



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Document à accès immédiat

Valorisation des essais par pompage dans les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique du Bassin nord aquitain – Projet Eaux-SCARS

Rapport Final

BRGM/RP-73124-FR

Novembre 2023

Étude réalisée dans le cadre des projets de recherche et développement

B. Dewandel, O. Cabaret, J. Barrière

Vérificateur :		Approbateur :	
Nom :	T. Klinka	Nom :	LE GALL Cécile
Fonction :	Hydrogéologue	Fonction :	Directrice régionale BRGM Nouvelle Aquitaine
Date :	23/11/2023	Date :	29/01/2024
Signature :		Signature :	

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr

Ce rapport a été réalisé en partenariat avec :



Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots clés : Essai par pompage, Bassin nord aquitain, Projet Eaux-SCARS

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

B. Dewandel, O. Cabaret, J. Barrière 2023. Valorisation des essais par pompage dans les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique du Bassin nord aquitain – Projet Eaux-SCARS. Rapport Final V1. BRGM/RP-73124-FR, 102 p.

© BRGM, 2023, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-09/03/2023

Synthèse

La compréhension du fonctionnement des aquifères carbonatés du nord-est du Bassin aquitain passe en partie par l'analyse des essais par pompages qui permettent de mieux cerner les structures géométriques et les propriétés hydrodynamiques des réservoirs régissant les écoulements au sein des aquifères mais aussi les relations entre eux. Depuis plusieurs années, des méthodes empruntées à l'industrie pétrolière permettent d'affiner les interprétations des essais par pompage en apportant des éléments de connaissance plus précis sur le fonctionnement du réservoir à proximité de l'ouvrage en lien avec des structures ou des compartimentations particulières. Ces méthodes reposent en premier lieu sur un diagnostic fin de l'essai par pompage au travers de l'interprétation des courbes de dérivée logarithmique des rabattements permettant de représenter tous les régimes d'écoulement qui apparaissent de manière successive lors du pompage dans un forage. Ce diagnostic donne ensuite lieu à une modélisation de l'essai par pompage en tenant compte des géométries et hétérogénéités du milieu identifié (présence de fractures, limites étanches, changement de faciès, drainance, anisotropie 3D de l'aquifère, captage partiel de l'ouvrage, effets de puits, ...).

La modélisation est ici mise en œuvre sur des données existantes collectées auprès des syndicats ou exploitants, ou encore d'archives du BRGM. Au total, ce sont 76 essais sur 73 ouvrages, dont 32 dans les aquifères du Crétacé, 38 dans les aquifères du Jurassique et 3 ouvrages captant des aquifères des deux périodes (mixte) qui ont été modélisés. La technique de modélisation mise en œuvre utilise, dans la mesure du possible, la méthode de diagnostic basée sur la dérivée du rabattement afin d'en déduire un ou des schémas de fonctionnement, et un panel de solutions adaptées aux diagnostics établis. Ces modèles vont de l'aquifère homogène à ceux prenant en compte une fracture, de la drainance, les limites de l'aquifère, etc., et même dans certains cas de l'influence d'un cours d'eau ou d'une source situé à proximité du puits de pompage.

Les résultats de ce travail de modélisation montrent que les perméabilités et les emmagasinevements des aquifères du Crétacé et du Jurassique sont proches, en moyenne aux environs de $1,5 \times 10^{-5}$ m/s et $5,0 \times 10^{-4}$. Nous avons aussi cherché à savoir si au sein du Crétacé et du Jurassique, il y avait des contrastes de propriétés fonction des séquences stratigraphiques. Dans le Crétacé, les horizons aquifères du Campanien, du Coniacien et du Santonien ($K : 3$ à 6×10^{-5} m/s) sont globalement plus perméables que ceux du Turonien ($K : 6 \times 10^{-6}$ m/s). Dans le Jurassique, il est moins facile de voir des différences de perméabilité entre faciès, les horizons aquifères du Bathonien, du Callovien et de l'Oxfordien ($K : 4 \times 10^{-5}$ m/s) semblent plus perméables que ceux du Bajocien ($1,5 \times 10^{-5}$ m/s). Les valeurs d'emmagasinement dans les aquifères du Crétacé et du Jurassique sont en général comparables ($S = 5,0 \times 10^{-4}$). Seuls les essais dans le Campanien donnent des valeurs plus importantes (de l'ordre du pourcent), probablement à cause de leur condition d'aquifère libre, alors que les autres sont en situation d'aquifères captifs.

Les essais sont quasi-systématiquement soumis à des effets de drainance, en cohérence avec le caractère multicouche de cet ensemble d'aquifères du Secondaire. Les valeurs estimées de perméabilité des épontes (semi-perméables) sont comparables entre les essais conduits dans les aquifères du Crétacé et ceux du Jurassique ($k' = 2 \times 10^{-9}$ m/s ; valeur donnée pour une épaisseur d'éponte unitaire).

Par ailleurs, les essais montrent peu de cas d'atteinte de limites d'aquifère (limites étanches) suggérant que les aquifères testés sont de grandes extensions. On notera cependant la mise en évidence d'un aquifère fermé au niveau d'Agen. Pour finir, de nombreux essais dans le Jurassique, et en particulier dans la partie nord du bassin, montrent que les ouvrages sont situés à proximité de drains karstiques de grandes dimensions.

Par la suite, ces informations hydrodynamiques seront mises en perspective de l'information géologique (logs géologiques des ouvrages, cartes, acquisitions géophysiques, coupes régionales, etc.) et hydrogéochimique disponible, dans le but d'améliorer la connaissance de la géométrie des aquifères et de la répartition spatiale des propriétés hydrodynamiques, en lien avec la lithologie des formations. Ces informations serviront également à alimenter en paramètres hydrodynamiques les modèles numériques développés sur le territoire d'étude, notamment le Modèle Nord-Aquitain.

Sommaire

1. Introduction	8
2. Projet Eaux-SCARS	9
3. Les essais par pompage disponibles	10
4. Méthodologie utilisée pour interpréter des essais par pompage	13
5. Modèles mathématiques utilisés pour interpréter les essais	17
5.1. Modèle d'aquifère multicouche	17
5.2. Modèle à fracture verticale	23
5.3. Modèle à fracture verticale et drainance d'un aquifère sus-jacent (ou sous-jacent)	26
5.4. Modèle compartimenté latéralement, pompage à proximité d'une zone perméable (ou non) 30	
5.5. Modèle compartimenté latéralement, pompage dans le compartiment central.....	35
5.6. Modèle à fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source... 39	
6. Synthèse des résultats	44
7. Conclusion	51
8. Références bibliographiques	53

Liste des figures

Figure 1 : périmètre d'étude du projet Eaux-SCARS	9
Figure 2 : localisation des 76 essais par pompage réinterprétés.	11
Figure 3 : méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation de pompages d'essai. Utilisation de la dérivée du rabattement pour diagnostiquer l'essai.	13
Figure 4 : exemple de succession des régimes d'écoulement lors d'un pompage d'un puits captant partiellement un aquifère limité dans l'espace et soumis à un phénomène de drainance. tD : temps adimensionnel, sD (courbe pleine) et sD' (courbe tiretée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel).....	15
Figure 5 : modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre).	18
Figure 6 : courbes types a) du modèle à effet de drainance verticale : influence du facteur de drainance du semi-perméable ($Br_{1/2}$).	19
Figure 7 : courbes types du modèle à effet de drainance verticale : influence de l'emmagasinement de l'aquitard (Sy).....	20
Figure 8 : courbes types du modèle à effet de drainance verticale : influence de la transmissivité de l'aquitard (T_0).	20
Figure 9 : diagnostic et modélisation des pompages réalisés en février 2008 sur le forage 08078X0071 (Mouzens). Modèle : aquifère multicouche.	21

Figure 10 : modélisation de l'essai du 03-07/02/2008 sur le forage n°BSS : 08078X0071 (Mouzens). Modèle : aquifère multicouche.....	22
Figure 11 : solution de Gringarten et al. (1974). Fracture verticale unique recoupant tout l'aquifère (flux uniforme). Vue en plan.....	23
Figure 12 : courbe type de la solution de Gringarten et al. (1974).....	24
Figure 13 : diagnostic de l'essai réalisé sur le forage 08071X0024 (Pressignac-Vicq) du 13 au 15/05/2010. Modèle : fracture verticale.....	24
Figure 14 : modélisation de l'essai par pompage du 13-15/05/2010 sur le forage n°BSS : 08071X0024 (Pressignac-Vicq). Modèle : fracture verticale.....	25
Figure 15 : fracture verticale unique recoupant partiellement ou totalement un aquifère multicouche.....	26
Figure 16 : courbes types d'un pompage interceptant une fracture verticale située dans un aquifère multicouche ; Dewandel et al. (2018). Fracture dans l'aquifère inférieur. Les 'ronds' dénotent la solution de Gringarten et al. (1974) ; $hf/B=1$, $k'=0$. hf : hauteur de la fracture, B : épaisseur de l'aquifère inférieur.....	27
Figure 17 : diagnostic de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08534X0009 (Peyrière) le 02-05/02/2009. Modèle : fracture verticale et drainance.....	28
Figure 18 : modélisation de l'essai par pompage du 02-05/02/2009 sur le forage n°BSS : 08534X0009 (Peyrière). Modèle : fracture verticale et drainance.....	29
Figure 19 : aquifère compartimenté latéralement, cas d'un pompage dans un compartiment latéral. Gauche : avec un puits de pompage, droite : avec une fracture verticale.....	30
Figure 20 : courbes types d'un pompage situé à proximité d'un autre aquifère limité dans l'espace ; Dewandel et al. (2022). (a) variations du contraste de transmissivité T^*/T_1 (10^{-2} to 10^3) avec $S^*/S_1=20.0$, (b) variations du contraste d'emmagasinement S^*/S_1 (10^{-3} to 10^3) avec $T^*/T_1=100.0$	32
Figure 21 : diagnostic de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 07343X0009 le 24-31/03/1998 (St-Front-sur-Nizonne). Modèle : compartimentation latérale, pompage à proximité d'une zone perméable.....	33
Figure 22 : modélisation de l'essai par pompage du 24-31/03/1998 sur le forage n°BSS : 07343X0009 (St-Front-sur-Nizonne). Modèle : compartimentation latérale, pompage à proximité d'une zone perméable.....	34
Figure 23 : aquifère compartimenté avec anisotropie de perméabilité : a) structure « T », b) cas où les compartiments sont d'épaisseur égale.....	35
Figure 24 : courbes types pour un puits centré ($a=L$) et un aquifère central présentant divers ratios d'anisotropie de perméabilité. Contraste de transmissivité de 10 ($T_1=10 \times T_2$; $T_2=T_3$) ; Dewandel et al. (2014).....	36
Figure 25 : diagnostic de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08547X0008 (Monbahus) le 15-18/12/2008. Modèle : compartimentation verticale, pompage dans le compartiment central.....	37
Figure 26 : modélisation de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08547X0008 (Monbahus) le 15-18/12/2008. Modèle : compartimentation verticale, pompage dans le compartiment central.....	38
Figure 27 : pompage dans une fracture située dans un aquifère multicouche et à proximité d'une source (modification de Hunt, 2004 et Dewandel et al., 2018).....	39

Figure 28 : pompage d'un aquifère multicouche par une fracture verticale située à proximité d'une source au fond colmaté (modification de Hunt, 2004 et Dewandel et al., 2018). Calculs pour différentes valeurs de α . A : évolution du rabattement (sD) au puits de pompage et de sa dérivée (sD'), B : impact du pompage sur le débit de la source. La source est toujours située à la même distance (20 m).....	40
Figure 29 : modélisation de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08075X0014 le 19-21/01/1988. Modèle : fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source.	42
Figure 30 : gauche : schéma de calcul de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08075X0014 le 19-21/01/1988. Modèle : fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source. Droite : situation de l'ouvrage.....	43
Figure 31 : modélisation de la variation de débit (baisse du débit) sur la source Font Chaude lors de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08075X0014 le 19-21/01/1988. Modèle : fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source.	43
Figure 32 : statistiques des propriétés hydrodynamiques des aquifères du Crétacé (gauche) et du Jurassique (droite). De haut en bas : transmissivités (LogT), perméabilités (LogK), emmagasinement (LogS) et coefficient de drainance (Log(k'/b')). Les propriétés sont représentées en échelle logarithmique.....	46
Figure 33 : statistiques des propriétés hydrodynamiques par lithologie ou regroupement de lithologies. Vert : Crétacé et bleu : Jurassique. Transmissivités (LogT ; n=68), perméabilités (LogK ; n=68), emmagasinement (LogS ; n=68) et coefficient de drainance (Log(k'/b' ; n=33)). Les propriétés sont représentées en échelle logarithmique.	47
Figure 34 : synthèse des comportements hydrodynamiques déduits de la modélisation des essais par pompage. Fond de carte : géologie.	48

Liste des annexes

Annexe 1	Modélisation des essais	57
Annexe 2	Essais par paliers de débit (méthode de Jacob).....	135
Annexe 3 antérieures	Comparaison des propriétés estimées des aquifères avec les estimations	137

1. Introduction

La compréhension du fonctionnement des aquifères carbonatés du nord-est du Bassin aquitain passe en partie par l'analyse des essais par pompages qui permettent de mieux cerner les géométries et les propriétés hydrodynamiques des réservoirs régissant les écoulements au sein des aquifères mais aussi les relations entre eux.

Au cours du temps de nombreux forages ont fait l'objet d'essais par pompage, réalisés pour des besoins d'exploitation en eau potable, qui ont été interprétés par des méthodes classiques. Pourtant, dans les formations fracturées ou dans les formations sédimentaires hétérogènes l'interprétation de tels essais par pompage est souvent complexe, conséquence de la géométrie des réseaux de fractures, des relations fracture-matrice, de la connexion de ces réseaux avec des aquifères de surface, de l'empilement et de la géométrie de séries à perméabilités différentes, etc.

Depuis plusieurs années, des méthodes empruntées à l'industrie pétrolière permettent d'affiner les résultats et d'apporter des éléments de connaissance plus précis sur le fonctionnement du réservoir à proximité de l'ouvrage en lien avec des structures ou des compartimentations particulières. Ces méthodes reposent en premier lieu sur un diagnostic fin de l'essai par pompage au travers de l'interprétation des pentes de la courbe de dérivée logarithmique des rabattements permettant de représenter tous les régimes d'écoulement, qui apparaissent de manière successive lors du pompage dans un forage, sur un même graphe. Ce diagnostic donne ensuite lieu à une modélisation de l'essai par pompage en tenant compte des géométries et hétérogénéités identifiées (présence de fractures, limites étanches, changement de faciès, drainance, anisotropie 3D de l'aquifère, captage partiel de l'ouvrage, effets de puits...).

La modélisation est ici mise en œuvre sur des données existantes collectées auprès des exploitants ou d'archives du BRGM. Elle vient compléter les travaux scientifiques réalisés dans le cadre du projet Eaux-SCARS¹ qui vise à améliorer la connaissance du fonctionnement des aquifères du Crétacé et du Jurassique au nord-est du Bassin aquitain et de leurs interactions avec le milieu superficiel dans un contexte de changement global.

¹ Hydrogéologie des Systèmes CARbonatés Réservoirs du Secondaire au nord-est du Bassin aquitain <https://sigesaqi.brgm.fr/-Projet-Eaux-SCARS-.html>

2. Projet Eaux-SCARS

Les ressources en eau souterraine des formations carbonatées du Jurassique et du Crétacé au nord-est du Bassin aquitain (Périgord – Agenais – Quercy) sont stratégiques pour ces territoires car elles permettent de satisfaire la majorité des besoins en eau (AEP, irrigation, industrie, ...) (Figure 1). De par leur étroite relation avec les milieux superficiels, notamment les cours d'eau, elles participent également au maintien des écosystèmes et activités associés, en particulier en période d'étiage. Par ailleurs, ces aquifères sont le siège d'une karstification importante rendant difficile la gestion des ressources en eau tant du point de vue quantitatif que qualitatif : forte variabilité temporelle des débits et signatures chimiques, et vulnérabilité accrue des ressources vis-à-vis de pollutions. Aussi, dans un contexte plus général de changement climatique, la question de la disponibilité de l'eau et du caractère stratégique de ces nappes sur ces territoires à moyen et long terme se pose. L'enjeu actuel consiste à assurer la pérennité de la ressource en eau pour concilier autant que possible l'ensemble des usages tout en assurant le maintien des apports vers les milieux superficiels (cours d'eau, lacs et étangs, zones humides, etc.).

La complexité de ces systèmes aquifères et le manque de connaissance sur leur fonctionnement hydrogéologique a encouragé la mise en place d'un programme de recherche de compréhension générale pour garantir à terme une gestion équilibrée de la ressource. Le projet Eaux-SCARS (<https://sigesaqi.brgm.fr/-Projet-Eaux-SCARS-.html>), démarré en 2021 pour une durée de 6 ans et bénéficiant du soutien financier du BRGM, du FEDER, de l'Agence de l'eau Adour-Garonne et des Conseils départementaux de la Dordogne, du Lot, du Lot-et-Garonne et de la Charente, vise à répondre à ce besoin en proposant de réaliser des investigations permettant la mise en place d'outils nécessaires à une gestion optimale des nappes sur ces territoires.

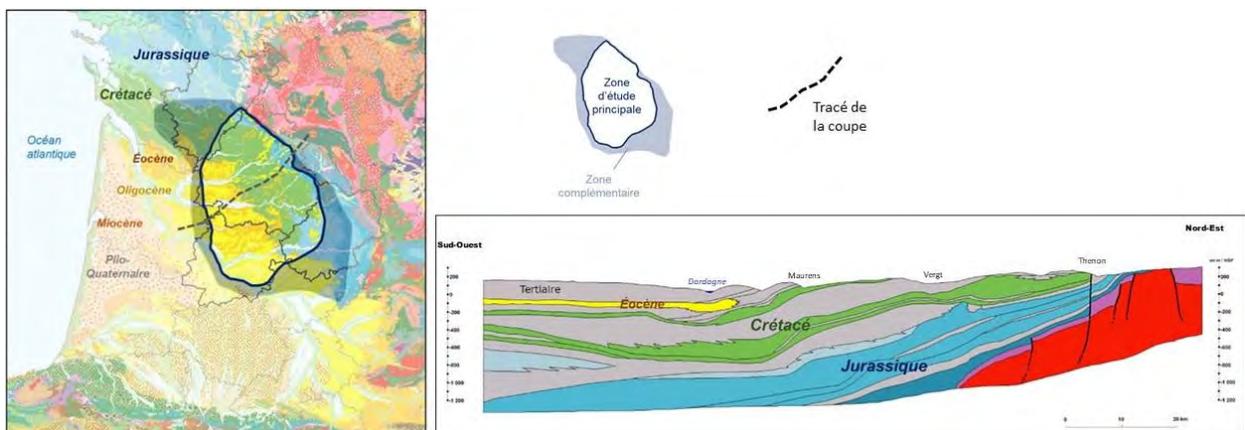


Figure 1 : périmètre d'étude du projet Eaux-SCARS

Ainsi, une combinaison d'outils géologiques et géophysiques est mise en œuvre pour revisiter l'agencement du multicouche nord-aquitain et ses variations de faciès. Le projet revient également sur la genèse des karsts dont la configuration actuelle découle d'une longue évolution polyphasée dont il convient d'identifier les périodes de karstification et leurs modalités de mise en place pour en comprendre leur fonctionnement actuel. En parallèle, des suivis temporels de piézométrie, de débits de cours d'eau et d'hydrochimie des nappes et eaux superficielles sont déployés à différentes échelles. Ils sont complétés par la réinterprétation de nombreux pompages d'essai visant à mieux cerner les modalités de fonctionnement des réservoirs : recharge, écoulement, interactions entre aquifères et échanges nappes/rivières. L'ensemble de ces investigations a pour vocation d'alimenter, entre autres, les modèles hydrodynamiques régionaux indispensables à la gestion opérationnelle des nappes du Secondaire du Bassin nord-aquitain.

3. Les essais par pompage disponibles

L'objectif de cette caractérisation est d'avoir une vision aussi claire que possible de la structure géométrique et des propriétés hydrodynamiques des aquifères carbonatés du Crétacé et du Jurassique du nord-est du Bassin aquitain. Cette caractérisation se décline par une approche basée sur la réinterprétation des données issues de pompages d'essai anciens ou récents. Une partie des données a été extraite de la banque du sous-sol (BSS). L'autre partie est issue de sollicitations et concertations opérées auprès des syndicats d'eau ou exploitants du secteur d'étude (SMDE24, RDE24 et Eau47), et de certains bureaux d'études identifiés comme étant intervenus sur des suivis de forages sur le territoire (SHE, CPGF, Calligée).

La Figure 2 présente la localisation des tests par pompage réinterprétés dans le cadre de cette étude. On dénombre 76 tests concernant 73 ouvrages, dont 32 dans le Crétacé, 38 dans le Jurassique et 3 ouvrages captant des aquifères dans les deux périodes (mixte). La profondeur moyenne des ouvrages est de 370 m ; le plus profond, de 1 041 m, a été réalisé sur la commune de Vergt en 2004 (07828X0040). Seuls quelques rares essais disposent d'observations d'interférence sur d'autres ouvrages, il s'agit des tests réalisés lors des essais sur (par n°BSS) : [07843X0015](#) (Coly), [08086X0025](#) (Sarlat-la-Canéda) et [08067X0008](#) (Cours de Pile). Certains ouvrages disposent d'essais réalisés à différents stades de foration : [BSS004APGK](#) à Saint Astier entre 57-181m et 90-319m) et le forage Les Eyzies à Les Eyzies-de-Tayac-Sireuil (BSS004DPLC entre 51-483 m, 51-789 m et 171-756 m). Par ailleurs, ces données comportent des essais par pompage réalisés sur des sources (08067X0008 à Cours de Pile et [08323X0005](#) à Nabirat) ; leurs données seront interprétées comme des essais par pompage sur forage.

La durée des essais qui ont été sélectionnés varie de quelques heures à 19 jours ([07828X0040](#) Vergt), la moyenne se situe aux alentours de 3,7 j. Les débits de pompage sont souvent supérieurs à 100 m³/h, le maximum est celui d'un essai sur un forage d'Agen ([09023X0016](#)) à 318 m³/h. Le Tableau 1 consigne la liste des essais et les principales caractéristiques techniques et géologiques des ouvrages testés.

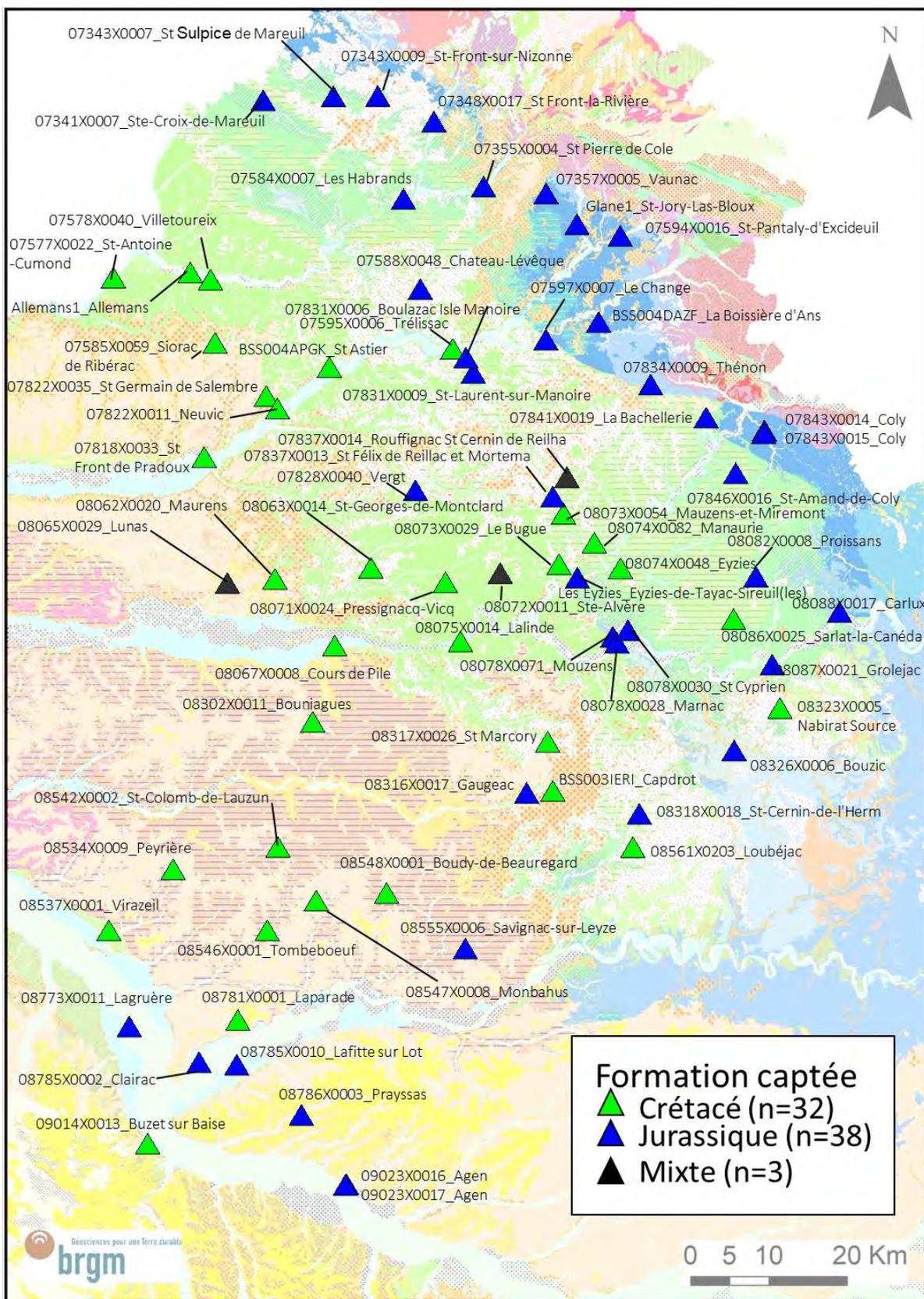


Figure 2 : localisation des 76 essais par pompage réinterprétés.

Valorisation des essais par pompage dans les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique du Bassin nord aquitain – Projet Eaux-SCARS

n°BSS	X_L2e	Y_L2e	Nom forage ou lieu-dit	Commune	Année forage	Profondeur (m)	Niveau capté (m) (crépines ou non tubé)	Géol. captée	Date essai (longue durée)	Durée essai (min)	Débit (m3/h)	Source	
07343X0009	465739	2054493	Puybarrouseau	St-Front-sur-Nizonne	1998	276	123-276	BACX + BAJO	Jurassique	24-31/03/98	10260	100-120	S.H.E., 1998a
07578X0040	444299	2030705	Prairie de Bonafon	Villetouzeix	2002	372	104-372	COST + TURO	Crétacé	27/08-02/09/02	8790	150-170	S.H.E., 2003
07828X0040	470555.9	2003425.8	Pont Romeu	Vergt	2004	1041	413-1041	KIMM + BACX + BAJO	Jurassique	20/09-10/10/04	27825	100-208	S.H.E., 2006a
07843X0014	515286	2011163	Coly B66	Coly	2002	155	70-155	BAJO	Jurassique	14-23/01/02	12420	99-201	S.H.E., 2002a
07843X0015	515205	2010803	Coly B104	Coly	1997	175	100-175	BAJO	Jurassique	20-26/11/01	8903	200-263	S.H.E., 2002a
08065X0029	446462	1991405	Vigier	Lunas	1999	646	178.4-646	COST + TURO + KIMM + BACX	Mixte (Jurassique-Crétacé)	17-21/05/99	5460	130-190	S.H.E., 1999b
08071X0024	474406	1991517	Piques	Pressignac-Vicq	1990	184	tubé non-cimenté à partir de 40 m; crép.: 75.6-80.1; 95.4-99.7; 115.2-119.5; 135-148; 154.6-173.7	COST	Crétacé	13-15/05/2010	2924	12-57	S.H.E., 2010
08078X0071	495846	1984447	Souleillat	Mouzens	2008	746	451-746	KIMM + BACX + BAJO	Jurassique	03-07/02/2008	5766.61	150	S.H.E., 2011
08318X0018	499255	1961520	Maison Neuve - La Mouline	St-Cernin-de-Fhem	1995	703	225-703	KIMM + BACX + BAJO	Jurassique	19-23/10/98	5490	88-147	S.H.E., 1999a
08547X0008	457850	1950290	Aux Biards	Monbahus	2008	211	179-209	COST	Crétacé	15-18/12/2008	4200	14.3-18	Mazurier et al., 2009a
08785X0002	442831	1929358	Broc	Clairac	1974	291.3	250-291.3	KIMM	Jurassique	04-06/04/1974	2880	110-130	BSS
09023X0016	461712	1913553	Agen-Rouquet 1	Agen	1990	400	327-400	BACX	Jurassique	18-22/08/98	5880	318	BSS
07588X0048	471190	2029501	La Rebrière des Armagnacs - Ouvrage de reconnaissance	Chateau-Lévêque	2001	548	295-528.2	BACX + BAJO	Jurassique	19-23/03/01	5940	125-244	S.H.E., 2001a
07597X0007	487277	2022956	La Prade	Le Change	1991	330	147.8-330	BACX	Jurassique	26/09-02/11/1991	7001	60-257	BSS
07831X0009	477982	2018653	Moulin de Dague	St-Laurent-sur-Manoire	1990-1998	534.5	287.5-534.5	BACX	Jurassique	27/07-05/08/1998	12960	122-160	S.H.E., 1998b
07846X0016	511606	2005653	La Grande Peytivie	St-Amand-de-Coly	2001-2002	517	283-498	BACX + BAJO	Jurassique	07-11/06/2002	5850	115-125	S.H.E., 2002b (pas de ref rapp.)
08316X0017	484807	1964233	Ségalaissou - Ouvrage de reconnaissance	Gaugeac	1999-2000	800	639.5-800	BACX + BAJO	Jurassique	22-30/10/2000	11180	291-303	S.H.E., 2000 (pas de ref rapp.)
08548X0001	466854	1951261	Malaret	Boudy-de-Beauregard	1971	315	215-315	COST	Crétacé	08-08/05/1971	2880	134-142	BSS
08537X0004	431272	1946436	Les Carbonnières Peyroulle	Virazell	1975	250	188-195	COST	Crétacé	27-28/11/1975	1990	157-163	BSS
08534X0009	439508	1954350	Grand-Guilem	Peyrière	2008	750	590-750	TURO	Crétacé	02-05/02/2009	4320	23-24	Mazurier et al., 2009a
08773X0011	433884	1933983	Moulot	Lagnère	1989	258	236-258	TITH	Jurassique	27-30/03/1989	4320	147-170	BSS
08786X0003	455964	1922528	Neguenu	Prayssas	1985	640	547.24-640	BACX	Jurassique	11-13/12/1985	3175	151-143	BSS
08082X0008	514186	1992253	Moulin de Fageat	Proissans	1991	240	212-240	BACX	Jurassique	03-10/02/1999	10095	65-48	S.H.E., 199x (pas de ref rapp.)
08067X0006	460221	1983307	Lil Fonds	Cours de Pile	1970?	source	0.85-12	Campanien (à vérifier)	Crétacé	01-03/10/2001	2880	130-180	S.H.E., 2002c
08542X0002	452950	1957229	Maurillac	St-Cornil-d'Alvey	1973	250	174.5-250	COST	Crétacé	21-23/06/1973	2880	251-257	BSS
08062X0020	452558	1991956	Bardicales	Maurens	1989	528	149-528	COST + TURO	Crétacé	12-15/10/1989	4627.94	47-161	S.H.E., 2006b
08072X0011	481430	1992691	Falqueyret	Ste-Alvère	1992	703	230-442, 478.3-703	COST + TURO + KIMM + BACX	Mixte (Jurassique-Crétacé)	41192	240	93.2	Calligée, 2012
07841X0019	507815	2012858	Charnailles	La Bachellerie	1995	329	205-300	BAJO	Jurassique	31/07-04/08/1995	5233.34	35-56	BSS
09023X0017	461592	1913443	Agen-Rouquet 2	Agen	1991	407	324.88-407	BACX	Jurassique	janv 1991?	4440.5	314	BSS
07594X0016	496815.5	2036401.5	La Pinsonnelle, les Baysses	St-Parthuy	1987	80	35-80	BAJO	Jurassique	02-03/07/1987	1610	16-81	BSS
08063X0014	464864	1993387.4	Les Mails	St-Georges-de-Montclard	291	100-291	COST	Crétacé	30/08-02/09/1988	4640	52-135	BSS	
08073X0029	488959.5	1993849.9	Cantéreg	Le Bugue	55	31-53	COST	Crétacé	18-26/09/1975	11535	46-78	BSS	
07834X0009	500706.3	2017124.6	Les Clauds	Thénon	154	75-80, 100-154	COST	Crétacé	02-05/12/1985	3900	42-80	BSS	
08086X0025	511329.2	1986746.5	Tanneries	Sarlat-la-Canéda	111	84-106	TURO	Crétacé	13-15/10/1976	2515	59-70	BSS	
07595X0006	475334.3	2021756.4	Laborie des Mounards	Trelissac	35	5.8-35	COST	Crétacé	08-09/11/1971	1435	88-100	BSS	
08561X0023	498431.3	1957188.5	Le Cros	Loubjac	172	15-25, 40-55, 100-110, 120-130	COST + TURO	Crétacé	32477	520	22-51	BSS	
08326X0006	511407.2	1969736.5	Fontaine de Bouzac	Bouzac	400	100-400	KIMM + BACX	Jurassique	09-12/04/1991	4335.28	40-136	BSS	
08555X0006	476955	1944071.4	Monplaisir	Savignac-sur-Leyze	654	412-645	KIMM + BACX	Jurassique	01-04/02/1991	4421.47	109-138	BSS	
08781X0001	447802	1934817.9	Beausoleil	Laparade	1977	355	196-271	TURO	Crétacé	17-20/10/1977	4560.01	54-120	BSS
07348X0017	472931	2051171	Les Grandes Terres	St Front-la-Rivière	1990	202	102-168; 186-200	BAJO + A	Jurassique	19-21/11/90	4320	50	BSS
07585X0059	444888	2022537	La Sinsonnie	Siorac de Ribérac	2006	475	170-475	TURO	Crétacé	26-29/06/2006	4260	60	BSS
07818X0033	443481	2007735	Font Bellisse	St Front de Pradoux	1991	558	196-558	TURO	Crétacé	25-27/09/1991	6030	105-125	BSS
07822X0035	451445	2015650	La Boureille	La Boureille	2004	517	308-517	TURO	Crétacé	11-15/03/2004	6000	50	BSS
07837X0013	486161	2002626	Les Trois Fonts	St Félix de Reillac et Mortemart	1986	342	105-342	TURO+BACX	Jurassique	01-03/07/1986	2685	368 80	BSS
08074X0082	493485	1999643	Cap del Roc, Cheylard	Manaurie	inconnue	74	34.5-65.5	TURO	Crétacé	43738	1100	40	BSS
08078X0028	496379	1983705	Fort Marion	Marnac	1986	81.5	41.2-46; 45.6-80.0	TITH+KIMM	Jurassique	26-27/04/2004	1340	7 à 10	BSS
08087X0021	516277	1980840	St de pompage, Le Port	Groléac	1990	349	100-349	BACX	Jurassique	17-20/12/90	4000	74.6	BSS
08088X0017	524916	1987678	Les Teilles	Carlux	1989	271	98-271	BACX	Jurassique	20/05/1989, pompage de 45h le 05/06/89 à 124-266	2610	73-112	BSS
07341X0007	451053	2053963	La Chabrouille	Sainte-Croix-de-Mareuil	1991	431	130-431	KIMM + BACX	Jurassique	28/05/91	630	42-72	BSS
07343X0007	460050	2054455	La forge de Rudeau	Saint Sulpice de Mareuil	1988	170	85-170	BACX	Jurassique	02-05/05/1988	3745	54-175	BSS
07577X0022	431856.3	2030964.9	Le grand champ	Saint-Antoine-Cumond	1989	430	145-430	COST + TURO	Crétacé	24-27/10/1989	26100	44-130	BSS
07584X0007	469029.7	2041180.1	Brantome	Les Habrands	1990	189	100-189	BACX	Jurassique	27-29/03/1990	2620	158-187	BSS
07837X0014	489970	2005119	Forage de Rouffignac	Rouffignac St Cernin de Reillac	1988	535	160-535	COST + TURO + KIMM + BACX	Mixte (Jurassique-Crétacé)	02-04/12/1986	2760	21-36	BSS
08078X0030	497791.8	1985315.3	Le Malpas	Saint Cyprien	1988	253	120-253	KIMM + BACX	Jurassique	05-07/10/2016	2860	92-100	S.H.E. (2016/2017)
Allemands1	441708	2031647	Allemands	Allemands	2022	344	251.8-344.9	COST + TURO	Crétacé	26-29/09/2022	4260	130 ?	
Glane1	491284	2037903	La Glane	Saint-Jory-Las-	2022	125	85.9-125	BACX + BAJO	Jurassique	07-21/03/2022	20080	80-75 ?	
Les Eyzies (51-483)	491315	1992100	Les Eyzies	Eyzies-de-Tayac-Sireuil(les)	2020	789	51-483	BACX	Jurassique	30/03-01/04/2021	2875	29-34	RDE 24, 2021
Les Eyzies (51-789)	491315	1992100	Les Eyzies	Eyzies-de-Tayac-Sireuil(les)	2020	789	51-789	BACX + BAJO	Jurassique	12-14/04/2021	2725	80-75	RDE 24, 2021
Les Eyzies (171-756)	491315	1992100	Les Eyzies	Eyzies-de-Tayac-Sireuil(les)	2022	789	171-756	(Bajo à Kimm.Inf.)	Jurassique	05-14/04/2022	12852	71-111	RDE 24, 2022
07355X0004	479293	2042785	L'Arase	St Pierre de Cole	1988	94	56-94	Bathonien	Jurassique	08/10/2020	370	40-100	BSS
07357X0005	487313	2041878	Las Combas	Vaunac	1989	180	135-180	Bajocien	Jurassique	03-09/10/1989	4330	38-105	S.H.E., 2001b +BSS
07822X0011	452881	2014006	Planèze	Neuvic	1986	420	55-60, 120-125, 130-420	55-60 (Camp.), 120-125 (Camp.), 130-420 (Camp.), COST, Tur	Crétacé	09-12/12/1986	4300	70-185	BSS
07831X0006	477030	2020624	F - Abattoirs SOBEVAL	Boulazac Isle Manoire	1985	273.5	157-273.5	CAOX (Callovo-Oxfordien)	Jurassique	31/01-05/02/2018	8530	40-45	S.H.E., 2018
08074X0048	496847.4	1993329.6	Font de Gaume	Eyzies	1991	90.5	39-190.5	TURO	Crétacé	01-04/07/1991	4140	40-43	BSS
08075X0014	476330	1983852	SauveBoeuf	Lalinde	1988	209	152-209	Coniacien	Crétacé	19-21/01/1988	3045	75-288	BSS
08302X0011	457400	1973445	Les Courrèges	Bouinagues	1989	270	174-269	Companien	Crétacé	19-24/01/1989	4385	62-83	Chigot, D., 1989
08546X0001	451567	1946433	Gardelle	Tornbeouef	1978	315	202.5-315	COST	Crétacé	02-03/03/1978	1680	45-240	BSS
08755X0010	447665	1929038	La Gravette	Laffite sur Lot	1987	571	340-571	KIMM + BACX	Jurassique	44221	220	80-110	BSS
09014X0013	436243	1919816	Marchepin	Buzet sur Baise	1991	500	388-407,413-440	Escôleninf + Tur	Crétacé	04/11/2020	470	17-103	BSS
BSS004APGK (90-319)	459532	2019383	La Combette	Saint Astier	2017	181	57-181	?	Crétacé	18-19/04			

4. Méthodologie utilisée pour interpréter des essais par pompage

La méthode mise en œuvre est décrite par le schéma suivant (Figure 3). Elle sera utilisée, dans la mesure du possible en fonction de la qualité des données, pour réinterpréter les essais.

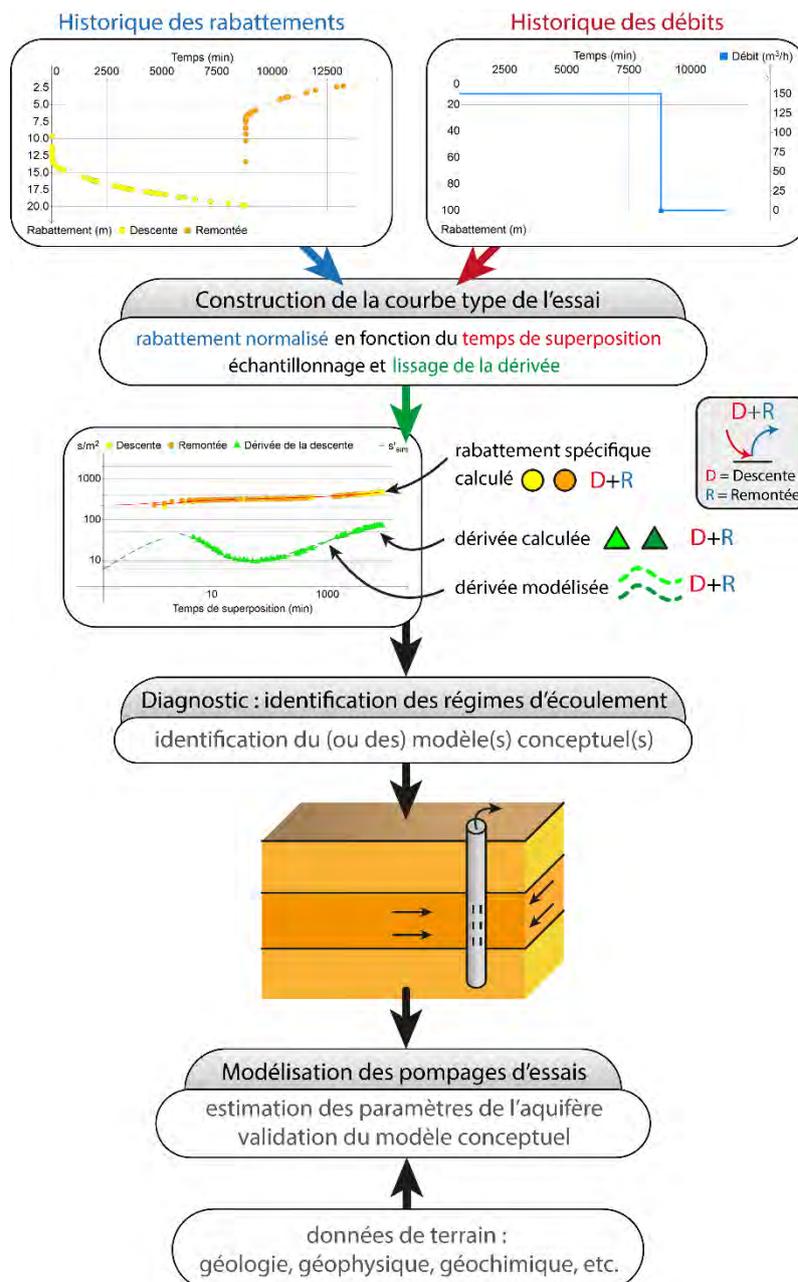


Figure 3 : méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation de pompages d'essai. Utilisation de la dérivée du rabattement pour diagnostiquer l'essai.

L'interprétation des essais par pompage dans les formations fracturées ou dans les formations sédimentaires est souvent complexe, conséquence de la géométrie des réseaux de fractures,

des relations fracture-matrice, de la connexion de ces réseaux avec des aquifères de surface, de l'empilement et de la géométrie de séries à perméabilité différente lorsqu'il s'agit de formations sédimentaires, de l'influence des cours d'eau, de canaux, etc.

Afin de déterminer les différentes composantes d'écoulement associées aux propriétés hydrauliques des aquifères, il est nécessaire de porter une attention particulière aux essais par pompage et de poser un diagnostic aussi fin que possible sur les essais avant toute modélisation. Le diagnostic repose sur l'interprétation des pentes de la courbe de dérivée logarithmique des rabattements ($\partial s / \partial \ln t$; à la descente ou à la remontée des niveaux) qui a l'avantage de représenter tous les régimes d'écoulement sur un seul et même graphique bi-logarithmique (Bourdet et al., 1983, 1989, 2002 ; Spane and Wurstner, 1993 ; Bourdarot, 1996 ; etc.).

L'avantage de cette méthode est que pour chaque type et/ou géométrie d'aquifère mais aussi pour chaque type de configuration forage-aquifère (captage partiel de l'aquifère par exemple), il correspond un certain régime ou une succession de certains régimes d'écoulement qu'il est en général possible d'identifier sur la courbe de dérivée (Deruyck et al., 1992 ; Schlumberger, 2002 ; Renard et al., 2009 ; Maréchal et al., 2014). Par exemple, un écoulement radial sera caractérisé par une dérivée formant un plateau (pente nulle), l'atteinte de deux limites étanches parallèles par une pente de $\frac{1}{2}$, quatre limites étanches orthogonales (ou un autre type de réservoir fermé) par une pente unitaire, un captage partiel de l'aquifère par une pente de $-\frac{1}{2}$, un effet de drainance par une pente négative infinie, etc.

La Figure 4 présente comme exemple les différents types d'écoulement que l'on observe lors d'un pompage dans un puits captant partiellement un aquifère limité dans l'espace et soumis à un phénomène de drainance. Au fur et à mesure, l'effet capacitif du puits, celui lié au captage partiel de l'ouvrage, ceux liés aux limites étanches et l'effet de drainance sont perçus par l'essai.

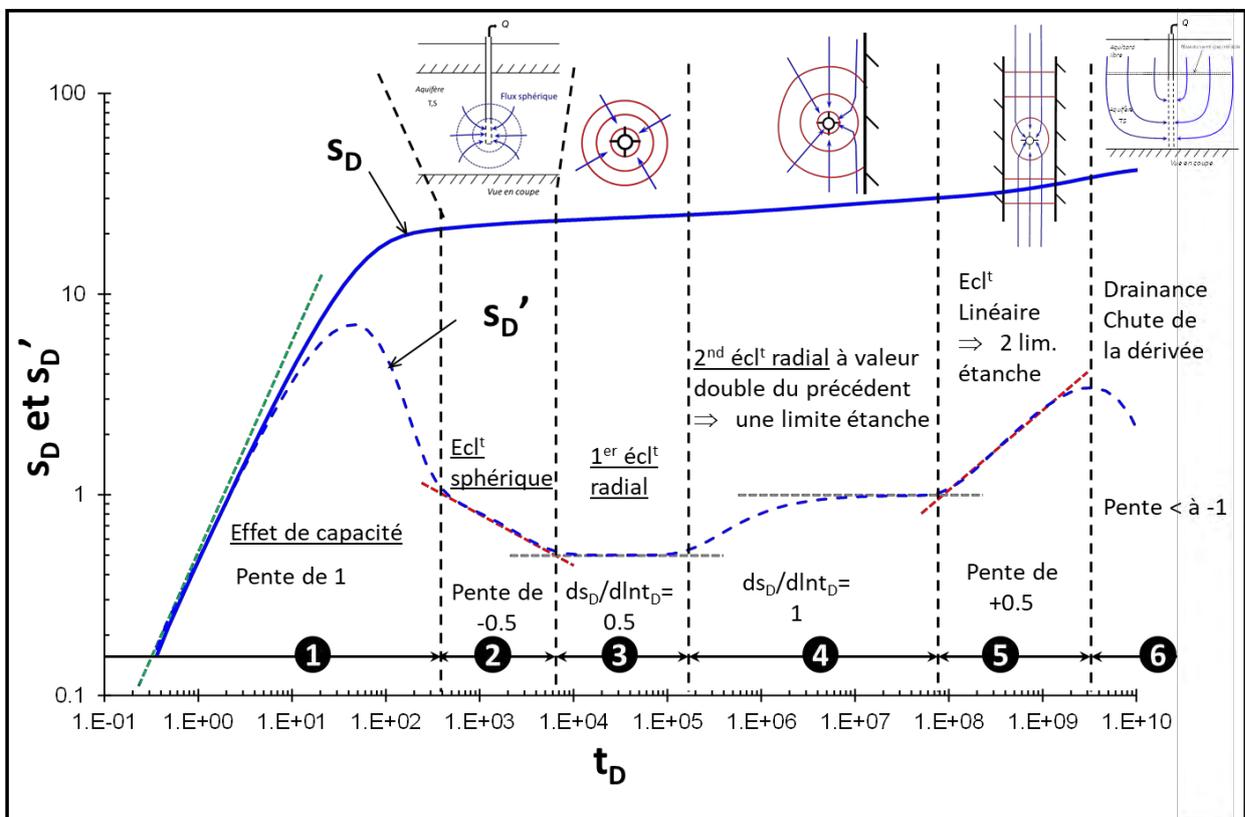


Figure 4 : exemple de succession des régimes d'écoulement lors d'un pompage d'un puits captant partiellement un aquifère limité dans l'espace et soumis à un phénomène de drainance. t_D : temps adimensionnel, s_D (courbe pleine) et s_D' (courbe tiretée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel).

$$t_D = tT/(r^2S) \text{ et } s_D = 2\pi Ts/Q \text{ (} t : \text{ temps, } T : \text{ transmissivité, } S : \text{ emmagasinement, } r : \text{ rayon, } Q : \text{ débit de pompage et } s : \text{ rabattement).}$$

Le calcul de la dérivée nécessite souvent un traitement par lissage afin d'augmenter le rapport signal sur bruit (Bourdet et al., 1983), le bruit étant engendré par des micro-variations du débit et/ou par la sensibilité de l'outil de mesure des niveaux d'eau (sonde manuelle, sonde automatique). Ce traitement n'altère en rien la qualité des données originales.

Une fois la courbe des dérivées construite, le diagnostic consiste à identifier les différents régimes d'écoulement et à en déduire les propriétés du forage (effet de capacité, effet de skin,...), de l'aquifère (isotrope, anisotrope, fracture verticale, double porosité, etc.), de sa géométrie (effets de limites), des éventuelles relations entre l'aquifère capté et d'autres aquifères (effet de drainance par exemple) et éventuellement la mise en évidence d'écoulements fractionnaires comme par exemple dus à la forte perméabilité d'un drain karstique. Enfin, une fois le diagnostic posé, l'estimation des paramètres de l'aquifère est réalisée à partir du modèle mathématique le plus approprié. Puis, le modèle conceptuel de l'aquifère est validé en jugeant de la pertinence de la modélisation et de l'adéquation des résultats obtenus avec les informations géologiques disponibles sur la formation testée. À partir de la courbe des dérivées, il est déjà possible d'estimer les paramètres hydrodynamiques, en particulier la transmissivité et la perméabilité de la formation captée, lorsqu'un écoulement radial cylindrique est identifié.

De plus, lorsque le débit varie de façon significative durant l'essai, il est nécessaire de prendre en compte ces variations dans le calcul. Le calcul de la dérivée sera donc réalisé à partir des rabattements spécifiques (normalisation par rapport aux variations de débit) et du temps de superposition (fonction aussi des variations de débit). On obtient ainsi une courbe type de l'essai, c'est-à-dire pour un débit unitaire, qui est dérivée et interprétée suivant la méthode précédemment décrite.

Il est rappelé que le diagnostic seul de l'essai n'est pas suffisant pour interpréter un essai, pour au moins deux raisons, la première parce qu'une erreur d'appréciation peut être faite, et la deuxième, car souvent le diagnostic peut donner plusieurs signatures hydrodynamiques et donc une non unicité du choix du modèle à utiliser. Le diagnostic doit donc être validé par l'exercice de modélisation. Le diagnostic est donc un outil d'interprétation qui vise à aider la modélisation de l'essai.

On notera aussi que cette méthode par les dérivées des rabattements ne remplace pas la méthode classique qui consiste à examiner l'allure du rabattement dans un graphe semi-logarithmique ou autre. Bien que beaucoup moins précise, cette méthode sera parfois le seul recours lorsque les données de l'essai sont trop éparses ou de qualité médiocres, celles-ci donnant des valeurs de dérivée trop bruitées et ininterprétables. La méthode par les dérivées est donc complémentaire.

5. Modèles mathématiques utilisés pour interpréter les essais

5.1. MODELE D'AQUIFERE MULTICOUCHE

Ce modèle mathématique, valable pour un ouvrage vertical, est un modèle générique de type multicouche pouvant prendre en compte un certain nombre de paramètres, notamment l'effet de limites étanches ; jusqu'à quatre limites orthogonales permettant de modéliser les rabattements au sein d'un aquifère fermé. Ce modèle est une adaptation de la solution de Hunt et Scott (2007) où le niveau piézométrique de l'aquifère de surface, défini par une transmissivité T_0 et un emmagasinement S_y , diminue durant le pompage. Dans le cas où l'aquifère de surface est un aquitard où le niveau piézométrique n'évolue pas durant l'essai ($T_0 \rightarrow \infty$ ou $S_y \rightarrow \infty$), cette solution est identique à la solution de Hantush (1964). Notons que cette solution peut être utilisée dans le cas où l'aquifère drainé est situé sous l'aquifère pompé.

Ce modèle a été étendu par le BRGM aux notions d'anisotropie 3D de l'aquifère, de limites étanches, de captage partiel de l'ouvrage et aux effets de puits (effet de capacité de puits, pertes de charge). Il présente les caractéristiques suivantes :

- un aquifère pompé surmonté d'un aquifère séparé du premier par un semi-perméable (aquitard) ;
- prise en compte d'une anisotropie de perméabilité (ou transmissivité) 3D. L'anisotropie verticale est définie par le ratio T_h/T_v (T_h : transmissivité horizontale et T_v , verticale), et l'anisotropie dans le plan horizontal x,y par le ratio T_{yy}/T_{xx} (T_{yy} : selon l'axe des y et T_{xx} selon l'axe des x). Cette option n'a été pas utilisée car nécessitant plusieurs piézomètres et/ou pas nécessaire à la vue des données ;
- forage et piézomètre captant partiellement l'aquifère pompé, et piézomètre captant l'aquifère drainé (non pompé) ;
- jusqu'à quatre limites étanches orthogonales. Deux parallèles à l'axe des x et y et deux perpendiculaires ;
- positionnement quelconque du puits et du piézomètre dans l'aquifère ;
- et prise en compte des effets liés au puits (capacité du puits, pertes de charge quadratiques).

Notons que ce modèle permet de résoudre un grand nombre de situations, allant du modèle le plus simple (aquifère de type Theis ; aquifère homogène isotrope d'extension infinie) au plus complexe décrit par la figure suivante.

Les figures suivantes (Figure 5 et Tableau 2) présentent le modèle et ses paramètres.

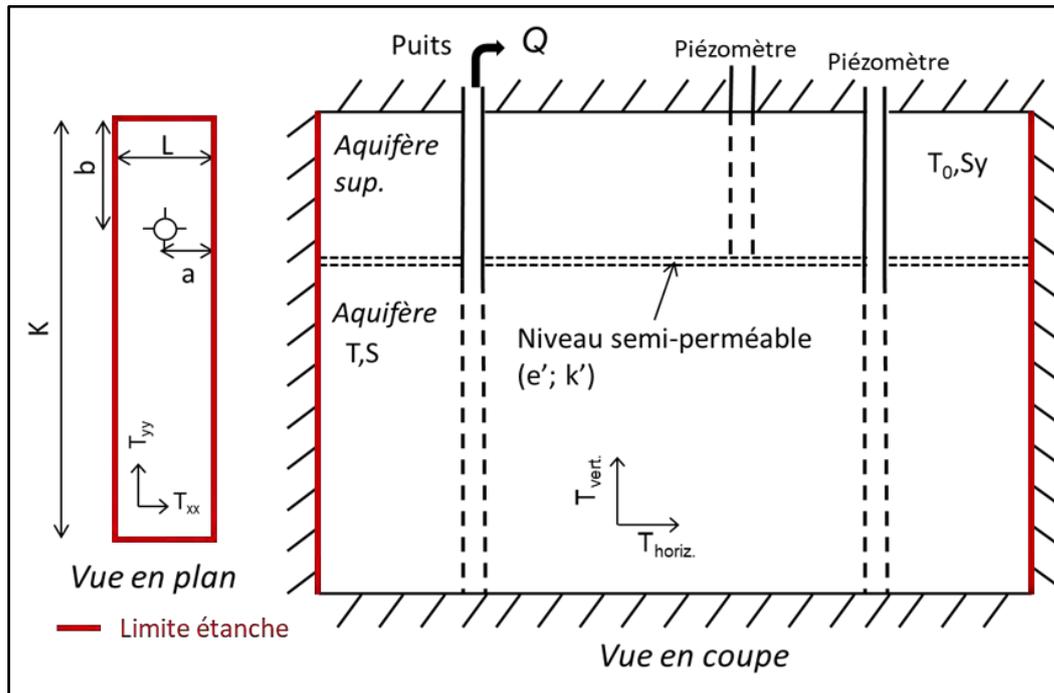


Figure 5 : modèle à effet de drainage d'un aquifère supérieur, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre).

Distance	r (m)
Transmissivité de l'aquifère capté	T (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère capté	S (-)
Épaisseur de l'aquifère	B (m)
Perméabilité de l'éponte (aquitard)	k' (m/s)
Épaisseur de l'éponte	e' (m)
Transmissivité de l'aquifère de surface	T_0 (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère de surface	S_y (-)
Longueur du puits	l (m)
Dist. haut de la partie captée – toit de l'aquifère pour le puits	d (m)
Longueur du piézomètre	l' (m)
Dist. haut de la partie captée – toit de l'aquifère du piézomètre	d' (m)
Anisotropie de transmissivité verticale	T_h/T_v (-)
Anisotropie de transmissivité dans le plan x,y	T_{yy}/T_{xx} (-)
Distance à la 1 ^{ère} limite (a)*	Dist. lim. 1 (min et m)
Distance à la 2 ^{ème} limite ($L-a$)*	Dist. lim. 2 (min et m)
Distance à la 3 ^{ème} limite (b)*	Dist. lim. 3 (min et m)
Distance à la 4 ^{ème} limite ($K-b$)*	Dist. lim. 4 (min et m)
Capacité du puits	Rc (m)
Pertes de charge quadratiques	C ($m^{-3}s^2$)

Tableau 2 : paramètres du modèle « aquifère multicouche ». * Les distances aux limites sont toujours données par rapport au puits de pompage.

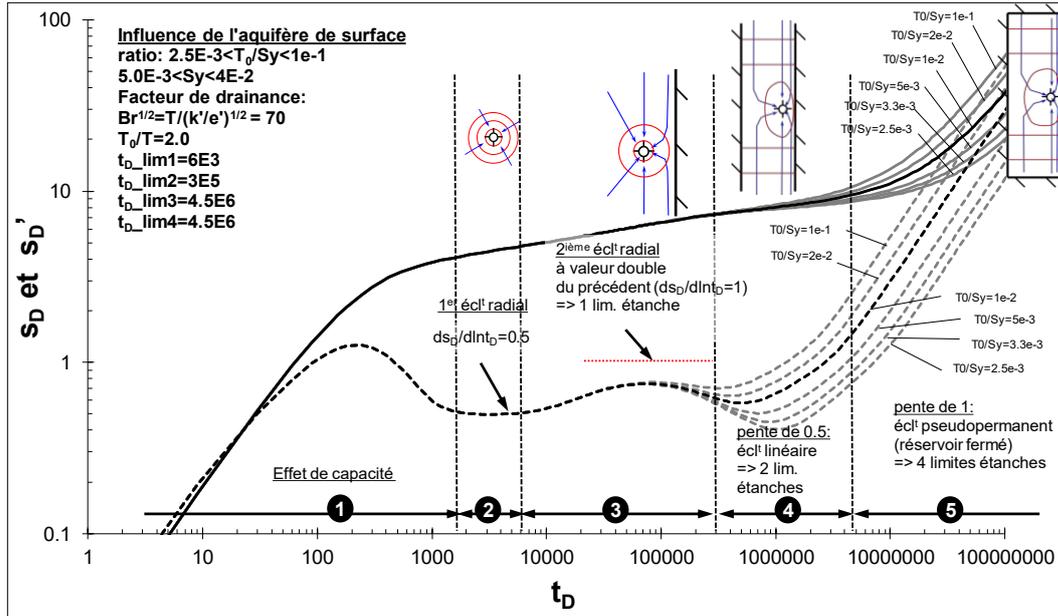


Figure 7 : courbes types du modèle à effet de drainage verticale : influence de l'emmagasinement de l'aquitard (Sy).

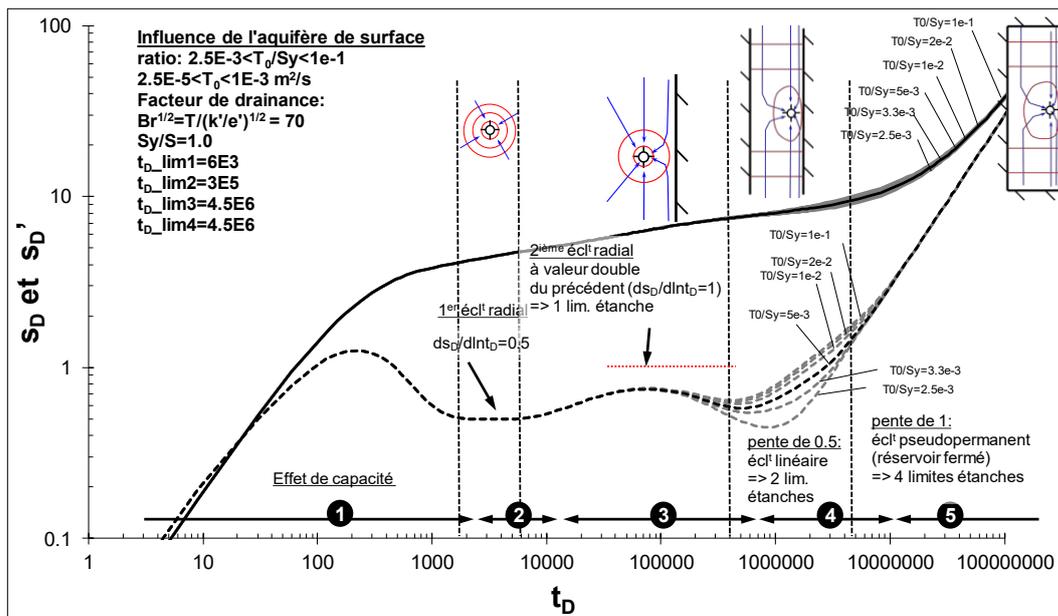


Figure 8 : courbes types du modèle à effet de drainage verticale : influence de la transmissivité de l'aquitard (T_0).

Les figures ci-dessous présentent un exemple de diagnostic et modélisation suivant ce modèle. Il s'agit des pompages réalisés en février 2008 sur le forage 08078X0071 à Mouzens (24). Le forage, profond de 746 m, capte les formations du Jurassique (Kimméridgien à Bajocien) entre 451 et 746 m de profondeur. Les essais ont été conduits entre 202-254 m³/h (essai de 4h ; 27/02/2008) et à 150 m³/h (96h ; 03-07/02/2008). Le diagnostic des essais (Figure 9) montre, du début de l'essai à environ 9-10 min, que la dérivée décrit la fin de l'effet de capacité de puits. Puis de 10 à 20-30 min, la dérivée décrit un plateau qui correspond à l'écoulement radial où la transmissivité de l'aquifère est évaluée à environ 3x10⁻³ m²/s. De 30 à environ 1 000 min, la dérivée suit une pente de l'ordre de 0,5 typique d'un écoulement linéaire indiquant que l'aquifère capté est limité dans l'espace (deux limites étanches parallèles).

Enfin, de 1 000 min à la fin de l'essai, la dérivée diminue suggérant un effet de drainance. La Figure 10 présente la modélisation de l'essai de longue durée. Les paramètres de calage du modèle sont disponibles dans le Tableau 10.

Les résultats des autres modélisations suivant ce modèle sont disponibles en annexe (27 essais au total ; figures A-1 à A-27).

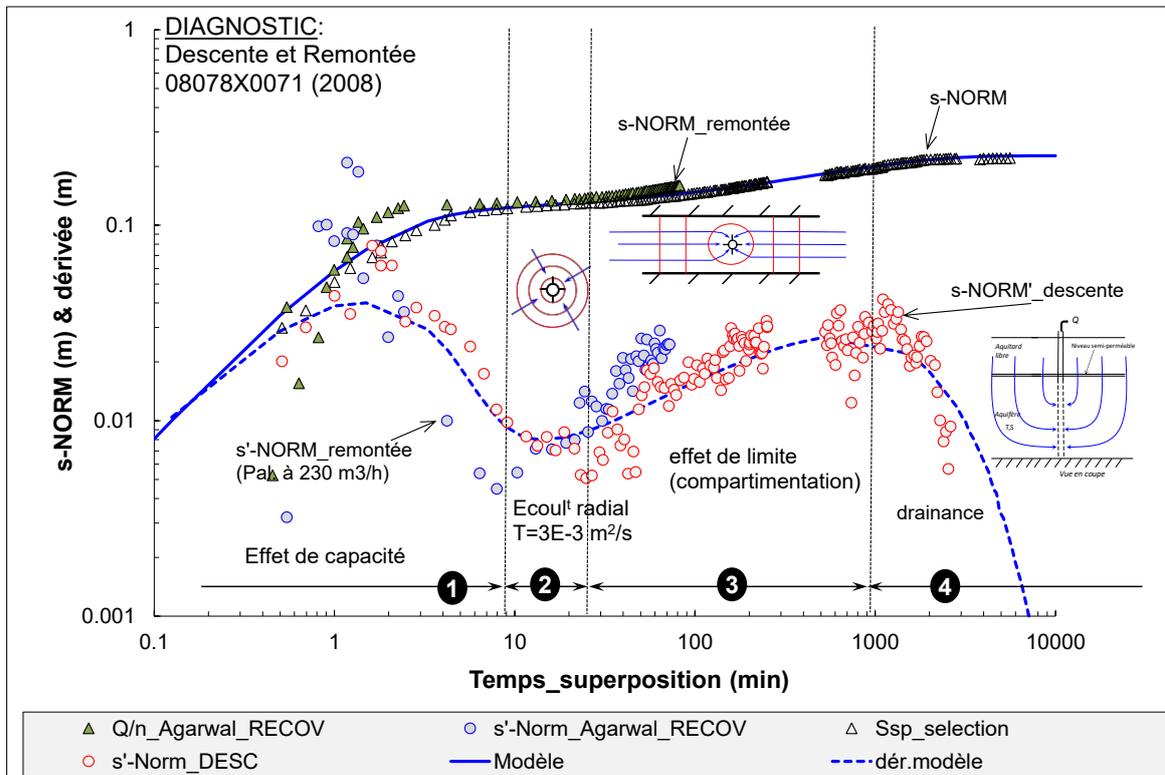


Figure 9 : diagnostic et modélisation des pompages réalisés en février 2008 sur le forage 08078X0071 (Mouzens). Modèle : aquifère multicouche.

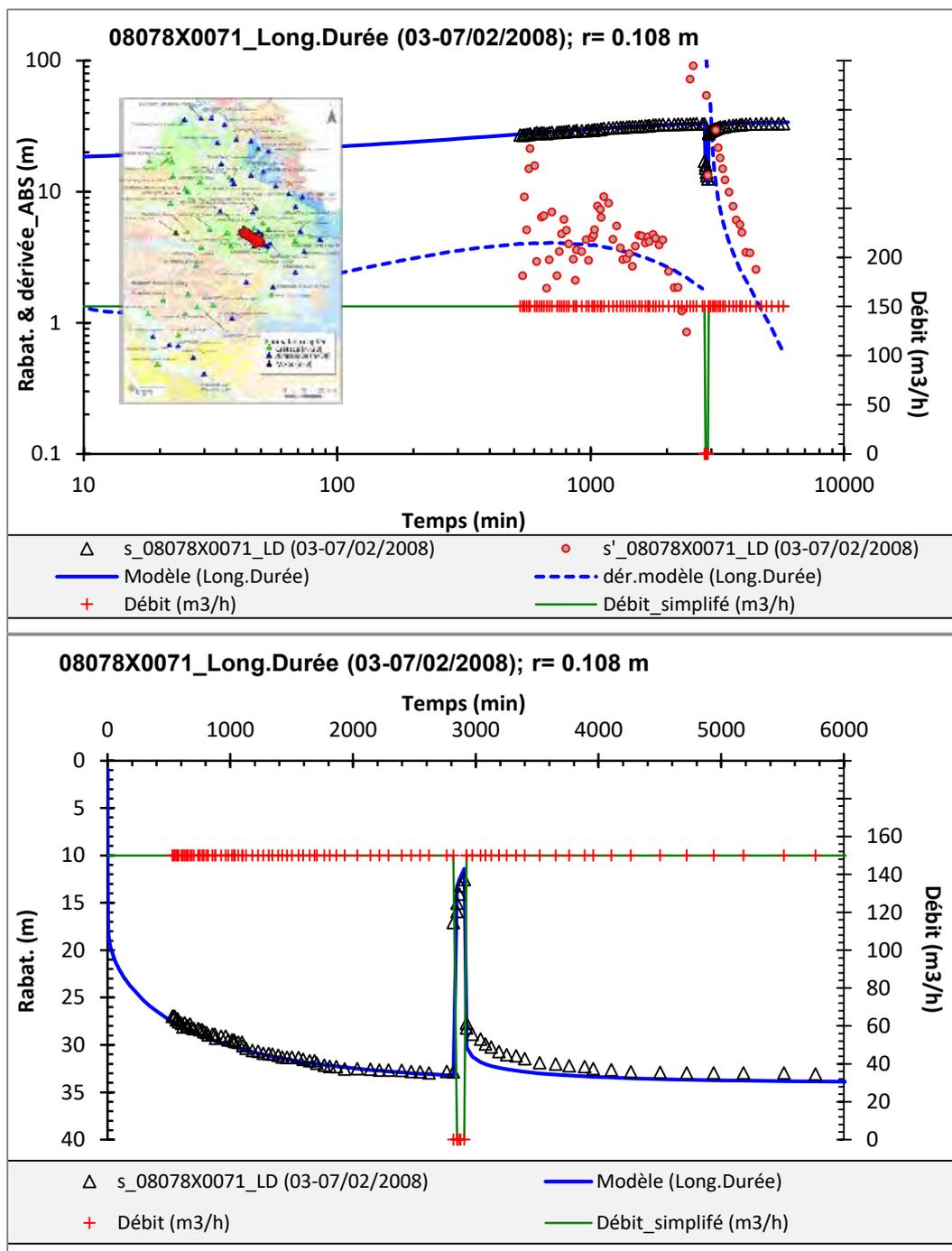


Figure 10 : modélisation de l'essai du 03-07/02/2008 sur le forage n°BSS : 08078X0071 (Mouzens).
 Modèle : aquifère multicouche.

5.2. MODELE A FRACTURE VERTICALE

Le modèle utilisé est celui de Gringarten et al. (1974). Celui-ci permet de modéliser le rabattement d'un puits interceptant une fracture verticale unique de perméabilité infinie (flux uniforme) recoupant entièrement un aquifère caractérisé par sa transmissivité et son emmagasinement. La modélisation du rabattement peut être réalisée en n'importe quel point de l'espace. Ce modèle prend en compte les effets liés au puits (capacité du puits, pertes de charge quadratiques) et peut prendre en compte les effets de limites du réservoir (non présenté ici). La Figure 11 et le Tableau 3 présentent le modèle et ses paramètres.

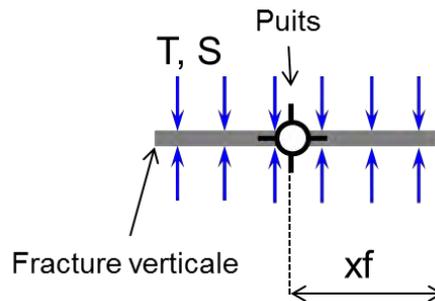


Figure 11 : solution de Gringarten et al. (1974). Fracture verticale unique recoupant tout l'aquifère (flux uniforme). Vue en plan.

Distance	r (m)
Distance au puits de pompage dans la direction x	x (m)
Distance au puits de pompage dans la direction y	y (m)
Transmissivité de l'aquifère capté	T (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère capté	S (-)
Longueur de la fracture	$2x_f$ (m)
Distance lim 1 (étanche ou alimentée)*	Dist. lim. 1 (min et m)
Distance lim 2 (étanche ou alimentée)*	Dist. lim. 2 (min et m)
Capacité du puits	Rc (m)
Pertes de charge quadratiques	C ($m^{-5}s^2$)

Tableau 3 : paramètres du modèle à fracture de Gringarten et al. (1974). * Les distances aux limites sont toujours données par rapport au puits de pompage

La Figure 12 présente la courbe type de cette solution. On notera la pente de 0,5 de la dérivée en début d'essai, caractéristique de l'écoulement de la fracture (écoulement bilinéaire) avant l'atteinte du plateau caractéristique de l'écoulement radial.

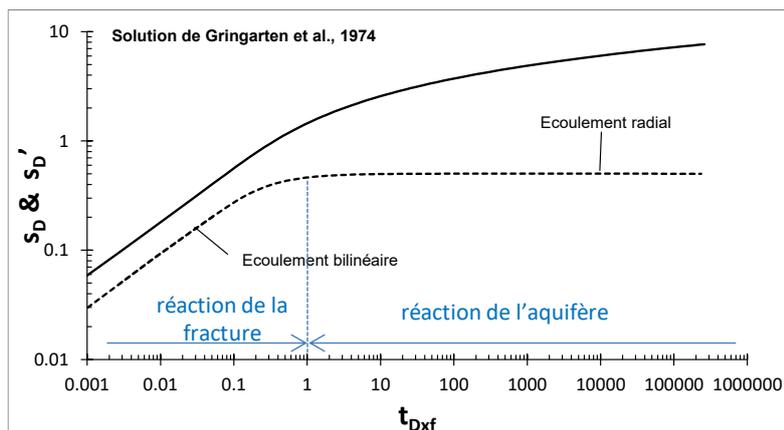


Figure 12 : courbe type de la solution de Gringarten et al. (1974).

t_{Dxf} : temps sans dimension, s_D : rabattement sans dimension. $t_{Dxf} = Tt/\chi^2 S$ et $s_D = 2\pi Ts/Q$.

Les figures suivantes présentent un exemple de diagnostic/modélisation suivant ce modèle. Il s'agit de l'essai par pompage réalisé sur le forage 08071X0024 à Pressignac-Vicq (24) du 13 au 15/05/2010. Le forage, profond de 184 m, capte les formations du Crétacé (Coniacien et Santonien) entre 76 et 174 m de profondeur. L'essai a été conduit à un débit de 20 à 56 m³/h. Le diagnostic de l'essai (Figure 13) montre que du début de l'essai à environ 130-150 min, la dérivée suit une pente de 0,5 typique d'un écoulement linéaire (ou bilinéaire) caractéristique dans ce cas de l'interception par le forage d'une fracture drainante. Puis de 150 min à la fin de l'essai, la dérivée décrit un plateau correspondant à l'écoulement radial à partir duquel la transmissivité de l'aquifère est évaluée à environ 7x10⁻⁵ m²/s.

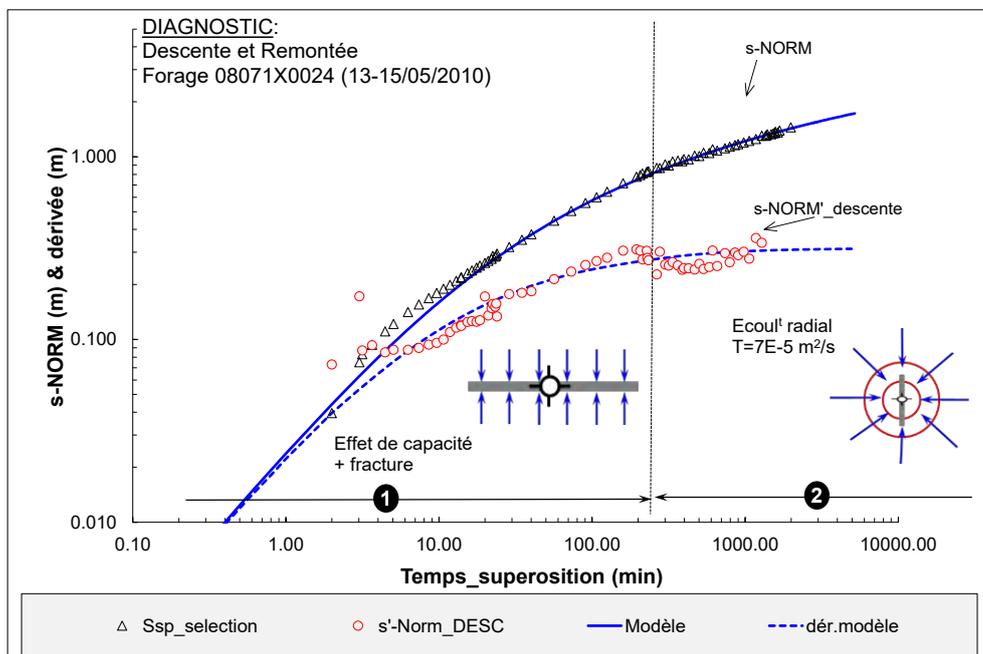


Figure 13 : diagnostic de l'essai réalisé sur le forage 08071X0024 (Pressignac-Vicq) du 13 au 15/05/2010. Modèle : fracture verticale.

La Figure 14 présente la modélisation de l'essai. Les paramètres de calage du modèle sont disponibles dans le Tableau 11.

Les résultats des autres modélisations suivant ce modèle (11 essais au total) sont disponibles en annexe (figures B-1 à B-11).

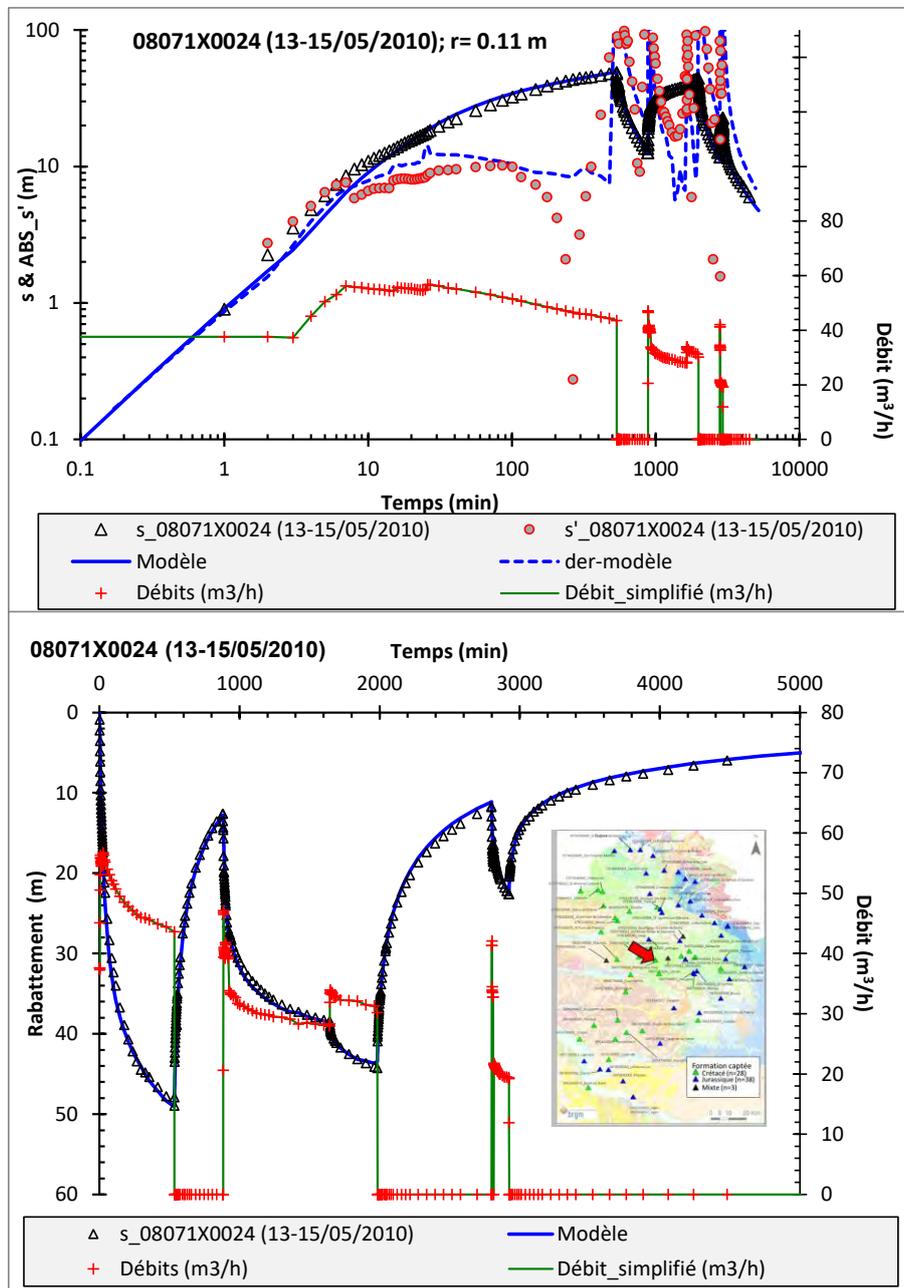


Figure 14 : modélisation de l'essai par pompage du 13-15/05/2010 sur le forage n°BSS : 08071X0024 (Pressignac-Vicq). Modèle : fracture verticale.

5.3. MODELE A FRACTURE VERTICALE ET DRAINANCE D'UN AQUIFERE SUS-JACENT (OU SOUS-JACENT)

Cette solution a été établie à partir d'une généralisation de la solution de Gringarten et al. (1974) et de la solution de Hunt et Scott (2007) (aquifère multicouche § 5.1.) proposée par Dewandel et al. (2018). Elle permet de calculer le rabattement d'un pompage situé dans une fracture recoupant partiellement ou totalement l'aquifère inférieur d'un aquifère multicouche (Figure 15). Dans cette solution, le puits de pompage intercepte systématiquement le centre de la fracture et la distribution du flux dans la fracture est uniforme. Ce modèle ne prend pas en compte les effets de limites du réservoir.

Le Tableau 4 présente les paramètres de ce modèle et la Figure 16 un jeu de courbes types pour un pompage situé dans une fracture recoupant de façon plus ou moins importante l'aquifère inférieur (ratio hf/B ; hf : hauteur de la fracture, B : épaisseur de l'aquifère inférieur).

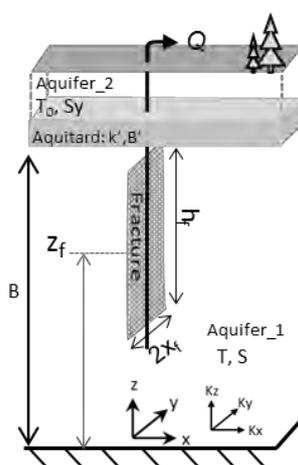


Figure 15 : fracture verticale unique recoupant partiellement ou totalement un aquifère multicouche.

Distance	r (m)
Transmissivité de l'aquifère capté	T (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère capté	S (-)
Épaisseur de l'aquifère	B (m)
Perméabilité de l'aquitard	k' (m/s)
Épaisseur de l'aquitard	B' (m)
Transmissivité de l'aquifère de surface	T_0 (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère de surface	S_y (-)
Hauteur de la fracture	hf (m)
Position verticale du centre la fracture	zf (m)
Longueur de la fracture	$2xf$ (m)
Anisotropie de transmissivité verticale	Kh/Kv (-)
Anisotropie de transmissivité dans le plan x,y	Ky/Kx (-)
Capacité du puits	Rc (m)
Pertes de charge quadratiques	C ($m^{-5}s^2$)

Tableau 4 : paramètres du modèle fracture verticale dans un aquifère multicouche.

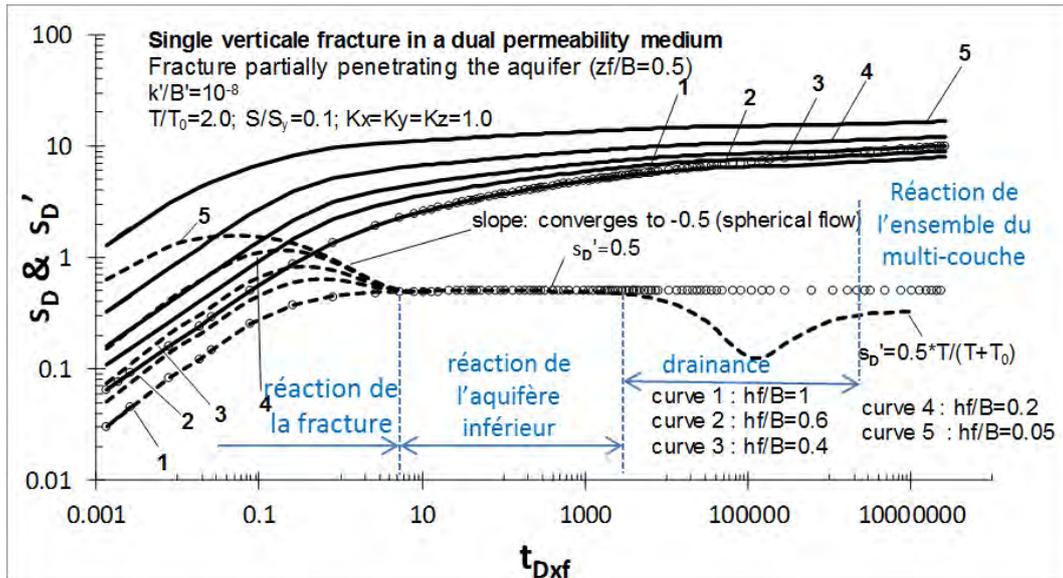


Figure 16 : courbes types d'un pompage interceptant une fracture verticale située dans un aquifère multicouche ; Dewandel et al. (2018). Fracture dans l'aquifère inférieur. Les 'ronds' dénotent la solution de Gringarten et al. (1974) ; $hf/B=1$, $k'=0$. hf : hauteur de la fracture, B : épaisseur de l'aquifère inférieur.

t_{Dxf} : temps sans dimension, sD : rabattement sans dimension. $t_{Dxf} = Tt/(x_f^2 S)$ et $s_D = 2\pi Ts/Q$.

Les figures suivantes présentent un exemple de diagnostic/modélisation suivant ce modèle. Il s'agit du pompage réalisé sur le forage n°BSS 085434X0009 à Peyrière (47) du 02 au 05/02/2009. Le forage, profond de 750 m, capte les formations du Crétacé (Turonien) entre 590 et 750 m de profondeur. L'essai a été conduit entre 23 et 24 m³/h. La Figure 17 présente le diagnostic de l'essai. Il montre du début de l'essai à environ 200-300 min, un écoulement linéaire (ou bilinéaire) caractéristique de l'écoulement dans une fracture. Puis de 300 à 2 000 min, un écoulement radial à partir duquel la transmissivité de l'aquifère est évaluée à 2,5x10⁻⁴ m²/s. Puis de 2 000 min à la fin de l'essai la dérivée diminue suggérant de la drainance en provenance de niveau supérieur (ou inférieur). La Figure 18 présente la modélisation de cet essai, les paramètres de calage du modèle sont disponibles dans le Tableau 12.

Les résultats des autres modélisations suivant ce modèle (19 essais au total) sont disponibles en annexe (figures C-1 à C-19).

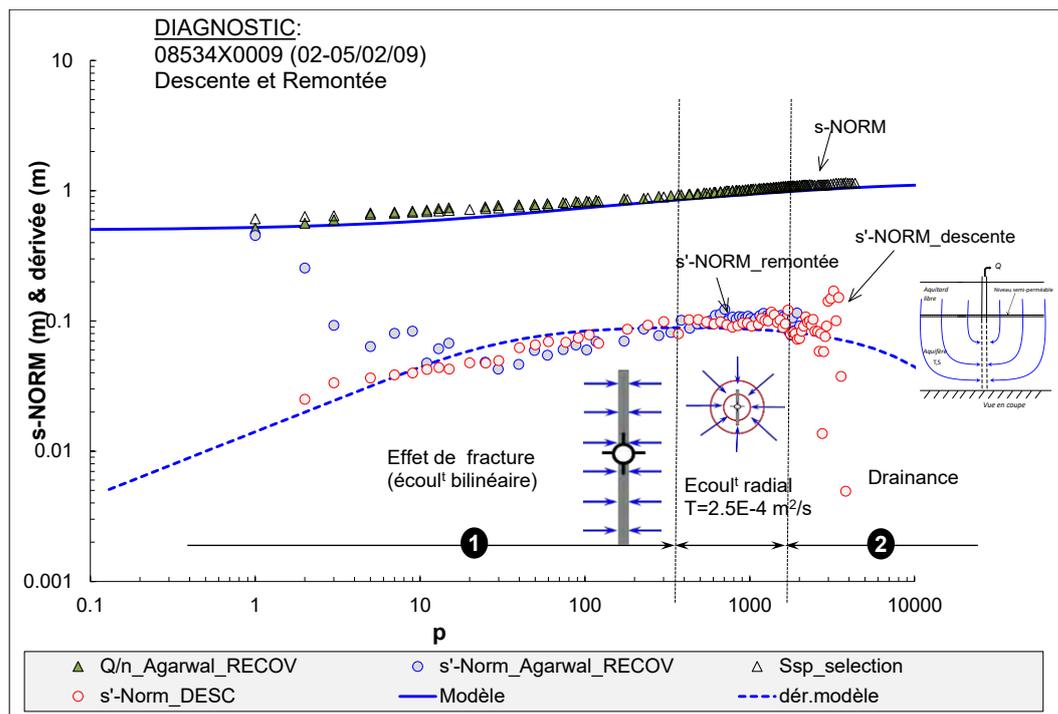


Figure 17 : diagnostic de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08534X0009 (Peyrière) le 02-05/02/2009. Modèle : fracture verticale et drainance.

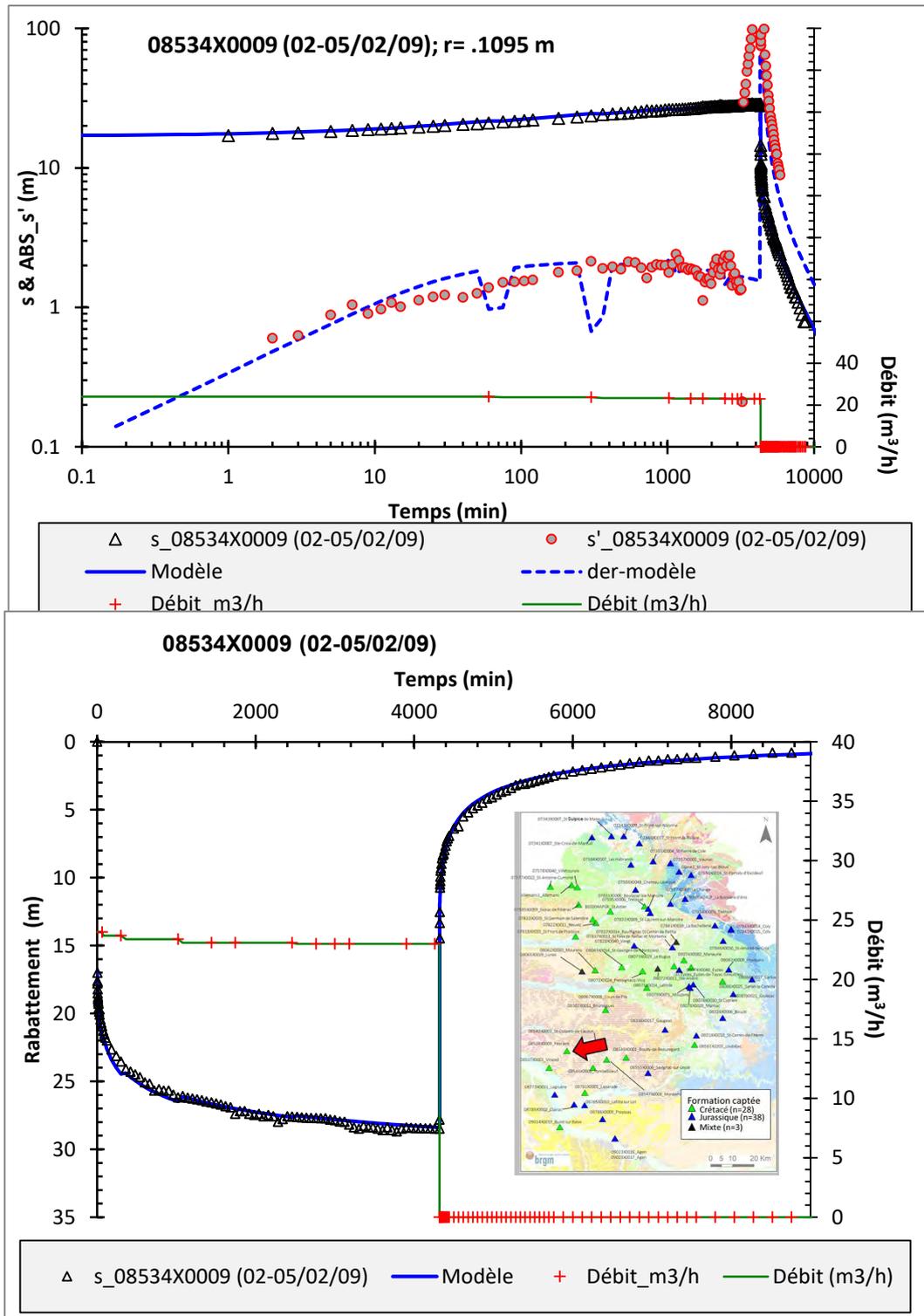


Figure 18 : modélisation de l'essai par pompage du 02-05/02/2009 sur le forage n°BSS : 08534X0009 (Peyrière). Modèle : fracture verticale et drainance.

5.4. MODELE COMPARTIMENTE LATERALEMENT, POMPAGE A PROXIMITE D'UNE ZONE PERMEABLE (OU NON)

La figure 19 décrit le schéma de calcul (Dewandel et al., 2022). Il s'agit d'un pompage situé dans un aquifère limité dans l'espace. L'aquifère pompé a pour transmissivité T_1 et emmagasinement S_1 . Le deuxième compartiment situé à une distance a du puits de pompage et qui peut matérialiser une zone de fractures verticales, est défini par sa largeur (h), sa transmissivité (T^*), son emmagasinement (S^*) et son anisotropie de transmissivité (T^*_y/T^*_x). Le compartiment le plus éloigné, de l'autre côté du compartiment de largeur finie, a une transmissivité T_2 et un emmagasinement S_2 . Ce modèle intègre aussi les effets de capacité de puits et de pertes de charge quadratiques. À noter que le compartiment central (T^* , S^*) peut être plus transmissif (cas d'une zone de fractures drainante par exemple) ou moins transmissif (zone de fractures partiellement colmatée par exemple), S^* pouvant prendre n'importe quelle valeur.

La figure 20 présente un jeu de courbes types pour différents contrastes de transmissivité et d'emmagasinement entre les compartiments. Ce modèle peut aussi prendre en compte l'interception par le puits d'une fracture verticale, dans ce cas le premier écoulement radial sera précédé d'un écoulement linéaire. Le tableau ci-dessous présente les paramètres de ce modèle.

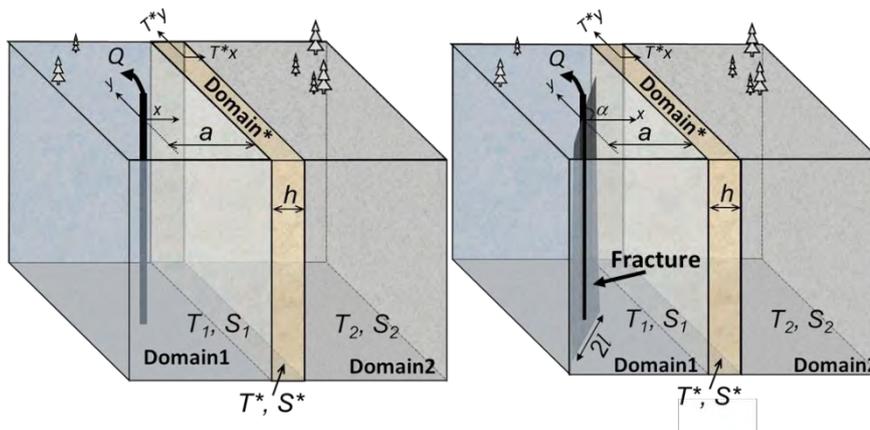
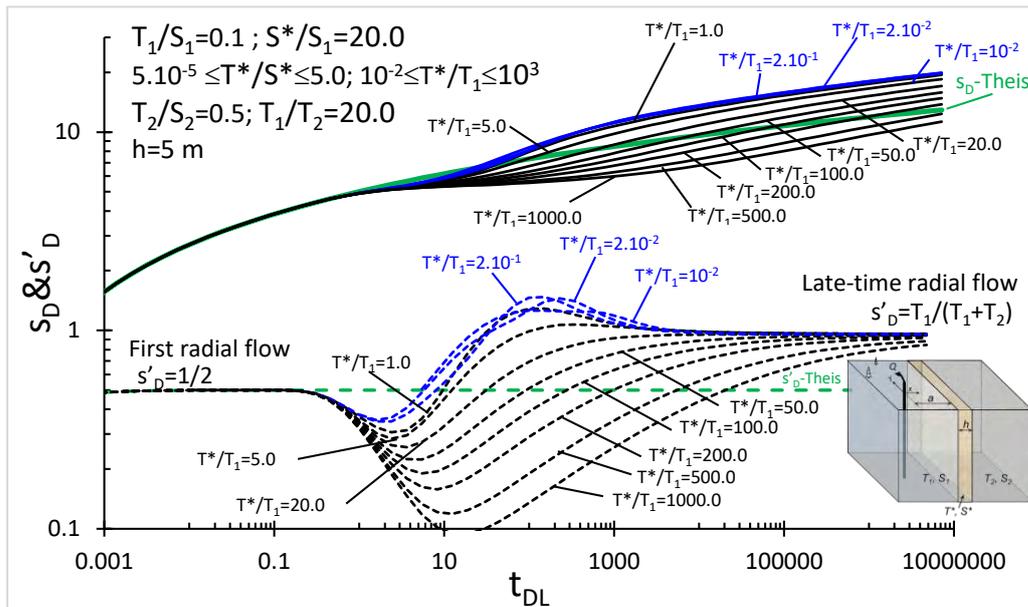


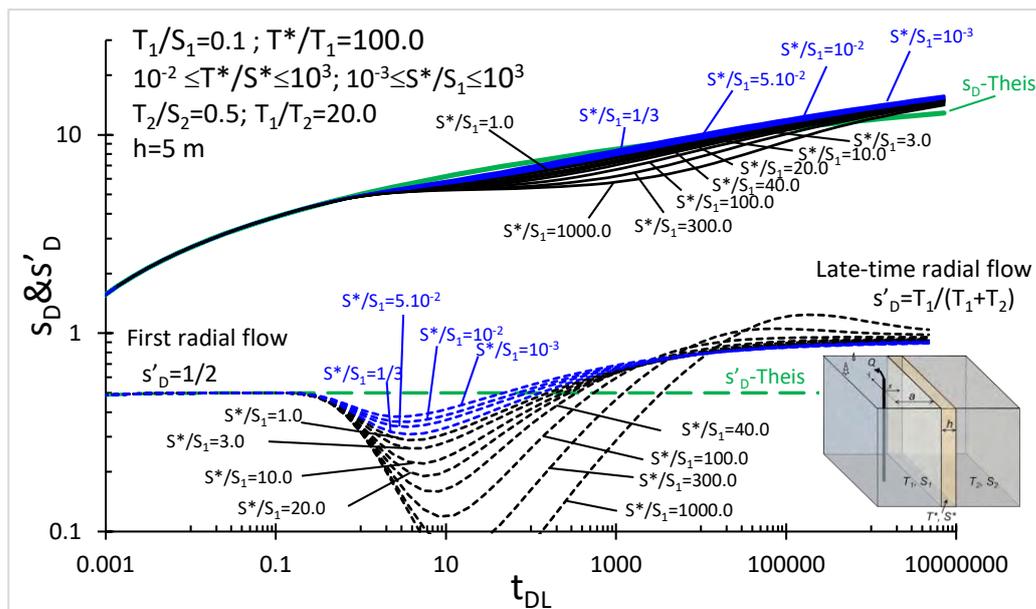
Figure 19 : aquifère compartimenté latéralement, cas d'un pompage dans un compartiment latéral.
Gauche : avec un puits de pompage, droite : avec une fracture verticale.

Distance	r (m)
Transmissivité de l'aquifère capté _ Domain 1	T_1 (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère capté _ Domain 1	S_1 (-)
Transmissivité de l'aquifère central_ Domain *	T^* (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère _ Domain *	S^* (-)
Anisotropie de transmissivité dans le plan x,y _ Domain *	T^*_y/T^*_x (-)
Transmissivité de l'aquifère_ Domain 2	T_2 (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère _ Domain 2	S_2 (m^2/s)
Distance puits de pompage / Domain* (†)	a (min et m)
Largeur Domain*	h (m)
Longueur fracture interceptée par le puits	$2.xf$ (m)
Angle de la fracture / axe des x	α (°)
Capacité du puits	Rc (m)
Pertes de charge quadratiques	C ($m^{-5}s^2$)

Tableau 5 : Paramètres du modèle aquifère compartimenté avec pompage situé à proximité d'un autre aquifère limité dans l'espace. † La distance au compartiment * est toujours donnée par rapport au puits de pompage.



(a)



(b)

Figure 20 : courbes types d'un pompage situé à proximité d'un autre aquifère limité dans l'espace ; Dewandel et al. (2022). (a) variations du contraste de transmissivité T^*/T_1 (10^{-2} to 10^3), (b) variations du contraste d'emmagasinement S^*/S_1 (10^{-3} to 10^3).

t_{DL} : temps sans dimension, s_D et s'_D : rabattement et dérivée sans dimension. $t_{DL} = T_1 t / (a^2 S_1)$ et $s_D = 2\pi T_1 s / Q$.

Les figures suivantes présentent un exemple de diagnostic/modélisation suivant ce modèle. Il s'agit du pompage réalisé sur le forage n°BSS 07343X0009 à Saint-Front-sur-Nizonne (24) du 24 au 31/03/1998. Le forage, profond de 276 m, capte les formations du Jurassique (Bajocien - Oxfordien) entre 223 et 276 m de profondeur. L'essai a été conduit entre 100 et 120 m³/h. La Figure 21 présente le diagnostic de l'essai. Il montre du début de l'essai à environ 50 min, un écoulement linéaire (ou bilinéaire) caractéristique de l'écoulement dans une fracture. Puis de 50 à 200-300 min, un écoulement radial à partir duquel la transmissivité de l'aquifère est évaluée à 10⁻³ m²/s. Puis de 300 min à la fin de l'essai la dérivée diminue suivant une pente voisine de -1 indiquant l'atteinte d'un milieu beaucoup plus perméable que celui dans lequel le forage est implanté. Il peut s'agir d'un drain karstique majeur. La Figure 22 présente la modélisation de cet essai, les paramètres de calage du modèle sont disponibles dans le Tableau 13.

Les résultats des autres modélisations suivant ce modèle (18 essais au total) sont disponibles en annexe (figures D-1 à D-18).

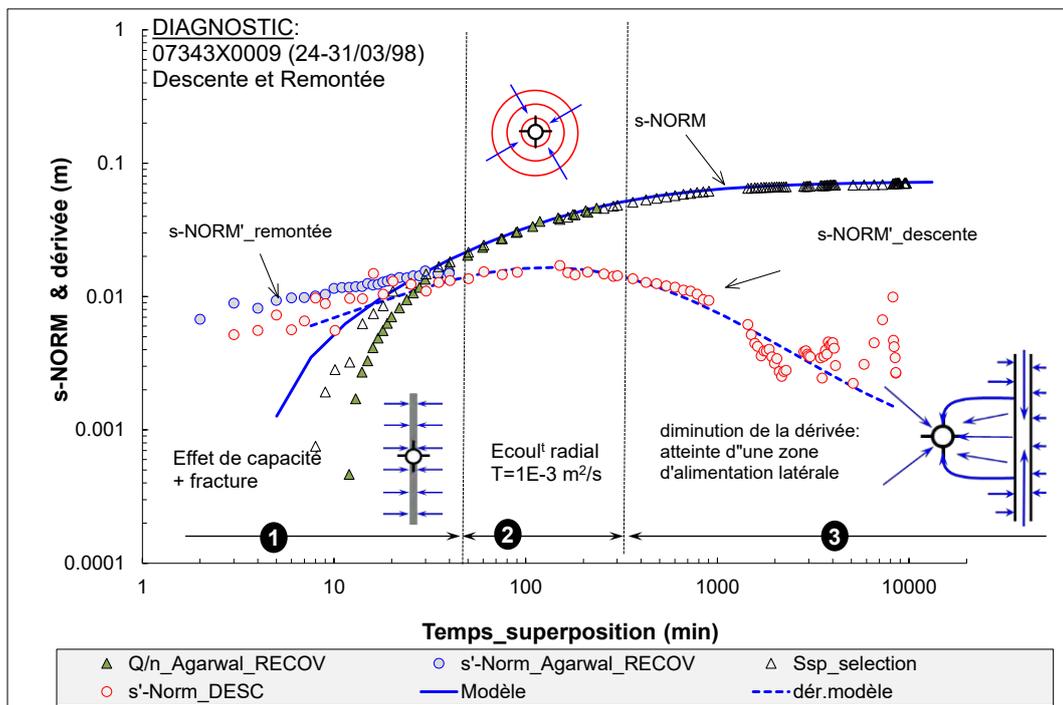


Figure 21 : diagnostic de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 07343X0009 le 24-31/03/1998 (St-Front-sur-Nizonne). Modèle : compartimentation latérale, pompage à proximité d'une zone perméable.

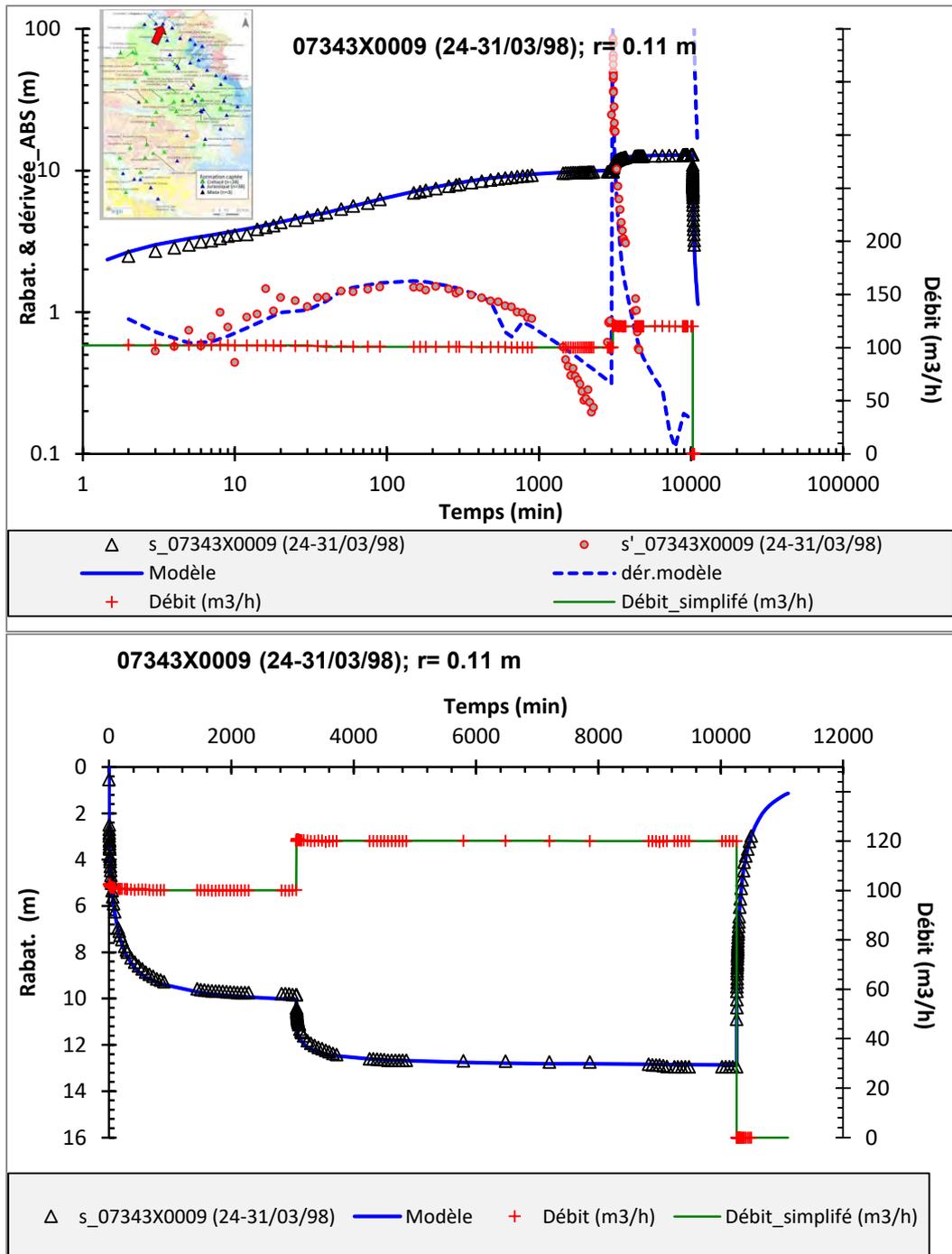


Figure 22 : modélisation de l'essai par pompage du 24-31/03/1998 sur le forage n°BSS : 07343X0009 (St-Front-sur-Nizonne). Modèle : compartimentation latérale, pompage à proximité d'une zone perméable.

5.5. MODELE COMPARTIMENTE LATERALEMENT, POMPAGE DANS LE COMPARTIMENT CENTRAL

Ce modèle est issu des travaux de Dewandel et al. (2014), et constitue, par rapport au modèle précédent, le cas où le pompage est dans le compartiment central. Le puits est implanté dans le compartiment central de transmissivité T_1 , d’emménagement S_1 et de largeur $2L$, et ce dernier est limité dans l’espace par deux compartiments de transmissivités et emmagasins différents (T_2, S_2 et T_3, S_3). L’épaisseur des compartiments peut être identique ou différente, et le compartiment central peut être anisotrope. La Figure 23 et le Tableau 6 présentent le schéma de cette solution et ses paramètres hydrodynamiques. Le modèle intègre aussi les effets liés au puits (capacité de puits, skin et pertes de charge quadratiques).

La Figure 24 présente des courbes types pour un puits centré ($a = L$) dans l’aquifère central et pour divers ratios d’anisotropie de perméabilité. Le contraste de transmissivité entre le compartiment central et les extérieurs est de 10 ($T_1 = 10 \times T_2$; $T_2 = T_3$). On notera la différence de comportement hydrodynamique par rapport au modèle précédent, et le comportement pour les temps longs où le rabattement suit une pente dans un graphique semi-log proportionnelle à la moyenne des transmissivités des deux compartiments extérieurs.

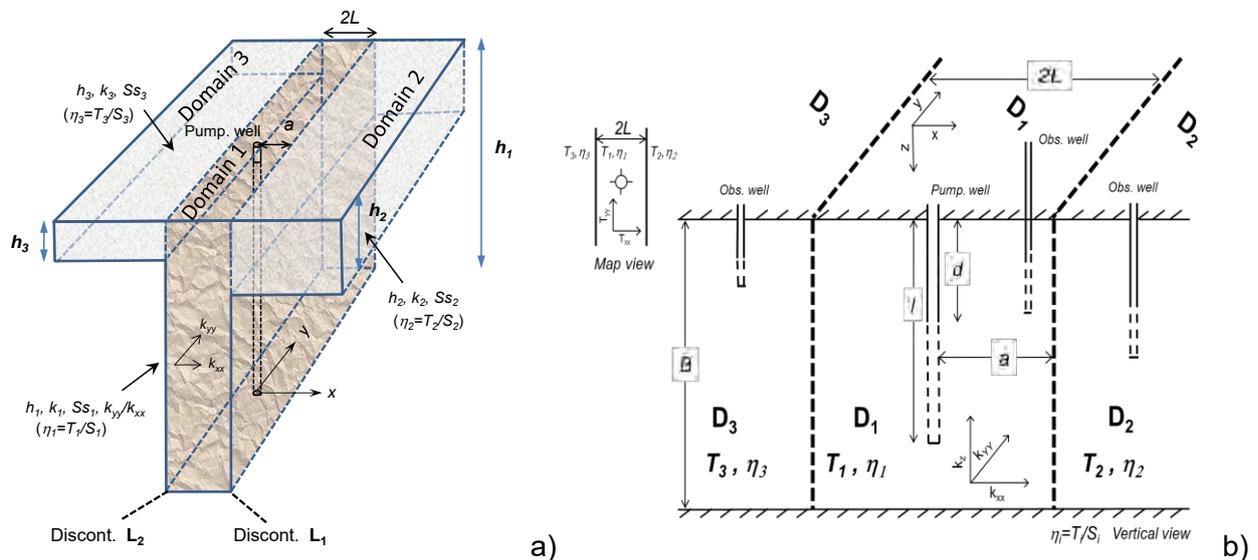


Figure 23 : aquifère compartimenté avec anisotropie de perméabilité : a) structure « T », b) cas où les compartiments sont d’épaisseur égale.

Distance	r (m)
Transmissivité de l'aquifère capté _ Domain 1	T_1 (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère capté _ Domain 1	S_1 (-)
Épaisseur de l'aquifère capté _ Domain 1	h_1 (m)
Longueur du puits	l (m)
Dist. haut de la partie captée – toit de l'aquifère pour le puits	d (m)
Anisotropie de perméabilité dans le plan x,y _ Domain 1	k_{yy}/k_{xx} (-)
Transmissivité de l'aquifère _ Domain 2	T_2 (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère _ Domain 2	S_2 (-)
Épaisseur de l'aquifère _ Domain 2	h_2 (m)
Transmissivité de l'aquifère _ Domain 3	T_3 (m^2/s)
Emmagasinement de l'aquifère _ Domain 3	S_3 (-)
Épaisseur de l'aquifère _ Domain 3	h_3 (m)
Dist. à la 1 ^{ère} limite (a)*	Dist. lim. 1 (min et m)
Dist. à la 2 ^{ème} limite (2L-a)*	Dist. lim. 2 (min et m)
Capacité du puits	Rc (m)
Pertes de charge quadratiques	C ($m^{-5}s^2$)

Tableau 6 : paramètres du modèle aquifère compartimenté en « T » avec anisotropie de perméabilité.

* Les distances aux limites sont toujours données par rapport au puits de pompage.

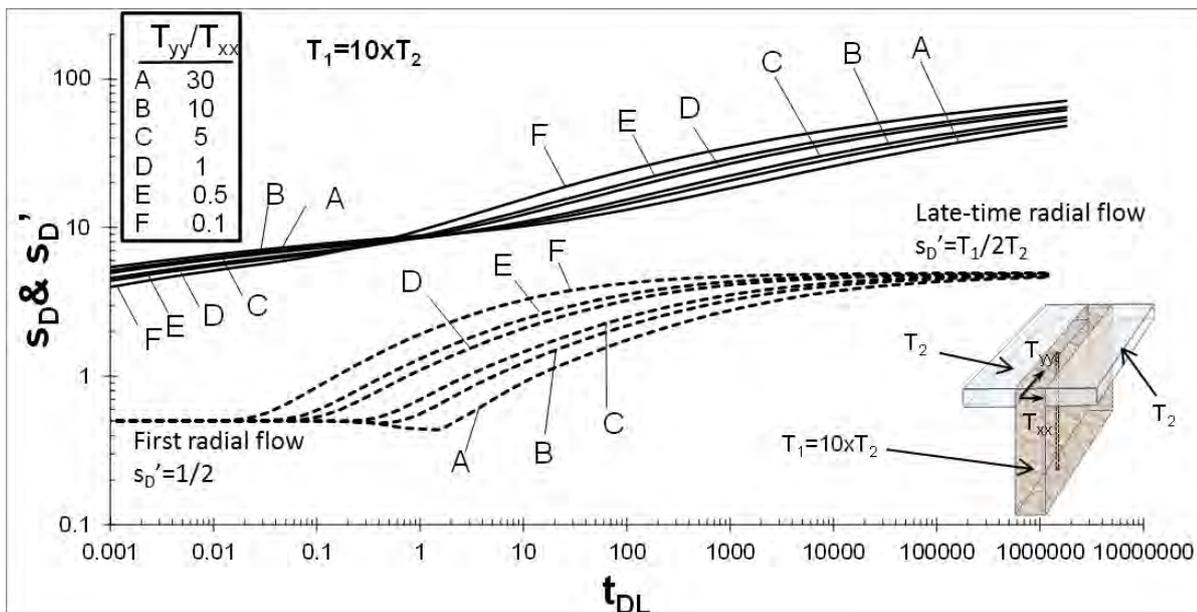


Figure 24 : courbes types pour un puits centré ($a=L$) et un aquifère central présentant divers ratios d'anisotropie de perméabilité. Contraste de transmissivité de 10 ($T_1=10 \times T_2$; $T_2=T_3$); Dewandel et al. (2014).

s_D et s'_D : rabattement et dérivée sans dimension ; t_D : temps sans dimension. $t_D = Tt/(L^2S)$ et $s_D = 2\pi Ts/Q$.

Les figures suivantes présentent un exemple de diagnostic/modélisation suivant ce modèle. Il s'agit du pompage réalisé sur le forage n°BSS 08547X0008 à Monbahus (47) du 15 au 18/12/2008. Le forage, profond de 211 m, capte les formations du Crétacé (Coniacien – Santonien) entre 179 et 209 m de profondeur. L'essai a été conduit à un débit compris entre 14 et 18 m³/h. Le diagnostic (Figure 25) montre du début de l'essai à environ 70 min de pompage, l'effet de capacité de puits et probablement un écoulement sphérique (pente de -0,5 de la dérivée) qui traduirait un captage partiel de l'ouvrage. Puis de 70 à environ 2 000 min, la dérivée suit une pente de 0,5 typique d'un écoulement linéaire suggérant l'atteinte de deux limites parallèles étanches ou partiellement étanches. Enfin de 2 000 min à la fin de l'essai, la dérivée décrit un plateau qui donne une estimation de la transmissivité aux alentours de 1 à 1,5x10⁻⁴ m²/s. Dans ce cas, comme il s'agit d'un aquifère compartimenté verticalement où la transmissivité correspond à la moyenne des transmissivités des aquifères entourant le compartiment pompé. D'un point de vue géologique, le forage capte vraisemblablement un corps perméable entouré de niveaux moins perméables. La Figure 26 présente la modélisation de l'essai et le Tableau 7 les paramètres du modèle. L'annexe (figure E.1) présente la modélisation de l'essai par paliers de débit. Les paramètres sont identiques entre ces deux essais exceptés les pertes de charge légèrement inférieures durant l'essai de longue durée, traduisant, éventuellement, un développement de l'ouvrage. On notera aussi le faible degré de pénétration de l'ouvrage dans l'aquifère nécessaire pour expliquer les mesures (ratio l/h₁ : 0,04). Ce sont les seuls essais où ce modèle a été utilisé.

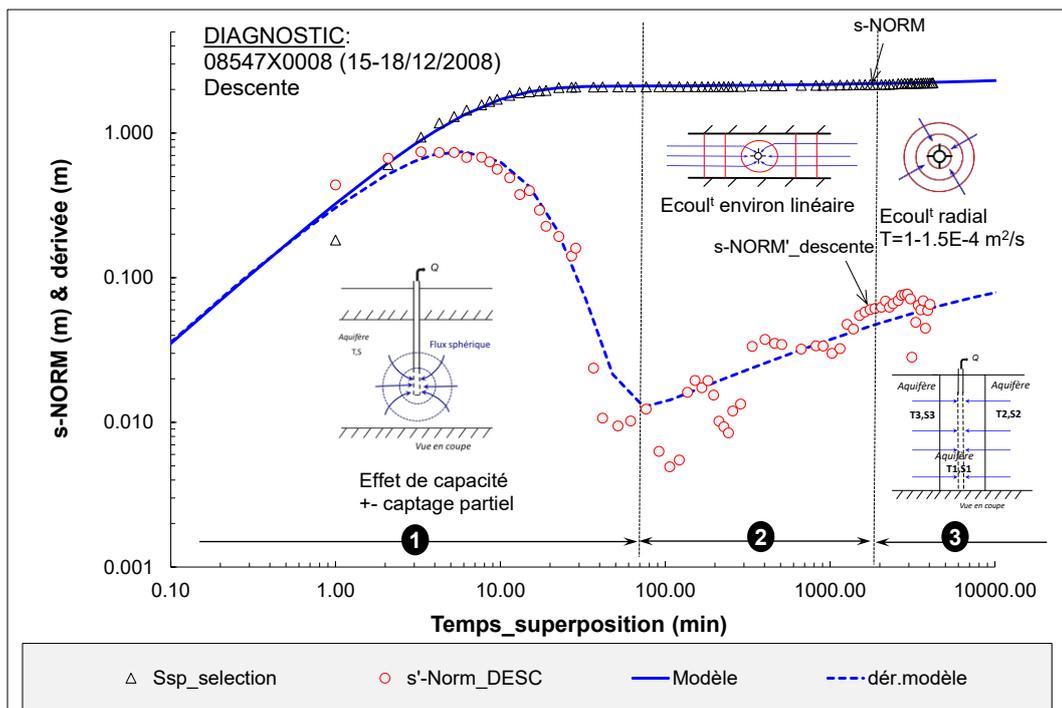


Figure 25 : diagnostic de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08547X0008 (Monbahus) le 15-18/12/2008. Modèle : compartimentation verticale, pompage dans le compartiment central.

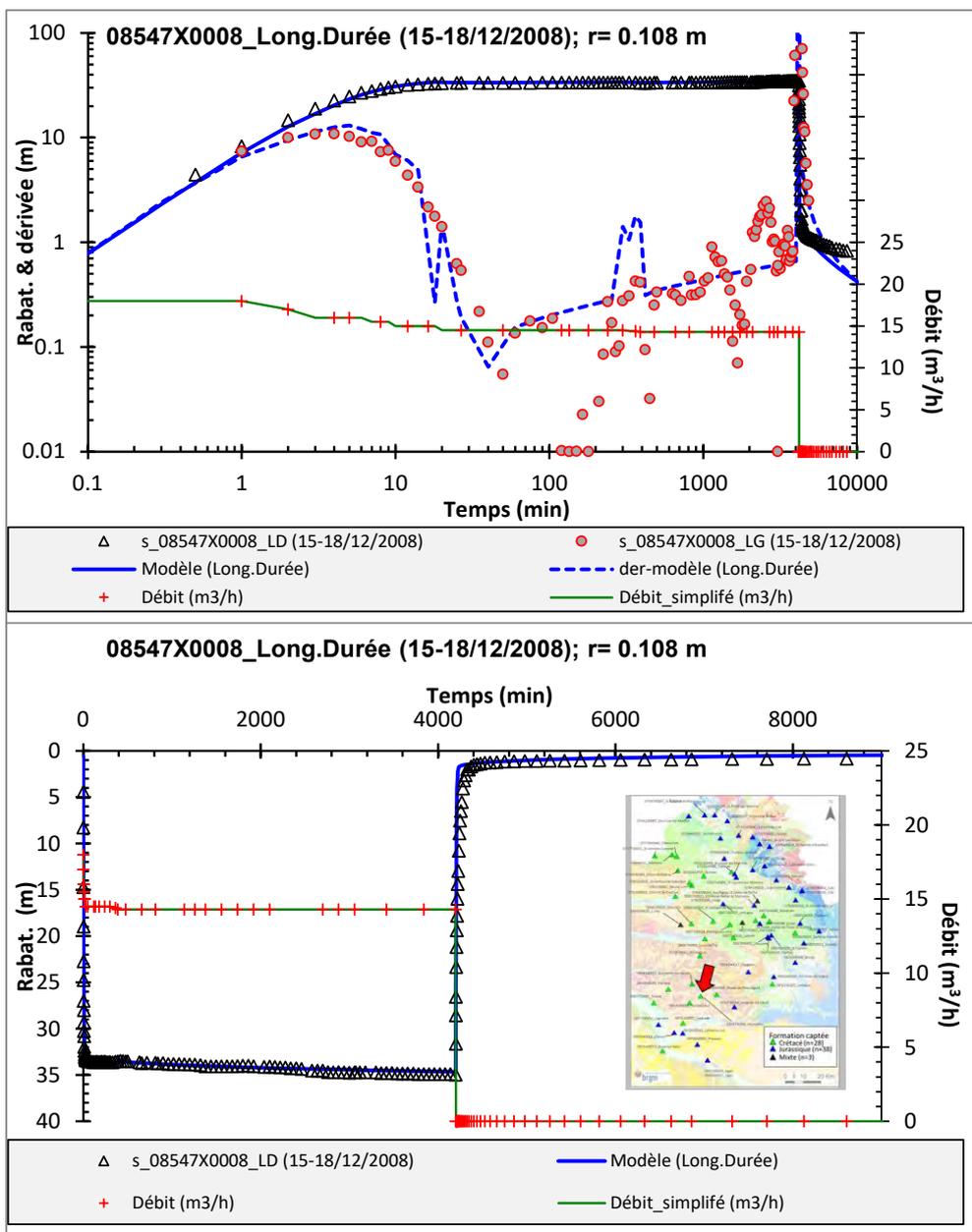


Figure 26 : modélisation de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08547X0008 (Monbahus) le 15-18/12/2008. Modèle : compartimentation verticale, pompage dans le compartiment central.

Graphique du haut : représentation log-log des rabattements observés et simulés, et de leurs dérivées ; graphique du bas : représentation en arithmétique des rabattements observés et simulés.

n°BSS	r (m)	T1 (m2/s)	S1 (-)	h1 (m)	l (m)	d(m)	T2=T3 (m2/s)	S2=S3 (-)	Dist.lim. 1 (min)	Dist.lim. 2 (min)	Dist.lim. 1 (m)	Dist.lim. 2 (m)	C (m-5s2)	Rc (m)
08547X0008_Paliers (11-12/12/2008)	0.108	2.9E-03	1.0E-05	120	5	0	1.5E-04	1.0E-05	13	13	951.2	951.2	270000	0
08547X0008_Long.Durée (15-18/12/2008)	0.108	2.9E-03	1.0E-05	120	5	0	1.5E-04	1.0E-05	13	13	951.2	951.2	250000	0

Tableau 7 : synthèse des paramètres hydrodynamiques, modèle à compartimentation verticale, pompage dans le compartiment central. Ici $h_1=h_2=h_3$, et $k_{yy}/k_{xx}=1.0$.

5.6. MODELE A FRACTURE VERTICALE DANS UN AQUIFERE MULTICOUCHE A PROXIMITE D'UNE SOURCE

Le modèle choisi permet de modéliser le pompage dans une fracture verticale au sein d'un aquifère multicouche et de calculer l'impact, en terme de débit, sur une source voisine (Figure 27). Ce modèle a été construit à partir des solutions proposées par Hunt (2004), Dewandel et al. (2018) et Cabaret et al. (2019). Dans ce modèle, l'aquifère est un multicouche constitué d'un niveau perméable pompé au travers d'une fracture (longueur : $2xf$) de transmissivité T et d'emmagasinement S , surmonté d'un aquitard de perméabilité k' , d'épaisseur B' et d'emmagasinement σ . La source, de diamètre $2x_0$ et située à une distance d du puits de pompage, sourd au niveau de l'aquitard. Son lit est caractérisé par sa perméabilité (k'') et son épaisseur (b''). Un paramètre de drainance α contrôle les échanges entre l'aquifère pompé et la source. Il est, entre autre, fonction du diamètre la source et de la perméabilité du sol au niveau de la source ($\alpha = \frac{\pi x_0^2}{T b''} k''$; Hunt, 2004). L'objectif de ce modèle est de modéliser le rabattement

dans l'aquifère pompé au puits de pompage ou sur un piézomètre, et d'évaluer l'impact en terme de débit sur la source. La Figure 28 présente des courbes types de l'évolution du rabattement et de l'impact sur la source au cours du temps pour différentes valeurs du coefficient α (voir Dewandel 2018 pour plus d'information sur ce type de graphique). Le Tableau 8 présente les paramètres du modèle.

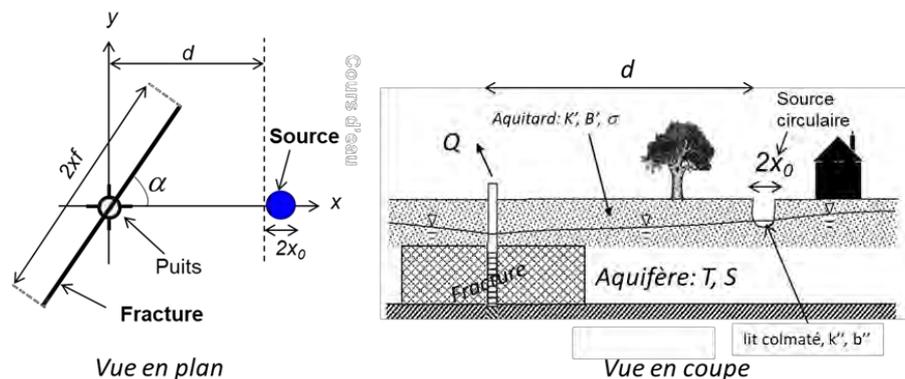


Figure 27 : pompage dans une fracture située dans un aquifère multicouche et à proximité d'une source (modification de Hunt, 2004 et Dewandel et al., 2018).

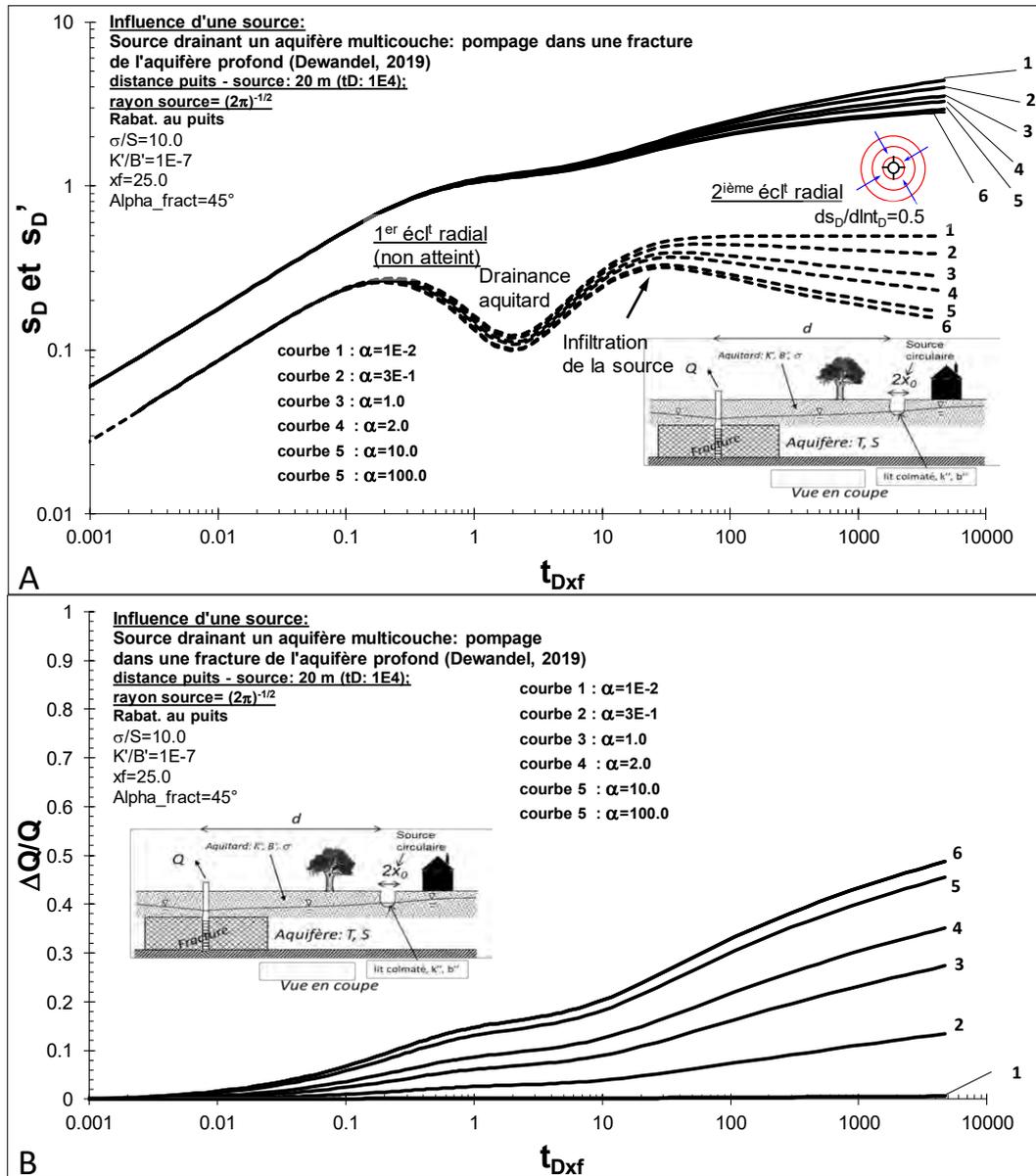


Figure 28 : pompage d'un aquifère multicouche par une fracture verticale située à proximité d'une source au fond colmaté (modification de Hunt, 2004 et Dewandel et al., 2018). Calculs pour différentes valeurs de α . A : évolution du rabattement (s_D) au puits de pompage et de sa dérivée ($s_{D'}$), B : impact du pompage sur le débit de la source. La source est toujours située à la même distance (20 m).

$s_D, s_{D'}$: rabattement et dérivée adimensionnels ; t_{Dxf} : temps adimensionnel. $t_D = \frac{tT}{Sx_f^2}$ et $s_D = \frac{2\pi T}{Q} s$, avec t le temps et s le rabattement.

Distance	r (m)
Distance au puits de pompage dans la direction x	x (m)
Distance au puits de pompage dans la direction y	y (m)
Transmissivité de l'aquifère capté	T (m ² /s)
Emmagasinement de l'aquifère capté	S (-)
Demi-longueur de la fracture	xf (m)
Alpha_fracture (angle de la fracture / axe des x)	α_{fract} (°)
Paramètre d'échange nappe/source	α (-)
Perméabilité de l'aquitard	k' (m/s)
Épaisseur de l'aquitard	B' (m)
Emmagasinement de l'aquitard	σ (-)
Perméabilité du lit de la source	k'' (m/s)
Épaisseur du lit de la source	b'' (m)
Rayon du lit de la source	x_0 (m)
Distance puits de pompage - source	d (m)
Capacité du puits	Rc (m)
Pertes de charge quadratiques (puits)	C (m ⁻⁵ s ²)

Tableau 8 : paramètres du modèle fracture et source. Modèle : modification de Hunt, 2004 et Dewandel

$$\text{et al., 2018). } \alpha = \frac{\pi x_0^2}{Tb''} k''.$$

Les Figure 29 à Figure 31 présentent la modélisation qui a été réalisée sur le forage n°BSS 08075X0014 à Lalinde (24) du 19 au 21/01/1980. Le forage, profond de 209 m, capte les formations du Crétacé (Coniacien) à partir de 152 m de profondeur. L'essai a été conduit entre 75 et 288 m³/h, avec un suivi du débit sur la source Font Chaude située à environ 28 m de l'ouvrage pompé. Son débit a diminué jusqu'à environ 50 m³/h durant l'essai (Figure 31). Le diagnostic de l'essai à partir des dérivées n'a pas montré, hormis l'indentification d'un écoulement bilinéaire en début d'essai (fracture), de résultat satisfaisant à cause d'une donnée de suivi trop éparse. Les paramètres de calage du modèle sont disponibles dans le Tableau 9 ; on notera que le paramètre d'échange nappe/source (α) est relativement élevé, typique d'une source émergeant par une fracture ou un drain karstique. C'est le seul essai où ce modèle a été appliqué.

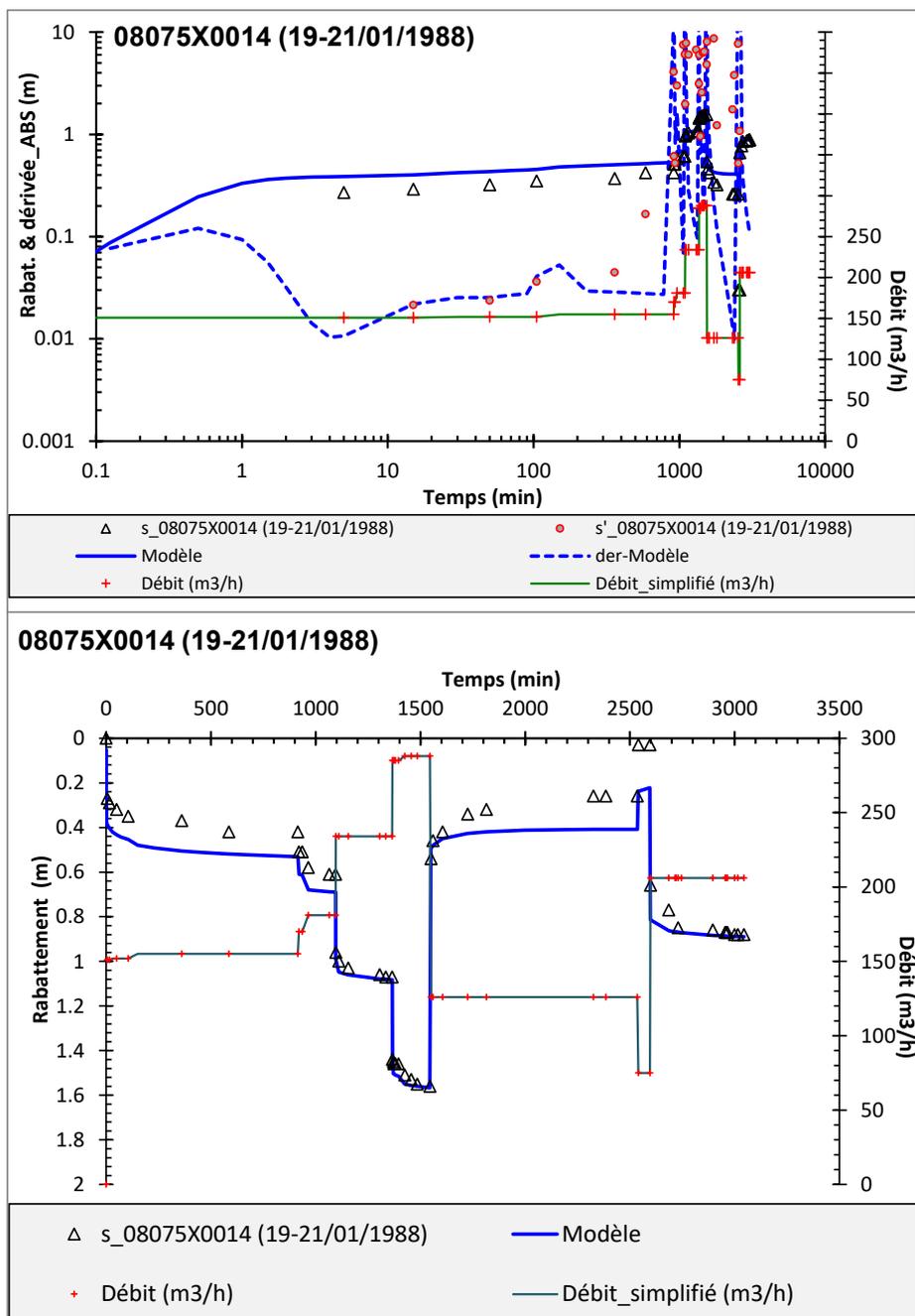


Figure 29 : modélisation de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08075X0014 le 19-21/01/1988. Modèle : fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source.

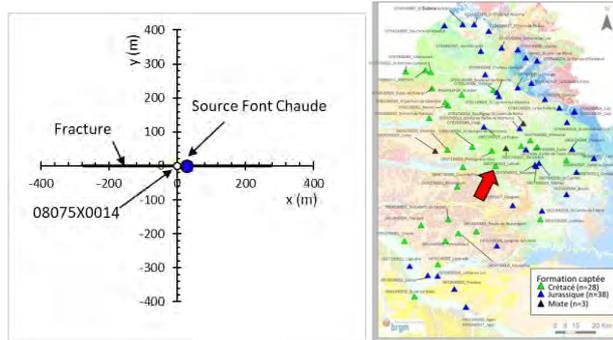


Figure 30 : gauche : schéma de calcul de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08075X0014 le 19-21/01/1988. Modèle : fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source. Droite : situation de l'ouvrage

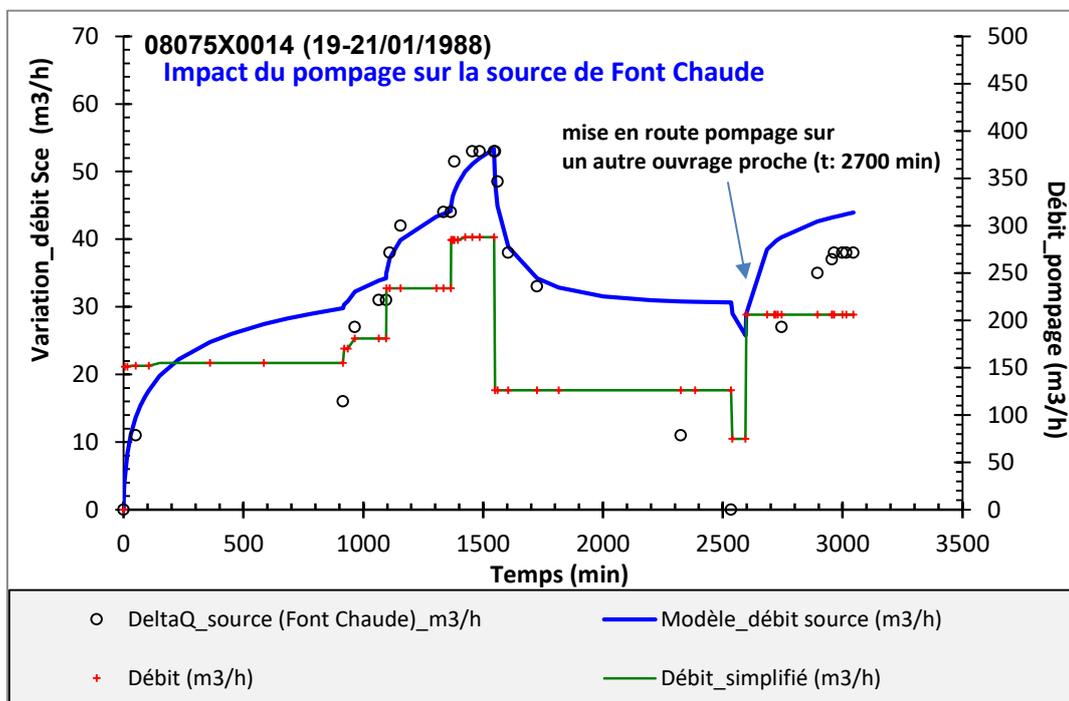


Figure 31 : modélisation de la variation de débit (baisse du débit) sur la source Font Chaude lors de l'essai par pompage réalisé sur le forage n°BSS 08075X0014 le 19-21/01/1988. Modèle : fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source.

Modèle: fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source

n°BSS	r (m)	x (m)	y (m)	T (m2/s)	S (-)	2.xf (m)	α_{fract} (°)	α (-)	d (m)	k' (m/s)	b' (m)	σ (-)	C (m-5s2)	Rc (m)
08075X0014 (19-21/01/1988)	0.135	0.135	0	0.08	0.01	550.0	0	1.30	28	0	1	0.01	200	1

Tableau 9 : synthèse des paramètres hydrodynamiques, modèle à fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source.

6. Synthèse des résultats

La modélisation de 76 essais par pompage sur 73 ouvrages, dont 32 dans le Crétacé, 38 dans le Jurassique et 3 ouvrages captant les deux formations (mixte), a permis d'en déduire avec une relative bonne confiance les ordres de grandeur des propriétés hydrodynamiques des principaux aquifères, les relations entre aquifères ou les effets liés à la géométrie des formations. La qualité des modélisations des essais est en général satisfaisante. Les figures suivantes (Figure 32 et Figure 33) synthétisent les propriétés hydrodynamiques déduites des essais par pompage. Ces données sont présentées du Tableau 7 à Tableau 12. La Figure 34 présente la synthèse des comportements hydrodynamiques déduits de la modélisation des essais. Les principales propriétés des aquifères estimées ici (T et S) ont été comparées aux estimations antérieures (source : BE, BSS, BRGM). On notera, dans certains cas, de très fortes différences attribuables à des modèles ne prenant pas en compte la complexité des systèmes aquifères comme nous l'avons fait ici (voir annexe).

La distribution des transmissivités et des perméabilités moyennes des formations aquifères du Crétacé et du Jurassique (Figure 31) sont sensiblement similaires : $\text{Log}T_{\text{Crétacé}} : -2,89 \pm 0,8$ ($T=1,3 \times 10^{-3}$ m²/s) et $\text{Log}T_{\text{Jurassique}} : -2,75 \pm 0,9$ ($T=1,8 \times 10^{-3}$ m²/s), et $\text{Log}K_{\text{Crétacé}} \sim \text{Log}K_{\text{Jurassique}} : -4,8 \pm 1,0$ ($K=1,5 \times 10^{-5}$ m/s). La distribution spatiale des perméabilités ne montre pas de tendance particulière (Figure 33). Les emmagasineurs des aquifères des deux périodes sont eux aussi relativement similaires, $\text{Log}S_{\text{Crétacé}} \sim \text{Log}S_{\text{Jurassique}} : -3,3 \pm 0,6$ ($S=5,0 \times 10^{-4}$). Ces valeurs sont typiques de milieux carbonatés fracturés. Les valeurs de perméabilité des épontes (semi-perméables) sont comparables entre les aquifères du Crétacé et ceux du Jurassique, $\text{Log}_k'/b' : -8,7 \pm 1,0$ ($k'=2 \times 10^{-9}$ m/s ; valeur donnée pour une épaisseur unitaire).

En revanche, par séquences stratigraphiques (Figure 32), dans le Crétacé, les horizons aquifères du Campanien, du Coniacien et du Santonien ($K : 3-6 \times 10^{-5}$ m/s) sont globalement plus perméables que ceux du Turonien ($K : 6 \times 10^{-6}$ m/s). Dans le Jurassique, il est plus difficile de voir des différences de perméabilité entre étages stratigraphiques. Toutefois, les horizons aquifères du Bathonien, du Callovien et de l'Oxfordien ($K : 4 \times 10^{-5}$ m/s) semblent plus perméables que ceux du Bajocien ($K : 1,5 \times 10^{-5}$ m/s). Les emmagasineurs sont comparables entre tous les étages testés. La valeur élevée pour l'aquifère du Campanien indique probablement que les ouvrages sont en condition d'aquifère libre ($S : 0,005$ à $0,015$; 08302X0011 et 08067X0008) alors que les autres sont *a priori* en situation captive.

D'un point de vue du type d'aquifère, la plupart des essais montrent que les forages interceptent une ou plusieurs fractures, ou des drains karstiques (symbole : **F** ; Figure 34) de dimension faible (quelques dizaines de mètres) à notable (plus de 1 000 m, par ex. 08542X0002 ; Tableau 11). Les aquifères, du Crétacé et du Jurassique, sont quasi-systématiquement soumis à des effets de drainance (symbole : **I**), en cohérence avec le caractère multicouche de cet ensemble d'aquifères du Secondaire. Les valeurs du coefficient de drainance ($\text{Log}[k'/b']$) ne montrent pas de différence significative entre aquifères des différents étages stratigraphiques (Figure 32). En moyenne, la perméabilité de l'éponte semi-perméable est $k'=2 \times 10^{-9}$ m/s (valeur donnée pour une épaisseur d'éponte unitaire).

D'un point de vue géométrie des aquifères (symboles : **C**, **D** et **E** ; Figure 34), les essais montrent peu de cas d'atteinte de limites d'aquifère (limites étanches) suggérant que les aquifères testés sont de grandes extensions. On notera la mise en évidence d'un aquifère fermé au niveau d'Agen (forages 09023X0016 et 09023X0017), dont la surface est estimée entre 300 et 400 km² (env. 5-6km x 17-18 km ; Tableau 10). D'autres cas de limite ont été identifiés, structure chenalisante : 08548X0001 (Crétacé ; Boudy-de-Beauregard), 07578X0040 (Crétacé ; Villeteureix) ; 08547X0008 (Crétacé ; Monbahus), 08074X0048 (Crétacé ; Eyzies), 07595X0006 (Jurassique ; Trélissac) et 08078X0071 (Jurassique ; Mouzens), et cas d'une seule limite étanche : 08316X0017 (Jurassique ; Gaugeac). Ces structures géométriques sont à mettre en relation avec des jeux de failles ou des changements latéraux de faciès, en particulier pour les aquifères du Crétacé.

La principale singularité des aquifères du Jurassique est la présence relativement fréquente de structures très perméables situées à proximité des ouvrages (symbole : **G**). Ces structures correspondent vraisemblablement à des drains karstiques de grandes dimensions. Cette situation est beaucoup plus fréquente dans la partie Nord du bassin là où le karst affleure ou est proche de la surface, ce qui suggérerait que le karst jurassique est plus ouvert, plus développé, dans cette partie du bassin. Néanmoins cette prédominance, pourrait être la conséquence des modalités d'implantation des ouvrages cherchant fractures ou drains, structures plus facilement identifiables lorsqu'elles sont proches de la surface que profondes et sous couverture Crétacé.

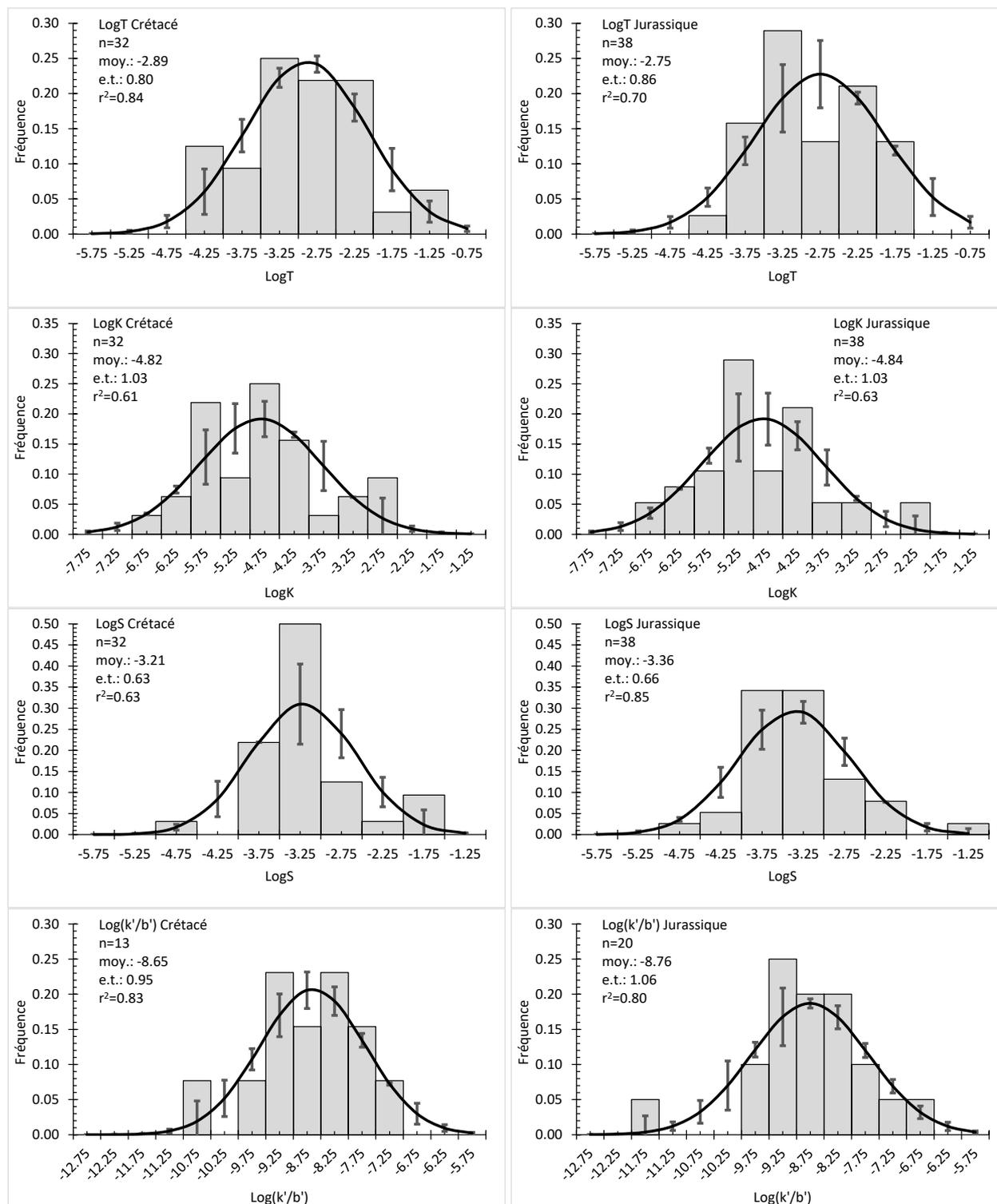


Figure 32 : statistiques des propriétés hydrodynamiques des aquifères du Crétacé (gauche) et du Jurassique (droite). De haut en bas : transmissivités (LogT), perméabilités (LogK), emmagasinement (LogS) et coefficient de drainance (Log(k'/b')). Les propriétés sont représentées en échelle logarithmique.

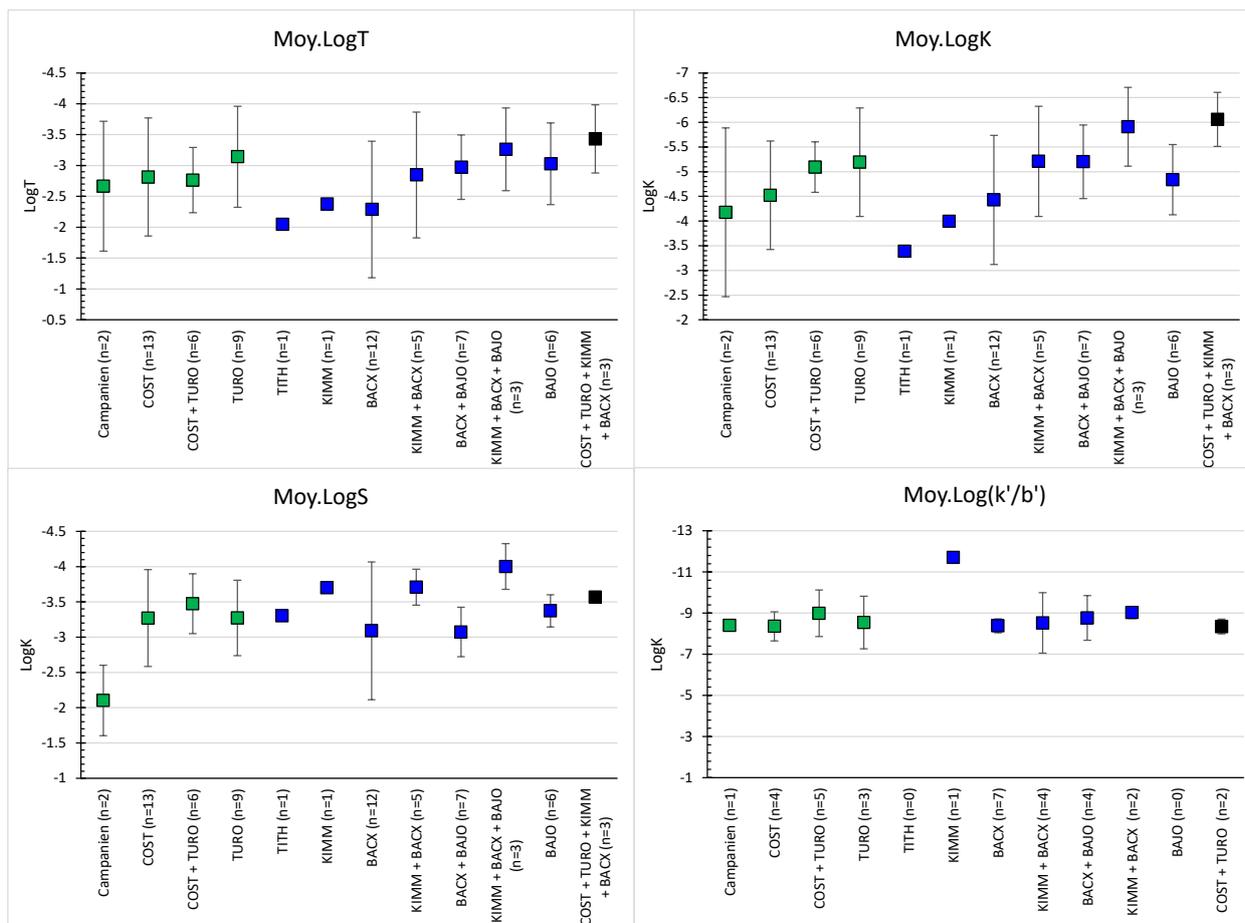


Figure 33 : statistiques des propriétés hydrodynamiques par lithologie ou regroupement de lithologies. Vert : Crétacé et bleu : Jurassique. Transmissivités (LogT ; n=68), perméabilités (LogK ; n=68), emmagasinement (LogS ; n=68) et coefficient de drainance (Log(k'/b' ; n=33)). Les propriétés sont représentées en échelle logarithmique.

Légende :

- Campanien : Crétacé
- COST : Coniacien – Santonien = Crétacé
- COST + TURO : Crétacé
- TURO (Turonien) : Crétacé
- TITH (Tithonien) : Jurassique
- KIMM (Kimméridgien) : Jurassique
- BACX : Bathonien – Callovien – Oxfordien : Jurassique
- KIMM + BACX + BAJO : Jurassique
- BACX + BAJO : Jurassique
- BAJO (Bajocien) : Jurassique

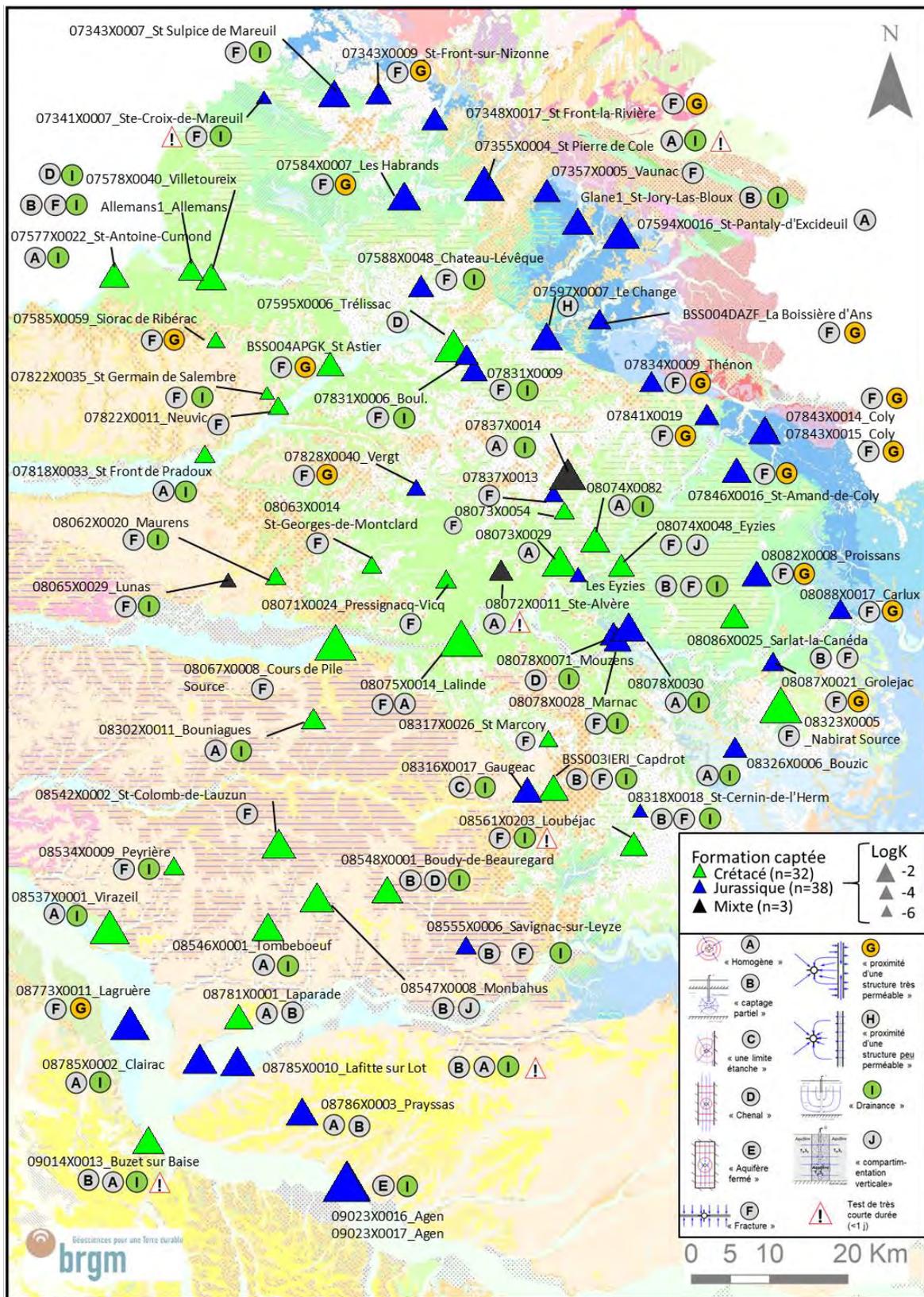


Figure 34 : synthèse des comportements hydrodynamiques déduits de la modélisation des essais par pompage. Fond de carte : géologie.

Valorisation des essais par pompage dans les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique du Bassin nord aquitain – Projet Eaux-SCARS

n°BSS	r (m)	T (m2/s)	S (-)	B (m)	l (m)	d (m)	K' (m/s)	e' (m)	T0 (m2/s)	Sy (-)	Dist.lim. 1 (min)	Dist.lim. 2 (min)	Dist.lim. 3 (min)	Dist.lim. 4 (min)	Dist.lim. 1 (m)	Dist.lim. 2 (m)	Dist.lim. 3 (m)	Dist.lim. 4 (m)	C (m-5s2)	Rc (m)
07578X0040 (27/08-02/09/02)	0.22	8.2E-03	1.6E-03				7.0E-10	1	infini	infini	80.0	80.0			313.7	313.7			4600	0.3
08078X0071 palier n°4 (27/02/2008)	0.11	2.8E-03	5.0E-05				6.0E-10	1	infini	infini	17.0	17.0			478.0	478.0				0.25
08078X0071 Long.Durée (03-07/02/2008)	0.11	2.8E-03	5.0E-05				6.0E-10	1	infini	infini	17.0	17.0			478.0	478.0				0.25
08785X0002 (04-06/04/1974)	0.16	4.2E-03	2.0E-04				2.0E-12	1	infini	infini									19700	0.17
09023X0016 (18-22/08/98)	0.16	3.7E-01	1.5E-04				2.0E-09	1	infini	infini	50.0	50.0	500.0	500.0	5440.6	5440.6	17204.7	17204.7	120	1.1
08548X0001 (06-08/05/1971)	0.22	4.9E-03	5.0E-04	100.0	100.0	70.0	3.0E-09	1	infini	infini	100.0	100.0			482.5	482.5			4500	0.085
08537X0001 (27-28/11/75)	0.16	3.4E-03	6.0E-04				7.0E-09	1	infini	infini									1000	0.16
08316X0017 (22-30/10/00)	0.16	3.5E-03	1.6E-03				3.0E-10	1	infini	infini	500.0				512.3					0.25
08786X0003 (11-13/12/65)	0.11	1.5E-02	1.0E-05	683.1	297.0	204.2													3000	0.07
08072X0011 (10/10/2012)	0.15	1.6E-03	3.0E-04																81500	0.1
09023X0017 (1991?)	0.16	4.0E-01	1.5E-04				2.0E-09	1	infini	infini	50.0	50.0	500.0	500.0	5656.9	5656.9	17888.5	17888.5	140	0.6
07594X0016 (02-03/07/1987)	0.11	1.0E-02	3.0E-04																13000	0.6
07595X0006 (08-09/11/1971)	0.25	9.5E-03	4.0E-04								40.0	40.0			477.5	477.5			400	0.3
08326X0006 (09-12/04/1991)	0.11	1.1E-03	1.2E-04				5.0E-10	1	infini	infini									21000	0.35
08073X0029 (18-26/09/1975)	0.22	3.0E-03	3.0E-03																36000	0.2
08781X0001 (17-20/10/1977)	0.22	3.1E-03	4.0E-04	100	75	0													4000	0.08
07818X0033 (25-27/09/1991)	0.11	5.0E-04	5.0E-04				8.0E-08	1	8.0E-04	1.0E-04									20000	0.16
08074X0082 (30/09/2019)	0.16	7.0E-04	5.0E-04																60000	0.15
07577X0022 (24-27/10/1989)	0.16	6.7E-03	1.0E-04				2.0E-11	1	infini	infini										0.1
07837X0014 (02-04/12/1986)	0.11	2.0E-04	3.0E-04				8.0E-09	1	infini	infini										0.1
08078X0030 (05-07/10/2016)	0.16	1.1E-02	3.0E-04				1.0E-10	1	infini	infini									8500	0.1
Glane Story_reco 07-21/03/22	0.11	1.4E-03	5.0E-04	100	50	0	7.0E-10	1	infini	infini										0.1
07355X0004 (06/10/2020)	0.11	2.5E-02	8.0E-03				2.0E-09	1	infini	infini									6800	0.3
08302X0011 (19-24/01/1989)	0.16	3.9E-04	3.5E-03				4.0E-09	1	2.0E-04	5.0E-03									32200	0.12
08546X0001 (02-03/03/1978)	0.16	5.9E-03	3.0E-04				3.0E-08	1	2.0E-06	5.0E-03									4300	0.15
08785X0010 (25/01/2021)	0.16	2.1E-02	2.0E-04	100	100	75													4900	0.15
09014X0013 (04/11/2020)	0.16	2.2E-03	1.5E-03	100	100	40													4900	0.16

Tableau 10 : synthèse des paramètres hydrodynamiques, modèle multicouche à drainance. Liste des paramètres en Tableau 2. Certains paramètres ne sont pas présentés soit parce qu'ils n'ont pas été utilisés (information au piézomètre d'observation) soit par absence de contraste ($Th/Tv=1.0$, $Tyy/Txx=1.0$).

n°BSS	r (m)	x (m)	y (m)	T (m2/s)	S (-)	2*xf (m)	Dist.lim. 1 (min)	Dist.lim. 2 (min)	Dist.lim. 1 (m)	Dist.lim. 2 (m)	C (m-5s2)	Rc (m)
08071X0024 (13-15/05/2010)	0.11	0.11	-	7.0E-05	4.0E-04	140	-	-	-	-	40000	0.45
08067X0008 AEP (01-03/10/2001)	0.5	0.5	-	1.2E-02	2.0E-02	20	-	-	-	-	1650	1.2
obs.Puits ANNEXE 1	9.88	-9.76	1.54	1.2E-02	1.3E-03	20	-	-	-	-	-	-
obs.Puits ANNEXE 2	6.16	-4.5	4.21	1.2E-02	4.0E-02	20	-	-	-	-	-	-
obs.Piezomètre	7.54	-2.32	-7.17	1.2E-02	1.0E-02	20	-	-	-	-	-	-
08542X0002 (21-23/06/1973)	0.5	0.5	-	7.1E-03	2.5E-04	2000	-	-	-	-	350	0.5
08063X0014 (30/08-02/09/1988)	0.11	0.11	-	2.1E-04	3.5E-04	260	-	-	-	-	500	1
07837X0013 (01-03/07/1986)	0.11	0.11	-	2.2E-04	1.0E-04	40	-	-	-	-	22000	0.6
07357X0005 (03-09/10/1989)	0.11	0.11	-	4.0E-04	1.0E-03	280	-	-	-	-	25000	0.9
07822X0011 (09-12/12/1986)	0.11	0.11	-	5.5E-04	7.0E-04	220	-	-	-	-	8500	0.2
08074X0048 (01-04/07/1991)	0.11	0.11	-	3.9E-04	6.0E-04	30	90 (étanche)	500 (Alim.)	118.5	279.28	70000	0.14
08073X0054 (01-04/08/2014)	0.0825	0.0825	-	8.5E-05	1.5E-03	60	-	-	-	-	3300000	0.15
08317X0026 (17/07/2013)	0.0825	0.0825	-	7.0E-05	9.0E-04	60	-	-	-	-	200000	0.001
08323X0005_Source (12-15/10/2021)	1.5	1.5	-	3.4E-02	1.0E-02	1020	-	-	-	-	950	2.3

Tableau 11 : synthèse des paramètres hydrodynamiques, modèle à fracture verticale. Liste des paramètres en Tableau 3.

Valorisation des essais par pompage dans les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique du Bassin nord aquitain – Projet Eaux-SCARS

n°BSS	r (m)	T (m2/s)	S (-)	2.xf (m)	hf (m)	zf (m)	B (m)	k'/B' (s-1)	T0 (m2/s)	Sy (-)	C (m-5s2)	Rc (m)
08065X0029 (17-21/05/99)	0.1	1.6E-04	2.2E-04	5.0E+01	-	-	-	2.5E-09	0.00002	0.0004	7000	0.15
08318X0018 (19-23/10/98)	0.1	1.3E-04	2.2E-04	7.5E+01	5.5E+01	27.5	100	1.5E-09	infini	infini	30000	0.15
07588X0048 (19-23/03/01)	0.1	1.4E-03	5.0E-04	5.0E+01	-	-	-	7.0E-08	0.00185	0.0001	1500	0.3
07831X0009 (27/07-05/08/1998)	0.11	2.2E-03	5.0E-04	1.2E+02	-	-	-	1.0E-08	0.012	0.001	2650	0.4
08534X0009 (02-05/02/09)	0.1095	2.4E-04	2.4E-04	1.8E+02	-	-	-	3.0E-10	infini	infini	375000	-
08062X0020 (12-15/10/1989)	0.11	5.0E-04	5.0E-04	3.8E+02	-	-	-	5.0E-09	infini	infini	38000	0.11
08086X0025 (13-15/10/1976)	0.1	1.5E-03	1.0E-04	4.0E+00	2.0E+01	90	100	-	-	-	1500	0.04
Piézo_10-15m (m)	13	1.5E-03	1.0E-04	4.0E+00	2.0E+01	90	100	-	-	-	-	-
08555X0006 (01-04/02/1991)	0.1	3.0E-04	1.0E-04	6.0E+01	5.0E+01	125	100	7.0E-09	infini	infini	4000	0.11
08561X0203 (05-07/12/1988)	0.1	1.8E-03	3.0E-04	1.5E+02	-	-	-	2.0E-08	0.0001	0.0015	15000	0.6
07822X0035 (11-15/03/2004)	0.1095	4.4E-05	5.0E-04	3.0E+01	-	-	-	1.0E-09	0.0	0.00	0	0.25
08078X0028 (26-27/04/2004)	0.1095	4.5E-04	5.0E-04	5.5E+02	-	-	-	5.0E-09	infini	infini	220000	0.25
07341X0007_28/05/91	0.1095	8.0E-05	4.0E-04	6.0E+01	-	-	-	2.3E-07	infini	infini	39000	-
07343X0007 (02-05/05/1988)	0.11	3.7E-03	2.0E-04	3.6E+02	-	-	-	3.5E-09	infini	infini	1350	0.2
Allemans (26-29/09/22)	0.1095	6.0E-04	1.5E-04	3.0E+01	3.0E+01	85	100	8.0E-10	infini	infini	21000	0.14
Les Eyzies (30/03-01/04/2021)_51-483m	0.11	1.7E-04	4.0E-04	5.0E+00	8.0E+01	40	100	8.0E-09	infini	infini	10000	-
Les Eyzies (12-14/04/2021)_51-789m	0.11	1.7E-04	4.0E-04	1.8E+02	-	-	-	6.0E-10	infini	infini	5000	0.25
Les Eyzies (05-14/04/2022)_171-756m	0.11	1.5E-04	4.0E-04	1.9E+02	-	-	-	5.5E-10	infini	infini	5000	0.8
07831X0006 (31/01-05/02/2018)	0.11	3.7E-04	5.0E-04	3.0E+01	-	-	-	1.0E-08	0.0	0.00	35000	0.25

Tableau 12 : synthèse des paramètres hydrodynamiques, modèle à fracture verticale et drainance d'un aquifère sus-jacent (ou sous-jacent). Liste des paramètres en Tableau 4. Pour ces cas, Th/Tv=1.0, Tyy/Txx=1.0.

n°BSS	r (m)	T1 (m2/s)	S1 (-)	2.xf (m)	α (°)	Distance T* - a (m)	Largeur T* - h (m)	T* (m2/s)	S* (-)	T*y/T*x (-)	T2 (m/s)	S2 (m2/s)	C (m-5s2)	Rc (m)
07343X0009 (24-31/03/98)	0.11	9.8E-04	2.2E-03	190.0	0.0	108.4	10.0	>1	>1	>50	9.8E-04	2.2E-03	3000	0.4
07828X0040 (20/09-10/10/04)	0.1	4.5E-04	9.0E-05	540.0	0.0	1249.0	20.0	>1	>1	>50	4.5E-04	9.0E-05	18700	0.1
07843X0015 (B104)_20-26/11/01	0.1	3.8E-03	5.0E-04	500.0	90.0	382.0	20.0	>1	>1	>50	3.8E-03	5.0E-04	800	0.1
obs_07843X0014_B66 (369 m)	369	3.8E-03	5.0E-04	500.0	###	382.0	20.0	>1	>1	>50	3.8E-03	5.0E-04	-	-
07843X0014 (B66)_14-23/01/02	0.1	5.0E-04	3.5E-04	110.0	90.0	211.1	20.0	>1	>1	>50	5.0E-04	3.5E-04	2000	0.1
07597X0007 (26/09-02/11/1991)	0.1	8.0E-03	5.0E-03	200.0	90.0	277.1	5.0	2E-05	1E-04	1	8.0E-03	5.0E-03	950	-
07846X0016 (07-11/06/02)	0.11	4.5E-03	2.2E-03	190.0	0.0	171.6	5.0	>1	>1	>50	4.5E-03	2.2E-03	3000	0.4
08773X0011 (27-30/03/89)	0.1	9.0E-03	5.0E-04	40.0	90.0	1610.0	5.0	>1	>1	>50	9.0E-03	5.0E-04	1000	0
08082X0008 (03-10/02/99)	0.1	6.3E-04	1.0E-04	280.0	90.0	476.2	5.0	5E-02	2E-01	>50	6.3E-04	1.0E-04	6500	-
07841X0019 31/07-04/08/1995)	0.1	4.5E-04	5.0E-04	370.0	90.0	161.0	5.0	>1	>1	>50	4.5E-04	5.0E-04	13000	2
07834X0009 (02-05/12/1985)	0.11	2.0E-04	2.2E-04	250.0	0.0	104.4	10.0	>1	>1	>50	2.0E-04	2.2E-04	6000	0.1
07348X0017_19-21/11/90	0.1	7.6E-04	6.0E-04	30.0	0.0	326.2	5.0	1E-02	1E-02	>50	7.6E-04	6.0E-04	3000	0.4
07585X0059 (26-29/06/2006)	0.1	2.3E-04	5.0E-04	120.0	0.0	115.1	10.0	1E-02	1E-02	>50	2.3E-04	5.0E-04	0	0.19
08087X0021 (17-20/12/1990)	0.1	5.2E-04	4.0E-03	35.0	0.0	33.0	10.0	>1	>1	>50	5.2E-04	4.0E-03	31000	0.1
08088X0017 (05-07/06/89)	0.1	4.8E-04	3.0E-03	60.0	0.0	41.6	5.0	>1	>1	>50	4.8E-04	3.0E-03	45000	0.2
07584X0007 (27-29/03/1990)	0.15	6.0E-03	3.9E-02	80.0	0.0	19.2	5.0	>1	>1	>50	6.0E-03	3.9E-02	90	1E-05
B55004APGK (18-19/04/2017)_57-181m	0.1	1.5E-03	6.0E-04	250.0	0.0	154.9	5.0	8E-01	3E-01	10	1.5E-03	6.0E-04	10000	0.1
B55004APGK (18-22/05/2017)_90-319m	0.1	8.8E-04	4.0E-04	200.0	0.0	178.0	5.0	9E-02	4E-02	10	8.8E-04	4.0E-04	1600	0.1
B55004DAZF (08-9/02/2023)	0.1	3.0E-04	4.0E-04	30.0	0.0	84.9	5.0	>1	>1	>50	3.0E-04	4.0E-04	52000	0.19

Tableau 13 : synthèse des paramètres hydrodynamiques, modèle à compartimentation latérale, pompage à proximité d'une zone perméable (ou non). Liste des paramètres en Tableau 5.

n°BSS	r (m)	x (m)	y (m)	T (m2/s)	S (-)	2.xf (m)	a_fract (°)	a (-)	d (m)	k' (m/s)	b' (m)	s (-)	C (m-5s2)	Rc (m)
08075X0014 (19-21/01/1988)	0.135	0.135	0	8.0E-02	0.01	550	0	1.30	28	0.00	1.00	0.01	200.00	1.00

Tableau 14 : synthèse des paramètres hydrodynamiques, modèle à fracture verticale dans un aquifère multicouche à proximité d'une source. Liste des paramètres en Tableau 6.

7. Conclusion

La reprise par modélisation de 76 essais par pompage sur 73 ouvrages, dont 32 dans les aquifères du Crétacé, 38 dans les aquifères du Jurassique et 3 ouvrages captant des aquifères des deux périodes, a permis d'en déduire avec une relative bonne confiance les ordres de grandeur des propriétés hydrodynamiques des principaux aquifères, les relations entre aquifères ou les effets liés à la géométrie des formations.

Les statistiques menées sur les propriétés hydrodynamiques déduites montrent que les perméabilités dans les différents aquifères du Crétacé et du Jurassique sont voisines, en moyenne aux environs de $K=1,5 \times 10^{-5}$ m/s. Il en est de même pour l'emmagasinement, aux environs de $5,0 \times 10^{-4}$.

Par séquences stratigraphiques, les horizons aquifères du Campanien, du Coniacien et du Santonien ($K : 3-6 \times 10^{-5}$ m/s) sont plus perméables que ceux du Turonien ($K : 6 \times 10^{-6}$ m/s). Dans le Jurassique, il est moins facile de voir des différences de perméabilité entre étages, les horizons aquifères du Bathonien, du Callovien et de l'Oxfordien ($K : 4 \times 10^{-5}$ m/s) semblent les plus perméables que ceux du Bajocien ($K : 1,5 \times 10^{-5}$ m/s).

La plupart des essais montrent que les forages interceptent une ou plusieurs fractures, ou des drains karstiques de dimension faible (quelques dizaines de mètres) à notable (plus de 1 000 m) suivant les cas. De façon quasi-systématique, les essais montrent des effets de drainance, cohérent avec le caractère multicouche de cet ensemble aquifère du Secondaire. Que les forages soient dans les aquifères du Crétacé ou du Jurassique, les perméabilités d'éponte sont comparables ($k'=2 \times 10^{-9}$ m/s ; valeur donnée pour une épaisseur unitaire).

Les essais ne montrent pas, à de rares exceptions près (cf. forages sur Agen), d'effets liés aux limites des aquifères, par exemple lié à des failles, ce qui sous-entend une extension plurikilométrique des aquifères en présence. Une singularité souvent rencontrée dans le Jurassique dans la partie nord du bassin est la présence de structures très perméables (drains karstiques) situées à proximité des ouvrages. Ceci peut suggérer que le karst jurassique est plus ouvert, plus développé, dans cette partie du bassin. Néanmoins cette prédominance, pourrait être la conséquence des modalités d'implantation des ouvrages cherchant fractures ou drains, structures plus facilement identifiables lorsqu'elles sont proches de la surface que profondes et sous couvert Crétacé.

La compilation de l'ensemble des données a permis de définir les gammes de perméabilité et d'emmagasinement des aquifères, ainsi que les éventuels effets de limite ou de drainance en provenance de niveau supérieur ou inférieur. Ces informations hydrodynamiques seront ensuite mises en perspective de l'information géologique (logs géologiques des ouvrages, cartes, acquisitions géophysiques, coupes régionales, etc.) et hydrogéochimique disponible, dans le but d'améliorer la connaissance de la géométrie des aquifères et de la répartition spatiale des propriétés hydrodynamiques, en lien avec la lithologie des formations. Ces informations serviront également à alimenter en paramètres hydrodynamiques les modèles numériques développés sur le territoire d'étude, notamment le Modèle Nord-Aquitain.

8. Références bibliographiques

- Bourdarot, G., 1996, Essais de puits : Méthodes d'interprétation, édition Technip, 350p.
- Bourdet D., Ayoud J.A. and Pirard Y.M., 1989. Use of pressure derivative in well-test interpretation. SPE, 293-302.
- Bourdet, Whittle T.M., Dougalis, A.A., Pirard V.M., 1983. A new set of type curves simplifies well test analysis, World Oil.
- Bourdet, D., 2002. Well Test Analysis: The Use of Advanced Interpretation Models, Elsevier, New York, 426p.
- Cabaret, O., Husson, É., Ladouche, B., Dewandel, B., Baudement, C. et André L. 2020. Synthèse hydrogéologique de la structure anticlinale d'Audignon - Rapport final. BRGM/[RP-69926-FR](#), 136 p., 110 ill., 4 ann.
- Calligée, 2012. Diagnostic d'ouvrage, SIAEP de Sainte Alvére Lalinde-NORD. Forage Falgueyret - 24510 Sainte-Alvére. Examen endoscopique, diagraphies de production, caractéristiques hydrauliques contrôle de cimentation. Réf. rapport : HA_12-2012/04. 50 p.
- Chigot, D., 1989. S.I.A.E.P. d'Issigeac, compte rendu des travaux de réalisation d'un forage d'exploitation à Bouniagues (24). Rapport BRGM/89SGN184AQL. 93 p.
- Deruyck B., Ehlig-Economides C. and Joseph J., 1992. Testing design and analysis. Oilfield and analysis. 28-45.
- Dewandel B., Aunay B., Maréchal J.C., Roques C., Bour O., Mougin B. et Aquilina, L. 2014. Analytical solutions for analysing pumping tests in a sub-vertical and anisotropic fault zone draining shallow aquifers. J of Hydrology. 509 (2014) 115–131.
- Dewandel B., 2018. Méthodes analytiques d'estimation de l'impact quantitatif d'un prélèvement en nappe sur un cours d'eau – Problématique et solutions mathématiques. Rapport final. BRGM/RP-67566-FR, 107 p., 45 fig., 2 tabl., 1 ann.
- Dewandel B., S. Lanini, J.-C. Maréchal, P. Lachassagne, 2018. A generic analytical solution for modelling pumping tests in wells intersecting fractures. J of Hydrology, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.013>.
- Dewandel B., Hakoun V., Lanini S., Ladouche B, Lamotte C., Maréchal J.-C., 2022. Analytical solutions for analysing pumping tests near an infinite vertical and anisotropic fault zone based upon unconventional application of well-image theory. Advances in Water Resources, 160, 1-19, <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.104107>.
- Gringarten, A.C., Ramey, H.J. Raghavan R., 1974. Unsteady-state pressure created by a well with a single infinite-conductivity vertical fracture. SPE, August 1974, 347-360.
- Hantush, M.S., 1964. Hydraulics of wells. In: Chow V.T. (Ed.), Advances in Hydroscience, vol. 1. Academic Press New York, N.Y.

Hunt, B., 2004. A spring-depletion solution. ASCE Journal of Hydrologic Engineering, Vol.9, No.2: 144-149.

Hunt, B. and Scott D., 2007. Flow to well in a two-aquifer system. J. of Hydrologic Engineering, 146-155.

Maréchal J.C., Ladouche B., Dewandel B., Fleury P., Dörfli N., 2014. Diagnostic Plots Applied to Well-Tests in Karst Systems. J. Mudry et al. (eds.), H2Karst Research in Limestone Hydrogeology, Environmental Earth Sciences, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-06139-9_9.

Mazurier C., Platel J.P., Pédrón N., 2009a. Réalisation d'un piézomètre (08547X0008/PZ) captant la nappe du Santonien dans le cadre de la DCE Commune de Monbahu (47). BRGM/[RP-56847-FR](#), 39 p., 22 illustrations, 11 annexes.

Mazurier C., Platel J.P., Pédrón N., Grabenstaetter L., 2009b. Réalisation d'un piézomètre (08534X0009/PZ) captant la nappe du Turonien dans le cadre de la DCE Commune de Peyrière (47). BRGM/[RP-56846-FR](#), 40 p., 27 illustrations, 11 annexes.

RDE 24, 2021. Régie des Eaux de la Dordogne, Recherche et captage d'eaux souterraines par forage sur le secteur du Bugue (24). Rapport de fin de travaux de forage de reconnaissance Forage 1 bis – Les Eyzies. 50 p.

RDE 24, 2022. Régie des Eaux de la Dordogne Recherche et captage d'eaux souterraines par forage sur le secteur du Bugue (24), Compte-rendu de travaux Forage 1 bis – Les Eyzies. 50 p.

Renard, P., Glenz, D. and M. Mejias, 2009. Understanding diagnostic plots for well-test interpretation, Hydrogeology Journal, vol. 17, pp. 589-600, doi: <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0392-0>.

Schlumberger. 2002. Well test interpretation. SCHLUMBERGER. Rap., 122 p.

S.H.E., 1998a. Communes de Nontron et de Saint Martial de Valette, alimentation en eau potable, recherches et captage d'eaux souterraines, rapport de fin de travaux, mai 1998.

S.H.E., 1998b. S. I. A. E. P. DE Saint Laurent sur Manoire. Aménagement du forage du moulin de Dague. Rapport de fin de travaux, oct. 1998. 44 p.

S.H.E., 1999a. S.I.A.E.P de de Mazeyrolles, achèvement du forage de Saint Cernin de l'Herm, rapport de fin de travaux, mars 2003. 18 p.

S.H.E., 1999b. S.I.A.E.P de La Force, création d'une nouvelle ressource en eau sur la commune de Lunas à partir des nappes souterraines, rapport de fin de travaux, mai 2003. 76 p.

S.H.E., 1999c. S.I.A.E.P. DE Saint Vincent le Paluel. Diagnostic du forage du moulin de Fageat à Proissans. Nov.1999. 35 p.

S.H.E, 2000. 08316X0017-Gaugeac (pas de référence rapport)

S.H.E., 2001a. S.I.A.E.P. de Coulounieix-Razac. Création d'une nouvelle ressource en eau sur la commune de Château l'Évêque. Rapport de fin de travaux. Juin 2001. 187 p.

S.H.E., 2001b. Commune de Thiviers, forage de Las Combas à Vaunac, dossier de demande de prélèvement d'eau dans le milieu naturel en vue de la consommation humaine, et d'institution des périmètres de protection de ce point de prélèvement d'eau, déc. 2001.

S.H.E., 2002a. S.M.P.E.P de Terrasson, alimentation en eau potable, forages de Coly, pièce n°4 : études préalables du bureau d'études S.H.E, oct. 2002. 139 p.

S.H.E, 2002b. 07846X0016-St-Amand-de-Coly (pas de référence rapport)

S.H.E., 2002c. S.I.A.E.P d'Issigeac, source de Ley Fonts, études préalables à la mise en place des périmètres de protection, mars 2002. 99 p.

S.H.E., 2003. S.I.A.E.P de Ribérac-Nord, création d'une nouvelle ressource en eau pour la commune de Villeteureix, rapport de fin de travaux, mai 2003. 186 p.

S.H.E., 2006a. S.I.A.E.P de la région de Vergt. Création d'une nouvelle ressource en eau pour la commune de Vergt, 19ème tranche, rapport de fin de travaux, janv. 2006. 142 p.

S.H.E., 2006b. S.I.A.E.P de Maurens, diagnostic du forage de Bardicales, nov. 2006. 42 p.

S.H.E., 2010. S.I.A.E.P de Sainte-Alvère - Lalinde Nord. Essais de débit du forage de « Pique » commune de Pressignac-Vicq, rapport de fin de travaux, juin 2010. 36 p.

S.H.E., 2011. S.I.A.E.P. Vézère-Dordogne, alimentation en eau potable. Forage de Monsec, commune de Mouzens. Dossier de demande. Avril 2011, 134 p.

S.H.E., 2013. Dossier de demande d'augmentation des prélèvements d'eau dans le milieu naturel n°BSS : 08317X0026/F. M. Samarut, Les Esperonnies 24540 Saint-Marcory. 31p.

S.H.E., 2014. Forage de la commune de Mauzens-et-Miremont (n° BSS : 08073X0054). Département de la Dordogne. Interprétation du pompage de juillet-août 2014, DO-12-10-14 981, DE-12-10-13 108. 6 p.

S.H.E. (2016/2017). Étude diagnostique et schéma directeur rapport phase 3 : Investigation sur les ressources -partie 3 : forage du Malpas. Commune de Saint-Cyprien (Dordogne) Alimentation en Eau Potable Diagnostic A.E.P. 40 p.

S.H.E., 2017. Département de la Dordogne, S.I.A.E.P. Isle-Dronne-Vern (ex-S.I.A.E.P. de Coulounieix-Razac), opération 2013_35 - sondage de reconnaissance et captage d'eau souterraine, rapport de fin de travaux sondage de reconnaissance de la combette commune de Saint Astier. 99 p.

S.H.E., 2018. Département de la Dordogne, SOBEVAL Forage des abattoirs Commune de Boulazac, études préalables à l'avis de l'hydrogéologue agréé. 46 p.

S.H.E., 2021. Forage d'irrigation de Pech del Rat (Capdrot-24). Dossier des ouvrages exécutés (DOE)- Avril 2012. 38 p.

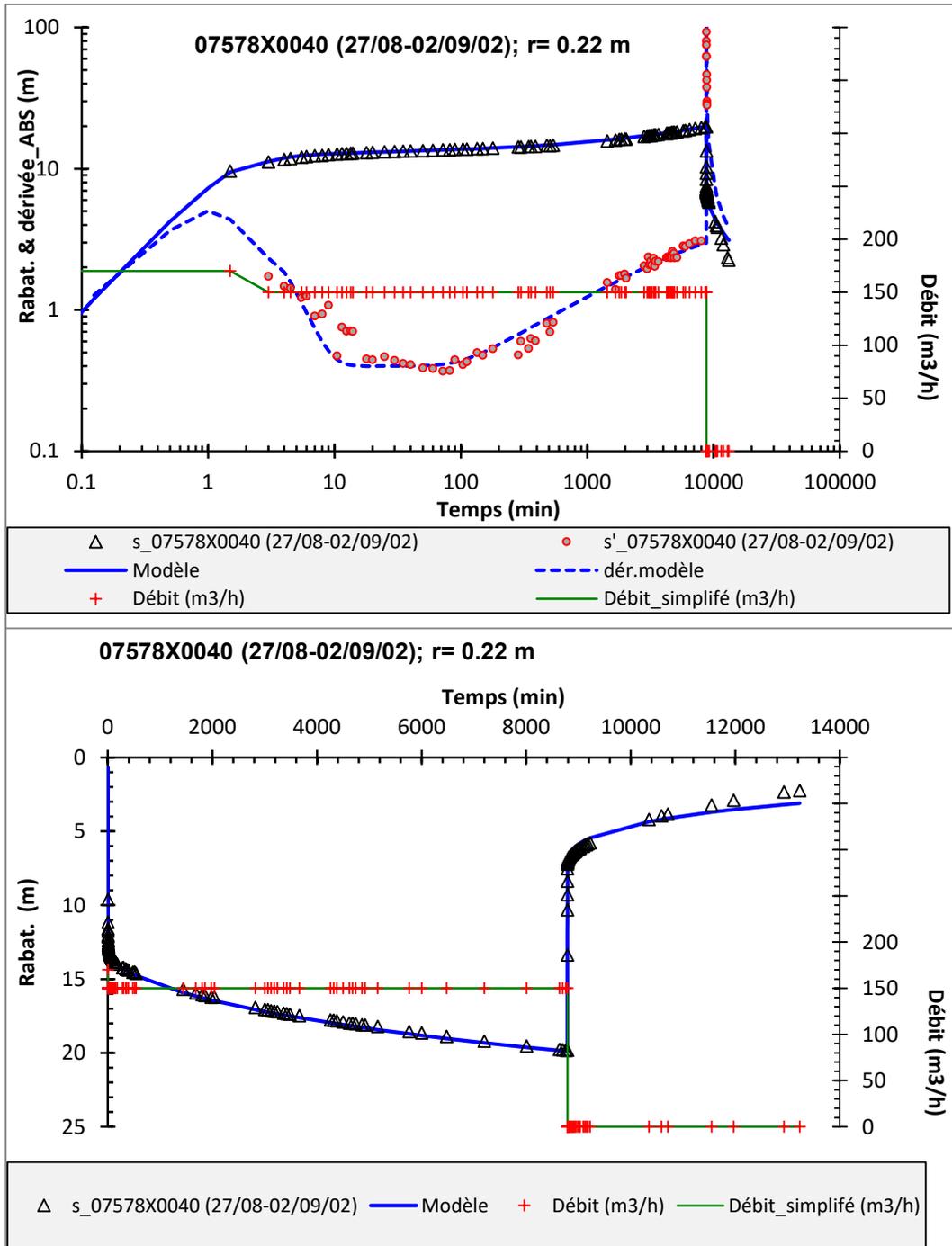
S.H.E., 2023a. Département de la Dordogne, commune de Cubjac-Auvezère-Val d'Ans), forage d'irrigation de La Cerise, dossier des ouvrages exécutés (D.O.E.), Fév.2023. 21 p.

S.H.E., 2023b. Opération 2018_07_DUP-SMAEP du Périgord Noir : périmètre de protection du puits de la Boissière – Phase DUP. Pièce n°4 : études préalables à l'avis de l'hydrogéologue agréé DO-18-04-15 982, DE-18-06-14 256. 101 p.

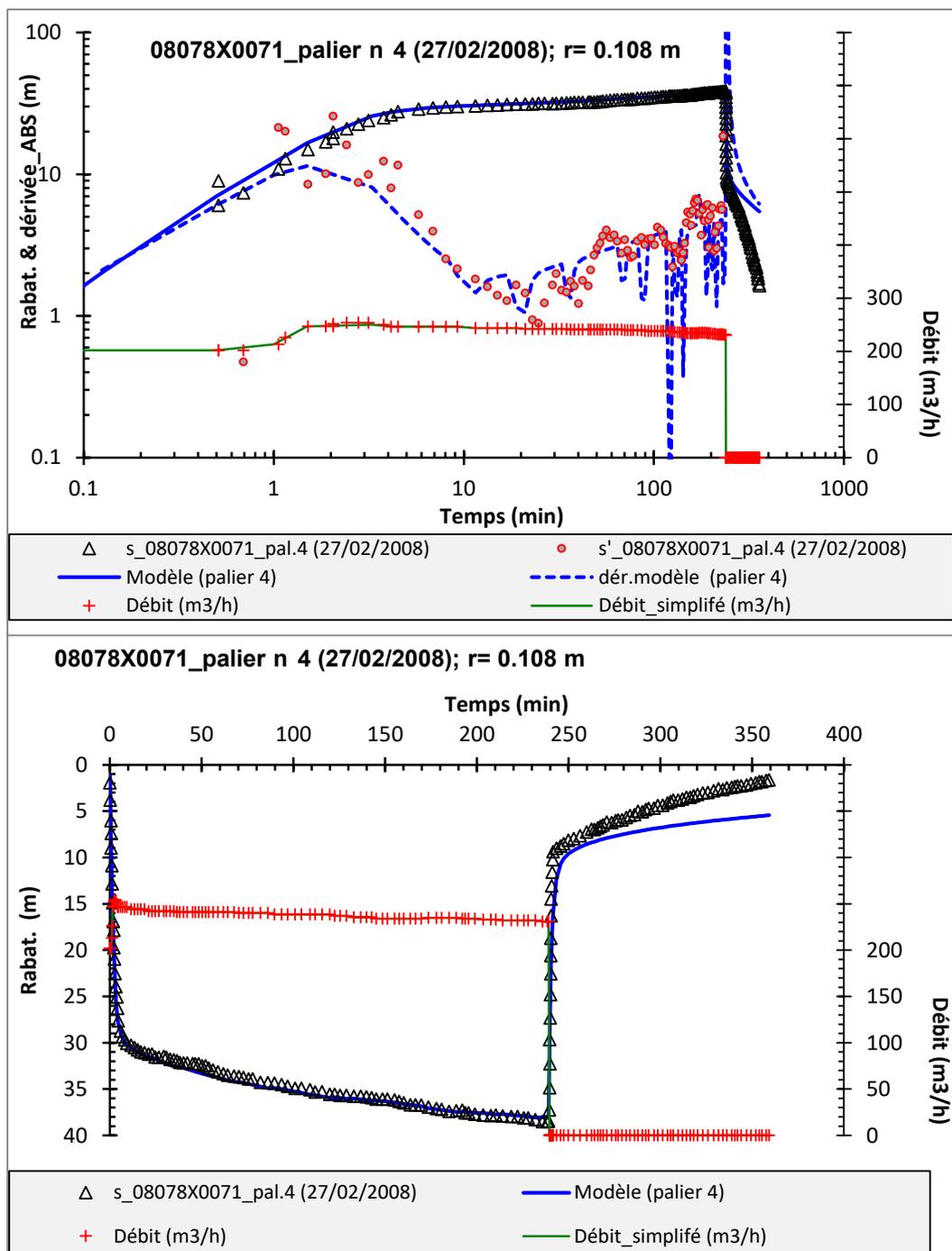
Spane F.A., Wurstner S.K., 1993. DERIV: a computer program for calculating pressures derivatives for use in hydraulic test analysis.

Annexe 1 Modélisation des essais

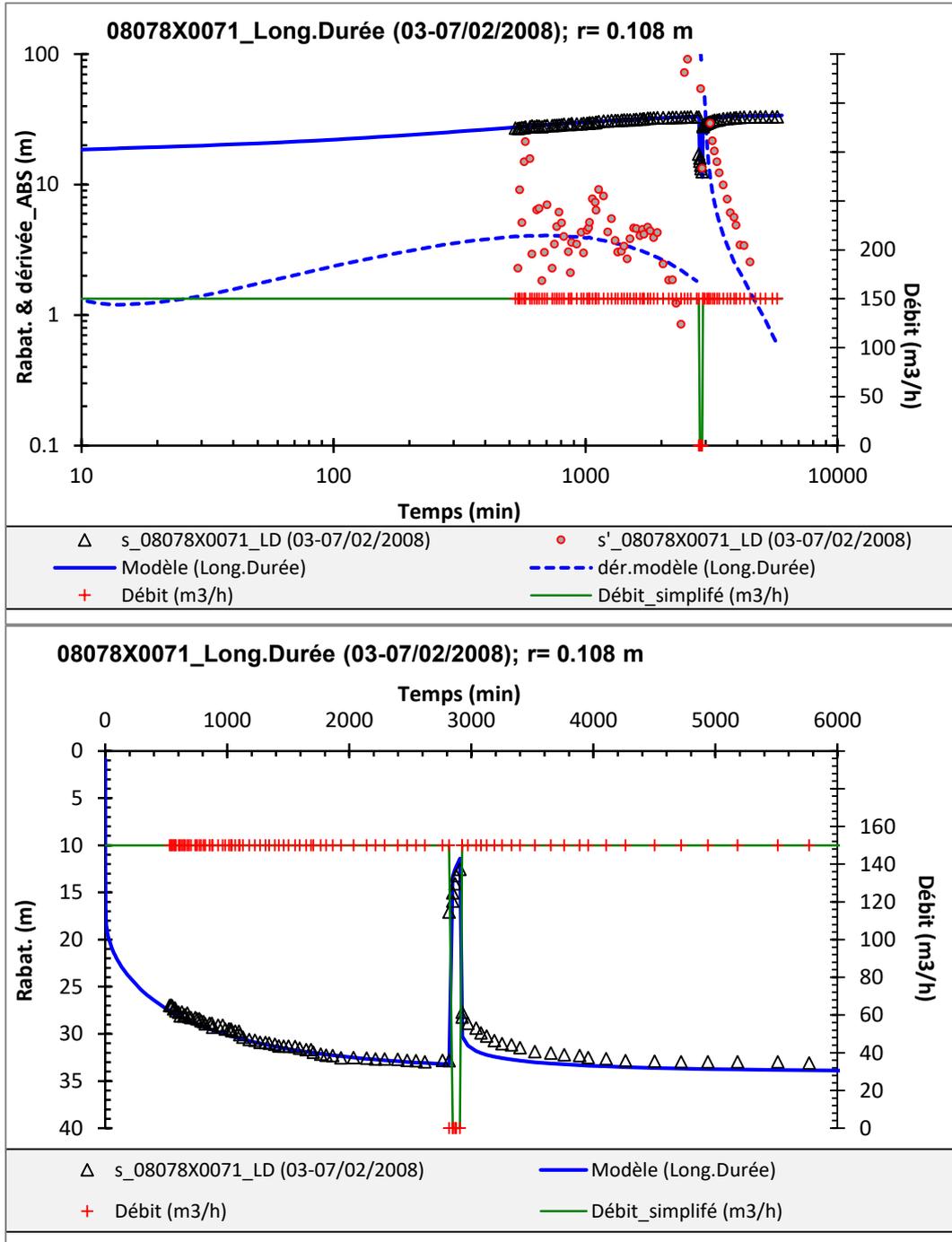
Modèle: aquifère multicouche



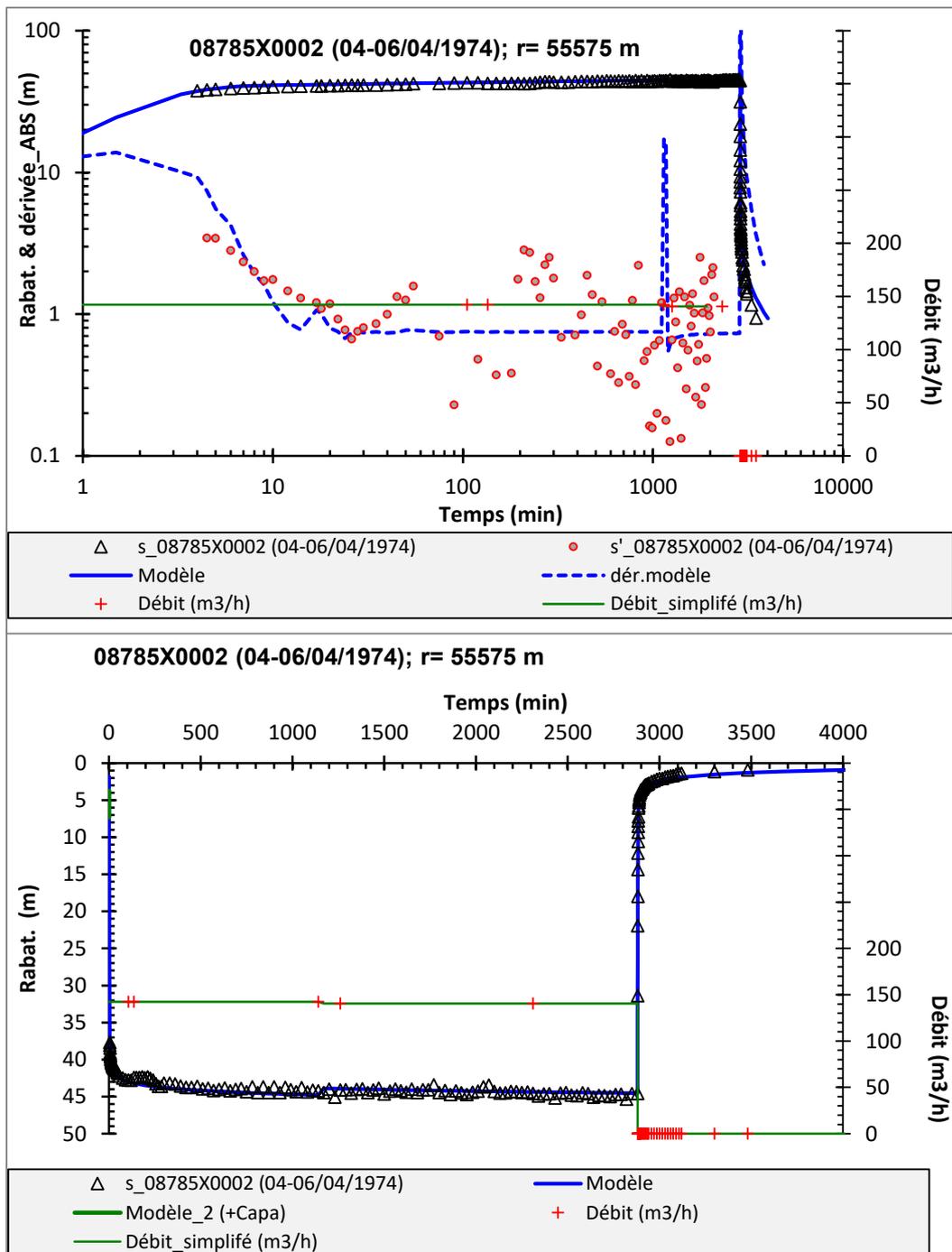
A-1. : modélisation de l'essai du 27/08 au 02/09/2002 sur le forage n°BSS : 07578X0040, (Villetoueix). Modèle : aquifère multicouche.



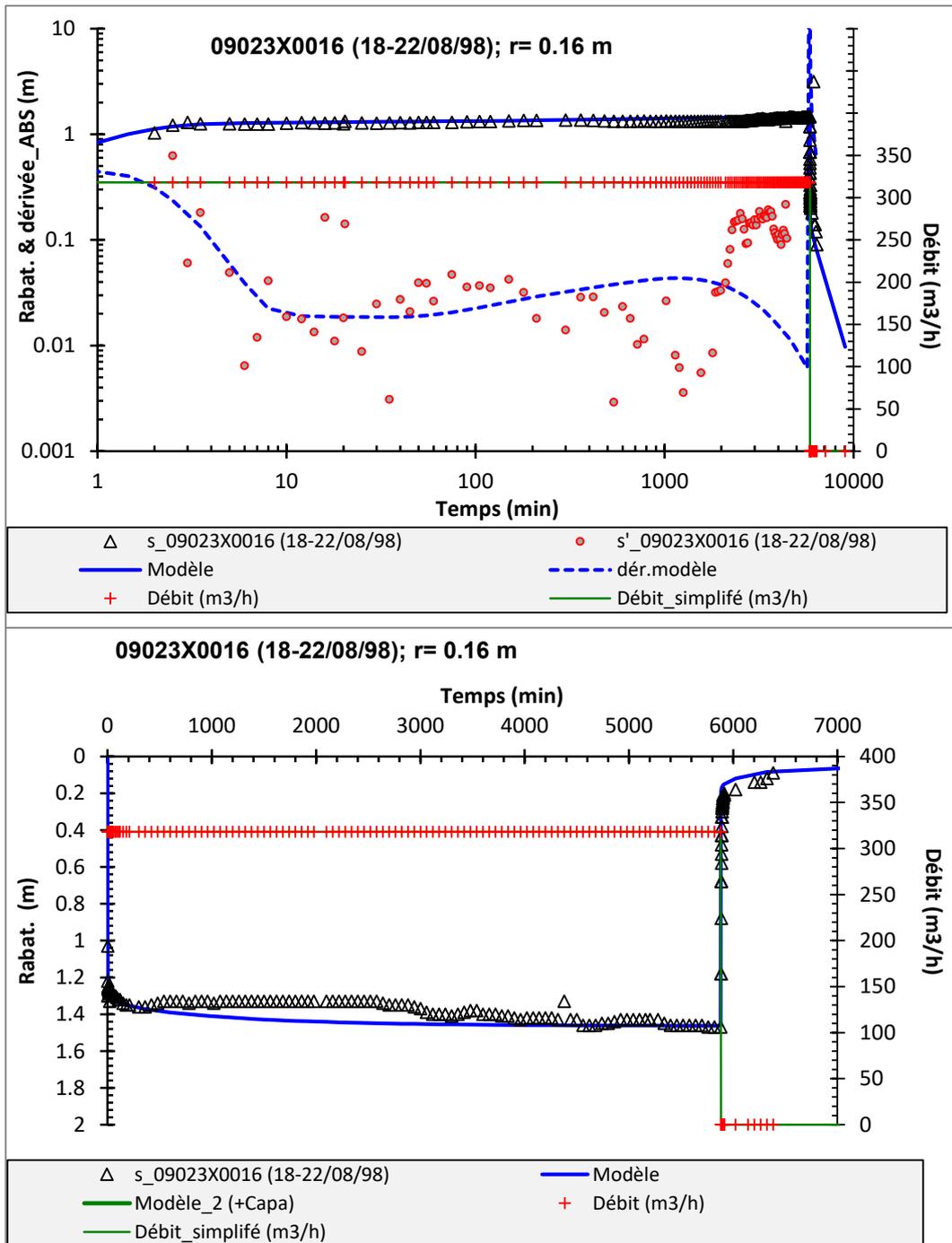
A-2. : modélisation du pompage du 4^{ème} palier du 27/02/2008 sur le forage n°BSS : 08078X0071 (Mouzens). Modèle : aquifère multicouche.



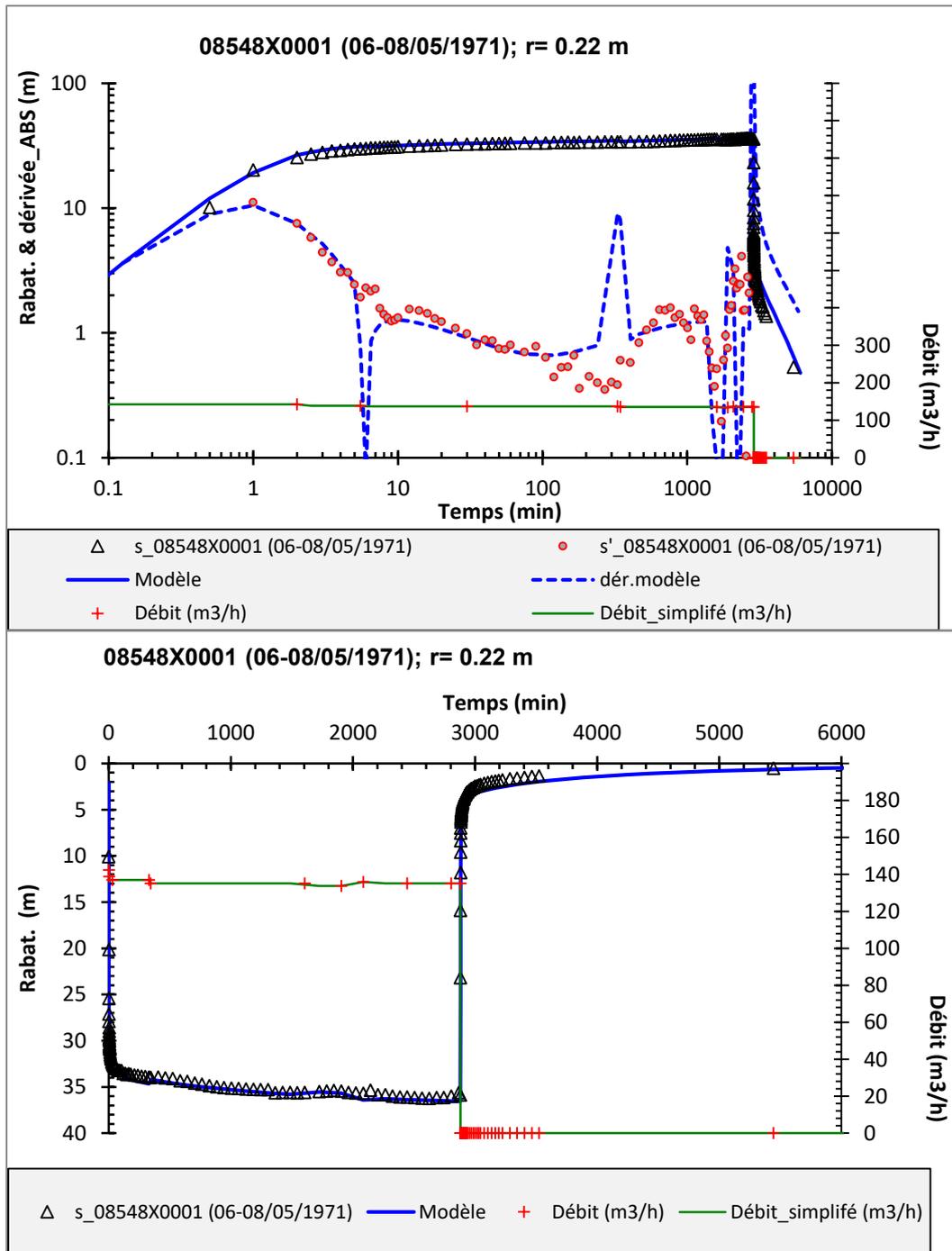
A-3. : modélisation de l'essai du 03-07/02/2008 sur le forage n°BSS : 08078X0071 (Mouzens).
Modèle : aquifère multicouche.



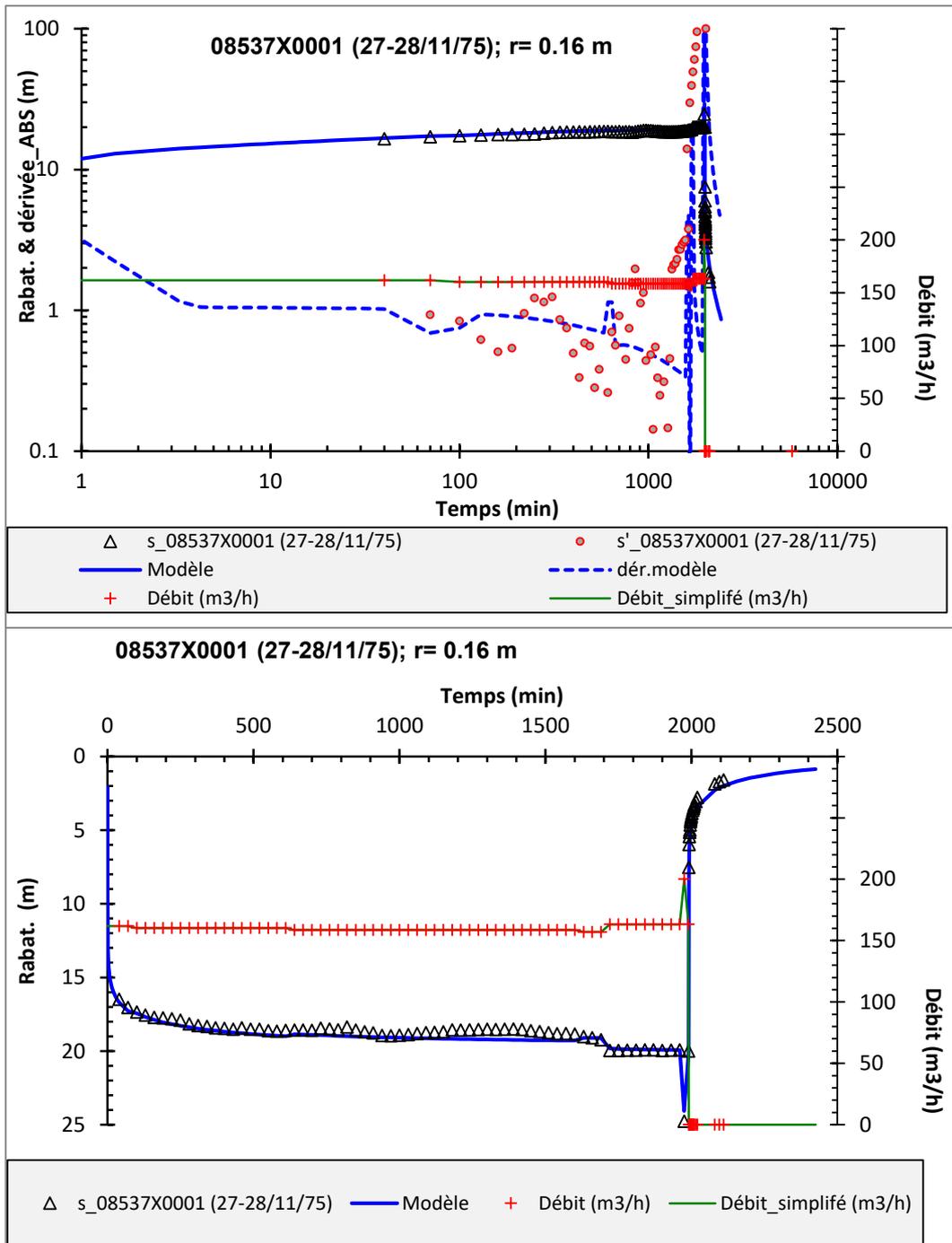
A-4. : modélisation de l'essai du 04-06/04/1974 sur le forage n°BSS : 08785X0002 (Clairac).
 Modèle : aquifère multicouche.



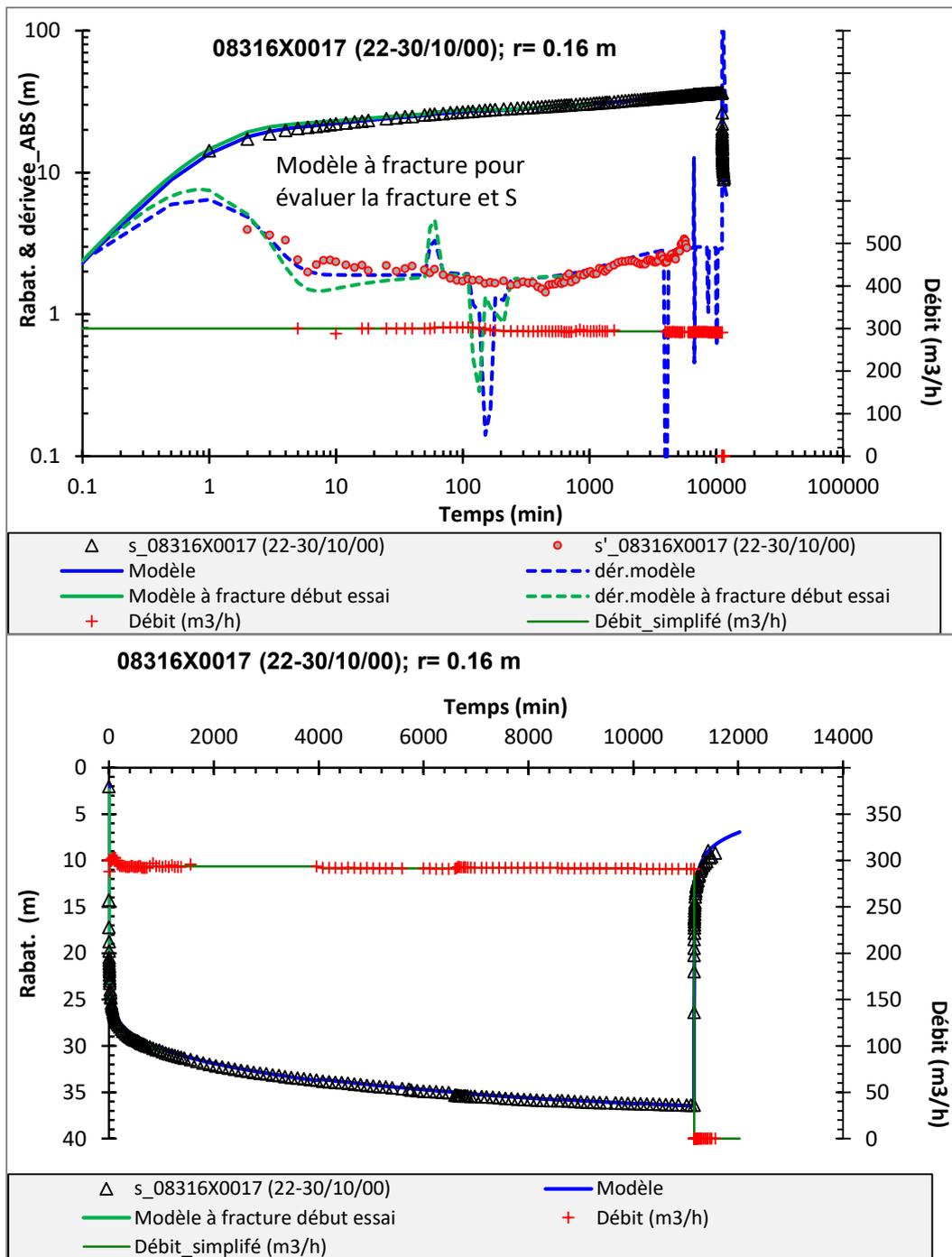
A-5. : modélisation de l'essai du 18-22/08/1998 sur le forage n°BSS : 09023X0016 (Agen).
 Modèle : aquifère multicouche.



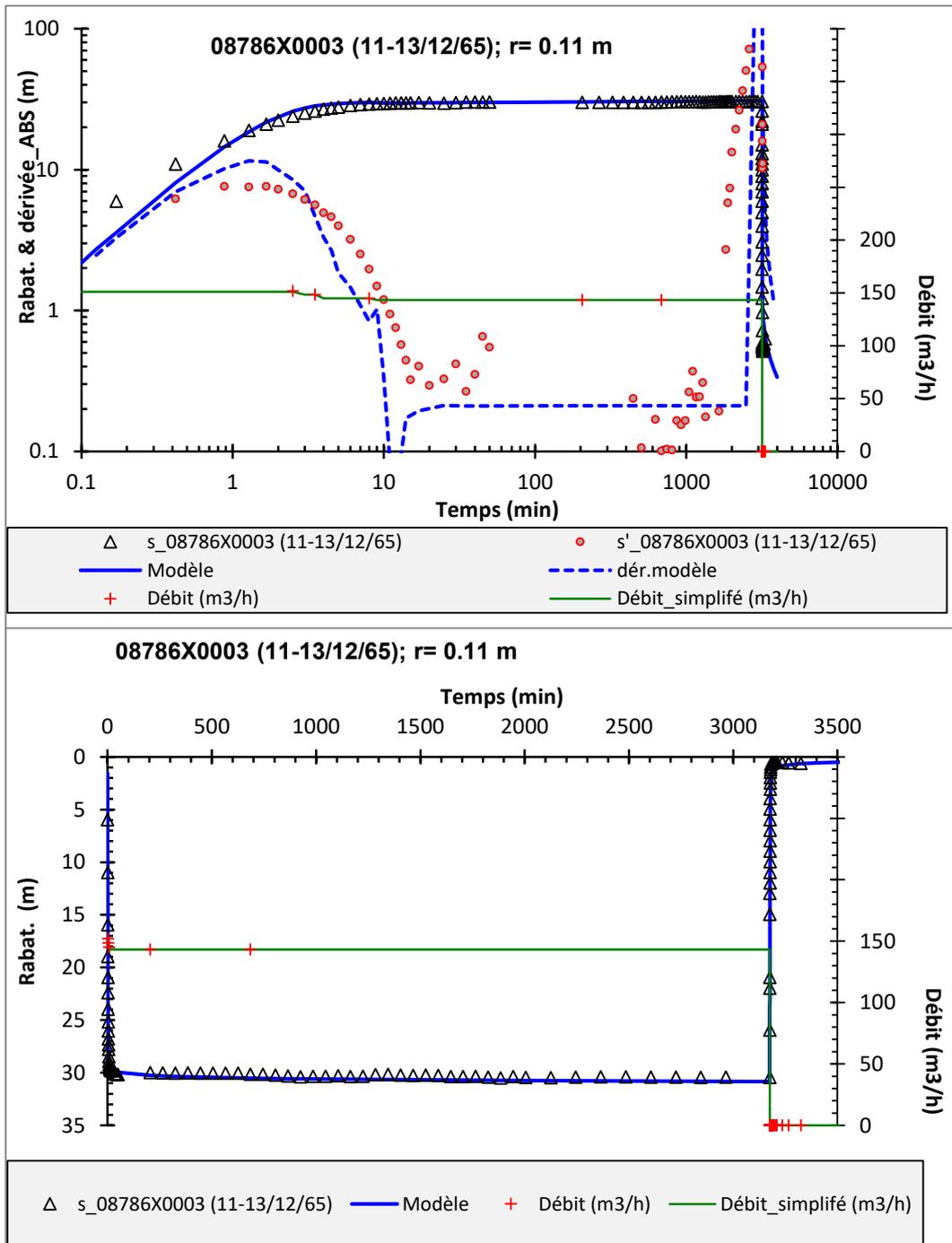
A-6. : modélisation de l'essai du 06-08/05/1971 sur le forage n°BSS : 08548X0001 (Boudy-de-Beauregard). Modèle : aquifère multicouche.



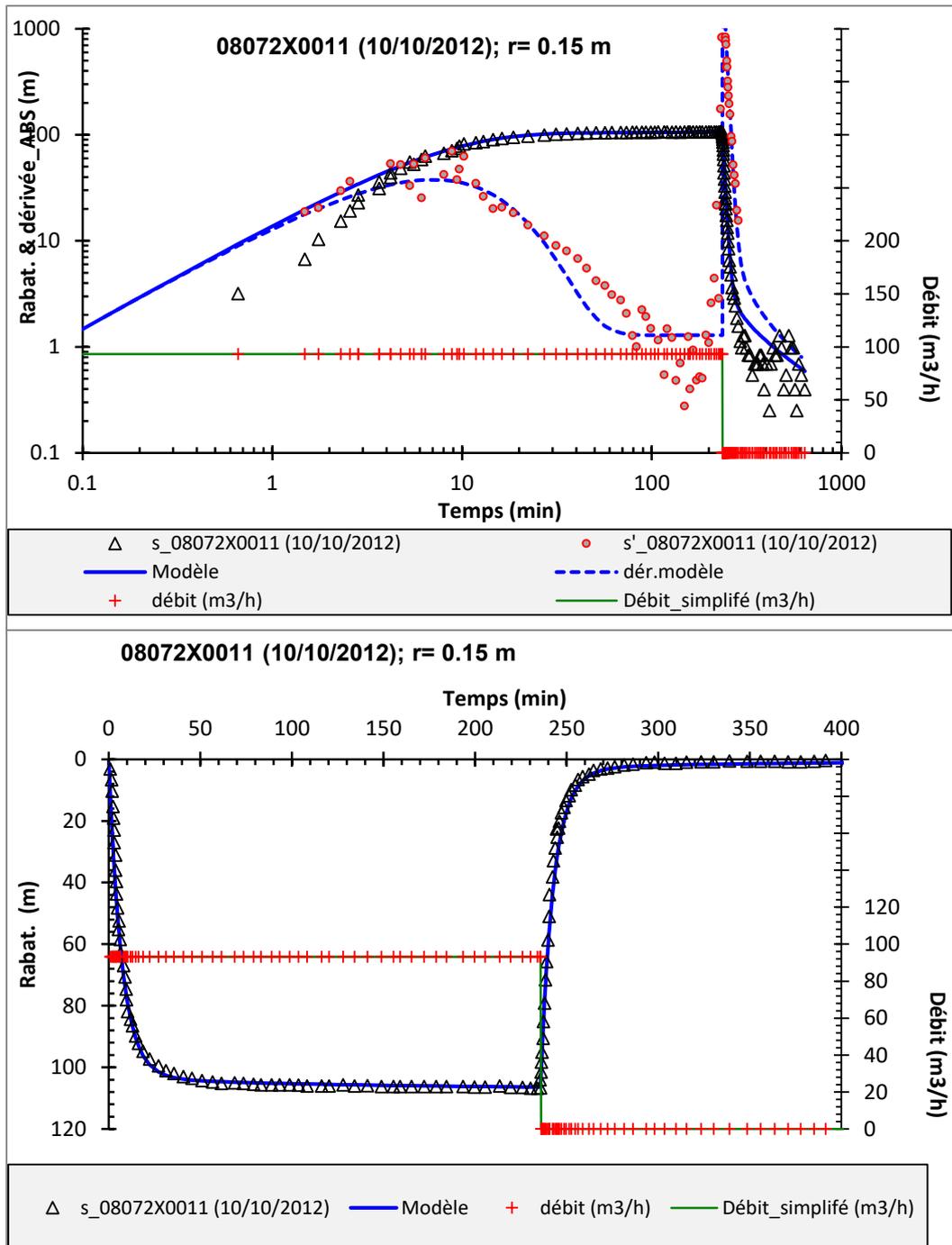
A-7. : modélisation de l'essai du 27-28/11/1975 sur le forage n°BSS : 08537X0001 (Virazeil).
 Modèle : aquifère multicouche.



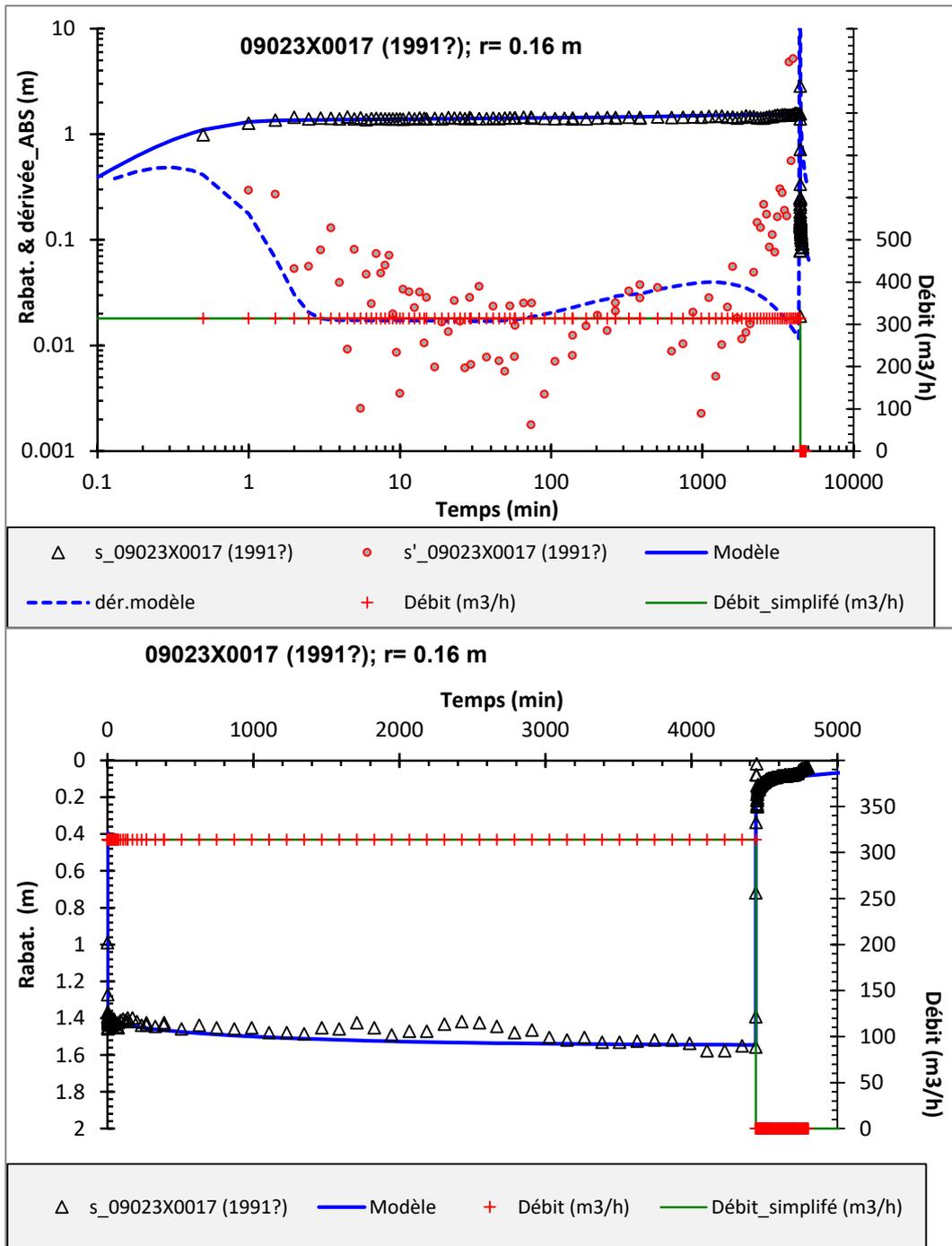
A-8. : modélisation de l'essai du 20-30/10/2000 sur le forage n°BSS : 08316X0017 (Gaugeac).
 Modèle : aquifère multicouche.



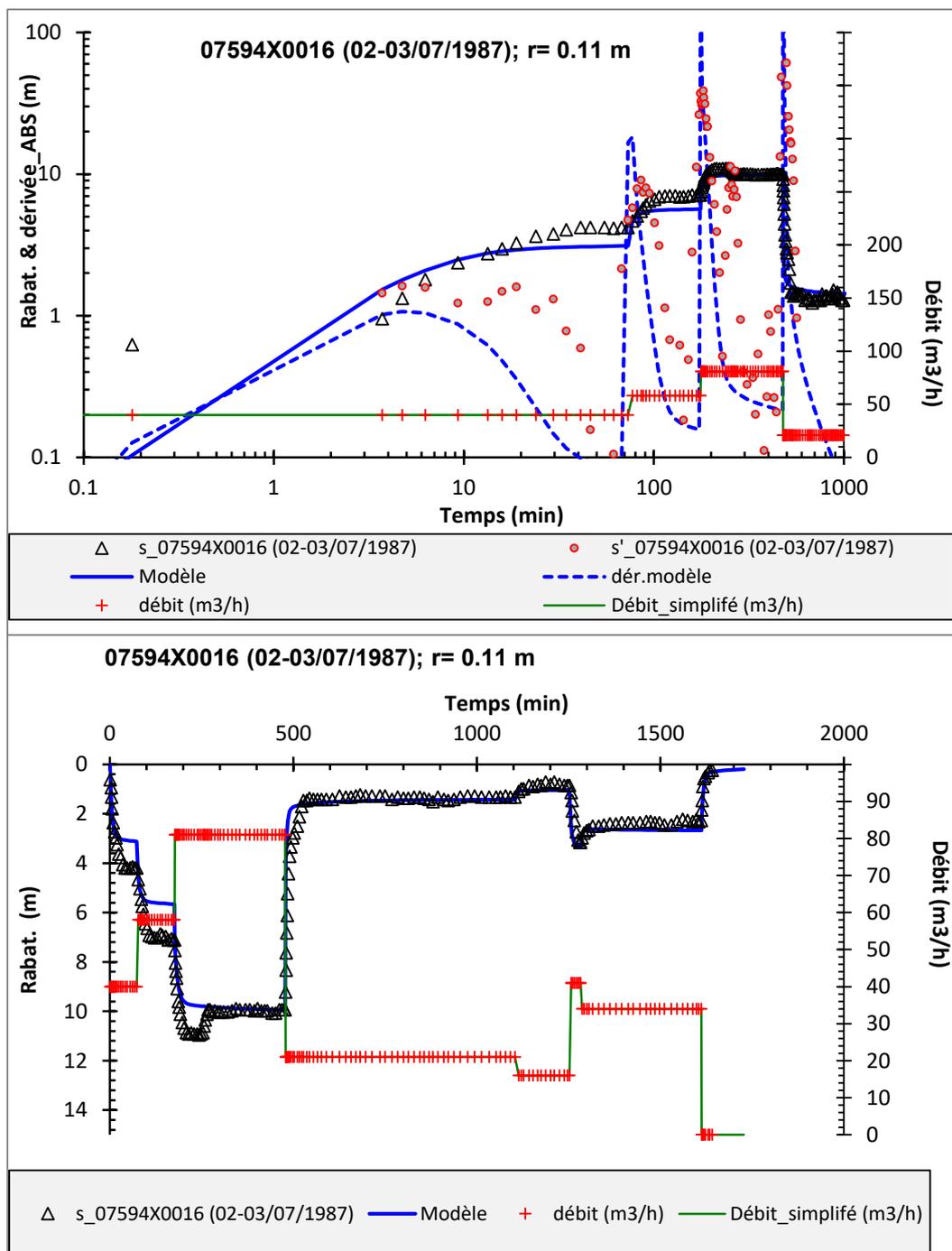
A-9. : modélisation de l'essai du 11-13/12/1965 sur le forage n°BSS : 08786X0003 (Prayssas).
 Modèle : aquifère multicouche.



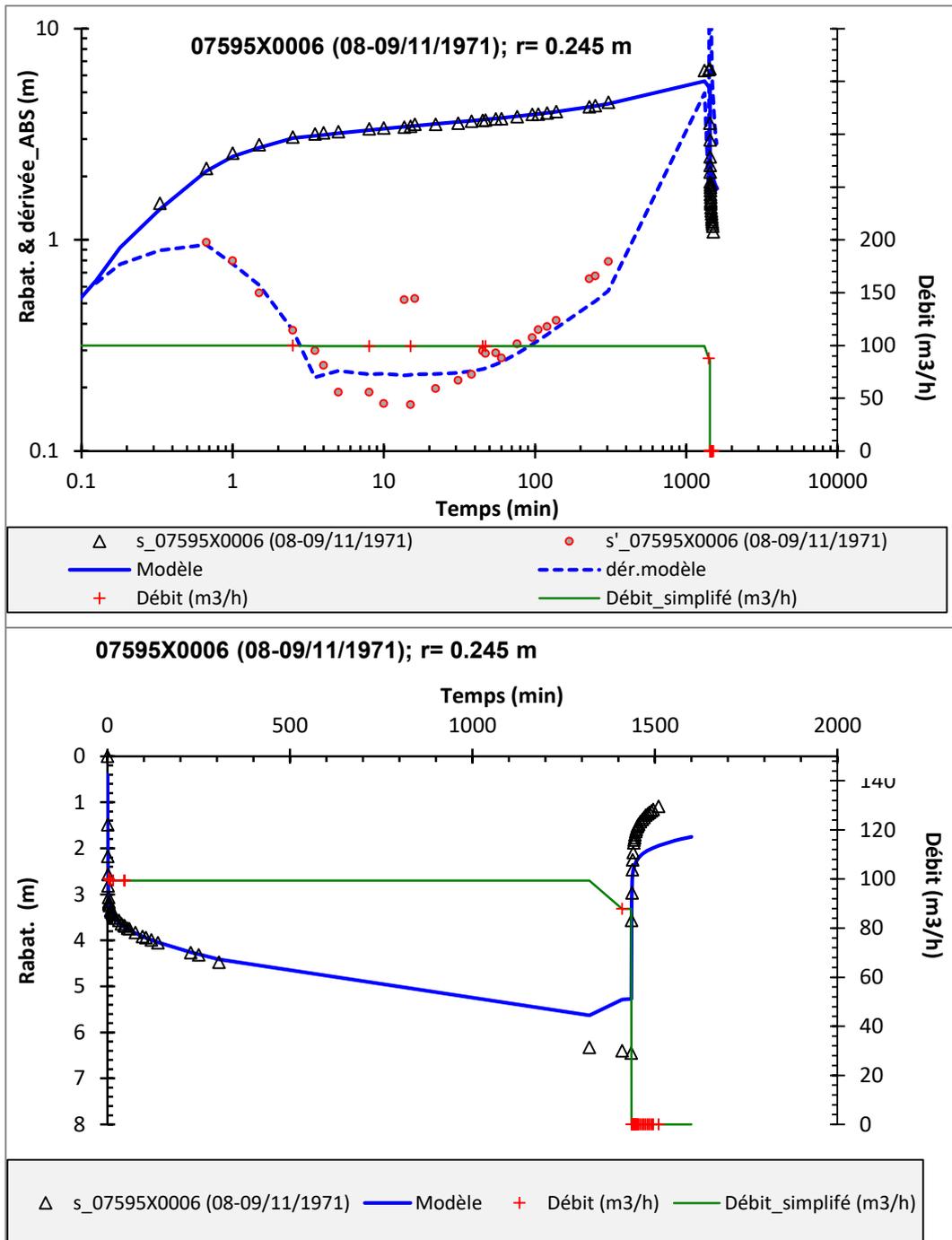
A-10. : modélisation de l'essai du 10/10/2012 sur le forage n°BSS : 08072X0011 (St Alvère).
 Modèle : aquifère multicouche.



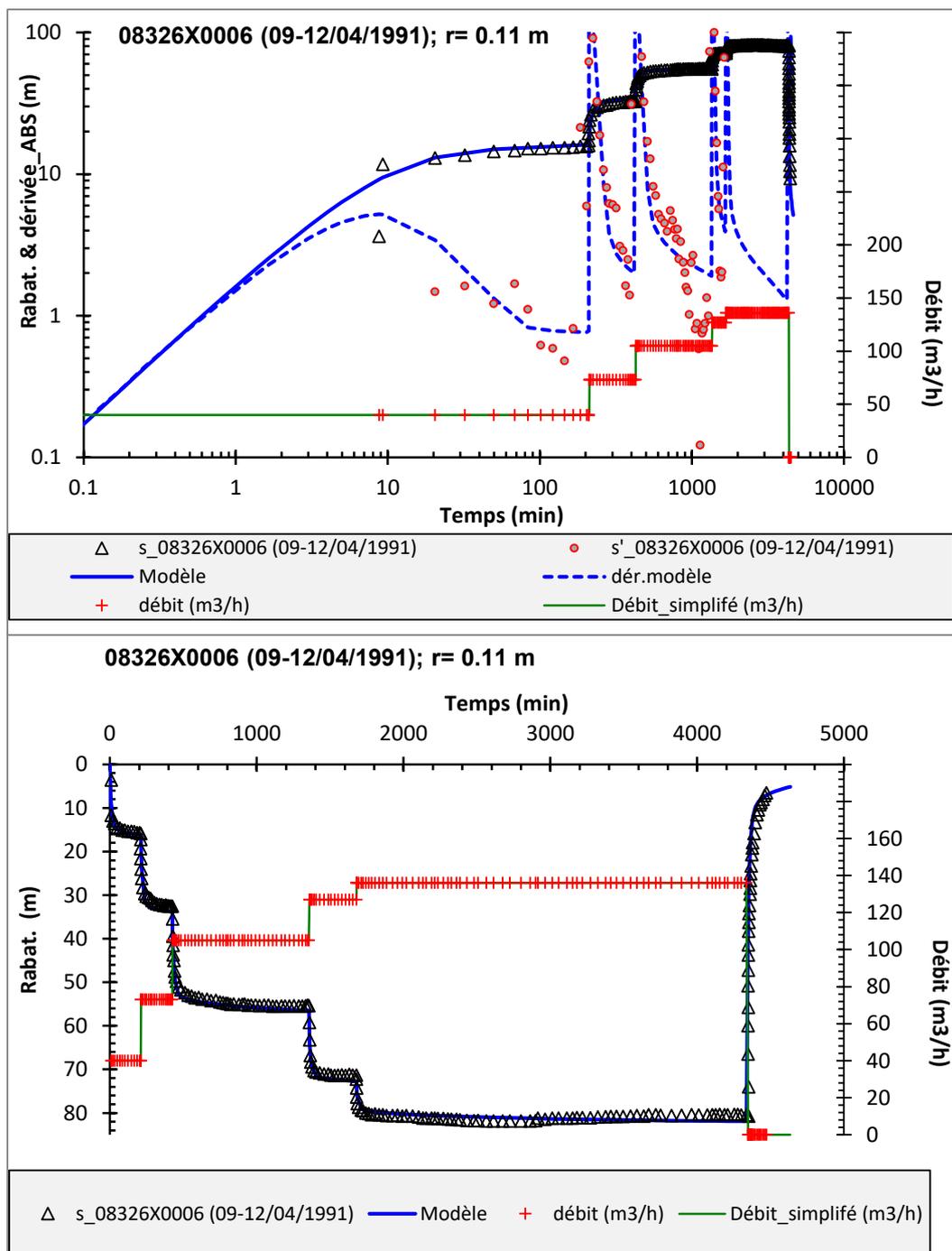
A-11. : modélisation de l'essai de 1991 (?) sur le forage n°BSS : 09023X0017 (Agen). Modèle : aquifère multicouche.



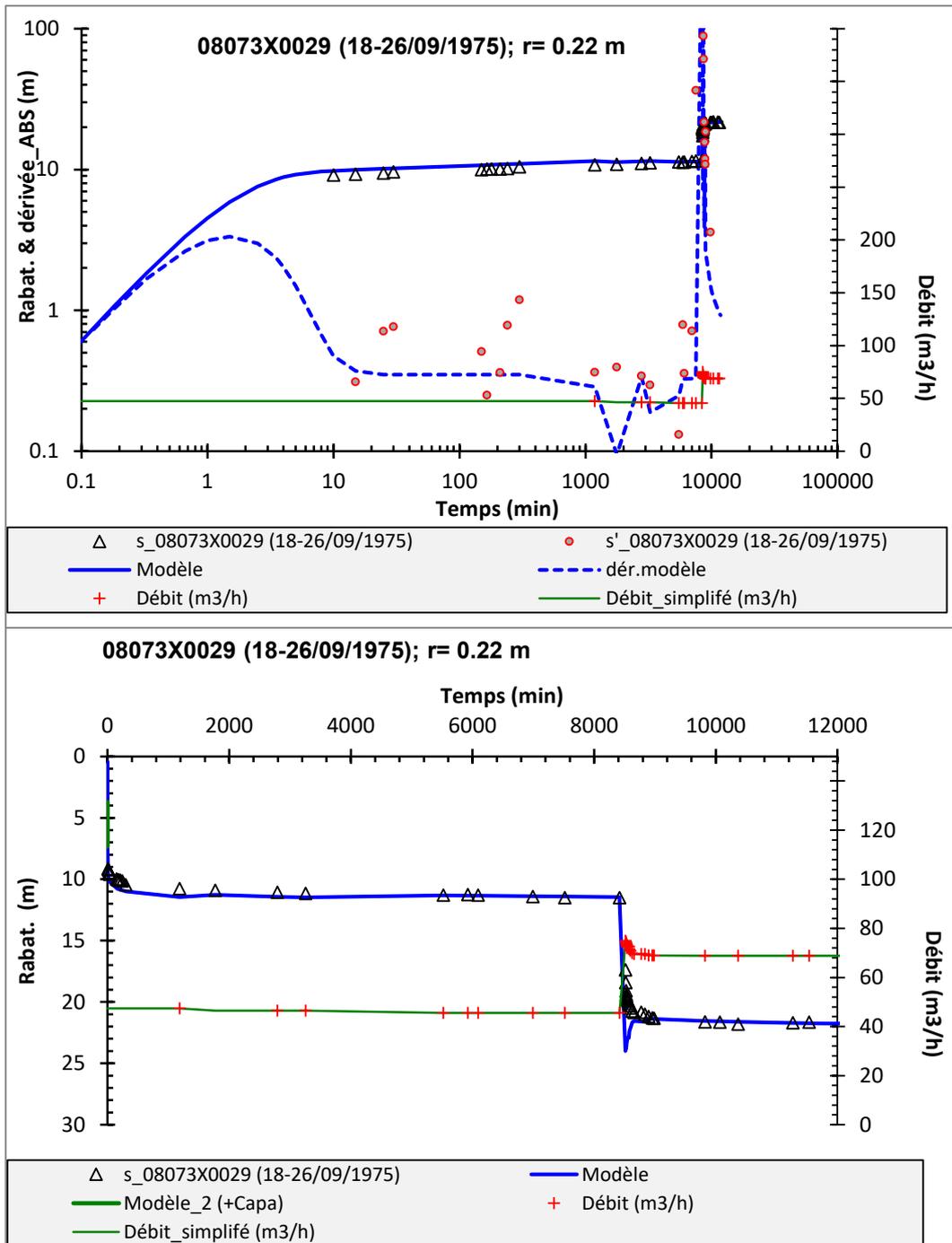
A-12. : modélisation de l'essai du 02-03/07/1987 sur le forage n°BSS : 07594X0016 (St Pantaly).
Modèle : aquifère multicouche.



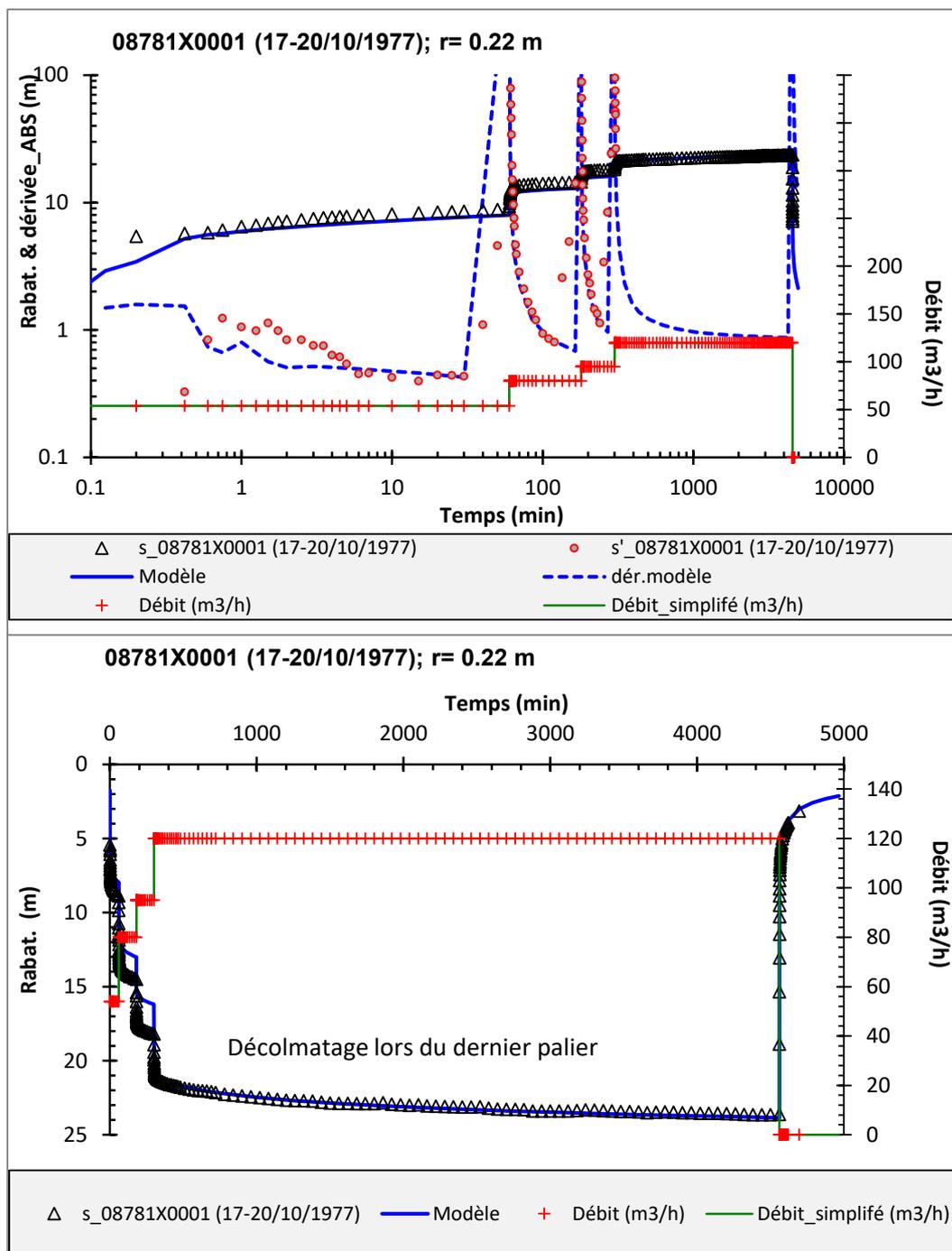
A-13. : modélisation de l'essai du 08-09/11/1971 sur le forage n°BSS : 07595X0006 (Trelissac).
Modèle : aquifère multicouche.



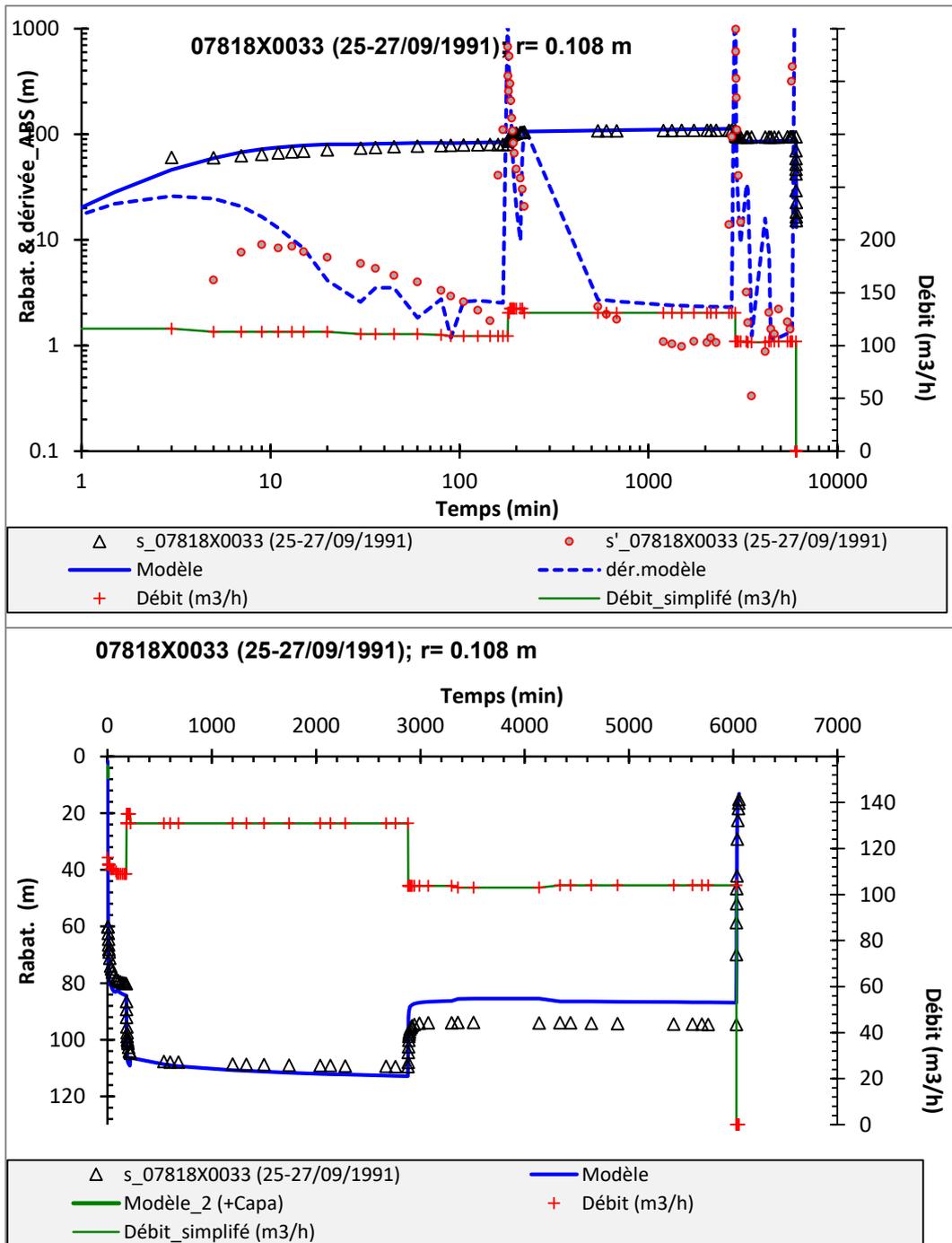
A-14. : modélisation de l'essai du 09-12/04/1991 sur le forage n°BSS : 078326X0006 (Bouzig).
 Modèle : aquifère multicouche.



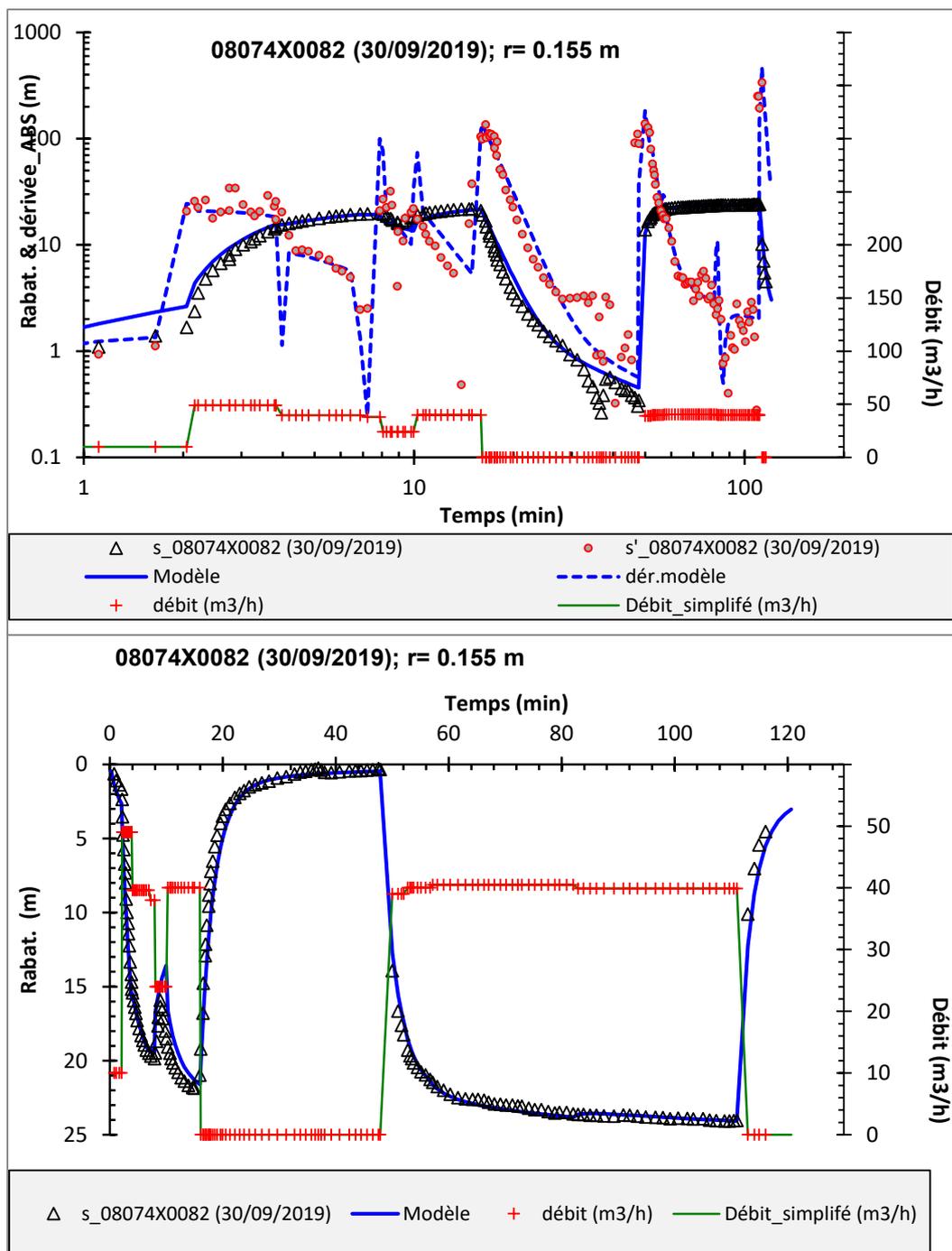
A-15. : modélisation de l'essai du 18-26/09/1975 sur le forage n°BSS : 08073X0029 (Le Bugue).
Modèle : aquifère multicouche.



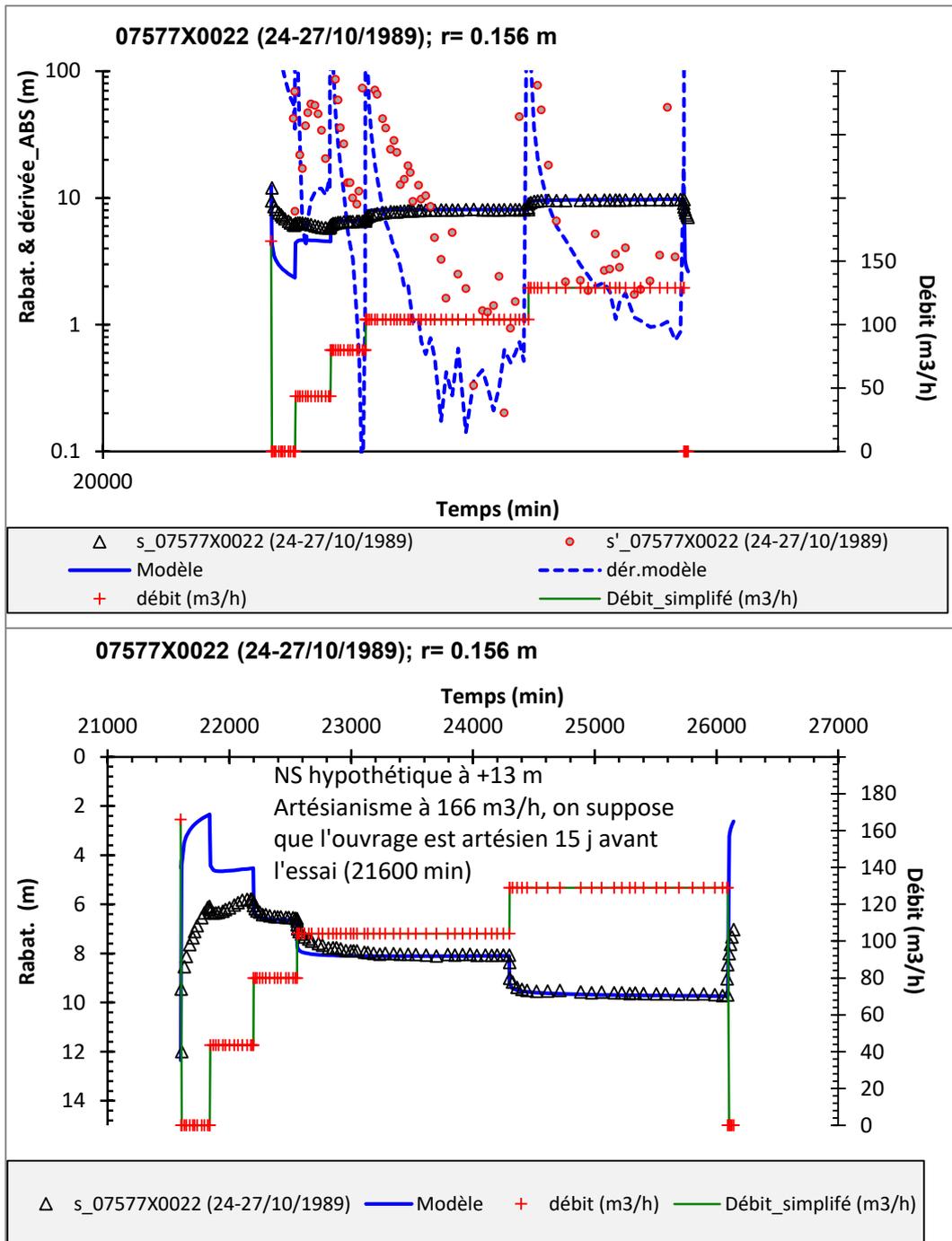
A-16. : modélisation de l'essai du 17-20/10/1977 sur le forage n°BSS : 08781X0001 (Laparade).
 Modèle : aquifère multicouche.



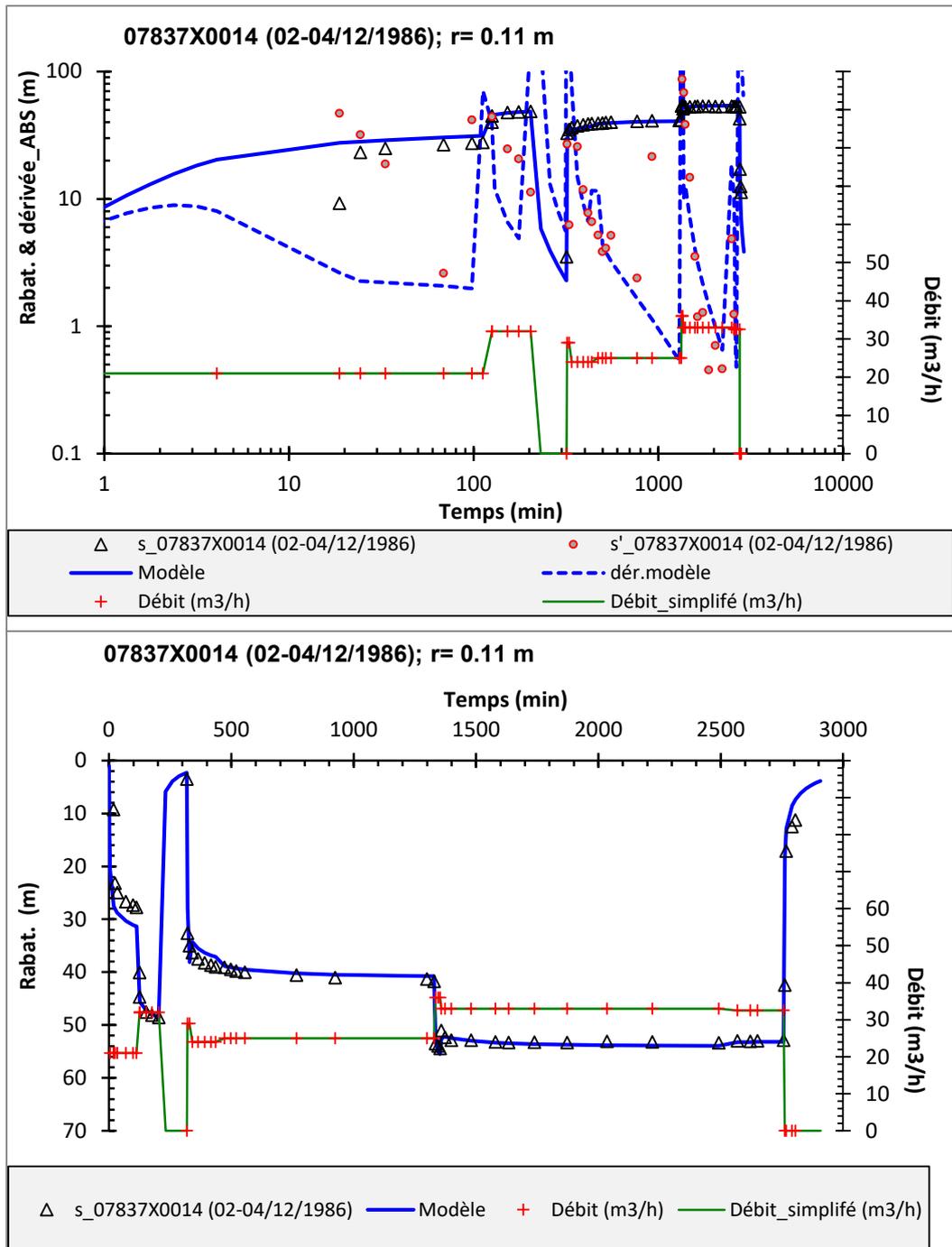
A-17. : modélisation de l'essai du 25-27/09/1991 sur le forage n°BSS : 07818X0033 (St Front de Pradoux). Modèle : aquifère multicouche.



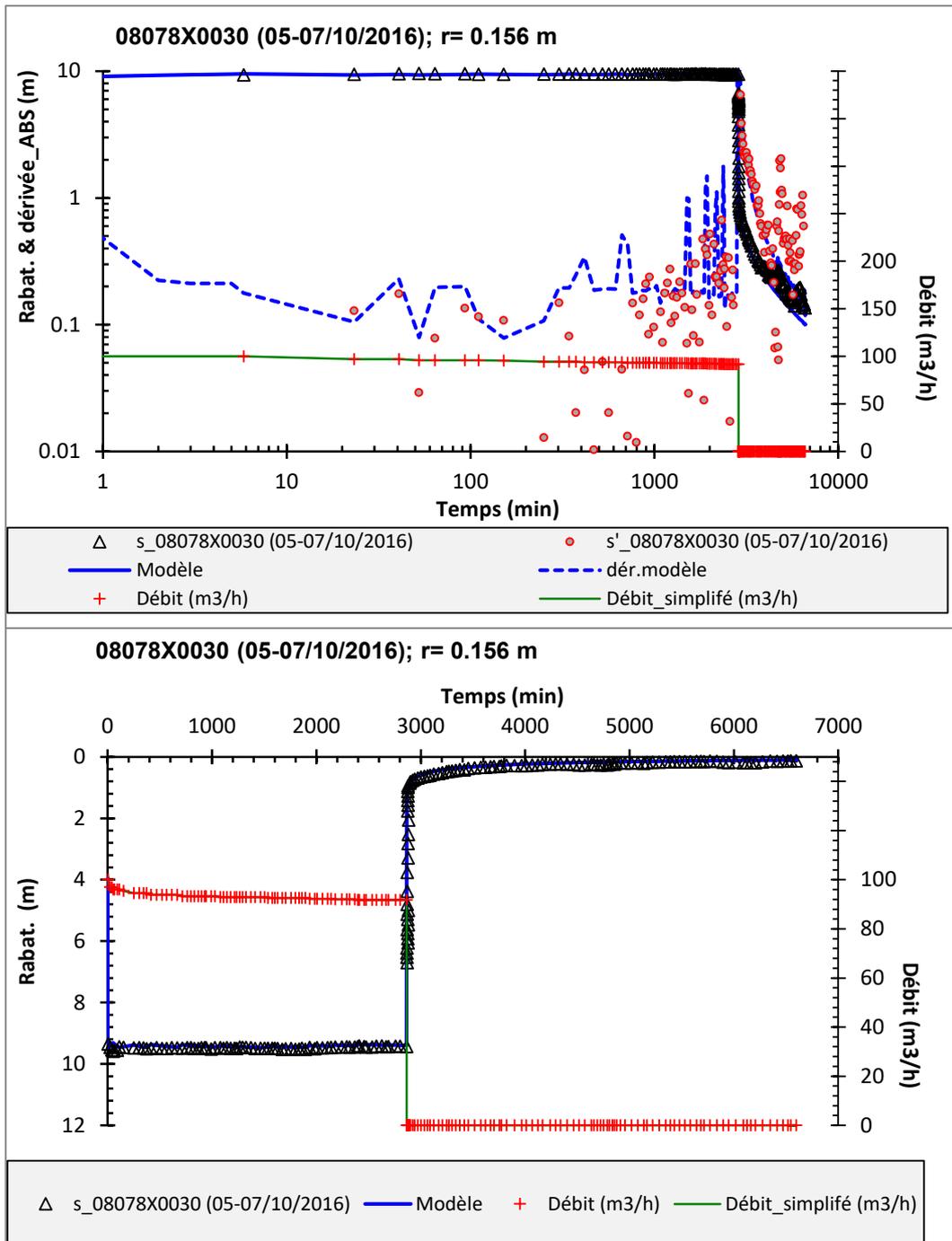
A-18. : modélisation de l'essai du 30/09/2019 sur le forage n°BSS : 08074X0082 (Manaurie).
Modèle : aquifère multicouche.



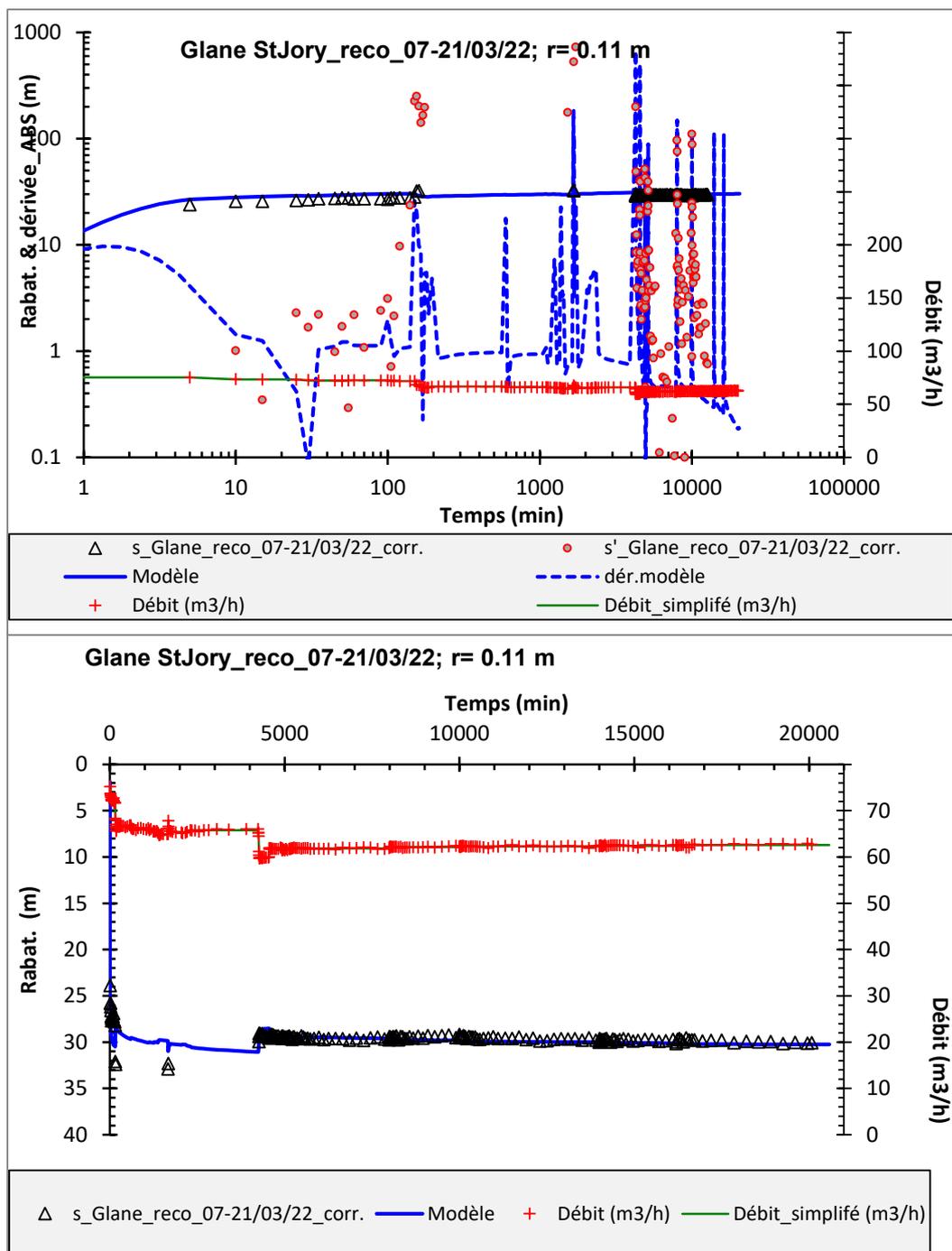
A-19. : modélisation de l'essai du 24-27/10/1989 sur le forage n°BSS : 07577X0022 (Le-Grand-Champ). Modèle : aquifère multicouche.



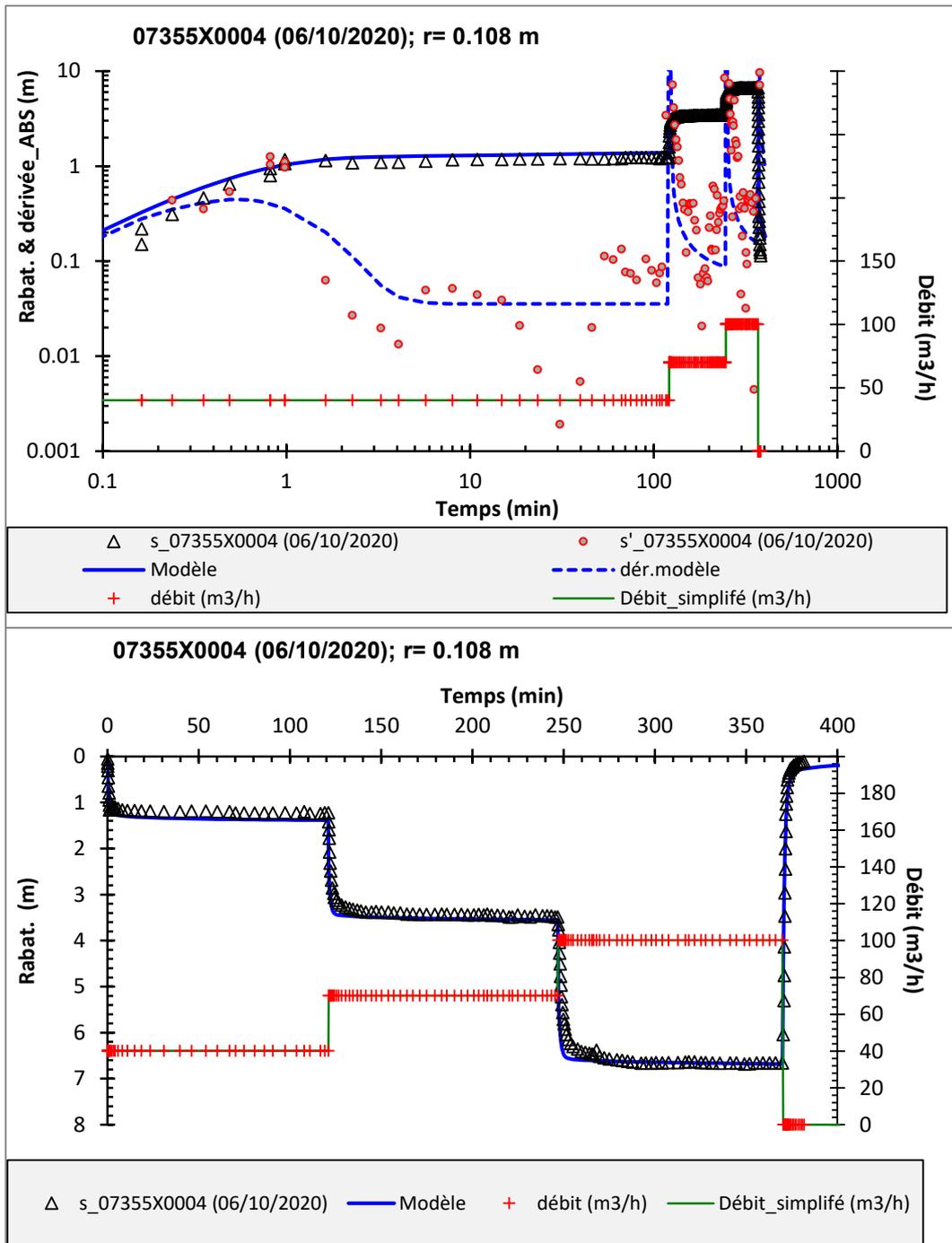
A-20. : modélisation de l'essai du 02-04/12/1986 sur le forage n°BSS : 07837X0014 (Rouffignac).
 Modèle : aquifère multicouche.



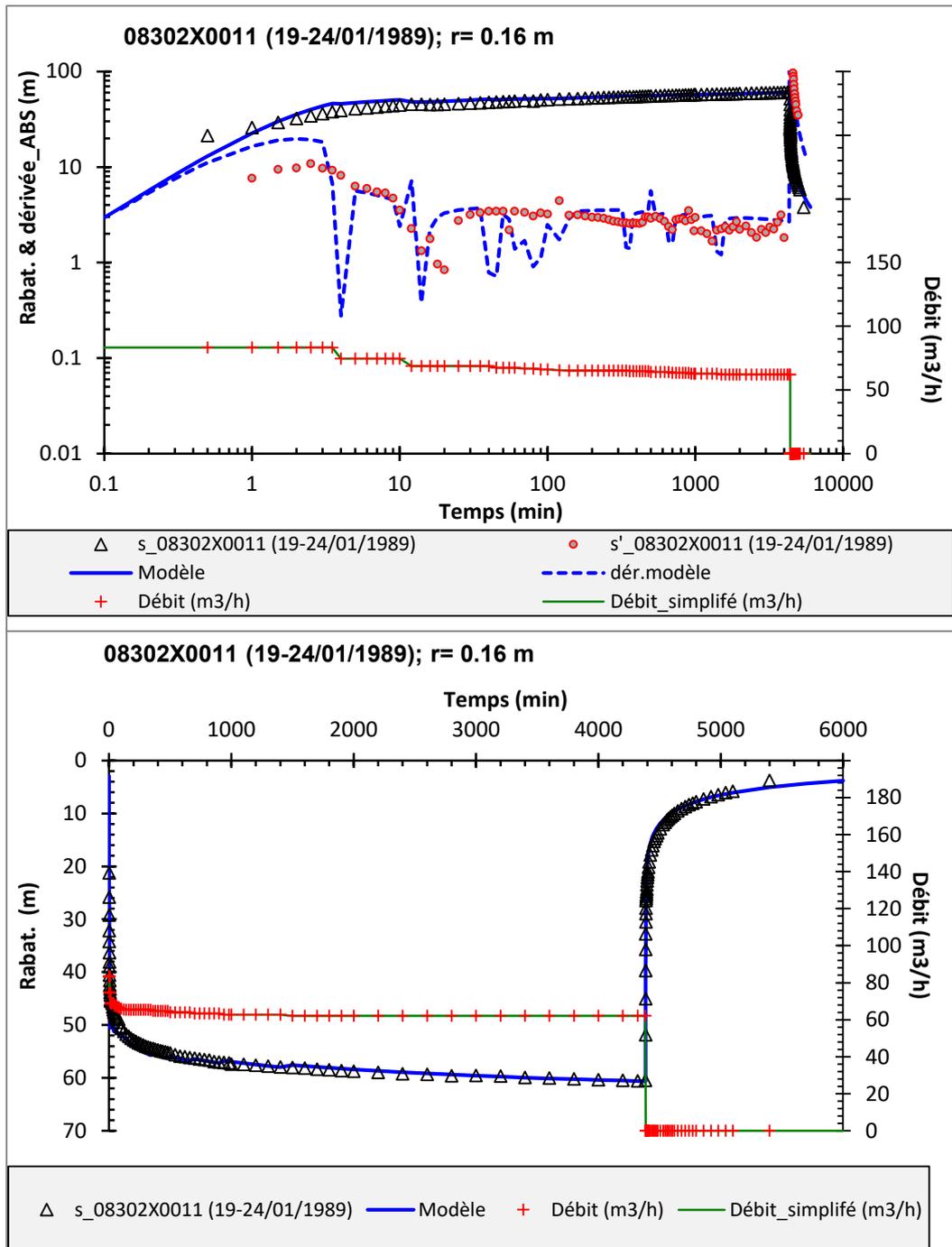
A-21. : modélisation de l'essai du 05-07/10/2016 sur le forage n°BSS : 08078X0030 (Malpas).
Modèle : aquifère multicouche.



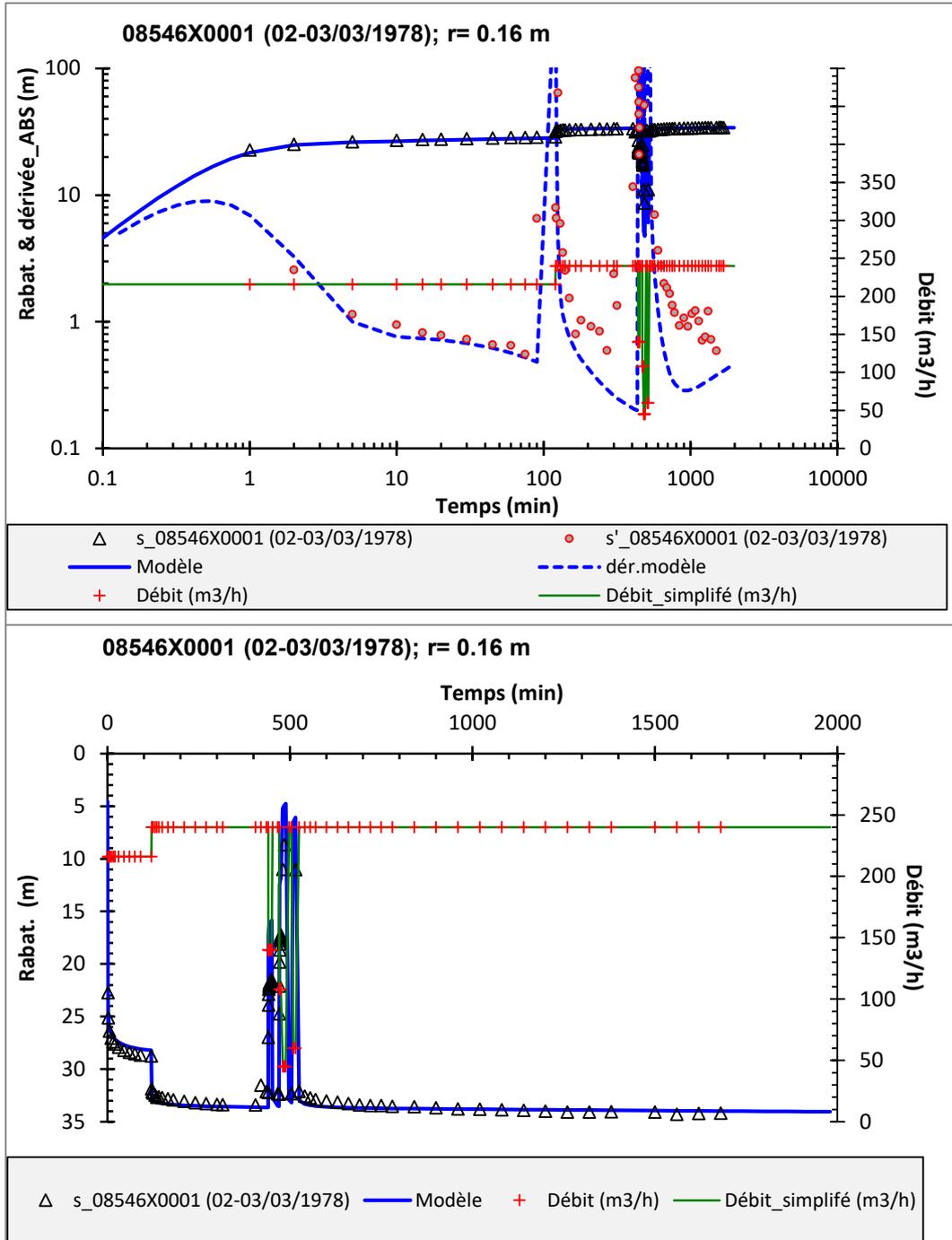
A-22. : modélisation de l'essai du 07-21/03/2022 sur le forage de Galane St Jory (Glane). Modèle : aquifère multicouche.



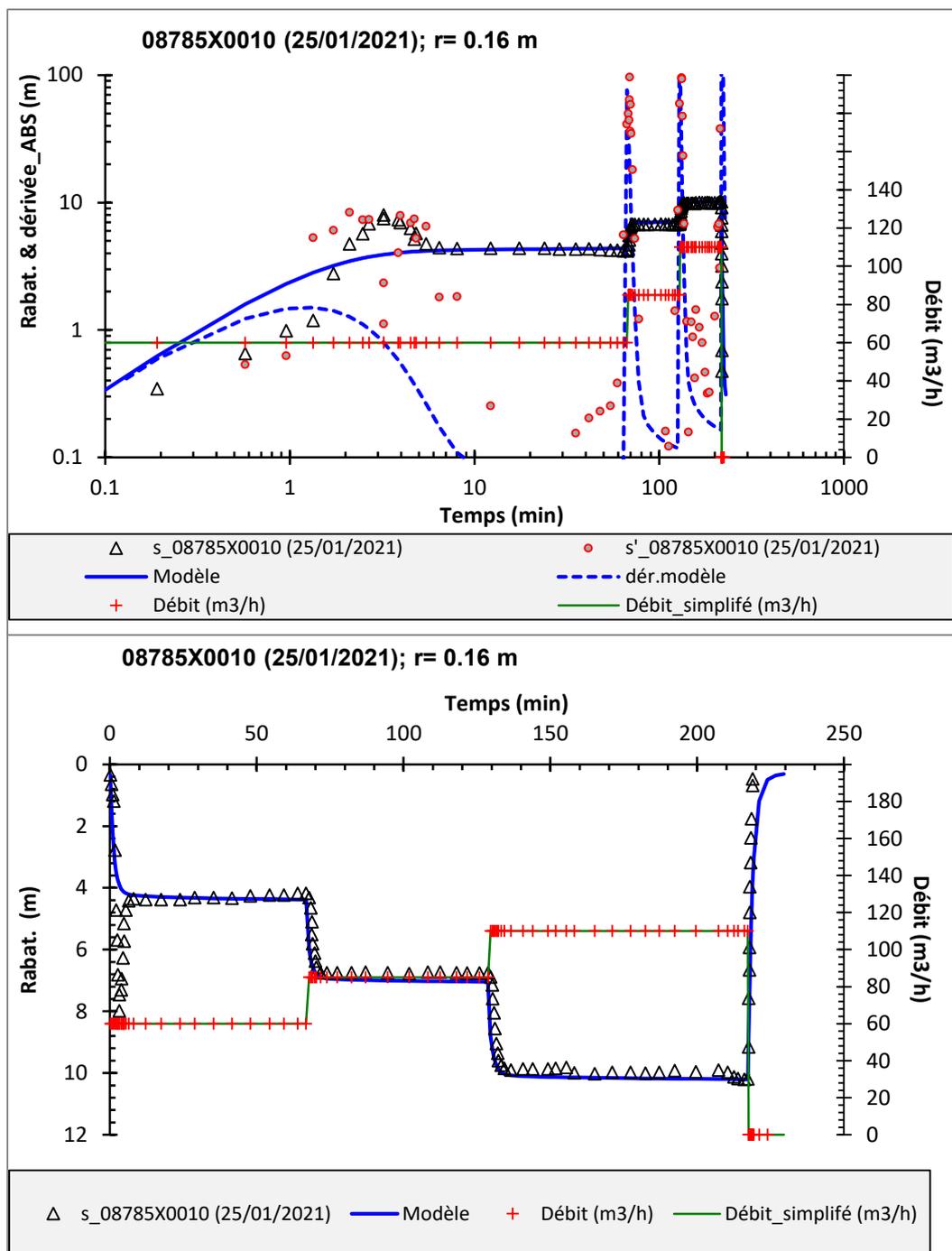
A-23. : modélisation de l'essai du 06/10/2020 sur le forage n°BSS : 07355X0004 (St Pierre de Cole). Modèle : aquifère multicouche.



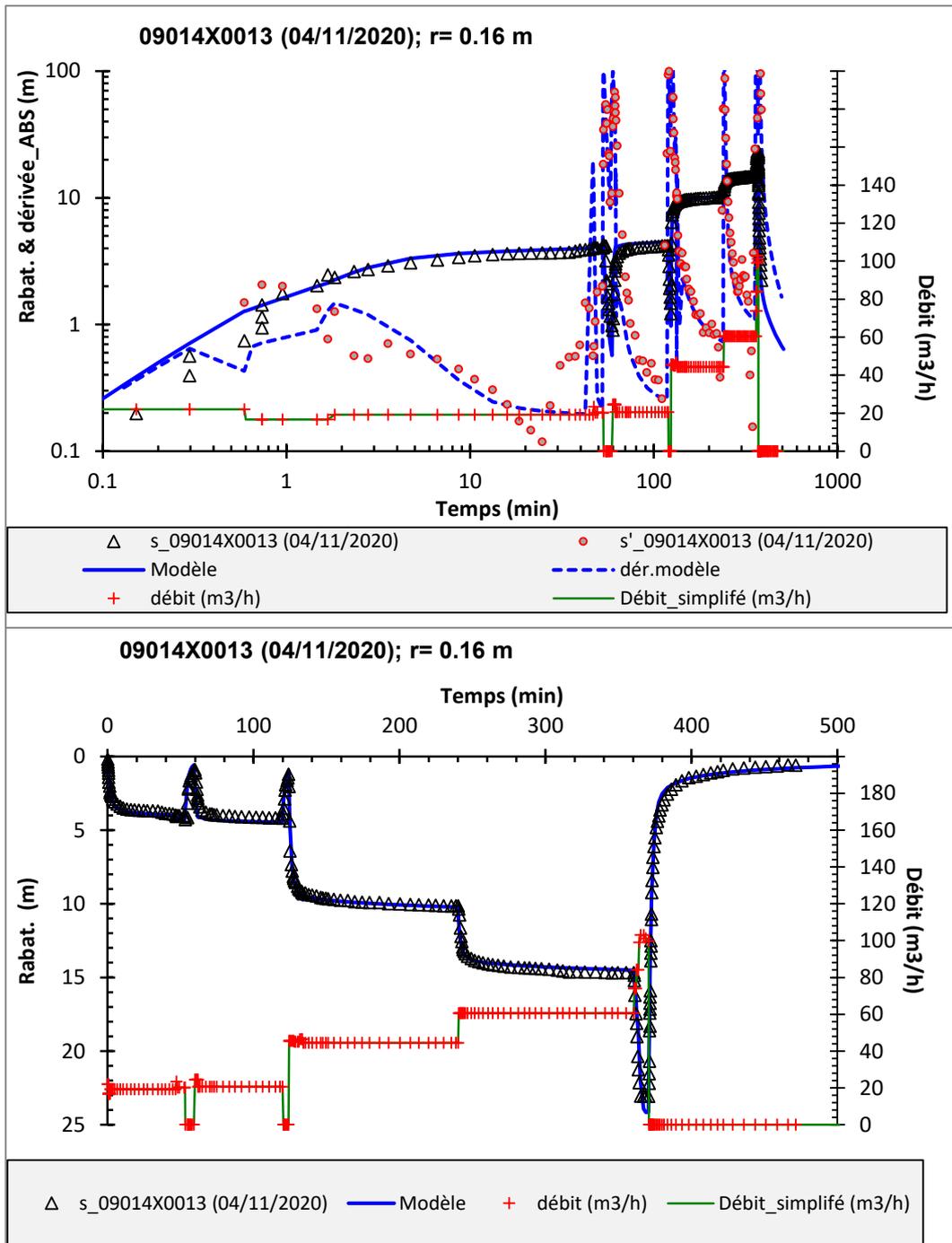
A-24. : modélisation de l'essai du 19-24/01/1989 sur le forage n°BSS : 08302X0011 (Bouniagues). Modèle : aquifère multicouche.



A-25. : modélisation de l'essai du 02-03/03/1978 sur le forage n°BSS : 08546X0001 (Tomboeuf).
Modèle : aquifère multicouche.

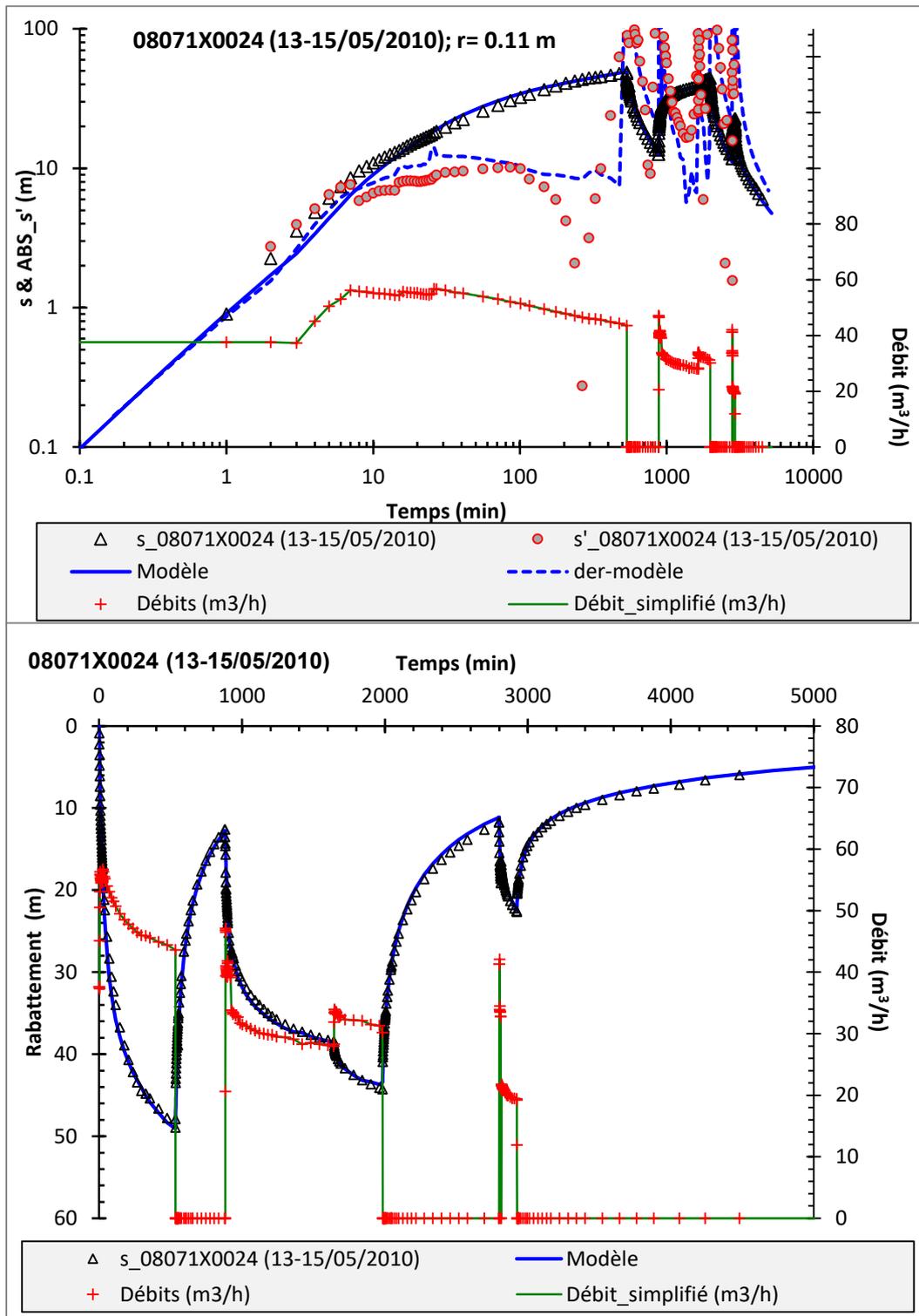


A-26. : modélisation de l'essai du 25/01/2021 sur le forage n°BSS : 08785X0010 (La Gravette).
Modèle : aquifère multicouche.

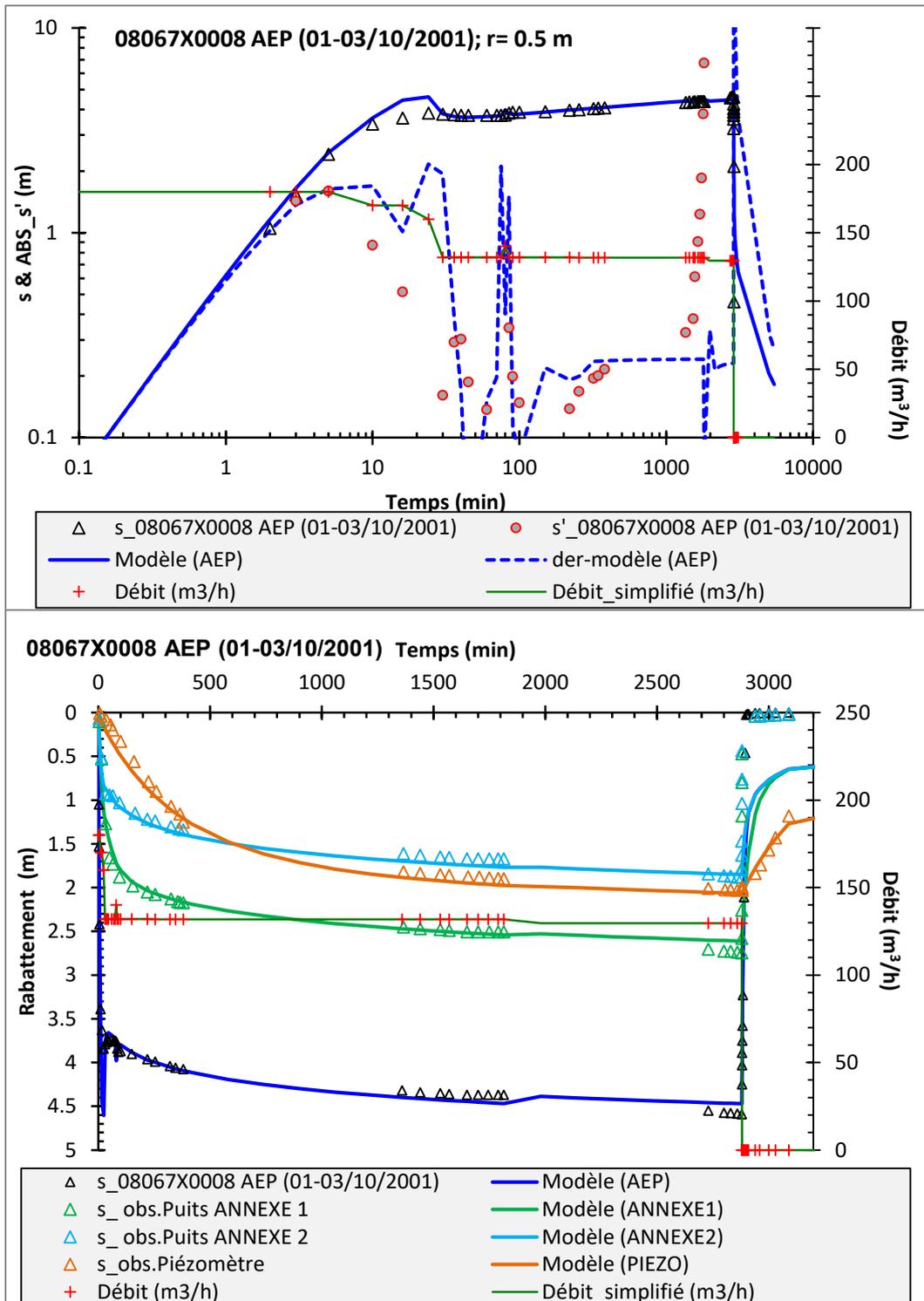


A-27. : modélisation de l'essai du 04/11/2020 sur le forage n°BSS : 09014X0013 (Marchepin).
 Modèle : aquifère multicouche.

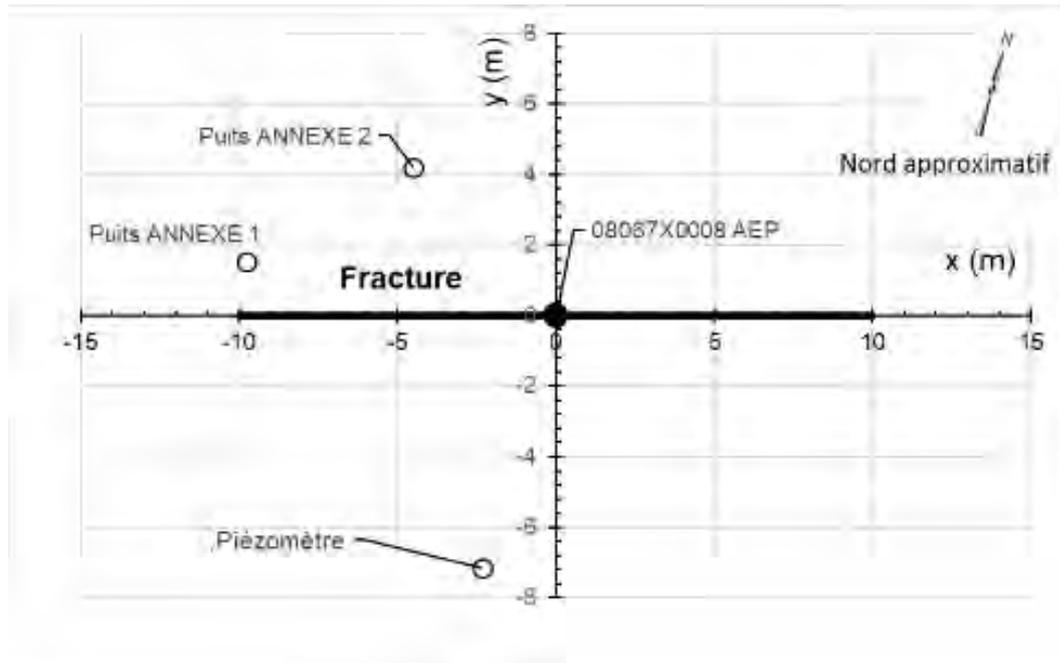
Modèle: fracture verticale



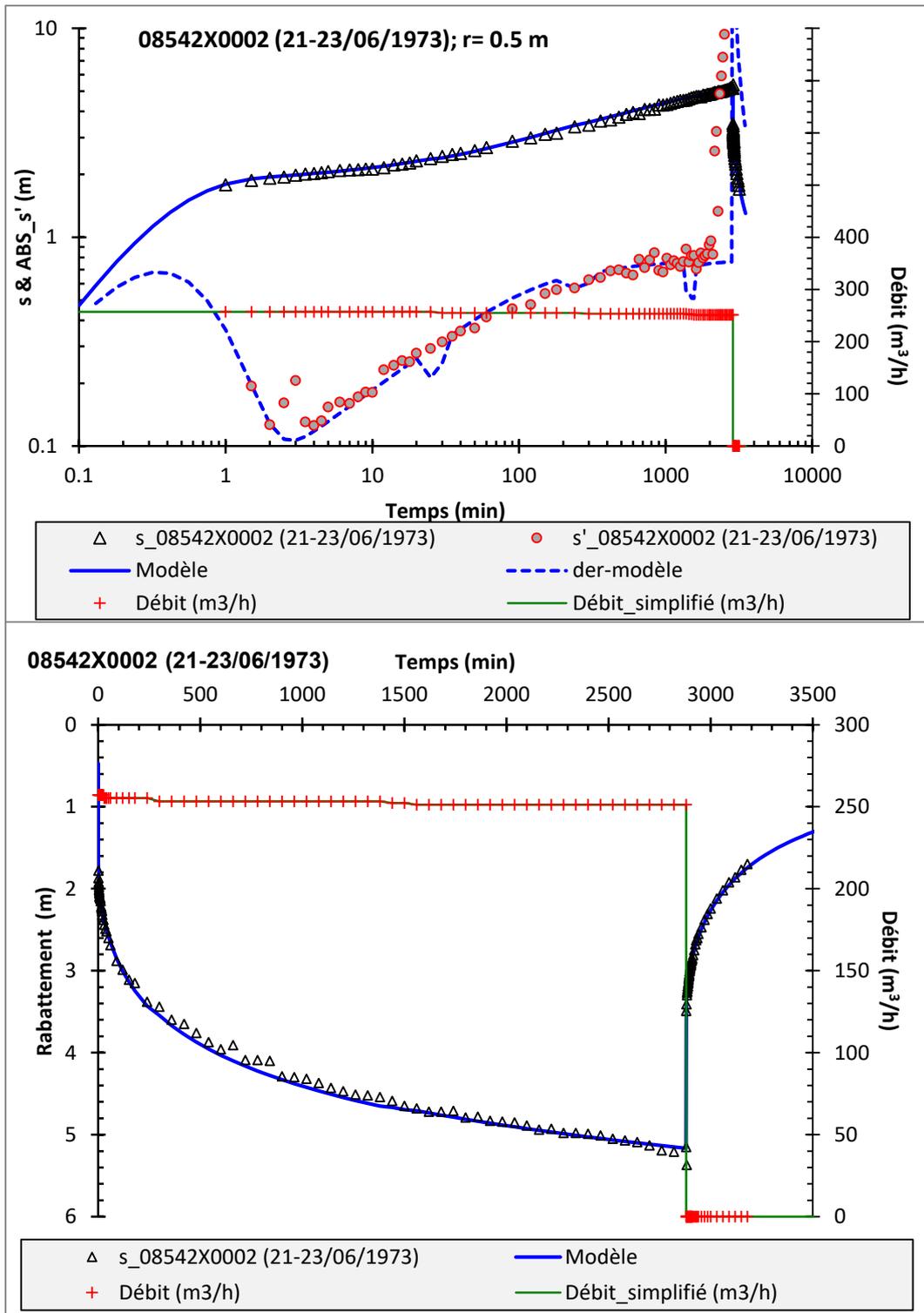
B-1. : modélisation de l'essai par pompage du 13-15/05/2010 sur le forage n°BSS : 08071X0024 (Pressignac-Vicq). Modèle : fracture verticale.



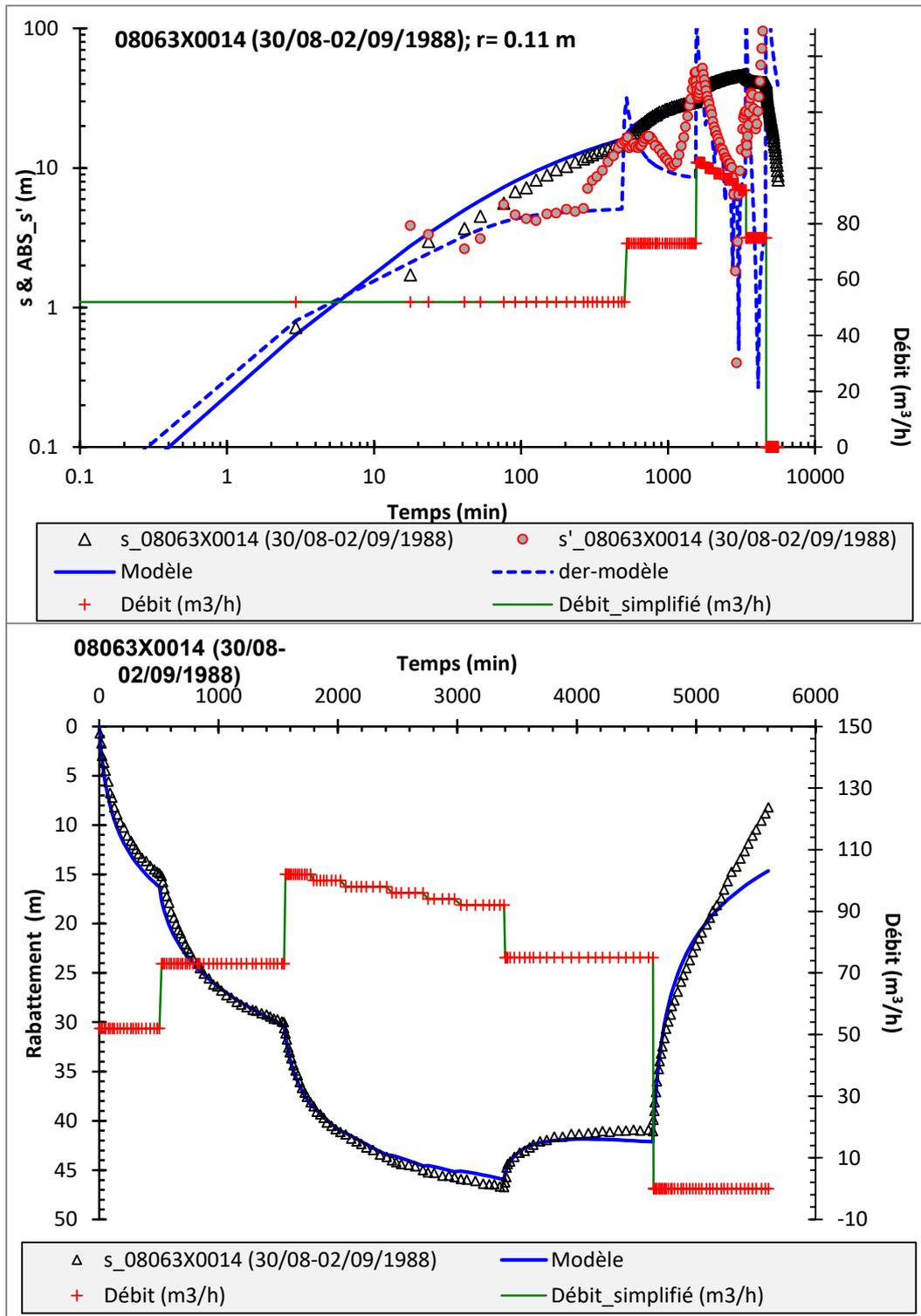
B-2. : modélisation de l'essai par pompage du 01-03/10/2001 sur le forage n°BSS : 08067X0008 (Pressignac-Vicq). Modèle : fracture verticale.



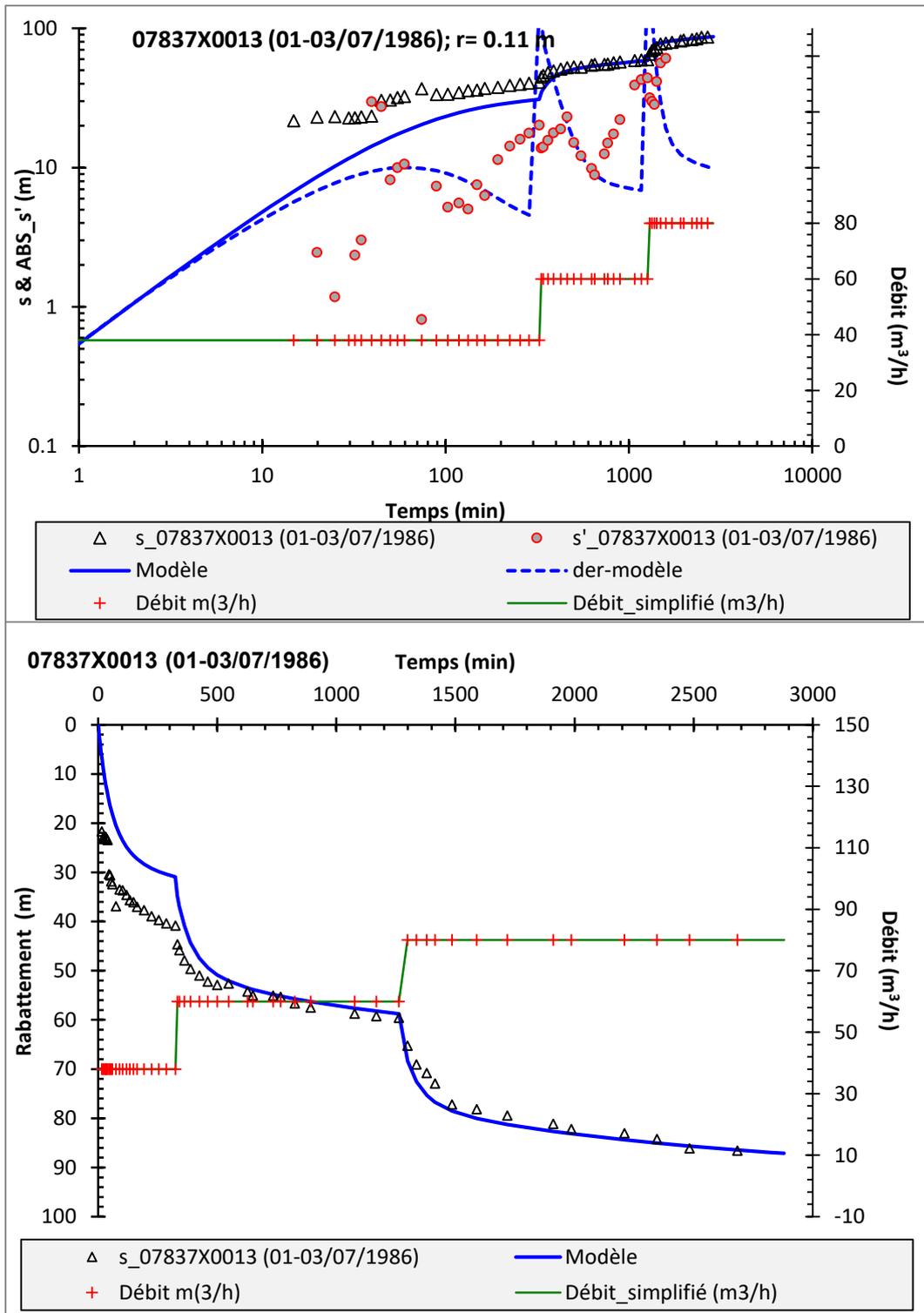
B-2bis. : schéma de calcul de la modélisation de l'essai par pompage du 01-03/10/2001 sur le forage n°BSS : 08067X0008 (Pressignac-Vicq). Modèle : fracture verticale.



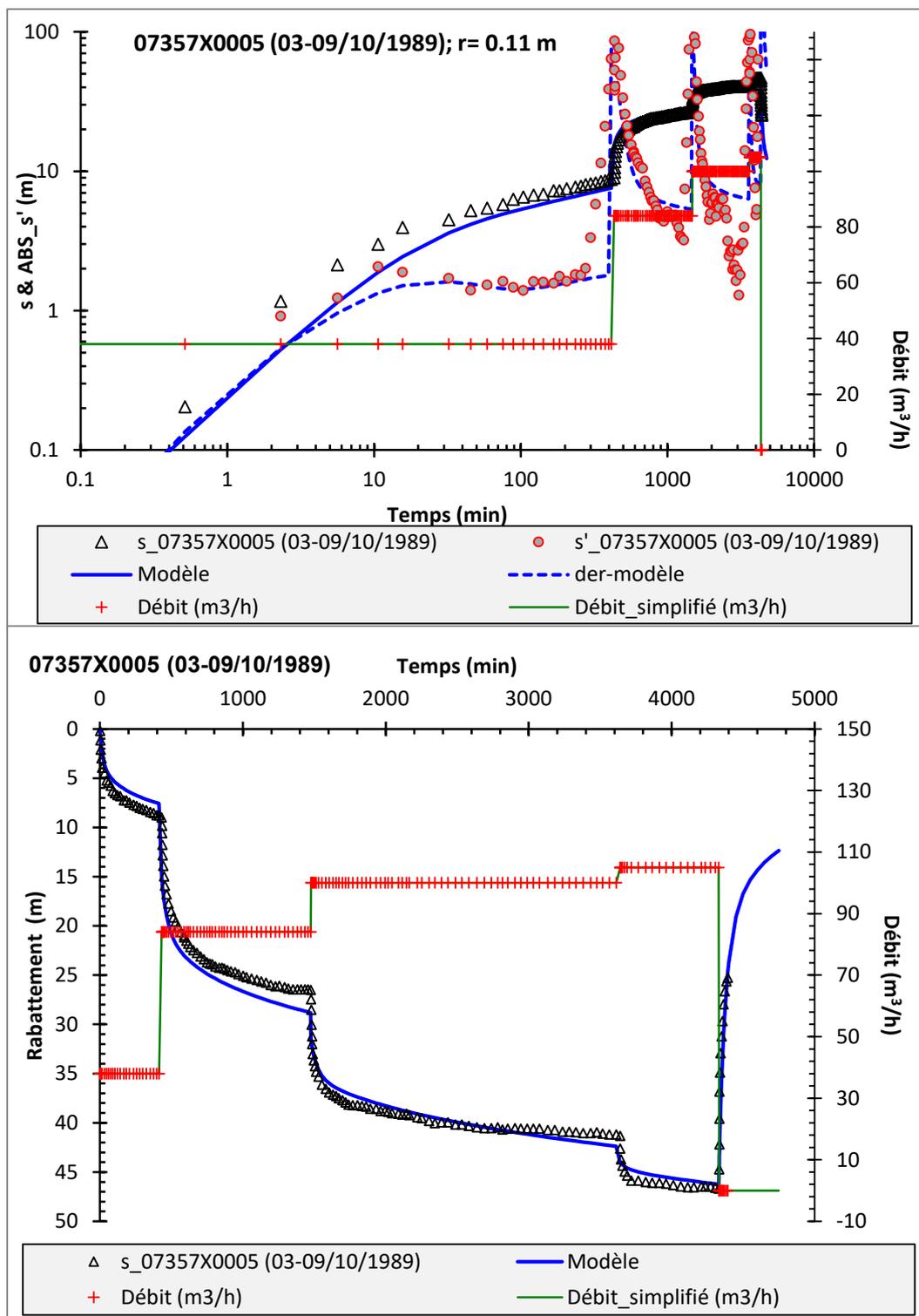
B-3. : modélisation de l'essai par pompage du 21-23/06/1973 sur le forage n°BSS : 08542X0002 (Saint-Colomb-de-Lauzun). Modèle : fracture verticale.



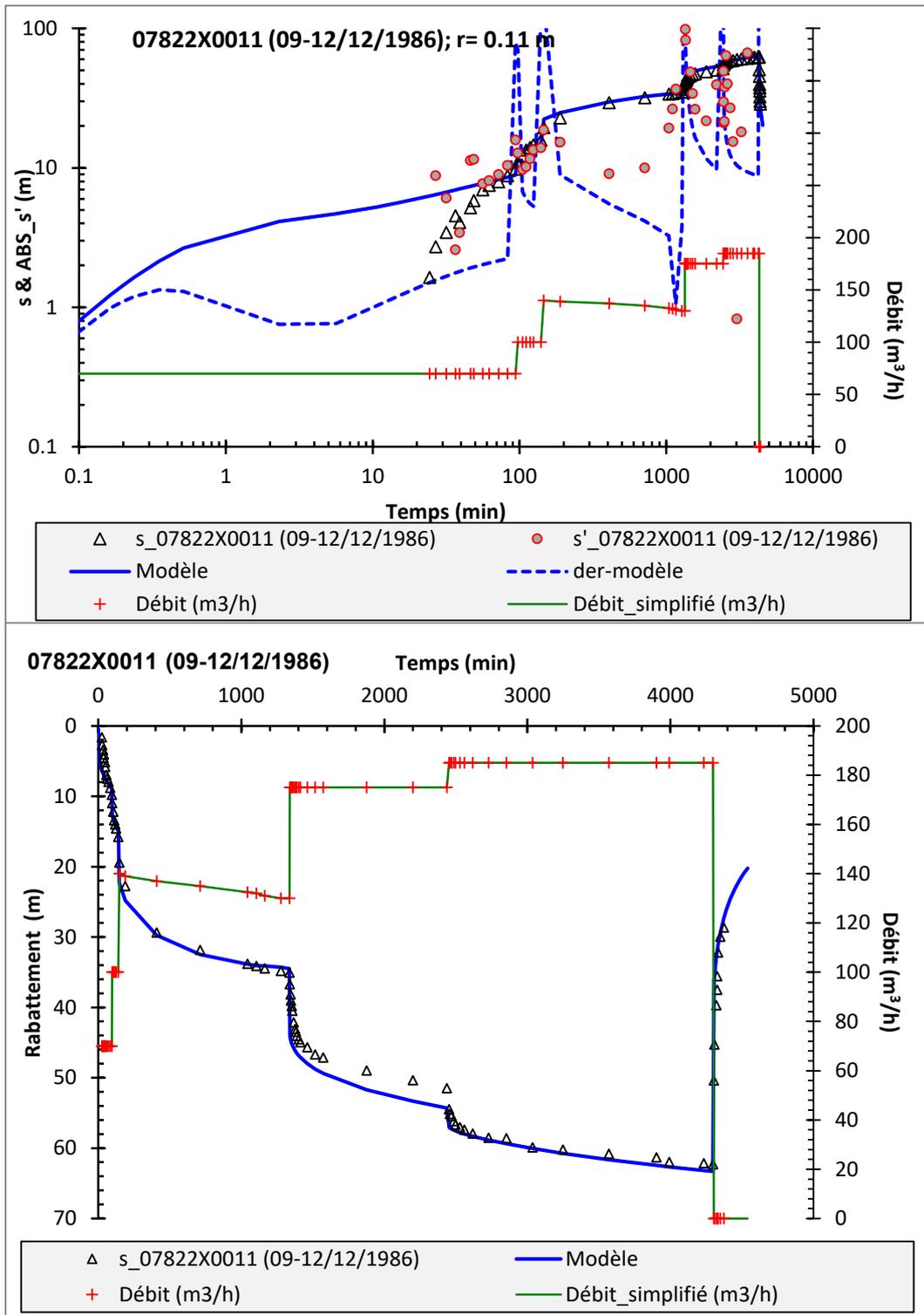
B-4. : modélisation de l'essai par pompage du 30/08-02/09/1988 sur le forage n°BSS : 08063X0014 (Saint-Colomb-de-Lauzun). Modèle : fracture verticale.



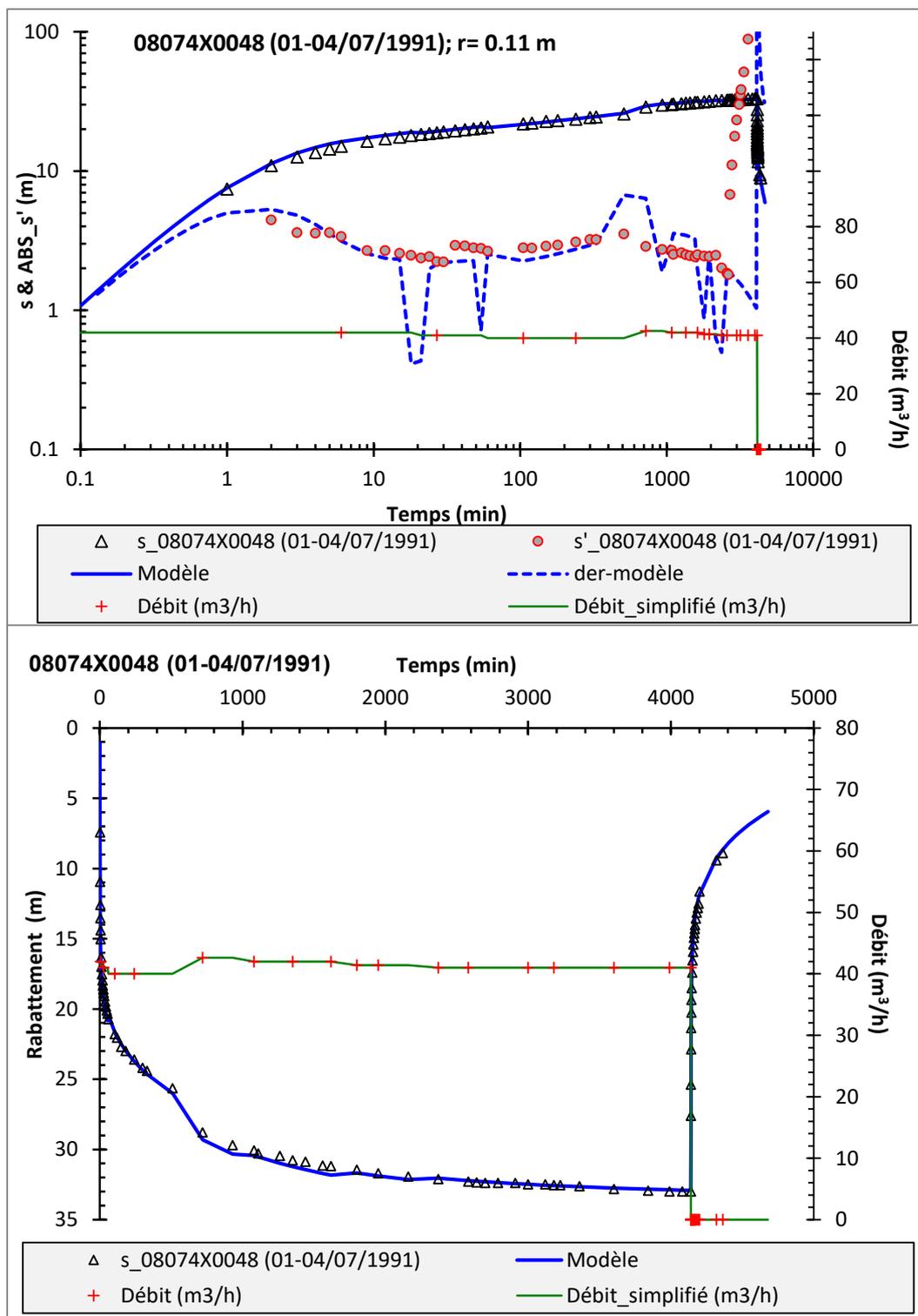
B-5. : modélisation de l'essai par pompage du 01-03/07/1986 sur le forage n°BSS : 07837X0013 (Saint-Félix-de-Reillac-et-Montemart). Modèle : fracture verticale.



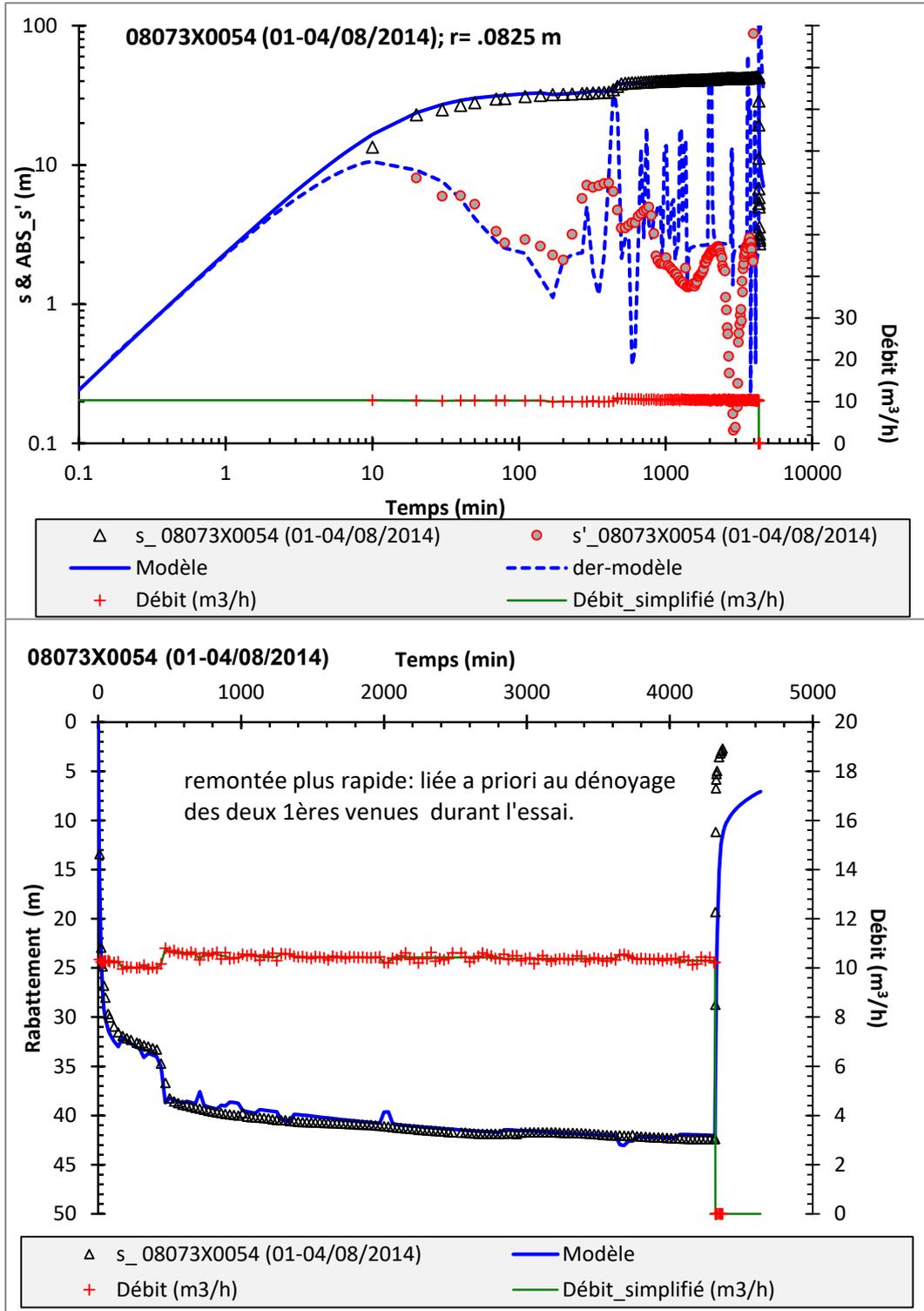
B-6. : modélisation de l'essai par pompage du 03-09/10/1989 sur le forage n°BSS : 07357X0005 (Vaunac). Modèle : fracture verticale.



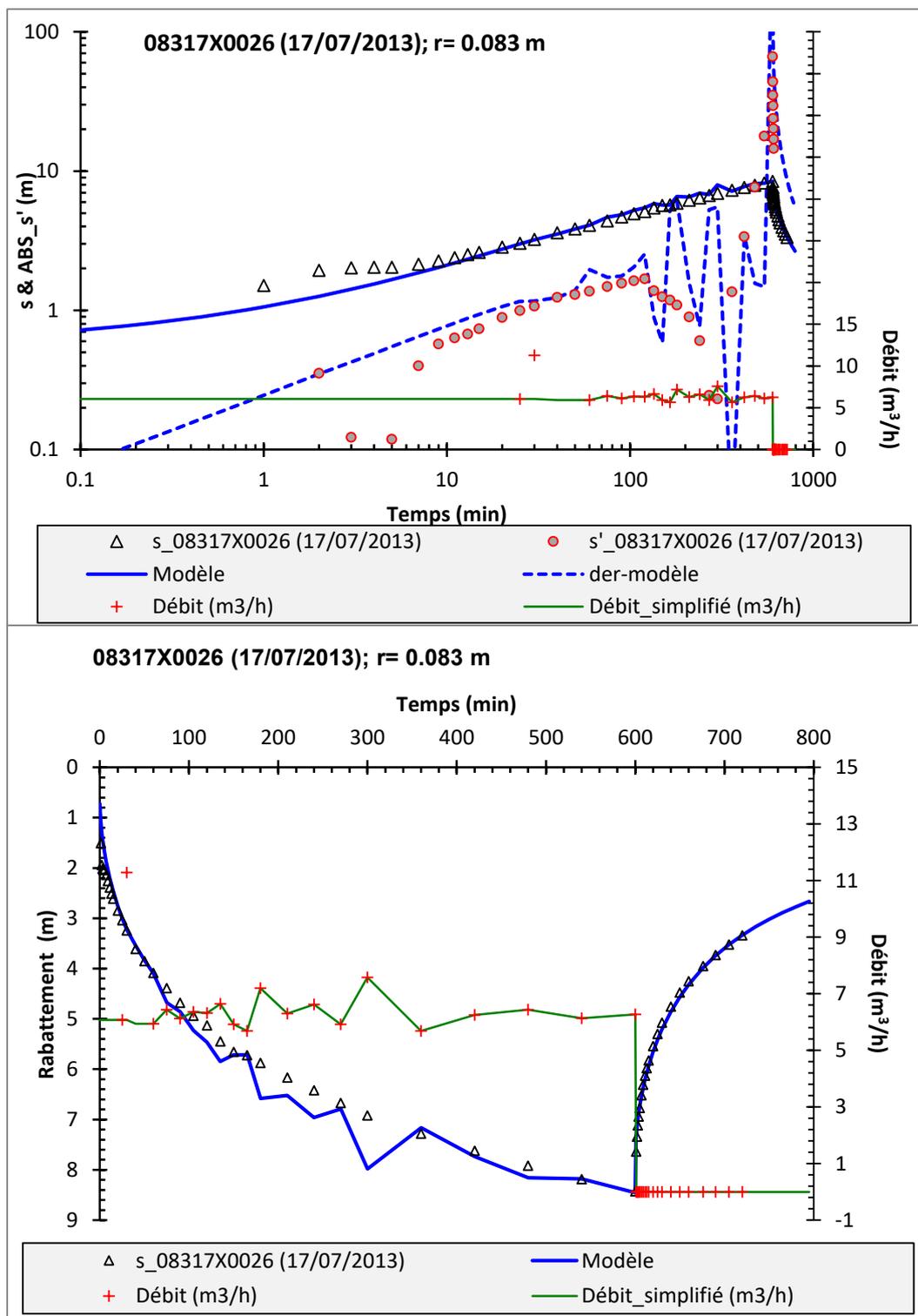
B-7. : modélisation de l'essai par pompage du 09-12/12/1986 sur le forage n°BSS : 07822X0011 (Planèze). Modèle : fracture verticale.



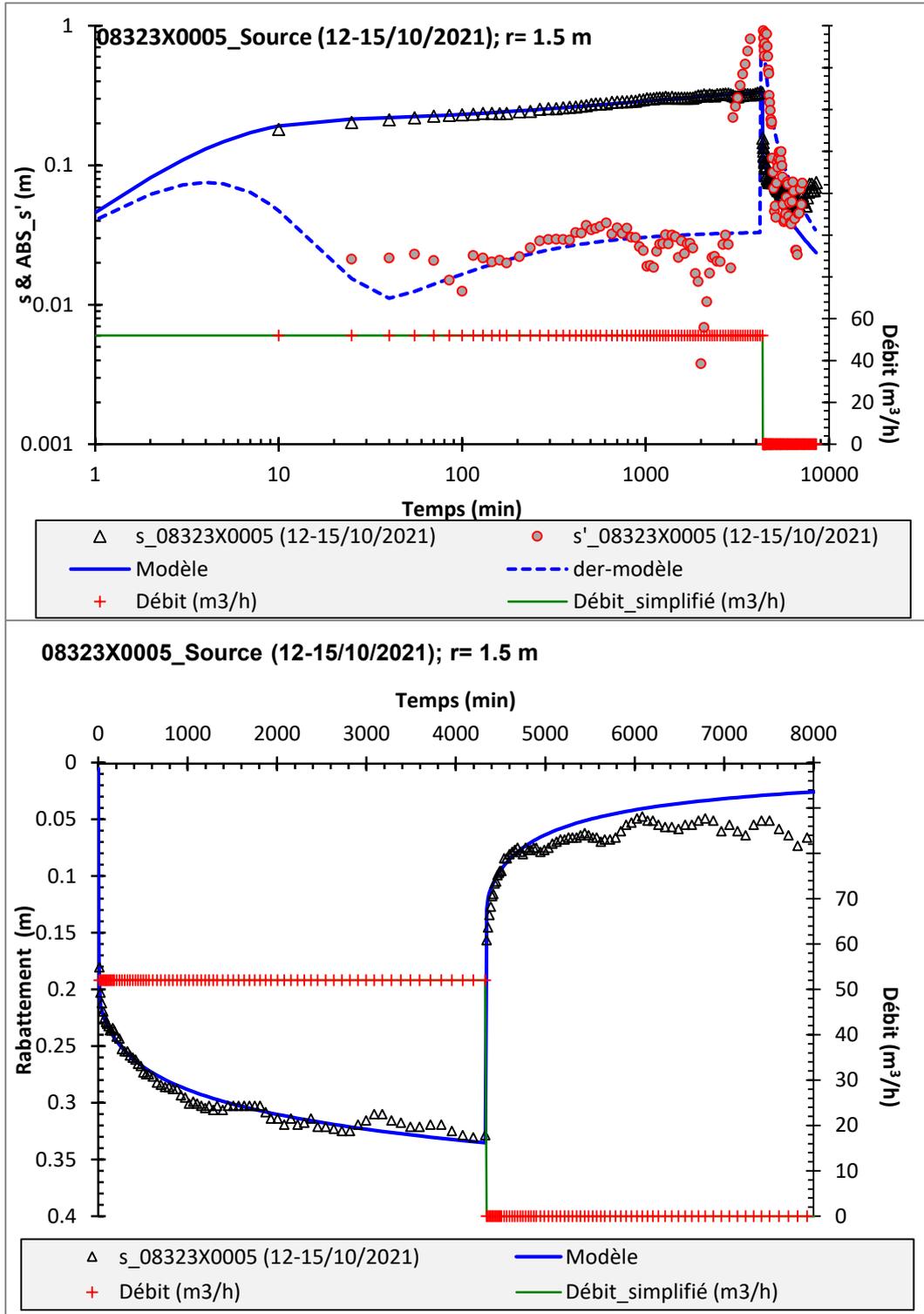
B-8. : modélisation de l'essai par pompage du 01-04/07/1991 sur le forage n°BSS : 08074X0048 (Les Eyzies). Modèle : fracture verticale.



B-9. : modélisation de l'essai par pompage du 01-04/08/2014 sur le forage n°BSS : 08073X0054 (Mauzens-et-Miremont). Modèle : fracture verticale.

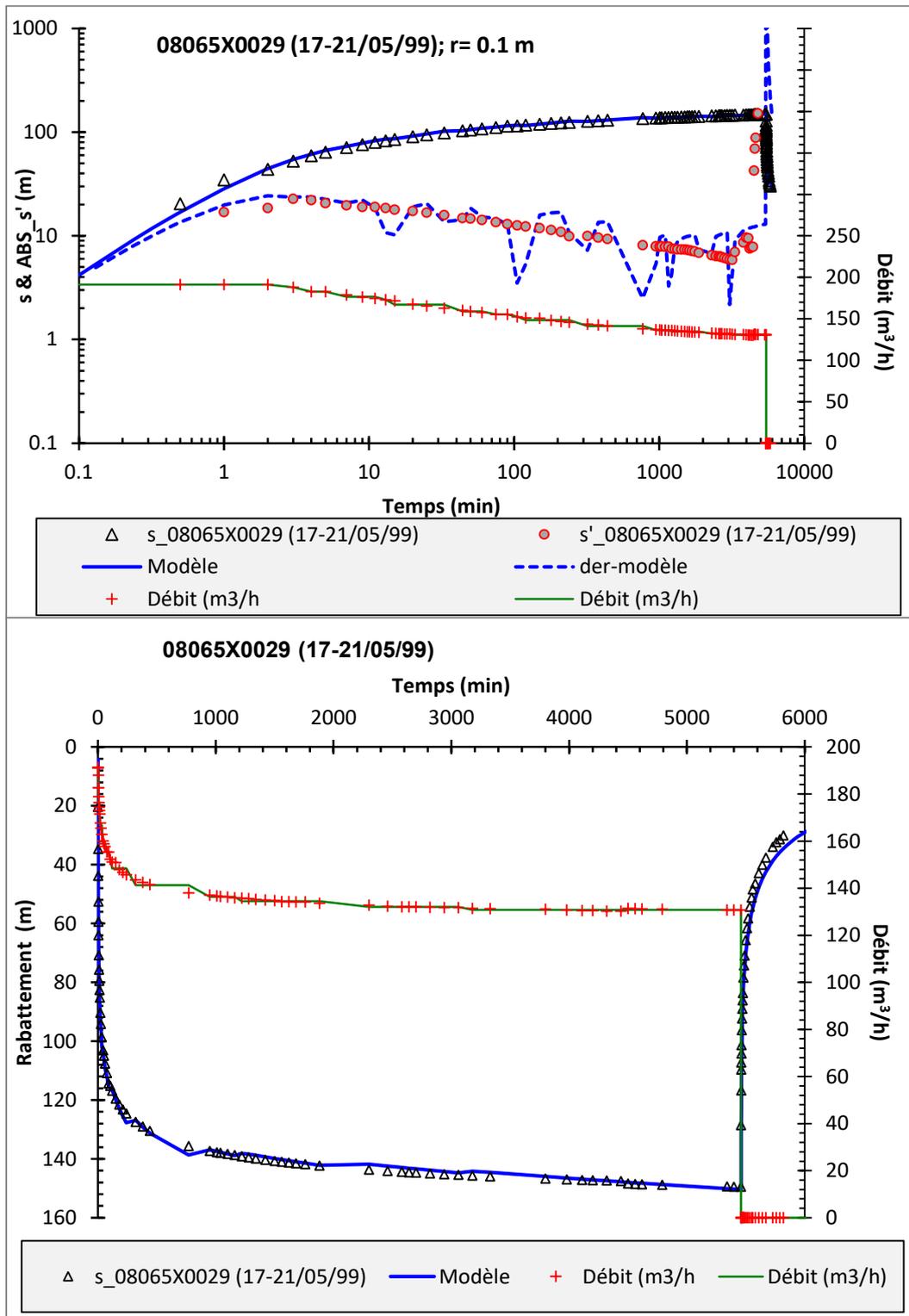


B-10. : modélisation de l'essai par pompage du 17/07/2013 sur le forage n°BSS : 08317X0026 (St Marcory). Modèle : fracture verticale.

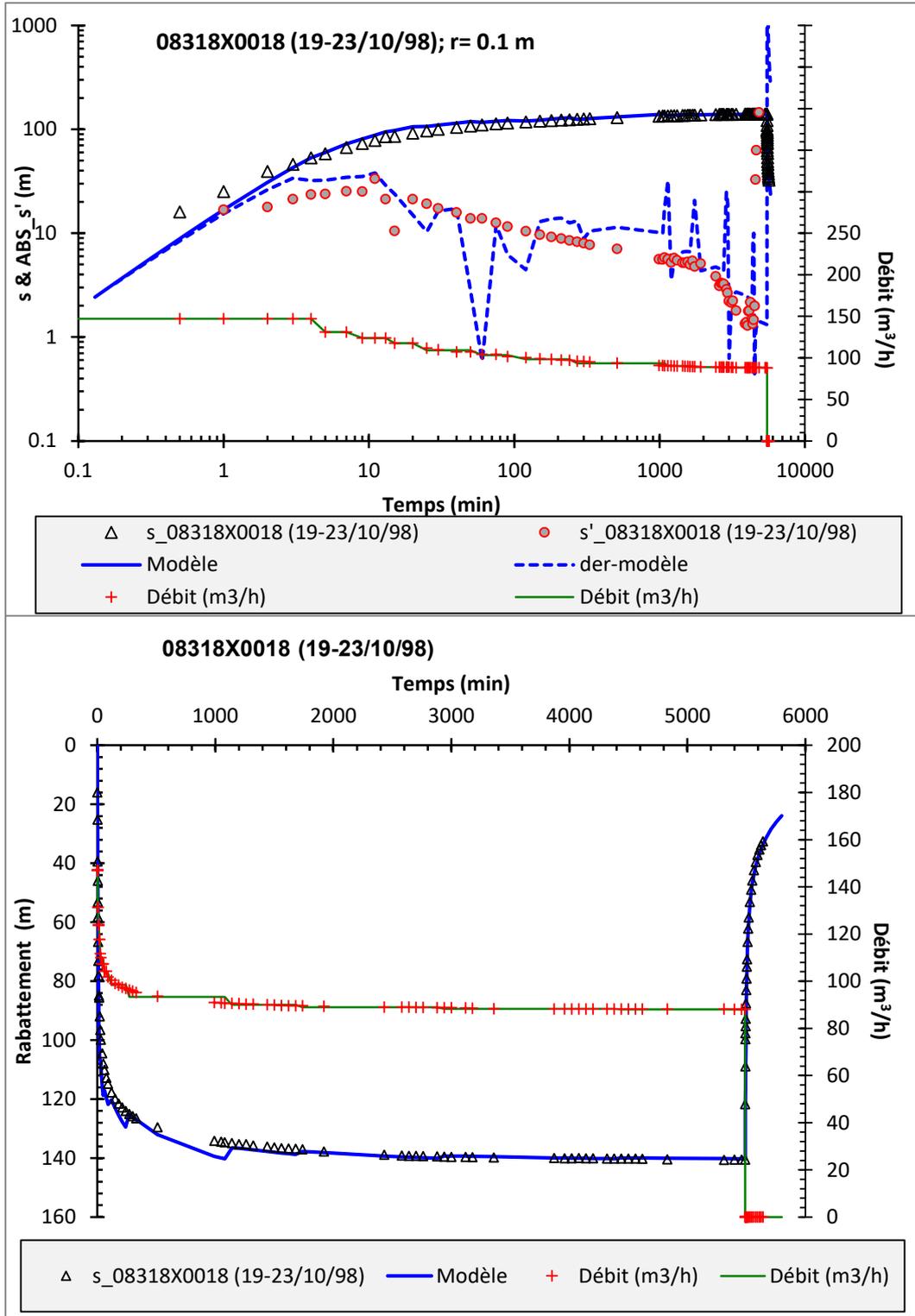


B-11. : modélisation de l'essai par pompage du 12-15/10/2021 sur la source n°BSS : 08323X0005 (Nabirat). Modèle : fracture verticale.

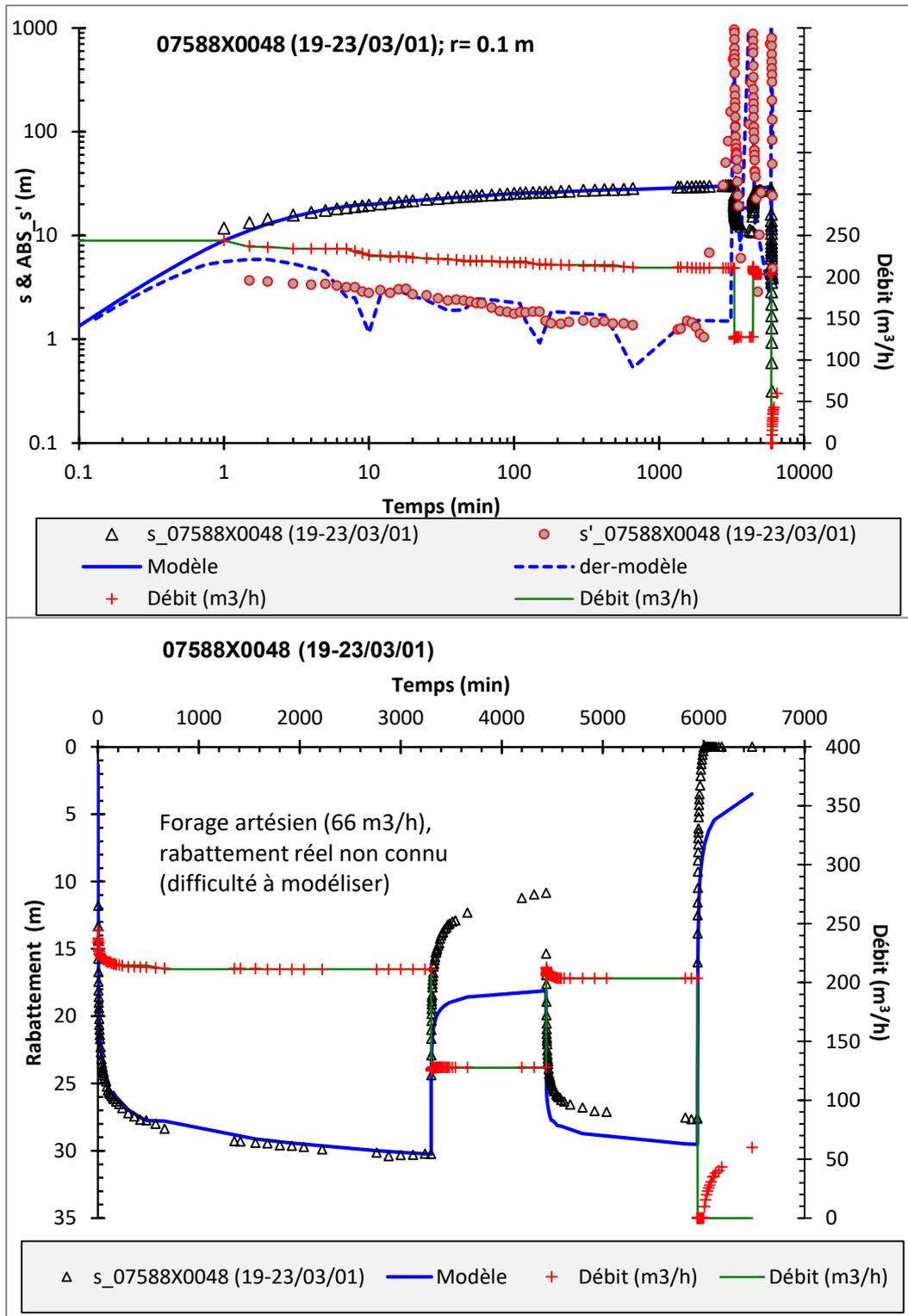
Modèle : fracture verticale et drainance d'un aquifère sus-jacent (ou sous-jacent)



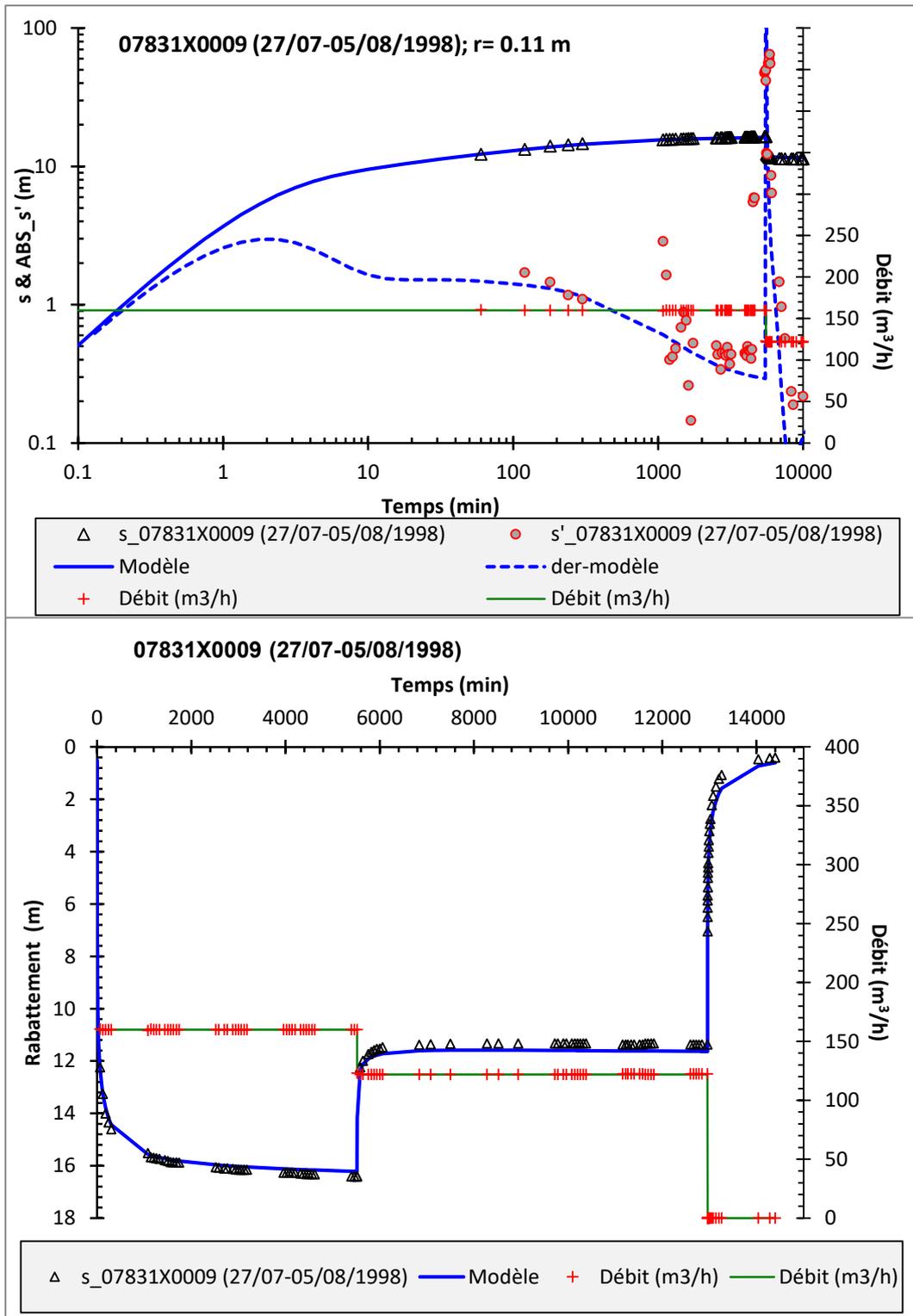
C-1. : modélisation de l'essai par pompage du 17-21/05/1999 sur le forage n°BSS : 08065X0029 (Lunas). Modèle : fracture verticale et drainance.



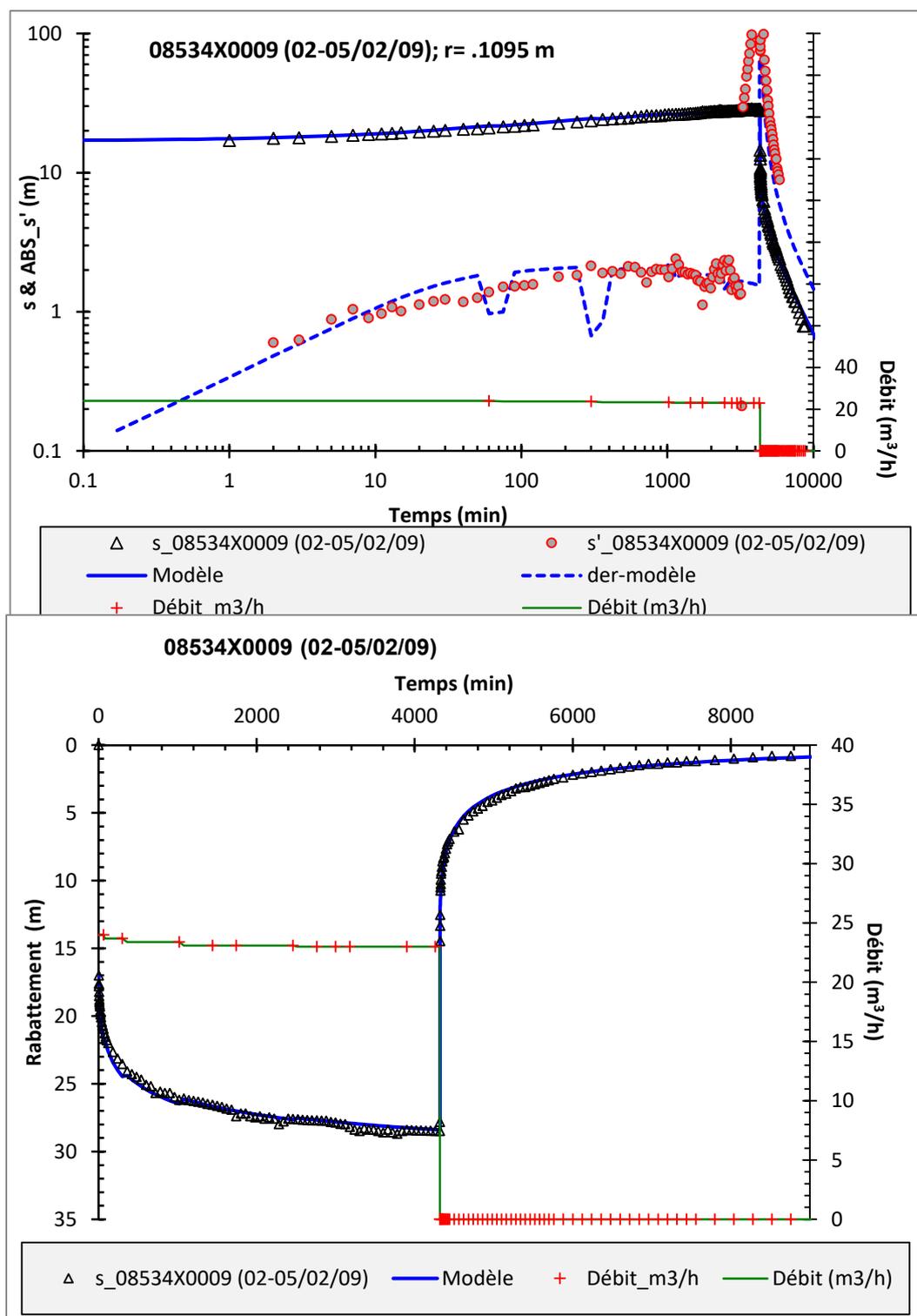
C-2. : modélisation de l'essai par pompage du 19-23/10/1998 sur le forage n°BSS : 08318X0018 (St-Cernin-de-l'Herm). Modèle : fracture verticale et drainance.



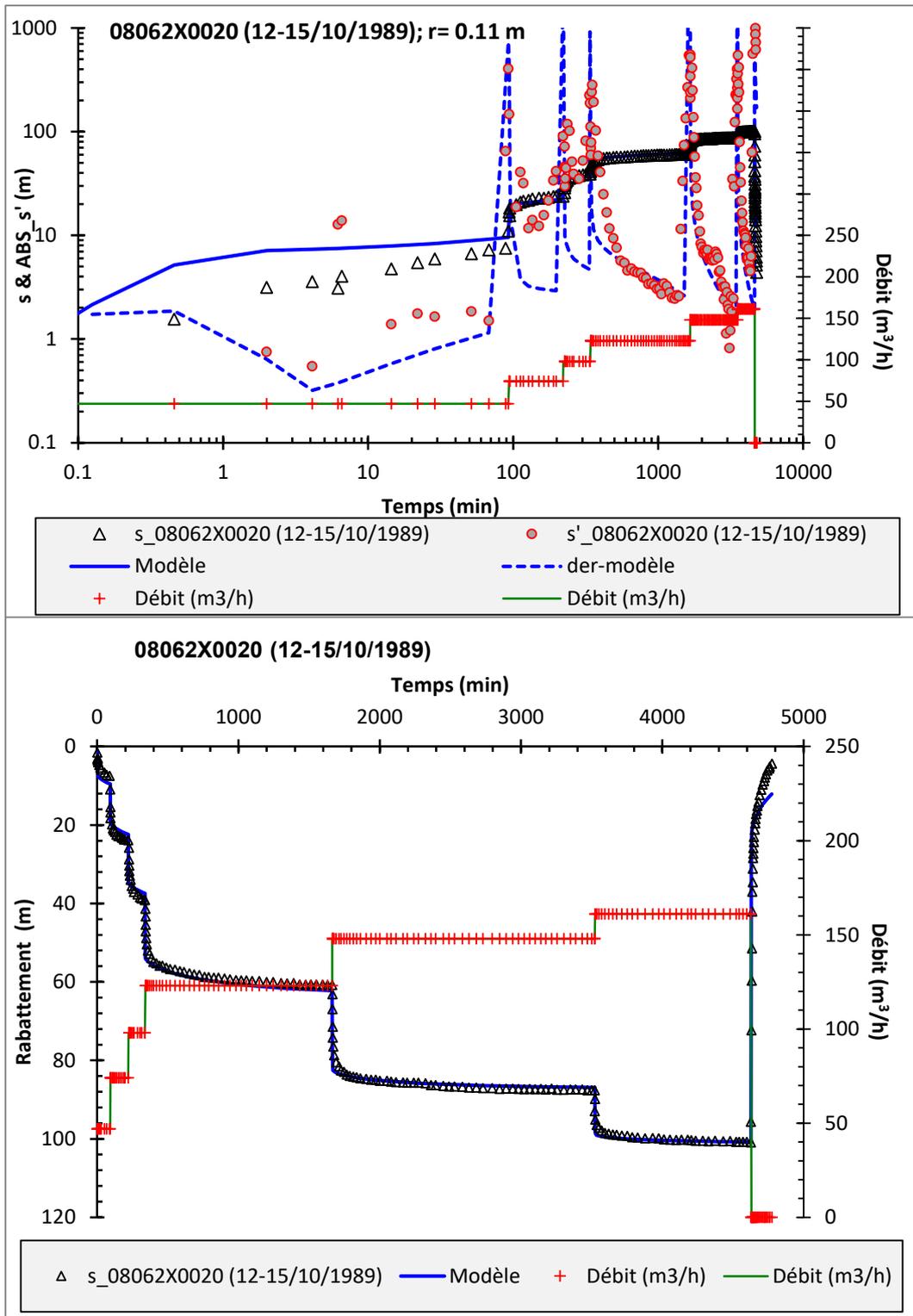
C-3. : modélisation de l'essai par pompage du 19-23/03/2001 sur le forage n°BSS : 07588X0048 (Château l'Évêque). Modèle : fracture verticale et drainance.



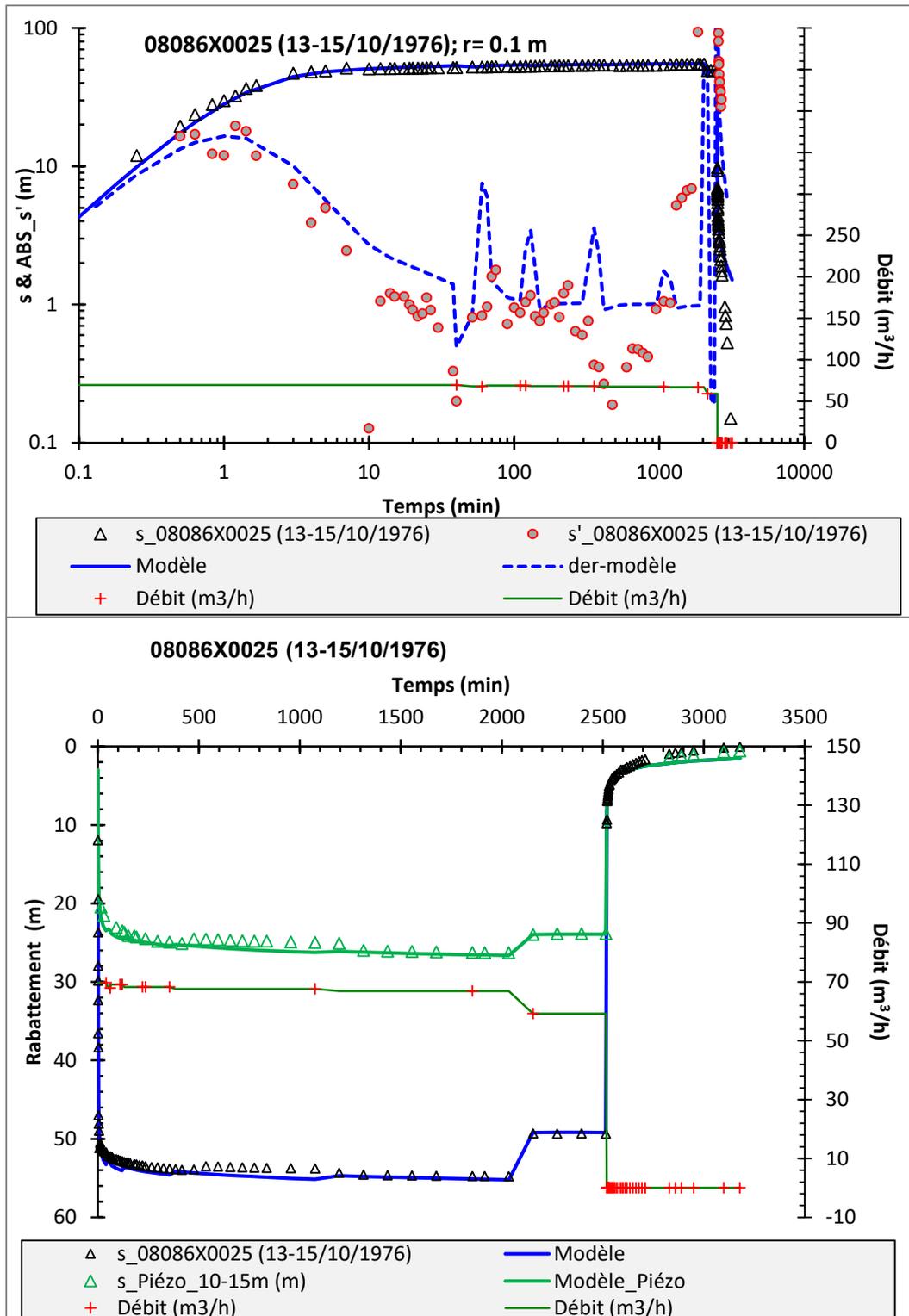
C-4. : modélisation de l'essai par pompage du 27/07-05/08/1998 sur le forage n°BSS : 07831X0009 (St Laurent sur Manoire). Modèle : fracture verticale et drainance.



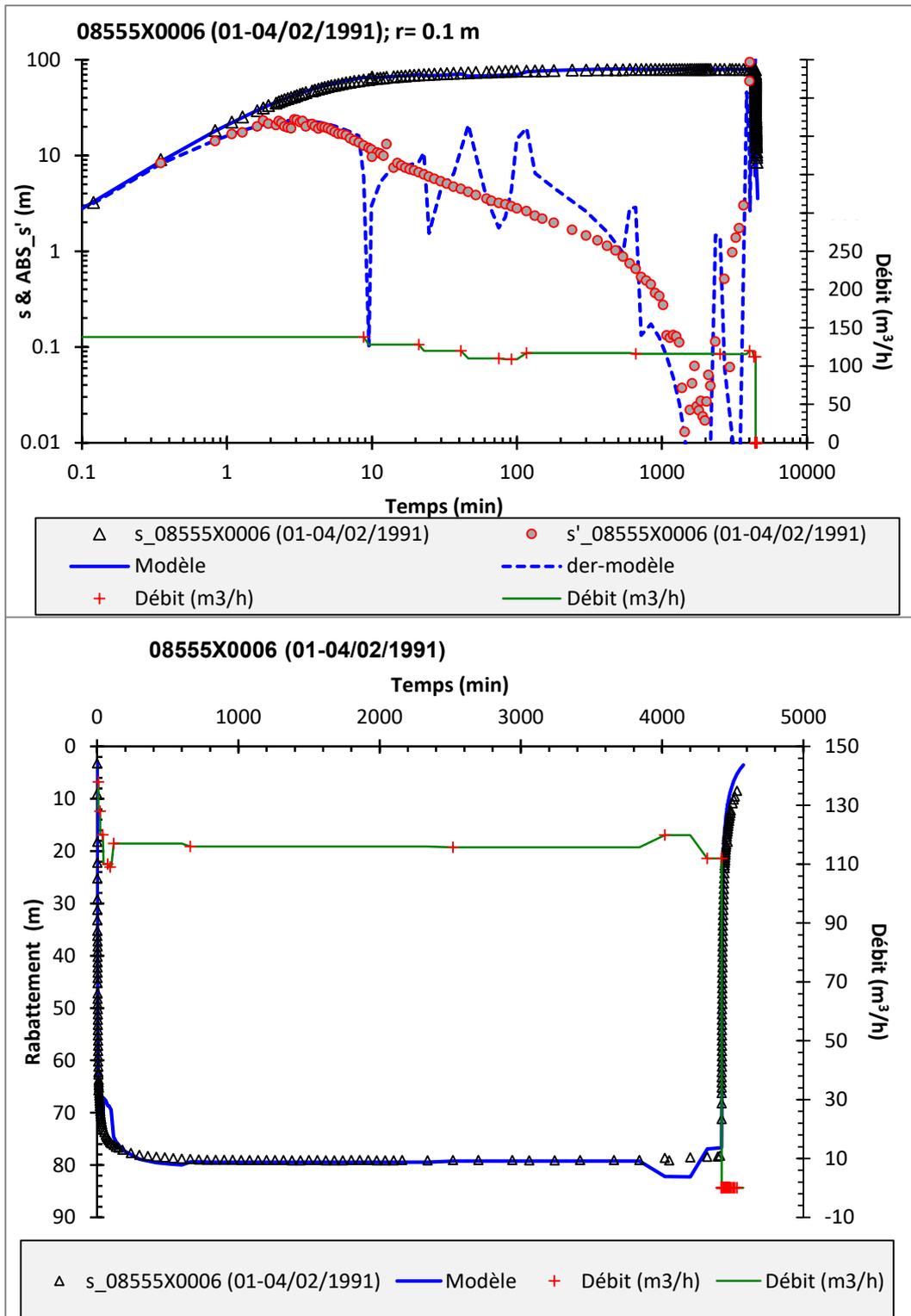
C-5. : modélisation de l'essai par pompage du 02-05/02/2009 sur le forage n°BSS : 08534X0009 (Peyrière). Modèle : fracture verticale et drainance.



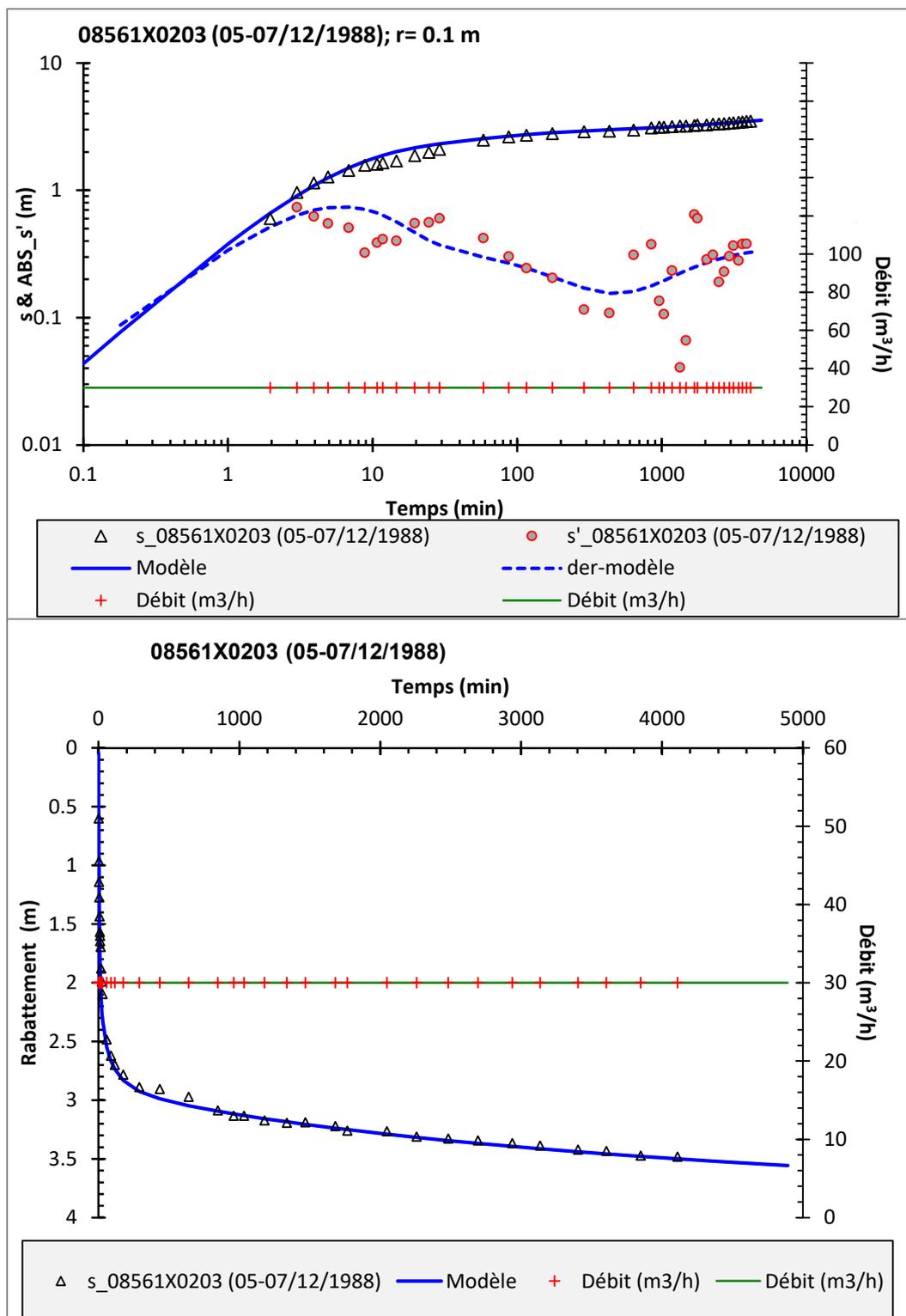
C-6. : modélisation de l'essai par pompage du 12-15/10/1989 sur le forage n°BSS : 08062X0020 (Maurens). Modèle : fracture verticale et drainance.



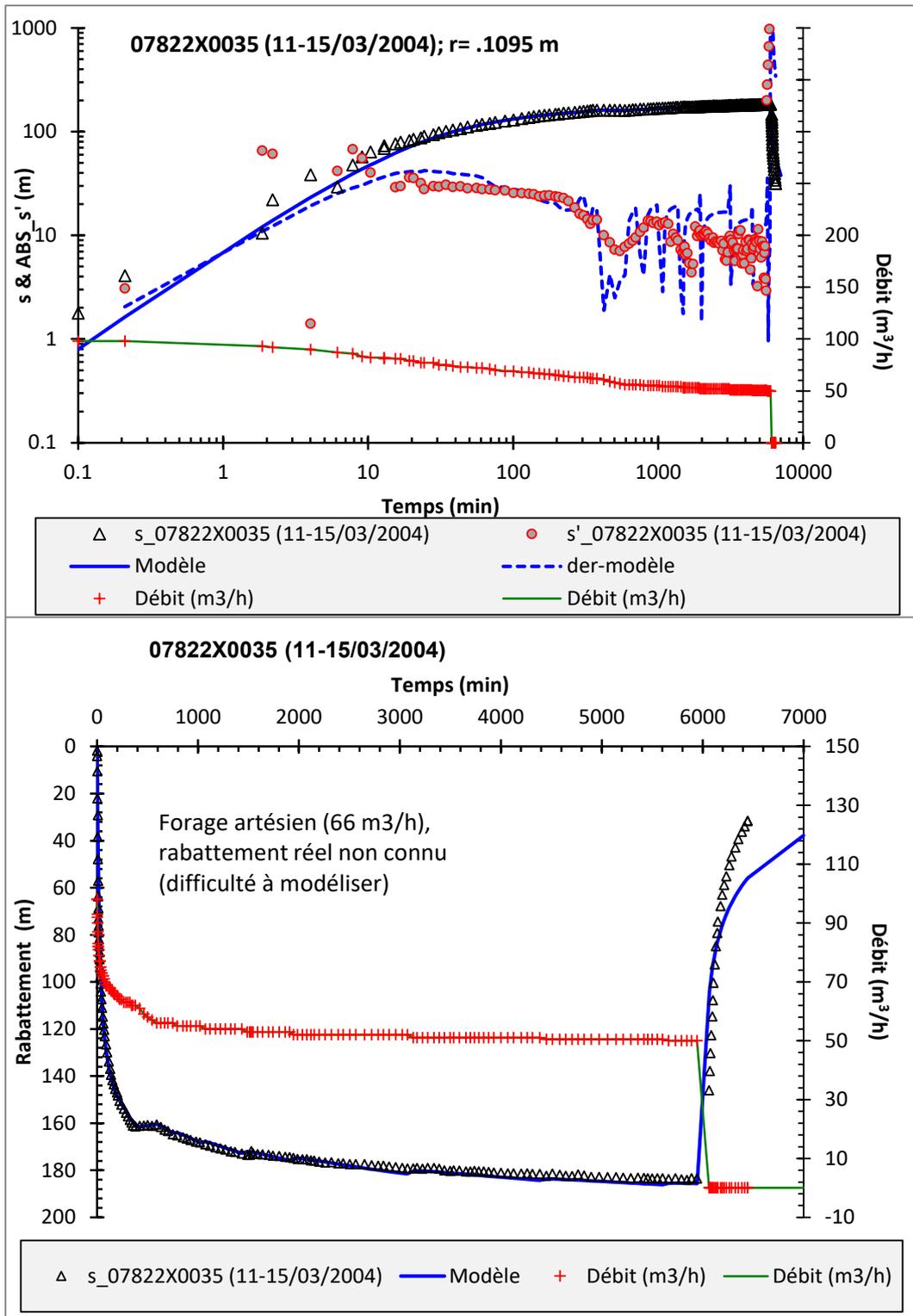
C-7. : modélisation de l'essai par pompage du 13-15/10/1976 sur le forage n°BSS : 08086X0025 (Sarlat). Modèle : fracture verticale et drainance. Avec observation sur un piézomètre à 13 m.



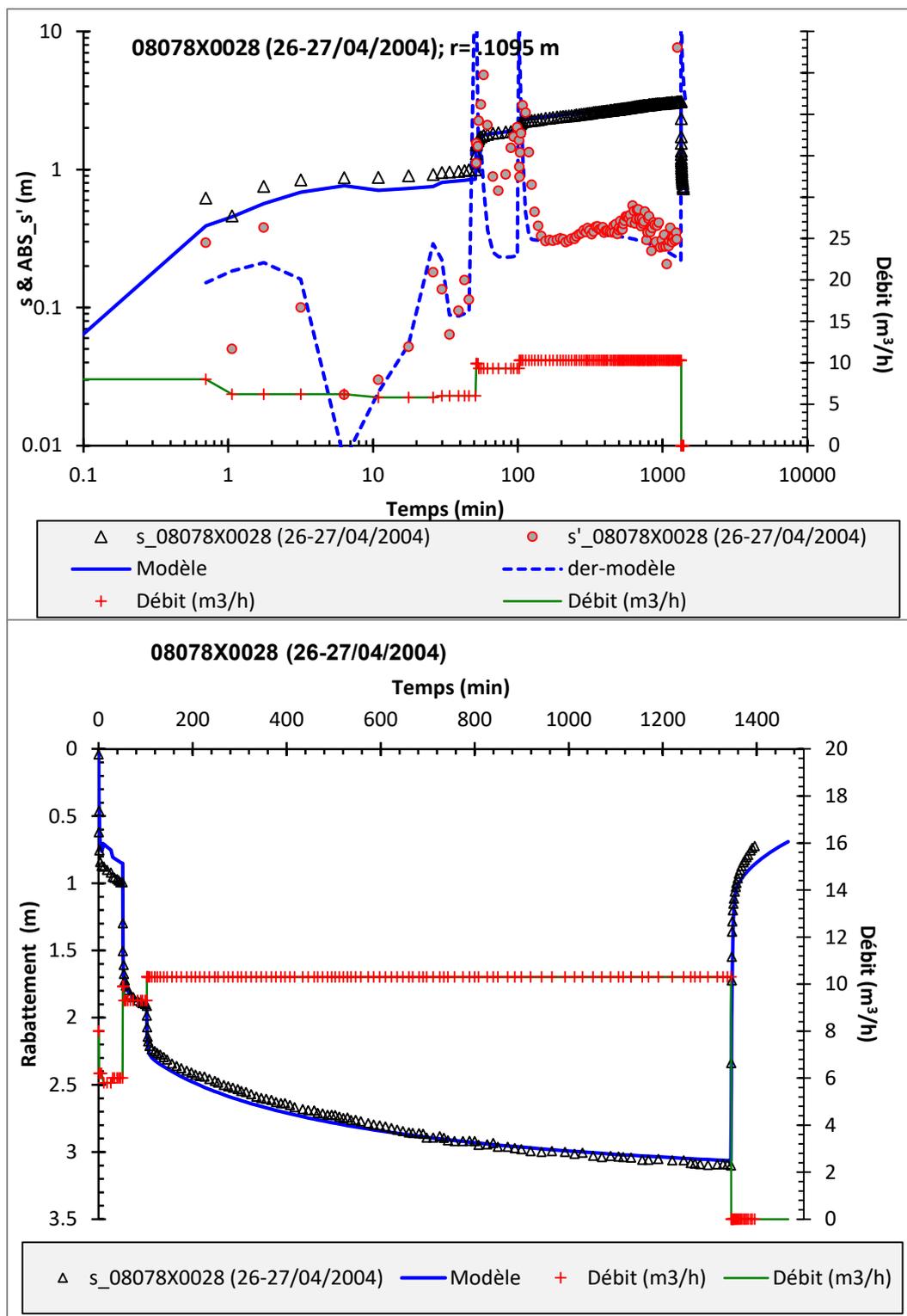
C-8. : modélisation de l'essai par pompage du 01-04/02/1991 sur le forage n°BSS : 08555X0006 (Savignac). Modèle : fracture verticale et drainance.



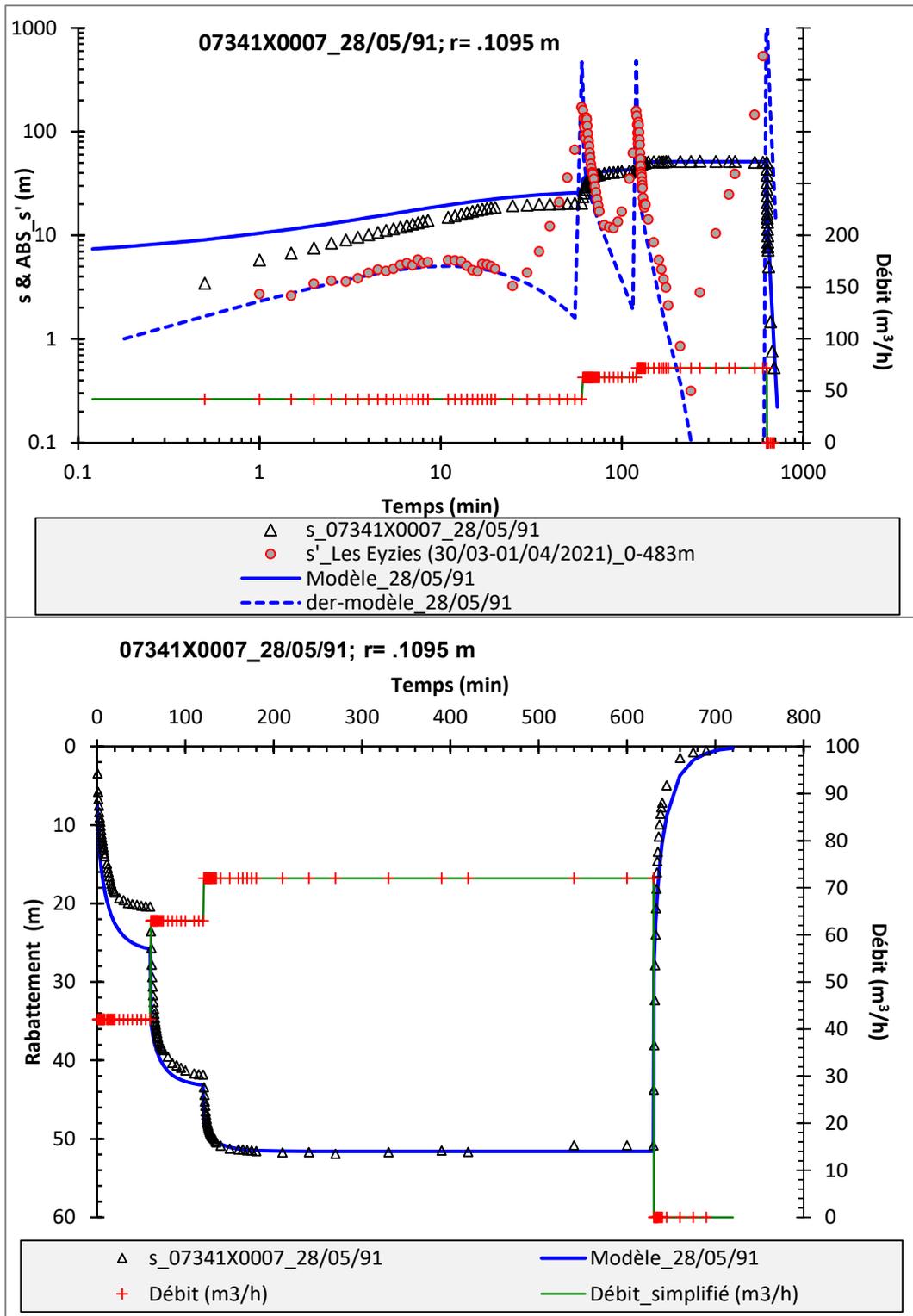
C-9. : modélisation de l'essai par pompage du 05-07/12/1988 sur le forage n°BSS : 08561X0203 (Loubéjac). Modèle : fracture verticale et drainance.



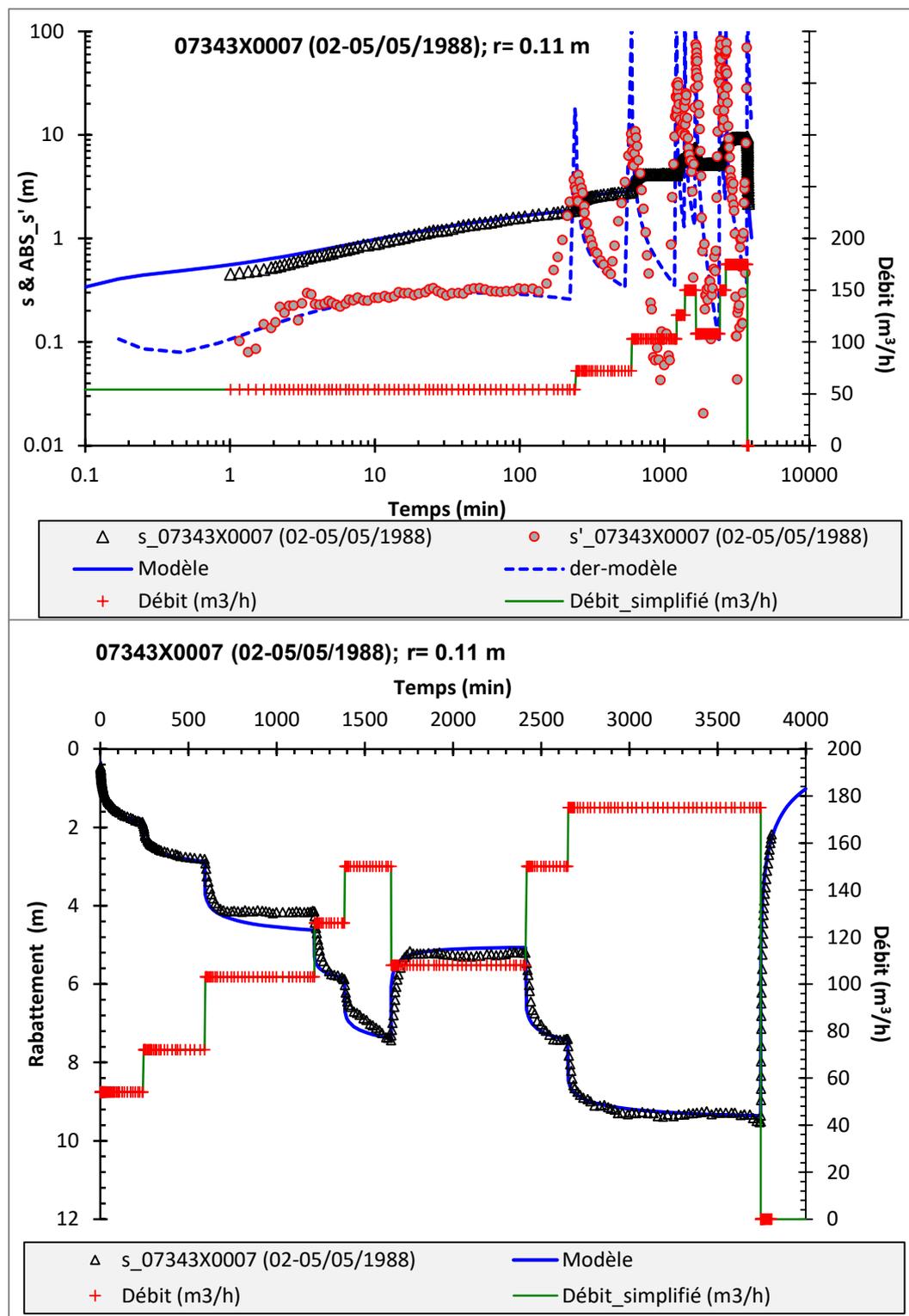
C-10. : modélisation de l'essai par pompage du 11-15/03/1984 sur le forage n°BSS : 07822X0035 (St Germain du Salembre). Modèle : fracture verticale et drainance.



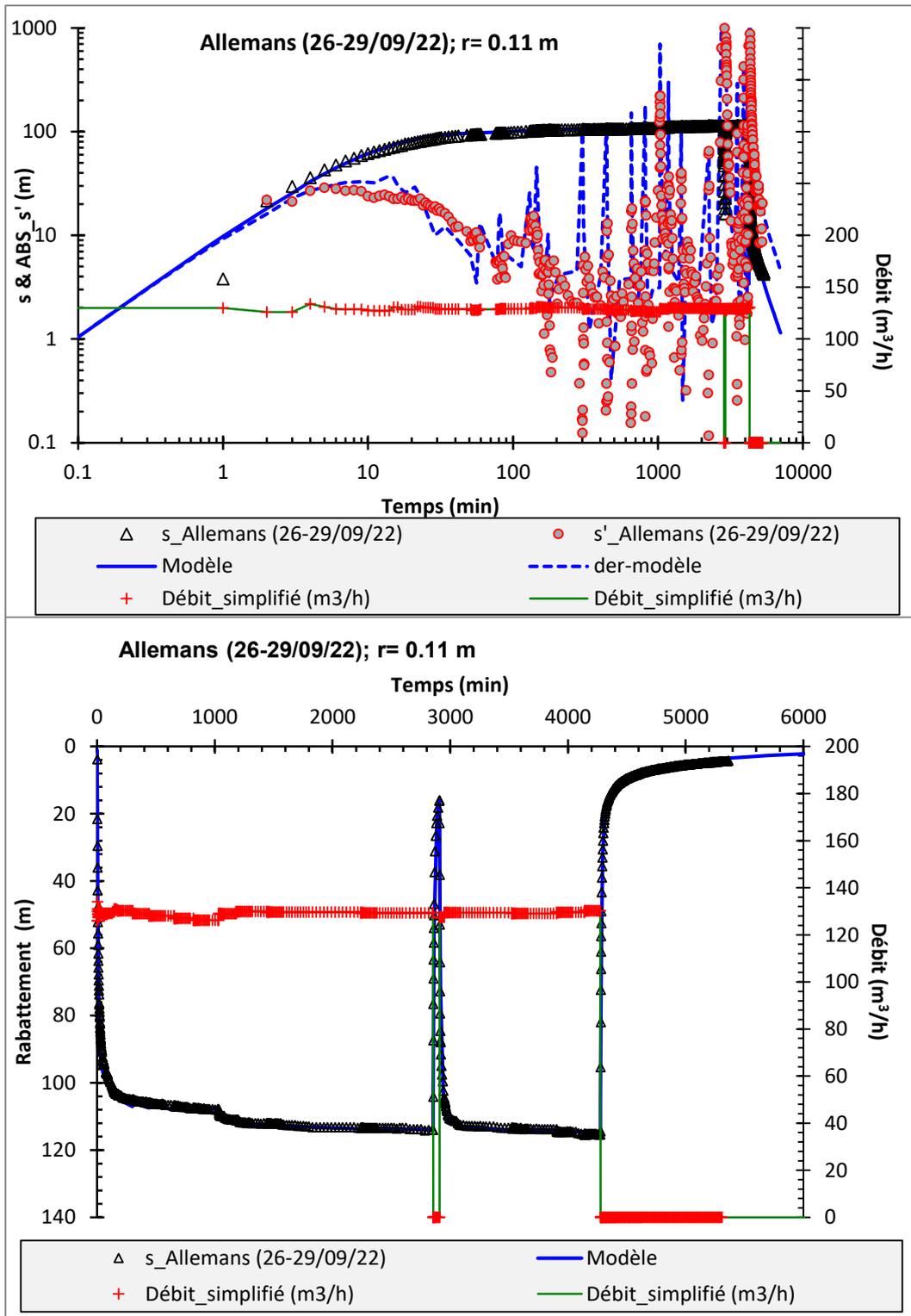
C-11. : modélisation de l'essai par pompage du 26-27/04/2004 sur le forage n°BSS : 08078X0028 (Marnac). Modèle : fracture verticale et drainance.



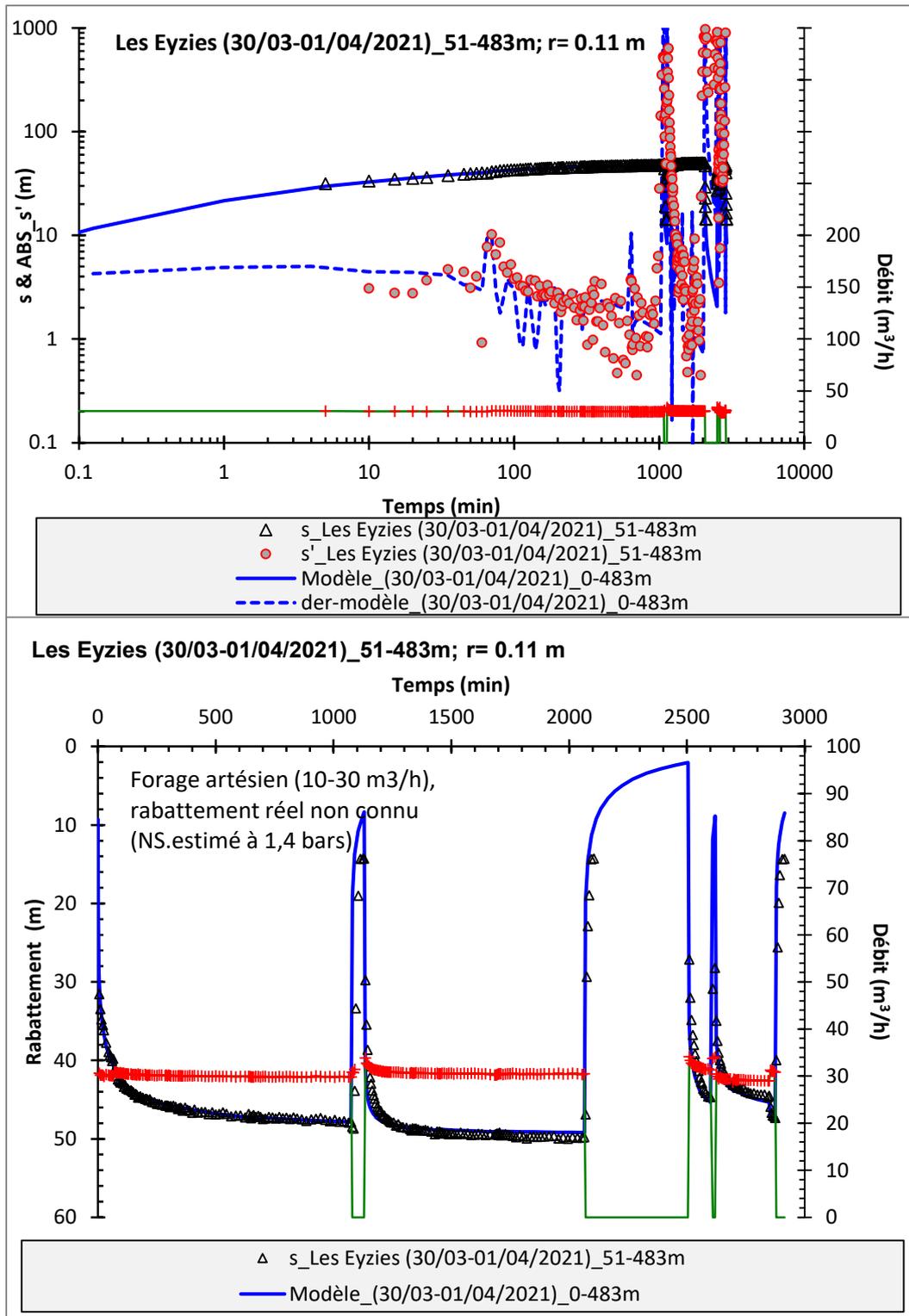
C-12. : modélisation de l'essai par pompage du 28/05/1991 sur le forage n°BSS : 07341X0007 (Sainte-Croix-de-Mareuil). Modèle : fracture verticale et drainage.



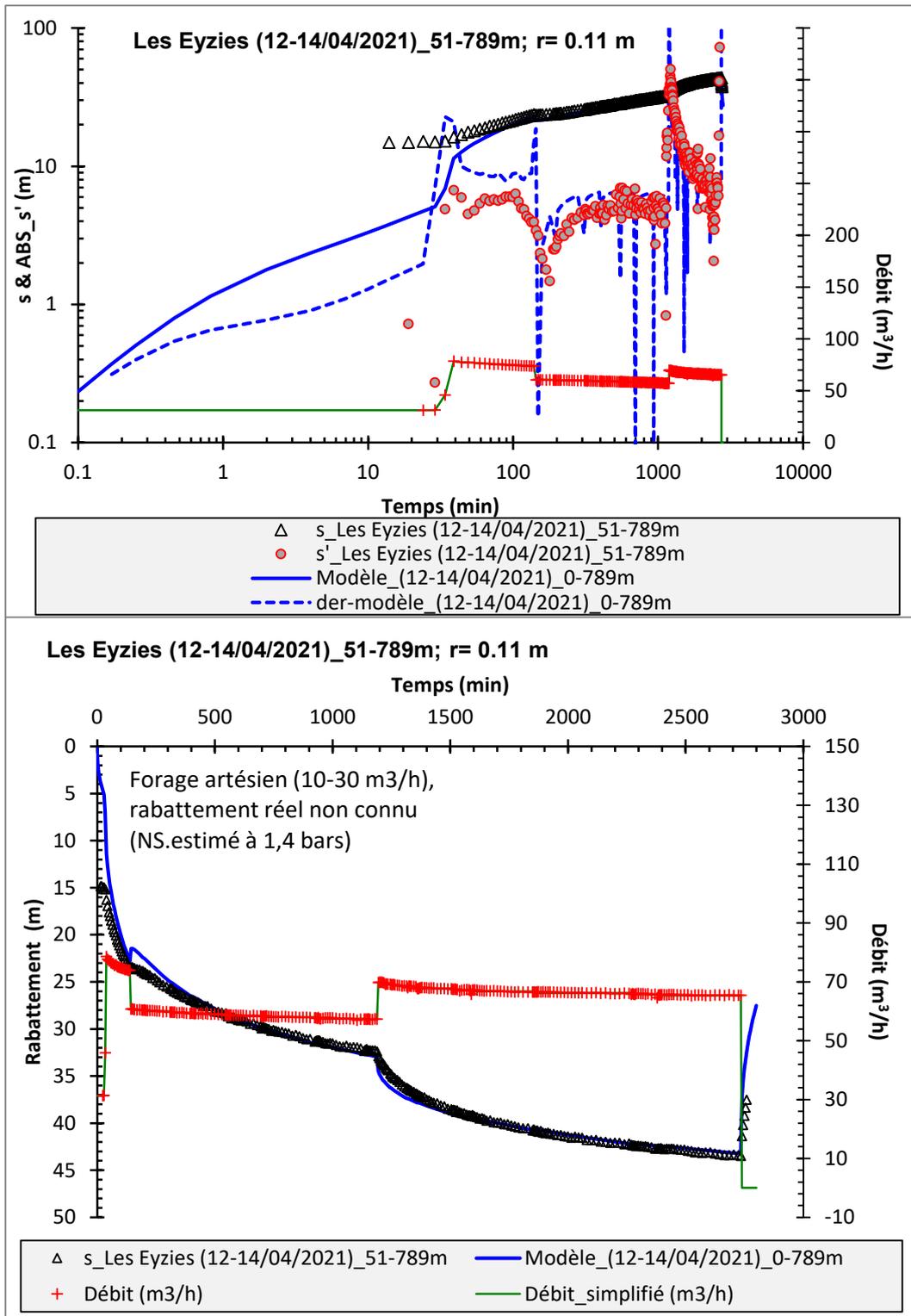
C-13. : modélisation de l'essai par pompage du 02-05/05/1988 sur le forage n°BSS : 07343X0007 (La-Forge-De-Rudeau). Modèle : fracture verticale et drainance.



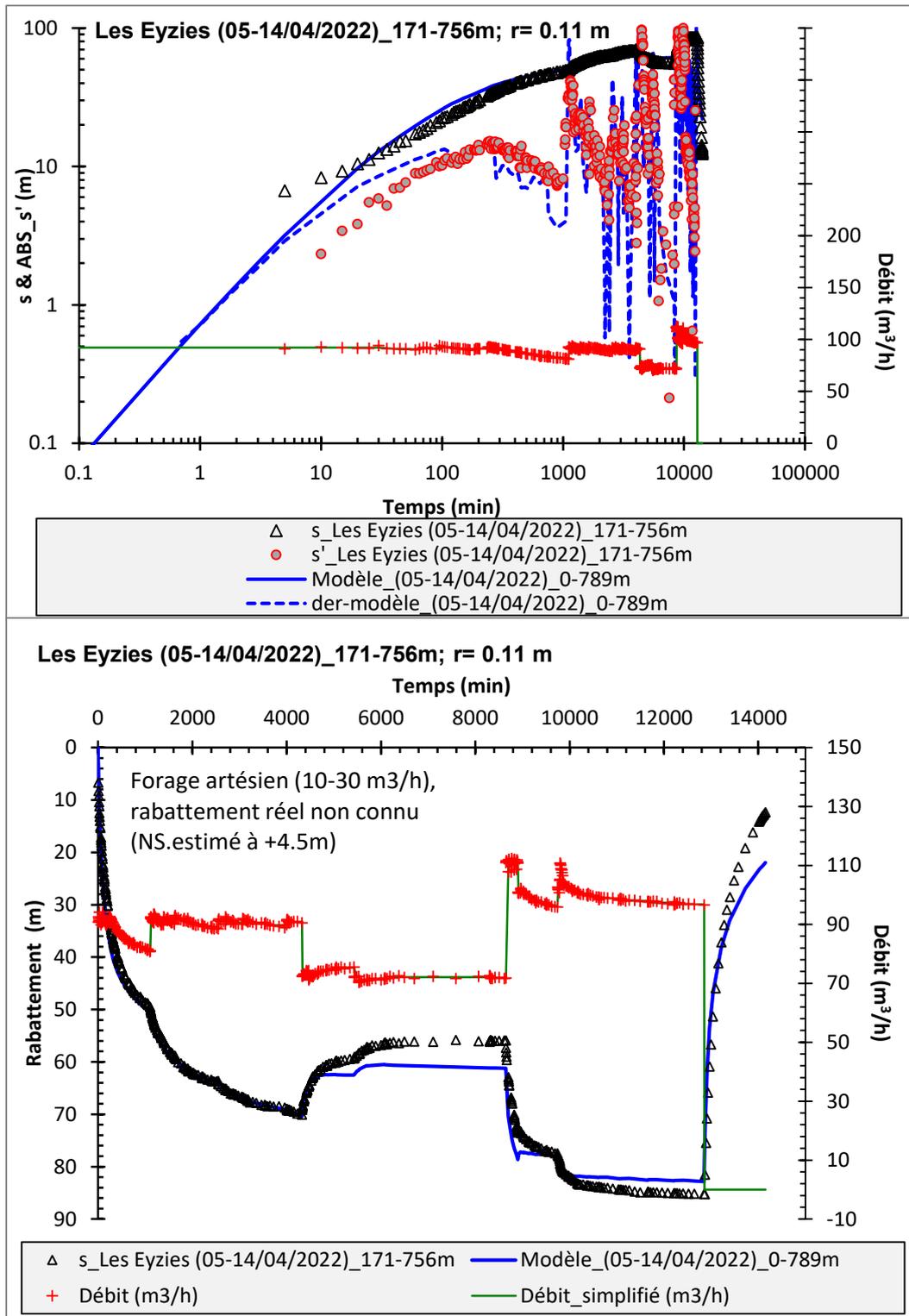
C-14. : modélisation de l'essai par pompage du 26-29/09/2022 sur le forage n°BSS : Allemans (Allemans). Modèle : fracture verticale et drainance.



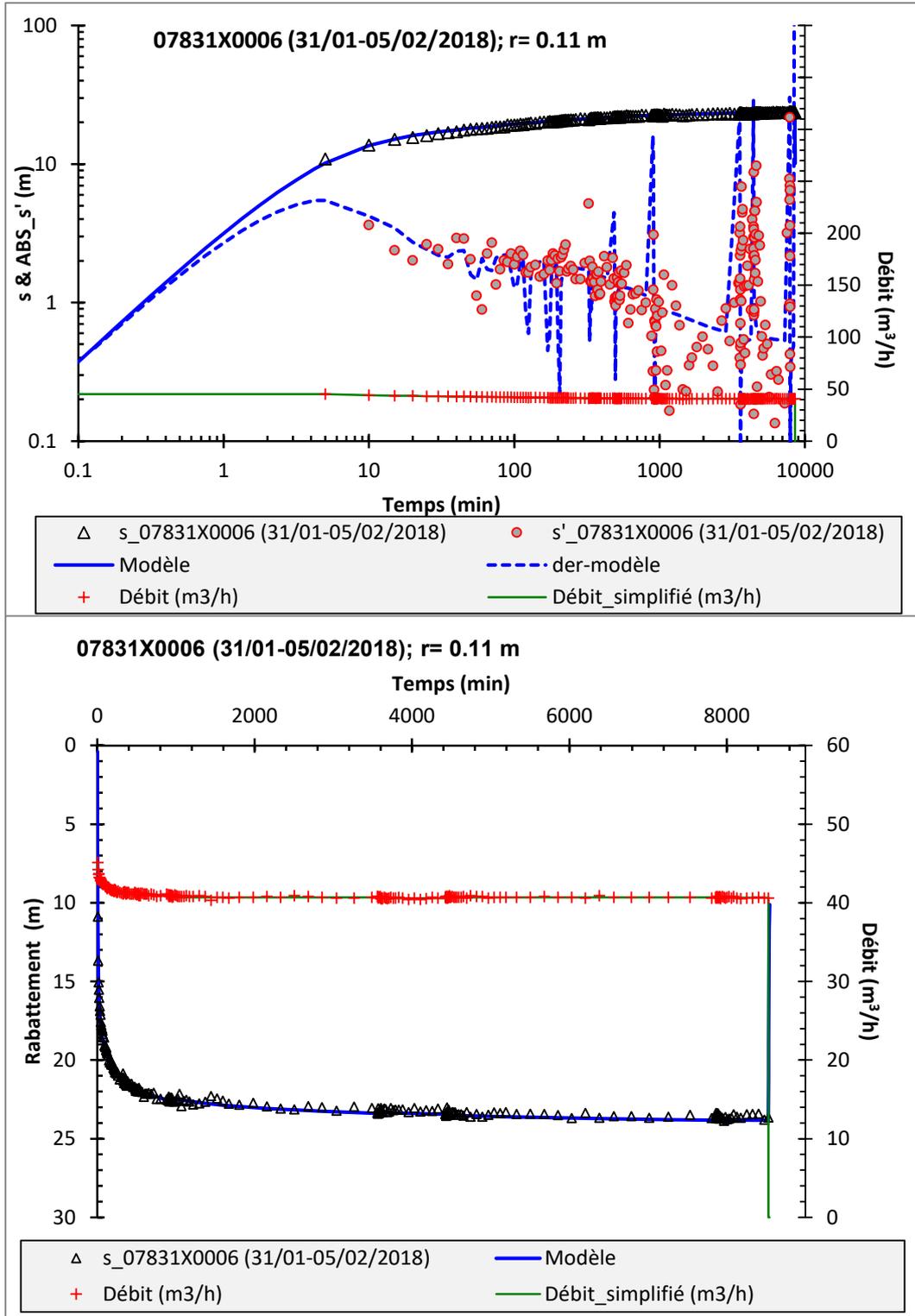
C-15. : modélisation de l'essai par pompage du 30/03-01/04/2021 sur le forage n°BSS : BSS004DPLC Eyzies (Les Eyzies). Modèle : fracture verticale et drainance. Horizon capté : 51-483 m.



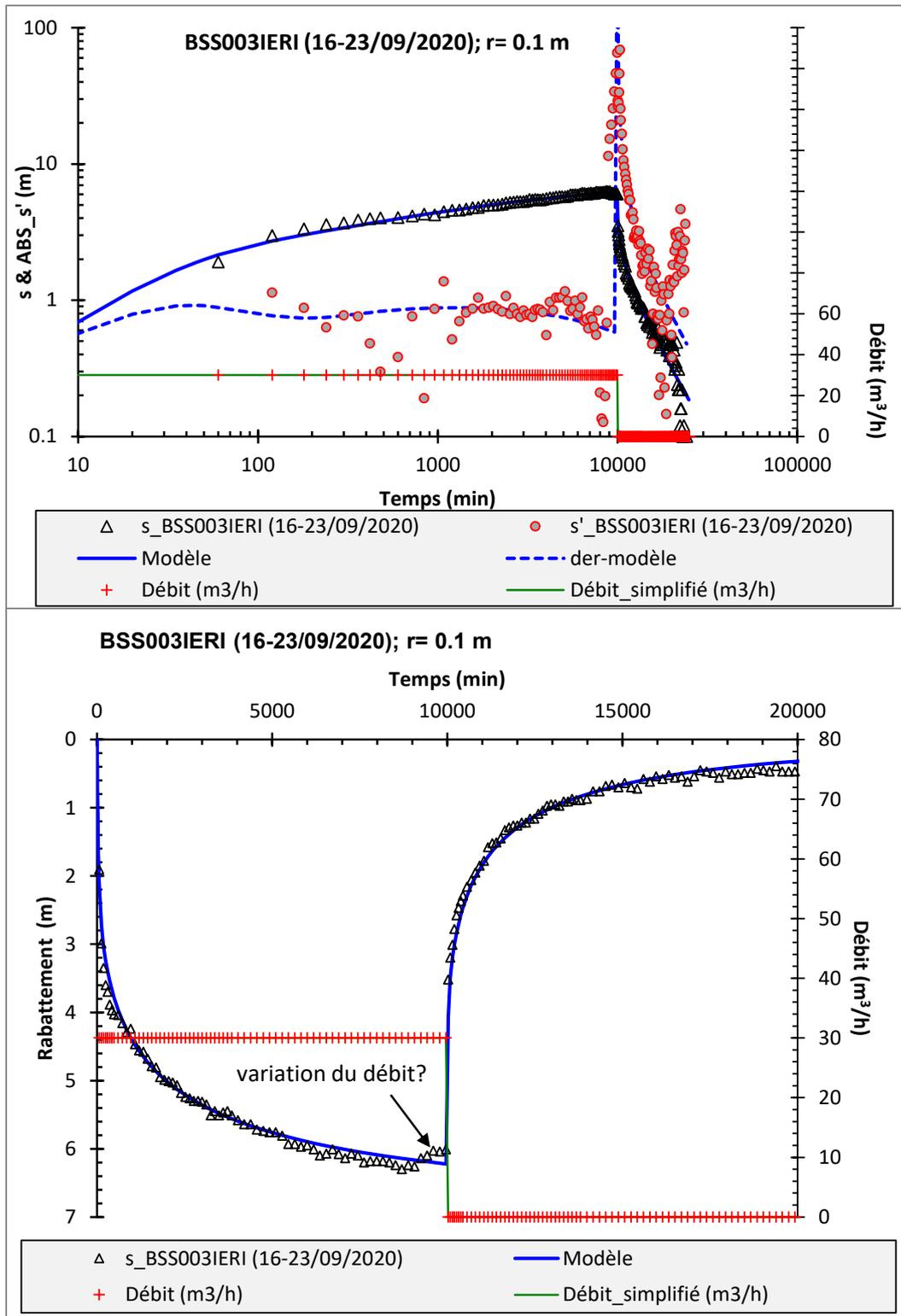
C-16. : modélisation de l'essai par pompage du 12-14/04/2021 sur le forage n°BSS : BSS004DPLC Eyzies (Les Eyzies). Modèle : fracture verticale et drainance. Horizon capté : 51-789 m.



C-17. : modélisation de l'essai par pompage du 05-14/04/2022 sur le forage n°BSS : BSS004DPLC Eyzies (Les Eyzies). Modèle : fracture verticale et drainance. Horizon capté : 171-756 m.

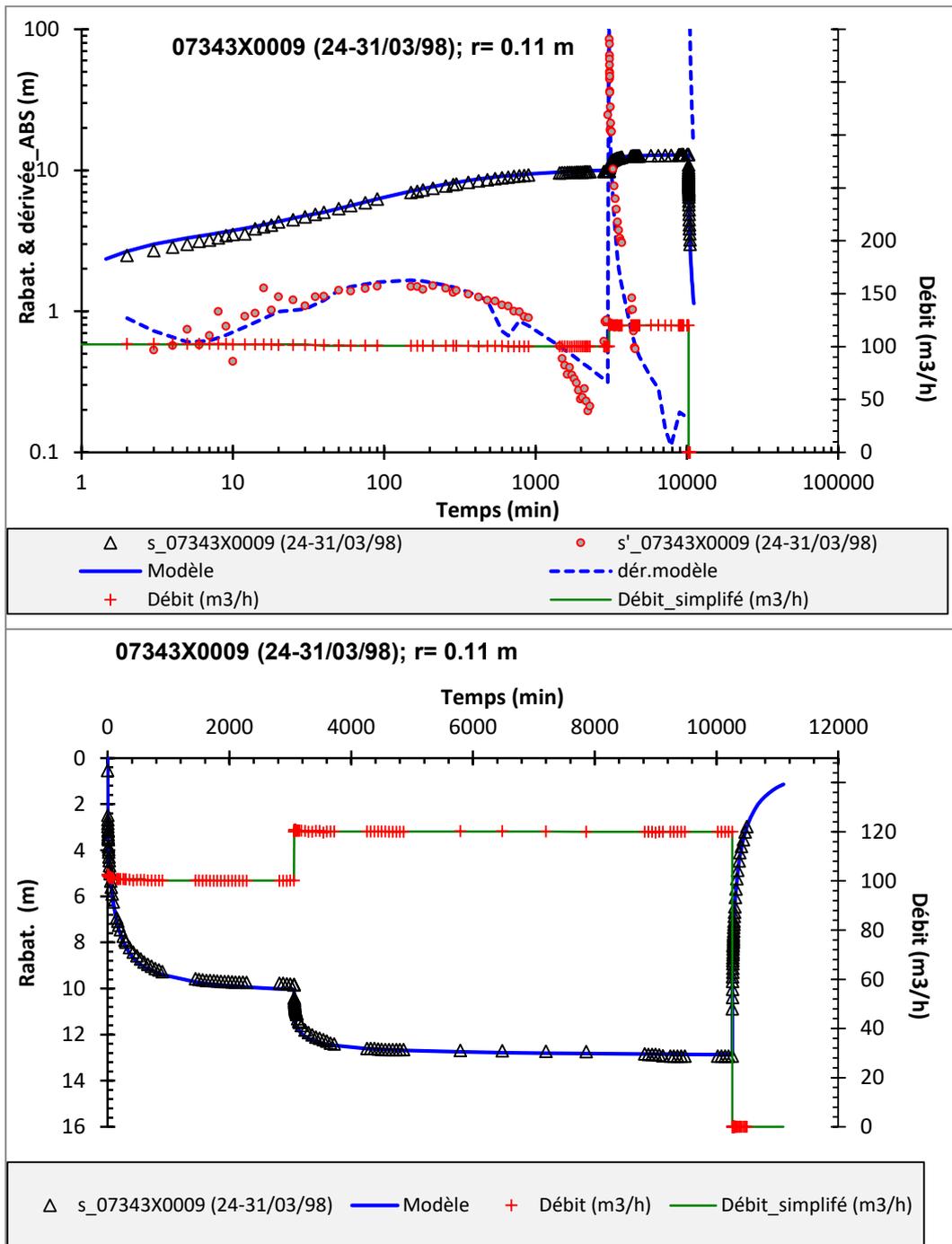


C-18. : modélisation de l'essai par pompage du 31/01-05/02/2018 sur le forage n°BSS : 07831X0006 (Boulazac). Modèle : fracture verticale et drainance.

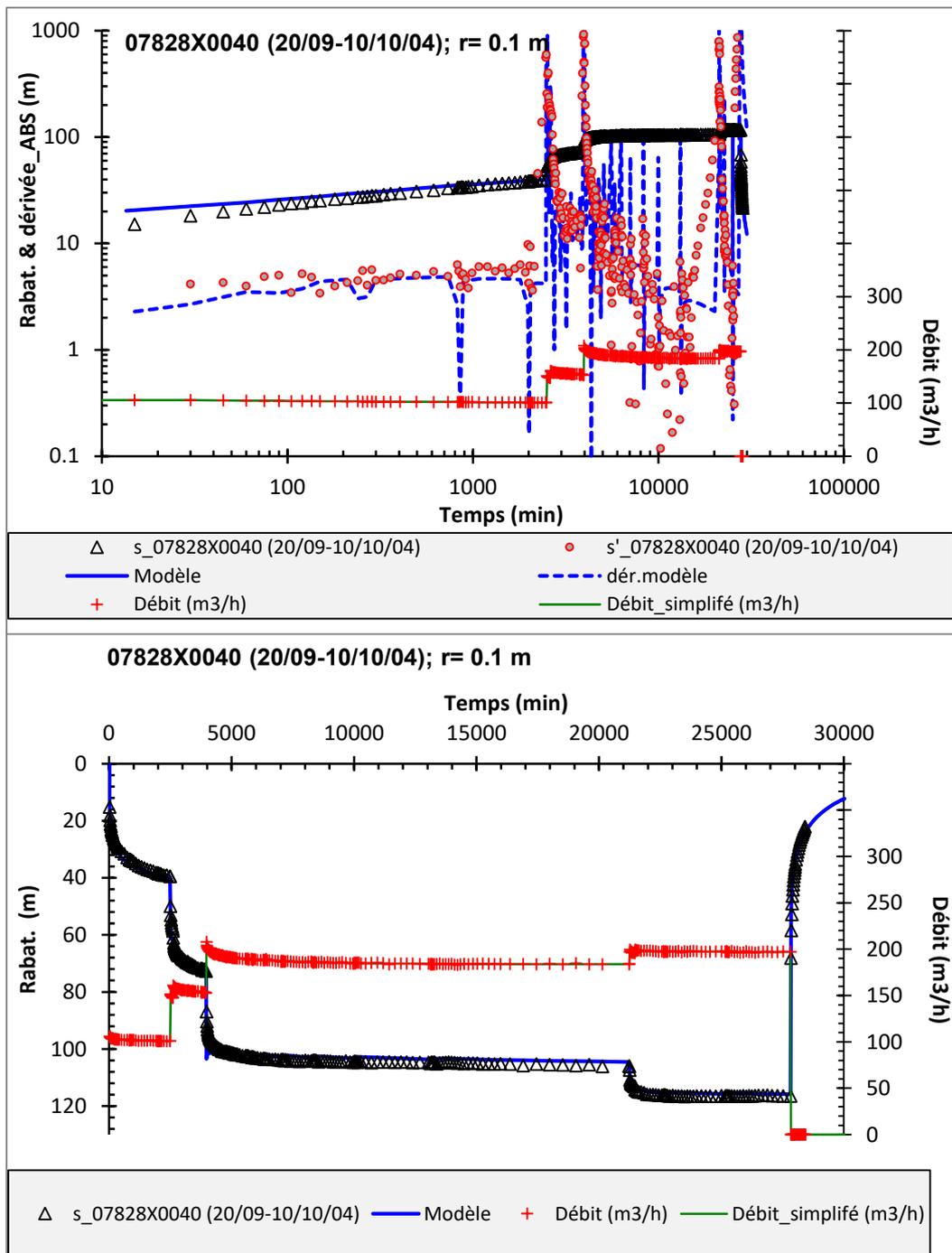


C-19. : modélisation de l'essai par pompage du 16-23/09/2020 sur le forage n°BSS : BSS003IERI (Capdrot). Modèle : fracture verticale et drainance.

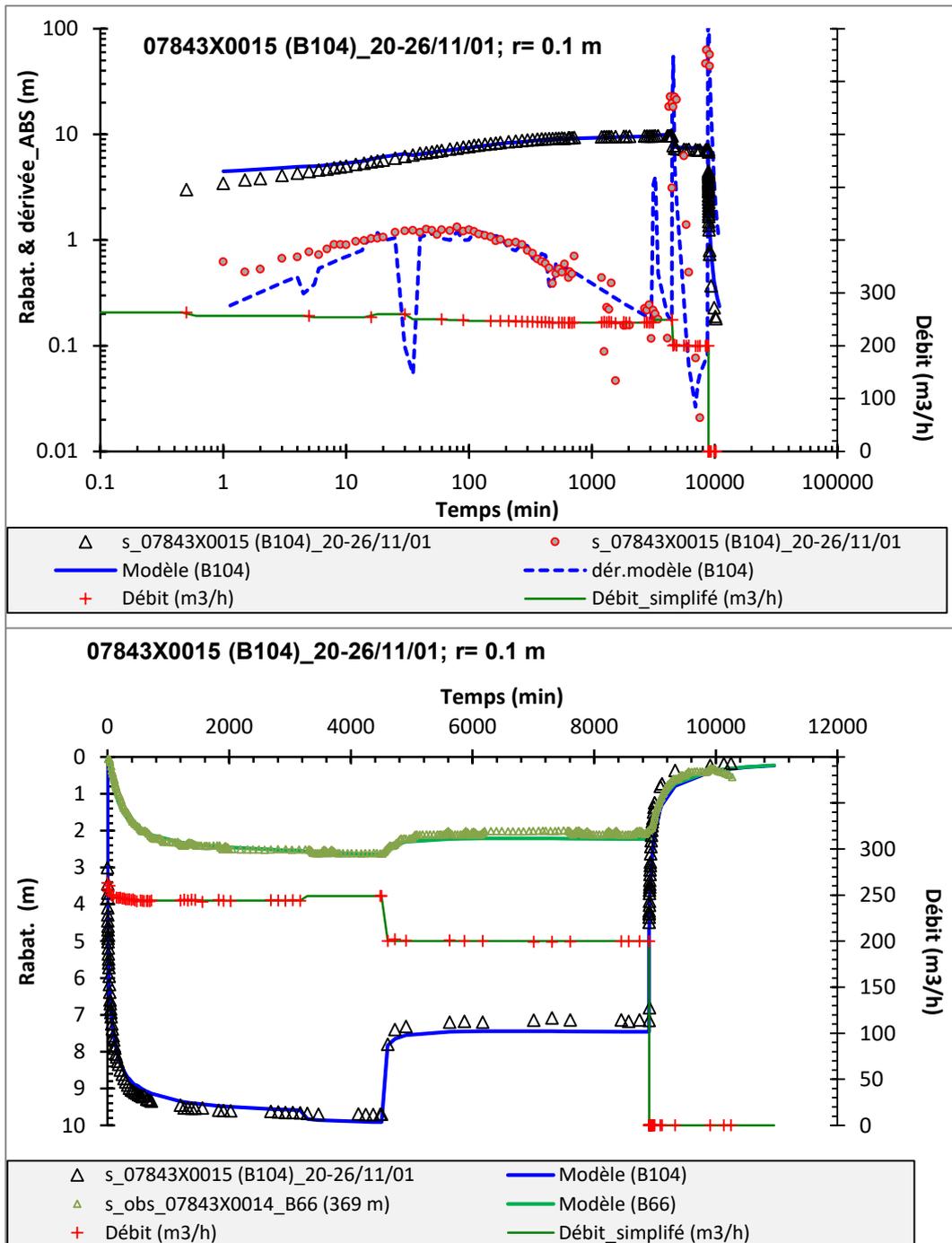
Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable ou non



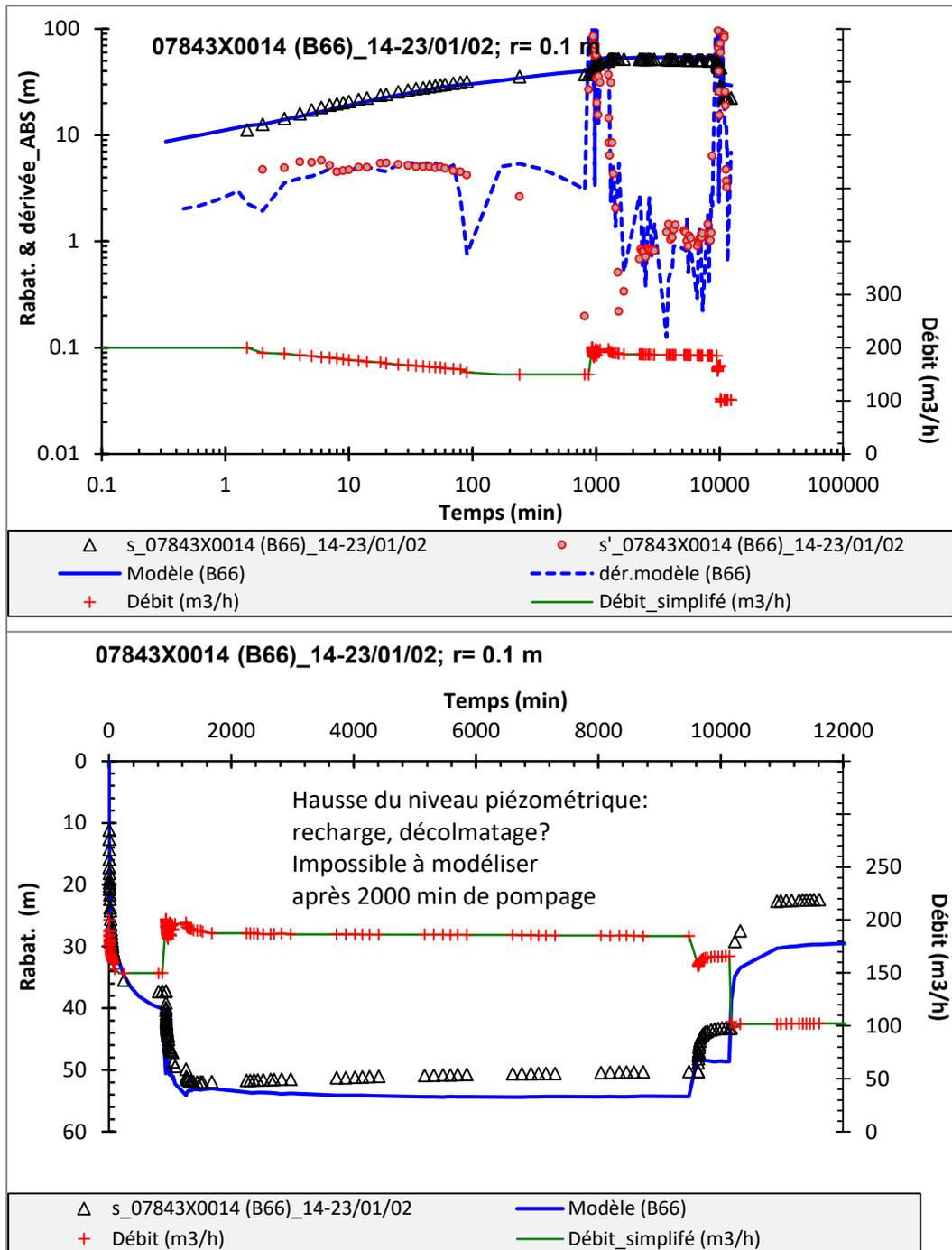
D-1. : modélisation de l'essai par pompage du 24-31/03/1998 sur le forage n°BSS : 07343X0009 (St-Front-sur-Nizonne). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



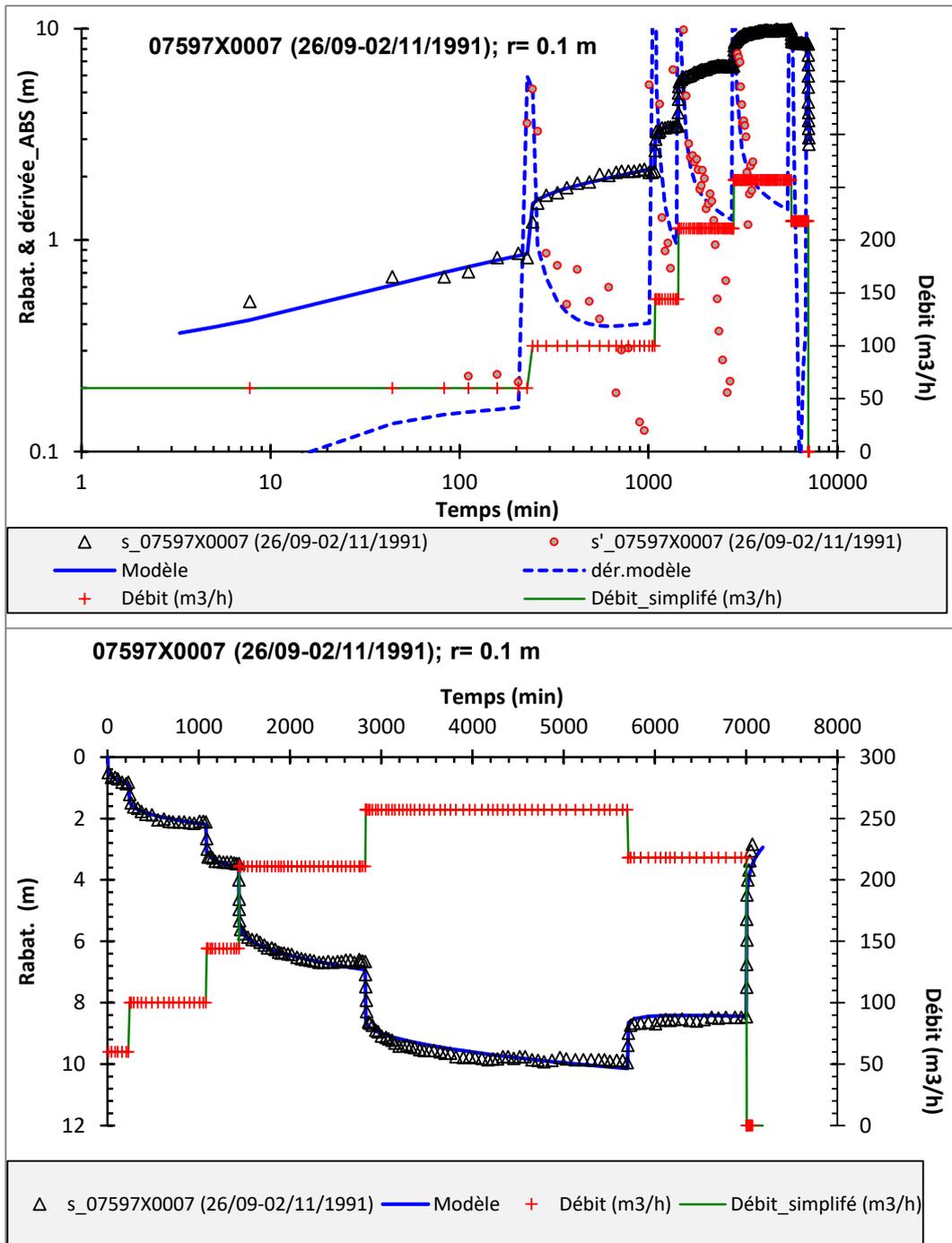
D-2. : modélisation de l'essai par pompage du 20/09-10/10/04 sur le forage n°BSS : 07828X0040 (Vergt). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



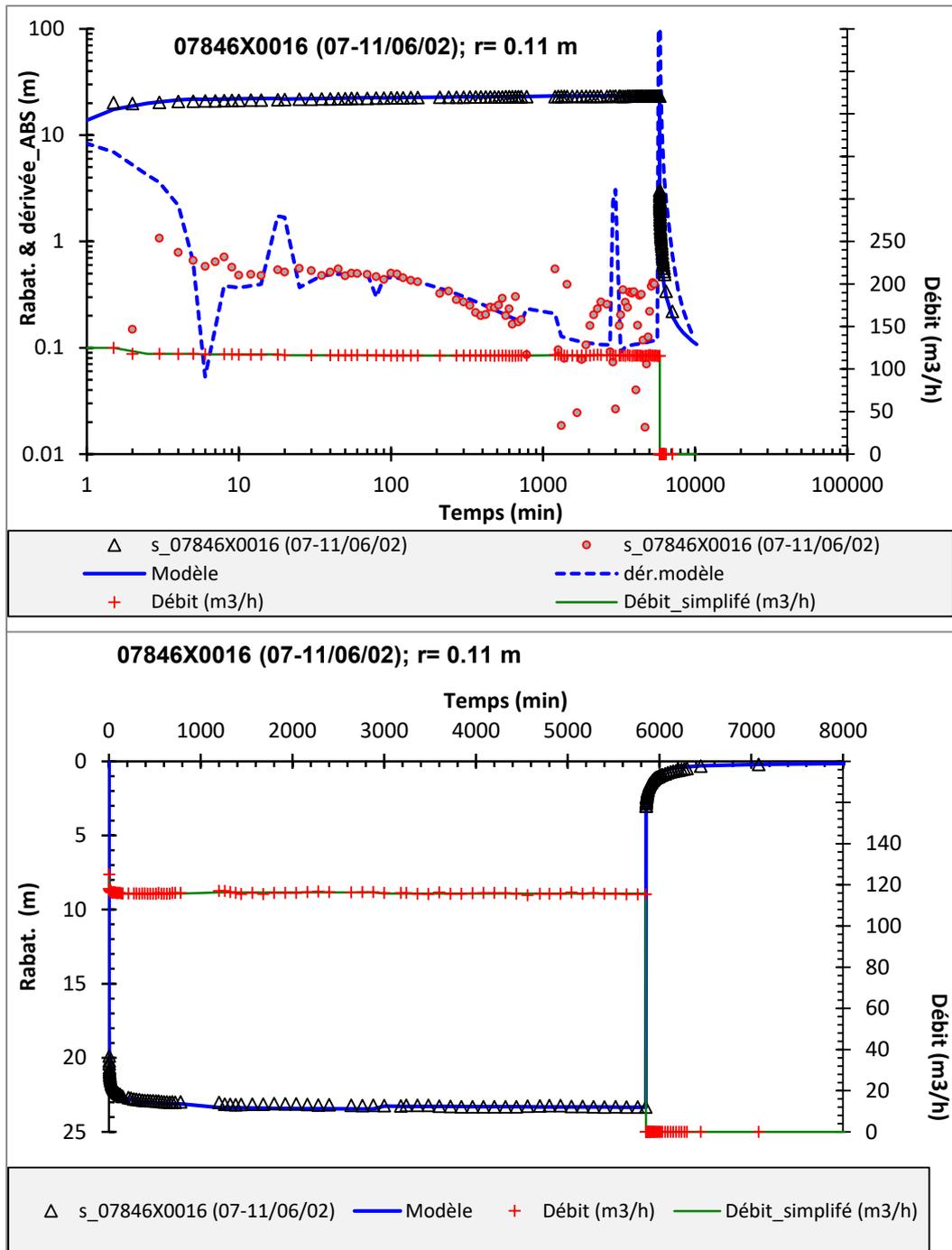
D-3. : modélisation de l'essai par pompage du 20-26/11/2001 sur le forage n°BSS : 07843X0015/B104 (Coly). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable. Observation sur le forage 07843X0014/B66 à 369 m.



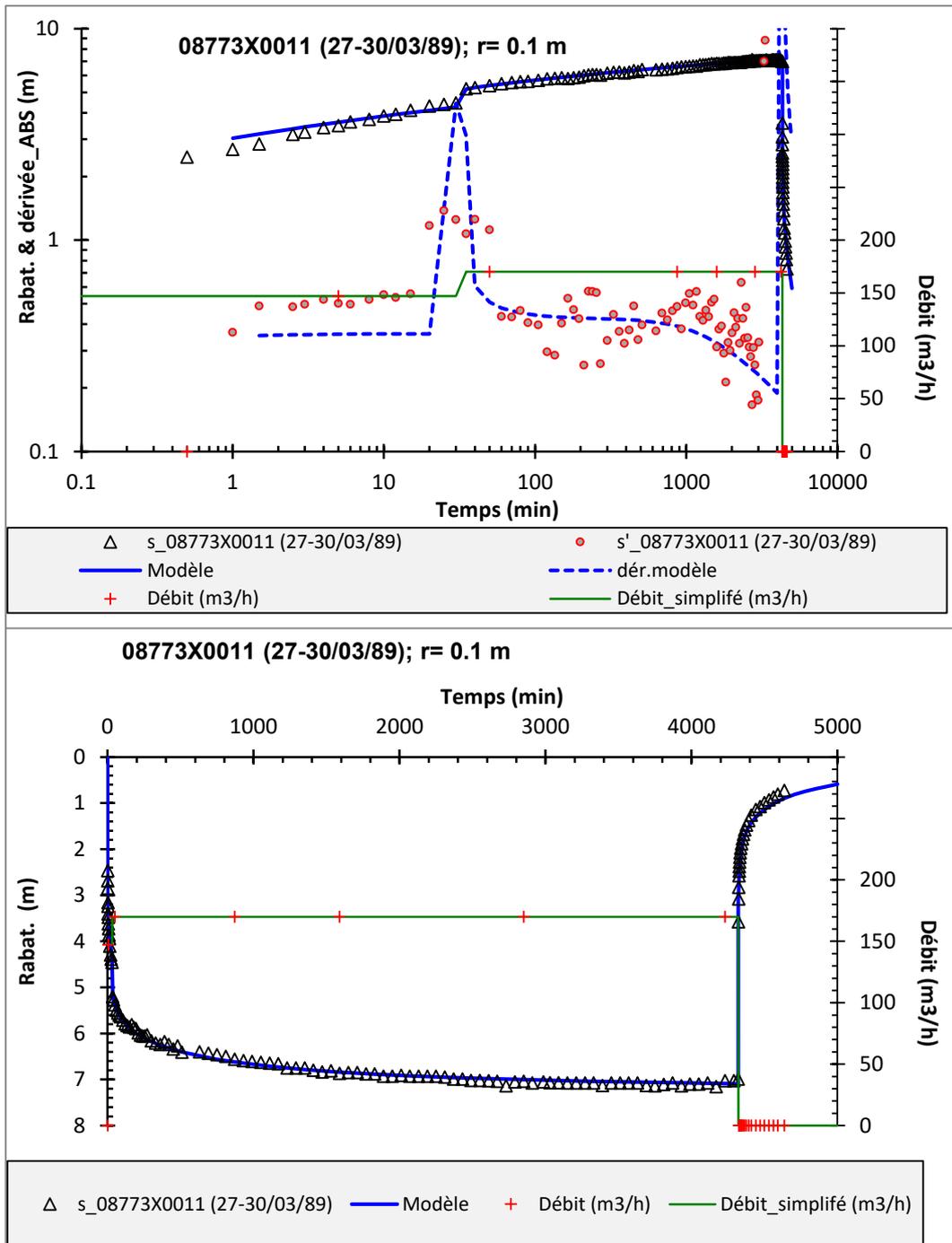
D-4. : modélisation de l'essai par pompage du 14-23/01/2002 sur le forage n°BSS : 07843X0014/B66 (Coly). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



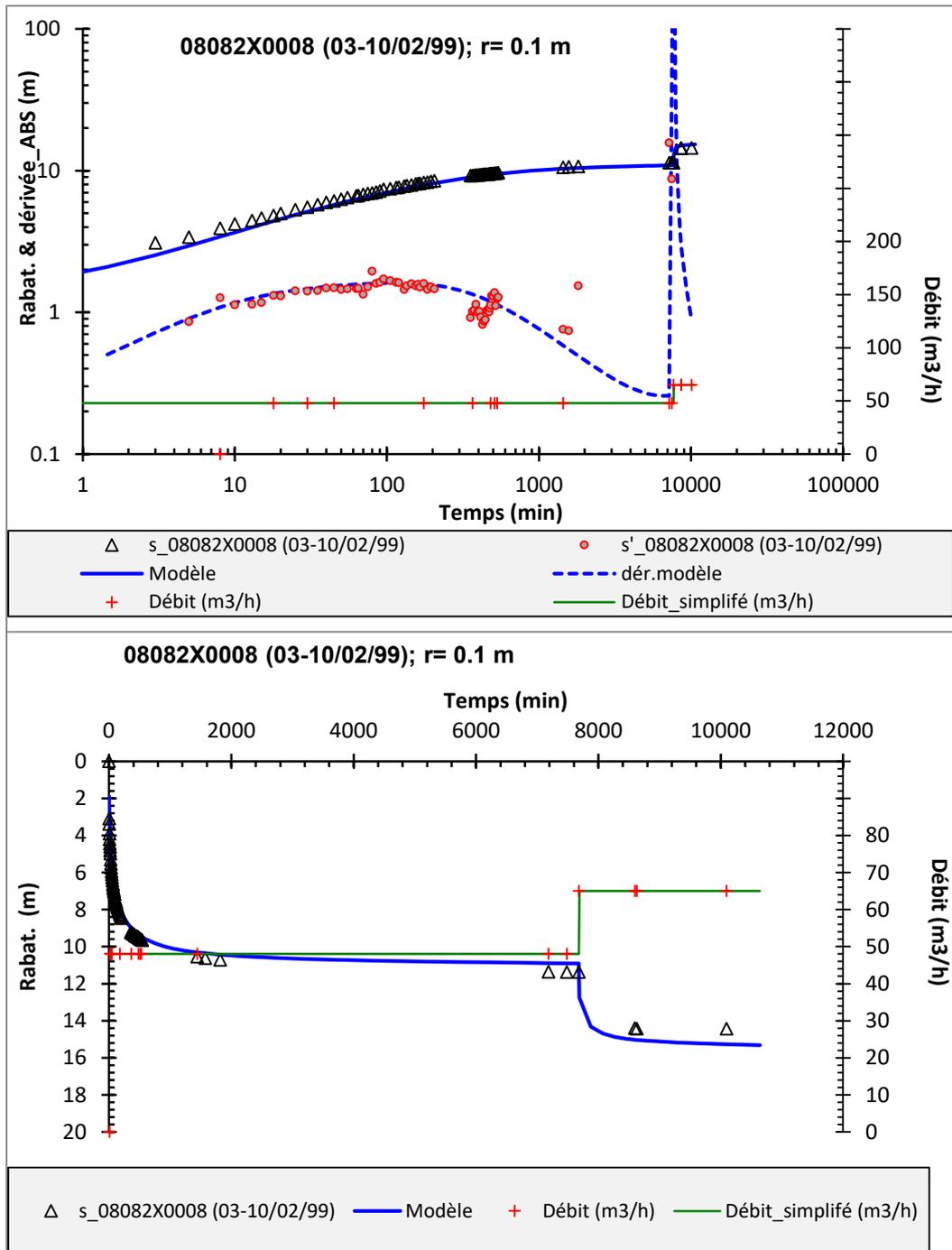
D-5. : modélisation de l'essai par pompage du 26/09-02/11/1991 sur le forage n°BSS : 07597X0007 (Le Change). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone peu perméable.



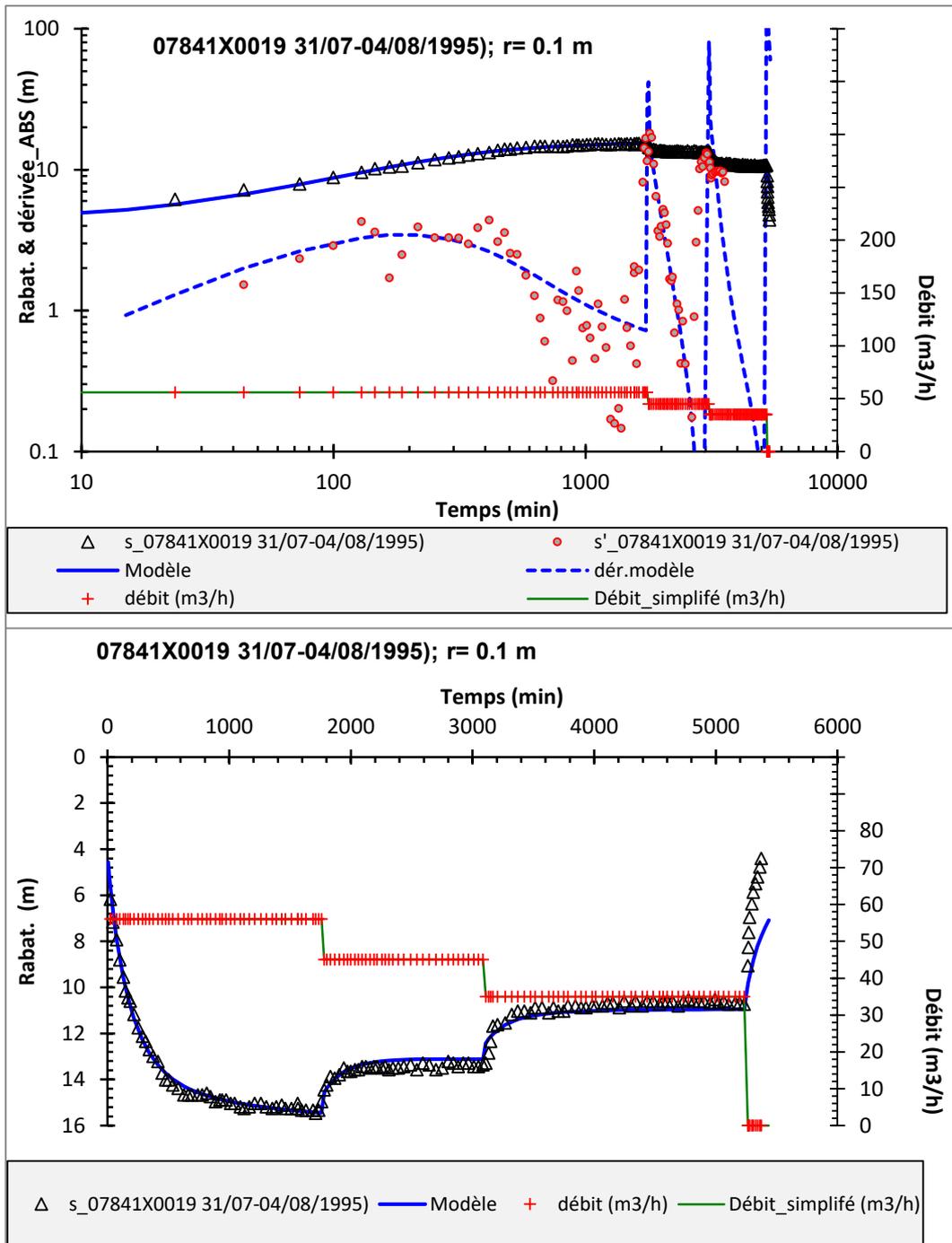
D-6. : modélisation de l'essai par pompage du 07-11/06/2002 sur le forage n°BSS : 07846X0016 (St-Amand-de-Coly). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



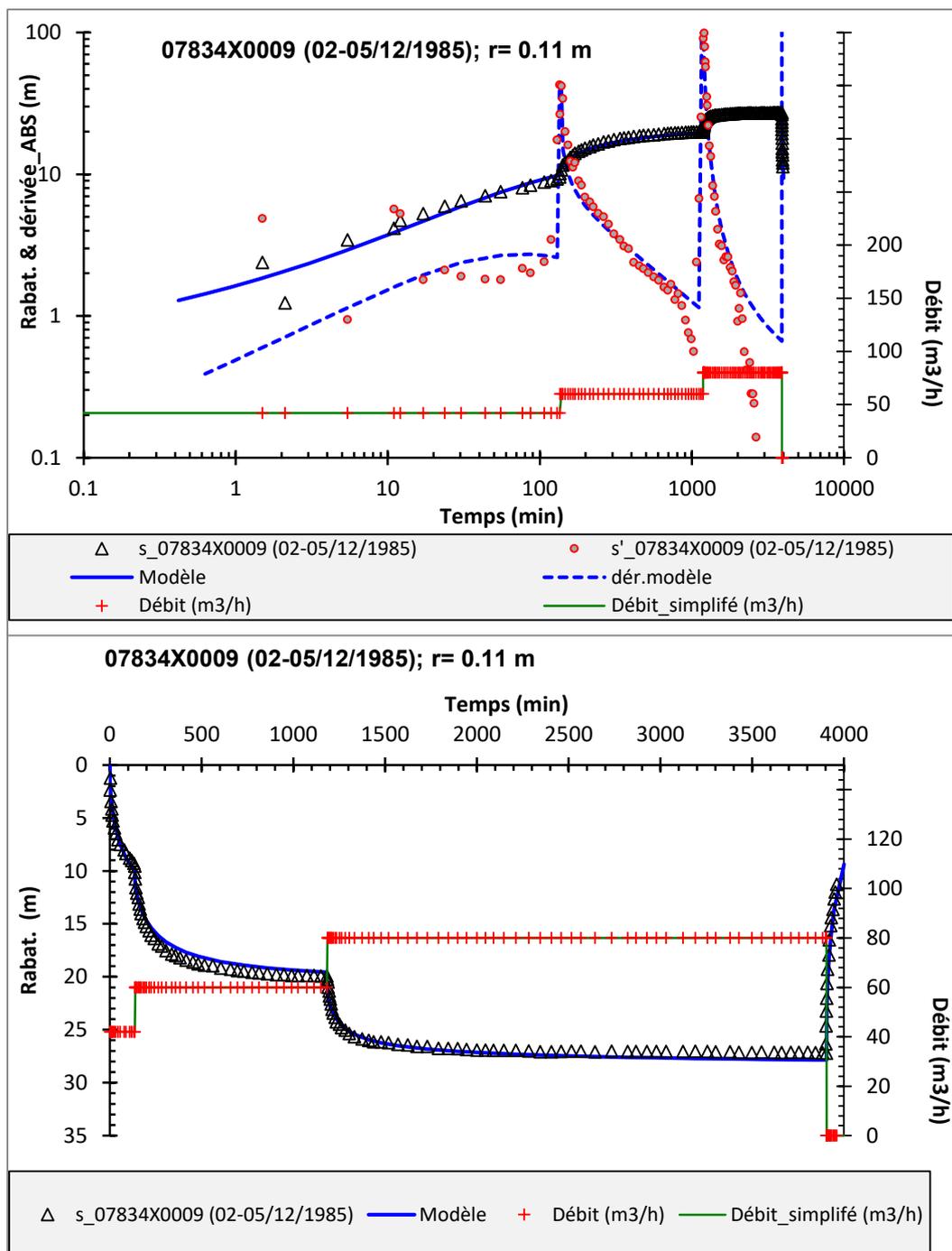
D-7. : modélisation de l'essai par pompage du 27-30/03/1989 sur le forage n°BSS : 08773X0011 (Lagruère). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



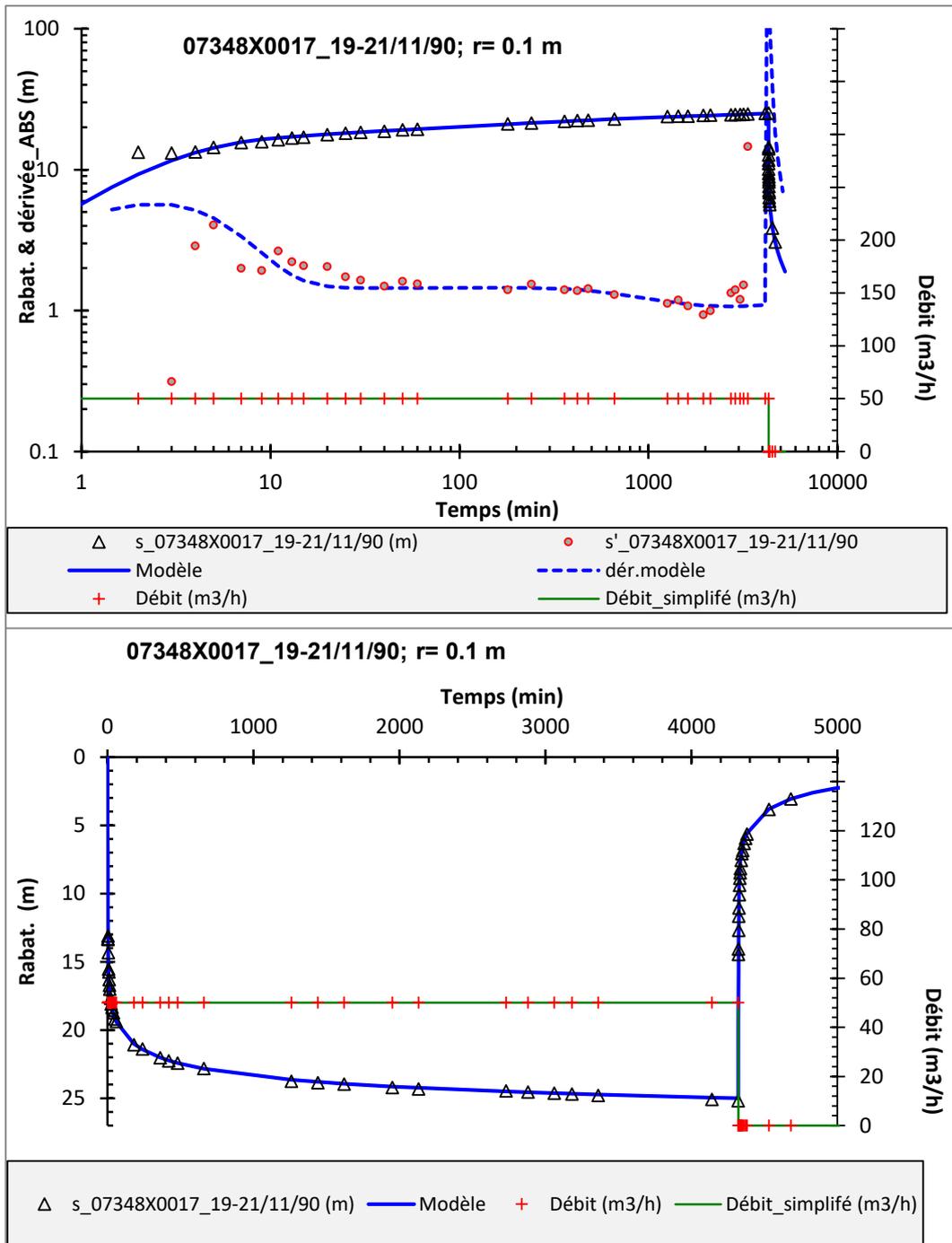
D-8. : modélisation de l'essai par pompage du 03-10/02/1999 sur le forage n°BSS : 08082X0008 (Proissans). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



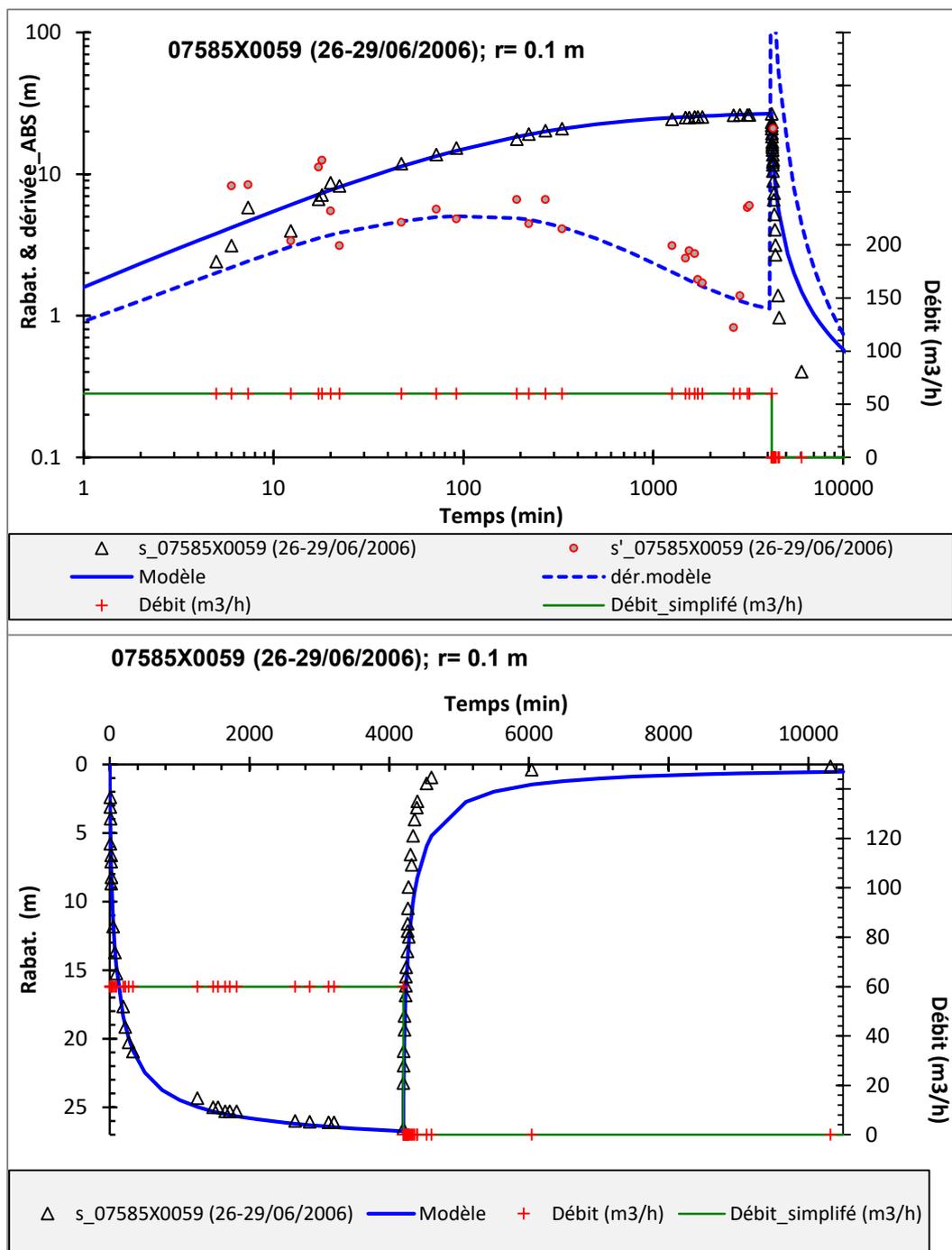
D-9. : modélisation de l'essai par pompage du 31/07-04/08/1995 sur le forage n°BSS : 07841X0019 (Bachelierie). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



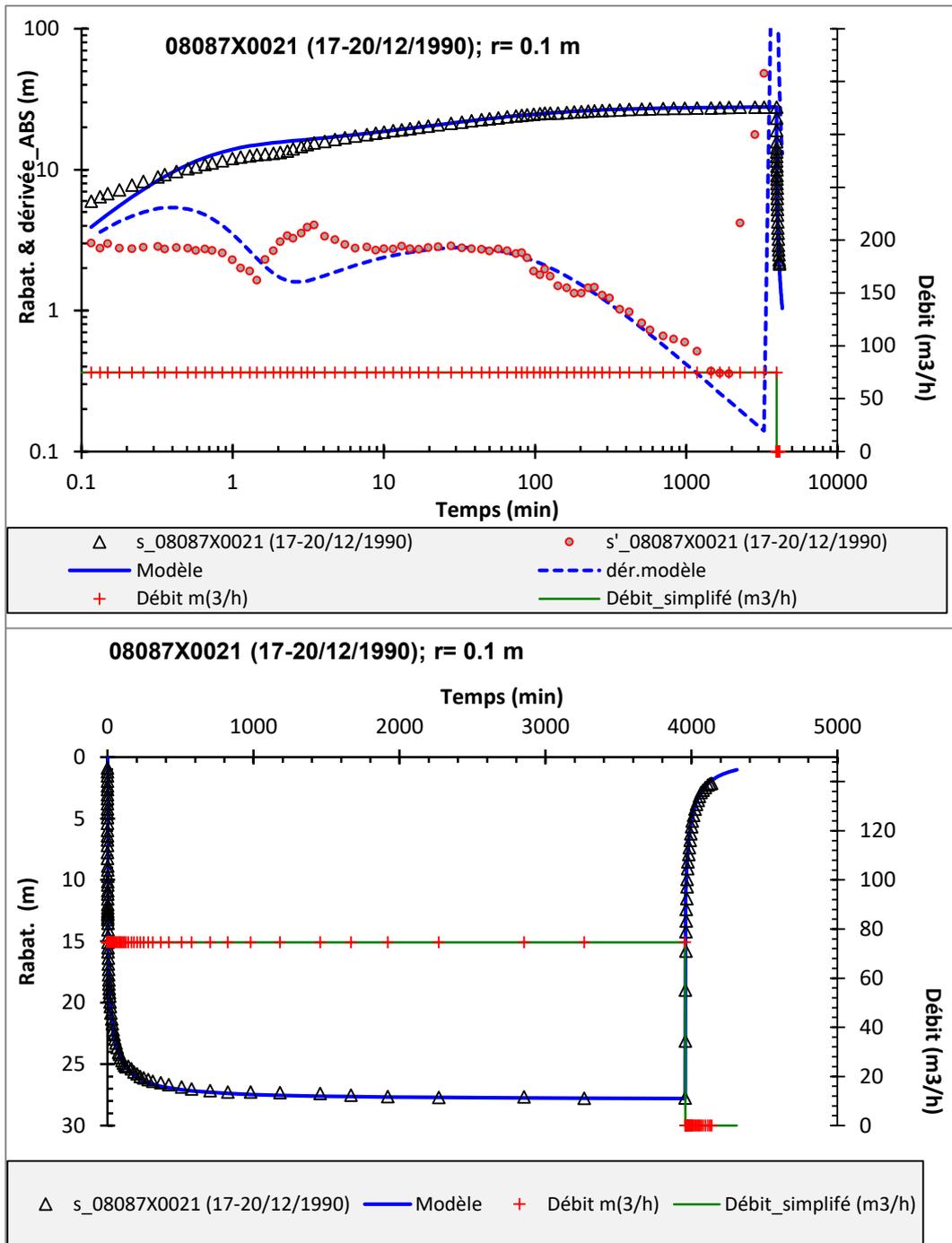
D-10. : modélisation de l'essai par pompage du 02-05/12/1985 sur le forage n°BSS : 07834X0009 (Thénon). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



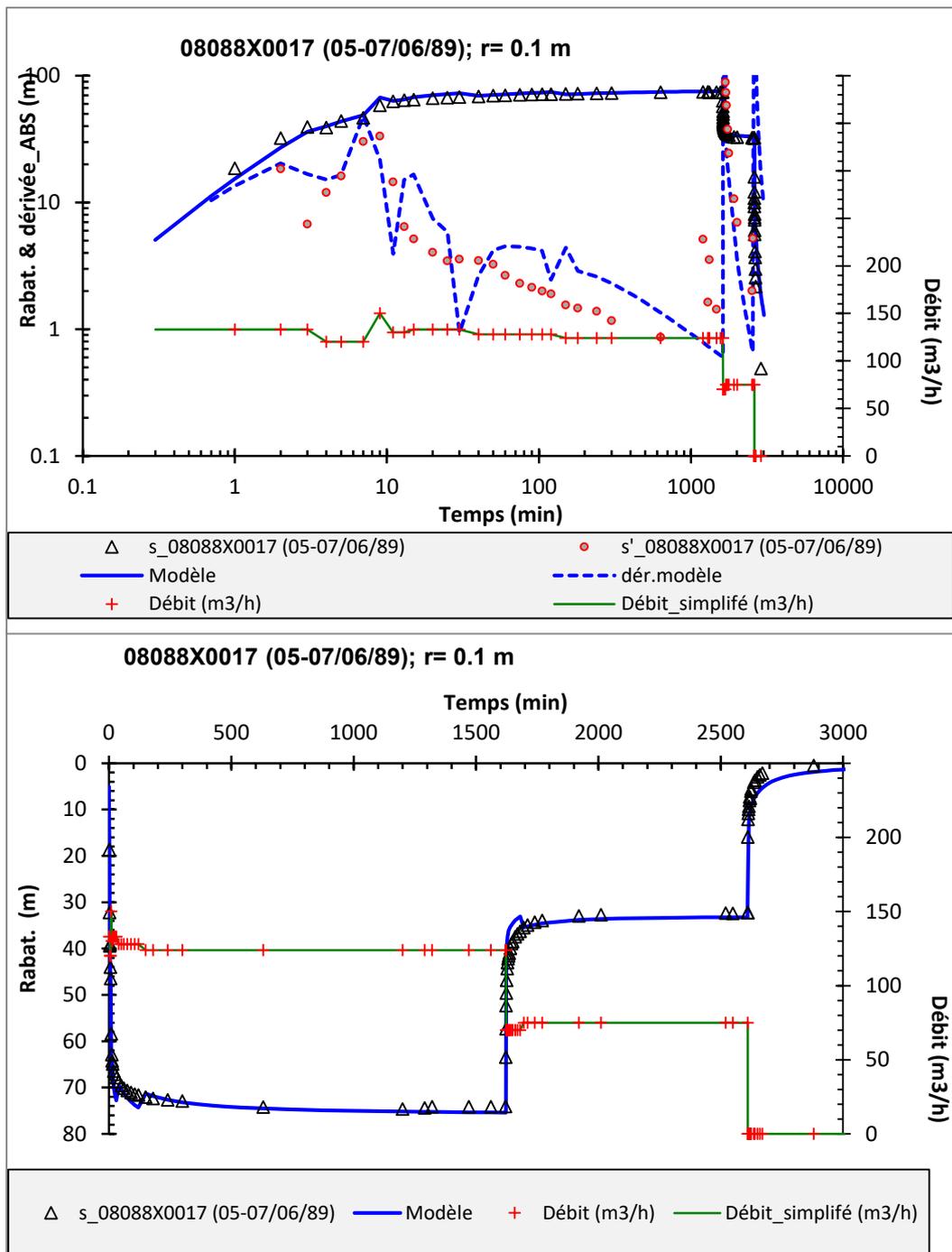
D-11. : modélisation de l'essai par pompage du 19-21/11/1990 sur le forage n°BSS : 07348X0017 (St Front-la-Rivière). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



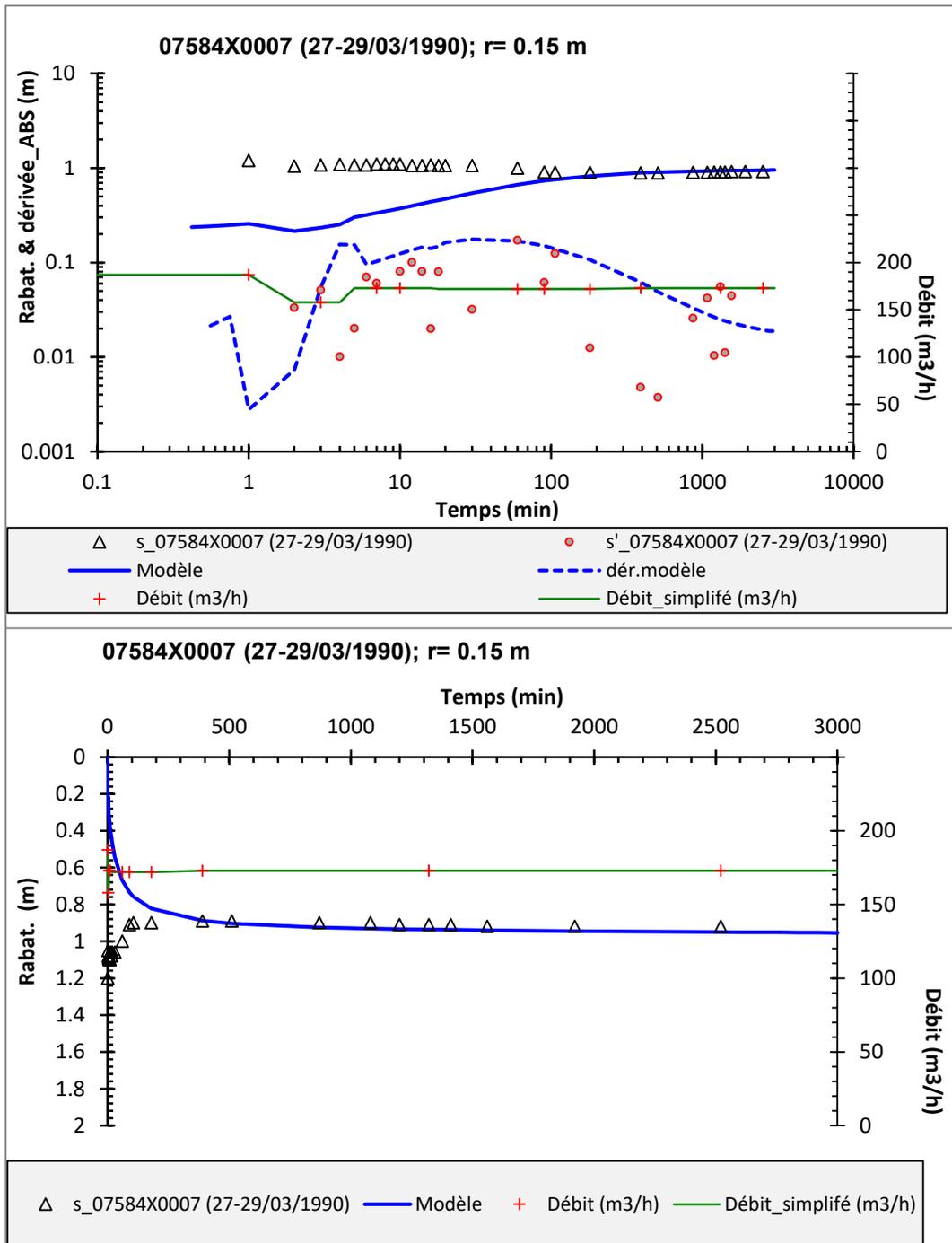
D-12. : modélisation de l'essai par pompage du 26-29/06/2006 sur le forage n°BSS : 07585X0059 (Siorac de Ribérac). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



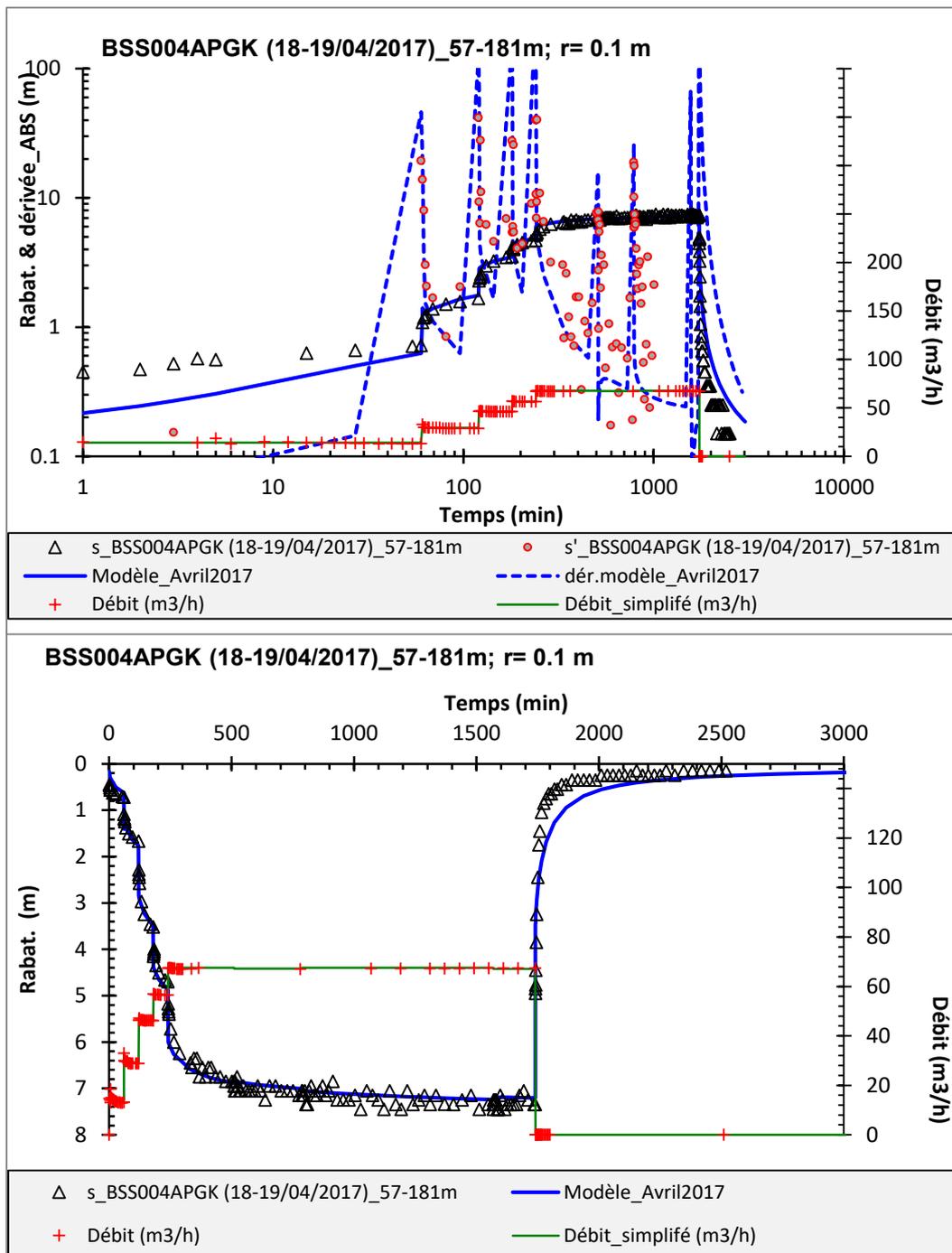
D-13. : modélisation de l'essai par pompage du 17-20/12/1980 sur le forage n°BSS : 08087X0021(Groléjac). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



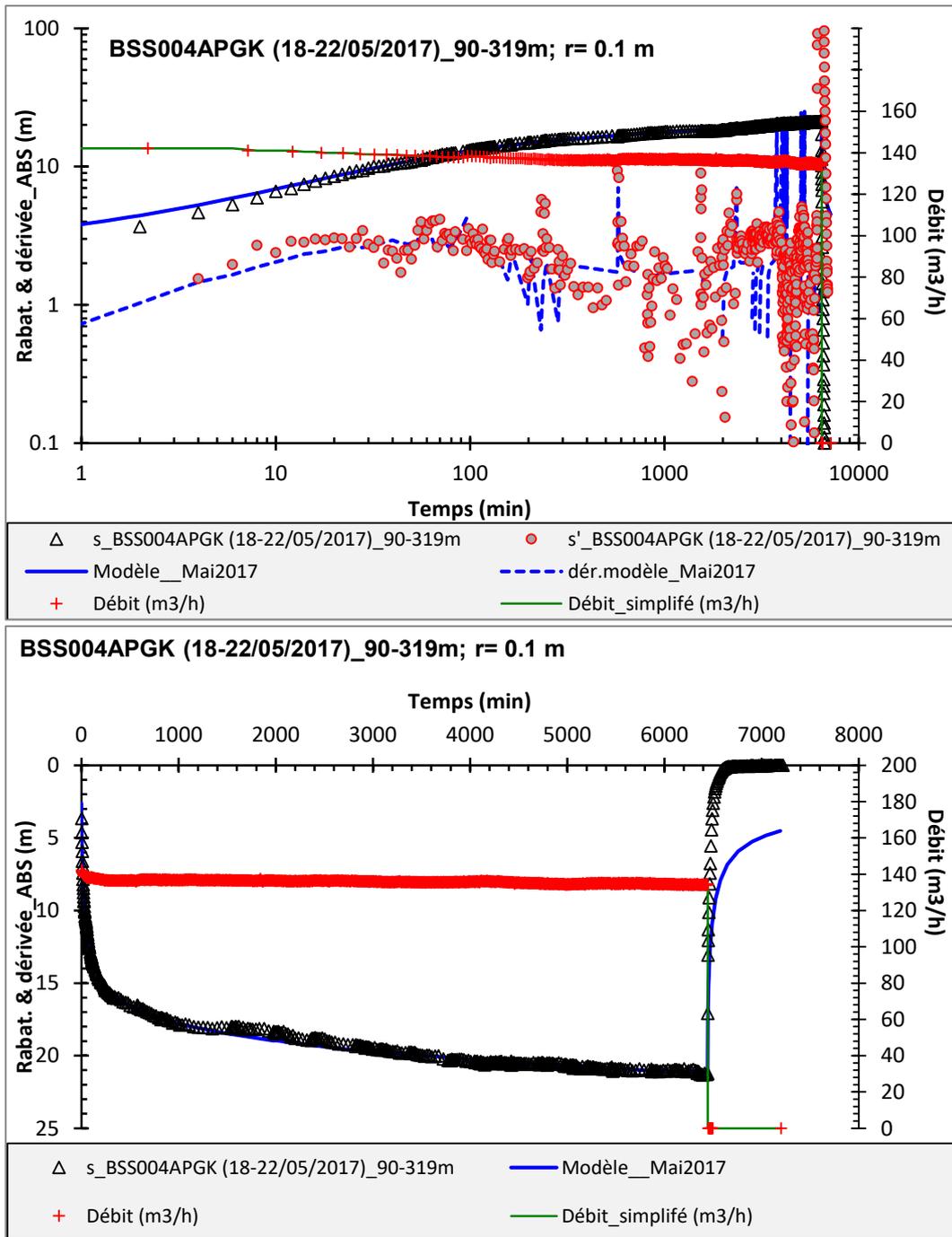
D-14. : modélisation de l'essai par pompage du 05-07/06/1989 sur le forage n°BSS : 08088X0017 (Carlux). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



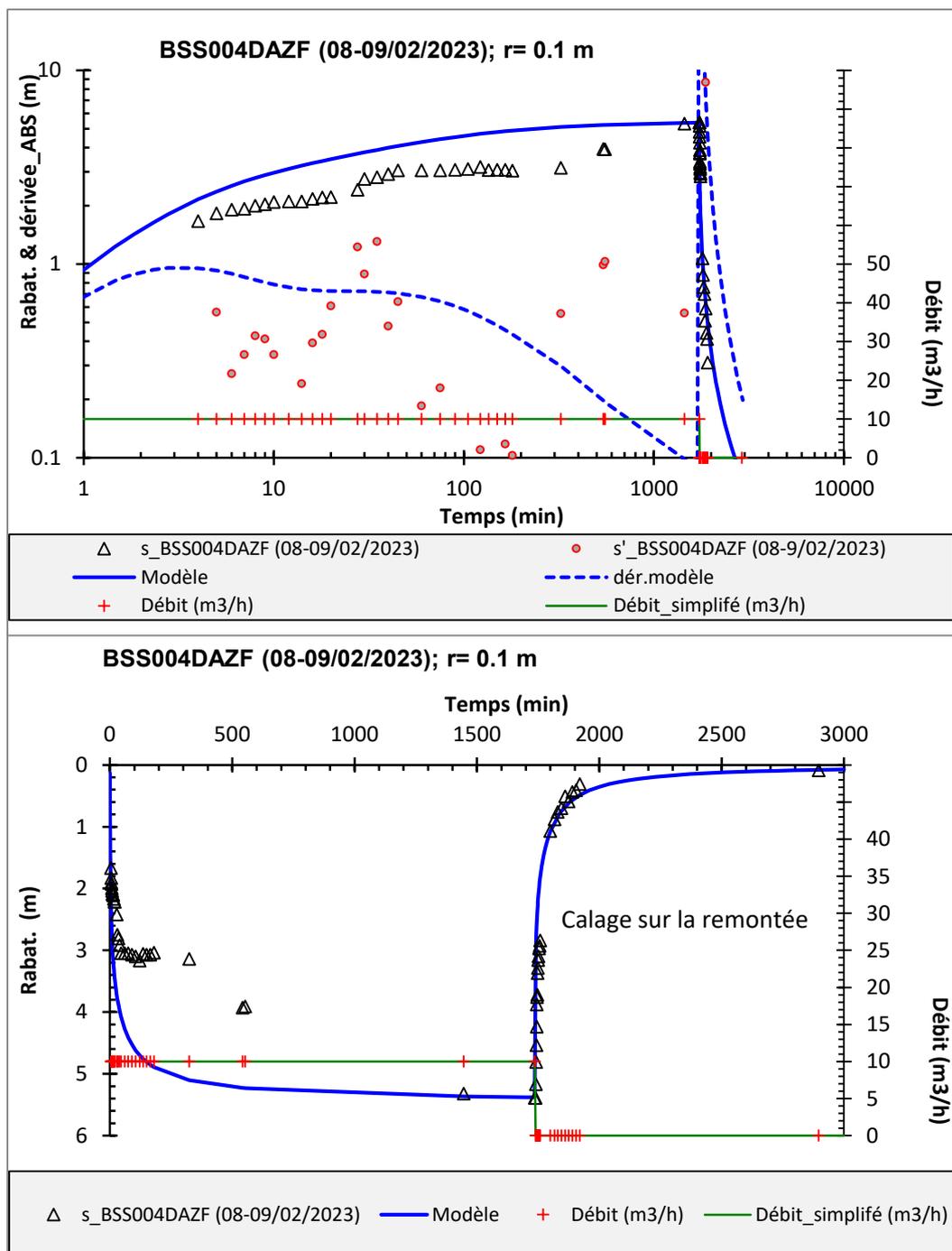
D-15. : modélisation de l'essai par pompage du 27-29/03/1990 sur le forage n°BSS : 07584X0007 (Brantome). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.



D-16. : modélisation de l'essai par pompage du 18-19/04/2017 sur le forage n°BSS : BSS004APGK (Saint Astier). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable. Profondeur testée : 57 -181 m.

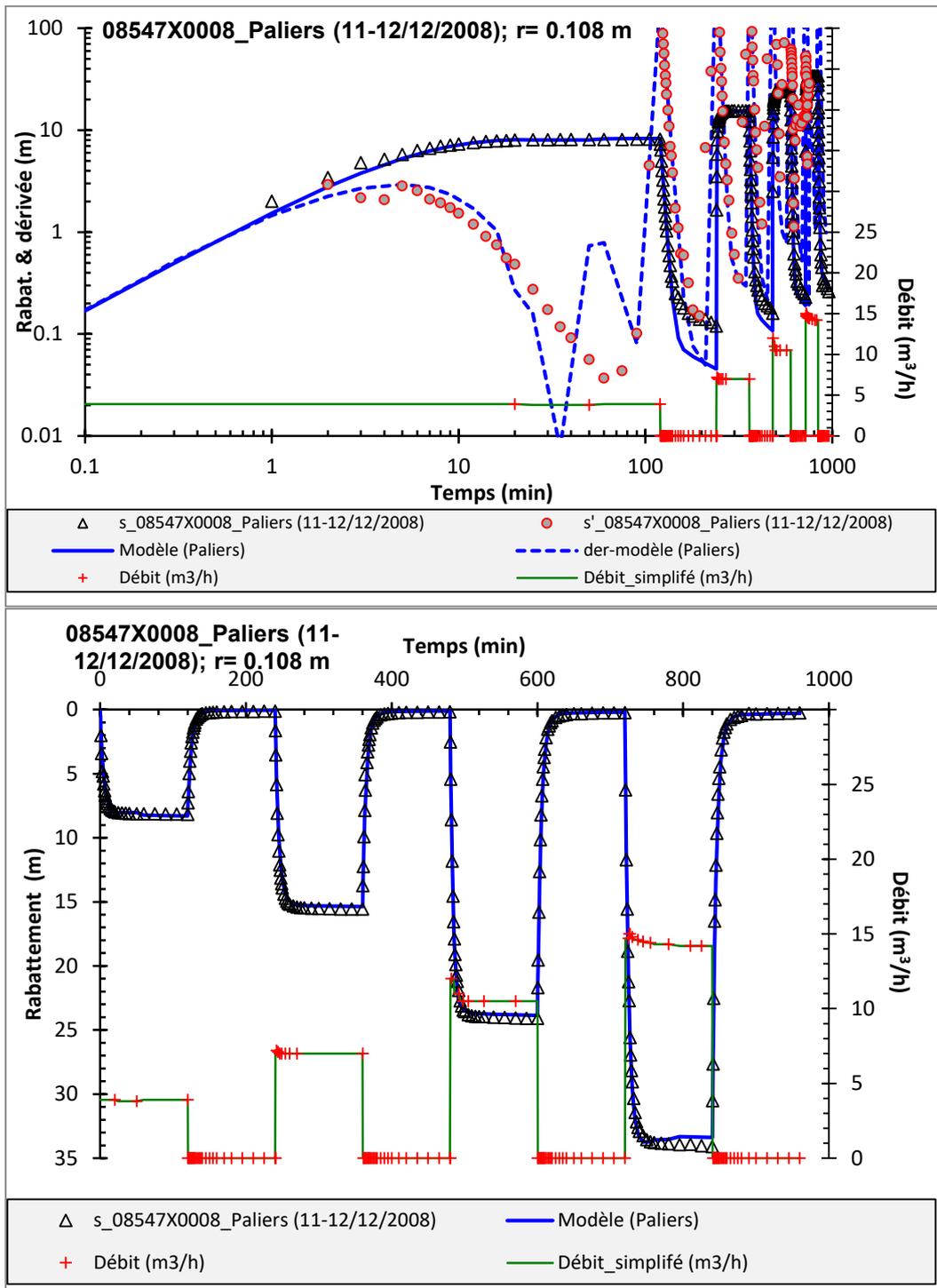


D-17. : modélisation de l'essai par pompage du 18-22/05/2017 sur le forage n°BSS : BSS004APGK (Saint Astier). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable. Profondeur testée : 90 -319 m.



D-18. : modélisation de l'essai par pompage du 08-09/02/2023 sur le forage n°BSS : BSS004DAZF (La Boissière D'ANS). Modèle : compartimentation verticale, pompage à proximité d'une zone perméable.

Modèle : compartimentation verticale, pompage dans le compartiment central



E-1. : modélisation de l'essai par paliers de débit du 11-12/12/2008 sur le forage n°BSS : 08547X0008 (Monbahus). Modèle : compartimentation verticale, pompage dans le compartiment central.

Annexe 2 Essais par paliers de débit (méthode de Jacob)

Valorisation des essais par pompage dans les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique du Bassin nord aquitain – Projet Eaux-SCARS

n°BSS	C (m-5.s2)	B (m-2.s)	Remarque
08065X0029 (17-21/05/99)	11001	2530	
08318X0018 (19-23/10/98)	30399	3113	
07588X0048 (19-23/03/01)	1151	642	
07831X0009 (27/07-05/08/1998)	2223	228	
08534X0009 (02-05/02/09)	53936	3012	! Ordre de grandeur
08062X0020 (12-15/10/1989)	38198	362	
08086X0025 (13-15/10/1976)	-	-	pas d'essai
08555X0006 (01-04/02/1991)	-	-	pas d'essai
08561X0203 (05-07/12/1988)	-	-	pas d'essai
07822X0035 (11-15/03/2004)	57269	587	
08078X0028 (26-27/04/2004)	207281	208	
07341X0007_28/05/91	-	-	pas d'essai
07343X0007 (02-05/05/1988)	-	-	pas d'essai
Allemans (26-29/09/22)	22636	1805	
Les Eyzies (30/03-01/04/2021)_51-483m	-	-	pas d'essai
Les Eyzies (12-14/04/2021)_51-789m	-	-	pas d'essai
Les Eyzies (05-14/04/2022)_171-756m	4665	576	
07831X0006 (31/01-05/02/2018)	89986	874	a priori surestimée
07578X0040 (27/08-02/09/02)	4770	136	
08078X0071	5699	358	
08785X0002 (04-06/04/1974)	-	-	pas d'essai
09023X0016 (18-22/08/98)	-	-	pas d'essai
08548X0001 (06-08/05/1971)	-	-	pas d'essai
08537X0001 (27-28/11/75)	-	-	pas d'essai
08316X0017 (22-30/10/00)	3012	86	
08786X0003 (11-13/12/65)	-	-	pas d'essai
08072X0011 (10/10/2012)	81513	2085	
09023X0017 (1991?)	-	-	pas d'essai
07594X0016 (02-03/07/1987)	5722	327	
07595X0006 (08-09/11/1971)	-33720	704	dvpt ouvrage
08326X0006 (09-12/04/1991)	-	-	pas d'essai
08073X0029 (18-26/09/1975)	-	-	pas d'essai
08781X0001 (17-20/10/1977)	8500	465	
07818X0033 (25-27/09/1991)	19362	2038	
08074X0082 (30/09/2019)	-	-	pas d'essai
07577X0022 (24-27/10/1989)	-	-	pas d'essai
07837X0014 (02-04/12/1986)	-	-	pas d'essai
08078X0030 (05-07/10/2016)	-	-	pas d'essai
Glane StJory_reco_07-21/03/22	-	-	pas d'essai
07355X0004 (06/10/2020)	-	-	pas d'essai
08302X0011 (19-24/01/1989)	-	-	pas d'essai
08546X0001 (02-03/03/1978)	-	-	pas d'essai
08785X0010 (25/01/2021)	4886	185	
09014X0013 (04/11/2020)	-	-	pas d'essai
08071X0024 (13-15/05/2010)	47611	1975	
08067X0008 AEP (01-03/10/2001)	-	-	pas d'essai
08542X0002 (21-23/06/1973)	-	-	pas d'essai
08063X0014 (30/08-02/09/1988)	-	-	pas d'essai
07837X0013 (01-03/07/1986)	-	-	pas d'essai
07357X0005 (03-09/10/1989)	-	-	pas d'essai
07822X0011 (09-12/12/1986)	-	-	pas d'essai
08074X0048 (01-04/07/1991)	70695	1292	
08073X0054 (01-04/08/2014)	3386326	1698	
08317X0026 (17/07/2013)	-	-	pas d'essai
08323X0005_Source (12-15/10/2021)	-	-	pas d'essai
BSS003IERI (16-23/09/2020)	-	-	pas d'essai
07343X0009 (24-31/03/98)	3176	144	
07828X0040 (20/09-10/10/04)	14573	546	
07843X0015 (B104)_20-26/11/01	1097	54	
07843X0014 (B66)_14-23/01/02	2571	644	! Ordre de grandeur
07597X0007 (26/09-02/11/1991)	-	-	pas d'essai
07846X0016 (07-11/06/02)	19679	60	
08773X0011 (27-30/03/89)	1314	67	
08082X0008 (03-10/02/99)	-	-	pas d'essai
07841X0019 31/07-04/08/1995)	-	-	pas d'essai
07834X0009 (02-05/12/1985)	-	-	pas d'essai
07348X0017_19-21/11/90	57269	587	
07585X0059 (26-29/06/2006)	-	-	pas d'essai
08087X0021 (17-20/12/1990)	31000	498	
08088X0017 (05-07/06/89)	-	-	pas d'essai
07584X0007 (27-29/03/1990)	90	14	
BSS004APGK (18-19/04/2017)_57-181m	10276	140	
BSS004APGK (18-22/05/2017)_90-319m	8349	92	
BSS004DAZF (08-9/02/2023)	-	-	pas d'essai

Annexe 3 Comparaison des propriétés estimées des aquifères avec les estimations antérieures

Valorisation des essais par pompage dans les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique du Bassin nord aquitain – Projet Eaux-SCARS

n°BSS	X_L2e	Y_L2e	T_BD (m2/s)	S_BD (m2/s)	T_BureauEtude/BRGM (m2/s)	S_BureauEtude/BRGM (-)	Source
07343X0009	465739	2054493	9.8E-04	2.2E-03	-	-	S.H.E, 1998a
07578X0040	444299	2030705	8.2E-03	1.6E-03	-	-	S.H.E, 2003
07828X0040	470556	2003426	4.5E-04	9.0E-05	-	-	S.H.E, 2006a
07843X0014	515286	2011163	5.0E-04	3.5E-04	7.2E-03	3.0E-04	S.H.E, 2002a
07843X0015	515205	2010803	3.8E-03	5.0E-04	7.2E-03	3.0E-04	S.H.E, 2002a
08065X0029	446462	1991405	1.6E-04	2.2E-04	-	-	S.H.E, 1999b
08071X0024	474406	1991517	7.0E-05	4.0E-04	6,4 10-5 à 4 10-4	-	S.H.E, 2010
08078X0071	495846	1984447	2.8E-03	5.0E-05	-	-	S.H.E, 2011
08318X0018	499255	1961520	1.3E-04	2.2E-04	-	-	S.H.E, 1999a
08547X0008	457850	1950290	2.9E-03	1.0E-05	3.1.10-4 à 1.05.10-3	-	Mazurier et al., 2009a
08785X0002	442831	1929358	4.2E-03	2.0E-04	-	-	BSS
09023X0016	461712	1913553	3.7E-01	1.5E-04	-	-	BSS
07588X0048	471190	2029501	1.4E-03	5.0E-04	-	-	S.H.E, 2001a
07597X0007	487277	2022956	8.0E-03	5.0E-03	-	-	BSS
07831X0009	477982	2018653	2.2E-03	5.0E-04	-	-	S.H.E, 1998b
07846X0016	511606	2005653	4.5E-03	2.2E-03	-	-	S.H.E, 2002b (pas de ref rapp.)
08316X0017	484807	1964233	3.5E-03	1.6E-03	-	-	S.H.E, 2000 (pas de ref rapp.)
08548X0001	466854	1951261	4.9E-03	5.0E-04	-	-	BSS
08537X0001	431272	1946436	3.4E-03	6.0E-04	-	-	BSS
08534X0009	439508	1954350	2.4E-04	2.4E-04	-	-	Mazurier et al., 2009b
08773X0011	433884	1933983	9.0E-03	5.0E-04	-	-	BSS
08786X0003	455946	1922528	1.5E-02	1.0E-05	-	-	BSS
08082X0008	514186	1992253	6.3E-04	1.0E-04	8.8E-04	1.5E-05	S.H.E, 19xx (pas de ref rapp.)
08067X0008	460221	1983307	1.2E-02	1.8E-02	-	-	S.H.E, 2002c
08542X0002	452950	1957229	7.1E-03	2.5E-04	7.7E-03	-	BSS
08062X0020	452558	1991956	5.0E-04	5.0E-04	-	-	S.H.E, 2006b
08072X0011	481430	1992691	1.6E-03	3.0E-04	-	-	Calligée, 2012
07841X0019	507815	2012858	4.5E-04	5.0E-04	-	-	BSS
09023X0017	461592	1913443	4.0E-01	1.5E-04	-	-	BSS
07594X0016	496816	2036402	1.0E-02	3.0E-04	-	-	BSS
08063X0014	464864	1993387	2.1E-04	3.5E-04	-	-	BSS
08073X0029	488960	1993850	3.0E-03	3.0E-03	1.5E-03	-	BSS
07834X0009	500706	2017125	2.0E-04	2.2E-04	-	-	BSS
08086X0025	511329	1986747	1.5E-03	1.0E-04	9.0E-04	-	BSS
07595X0006	475334	2021756	9.5E-03	4.0E-04	-	-	BSS
08561X0203	498431	1957189	1.8E-03	3.0E-04	-	-	BSS
08326X0006	511407	1969737	1.1E-03	1.2E-04	-	-	BSS
08555X0006	476955	1944071	3.0E-04	1.0E-04	3.3E-04	-	BSS
08781X0001	447802	1934818	3.1E-03	4.0E-04	-	-	BSS
07348X0017	472931	2051171	7.6E-04	6.0E-04	7.0E-04	5.0E-05	BSS
07585X0059	444888	2022537	2.3E-04	5.0E-04	-	-	BSS
07818X0033	443481	2007735	5.0E-04	5.0E-04	-	-	BSS
07822X0035	451445	2015650	4.4E-05	5.0E-04	-	-	BSS
07837X0013	488161	2002626	2.2E-04	1.0E-04	-	-	BSS
08074X0082	493485	1996643	7.0E-04	5.0E-04	-	-	BSS
08078X0028	496379	1983705	4.5E-04	5.0E-04	-	-	BSS
08082X0008	514186	1992253	6.3E-04	1.0E-04	7.5E-04	7.5E-05	BSS
08087X0021	516277	1980840	5.2E-04	4.0E-03	5.9E-04	-	BSS
08088X0017	524916	1987678	4.8E-04	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-04	BSS
07341X0007	451053	2053963	8.0E-05	4.0E-04	1.9 à 5.5.10-3	-	BSS
07343X0007	460050	2054455	3.7E-03	2.0E-04	3.9.4.7.10-3	-	BSS
07577X0022	431856	2030965	6.7E-03	1.0E-04	1.3.2.0.10-2	2.0E-04	BSS
07584X0007	469030	2041180	6.0E-03	3.9E-02	-	-	BSS
07837X0014	489970	2005119	2.0E-04	3.0E-04	-	-	BSS
08078X0030	497792	1985315	1.1E-02	3.0E-04	8.0E-03	-	S.H.E. (2016/2017)
Allemans1	441708	2031647	6.0E-04	1.5E-04	-	-	?
Glane1	491264	2037903	1.4E-03	5.0E-04	-	-	?
Les Eyzies (51-483)	491315	1992100	1.7E-04	4.0E-04	5.1E-04	-	RDE 24, 2021
Les Eyzies (51-789)	491315	1992100	1.7E-04	4.0E-04	2.3E-04	-	RDE 24, 2021
Les Eyzies (171-756)	491315	1992100	1.5E-04	4.0E-04	9.9E-05	-	RDE 24, 2022
07355X0004	479293	2042785	2.5E-02	8.0E-03	-	-	BSS
07357X0005	487313	2041878	4.0E-04	1.0E-03	-	-	S.H.E., 2001b +BSS
07822X0011	452881	2014006	5.5E-04	7.0E-04	3.0.7.5.10-3	-	BSS
07831X0006	477030	2020624	3.7E-04	5.0E-04	0.42-1.6.10-3	-	S.H.E., 2018
08074X0048	496847	1993330	3.9E-04	6.0E-04	-	-	BSS
08075X0014	476330	1983852	8.0E-02	1.0E-02	-	-	BSS
08302X0011	457400	1973445	3.9E-04	3.5E-03	4.2.10-4	8.10-3	Chigot, D., 1989
08546X0001	451567	1946433	5.9E-03	3.0E-04	-	-	BSS
08785X0010	447665	1929038	2.1E-02	2.0E-04	-	-	BSS
09014X0013	436243	1918816	2.2E-03	1.5E-03	-	-	BSS
BSS004APGK_57-181m	459532	2019383	1.5E-03	6.0E-04	0.2-1.10-2	-	S.H.E., 2017
BSS004APGK_90-319m	459532	2019383	8.8E-04	4.0E-04	0.6-2.10-3	-	S.H.E., 2017
BSS004DAZF	494040	2025228	3.0E-04	4.0E-04	0.15-1.0.10-3	-	S.H.E., 2023a
08073X0054	489540	2000405	8.5E-05	1.5E-03	8.1E-05	-	S.H.E., 2014
08317X0026	487510	1970845	7.0E-05	9.0E-04	6,6.10-5 à 9,4.10-5	-	S.H.E., 2013
08323X0005	517275	1975217	3.4E-02	1.0E-02	4.7E-02	-	S.H.E., 2023b
BSS003IERI	488167	1964490	6.5E-04	6.0E-04	1,1.10-3 à 2,8.10-3	-	S.H.E., 2021

T_BD et S_BD : transmissivité et emmagasinement estimés dans le cadre de cette étude.



*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 - Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Nouvelle-Aquitaine - Site de Bordeaux

Parc Technologique Europarc
24 avenue Léonard de Vinci
33600 - Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm