

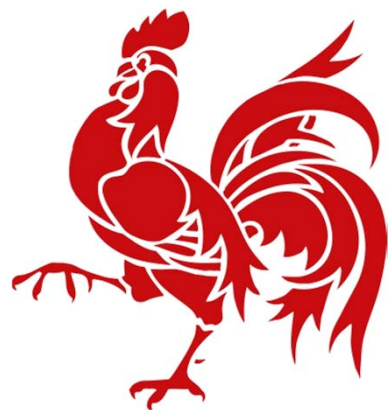


**Institut scientifique  
de service public**

Métrologie environnementale  
Recherche - Analyses  
Essais - Expertises



**Gaz de schiste et de charbon. Quelques aspects d'ingénierie. Société Belge de Géologie de l'Ingénieur et de Mécanique des Roches. (8/12/2014)**



**Wallonie**

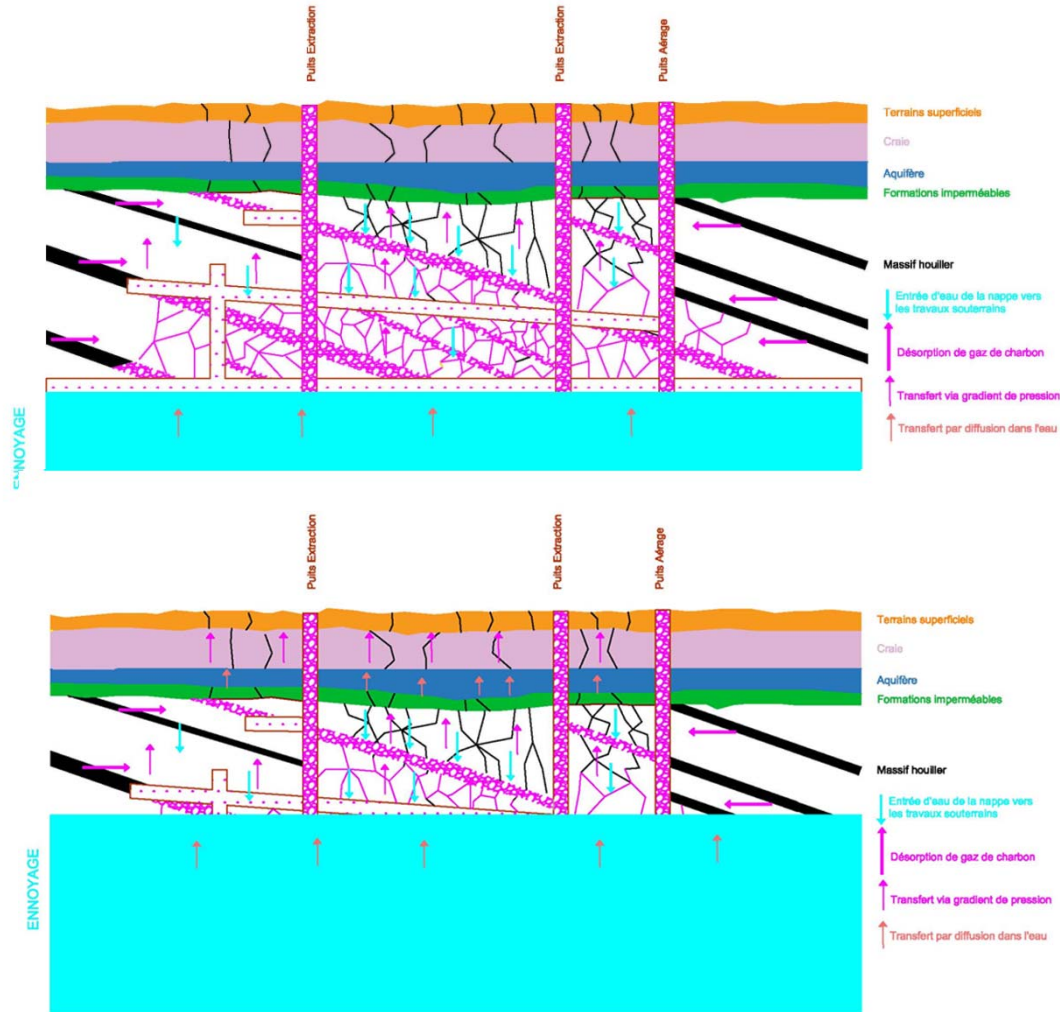
**Emissions de gaz de couche depuis d'anciennes exploitations charbonnières. Définition des mesures de post-gestion à appliquer aux sites d'Anderlues et de Péronnes-lez-Binche. (M. Veschkens)**



- 1. Emissions de gaz de couche depuis d'anciennes exploitations charbonnières**
  - 1.1 Mécanismes
  - 1.2 Risques
  - 1.3 Méthodes de gestion
- 2. Définition des mesures de post-gestion à appliquer aux sites d'Anderlues et de Péronnes-lez-Binche (mines de charbon exploitées comme réservoirs de stockage de gaz naturel)**
- 3. Développement d'une méthode d'analyse du risque pour ajuster le réseau de contrôle des émissions au droit des sites d'Anderlues et de Péronnes-lez-Binche**



## Mécanismes en jeu



Vides résiduels → réservoir

Mise en pression du réservoir

- alimentation par désorption;
- ennoyage

Alimentation par désorption

- quantité de charbon en place;
- concentrations résiduelles;
- état du massif

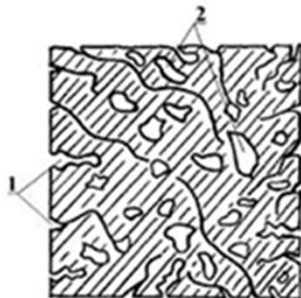
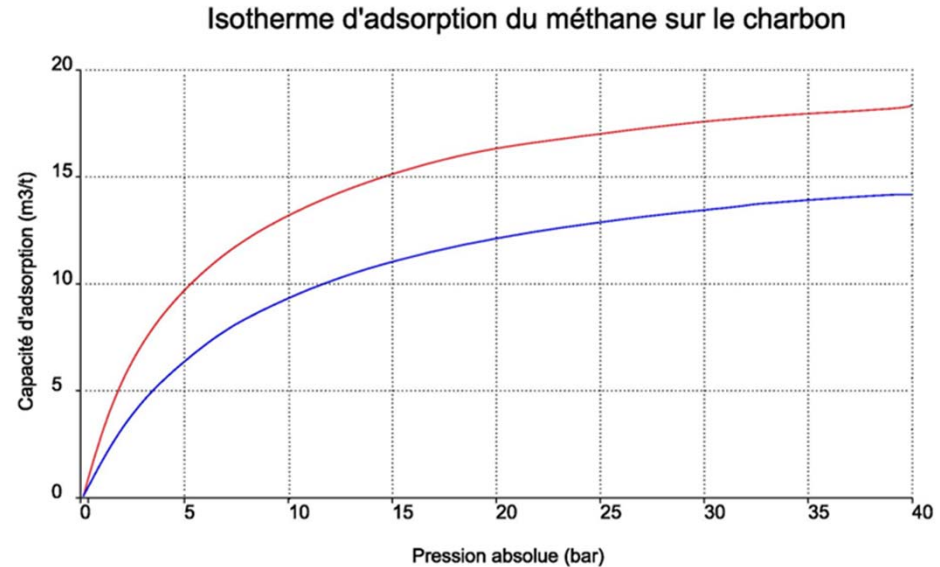
Si  $P_{res} > P_{atm}$  alors migration vers la surface via les connexions fonds/surface ou les terrains de couverture

## Mécanismes en jeu

Gaz de charbon

- fraction libre (0, x m<sup>3</sup>/t)
- fraction adsorbée (20 à 25 m<sup>3</sup>/t)

Si équilibre ( $P_i, [C_i]$ ) rompu →  
émission de gaz jusqu'à  
établissement d'un nouvel équilibre  
( $P_f, [C_f]$ )



Représentation schématique d'un charbon

- matrice carbonée
- fractures et pores ouverts (1)
- pores fermés (2)

## Mécanismes en jeu



Diffusion de gaz à la surface du charbon



Diffusion à travers la matrice et les micropores



Ecoulement dans le réseau de fractures

$$Q_2 = Q_0 \frac{k_c (P_1 - P_2)}{(1 + k_c P_1)(1 + k_c P_2)}$$

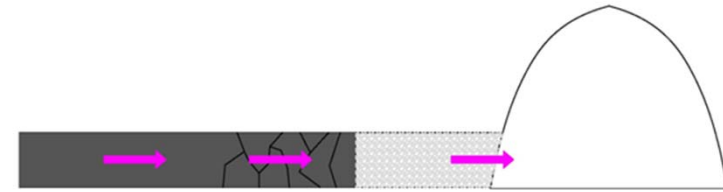
Désorption

$$Q_1 = D * S * \frac{dC}{dt}$$

Diffusion

$$Q_3 = \frac{kS}{\mu} \text{grad}(P)$$

Ecoulement (gradient de pression)



$$\text{div} \left( \frac{k}{\eta} P \frac{dP}{dc} \vec{\nabla} C \right) = \frac{dC}{dt} \quad (\text{A. Saghafi et al. 1984})$$

Où

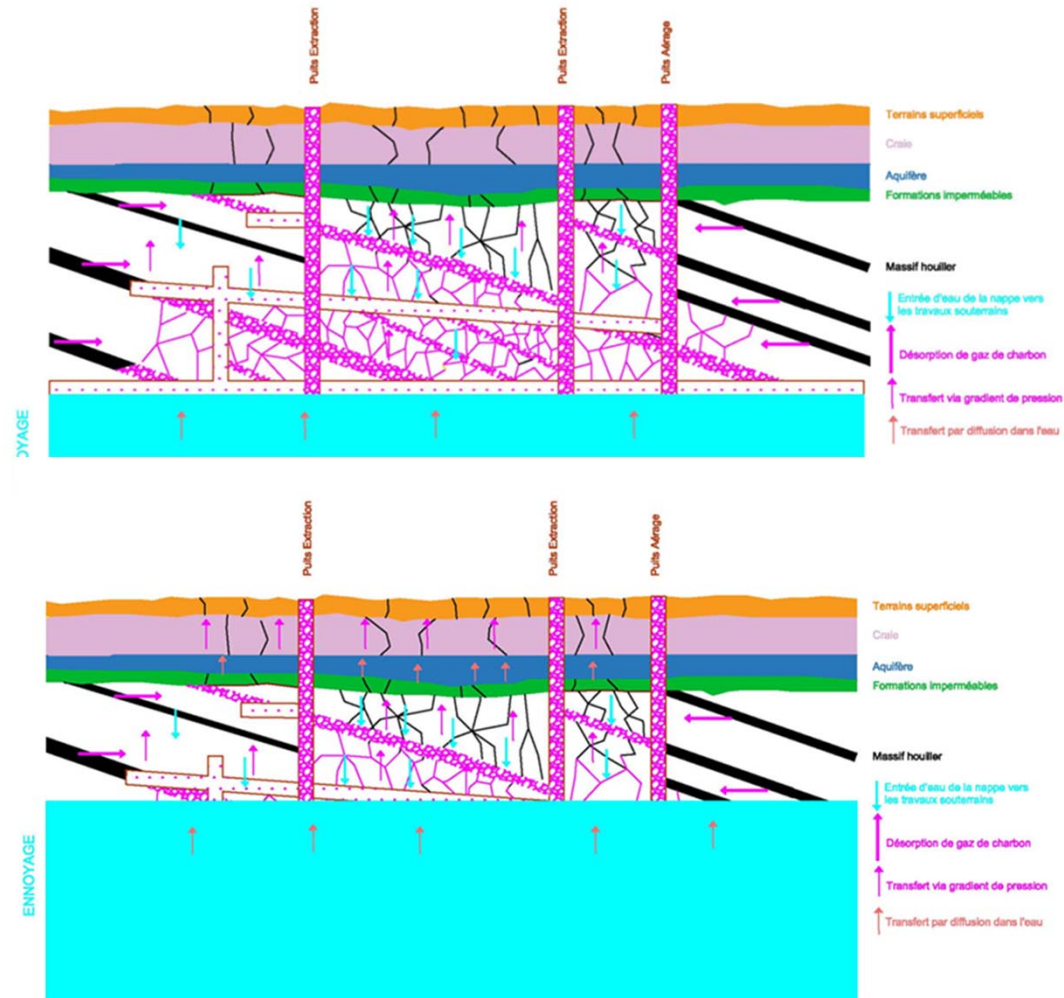
k = perméabilité en m  
 $\eta$  = viscosité en Pa s ;  
 P = pression en MPa  
 C = concentration en m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

Où

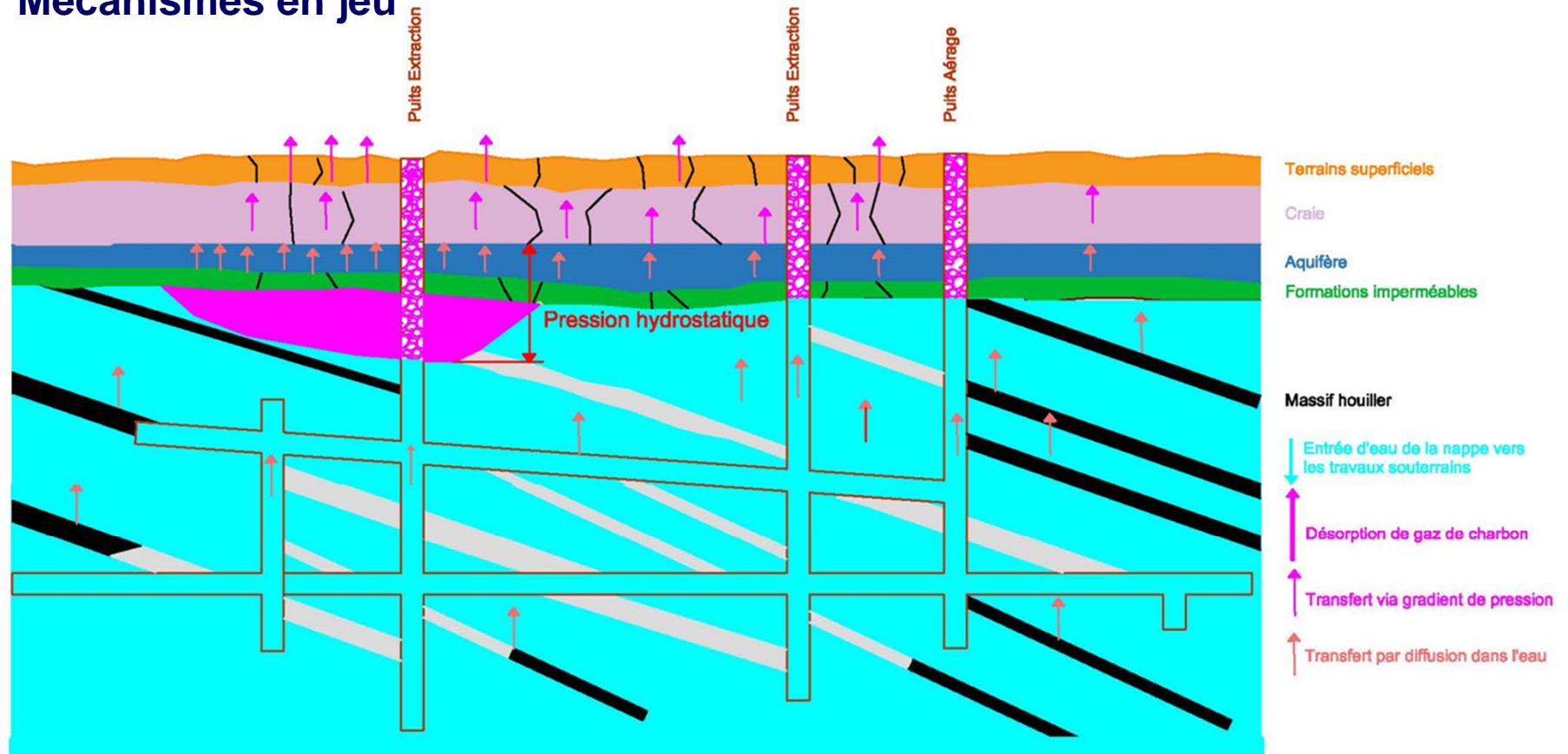
$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-Dn^2 \pi^2 t}{r_0^2}\right)$$

D = coefficient de diffusion en m<sup>2</sup>/s;  
 r<sub>0</sub> = rayon moyen des particules ;  
 t = temps en s  
 M<sub>t</sub>, M<sub>∞</sub> = quantité désorbée en g au temps t et ∞

## Mécanismes en jeu



## Mécanismes en jeu



## Risques potentiels dus à l'émission et à la migration de gaz de mine vers la surface

- 1) Inflammations voire explosion
- 2) Asphyxie
- 3) Intoxication

## Situations classiques à l'origine d'incidents ou d'accidents

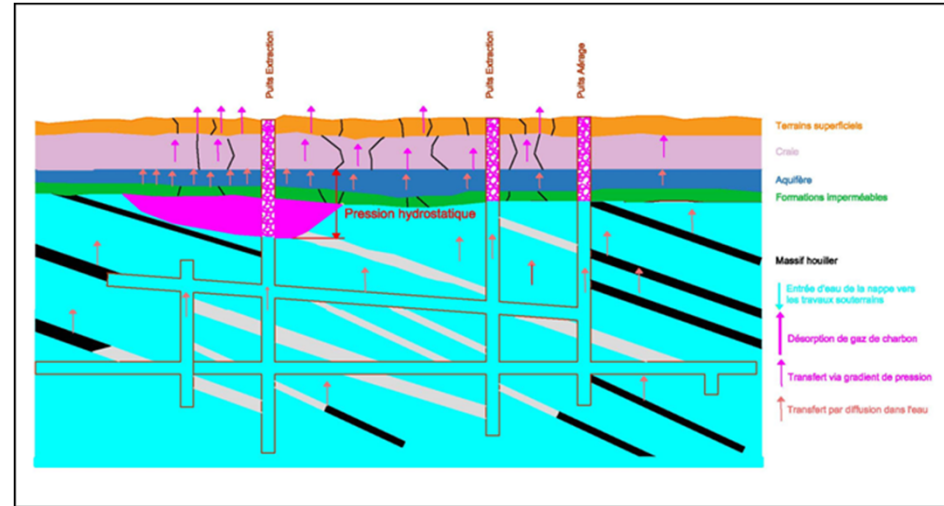
- 1) Emanations ponctuelles et concentrées de gaz de mine au travers de communications directes entre les vieux travaux et la surface (orifices miniers, failles, fissures, ...)
- 2) Accumulations de gaz dans des espaces confinés ou semi-confinés (caves, sous-sols, égouts ou autres réseaux enterrés, parkings souterrains, ...)
- 3) Mise en communication d'un piège à gaz de charbon avec l'atmosphère (réalisation de forages ou de travaux de génie civil à proximité de vieux travaux, ...)





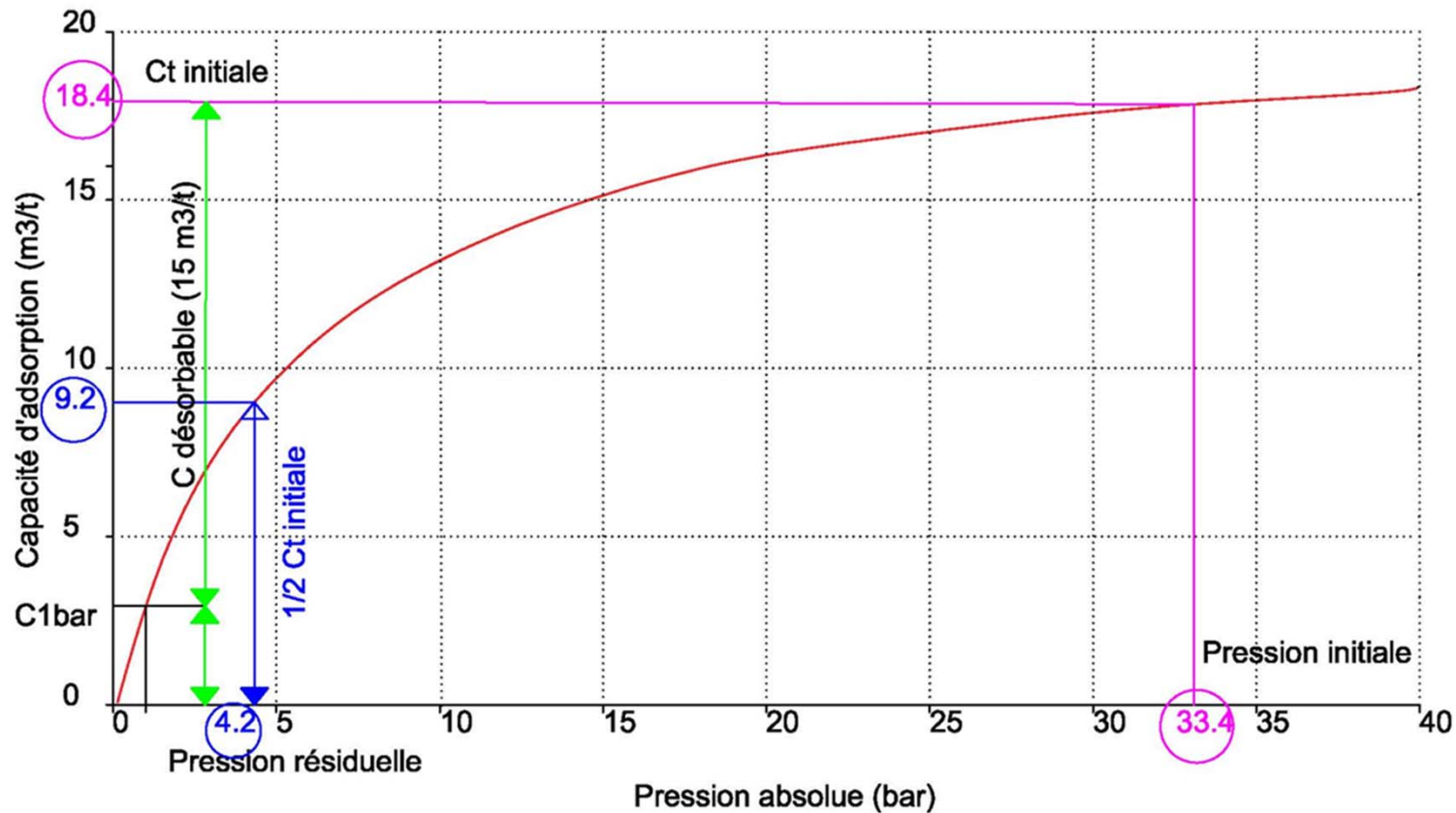
## Principes d'évaluation des risques

- 1) Critères liés au réservoir souterrain : caractéristiques grisouteuses du gisement, volume et étendue des vides miniers résiduels, leur position par rapport à la surface, ... ;
- 2) Critères liés aux terrains de recouvrement : nature, structure et épaisseur globale du recouvrement, épaisseur des différents bancs particuliers et leur perméabilité qui peut dépendre fortement de la fracturation induite par l'exploitation ;
- 3) Critères liés à l'hydrogéologie : nature, épaisseur, forme des horizons aquifères et leur position par rapport aux travaux miniers ;
- 4) Critères liés à la géologie : présence de formations propices à l'accumulation et à la migration des gaz de mine ;
- 5) Critères liés à l'occupation du sol : densité de population à l'aplomb des anciennes exploitations charbonnières. Les zones urbanisées augmentant la vulnérabilité de la surface et donc, à niveau d'aléa identique, le niveau de risque.



## Evaluation de la pression de gaz dans les vides résiduels (Z. Pokryszka et al., 2002 )

Isotherme d'adsorption du méthane sur le charbon

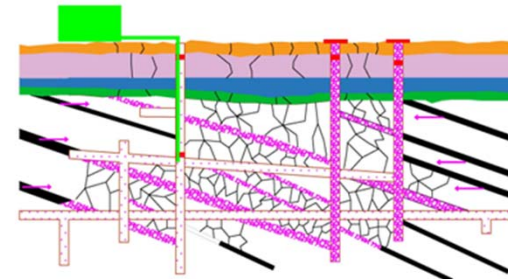
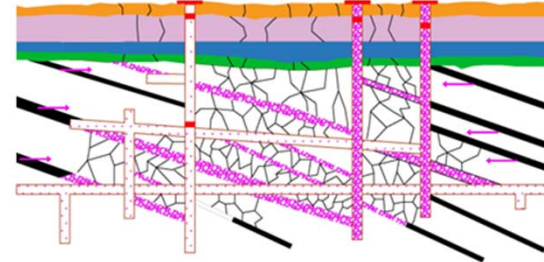


## Modes de gestion des émissions

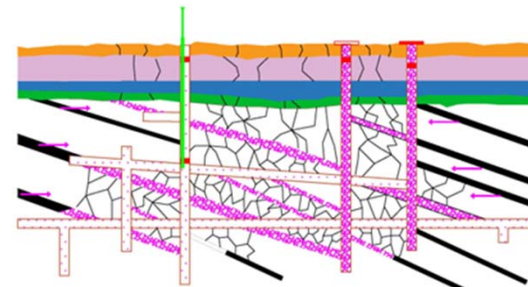
Rendre le réservoir aussi étanche que possible en supprimant toute connexion avec la surface

Etanchéifier le réservoir tout en exerçant un traitement actif ou passif pour limiter la pression susceptible d'être atteinte dans le réservoir

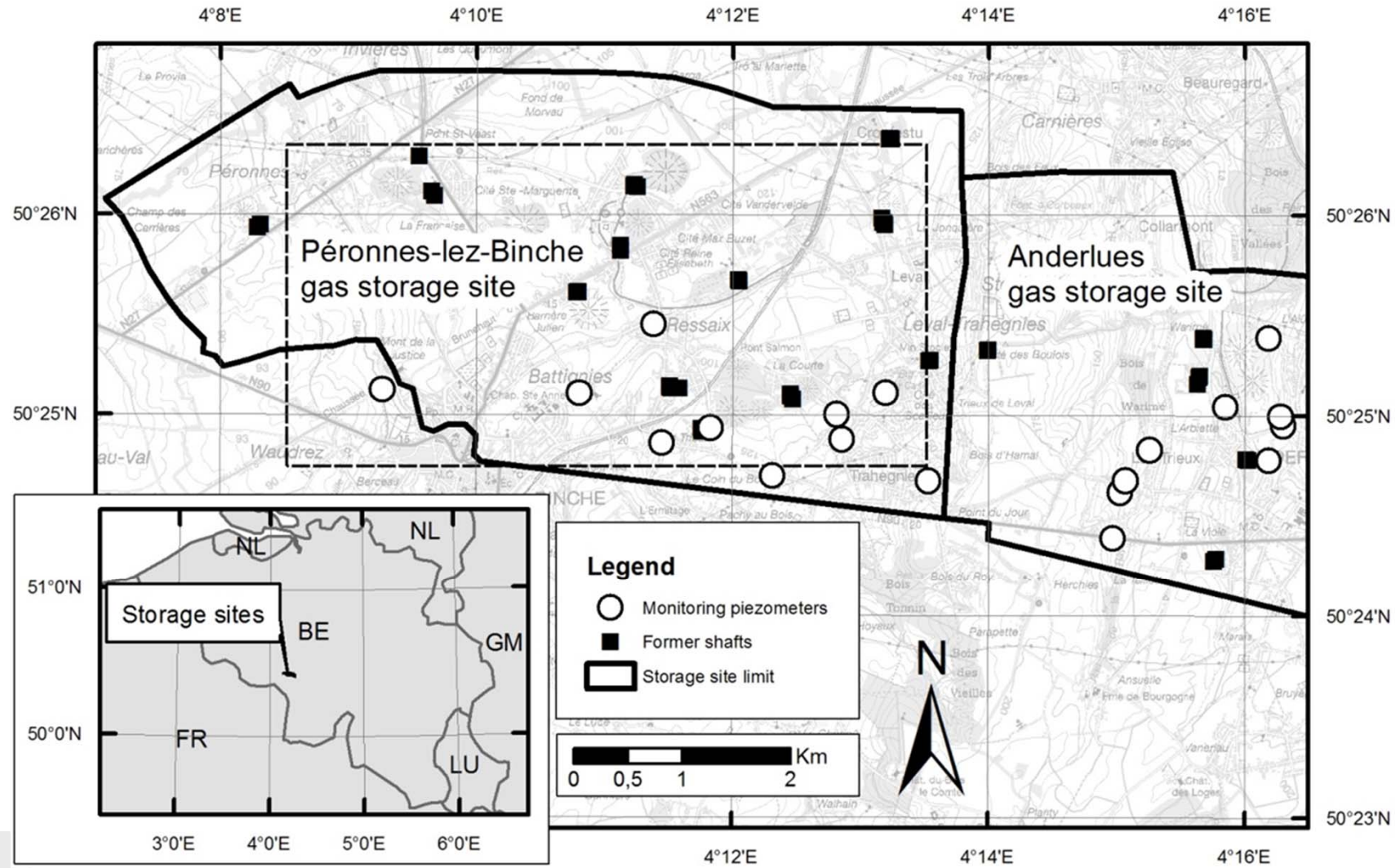
1) Captage



2) Events de décompression

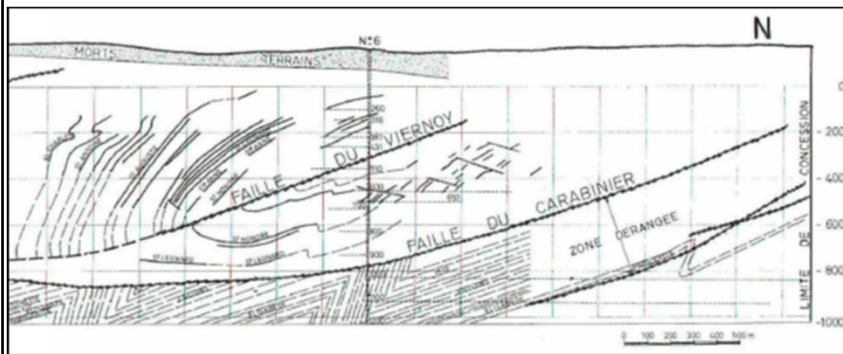


## Localisation des sites



## Caractéristiques des sites

### Site d'Anderlues

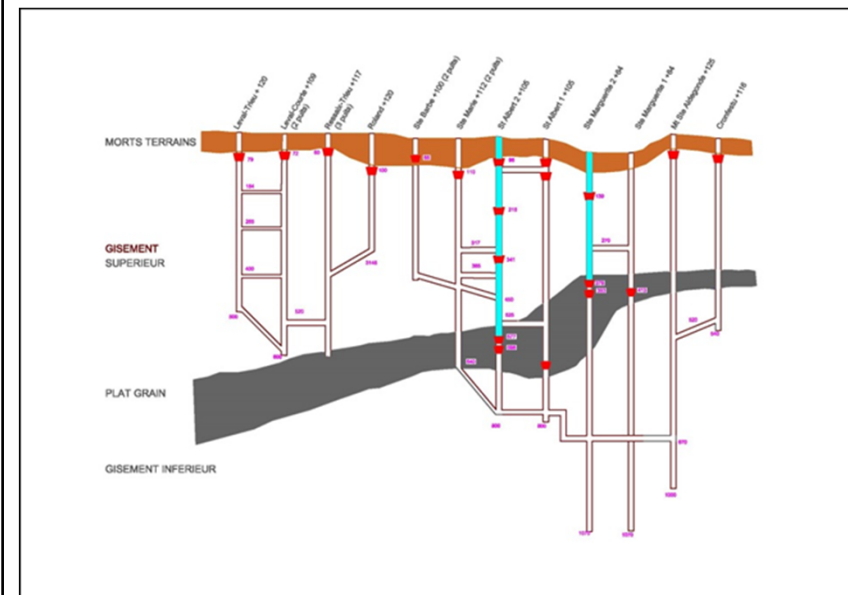


Gisement exploité: 3 massifs charriés (massif du Centre, massif du Carabinier, massif de Masse)

Majeure partie des exploitations → massif du Carabinier.

Allure générale du massif du Carabinier : synclinal déjeté vers le nord et de direction sensiblement est-ouest

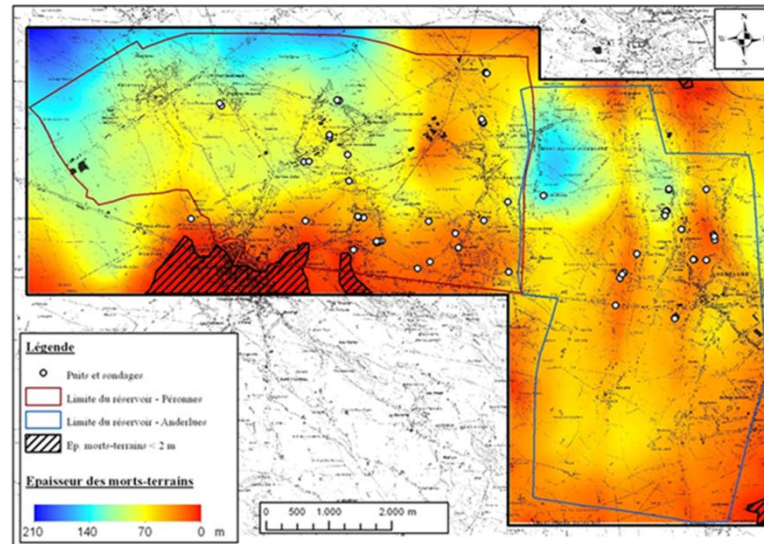
### Site de Péronnes-lez-Binche



Gisement divisé en deux parties (Massif de Masse et Massif du Centre Poirier) séparés par une zone stérile et donc non exploitée, le « Plat Crain ».

## Caractéristiques des sites

### Sites d'Anderlues et de Péronnes-lez-Binche



#### Morts terrains (*Martin et al., 2005*)

Epaisseur variable pouvant être < 30 m

Formations mésozoïques: Groupe du Hainaut, Formations de Thivencelles, de Thulin et de VillePommeroeul, Formation de Haine-Saint-Paul, Formation de Maisière, Formation de Saint-Vaast, Formation de Trivière.

Formations cénozoïques: Formations d'Hannut, d'Erquelines, de Carnière, de Peissant, de Bruxelles.

Terrains superficiels

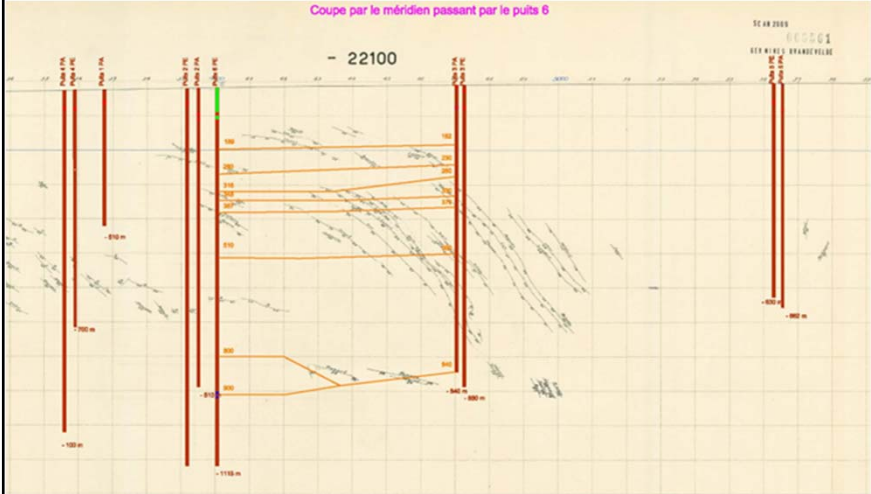
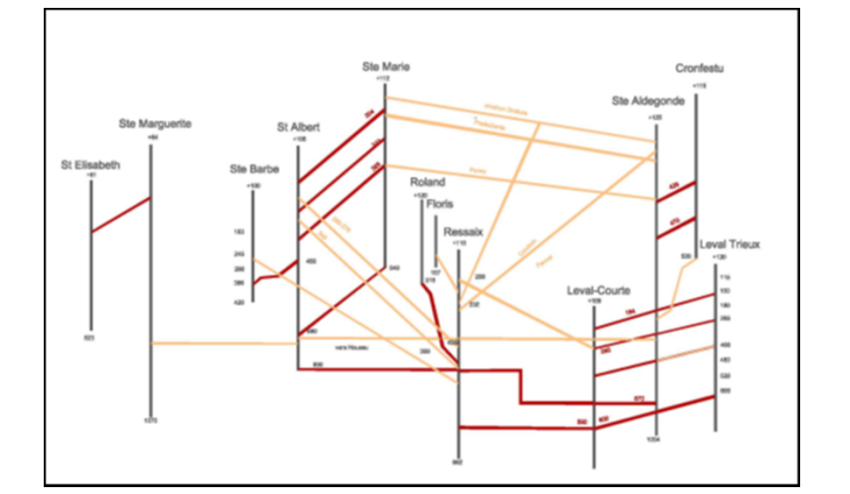
## Caractéristiques des sites

### Sites d'Anderlues et de Péronnes-lez-Binche

#### Aquifères sus-jacents

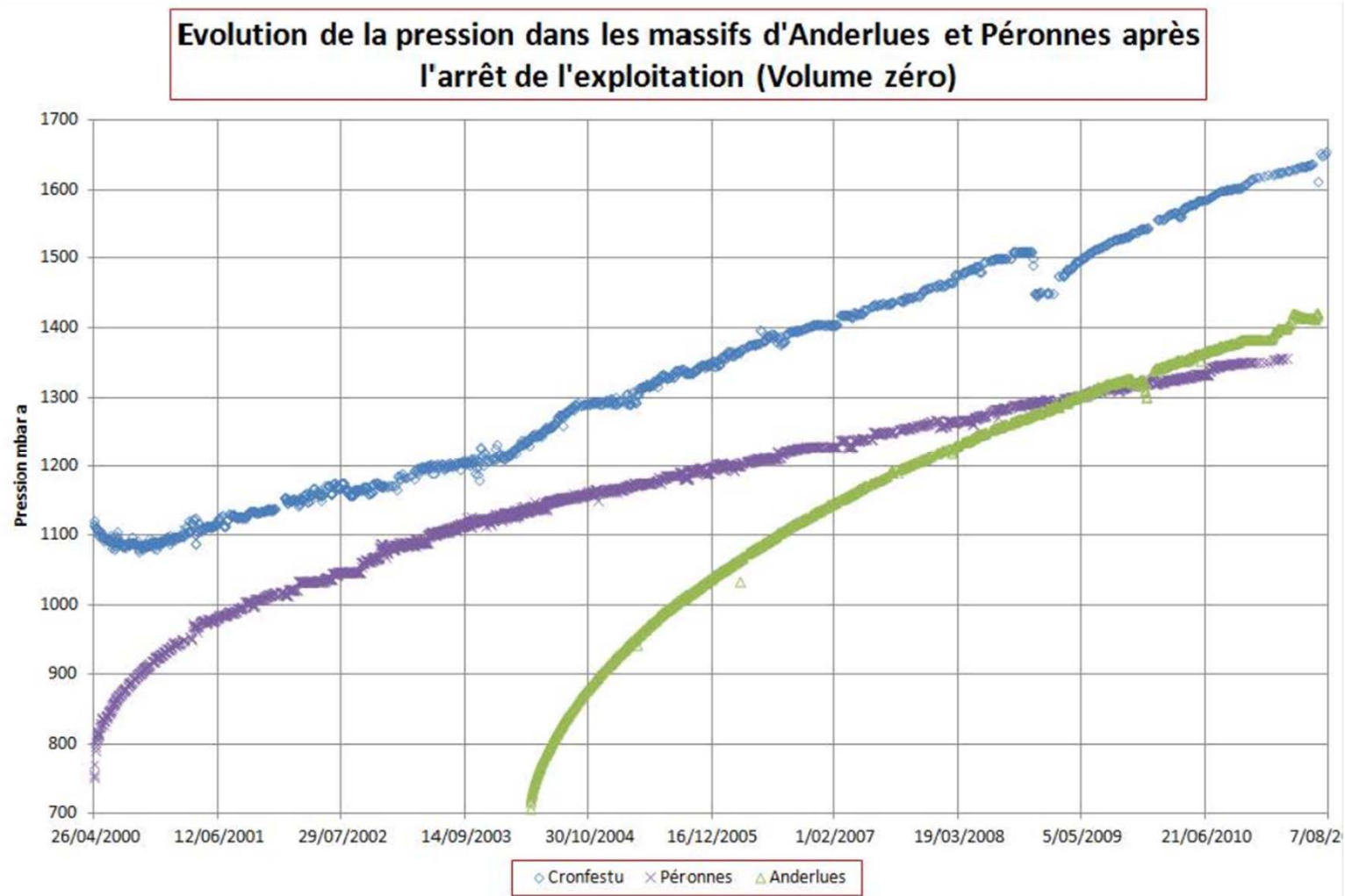
- 1) Aquifère des craies du bassin de Mons, largement exploitée.
- 2) Aquifères des sables landéniens et heersiens de faible importance, en relation avec la nappe des craies.
- 3) Aquifères des sables bruxelliens et yprésiens (perchés et souvent temporaires)
- 4) Aquifères des alluvions de la Haine et de ses affluents.

## Caractéristiques des sites

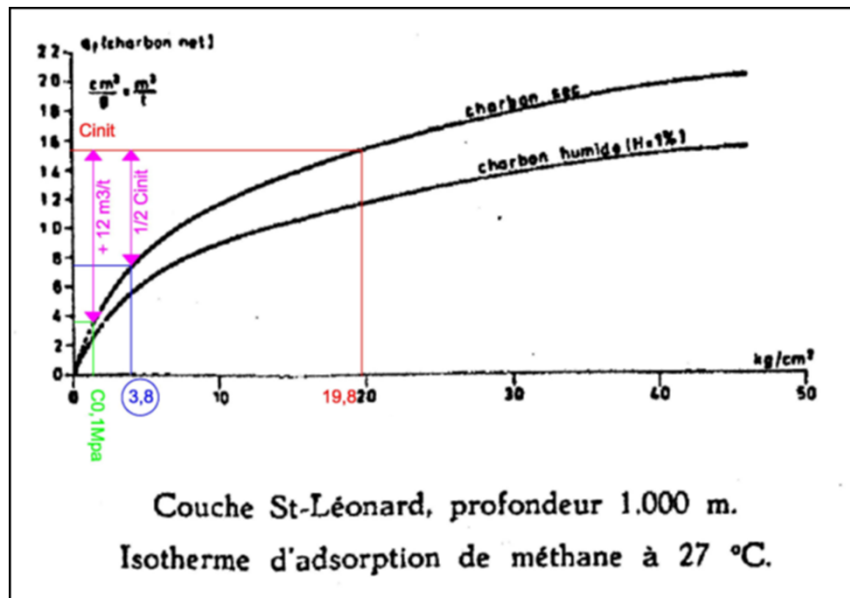
Site d'Anderlues	Site de Péronnes-lez-Binche
	
<p>Concession dite du Bois de la Haye (+/- 2.100 ha)            Exploitation par la S. A des Houillères d'Anderlues (1857-1969)            5 sièges d'extraction (1, 2 (6), 3; 4, 5)            10 puits de mine            Exploité comme réservoir de gaz de 1975 à 1999            1999-2004 déstockage du gaz résiduel</p>	<p>Anciennes concessions de mine de houille de Ressaix, Leval, Péronnes, Mariemont et Houssu.            9 sièges d'extraction (Ressais Trieux, Leval Courte, Roland, Floris, Ste Barbe, Ste Marie, Mont Ste Aldegonde 2-3-4, Mont Ste Aldegonde 1&amp; 1 bis)            18 puits de mine            Exploité comme réservoir de gaz de 1975 à 1992            1999-2004 déstockage du gaz résiduel</p>



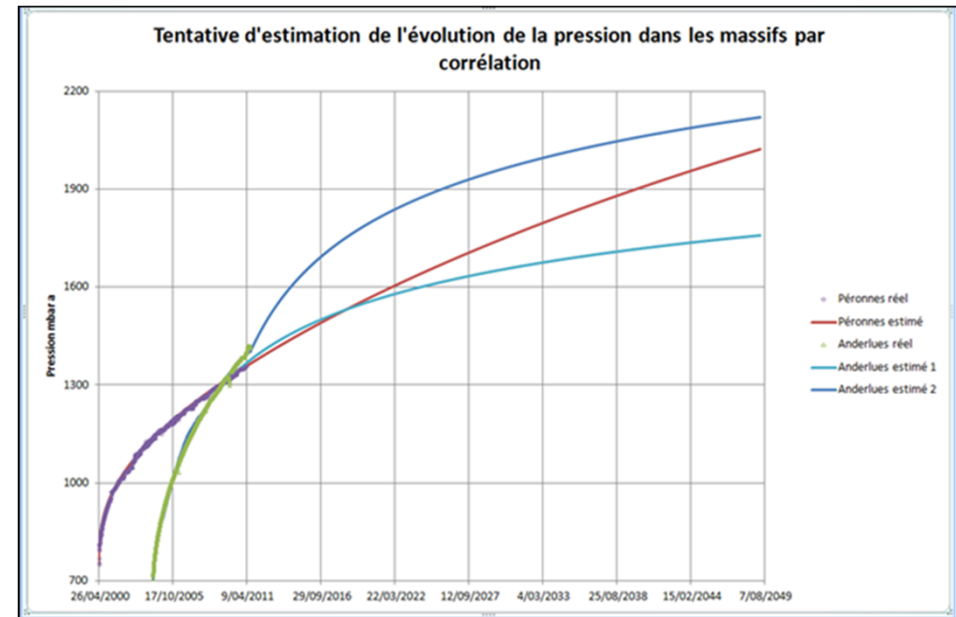
## Evolution de la pression après abandon de l'exploitation des réservoirs



## Estimation de la pression susceptible de se développer dans les vides résiduels



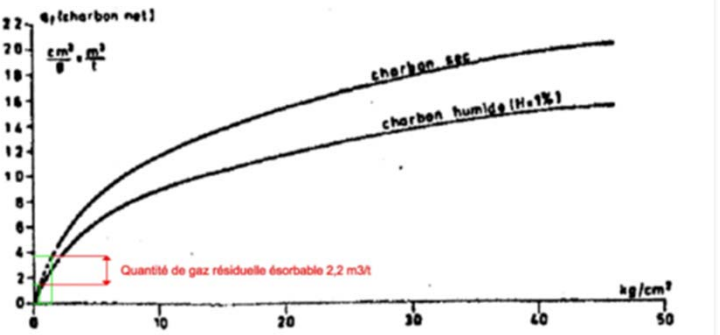
Méthode Z. Pokryszka et al., 2002



Prévisions Fluxys



## Caractéristiques des gisements de gaz résiduels

Site d'Anderlues	Site de Péronnes-lez-Binche
<p>Réserves non exploitées 700 Mt (<i>Vandeloise 1969</i>). Charbon contenu dans la concession : dans la partie influencée par les exploitations minières et dans la partie non influencée. Seule la première est susceptible de libérer son gaz vers le réservoir, (10% à 20 % du tonnage total)</p>	<p>Réserves de charbon influencées par les travaux étaient comprises entre 29 et 58 Mt (<i>Vander Porten et al., 1977</i>)</p> <p>Teneur en gaz résiduel atteignant en moyenne 12 m<sup>3</sup>/t</p>
 <p>Couche St-Léonard, profondeur 1.000 m. Isotherme d'adsorption de méthane à 27 °C.</p>	<p>Gisement de gaz variant entre 348 et 696 Nm<sup>3</sup></p> <p>70 Nm<sup>3</sup> de ce gisement valorisés de 1970 à 1976</p> <p>Gisement résiduel entre 278 et 626 Nm<sup>3</sup></p> <p>Si rendement d'extraction = 70 %</p>
<p>Estimation des réserves de gaz valorisables</p> <p><math>700 \times 0,15 \times 2,2 = 231 \text{ MNm}^3</math></p>	<p>Estimation des réserves de gaz valorisables</p> <p><math>0,7 \times 278 (626) = 195 (438) \text{ MNm}^3</math></p>

## Estimation des caractéristiques des réservoirs sur base de l'analyse des opérations de déstockage

Analyse de l'évolution des pressions en fonction des débits de gaz captés sur des périodes comprenant une phase d'extraction et une phase de remontée en pression. (*méthode HBL, Sutter, 2008*). On établit les équations de conservation des masses sur plusieurs périodes ( 2 au moins ) :

$$V_c = V_r \times \frac{P_a - P_b}{P_i} + T_1 \times Q_d$$

$$V'_c = V_r \times \frac{P_b - P_c}{P_i} + T_2 \times Q_d$$

$V_c$  = volume de gaz capté pendant la phase 1 (extraction)  $\text{Nm}^3$  ;

$V'_c$  = volume de gaz capté pendant la phase 2 (montée en pression)  $\text{Nm}^3$  ;

$V_r$  = volume du réservoir minier en  $\text{m}^3$

$P_a$  = pression du réservoir en début de phase 1 en MPa ;

$P_b$  = pression du réservoir en fin de phase 1 en MPa ;

$P_c$  = pression du réservoir en fin de phase 2 en MPa ;

$P_i$  = pression de référence (0,1 MPa) ;

$T_1$  = durée de la période 1 en jours ;

$T_2$  = durée de la période 2 en jours ;

$Q_d$  = débit de désorption en  $\text{m}^3/\text{jour}$



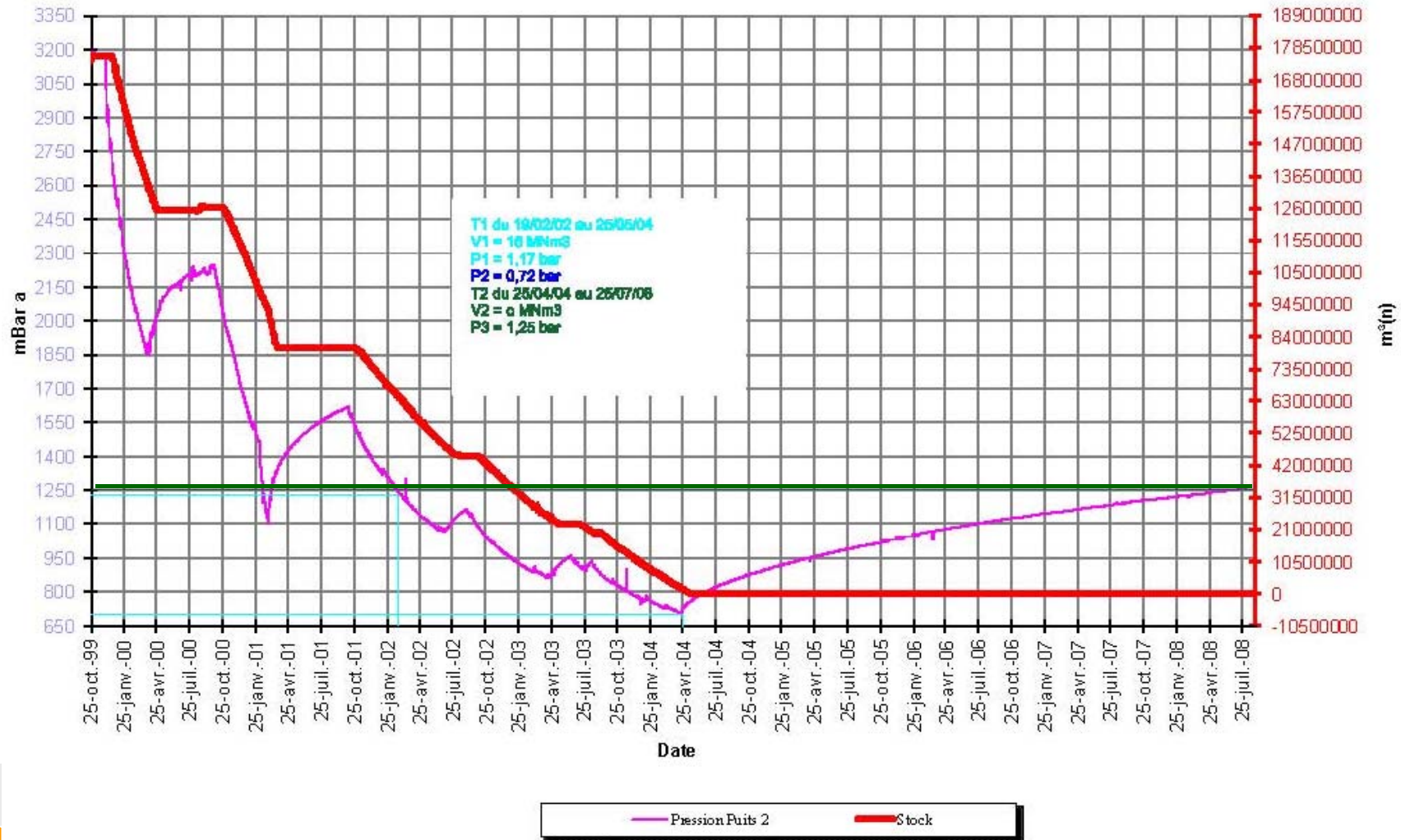
Systeme de deux équations à deux inconnues ( $V_r$ ,  $Q_d$ )

## Caractéristiques du gisement d'Anderlues

$V_r = 70 \text{ MNm}^3$

$Q_d = 980 \text{ Nm}^3/\text{h}$

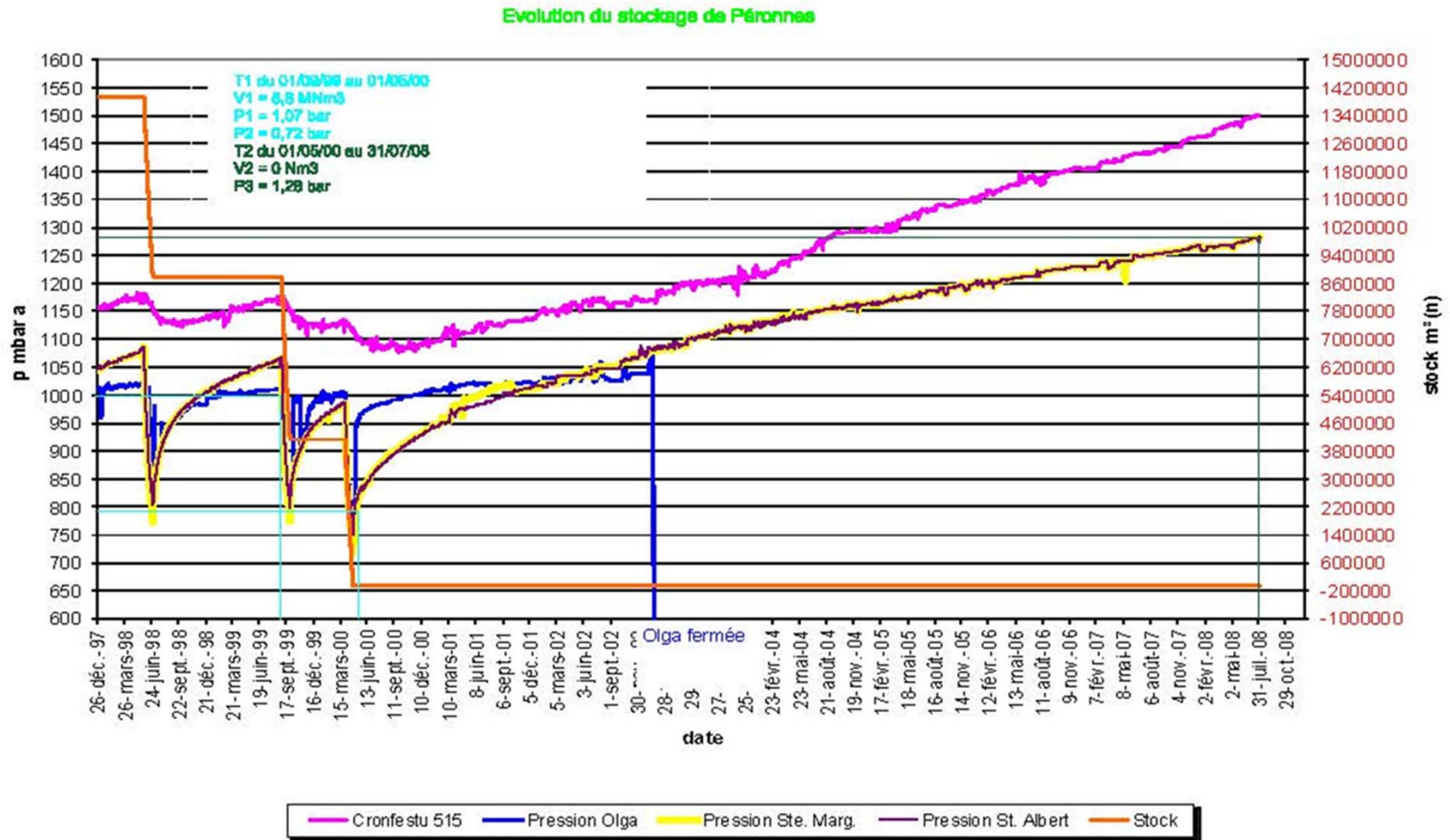
Evolution du stockage d'Anderlues



## Caractéristiques du gisement de Péronnes-lez-Binche

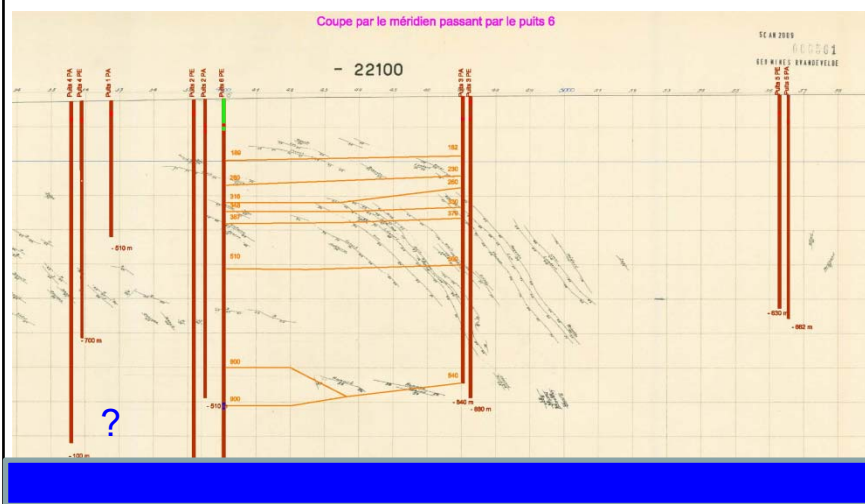
$V_r = 29 \text{ MNm}^3$

$Q_d = 152 \text{ Nm}^3/\text{h}$



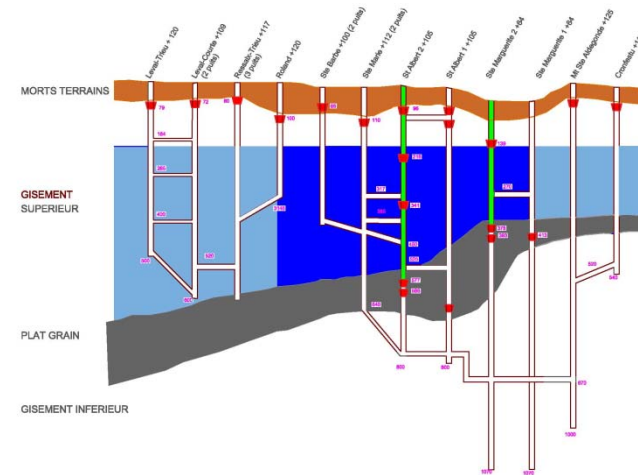
## Mesures de post-gestion

### Site d'Anderlues



- 1) Maintien d'un riser ouvert dans le puits 2 pour permettre l'exploitation du gaz.
- 2) Etanchéification des autres connexions fond/surface
- 3) Monitoring des émissions au droit des anciens puits et d'un réseau de piézairs
- 4) Le cas échéant, réalisation de forages de décompression

### Site de Péronnes-lez-Binche



- 1) Etanchéification des autres connexions fond/surface
- 2) Monitoring des émissions au droit des anciens puits et d'un réseau de piézairs
- 3) Le cas échéant, réalisation de forages de décompression

## Adaptation du réseau de contrôle des émissions

- 1) Objet: Compléter le réseau de piézairs installés par Fluxys pour contrôler l'étanchéité de son réservoir de stockage
- 2) Objectif: Installer de nouveaux piézairs pour mettre en évidence les éventuelles émissions de gaz vers la surface aux endroits où les risques qui leur sont liés sont les plus importants.
- 3) Méthodologie: Mise en œuvre d'une approche d'analyse quantitative spécifique du risque (*Frippiat et al., 2013 sous presse*)

$$R = P(D) \times I$$

$P(D)$  = probabilité d'occurrence d'un danger  $P(D)$

La probabilité d'occurrence du danger estimée selon une approche classique de transmission depuis la source vers des cibles potentielles. Ainsi, les trois composantes à caractériser dans cette approche sont i) la source du danger, ii) le mode de transmission, et iii) la cible du danger

$I$  = impact





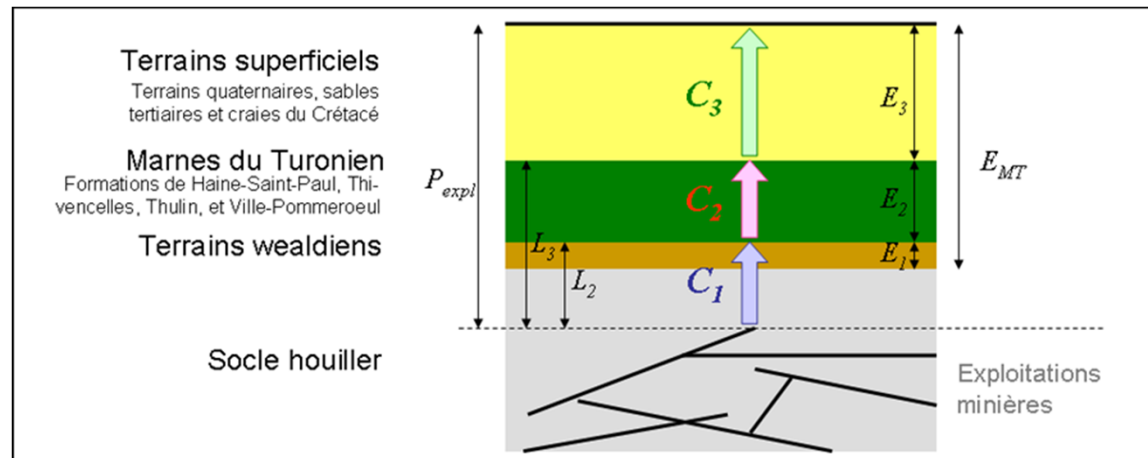
## Éléments pris en compte pour évaluer le risque

Composante	Élément	Influence sur le niveau de risque
Source	Travaux d'exploitation de houille à moins de 200 m de profondeur environ	Le risque est nul si on ne recense pas de travaux d'exploitation à moins de 200 m de profondeur environ ( $R = 0$ car $P(D) = 0$ ).
	Profondeur minimale des exploitations à moins de 200 m de profondeur environ	Le risque de remontée de gaz est plus important aux endroits où les anciennes exploitations sont les plus proches de la surface ( $R \nearrow$ car $P(D) \nearrow$ ).
Transmission	Nombre de veines exploitées au-dessus de 200 m de profondeur environ	Le risque est plus important si les dommages aux terrains sus-jacents sont plus importants ( $R \nearrow$ car $P(D) \nearrow$ ). Ce dommage est directement dépendant de la densité des exploitations.
	Géologie	Le risque est moins important dans les zones où la migration de gaz est ralentie par une épaisseur de morts-terrains plus importante ou par la présence de couches marno-argileuses ( $R \searrow$ car $P(D) \searrow$ ).
	Distance aux habitations	Le risque est moins important dans les zones où le temps de transfert jusqu'aux cibles est plus important ( $R \searrow$ car $P(D) \searrow$ ).
Cible	Densité de population	Le risque est plus important dans les zones plus densément peuplées ( $R \searrow$ car $I \searrow$ ).

**Evaluation de la source:** Analyse des archives minières (coupes et plans de travaux), identification du nombre de chantiers à moins de 200 m de la surface → variable= nbre de chantiers rapporté à une maille de 100 m x 100 m

## Evaluation de la transmission

Transferts verticaux émetteur/surface fonction de la conductance de la couverture



$$C_{total} = \frac{K_{total}}{E_{total}}$$

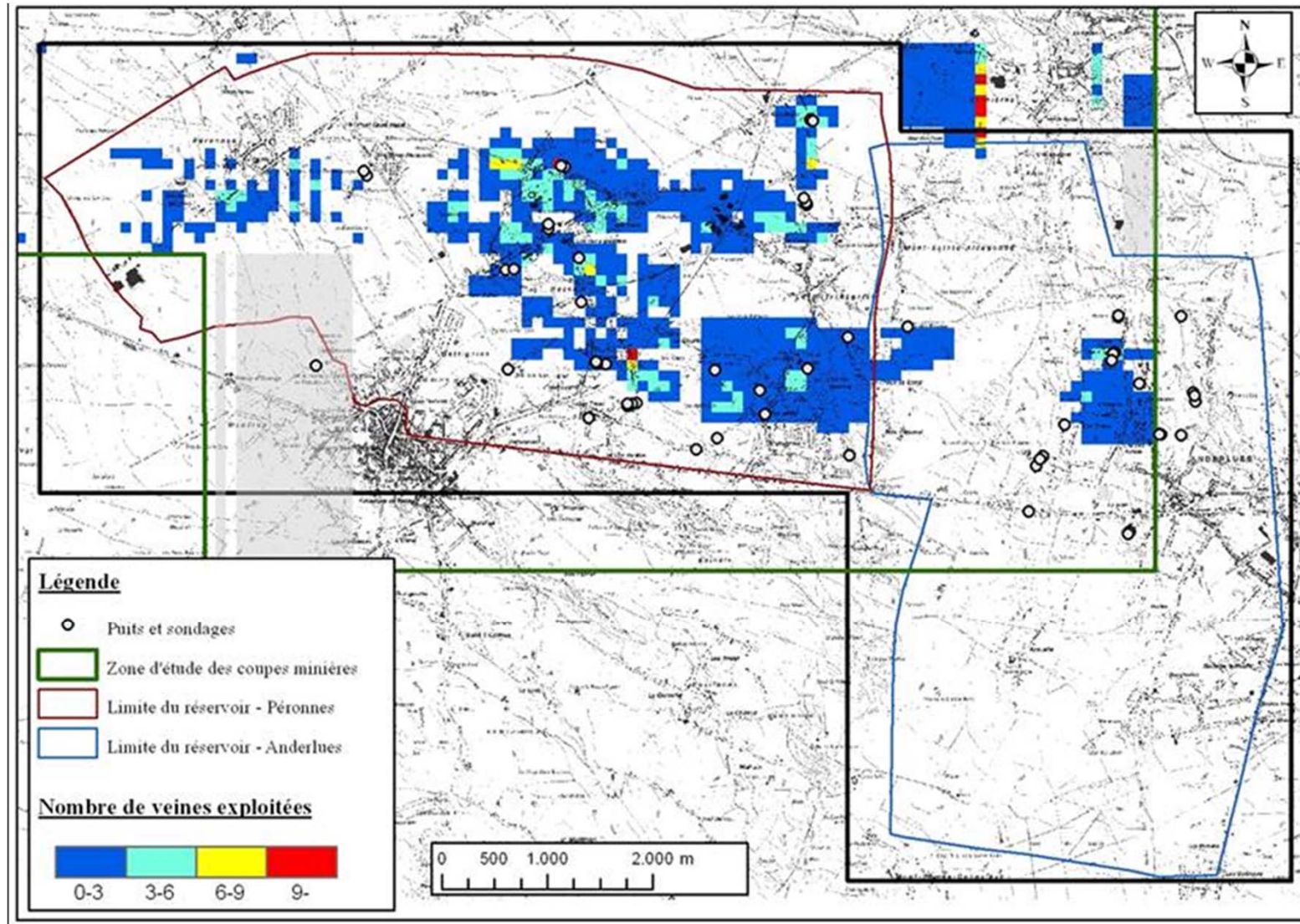
Où  $C_{total}$  = la conductance des terrains [ $1/s$  ou  $s^{-1}$ ].

$K$  = perméabilité [ $m/s$ ]

$E_{total}$  = épaisseur des terrains [ $m$ ]



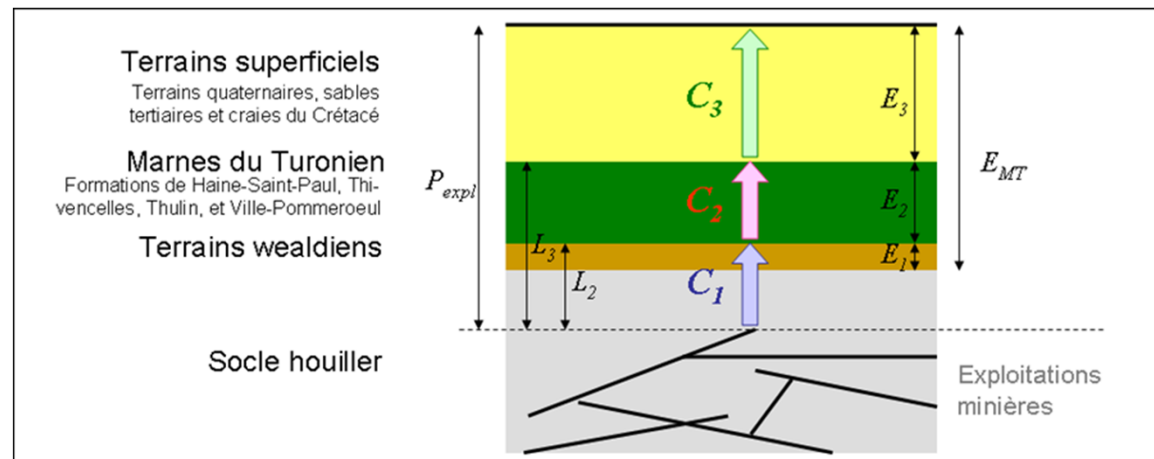
## Nombre de veines exploitées



**Evaluation de la source:** Analyse des archives minières (coupes et plans de travaux), identification du nombre de chantiers à moins de 200 m de la surface → variable= nbre de chantiers rapporté à une maille de 100 m x 100 m

## Evaluation de la transmission

Transferts verticaux émetteur/surface fonction de la conductance de la couverture



$$C_{total} = \frac{K_{total}}{E_{total}}$$

Où  $C_{total}$  = la conductance des terrains [1/s ou s<sup>-1</sup>].

$K$  = perméabilité [m/s]

$E_{total}$  = épaisseur des terrains [m]



$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_{houïlier}} + \frac{1}{C_{turonien}} + \frac{1}{C_{superficiel}}$$

$C_1$ ,  $C_2$ , et  $C_3$  sont les conductances spécifiques des terrains houillers et wealdiens, des marnes du turonien, et des terrains superficiels,

$C_i$  est calculé en fonction de

$E_i$  = épaisseur des différentes formations géologiques déduites du modèle (*Martin et al.*), 2005 et rapportée à une maille de 100 m x 100 m;

$K_{int}$  = perméabilité initiale des terrains;

$K$  = perméabilité des terrains endommagé par les travaux miniers

$$K = \exp((1 - E) \log(K_{int}) + E \log(K_{max}))$$

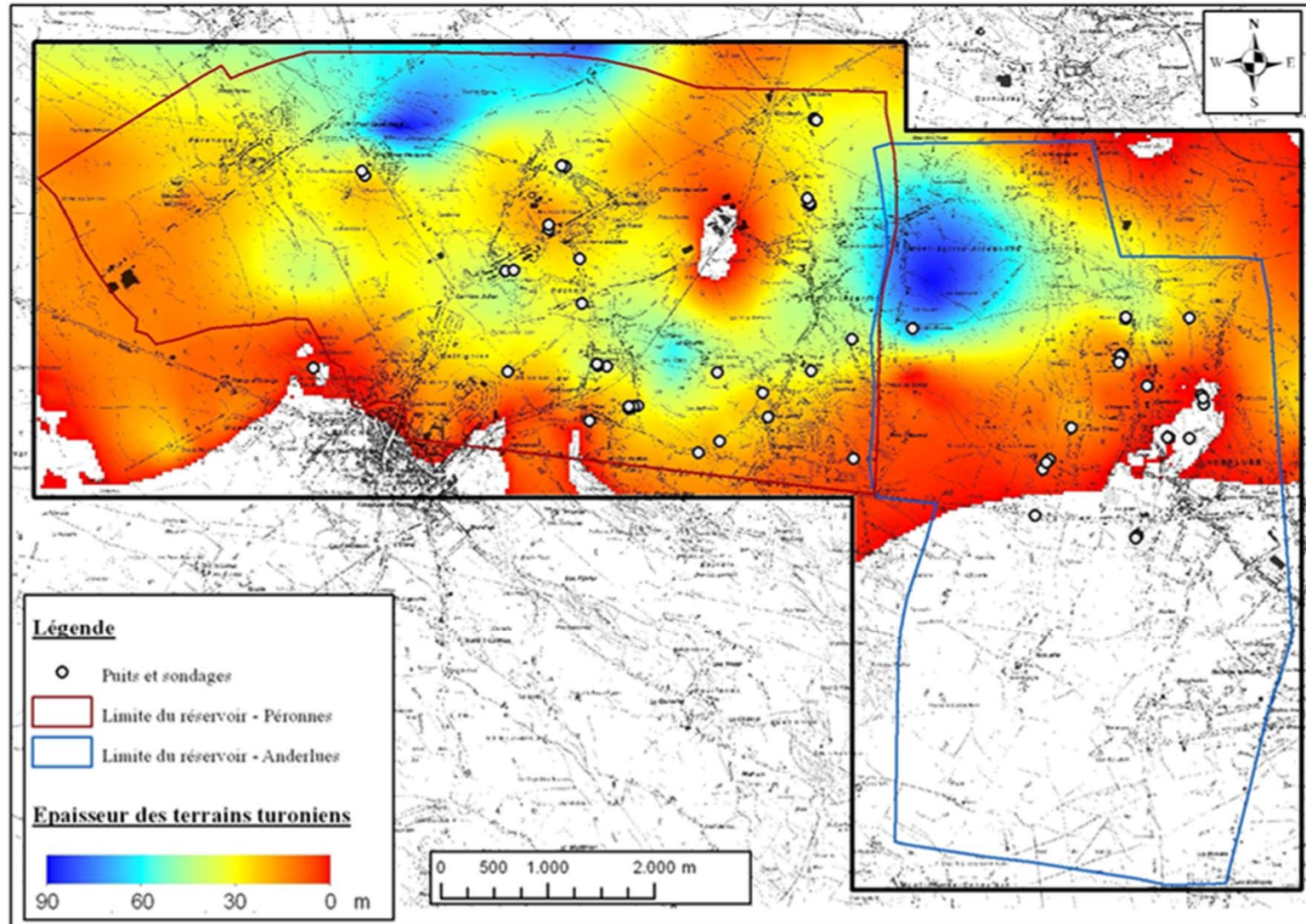
avec  $E$  = fonction d'endommagement calculée par maille 100 m x 100 m

Transferts horizontaux: inversement proportionnel à la distance émetteur/sources ( $L$ )

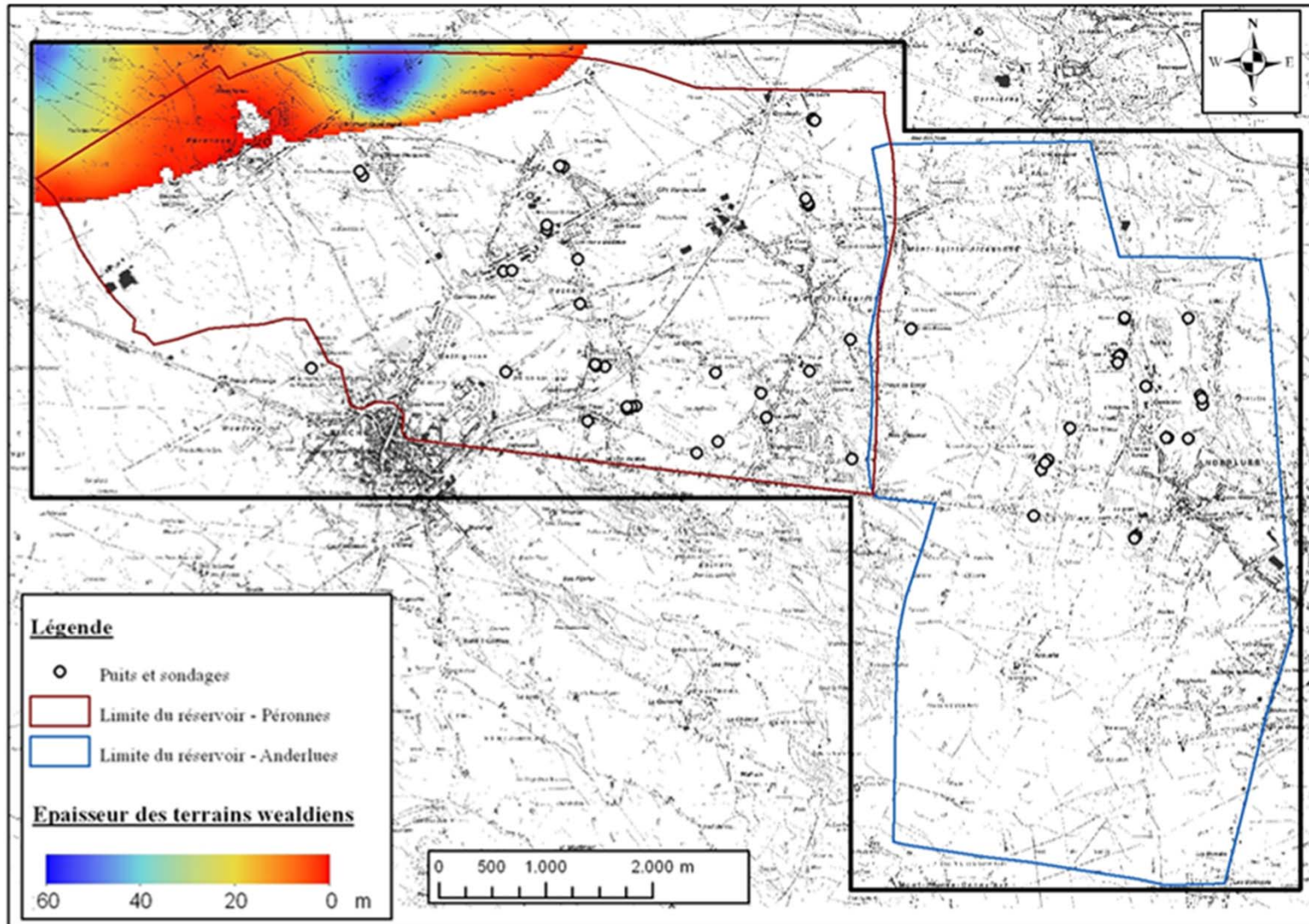
Transfert global  $\rightarrow$  proportionnel à  $\frac{C_{tot}}{L} \rightarrow P(D) \propto \frac{C_{tot}}{L}$



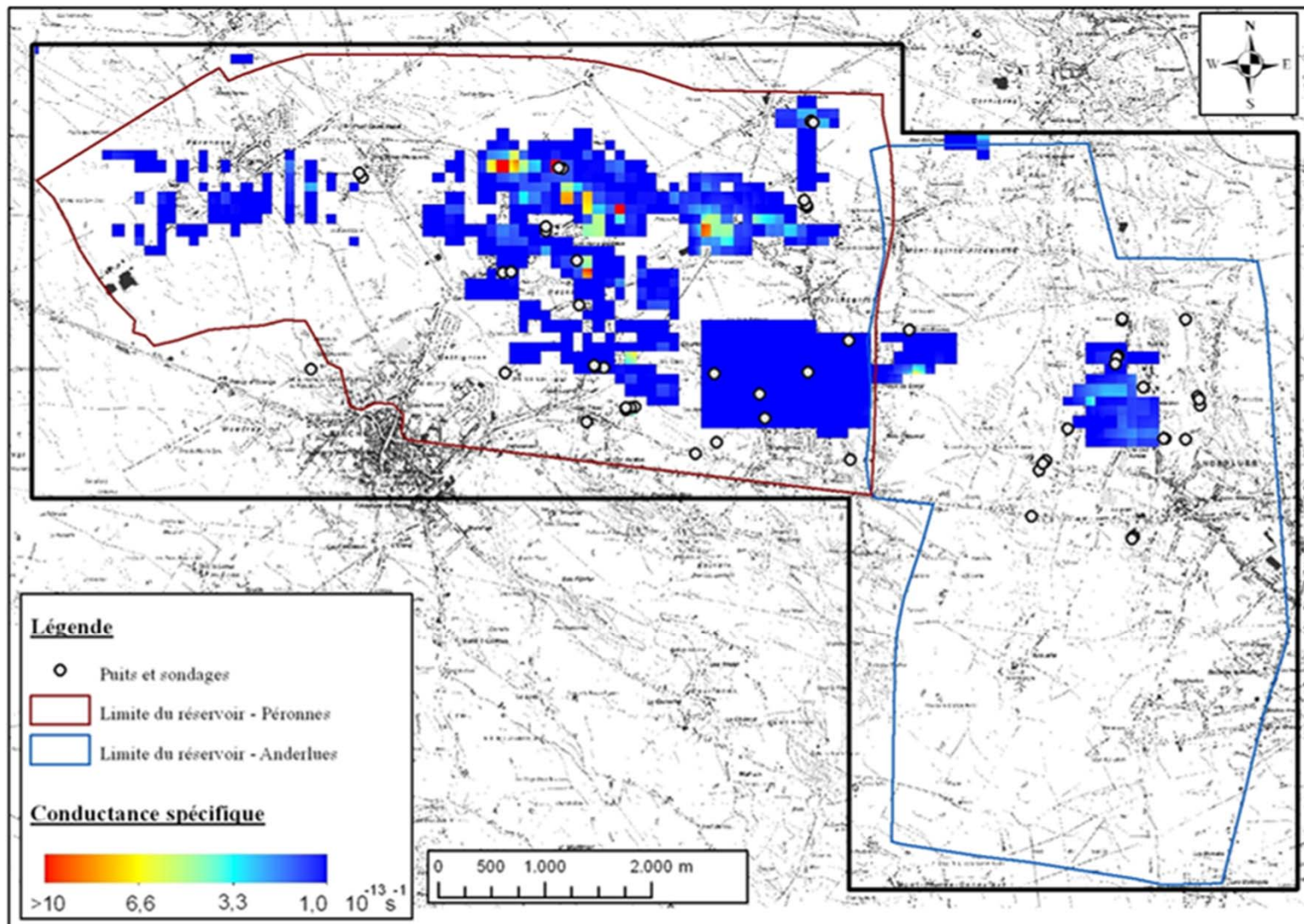
## Epaisseur des terrains turoniens ( *Martin et al., 2005* )



## Epaisseur des terrains wealdiens ( *Martin et al., 2005* )



## Conductance totale





$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_{houillier}} + \frac{1}{C_{turonien}} + \frac{1}{C_{superficiel}}$$

$C_1$ ,  $C_2$ , et  $C_3$  sont les conductances spécifiques des terrains houillers et wealdiens, des marnes du turonien, et des terrains superficiels.

$C_i$  est calculé en fonction de

$E_i$  = épaisseur des différentes formations géologiques déduites du modèle (*Martin et coll., 2005*) et rapportée à une maille de 100 m x 100 m

$K_i$  = perméabilité initiale des terrains

$K$  = perméabilité des terrains endommagé par les travaux miniers

$$K = \exp((1 - E) \log(K_{int}) + E \log(K_{max}))$$

avec  $E$  = fonction d'endommagement calculée par maille 100 m x 100 m

Transferts horizontaux: inversement proportionnel à la distance émetteur/sources ( $L$ )

Transfert global  $\rightarrow$  proportionnel à  $\frac{C_{tot}}{L}$  (variable calculée par maille 100 m x 100 m)  $\rightarrow$

$$P(D) \propto \frac{C_{tot}}{L}$$



## Evaluation des cibles

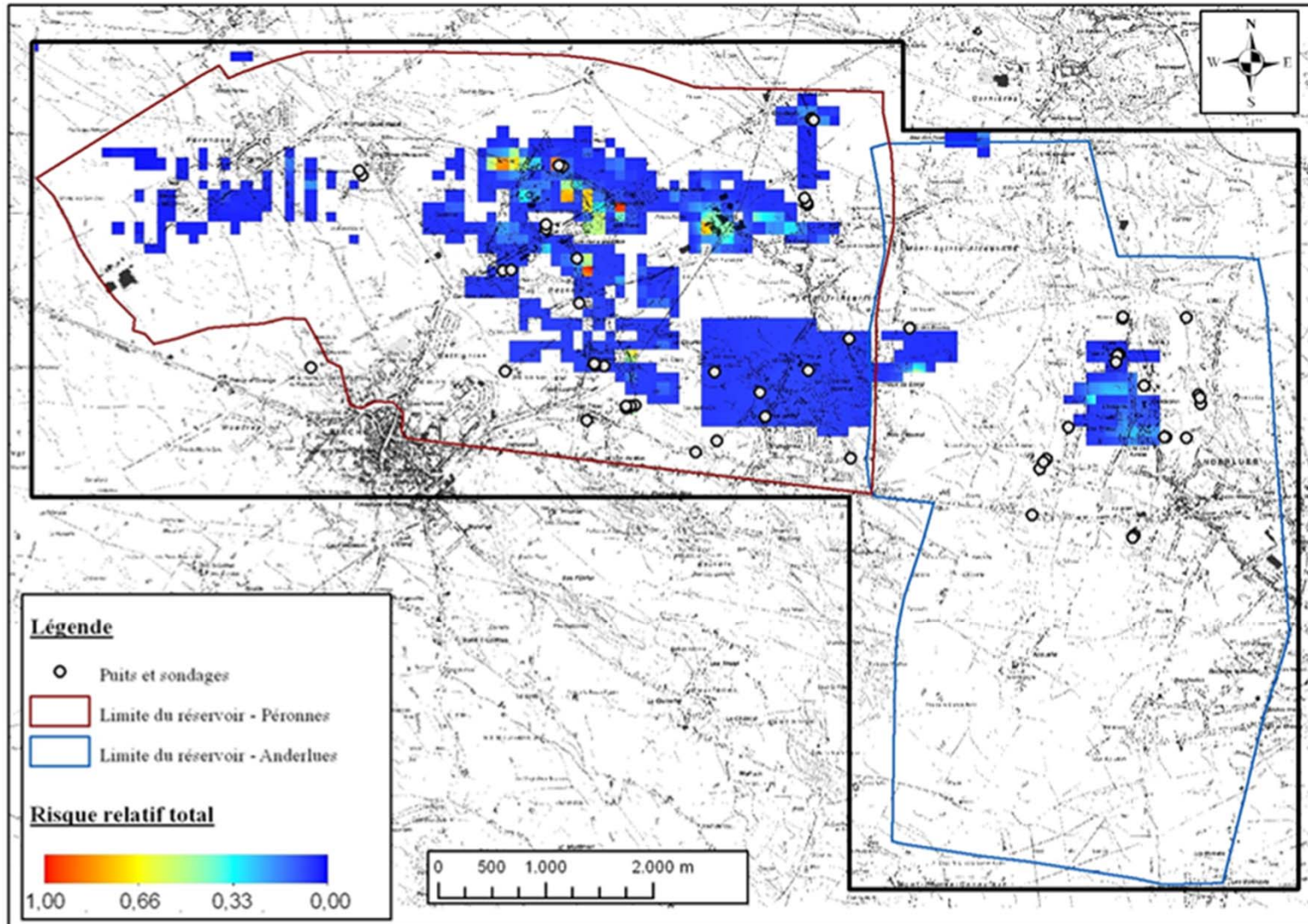
Vulnérabilité proportionnel à la densité de population → variable  $d_i$  densité de population rapportée à la maille 100 m x 100 m

## Risque global

$$R_{tot} \propto P(D) \times I \propto C_{tot} \times \sum \frac{d_i}{L_i} \quad \text{calculé pour chaque maille de 100 m x 100 m}$$



Estimation du Risque total  $R_{tot} \propto P(D) \times I \propto C_{tot} \times \sum \frac{d_i}{L_i}$



MERCI DE VOTRE ATTENTION

