



DIAGNOSTIC, INTERPRÉTATION & MODÉLISATION DES ESSAIS PAR POMPAGE LE DIAGNOSTIC DE L'ESSAI : UNE INTERPRÉTATION COMPRÉHENSIVE DE L'ESSAI



CFH –Mai 2021

B.Dewandel (Nouvelles Ressources et Economie/DEPA - Montpellier)
(b.dewandel@brgm.fr)

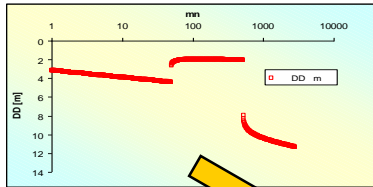


Géosciences pour une Terre durable

brgm

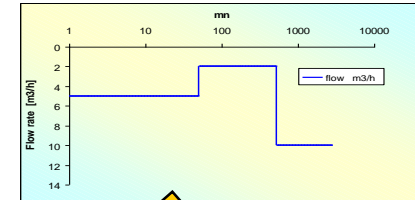
Identification du Modèle Conceptuel & Estimation des Paramètres de L'Aquifère (méthode héritée de l'industrie pétrolière, Bourdet 1983)

Historique des rabattements

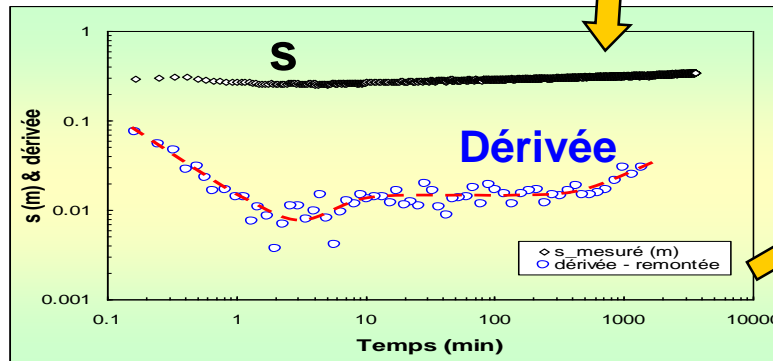


- METHODOLOGIE -

Historique des débits



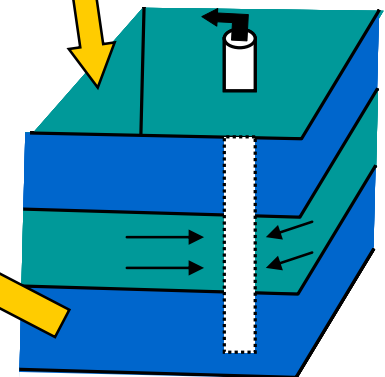
Construction de la courbe type de l'essai
- Ssp vs. Fonction de superposition du temps -
- échantillonnage/lissage -



Diagnostic : Identification des Régimes d'Écoulement
= Identification du ou des **Modèle(s) Conceptuel(s)**

Données Terrain
(géologie, géophysique,
géochimie, etc.)

Modélisation des essais, Estimation des
Paramètres de l'Aquifère
&
Validation du **Modèle Conceptuel**



!!chaque type d'écoulement à sa propre signature!!

RÉGIMES D'ÉCOULEMENT & DÉRIVÉE ?



Pourquoi la dérivée ? Car les variations de s sont plus importantes que s elle-même (T, S, à partir de la pente de la droite semi-log)

Diagramme Log-Log: s Normalisé au débit / Temps de Superposition

Construction d'une **C**ourbe **T**ype de l'essai

Dérivée calculée par rapport à un régime d'écoulement radial (Jacob)

Dérivée Logarithmique : (Bourdet, 1983)
$$\frac{dh}{d \ln t} = \frac{\left(\frac{\Delta h_1}{\Delta X_1} \Delta X_2 + \frac{\Delta h_2}{\Delta X_2} \Delta X_1 \right)}{\Delta X_1 + \Delta X_2}$$

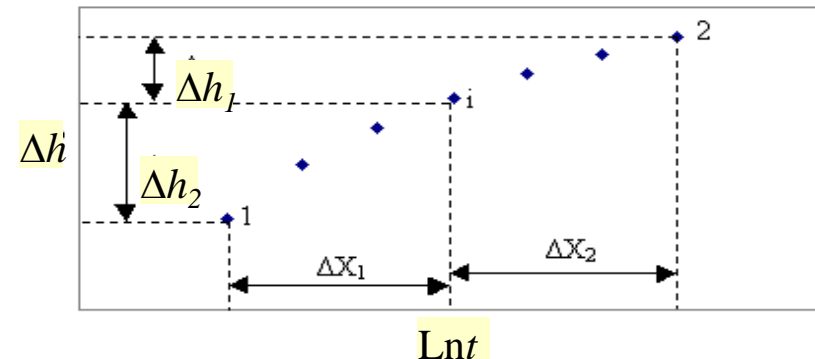
Diag. log-log :

- ✓ $h=f(\ln t)$ [Theis]:
droite horizontale,
- ✓ $h=f(t^n)$: **droite de pente n**

h : s Normalisé au débit (S_n/Q_n)

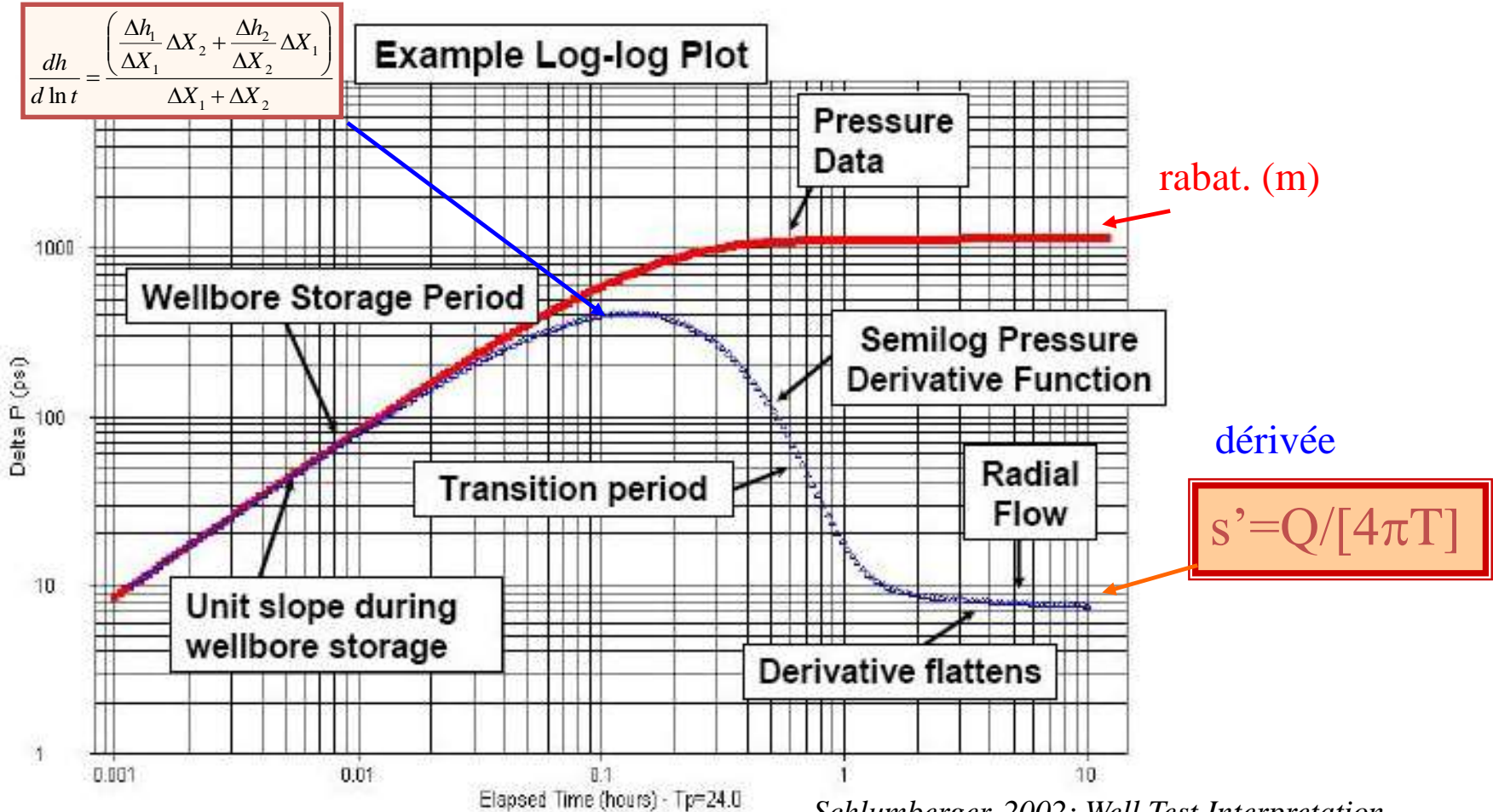
X : Temps

- $\ln t$ pour la descente
- Temps réduit (Temps d'Horner) pour la remontée $\tau_i = \ln \frac{t_p + \Delta t_i}{\Delta t_i}$
- Fonction de Superposition des temps pour essai à débit variable



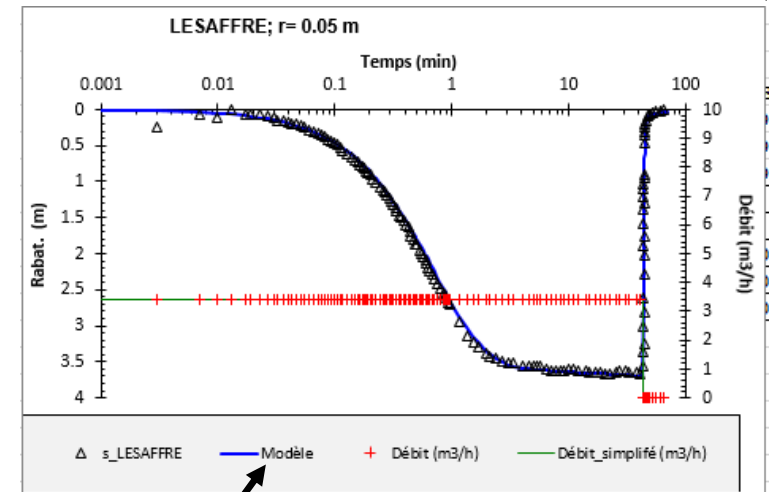
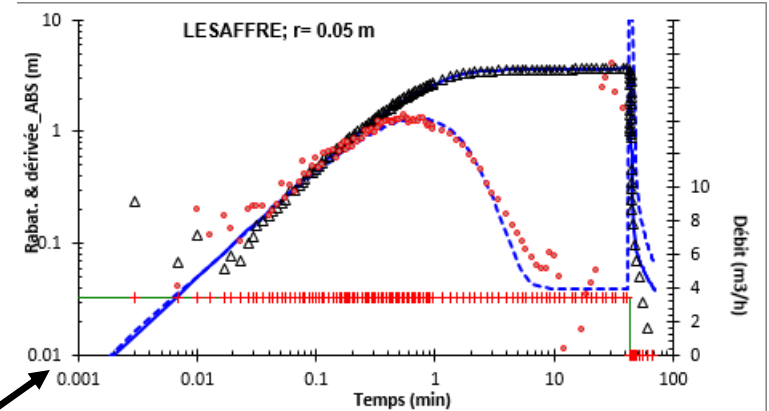
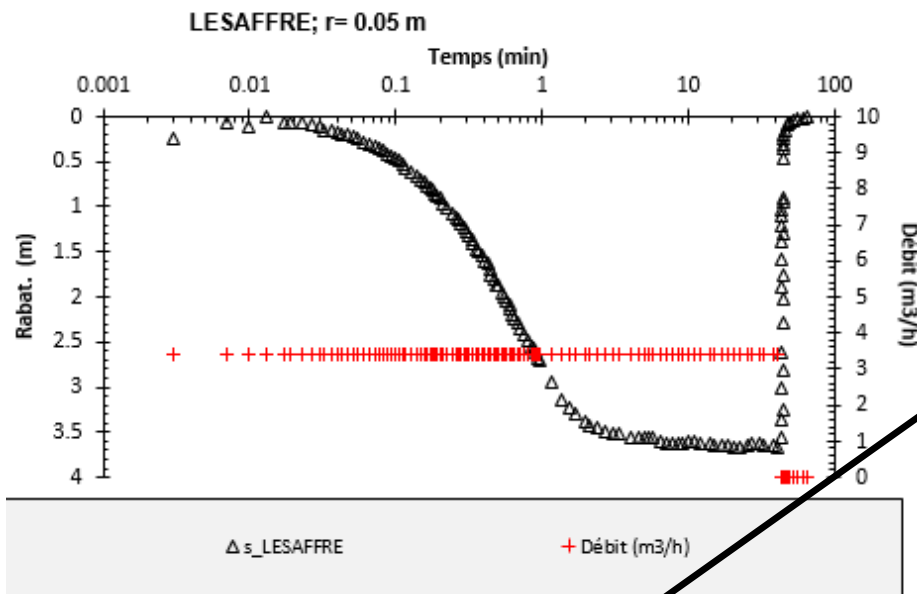
DERIVATIVE: DIAGNOSTIC SUR GRAPHIQUE LOG-LOG : IDENTIFICATION DES RÉGIMES D'ÉCOULEMENT

Aquifère homogène, isotrope (Theis) + effet de capacité de puits



Schlumberger, 2002: Well Test Interpretation

EX.: AQUIFÈRE DANS DES ALLUVIONS (USA) (LESAFFRE ESSAI DE 40 MIN)



Dérivée:
-Effet capa prépondérant,
-Attention essai très court $T: 2.0 \text{ E-}3 \text{ m}^2/\text{s}$

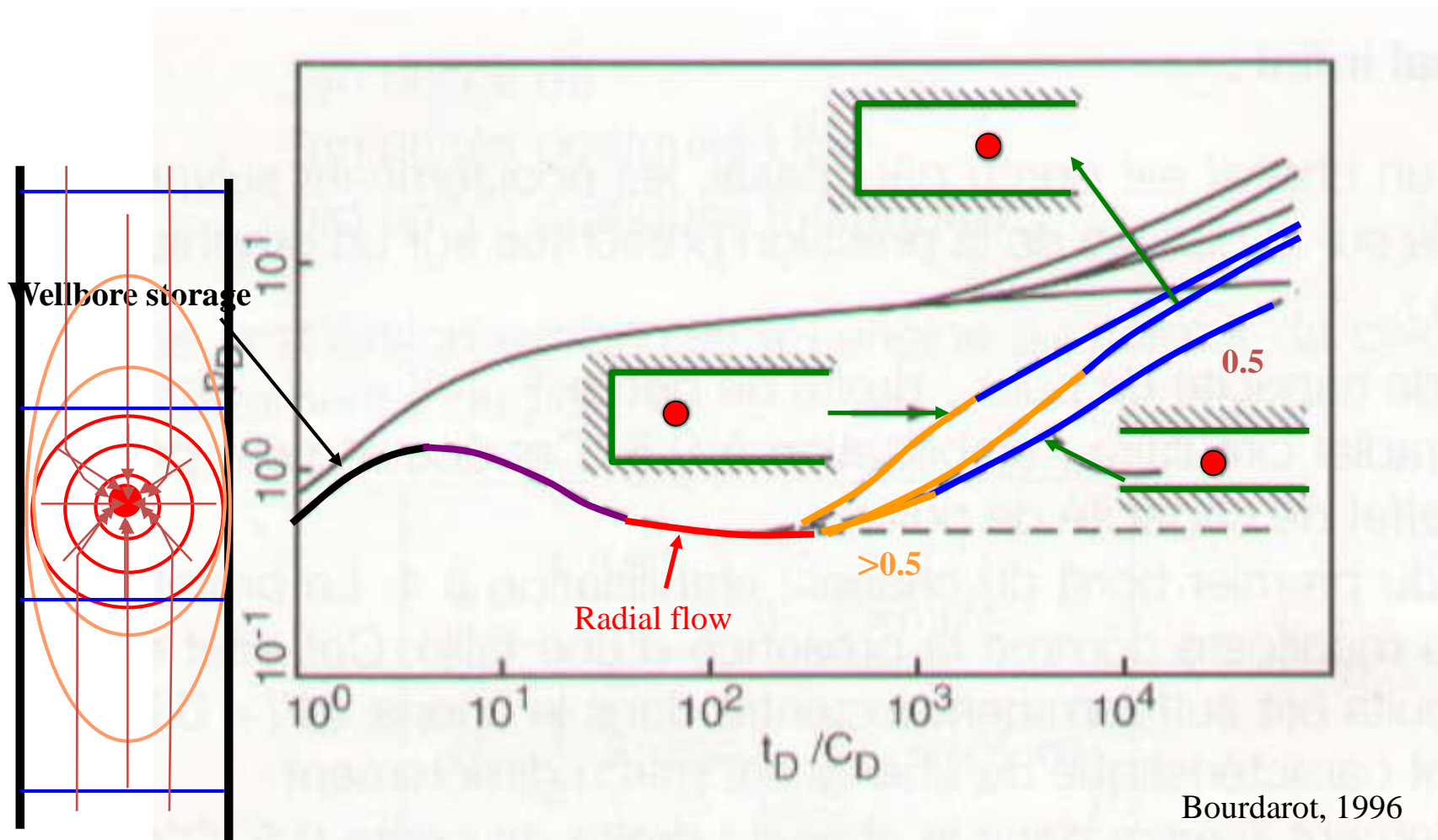
Modélisation

	LESAFFRE
r (m)	0.05
T (m²/s)	1.90E-03
S (-)	2.00E-02
PDC (m-5s²)	3600000
Rc (m)	0.06

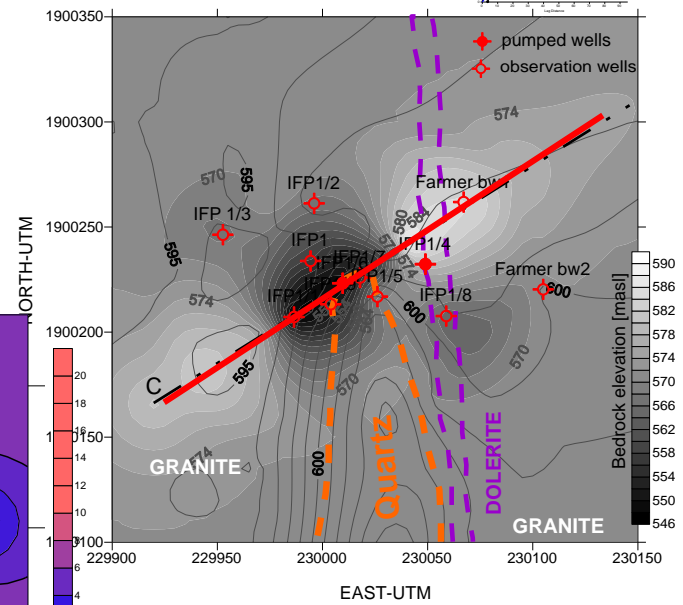
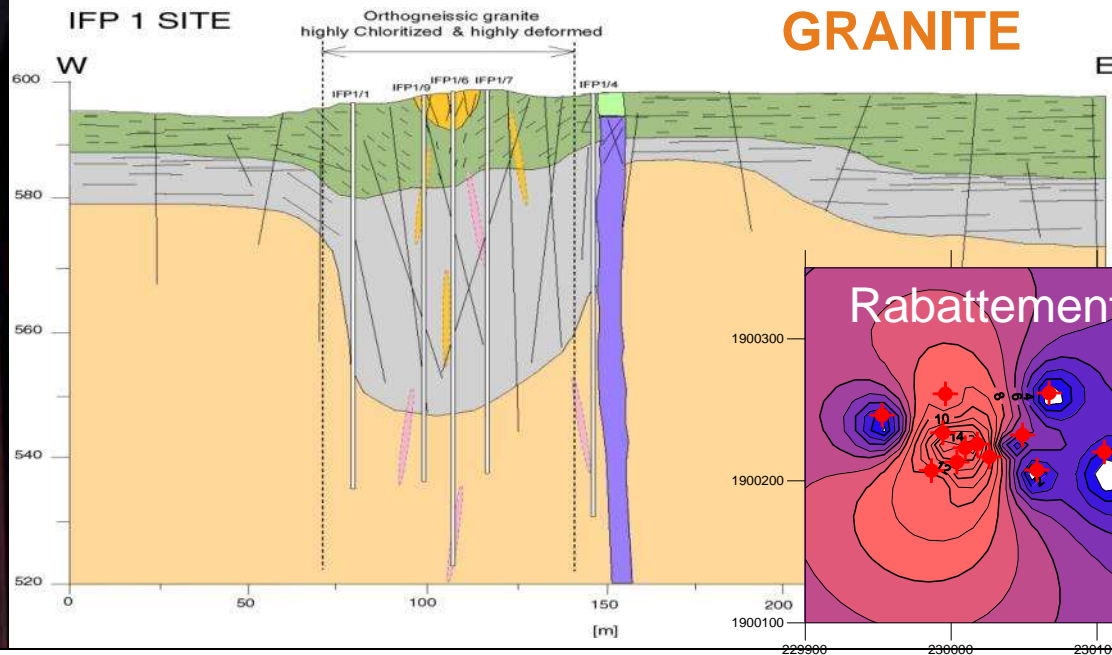
CARACTÉRISATION DES AQUIFÈRES

- EFFETS GÉOMÉTRIQUES -

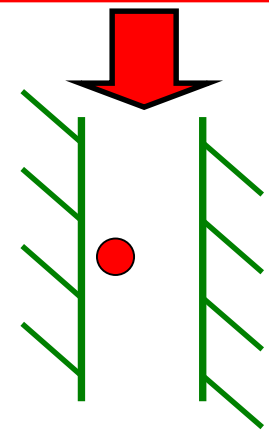
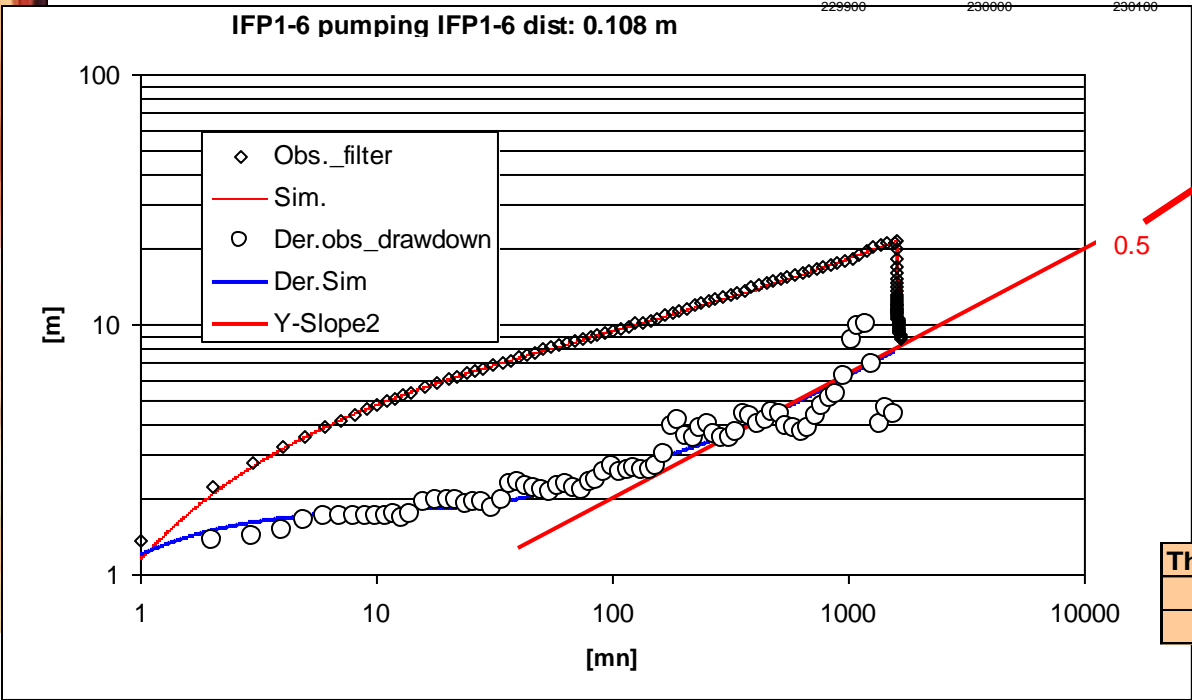
EXEMPLE DE COURBE TYPE DE DÉRIVÉE: CHENAL ET CHENAL SEMI-FERMÉ



Bourdarot, 1996



Slope env. 0.5
Channelized flow



Theis	T [m ² /s]	S [-]	Limit	Limit
	1.59E-04	1.49E+00	45' (0.4 m)	250' (0.9 m)

EXEMPLE DE COURBE TYPE DE DÉRIVÉE: AQUIFÈRE FERMÉ

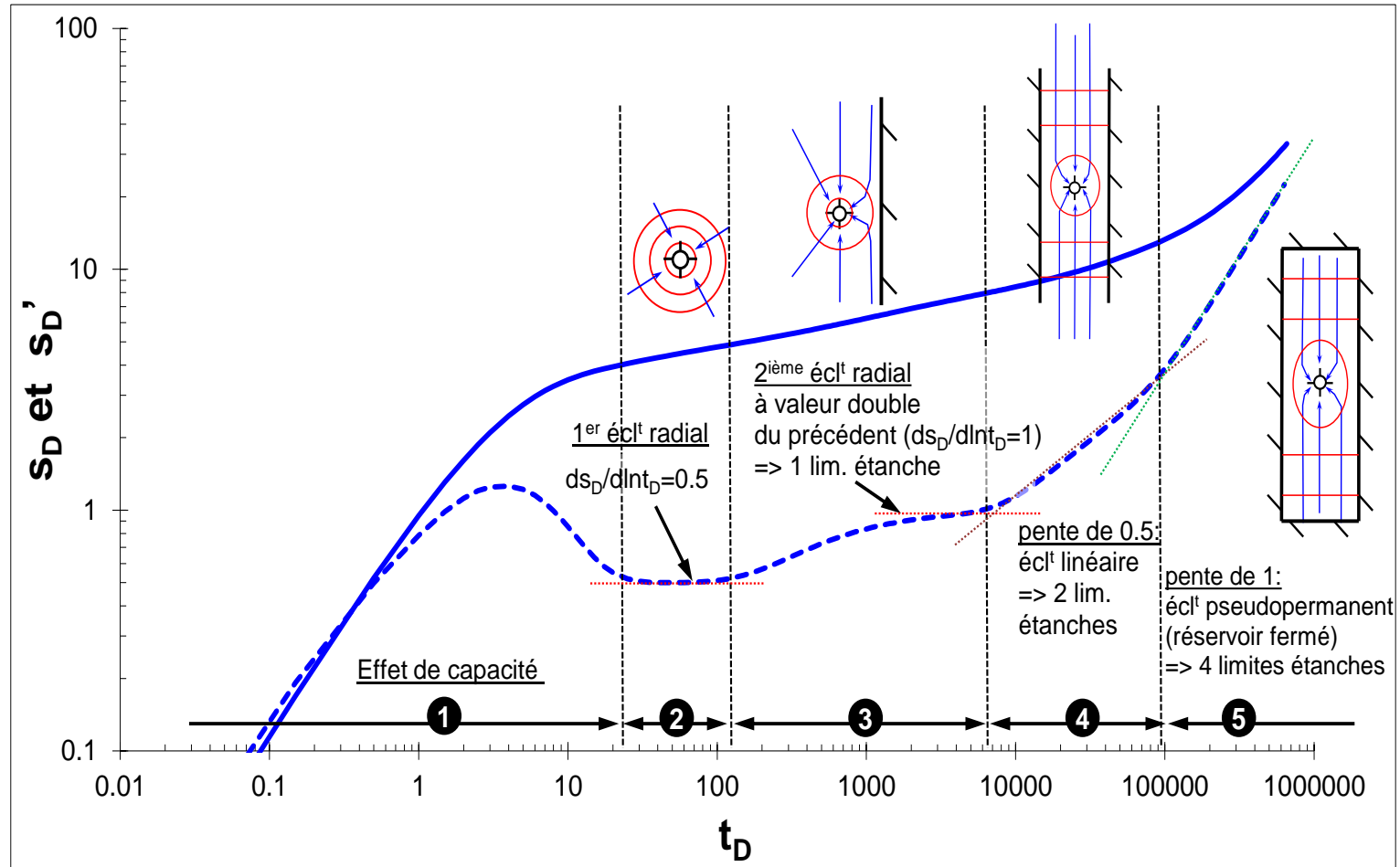
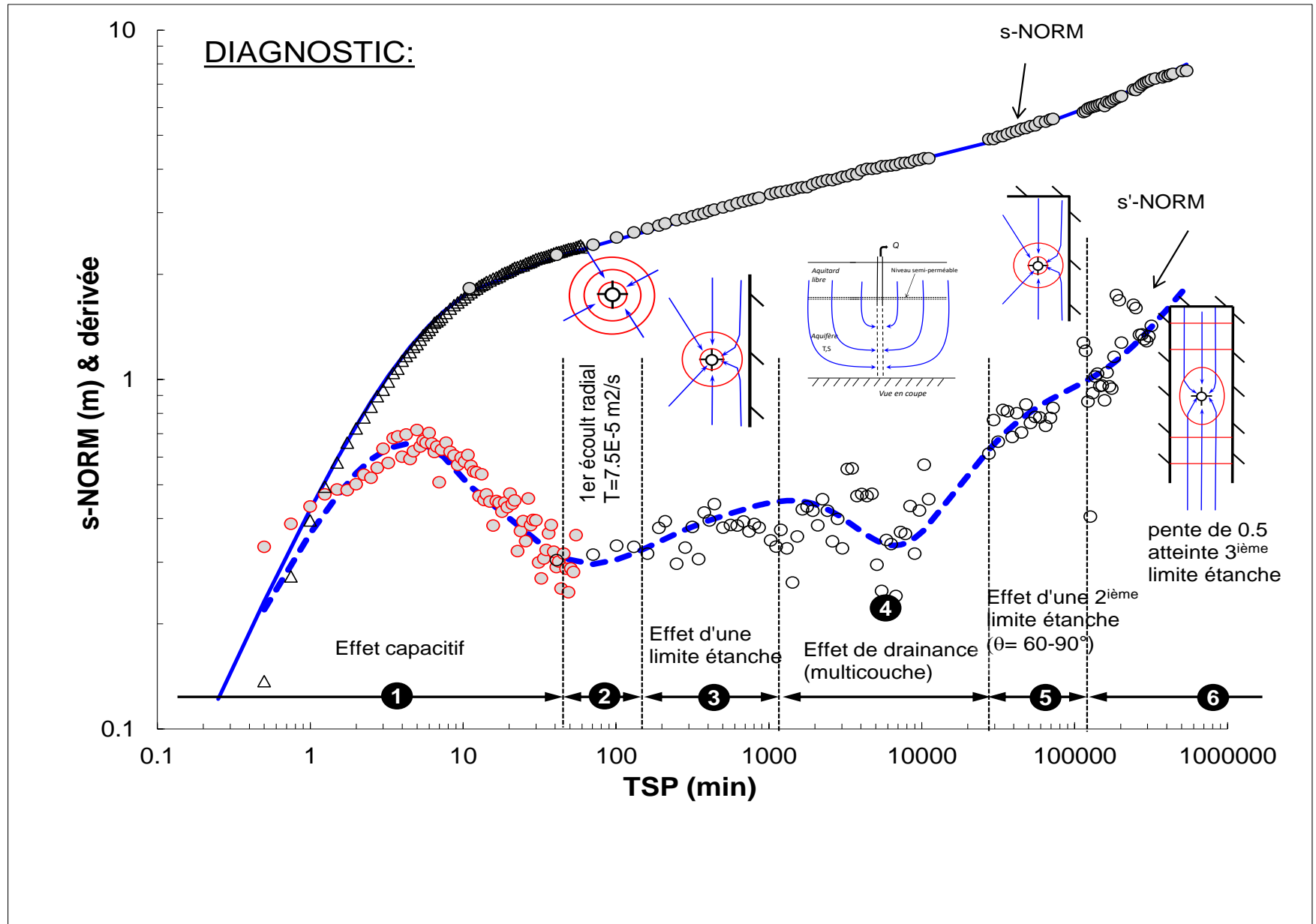
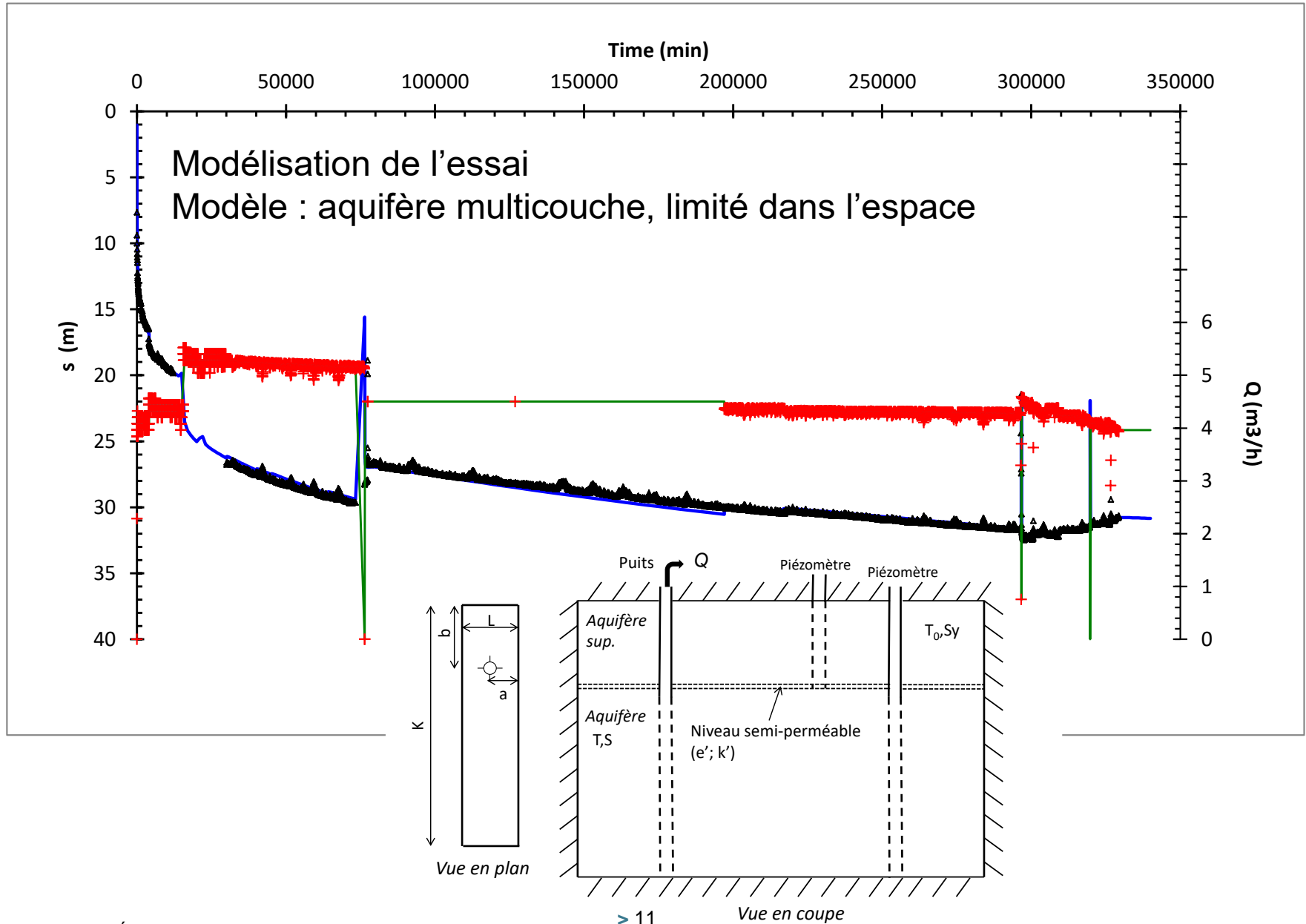


Figure 1: Exemple de succession des régimes d'écoulement lors d'un pompage dans un aquifère rectangulaire clos. t_D : temps adimensionnel, s_D (courbe pleine) et s'_D (courbe tiretée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel).

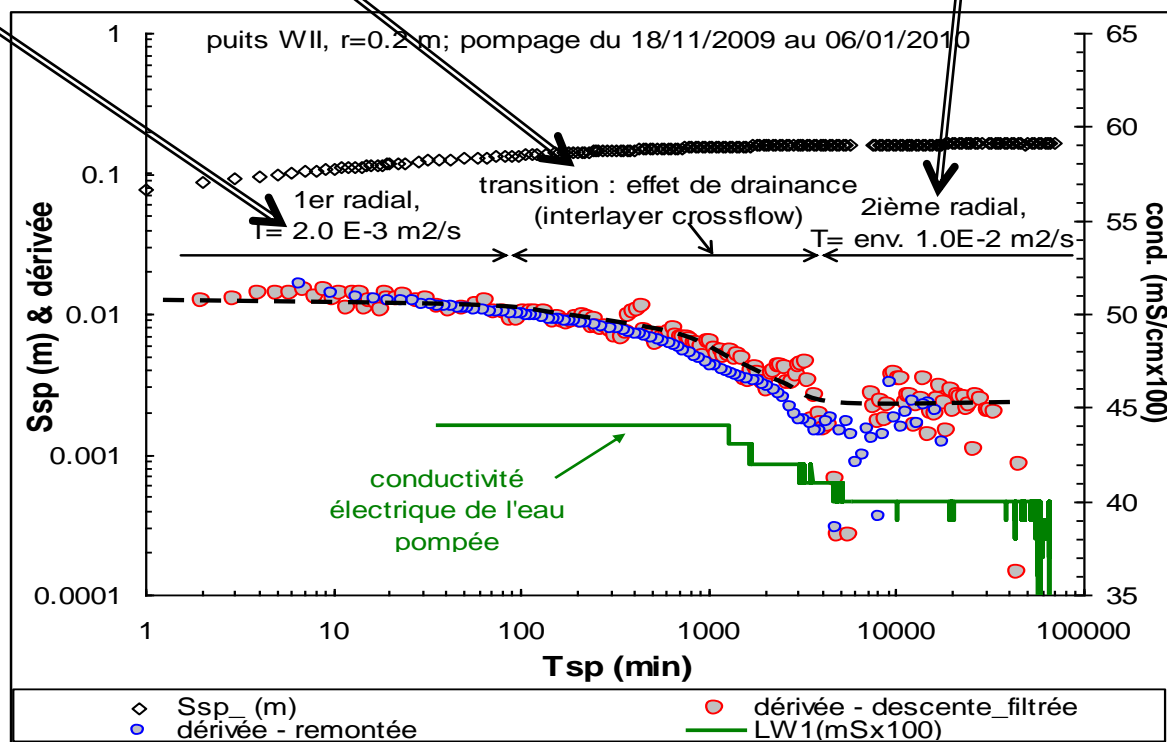
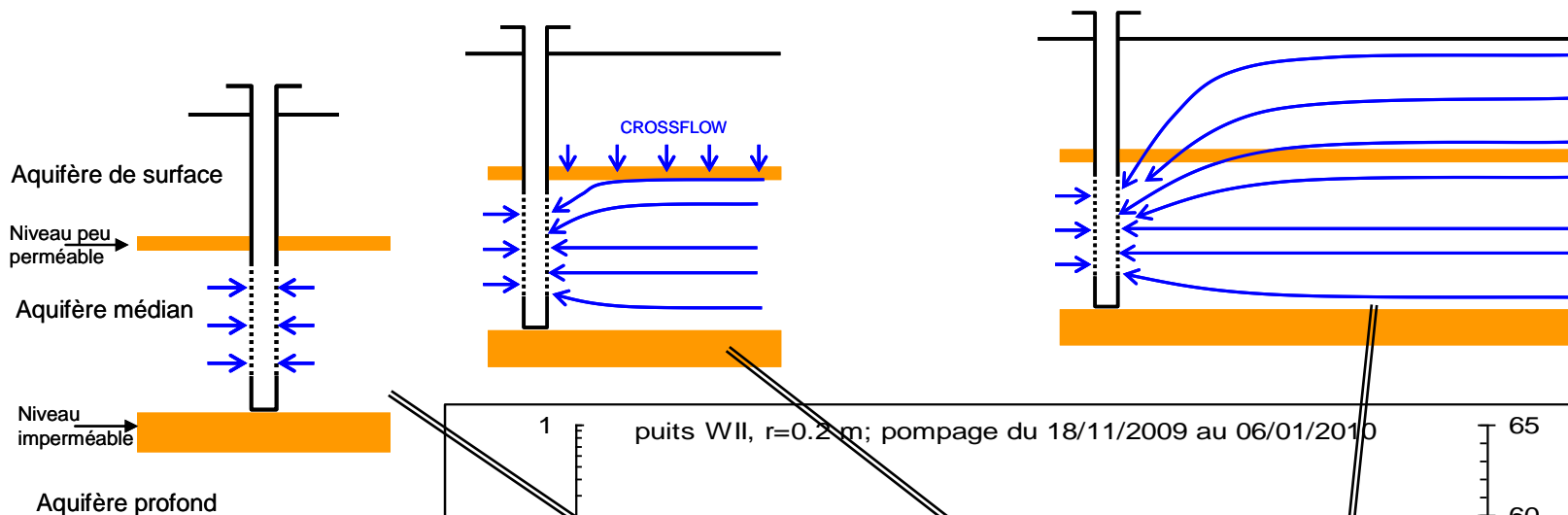
EXEMPLE: EMPILEMENT SÉDIMENTAIRE (LOIRE)



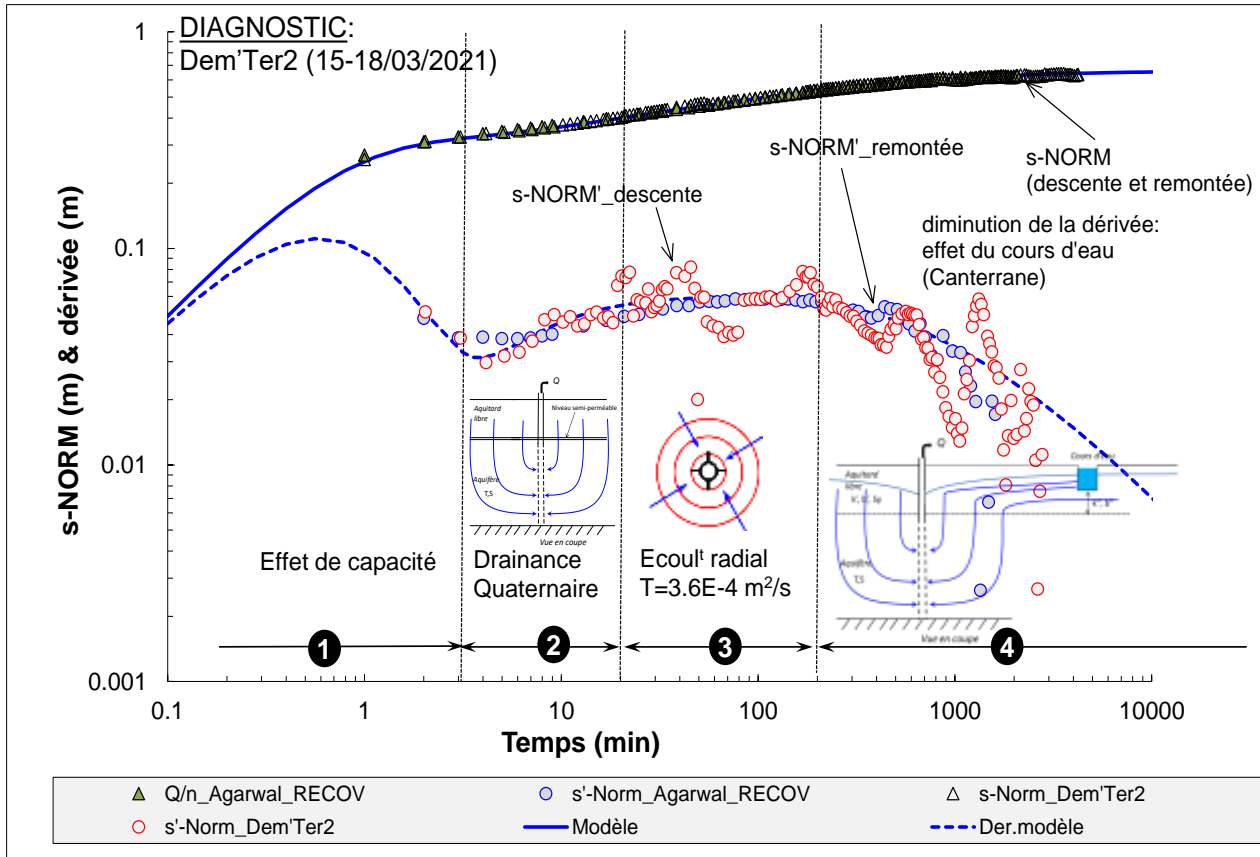
EXEMPLE: EMPILEMENT SÉDIMENTAIRE (LOIRE)



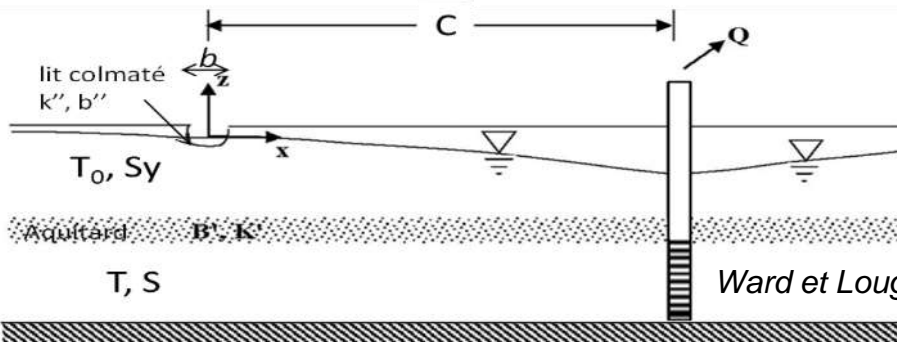
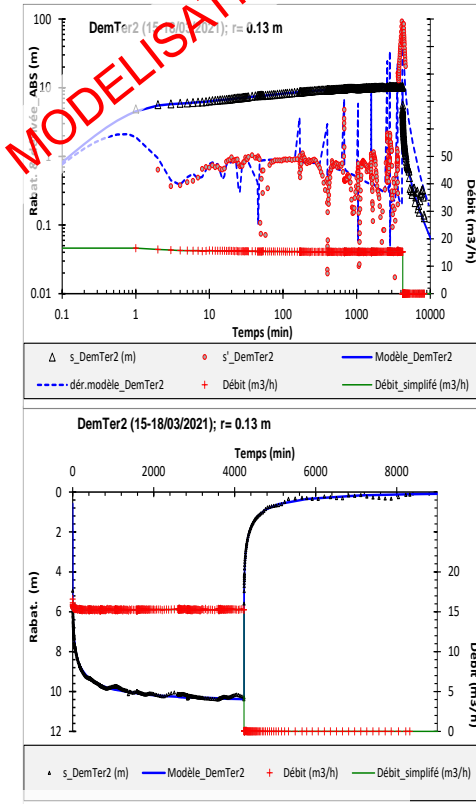
SITE DE STEINFELD (ALLEMAGNE) DANS UN AQUIFÈRE : SABLO-ARGILEUX



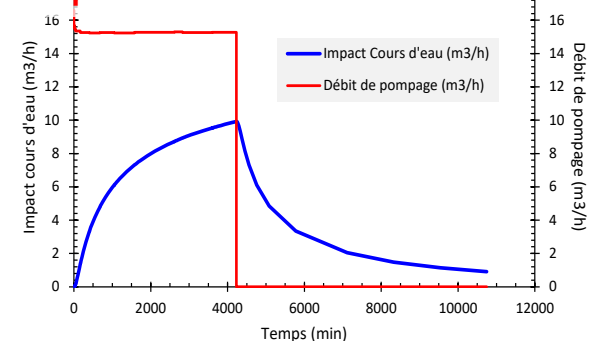
PLIOCÈNE (ROUSSILLON), AQUIFÈRE SABLO-ARGILEUX



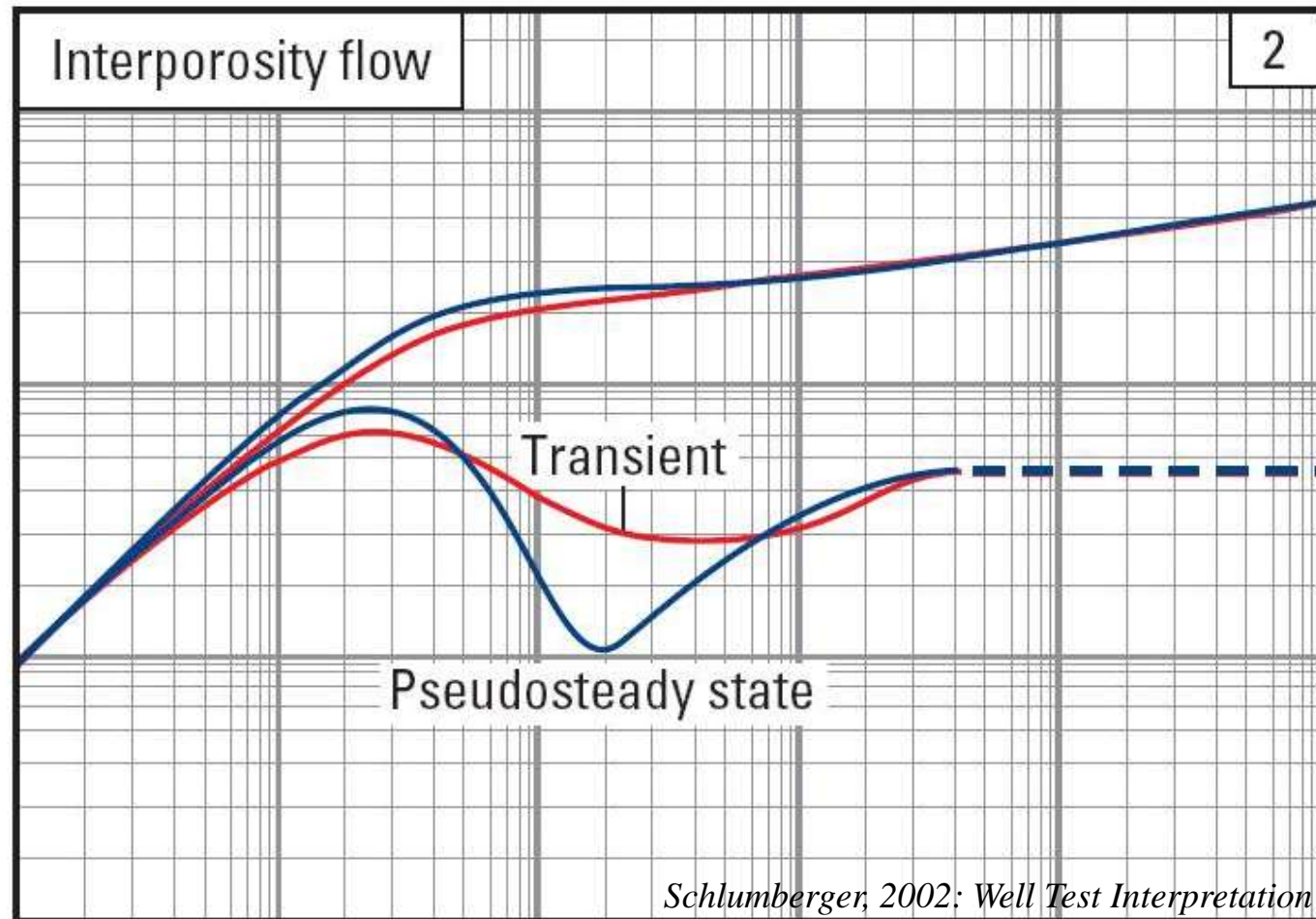
MODELISATION



Impact sur cours d'eau

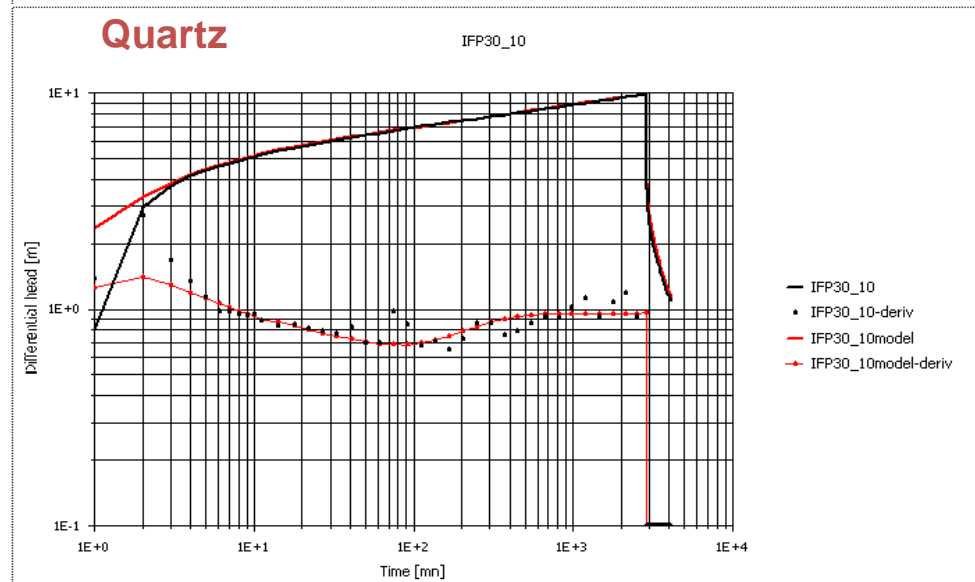
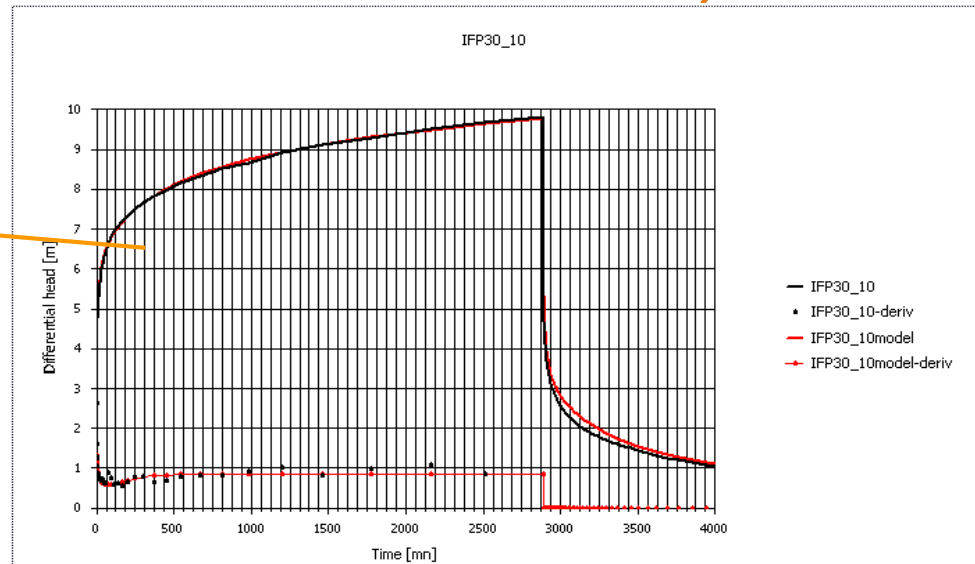
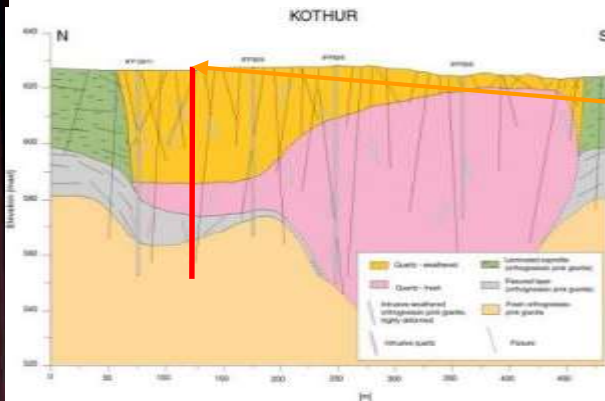


EXEMPLE DE COURBE TYPE DE DÉRIVÉE: DOUBLE POROSITÉ

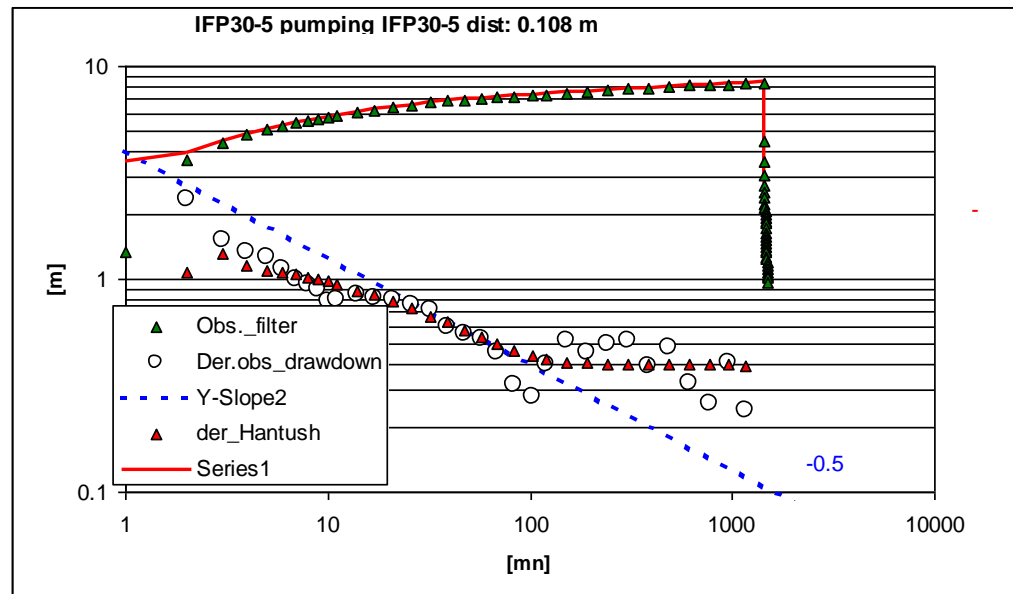
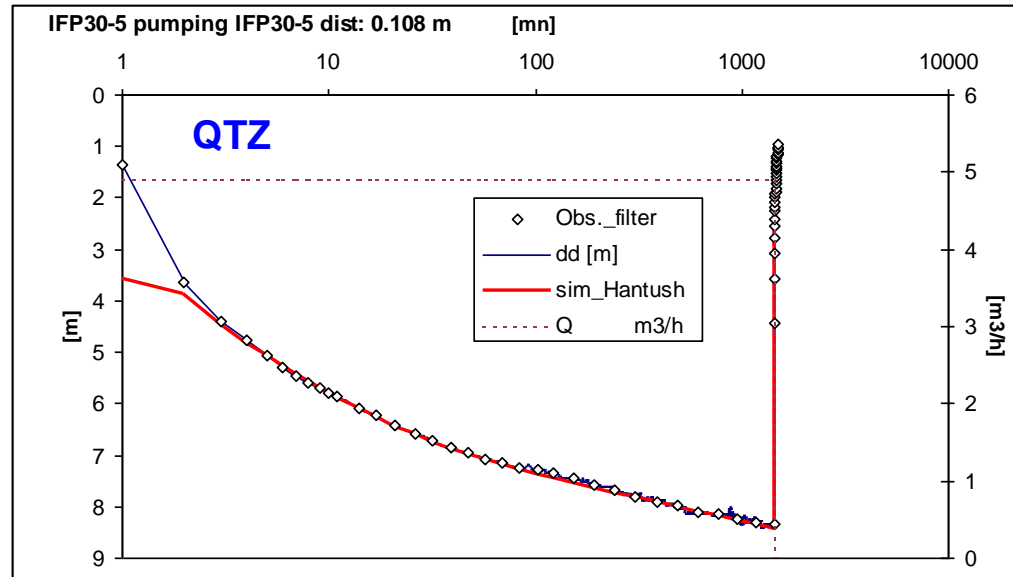
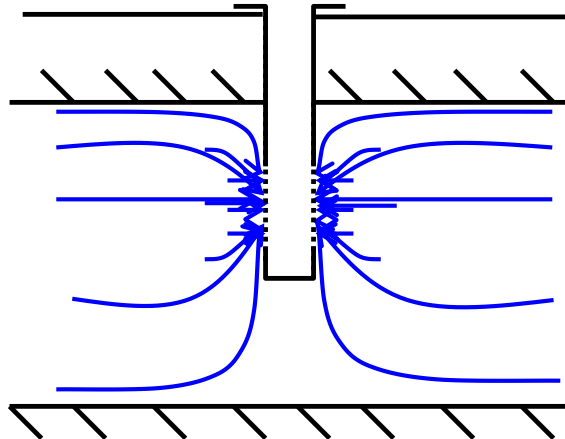
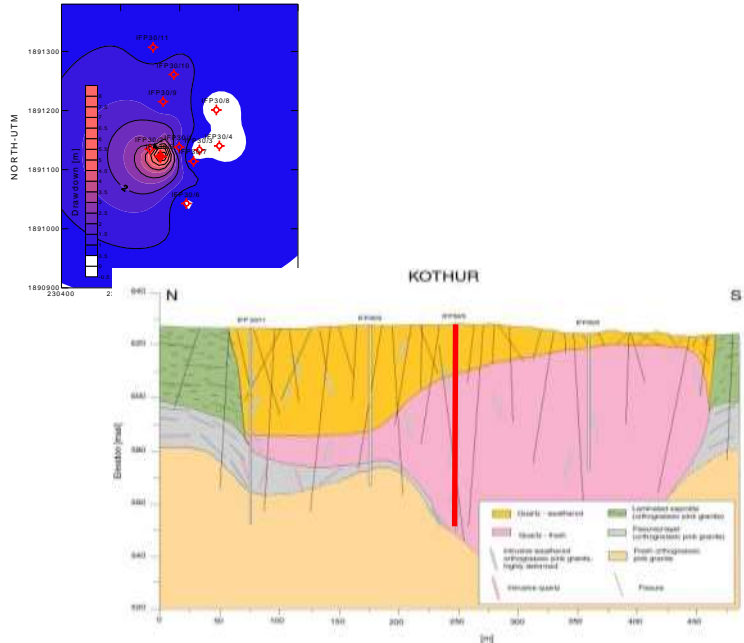


Schlumberger, 2002: Well Test Interpretation

EXEMPLE DE COURBE TYPE DE DÉRIVÉE: DOUBLE POROSITÉ (KOTHUR-FILON DE QUARTZ-INDE) IFP30/10- (WTFM)



EXEMPLE DE COURBE TYPE DE DÉRIVÉE: CAPTAGE PARTIEL (KOTHUR-FILON DE QUARTZ- INDE) IFP30/5- SOL. HANTUSH



ZONE DE FRACTURES DRAINANT UN AQUIFÈRE DE SURFACE (DEWANDEL ET AL., 2014)

B. Dewandel et al. / Journal of Hydrology 509 (2014) 115–131

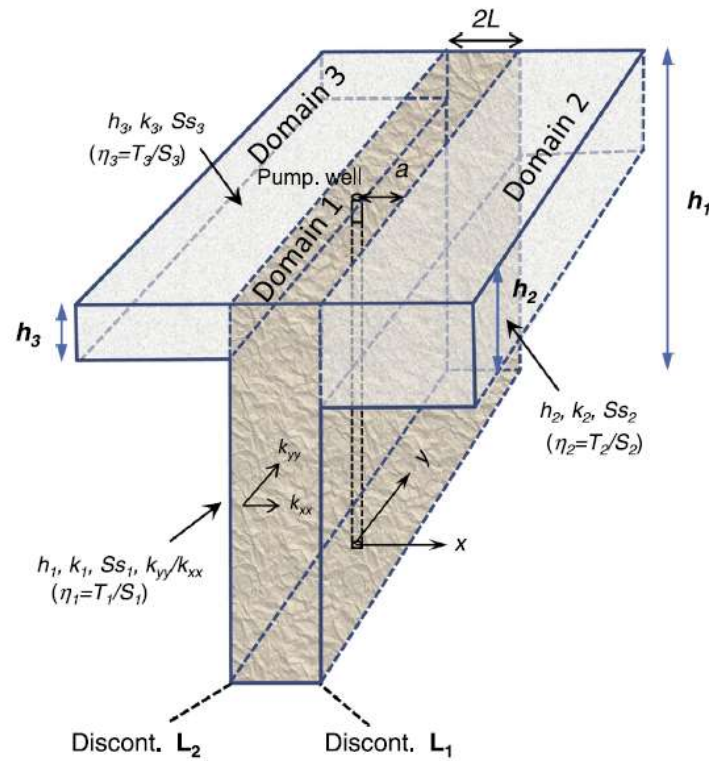


Fig. 1. The 'T' aquifer. Conceptual sketch of the infinite anisotropic linear-strip aquifer, Domain 1 (D1; width $2L$), separating two semi-infinite half-spaces of dissimilar properties (domains 2 and 3).

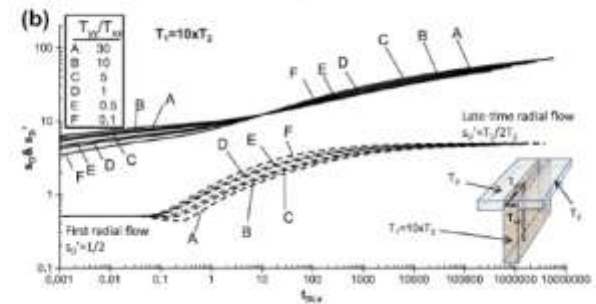
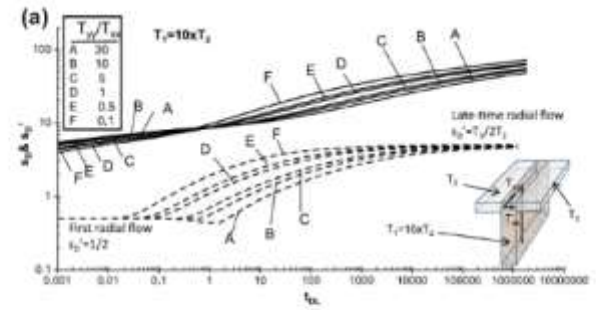
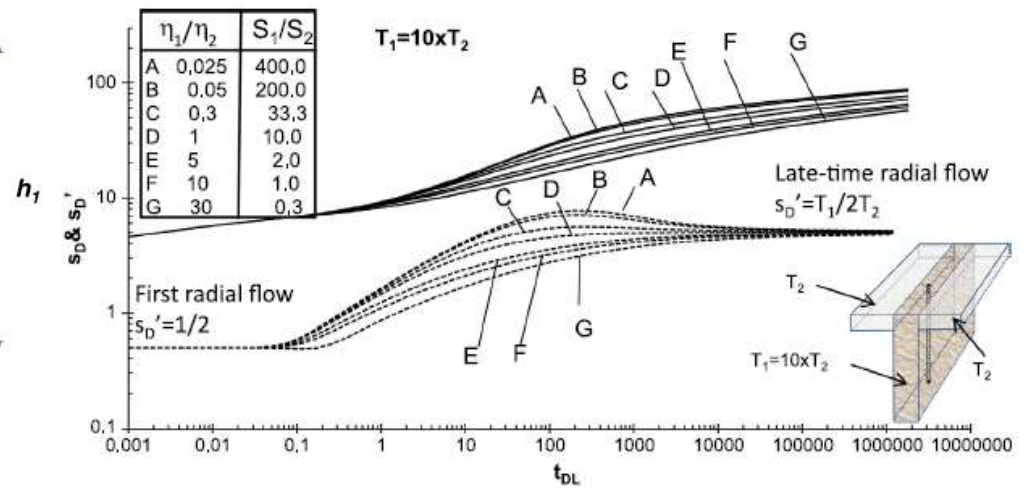


Fig. 5. Type-curves of dimensionless drawdown (s_D) and derivatives (s_D') for a pumping well centered in the strip ($z = a$) with various anisotropy ratios T_1/T_2 ; $T_1 = 10 \times T_2$. Corresponds to Eq. (15). (a) As a function of dimensionless time, t_{DL} , and (b) as a function of anisotropy normalized dimensionless time, t_{DL} .

ZONE DE FRACTURES DRAINANT UN AQUIFÈRE DE SURFACE (DEWANDEL ET AL., 2014) – ILLE-ET-VILAINE CORNÉENNES

B. Dewandel et al./Journal of Hydrology 509 (2014) 115–131

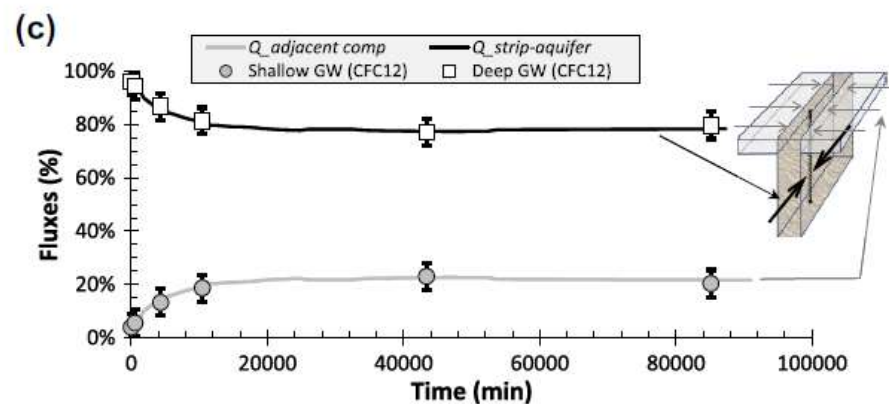
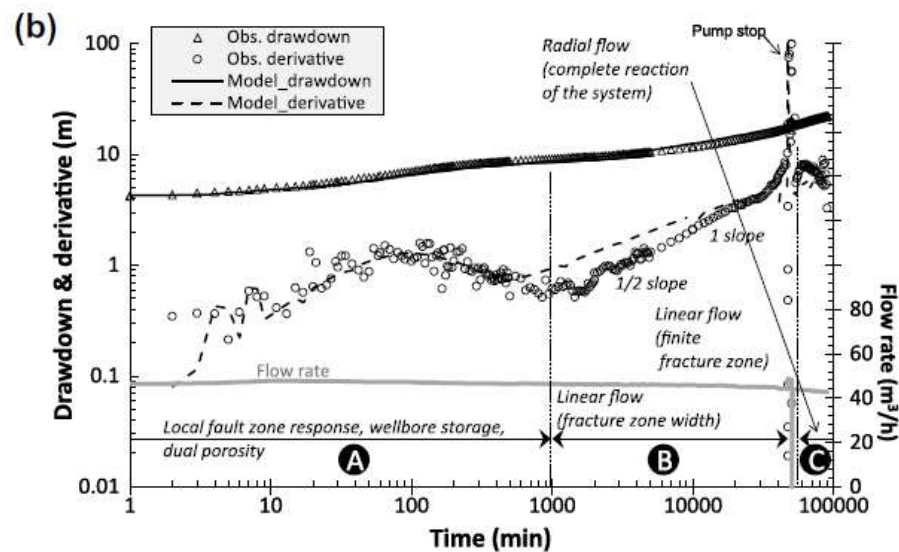
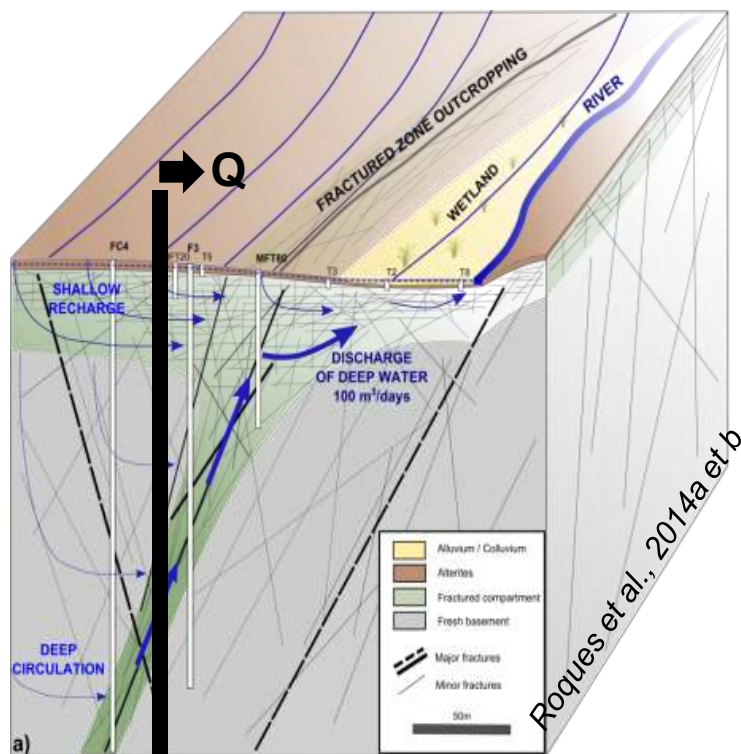
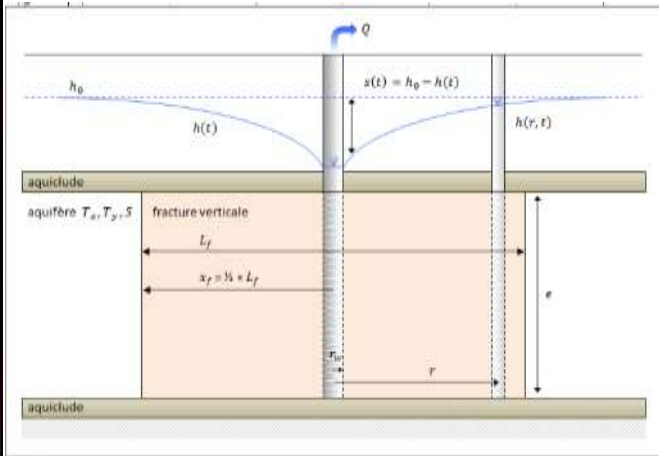
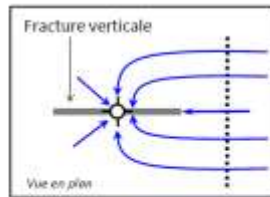


Fig. 8 (continued)

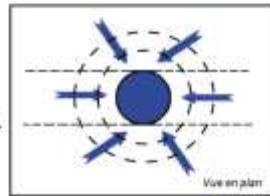
EXEMPLE DE COURBE TYPE DE DÉRIVÉE: FRACTURE VERTICALE SOLUTION DE GRINGARTEN



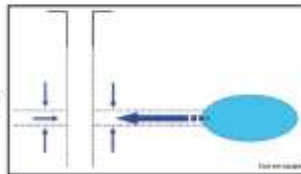
Régime 1 : Au début du pompage, le transfert de pression se propage essentiellement dans une fracture verticale.



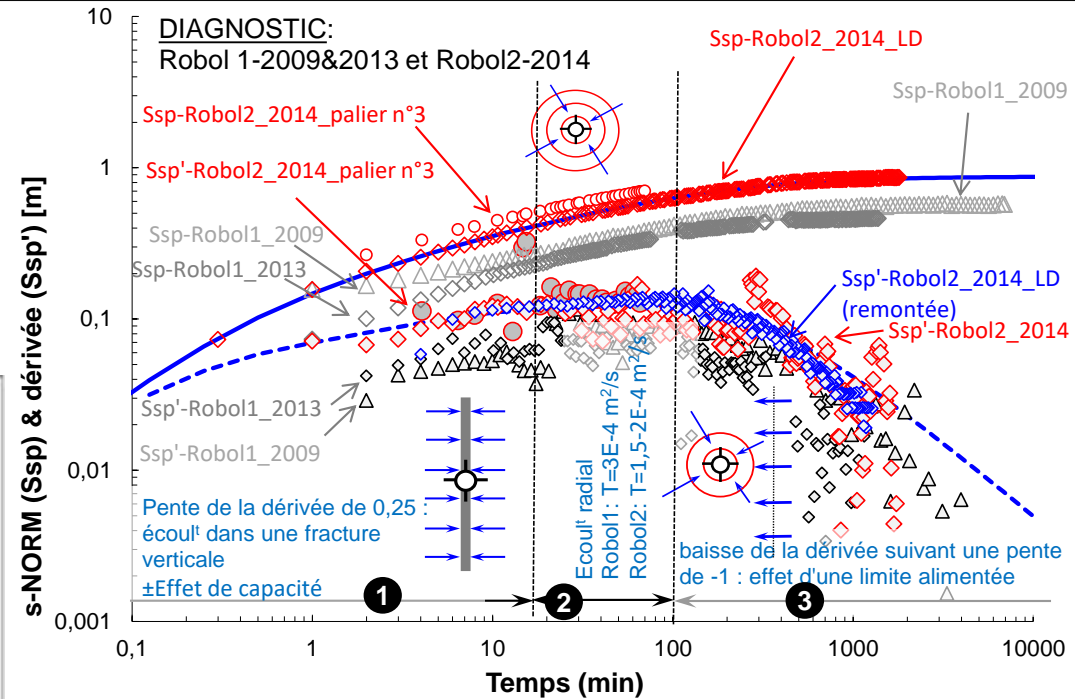
Régime 2 : Au bout d'une quinzaine de minutes, le conduit draine l'aquifère environnant. L'écoulement devient radial-cylindrique.



Régime 3 : A partir d'une centaine de minutes, l'effet d'une limite alimentée est observé. Elle est caractéristique de la sollicitation d'un réservoir beaucoup plus transmissif, pouvant correspondre à un drain de grande dimension (comparé à celui intercepté) localisé en profondeur à proximité du forage.

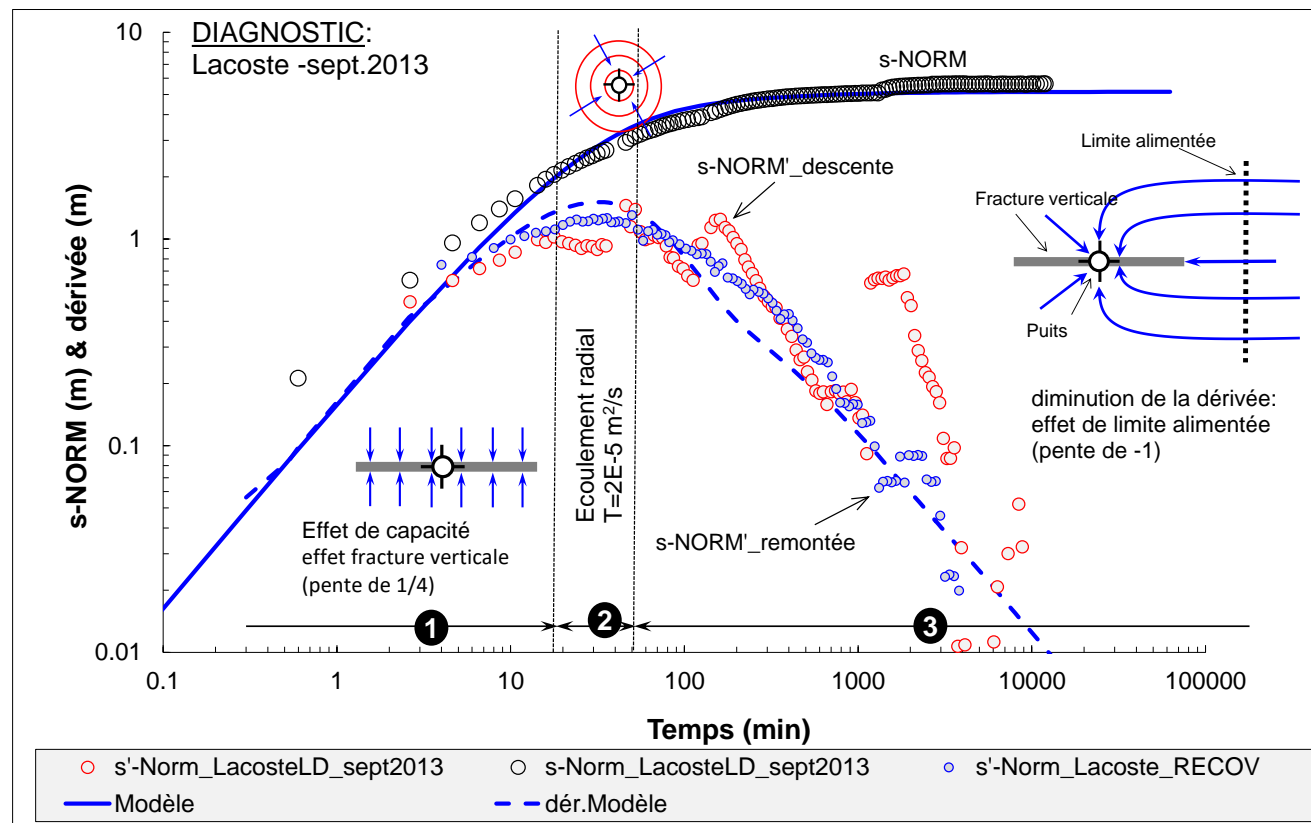


Application à un aquifère karstique (Corbières-66)



- Ssp_Robol2_Pal_n°3 26/06/2014
- △ Ssp'_Robol1 04/06/2009
- ◇ Ssp'_Robol1 2013
- ◇ Ssp_Robol2 LD 27-30/06/2014
- ◇ Ssp'_Robol2 LD 27-30/06/2014
- ◇ Ssp'_Robol2_27-30/06/2014_RECOV (m)
- Modèle_Fract.Vert+lim.-Robol2
- der-Modèle_Fract.Vert+lim.-Robol2

FORAGE DE LACOSTE-GARD (KARST)



Diagnostic:

- Début à env. 15-20': effet capa + fracture verticale (pente de 1/2 de la dérivée)
- 20-50': plateau de la dérivée (très approx.)=> T : env. 2 E-5 m²/s
- 50' à la fin de l'essai: baisse de la dérivée suivant une pente de -1 (=> le niveau dans l'ouvrage stabilise)

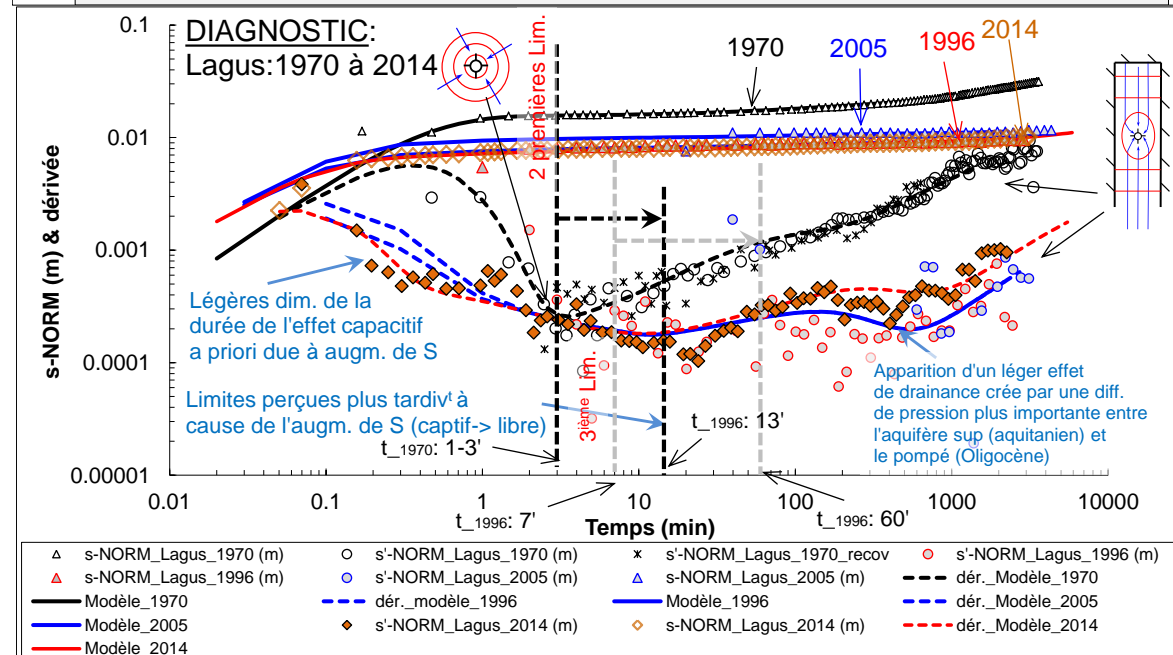
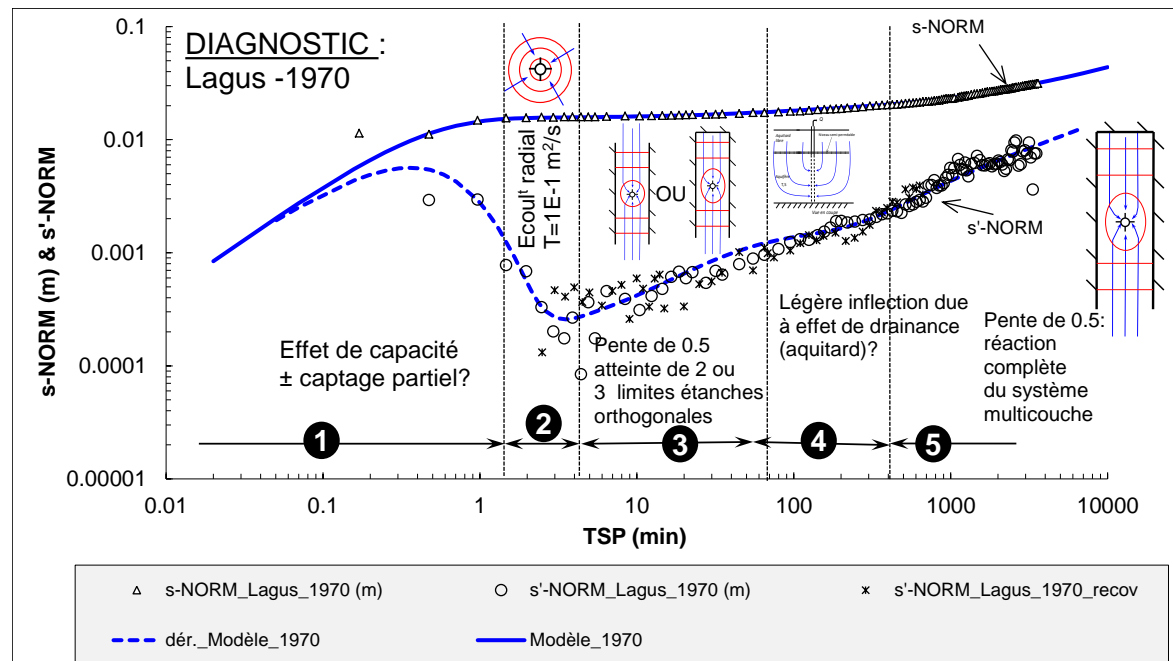
=> Schéma conceptuel déduit :

le forage intercepte une fracture qui draine un aquifère et cet aquifère et/ou cette fracture sont reliés à un réservoir d'une très grande capacité : drain karstique de dimension notable, cavité. Ce réservoir est perçue très rapidement durant l'essai.

Modèle choisi pour modéliser l'essai:

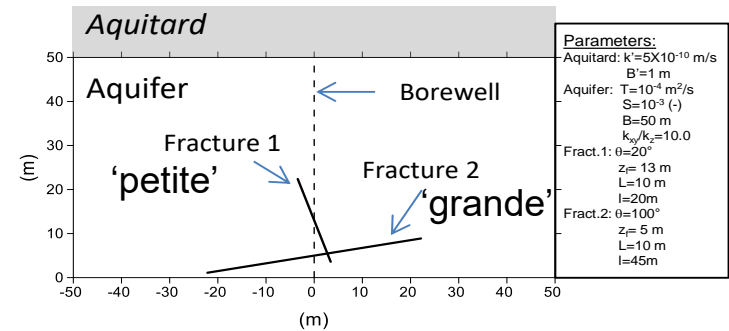
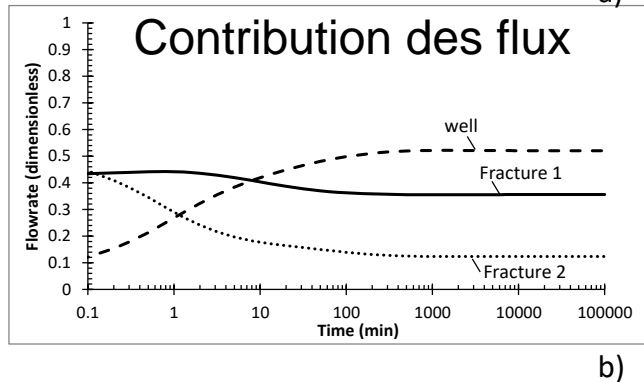
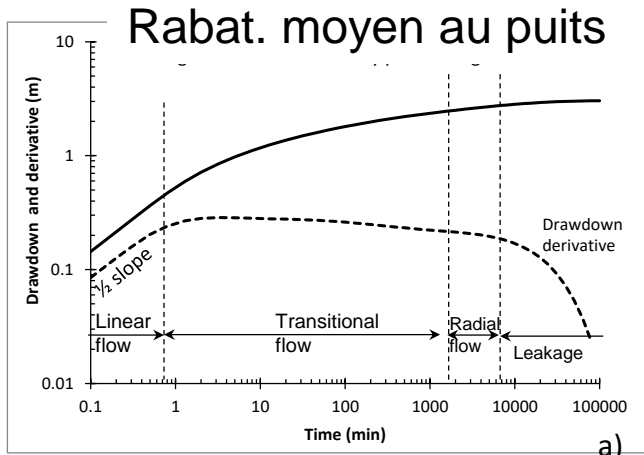
fracture verticale + effet de limite + effets de puits (Sol. de Gringarten + limite alimentée)

MOULIN LAGUS (KARST BORDEAUX)

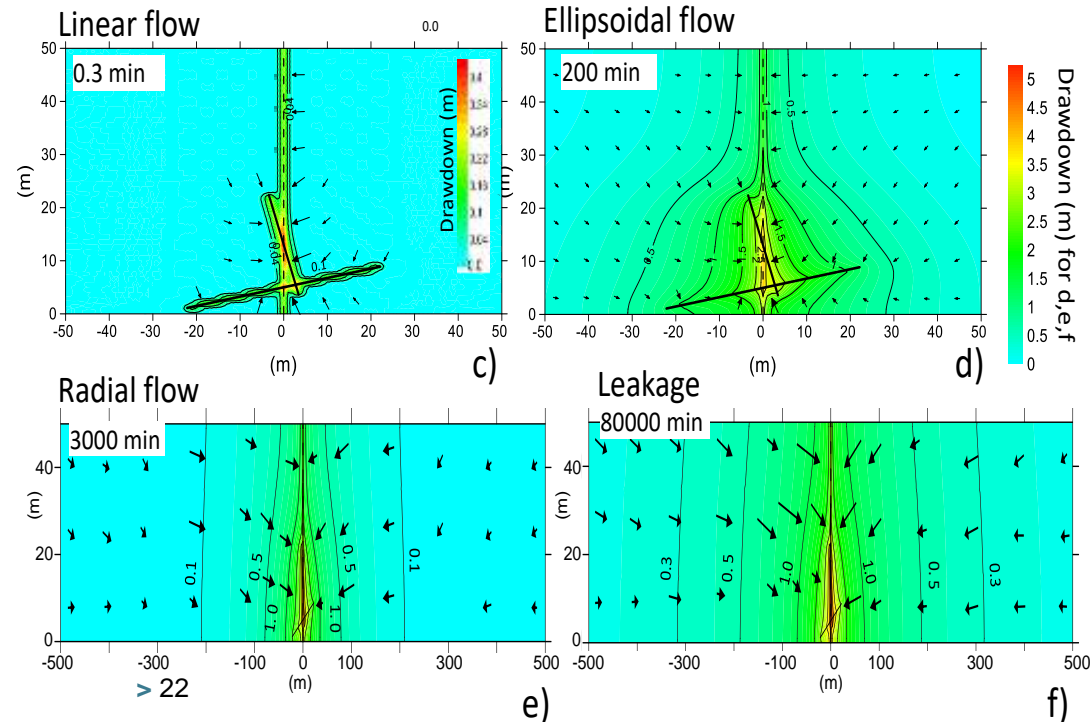


MODÈLES À FRACTURES DISCRÈTES (DEWANDEL ET AL., 2018)

Généralisation d'une solution permettant de modéliser le pompage dans une ou des fractures



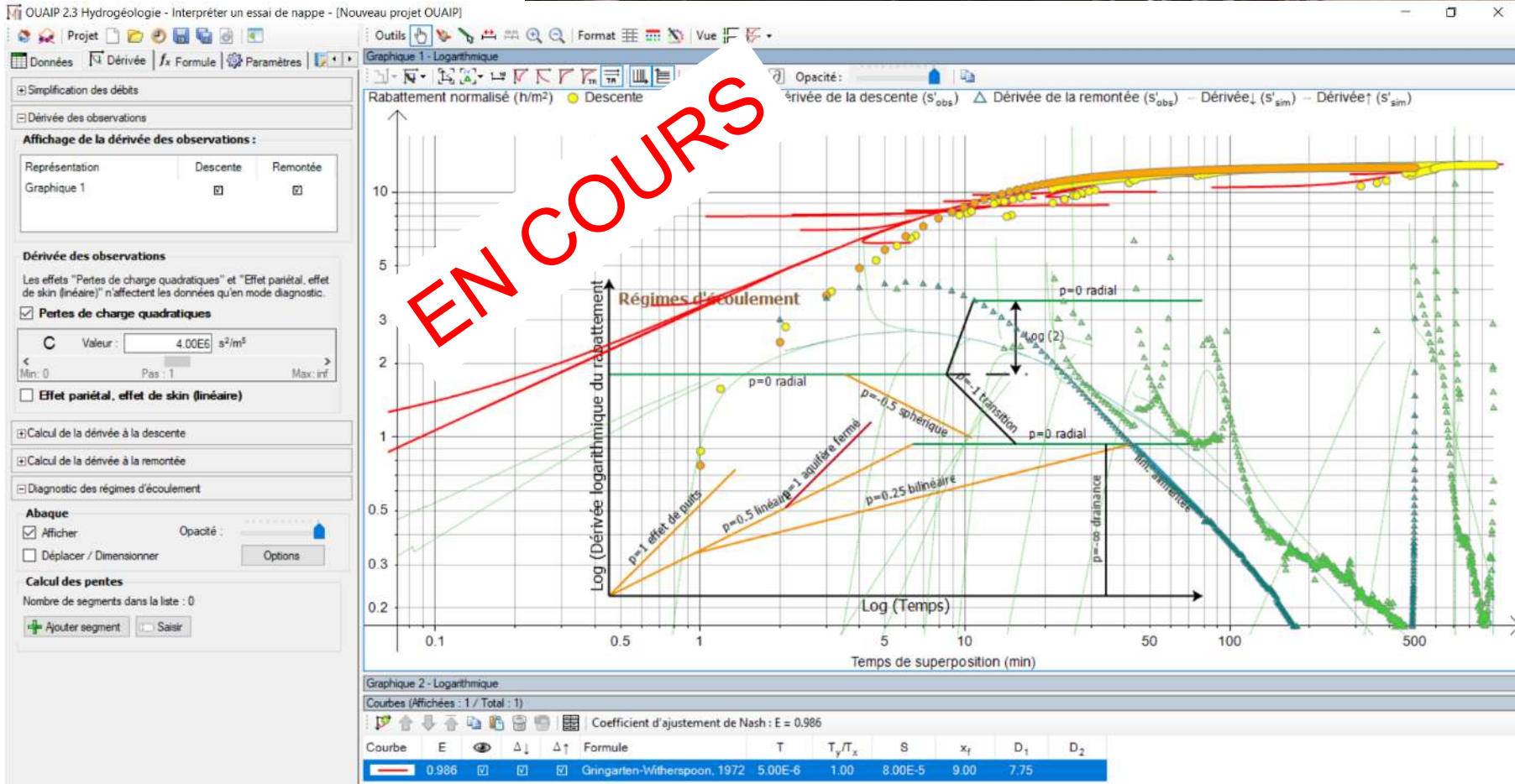
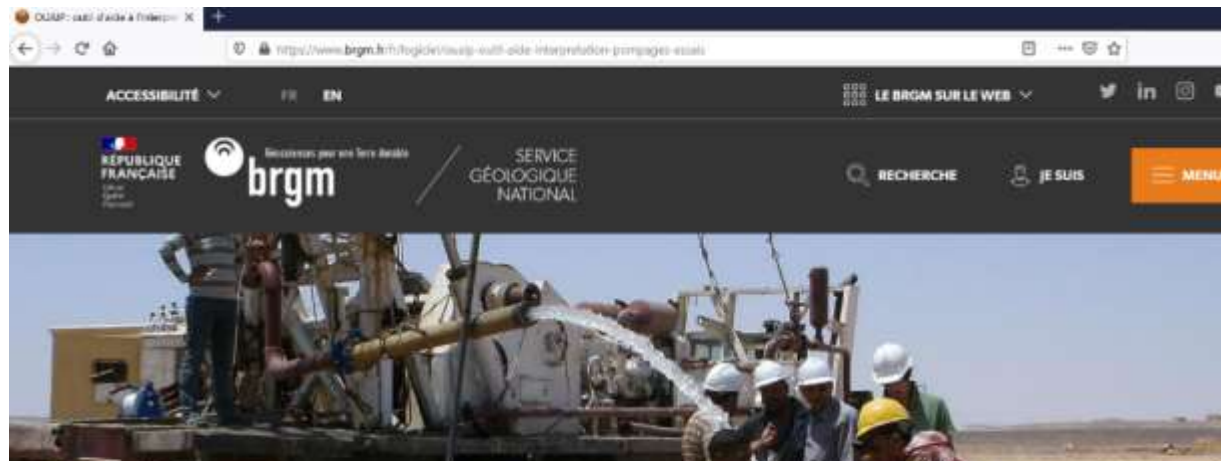
Rabatement (en coupe) à différents temps de pompage



Pour aller plus loin

- Bourdarot G., 1986. Essais de puits: Méthodes d'interprétation. Ed. Technip
- Bourdet D., 2002. Well test analysis: the use of advanced interpretation models, Ed. Elsevier
- Kruseman, G.P., de Ridder, N.A., Verweij J.M., 1990. Analysis and evaluation of pumping test data. 2nd ed. Wageningen, The Netherlands. ILRI publication 47, 377p.
- Bourdet, D., Whittle, T.M., Dougalis, A.A., Pirard, V.M., 1983. A new set of type curves simplifies well test analysis, World Oil., May, 95-106.
- Deruyck B., Ehlig-Economides C., Joseph J., 1992. Testing design and analysis. Oilfield and analysis. 28-45.

Bientôt nouvelle version de OUAIP avec diagnostic & dérivée



Merci