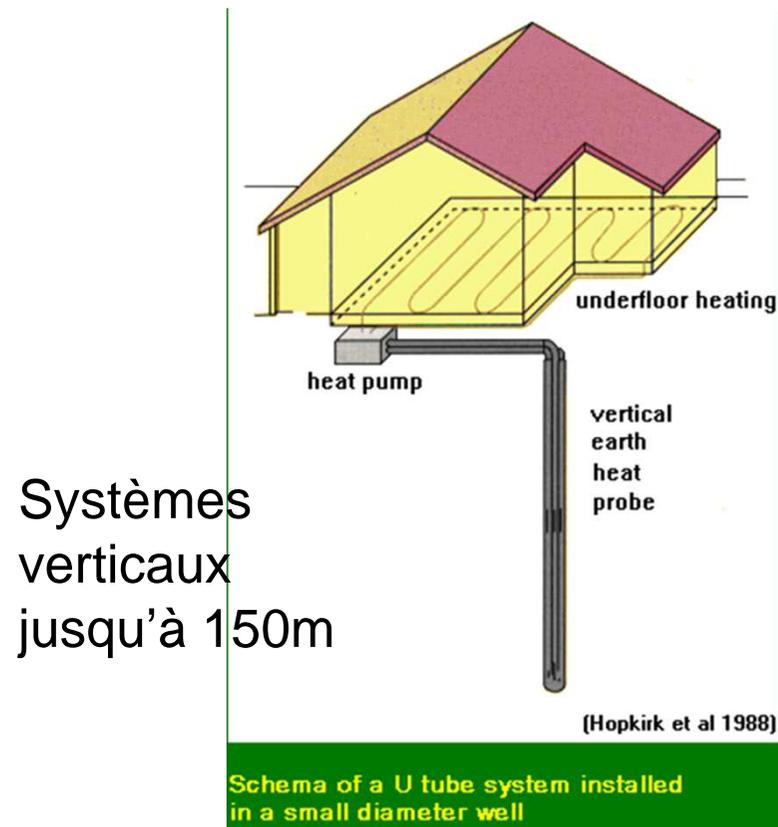
## Etat physique de l'eau

- H<sub>2</sub>O Liquide
- H<sub>2</sub>O Vapeur

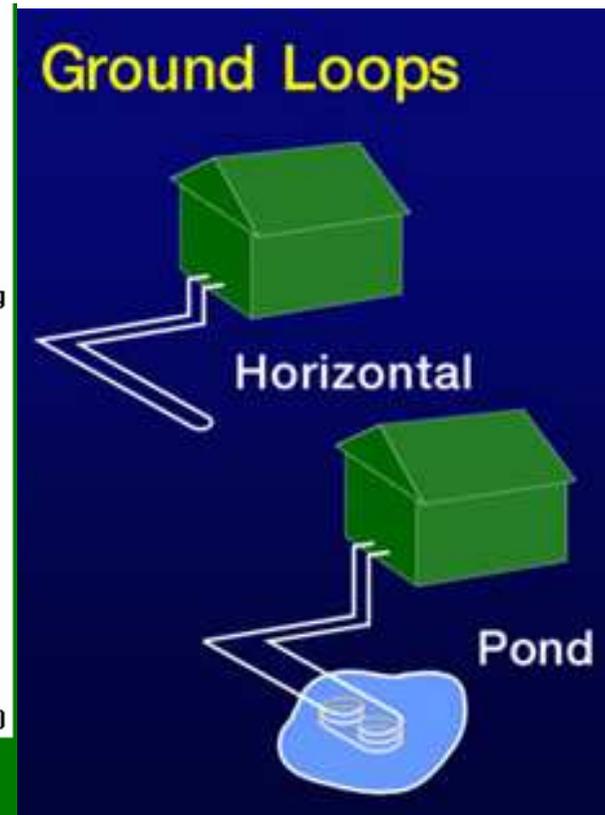
## L'utilisation de la source de chaleur

- Pompe à chaleur reliée au sol
- Directe par pompage de l'eau souterraine
- Production d'électricité: Centrale thermique

- Pompe à chaleur avec système de collecte via



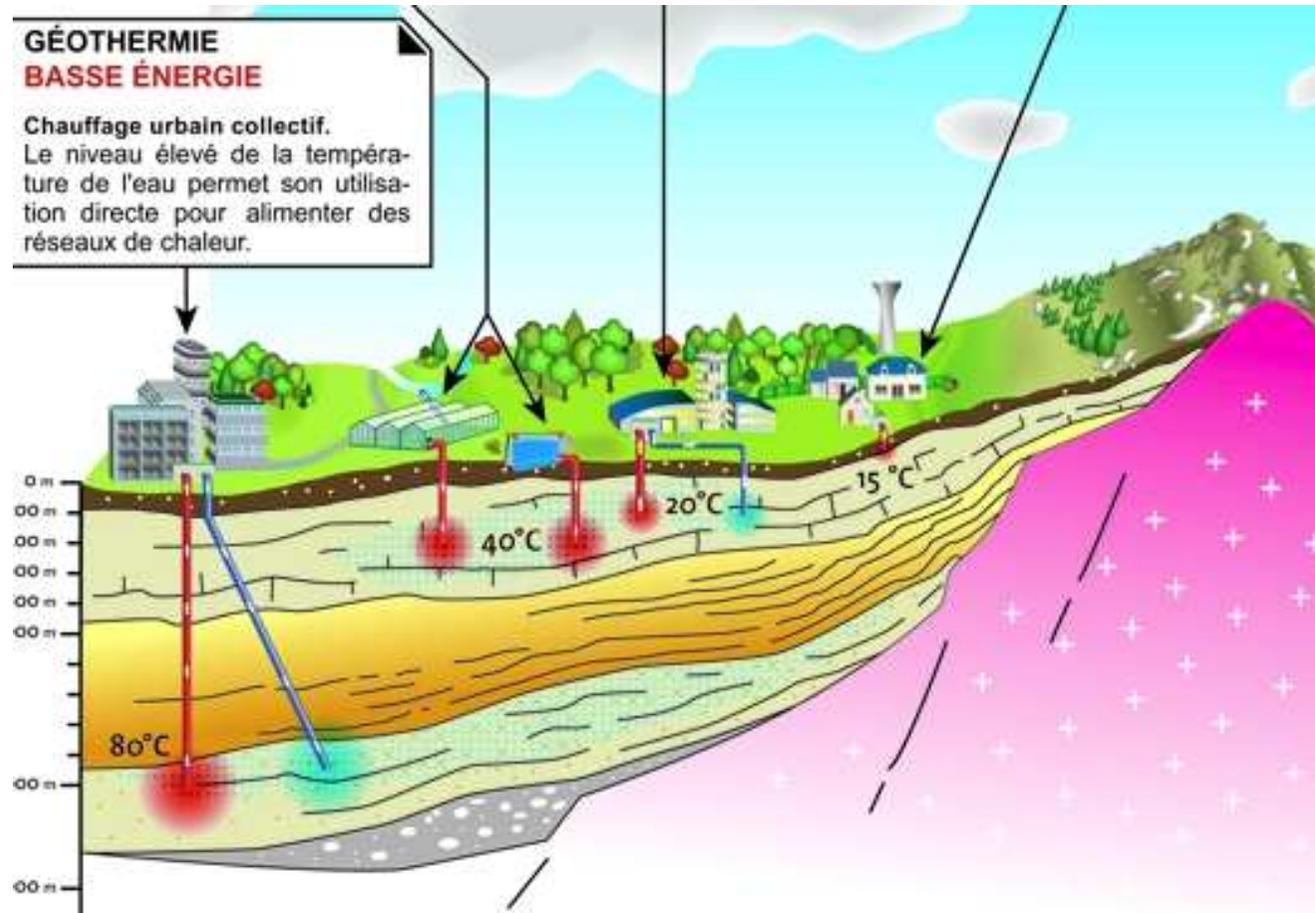
Systèmes  
verticaux  
jusqu'à 150m



Systèmes  
horizontaux de  
0,8m à 1,6m

- N'importe où et sans réservoir géothermique

- Utilisation directe de l'eau des aquifères pour alimenter des réseaux de chaleur, piscines, serres...



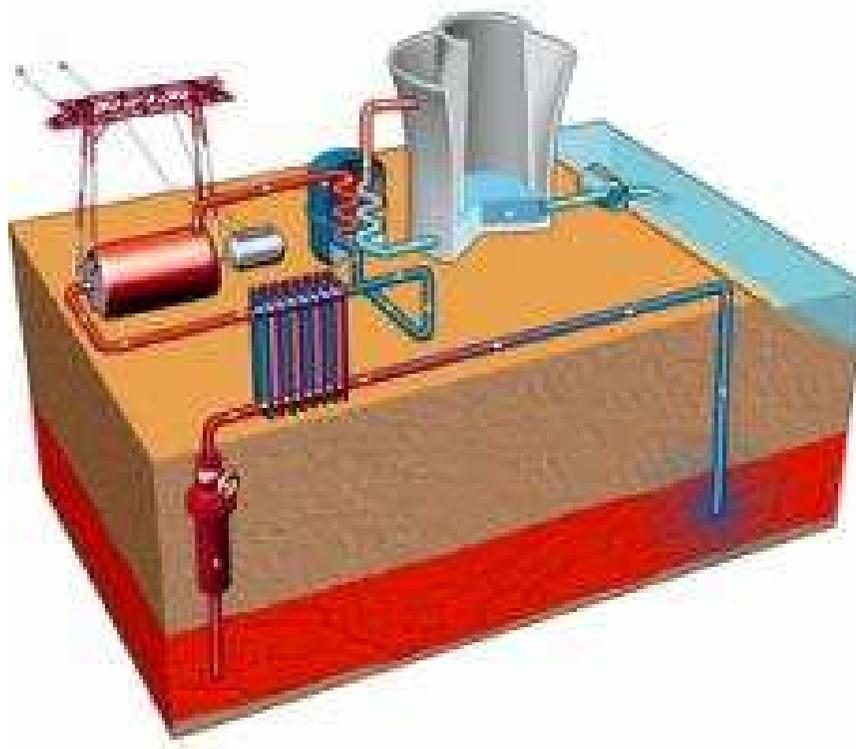
Compatibilité avec eaux de surface :

Oui → puits unique; Non → puits multiples

➤ Production d'électricité

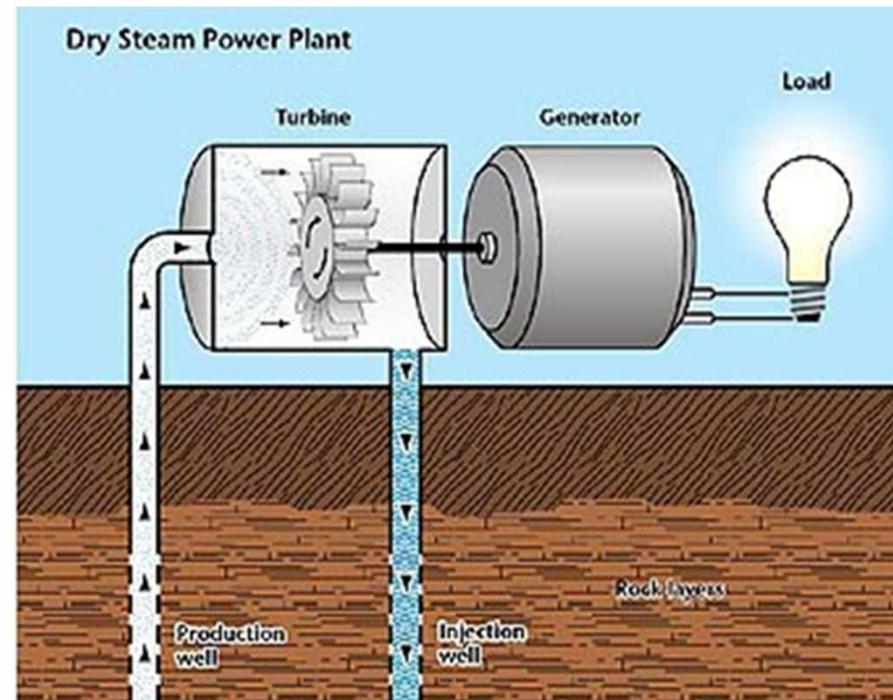
**90 < T°C < 150**

Cycle à fluide binaire  
avec fluide de travail  
(alcane, HCFC...)



**T > 150°C**

Cycle indirect à condensation  
Cycle direct à contre-pression  
Cycle à vaporisation  
Cycle direct à condensation



- N'importe où et sans réservoir géothermique
- Potentiel exploitable jusqu'à 150m (e.g. Tithonien et Kimméridgien) par pompe à chaleur
- Sans conséquence sur installations Cigéo en profondeur → n'est pas un enjeu de sûreté pour le stockage géologique

# Potentiel géothermique dans la ZT → type BE → Zones d'intérêt en France

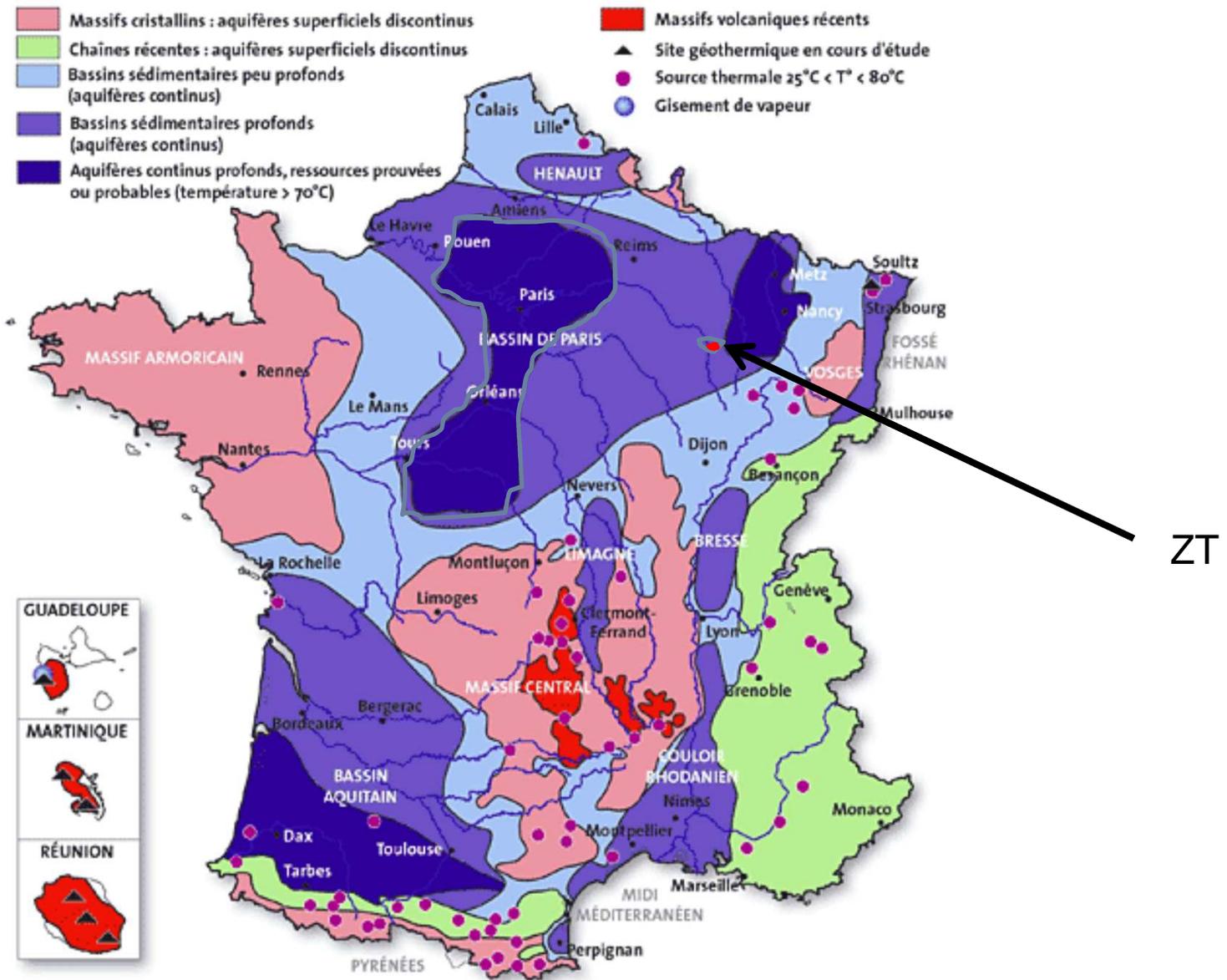
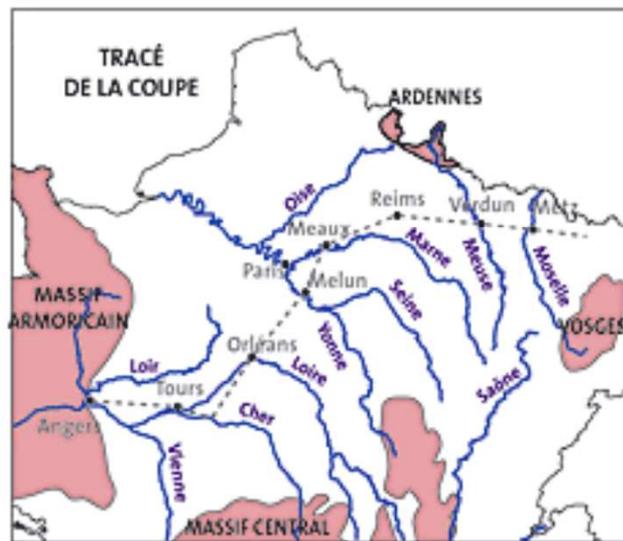
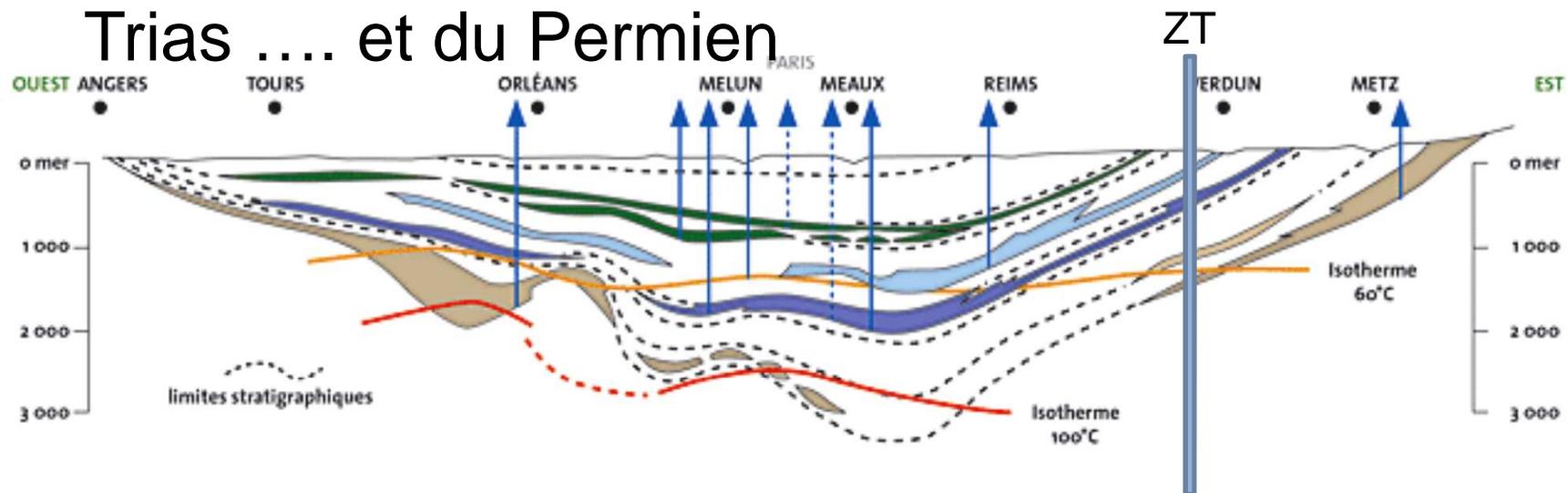


Illustration : ADEME - BRGM

## Potentiel géothermique dans la ZT → type BE → Aquifères concernés

- Ne concernerait que les aquifères potentiels du Trias .... et du Permien

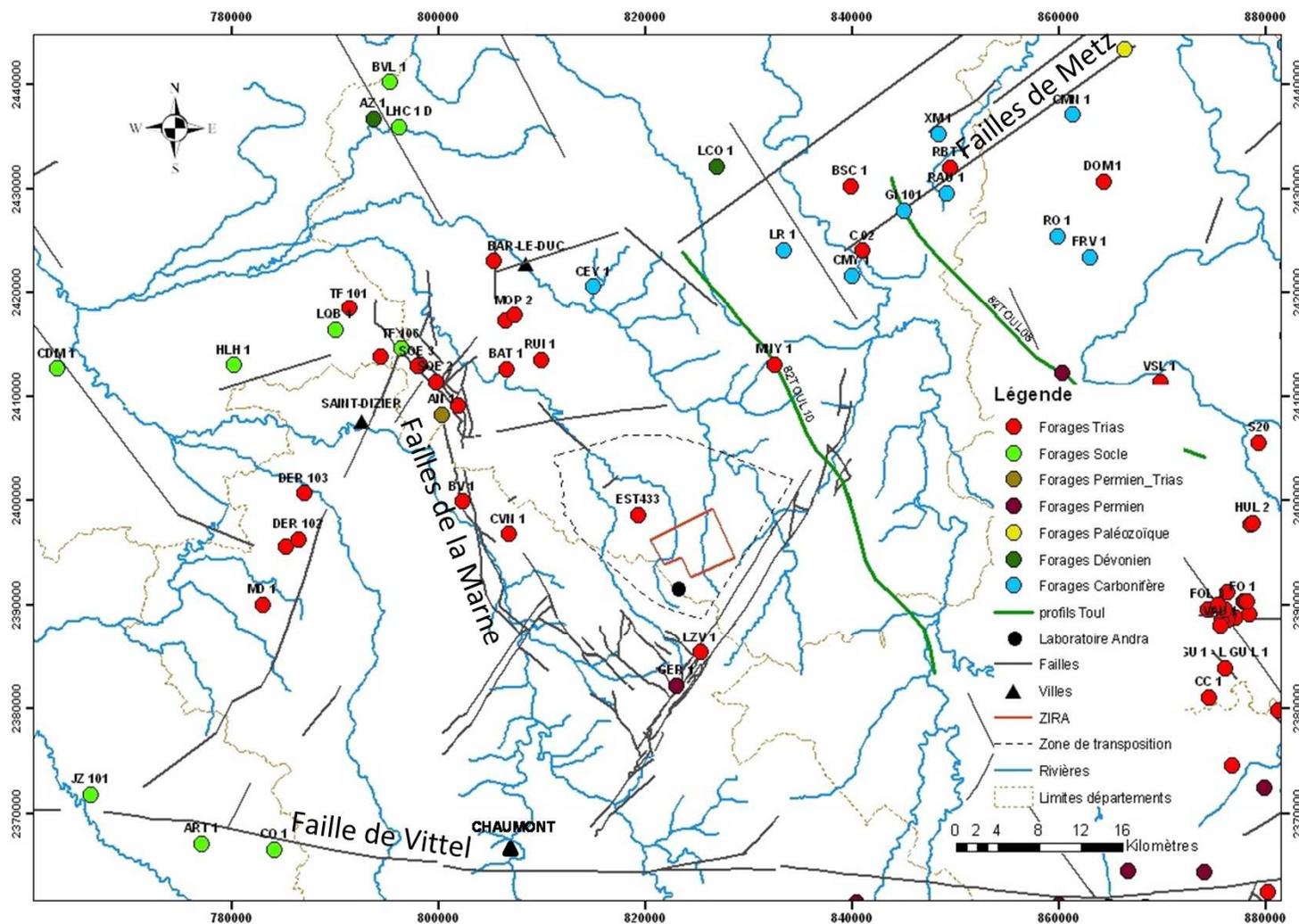


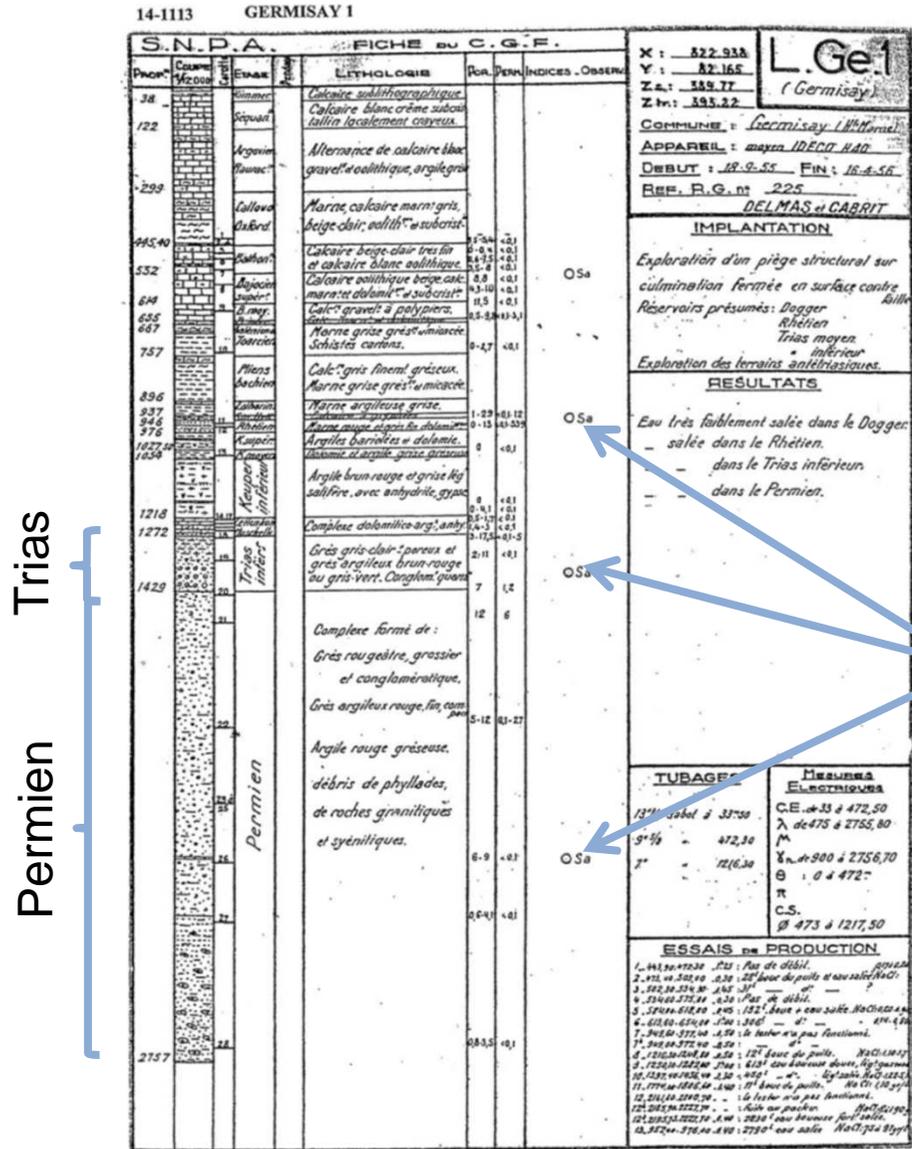
PÉRIODES		AQUIFÈRES	
TERTIAIRE 65 millions d'années			
SECONDAIRE	CRÉTACÉ 140 millions d'années	NÉOCRÉTACÉ	Sables de l'Albien Sables du Néocomien
	JURASSIQUE 195 millions d'années	ÉOCRÉTACÉ	Calcaires du Lusitanien
		MALM	Calcaires du Dogger
		DOGGER	Grès du Retien
	LIAS	Grès de Lorraine à l'est Grès fluviatiles à l'ouest	
TRIAS 225 millions d'années	TRIAS		
PRIMAIRE			

Illustration : ADEME - BRGM

# Potentiel géothermique dans la ZT → type BE → Forages profonds de MHM

- Forages pétroliers réalisés entre 1956 et 1994
- Forage EST433 réalisé par l'Andra (seul forage profond dans la ZT)





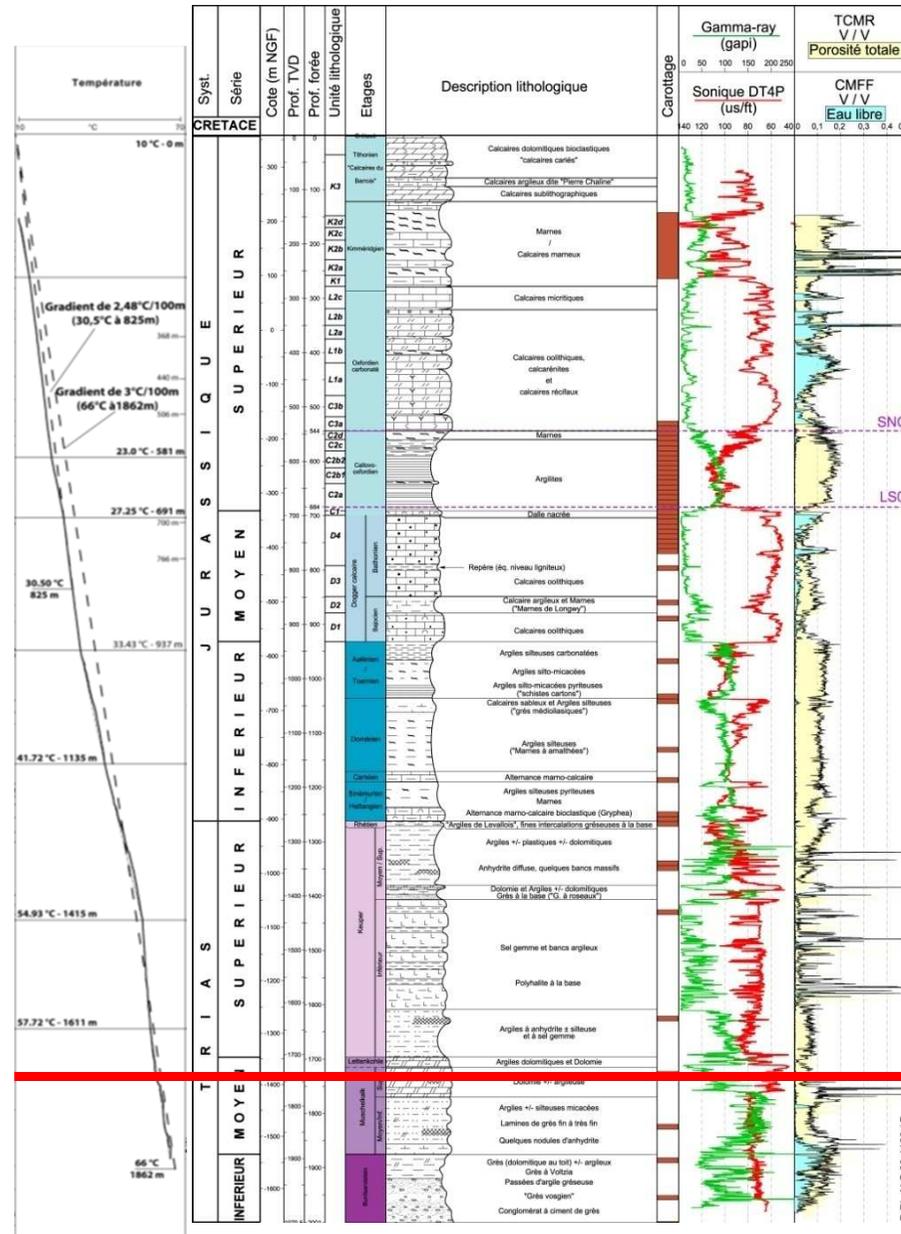
### Quelques résultats

#### GE1 – Germisay (1956)

- a) 157m de Trias inférieur ou Buntsandstein (grès, grès argileux et conglomérats)
- b) 1300m de Permien (grès rouges, grès argileux et argiles rouges) et socle non atteint
- c) Eau salée au Rhétien, le Trias inf. et Permien

#### LZV1 – Lezeville (1989)

- a) 51m de Buntsandstein traversés (grès moyens à grossiers peu cimentés avec passés d'argile suivis de 20m de conglomérats)



D'après document Andra D.TR.ASMG.11.0013

# I. Température

## Mesures de Température

- a) Sondes EMS et PSPT après 5 mois sans opération → équilibre probable
- b) Mesure ponctuelle dans Grès à Voltzia

## Résultats

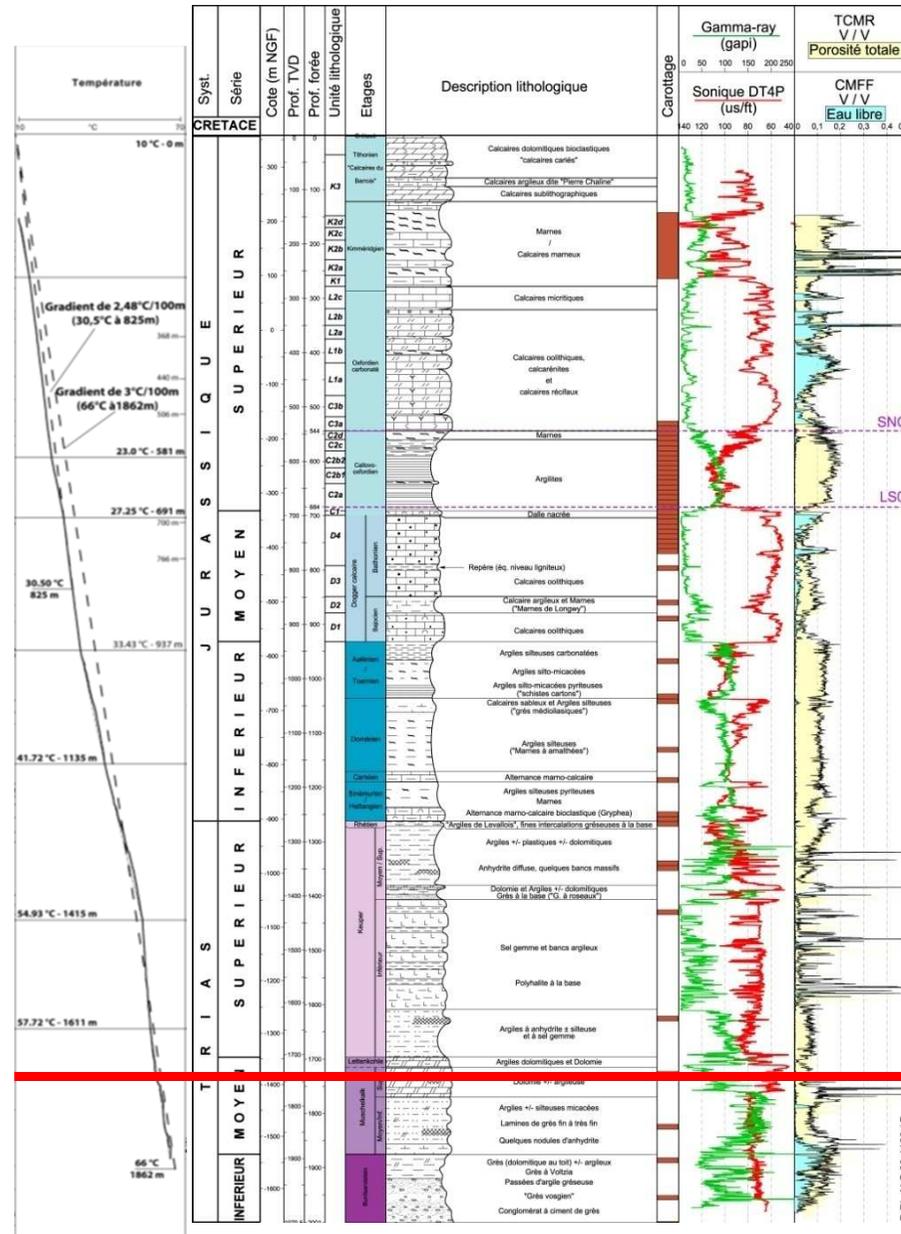
Argile (3,7 à 3,9°C/100 m)  
 Halite (2,15°C/100 m)  
 66°C mesurés dans Grès à Voltzia

Gradient moyen : 3°C/100 m

Halite massive (Keuper sup)

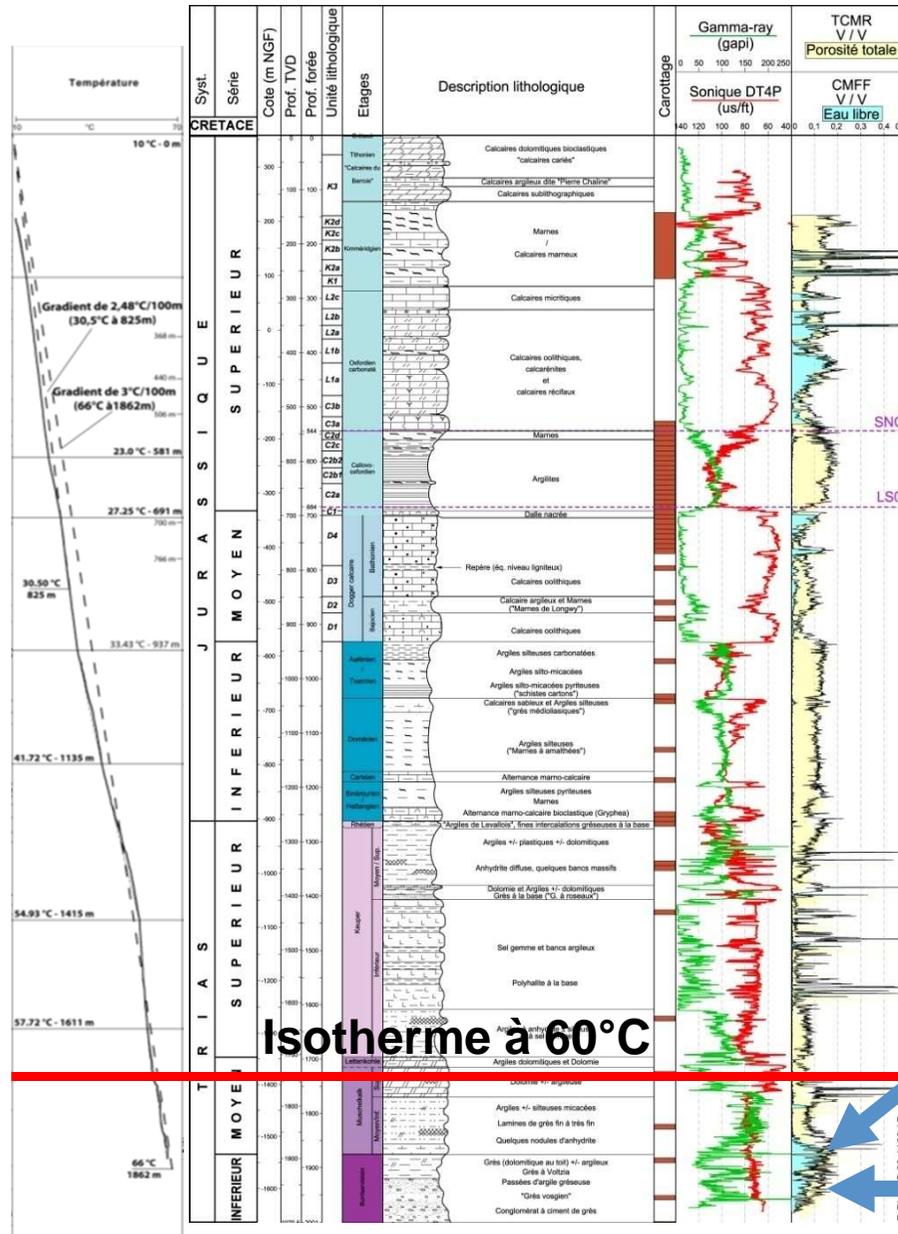
Isotherme 60°C

## II. Unités hydrogéologiques



- ← Aquifère de l'Oxfordien
- ↳ Semi-perméable (Callovo-Oxfordien)
- ← Aquifère du Bathonien moy et sup
- ↳ Semi-perméable (Lias + Keuper sup)
- ↳ Imperméable ? Halite massive (Keuper sup)
- ← Isotherme 60°C
- ← Aquifère du Buntsandstein

D'après document Andra D.TR.ASMG.11.0013



**Isotherme à 60°C**

## II. Unités hydrogéologiques

### Aquifère de l'Oxfordien

$T_{283m} 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K_{eq} 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$   
 H 266mNGF - Eau  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  0,8 g/L

### Aquifère du Bathonien moy et sup

$T_{104m} 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K_{eq} 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$   
 H 286 mNGF - Eau Cl-Na 3,3 g/L

### Ressource potentielle identifiée

#### Aquifère du Buntsandstein

##### Grès à Voltzia

$T_{25m} 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K_{eq} 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$   
 H 233 mNGF ? - Eau Cl-Na 180 g/L

##### Couches intermédiaires

$T_{25m} 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K_{eq} 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

D'après document Andra D.TR.ASMG.11.0013

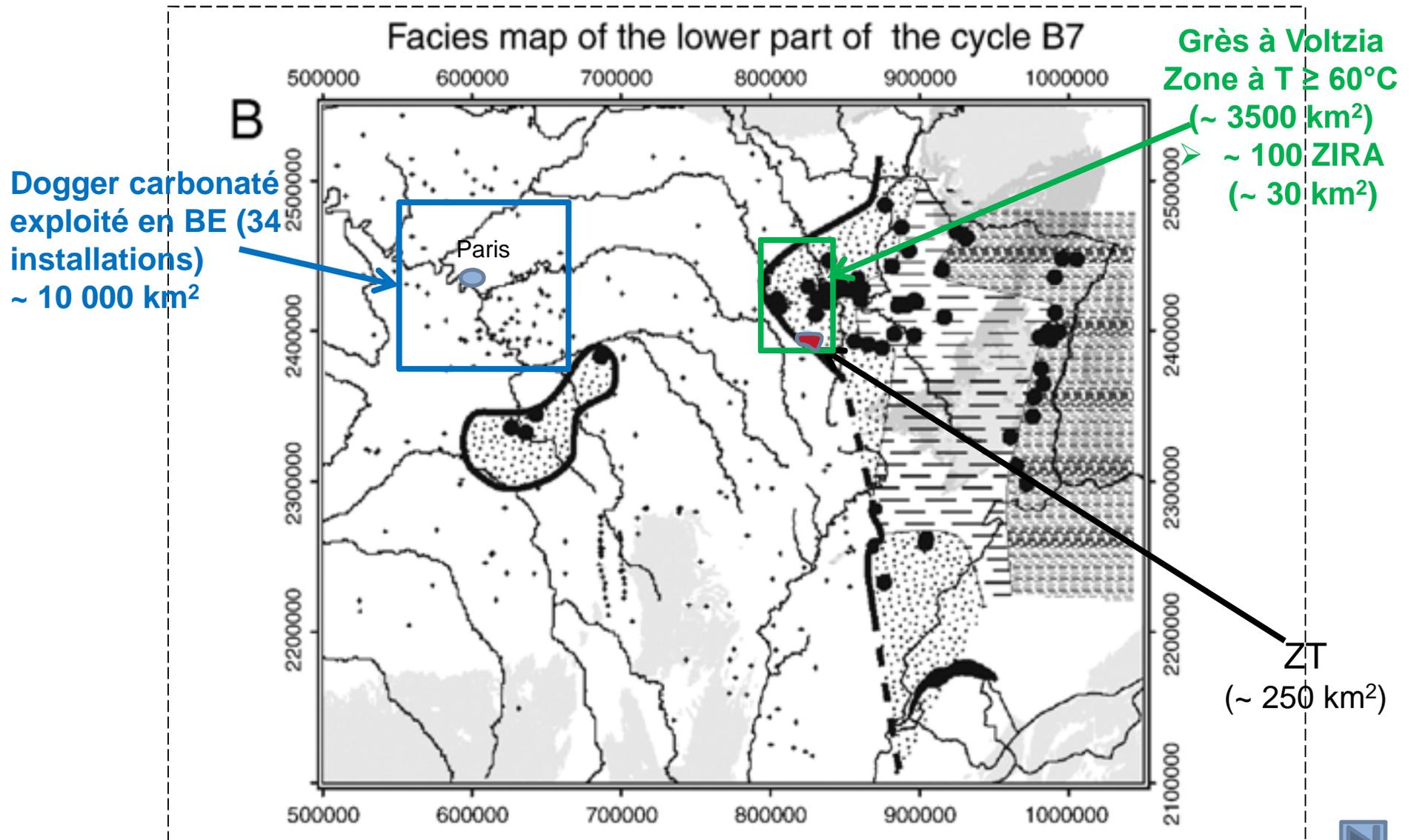
## Comparaison Dogger (centre Bassin Paris) – Buntsandstein (Zone de Transposition)

	Dogger (tous faciès*)	Buntsandstein (Grès à Voltzia / couche intermédiaire)
Nbre de forages	110 (Rojas et al., 1989)	1 (Landrein et al., 2013)
Température °C	69,5±7,8	66 / ?
T=Kh (D.m)	38±23 (max 114)	114 / 25
h (m)	18±8	25 / 25
K (D)	2,2±1,4 (max 11)	4,6 / 1
Porosité	15,6±2,4	16-18
Salinité (g/L)	1-35	180

\* Comprend le Comblanchien, l'Oolithe Blanche et les Alternances

- Les propriétés hydrauliques du Buntsandstein sont proches de celles du Dogger carbonaté du centre du Bassin de Paris

## Extension des grès à Voltzia



S. Bourquin et al. / Sedimentary Geology 186 (2006) 187–211



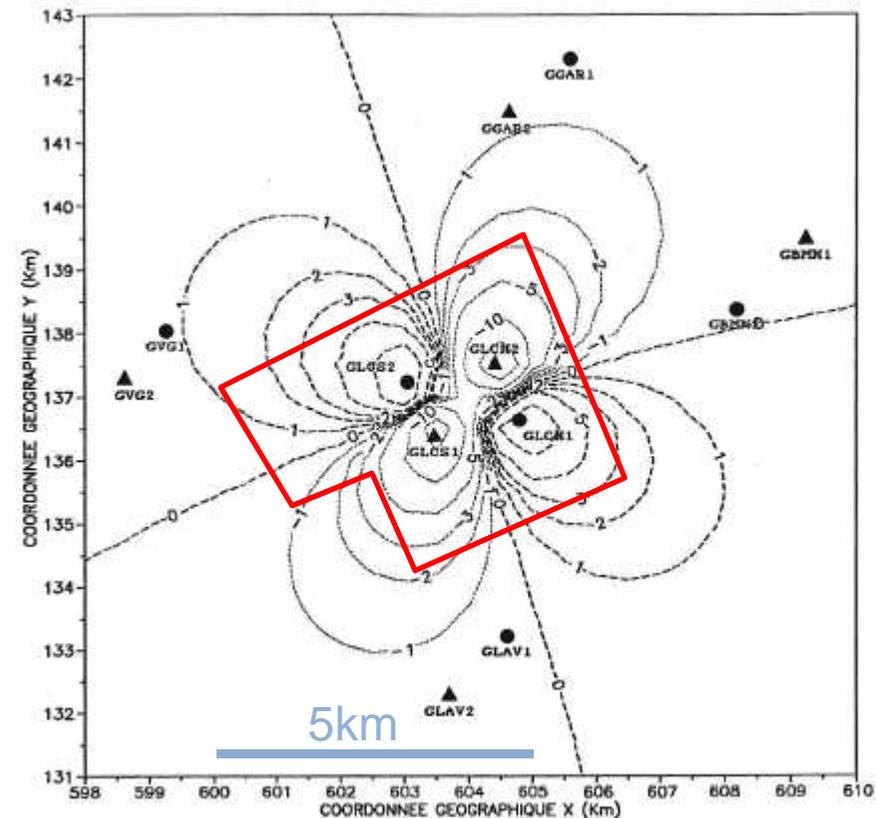
- Conditions nécessaires à une exploitation

- Réinjection totale de l'eau produite (salinité...) pour :
  - Eviter l'incompatibilité bio-géochimique de l'eau salée avec aquifères sup. et eaux de surface (Loi sur l'eau)
  - Maintenir une charge hydraulique constante dans l'aquifère
  - Eviter les risques sismiques potentiellement engendrés par le pompage (eg St Gall, Suisse, *séisme magnitude 3,6 lié aux activités de stimulation réalisés dans le forage d'un projet de géothermie* → forage bouché après essais)
- Débits pérennes (150 à 250 m<sup>3</sup>/h minimum sur Prod. & Inj.) → température nominale → essais hydrauliques longs
- Débit d'injection égal au débit de production (cf. Dogger)

## Par analogie au Dogger

Aire d'influence d'une exploitation par doublet économiquement viable

*Champ de pression induit par une exploitation (e.g. GLC ; Menjöz et al. 1989)*



- Cigéo pourrait geler une surface équivalente à une installation BE « typique » du Dogger (BP)
- En termes de **potentiel** géothermique régional, Cigéo (~30 km<sup>2</sup>) pourrait geler max 1 à 2 % de ressource régionale (~3500 km<sup>2</sup>)

- Tentatives de réinjection dans les grès du Trias en France

3 échecs :

- Cergy-Pontoise et Achères → repli au Dogger
- Melleray → production à 150 m<sup>3</sup>/h mais surpression rapide à l'injecteur → limitation du débit d'injection à 80 m<sup>3</sup>/h pendant 1 an puis abandon.

Causes de la surpression :

- Exogènes liées à l'exploitation (dégazage et produits de corrosion)
- Endogènes (17 kg/jour ou 7 t/an de particules dont 95% étaient des fines <1µm)

- Quelques exemples d'exploitations par doublets dans les formations argilo-gréseuses en Europe

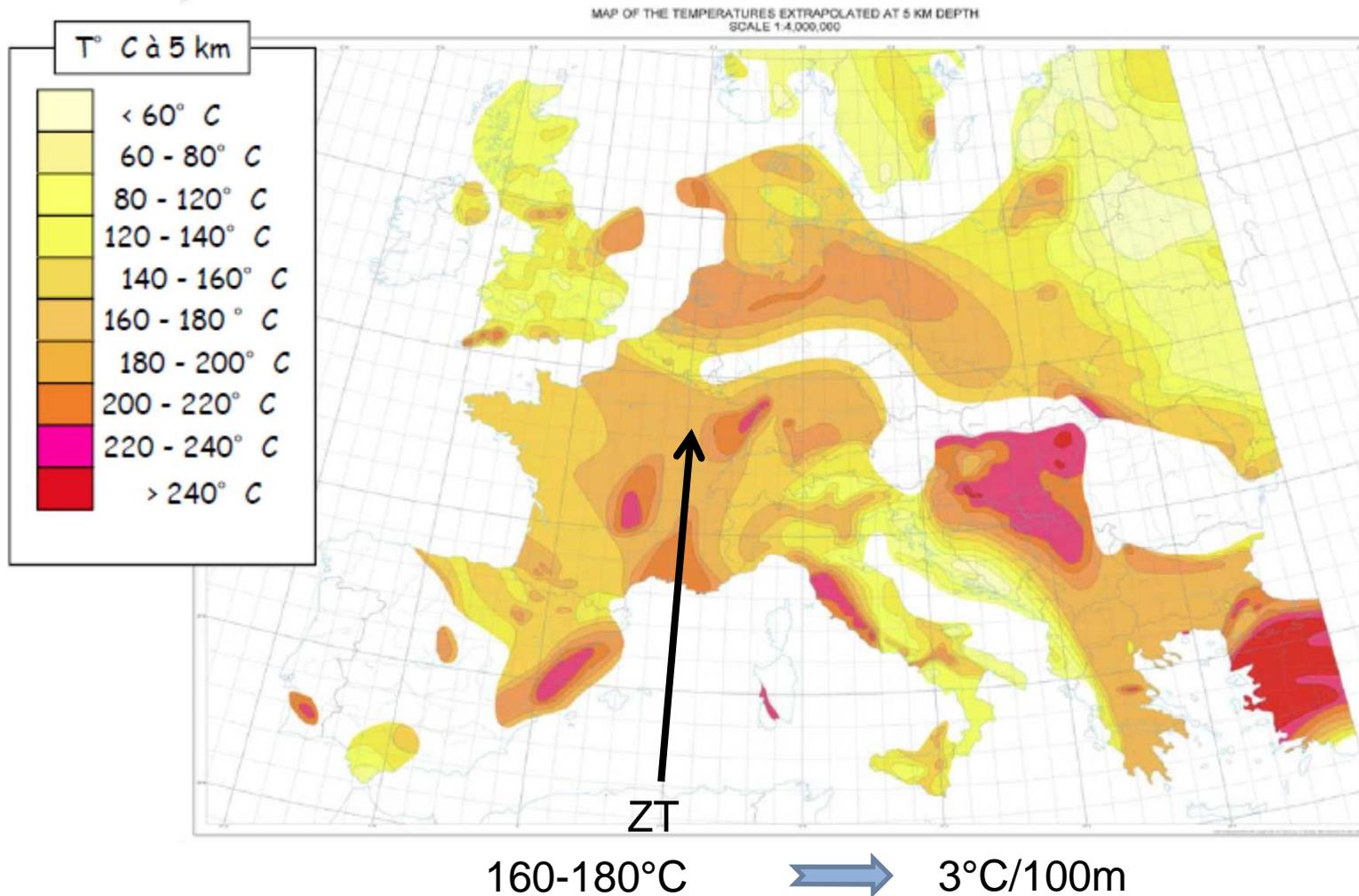
- Waren All.(BE, 62°C, 60 m<sup>3</sup>/h, 158 g/L)
- Thisted Dk. (BE, 45°C, 150 m<sup>3</sup>/h, F 1 µm)
- Neubrandenbourg All. (BE, 54°C, 100 m<sup>3</sup>/h, 120g/L)
- Neustadt-Glewe All. (BE-ME, 100°C, 110 m<sup>3</sup>/h, 220g/L, 0.5D<K<1D)

- Existence d'une ressource plus profonde dans la ZT ?

- Possible (Grès vosgiens, Permien, ...), mais inconnue...

- ✓ Le Buntsandstein de EST433 (Grès à Voltzia et Couches intermédiaires) présente un potentiel géothermique compatible avec une exploitation de type BE (température >60°C, très bonne transmissivité).
- ✓ Cigéo est en bordure d'aquifère : Limite hydrogéologique ? Impact sur une exploitation ?
- ✓ La salinité des eaux du Buntsandstein imposerait une exploitation par doublets (Prod. & Inj.), avec des débits d'exploitation conditionnés par ceux des injecteurs (dans ce type de formations argilo-gréseuses, le REX pourrait suggérer une diminution sensible du débit d'exploitation) → Le débit d'exploitation « réel » est inconnu à ce jour.
- ✓ Cigéo pourrait ne geler qu'une portion très réduite (1-2 %) de la ressource au Trias dans l'Est de la France (~ 98 % de cette ressource resterait disponible à une possible future exploitation).
- ✓ Possibilité de faire des forages inclinés pour exploiter la ressource dans la ZIRA
- ✓ Les niveaux inférieurs (Grès vosgiens et Grès du Permien) ont des propriétés hydrauliques, minéralogiques et thermiques actuellement inconnues.

## Potentiel géothermique dans la ZT → type ME-HE



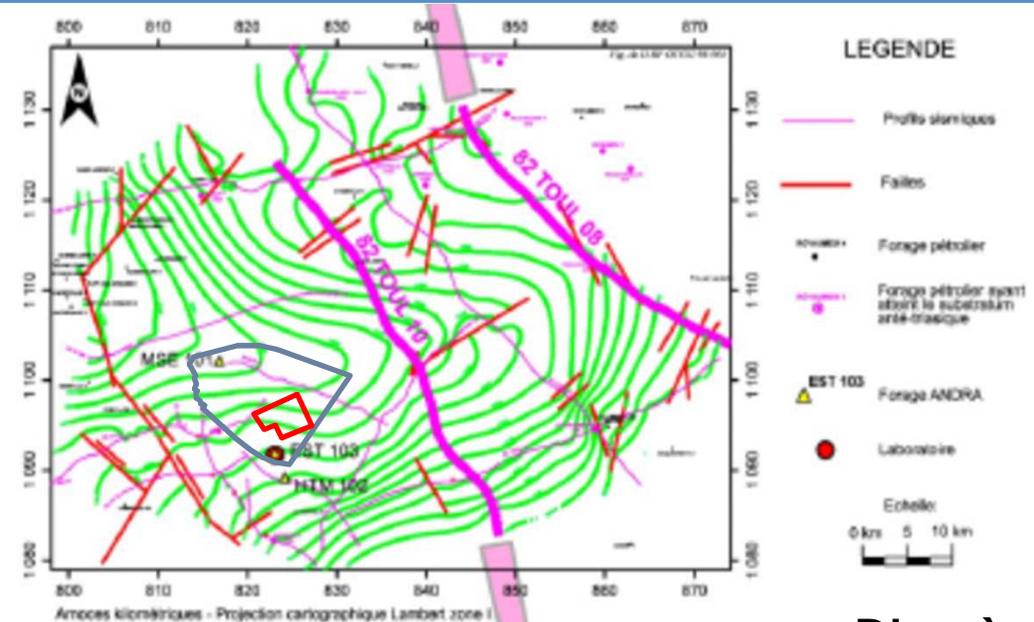
Vapeur directe → Forages à ~ 5km de prof.

Vapeur indirecte (Fluide de travail) → Forages à ~ 3km de prof.

Mais dans  
quel réservoir ?

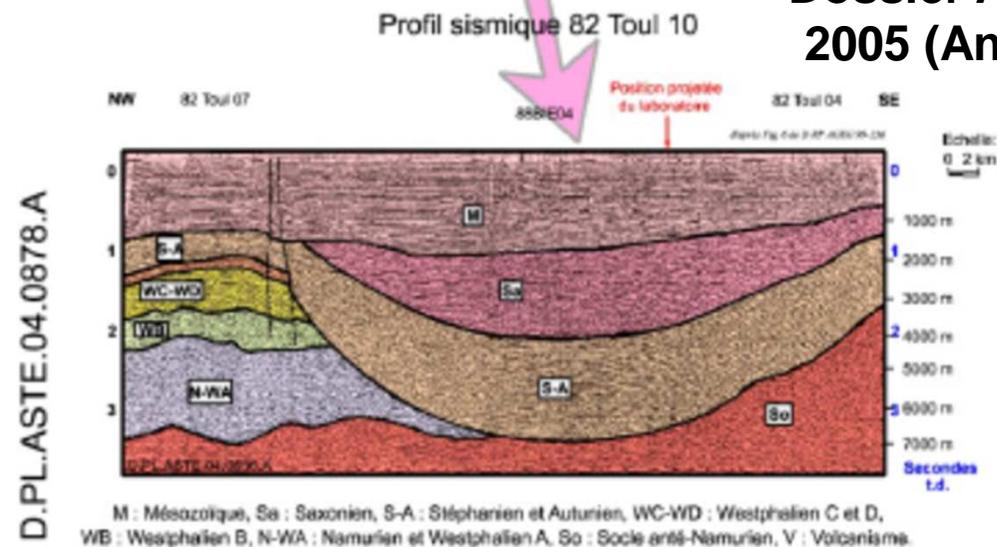
## Potentiel géothermique dans la ZT → type ME-HE

*Structure du Bassin permo-carbonifère Lorrain.  
Toit du socle à l'aplomb du  
secteur de Meuse/Haute-  
Marne*



**D'après  
Dossier Argile  
2005 (Andra)**

- **Permien > 2km d'épaisseur (Saxonien + Autunien)**
- **Socle à 5-6km de profondeur**
- **Le potentiel géothermique de ces formations est totalement inconnu**



- ✓ Le secteur de Meuse/Haute-Marne présente une ressource géothermique de type Basse Energie localisée dans le Trias inférieur.
- ✓ Compte tenu de la salinité du Trias à l'aplomb du site, l'exploitation de son potentiel est conditionnée par la possibilité d'y réinjecter l'eau. Or, l'expérience montre la difficulté à mettre en œuvre cette réinjection dans ce type de formation argilo-gréseuse. Dans d'autres types de formation, en particulier les calcaires du Dogger du centre du Bassin parisien, des ressources géothermiques Basse Energie sont actuellement exploitées sans rencontrer ces difficultés.
- ✓ Les formations plus profondes, dont celles du Permien, pourraient présenter un potentiel géothermique de type Moyenne à Haute Energie. Le secteur de Meuse/Haute-Marne ne présente toutefois pas de caractère exceptionnel ni d'intérêt particulier par rapport à d'autres parties du territoire français sur lesquelles un potentiel géothermique est démontré et l'augmentation de la température avec la profondeur est plus rapide.

- ✓ Compte-tenu des éléments précédents, l'IRSN considère que, au regard des critères définis par l'ASN, le potentiel géothermique du secteur de Meuse/Haute-Marne n'est pas de nature à remettre en cause le choix du site d'implantation du projet Cigéo.
- ✓ Toutefois, en cas de l'oubli de la présence du stockage, il ne

Cigéo pourrait ne geler qu'une portion très réduite (1-2%) de la ressource au Trias dans l'Est de la France (~ 98% de cette ressource resterait disponible à une possible future exploitation). Possibilité de réaliser des forages inclinés pour exploiter la ressource sans pénétrer la ZIRA.

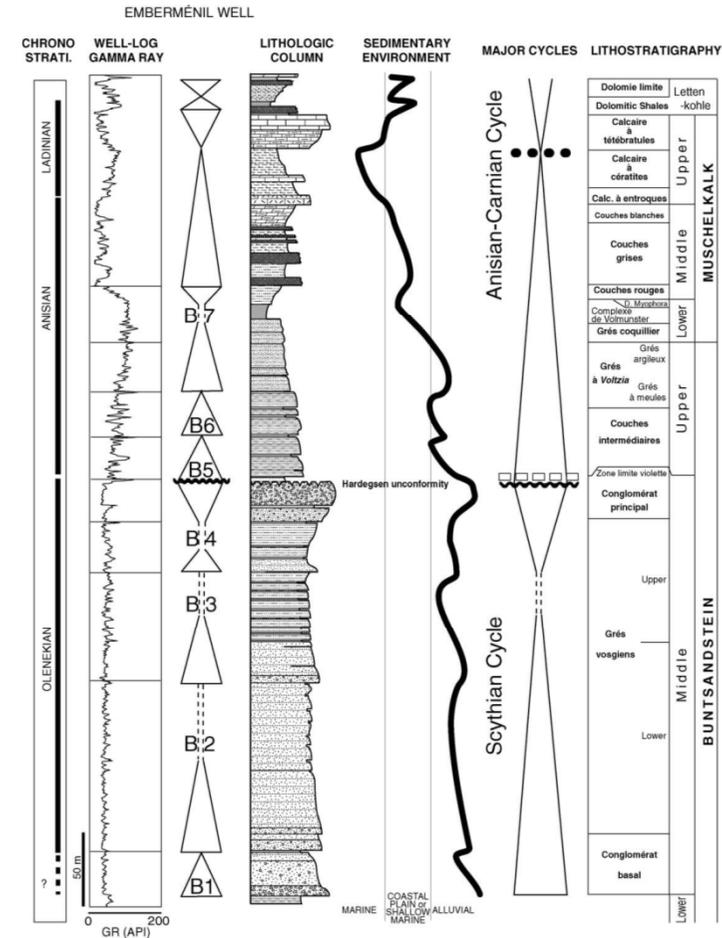
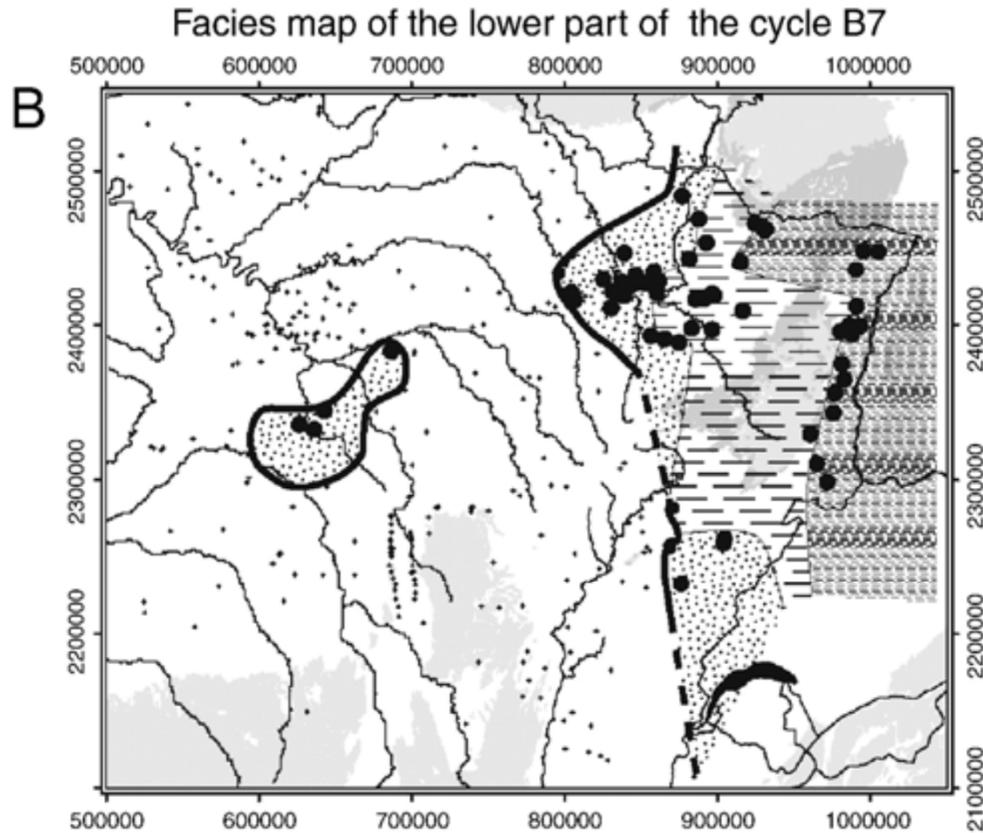
# Merci de votre attention

*Lien vers fiche débat public*

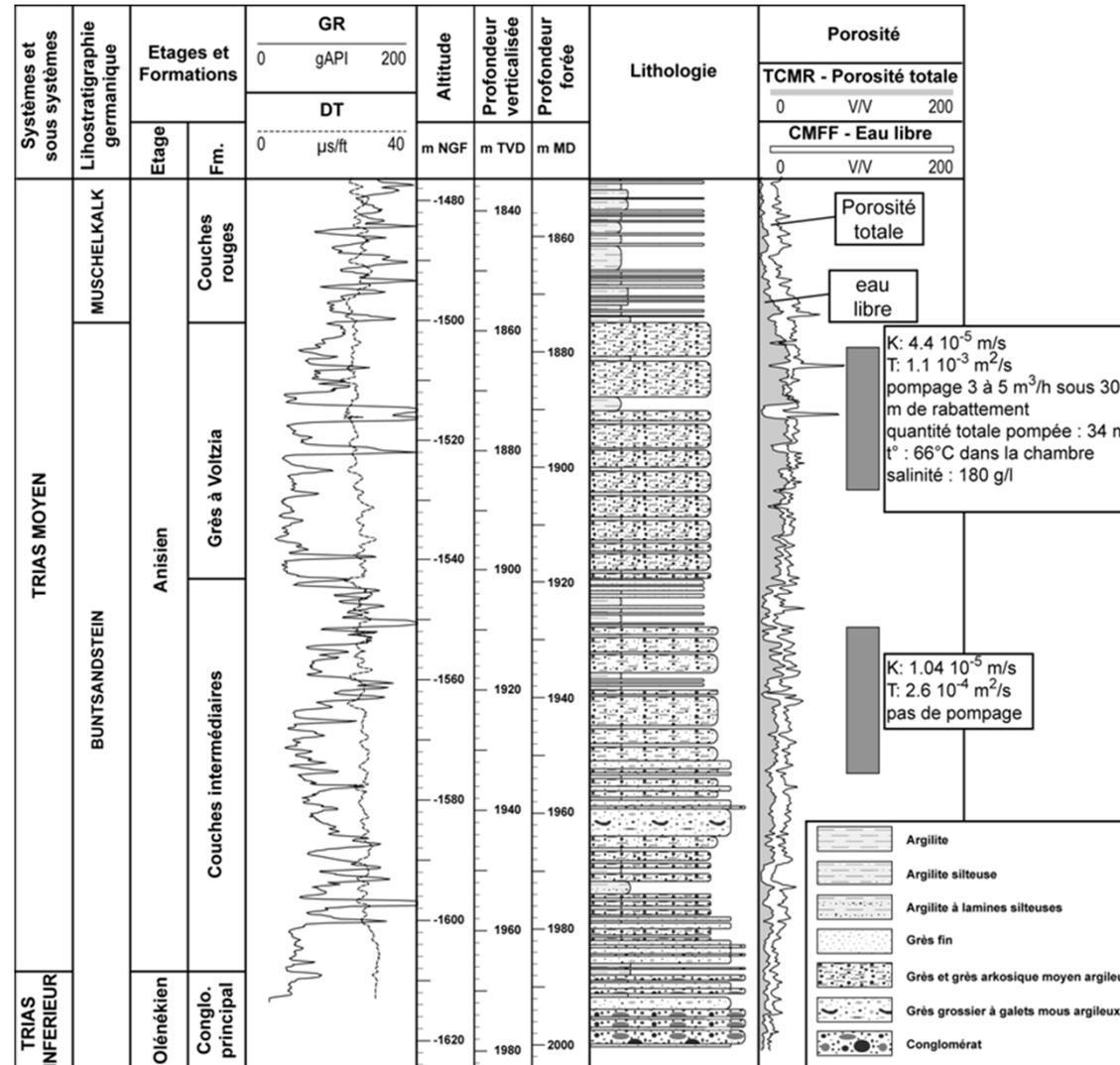
<http://www.irsnn.fr/dechets/cigeo/Pages/Documents-IRSN-debat-public-Cigeo.aspx>



# Extension des grès à Voltzia

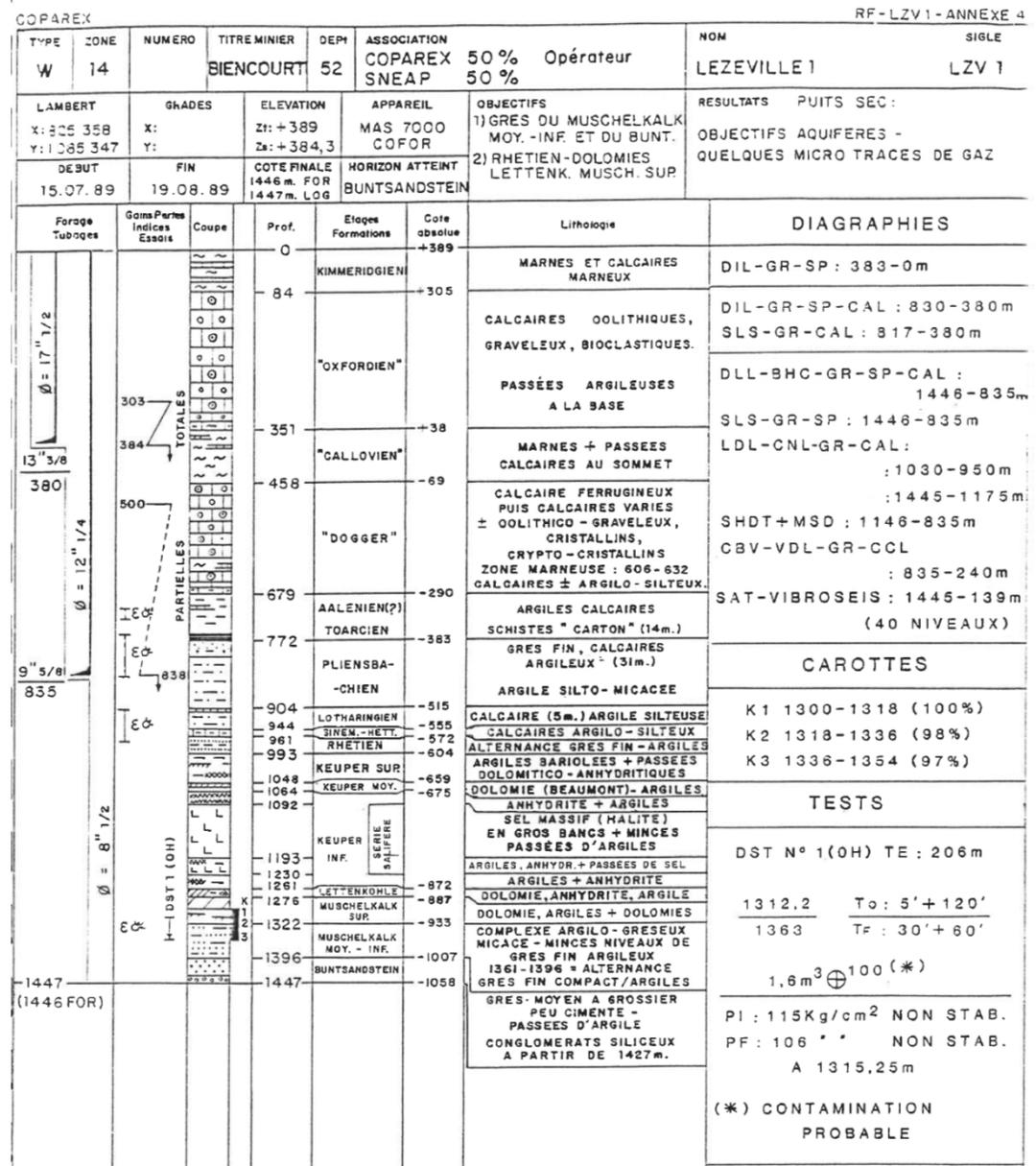


EST433



Landrein et al., 2013

# Potentiel géothermique dans la ZT → type BE → Analyse de la ressource



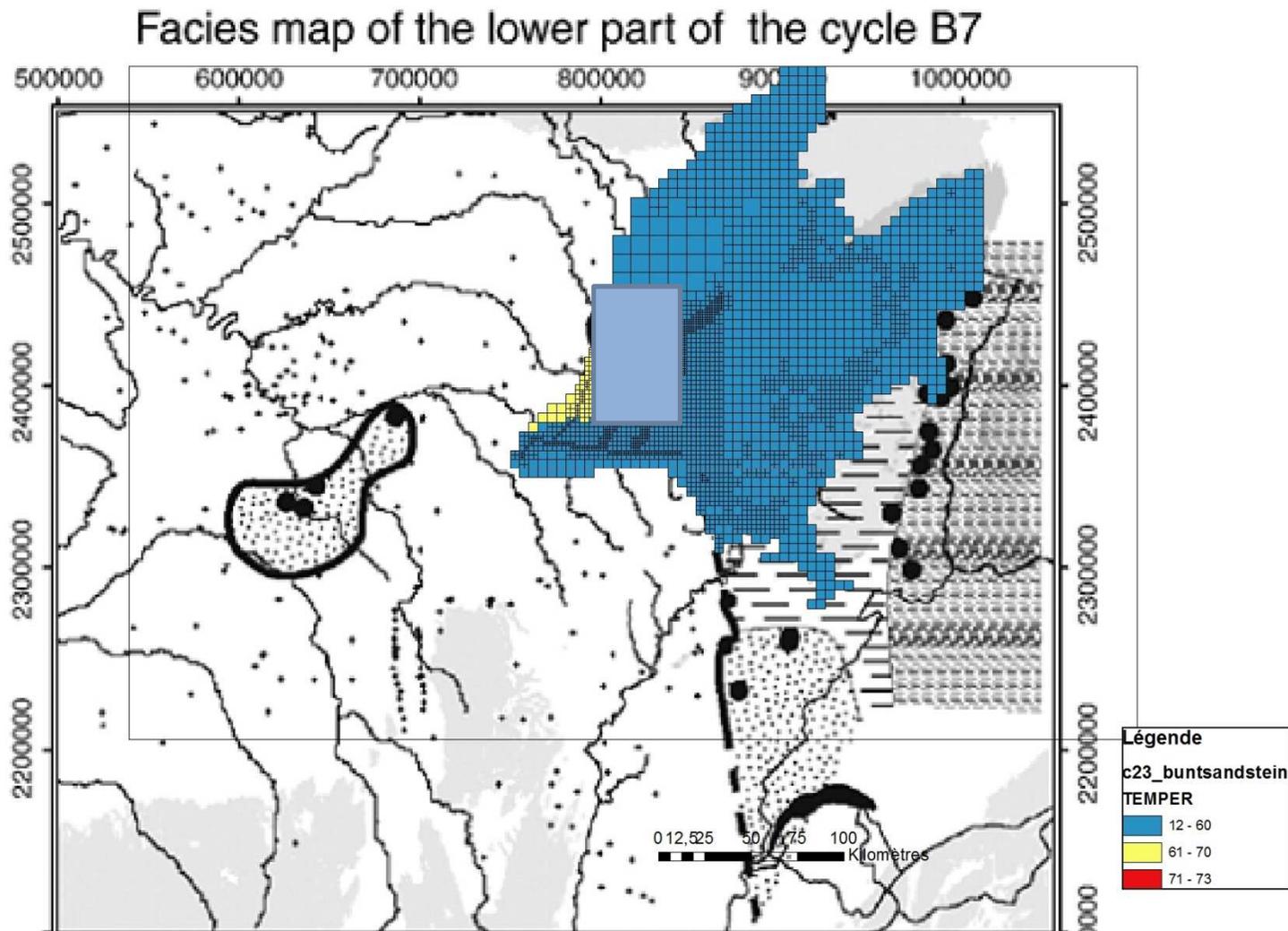
## Comparaison Dogger (centre Bassin Paris) – Trias

	Dogger Tous Forages* Rojas et al (1989)	Buntsanstein EST433** Landrein et al (2013)	Keuper GMY1-P/GMY2-I BRGM (83 SGN- 176-GTH)
Nbre de forages	110	1	2
Température réservoir (°C)	69,5±7,8	66/?	73
T=Kh (D.m)	38±23 (max 114)	114/25	15,7/ 11,7
h (m)	18±8	25/25	34/34
K (D)	2,2±1,4 (max 11)	4,6/1	0,5/0,2
Porosité	15,6±2,4	16-18	17
Salinité (g/L)	1-35	180	35

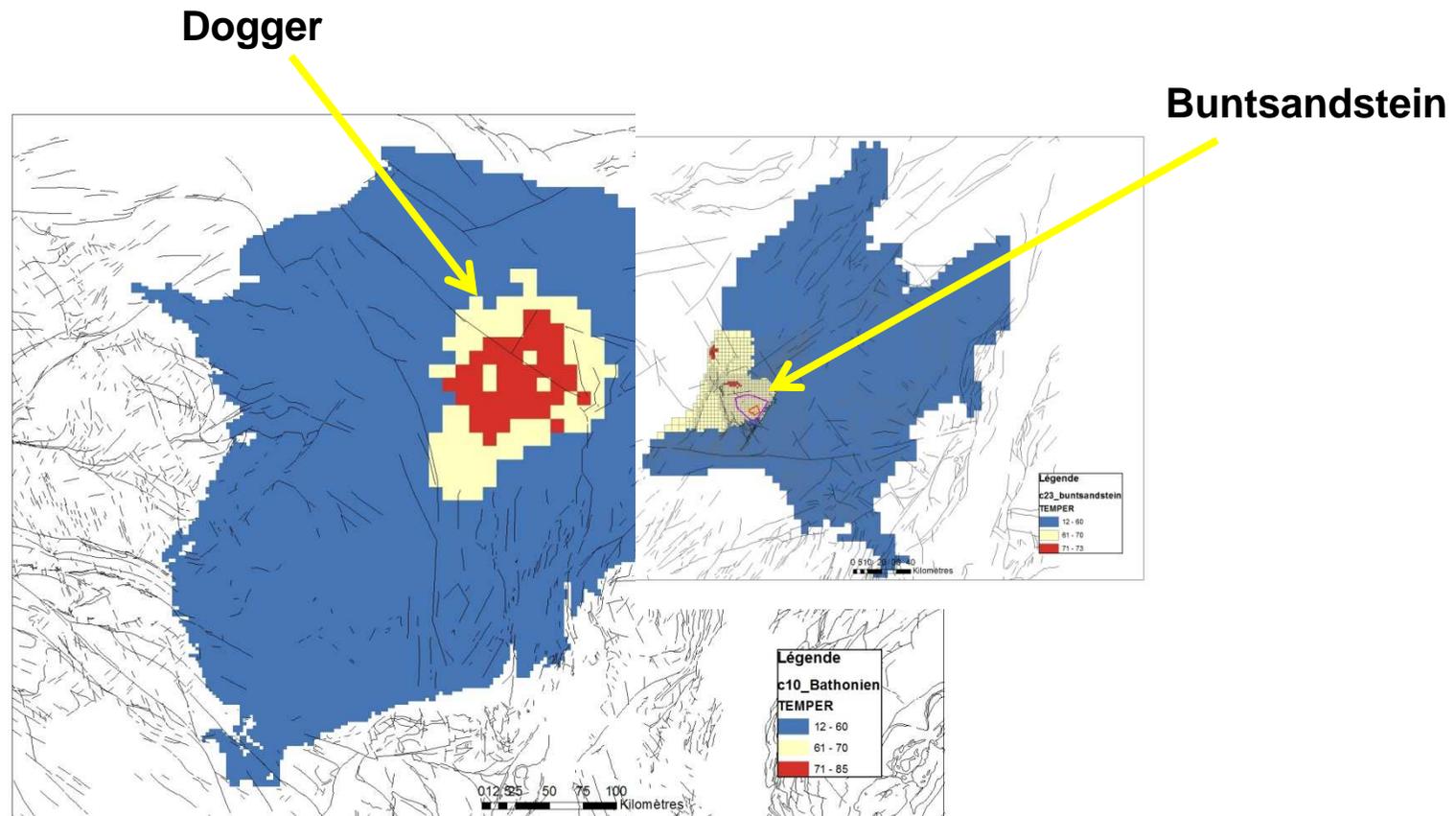
\* Comprend le Comblanchien, l'Oolithe et les Alternances

\*\*Grès à Voltzia/Couches intermédiaires

## Zone concernée par des températures supérieures à 60°C



## Aires concernées par des températures supérieures à 60°C



*D'après géométrie calculée par la CGG pour le compte de l'IRSN à partir de la base de donnée de forage, des profils sismiques et pour un gradient de 3°/100m*

