

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



Sous bassin versant du Lez

Annexe Rapport de la phase 3 • Octobre 2012



Cette étude est cofinancée par l'Union européenne. L'Europe s'engage en PACA avec le fond de développement régional



ANNEXES

Annexe 1 : Modélisation de la nappe régionale

Géométrie et formations géologiques prises en compte

Une modélisation commune et intégrée à l'échelle de l'aquifère régional du bassin de Valréas a été mise en œuvre dans le cadre des deux Etudes de détermination des Volumes Prélevables des bassins versants du Lez et de l'Aygues. Ces bassins versants hydrologiques étant limitrophes sur le bassin de Valréas, de même que celui de l'Ouvèze situé au sud du bassin versant de l'Aygues, il s'est en effet avéré pertinent et nécessaire de simuler le rôle des écoulements souterrains prenant place au sein de l'aquifère régional puisque des échanges entre bassins versants hydrologiques peuvent prendre place par le biais des eaux souterraines.

Pour cette modélisation hydrogéologique de l'aquifère régional, nous avons simulé l'intégralité du système aquifère constitué de la molasse miocène et des formations alluviales anciennes recouvrant la molasse sur sa majeure partie. Du fait de leurs très faibles perméabilités respectives, les formations encaissantes du bassin molassique n'ont pas été prises en compte dans la modélisation.

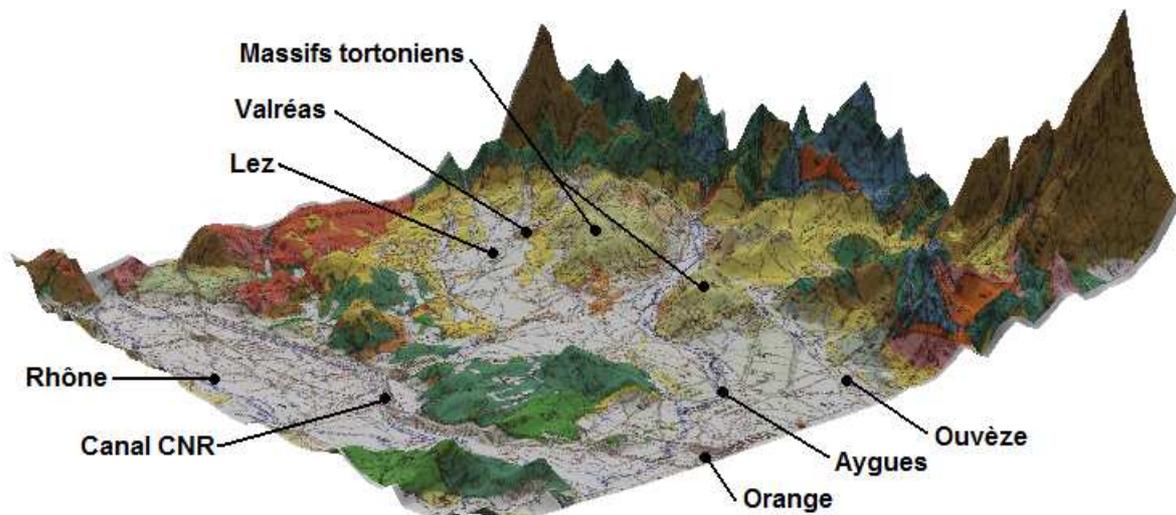


Figure : Contexte géologique et topographique du bassin de Valréas (carte géologique de Valence au 1/250 000 ; topographie du MNT IGN au 250 m)

La figure ci-dessus illustre le contexte géologique et topographique des bassins versants étudiés. Cette carte géologique en relief montre que le bassin de Valréas est principalement constitué à l'affleurement d'alluvions (représentées en gris clair), de molasses (en jaune) et de marnes sableuses tortoniennes (en jaune verdâtre). Dans ce bassin, les cours d'eau s'écoulent d'Est en Ouest, avec comme rivières principales le Lez (au Nord), l'Aygues (au centre) et l'Ouvèze (au Sud).

Afin de représenter au mieux la géologie et la structure du bassin, un modèle à sept couches a été construit. Le domaine pris en compte a été discrétisé avec un maillage de 100 m x 100 m permettant une précision suffisante pour les calculs et la représentation des écoulements et échanges. La figure suivante (dont l'échelle verticale est exagérée pour en faciliter la visualisation) présente une coupe Sud-Nord du modèle ainsi réalisé. On y observe l'aquifère régional formé de la molasse et des alluvions anciennes (en orangé), l'encaissant peu perméable (en gris foncé), les massifs tortoniens peu perméables (en vert) et les argiles imperméables comblant les rias pliocènes (en rouge). Les figures de la bathymétrie du bassin

molassique et des rias pliocènes présentées dans le rapport des phases 1 et 2 ont été utilisées pour construire cette géométrie 3D du modèle.

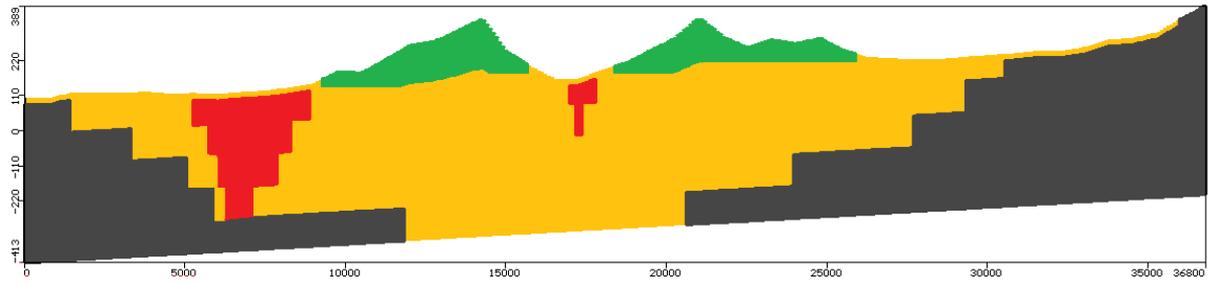


Figure : Coupe Sud-Nord du modèle réalisé (gris foncé : encaissant imperméable ; orangé : aquifère de la molasse et des alluvions anciennes ; vert : marnes sableuses tortoniennes considérées imperméables ; rouge : argiles pliocènes imperméables)

La figure suivante présente l'étendue de la première couche du modèle (couche de surface) et les des différents points de mesure piézométrique disponibles sur ce domaine. On remarque sur cette figure que les massifs tortoniens constitués de marnes sableuses ne participent pas aux écoulements. Les écoulements peuvent cependant avoir lieu dans la molasse située en dessous de ces massifs tortoniens. On dispose sur le domaine simulé de 170 points de mesure piézométrique permettant la calibration-validation du modèle.

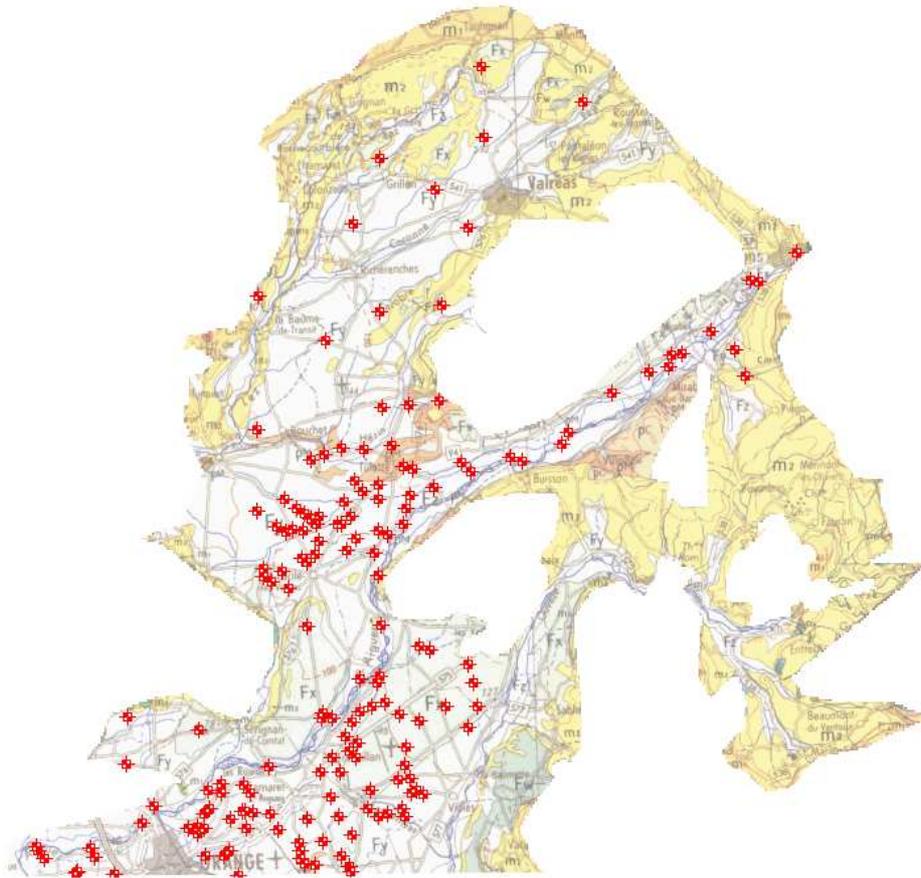


Figure : Etendue de la première couche du modèle avec localisation des points de mesure piézométrique

Conditions aux limites du modèle

Deux types de conditions aux limites ont été appliqués dans le modèle : la recharge due aux précipitations efficaces et les conditions appliquées pour représenter l'effet des rivières du bassin.

Nous avons ainsi calculé, à l'aide des données de précipitations et d'évapotranspiration de la station de Valréas, les précipitations efficaces annuelles des quarante dernières années. Les précipitations efficaces sont calculées à partir des valeurs décennales de précipitations et d'évapotranspiration (ETP) de la station Météo-France de Valréas et tenant compte d'une réserve utile des sols représentative de ceux de la région. Le calcul tient compte pour cela de la porosité totale (qui gère la quantité d'eau qui peut rentrer dans le sol et l'excédent qui doit être ruisselé), la capacité de rétention au champ (qui gère la quantité d'eau retenue par le sol et disponible pour les plantes, et le surplus qui s'infiltré plus bas et contribue à la recharge) et le contenu au point de flétrissement qui est l'eau non utilisable par les plantes et pour l'évaporation. Les précipitations totales et efficaces de ces quarante années sont présentées à la figure suivante.

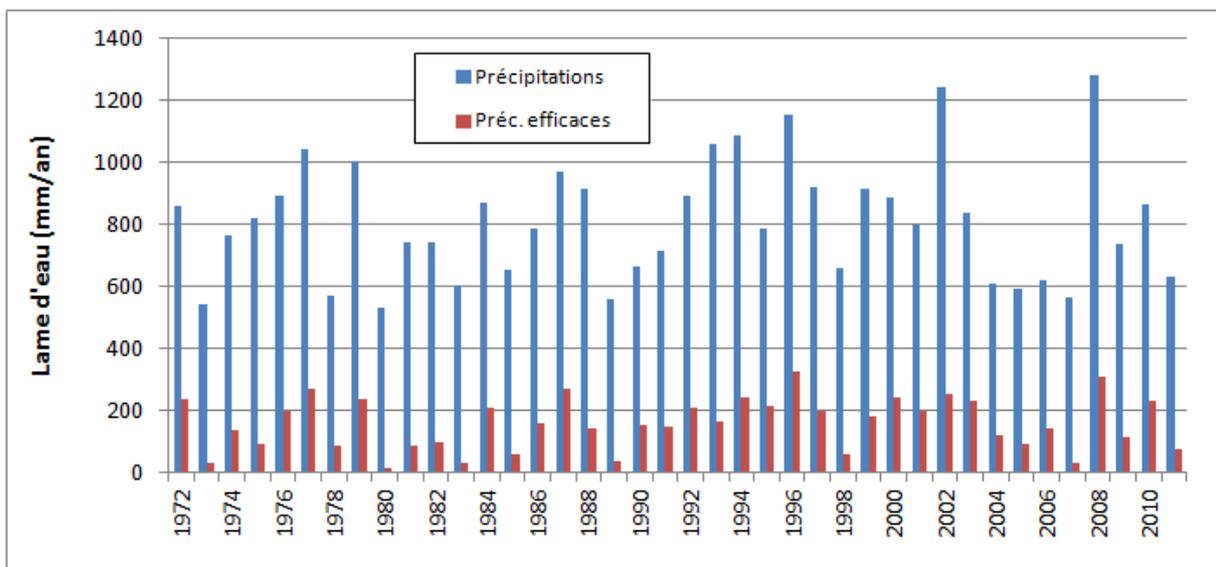


Figure : Précipitations annuelles totales et efficaces des quarante dernières années

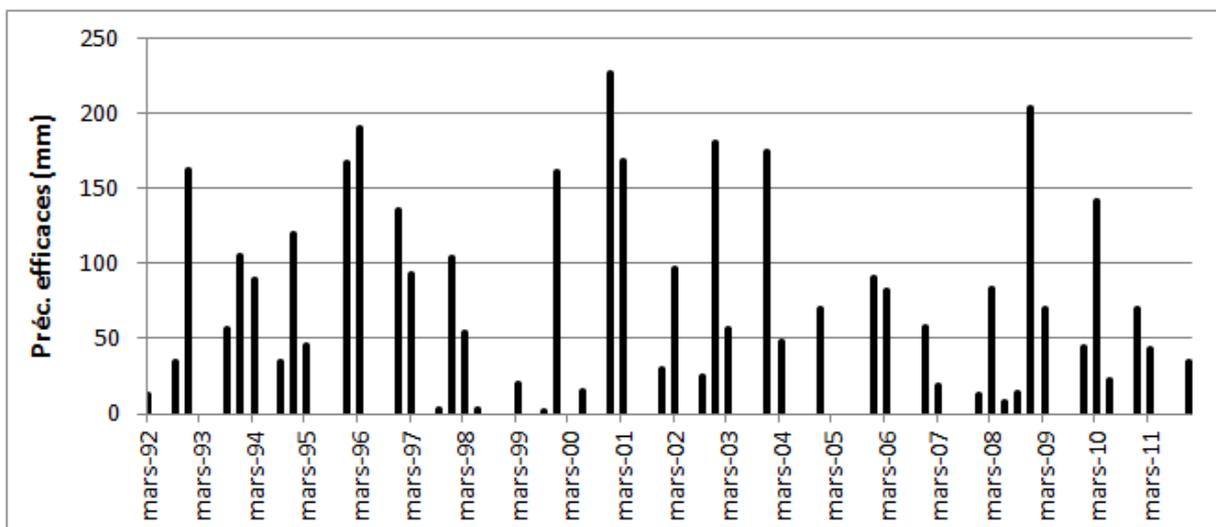


Figure : Précipitations efficaces trimestrielles des vingt dernières années

Le graphique des précipitations efficaces trimestrielles des vingt dernières années montrent une grande variabilité inter-saisonnière et interannuelle, avec des recharges allant jusqu'à 228 mm en un trimestre, c'est-à-dire 1,5 fois la recharge moyenne annuelle. De façon statistique (figure suivante), la recharge débute en septembre et termine en avril, avec fin-octobre – mi-janvier comme principale période de recharge.

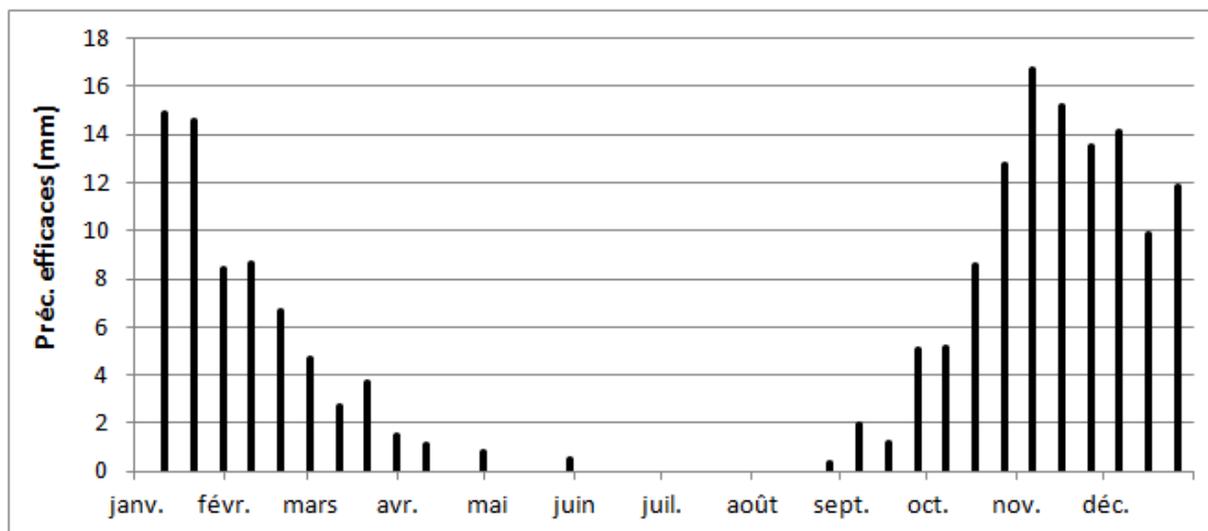


Figure : Précipitations efficaces décadaires interannuelles des vingt dernières années

Il ressort de cette distribution des précipitations efficaces l'existence de saisons contrastées, avec 123.6 mm pour la période mi-octobre à mi-janvier, 37.4 mm pour la période mi-janvier à mi-avril, 1.3 mm pour la période mi-avril à mi-juillet et 22.2 mm pour la période mi-juillet à mi-octobre.

Les statistiques des précipitations efficaces annuelles (valeurs minimale, moyenne et maximale, et écart-type) sont données au tableau suivant pour cinq périodes : 1972-2011, 1972-1991, 1992-2011, 1998-2007 et 2002-2011.

Période	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
1972-2011	158.8	84.0	12.2	326.5
1972-1991	135.4	81.9	12.2	272.7
1992-2011	182.1	81.4	31.6	326.5
1998-2007	155.1	79.6	31.6	255.7
2002-2011	160.4	90.9	31.6	309.1

Tableau : Statistiques des pluies efficaces annuelles constituant la recharge des nappes

Les piézométries disponibles pour la calibration du modèle s'étalant principalement sur la période 2007 – 2011, il paraît opportun pour la calibration du modèle à l'aide des mesures piézométriques d'utiliser les précipitations correspondant à cette période et aux années précédentes de recharge responsables de l'état piézométrique des nappes. Les années 2002 et 2008 étant cependant exceptionnelles en termes de précipitations (et toutes les deux incluses dans la période 2002-2011), nous avons choisi d'utiliser les

statistiques de la période 1998-2007 pour la modélisation. Sont entre autres exclues de cette période les deux importantes recharges de 1996 et 2008 (voir figure suivante).

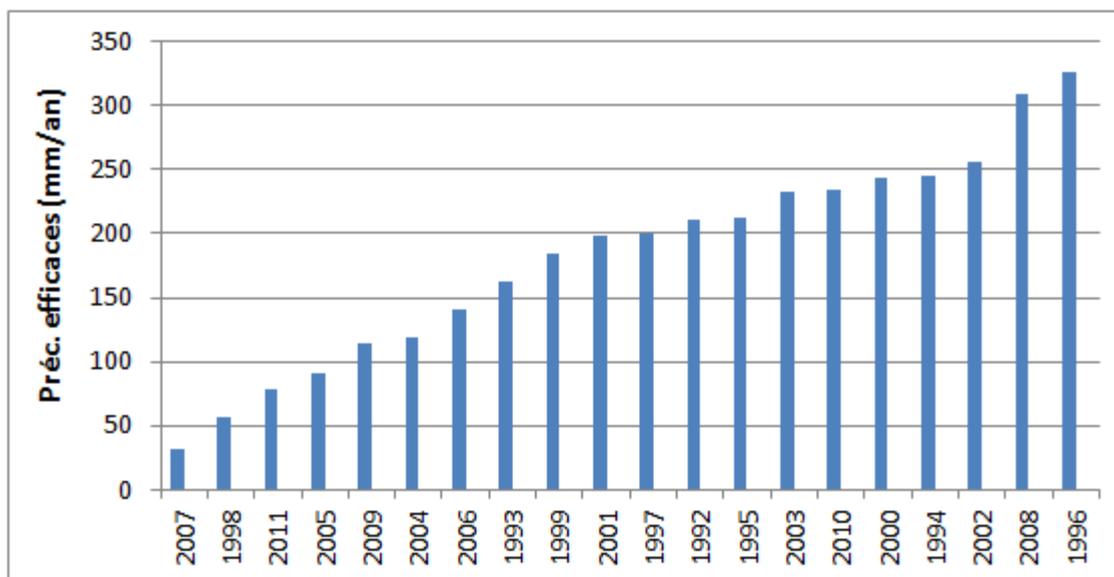


Figure : Précipitations efficaces annuelles classées des vingt dernières années

La précipitation efficace annuelle moyenne de la période 1998-2007 est de 155mm/an et l'écart-type de 80 mm/an. Il est à noter que ces valeurs de moyenne et d'écart-type sont très proches de celles de toute la période des 40 années.

Une recharge de 155 mm/an a ainsi été appliquée sur toute l'étendue de la couche 1 du modèle pour les étapes de calibration des perméabilités. La première couche du modèle totalisant 731 km², la recharge totale appliquée au modèle est de 113 Mm³/an.

La valeur de la recharge n'a pas été diminuée des prélèvements exercés sur la ressource du fait des bilans réalisés en Phases 1 et 2 de l'étude. En effet, les résultats de ces bilans indiquent pour le Lez un prélèvement total dans les nappes du bassin molassique de 4,06 Mm³/an et des restitutions aux nappes par les canaux totalisant 4,73 Mm³/an, et respectivement de 9,78 Mm³/an pour le prélèvement total dans les nappes du bassin et de 10,98 Mm³/an pour les restitutions aux nappes par les canaux dans le cas de l'Aygues. Les prélèvements et restitutions s'équilibrent donc presque. Dans tous les cas, le bilan 'prélèvements – restitutions' (respectivement 0,67 Mm³/an et 1,20 Mm³/an) est négligeable devant la recharge prenant place dans les parties molassiques de ces bassins versants (respectivement de 44,64 Mm³/an pour les 288 km² du bassin versant du Lez situé dans le bassin molassique et de 39,22 Mm³/an pour les 253 km² du bassin versant de l'Aygues situé dans le bassin molassique). Notons que les prélèvements évalués sont de l'ordre de 10% de la recharge.

Pour les différentes simulations en régime transitoire que nous avons réalisées par la suite, nous avons utilisées :

- les valeurs annuelles des précipitations efficaces ;
- les valeurs trimestrielles des précipitations efficaces ;
- les moyennes interannuelles des valeurs trimestrielles des précipitations efficaces.

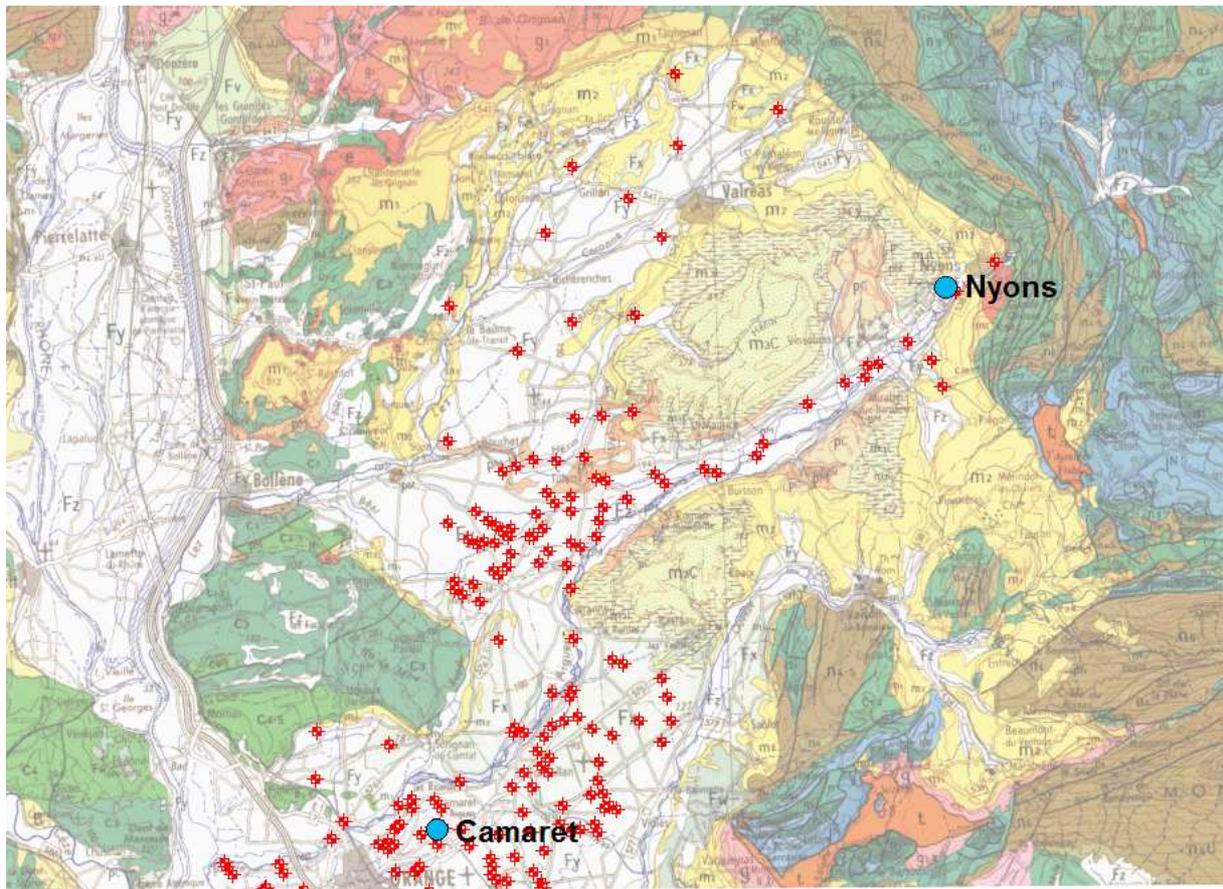


Figure : Localisation des points de mesure piézométrique utilisés pour la calibration du modèle en régime permanent (point rouges) et transitoire (points bleus)

Il n'existe sur le bassin que deux piézomètres bénéficiant chacun d'une longue chronique piézométrique. Ces deux piézomètres pourront donc être utilisés pour la calibration-validation du modèle en régime transitoire. Il est par ailleurs possible d'évaluer le décalage survenant entre un épisode de recharge (précipitations efficaces décennales) et la réaction de la nappe (remontée piézométrique) à l'aide des suivis piézométriques de ces deux piézomètres (figure suivante). On observe sur ce graphe un décalage d'environ deux mois (six décades) entre le début des épisodes de recharge et la remontée observée de la piézométrie. Ce décalage correspond au délai de transfert vertical de l'eau ou de la pression au travers de la zone non saturée. Il sera donc possible de tenir compte de ce décalage après simulation.

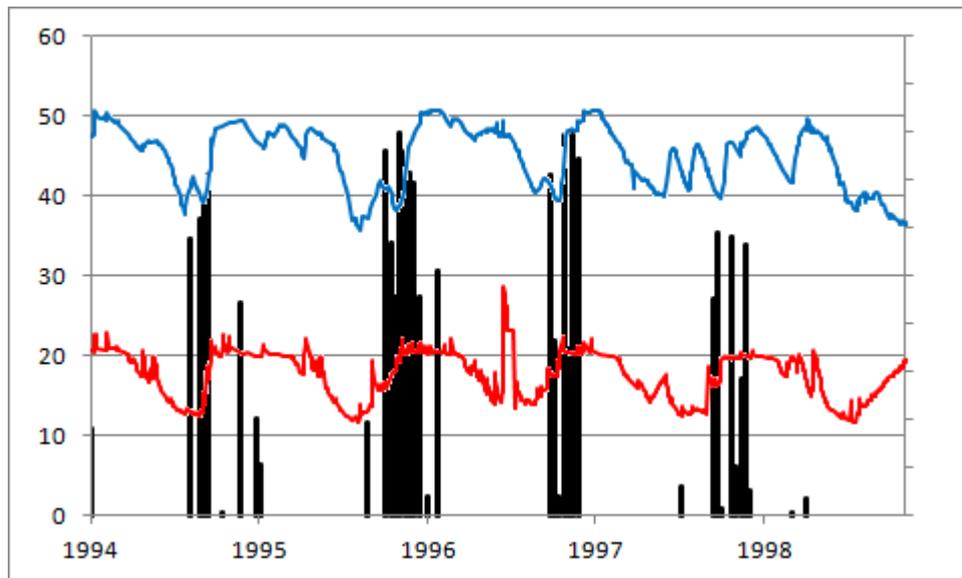


Figure : Evolution temporelle de la piézométrie (piézomètres ADES de Nyons en bleu et de Camaret en rouge) et de la précipitation efficace (calculé à partir des données météorologiques de la station de Valréas) constituant la recharge de la nappe

Dans le modèle, les rivières du bassin (avec leurs nappes d'accompagnement sises dans les alluvions grossières actuelles du lit de la rivière) sont considérées quant à elles comme des drains potentiels des eaux souterraines de l'aquifère régional. L'eau de la nappe régionale est ainsi drainée par le cours d'eau et sa nappe d'accompagnement lorsque la nappe régionale est à une cote piézométrique supérieure à la cote imposée comme fil d'eau de la rivière. Cette condition de dépassement de la cote de drainage est vérifiée par le modèle lui-même durant la simulation. Mentionnons que la cote de drainage imposée dans le modèle est tirée des données topographiques. Or nous savons que sur certains biefs, l'écoulement en surface de la rivière disparaît en étiage, et seul l'écoulement hyporhéique ou inféroflux perdure. La cote topographique imposée surestime donc vraisemblablement le fil de l'eau pour certains secteurs. La figure suivante présente les rivières ainsi prises en compte sur le bassin.

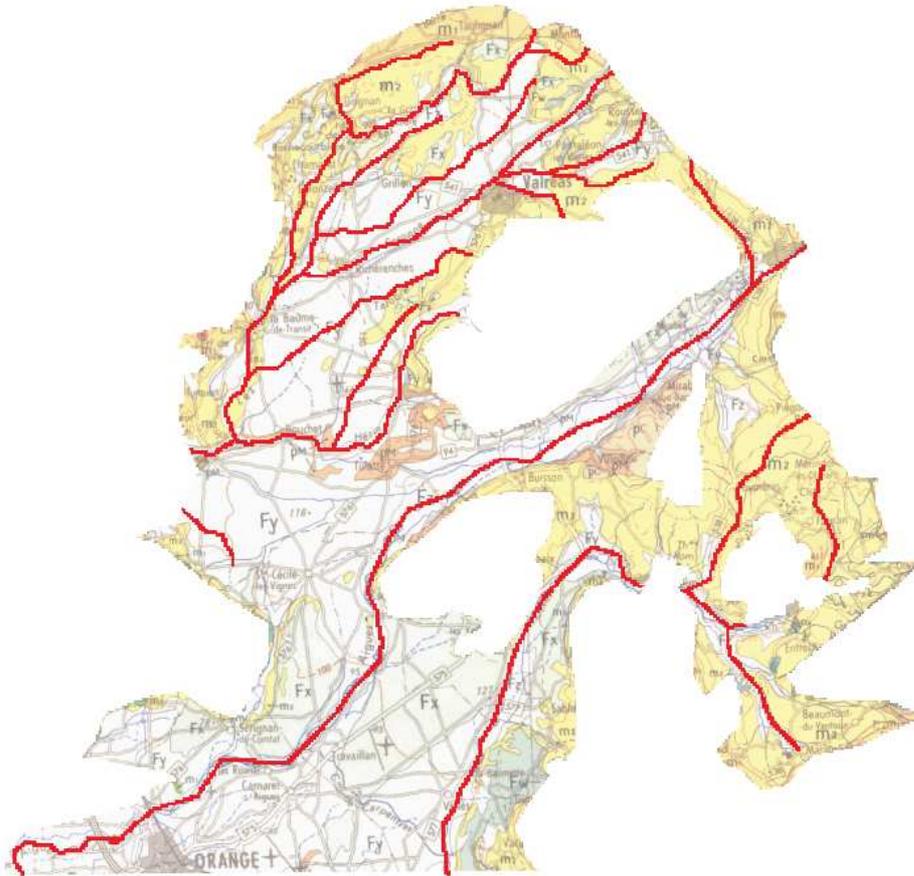


Figure : Conditions de drains appliquées sur les rivières du bassin

Notons par ailleurs que nous avons également appliqué une condition de drain sur la limite sud du modèle afin de laisser le modèle gérer l'écoulement vers l'aval. Les cotes imposées pour cette condition de drain résultent de l'interpolation des cotes de l'Aygues et de l'Ouvèze observées sur cette limite sud.

Paramètres hydrodynamiques

La littérature indiquant une perméabilité de la molasse variant entre 10^{-5} et 10^{-6} m/s, nous l'avons donc fixée à $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. La littérature mentionne par contre une grande variabilité de la perméabilité et de la transmissivité des alluvions. Nous avons donc considéré pour la première couche du modèle une épaisseur d'alluvions de 20 m (la littérature indique une épaisseur variant entre 15 et 20 m) et avons procédé à une calibration de la perméabilité des alluvions en délimitant des grands secteurs alluviaux. Après construction du modèle et déclaration des conditions aux limites, nous avons ainsi réalisé cette calibration des perméabilités selon les grands secteurs d'alluvions indiqués à la figure suivante et en utilisant les données piézométriques disponibles. Cette carte indique les zones considérées et les perméabilités ainsi calibrées.

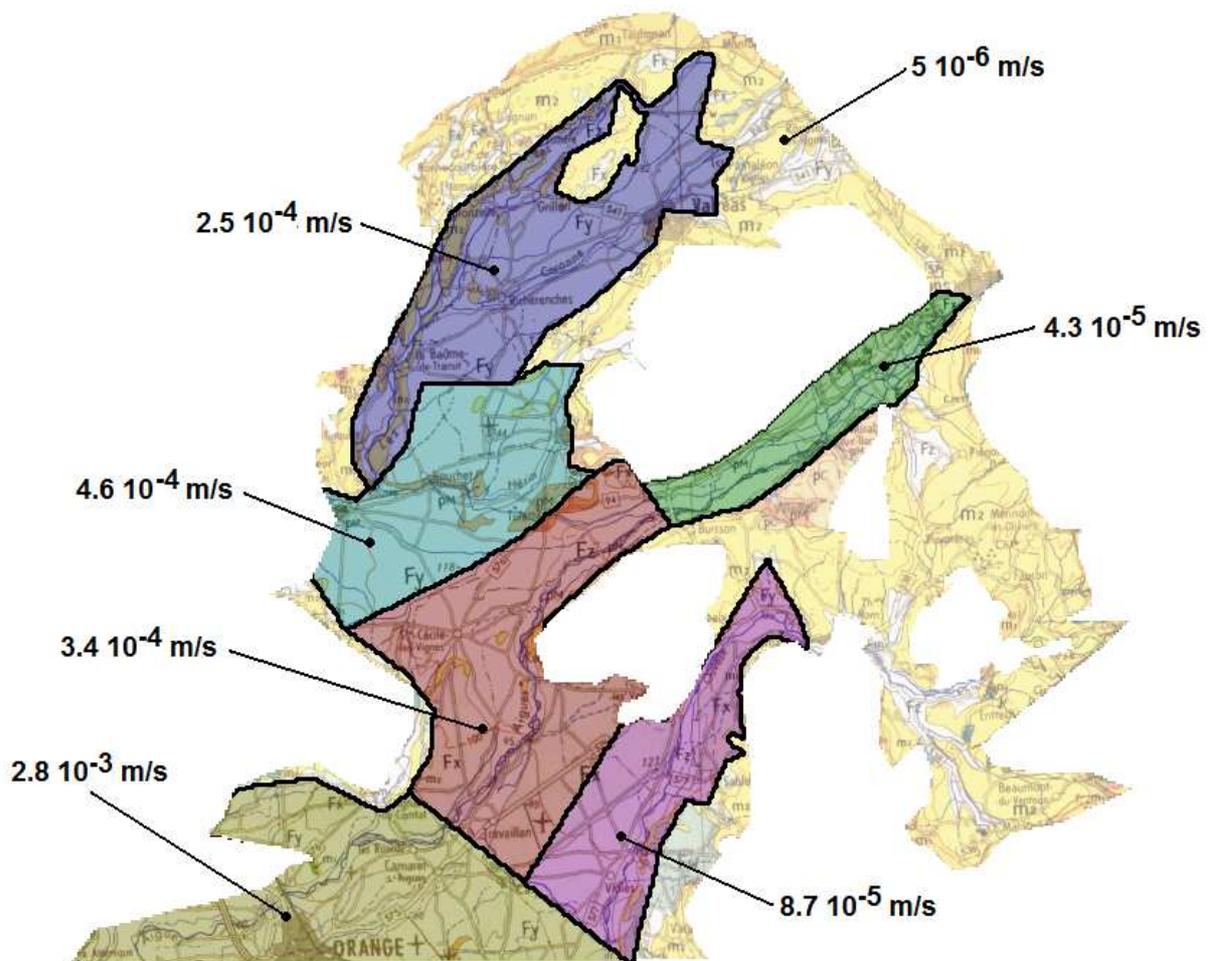


Figure : Perméabilités calibrées pour les différentes zones d'alluvions et les affleurements de molasse.

Les perméabilités calibrées montrent des valeurs faibles en amont des vallées et élevées en aval. Les perméabilités des alluvions varient de $4,3 \cdot 10^{-5}$ m/s à $2,8 \cdot 10^{-3}$ m/s, donnant des transmissivités équivalentes des $8,6 \cdot 10^{-4}$ m²/s à $5,6 \cdot 10^{-2}$ m²/s. La littérature indique des transmissivités des alluvions variant de 10^{-5} à 10^{-2} m²/s. Nos valeurs calibrées sont donc cohérentes avec les données de la littérature.

Calibration du modèle en régime permanent

Les figures suivantes présentent les résultats de la calibration. Le coefficient de corrélation obtenu est de 0,995 confirmant l'excellent ajustement des valeurs simulées aux valeurs mesurées. La différence moyenne entre les valeurs mesurées et simulées (moyenne résiduelle) est de 1.37 m, l'erreur type étant de 0,45 m et la moyenne résiduelle absolue de 4.60 m. Les premières valeurs sont de l'ordre de la précision des mesures et la troisième de l'ordre de la variabilité temporelle de la piézométrie (variation annuelle et interannuelle). Le modèle peut donc être considéré comme très bien calé pour les besoins de l'étude et représentatif de l'état piézométrique moyen de la nappe de l'aquifère régional (à minima pour sa partie supérieure qui constitue le siège des écoulements contribuant au soutien des rivières et de leurs nappes d'accompagnement).

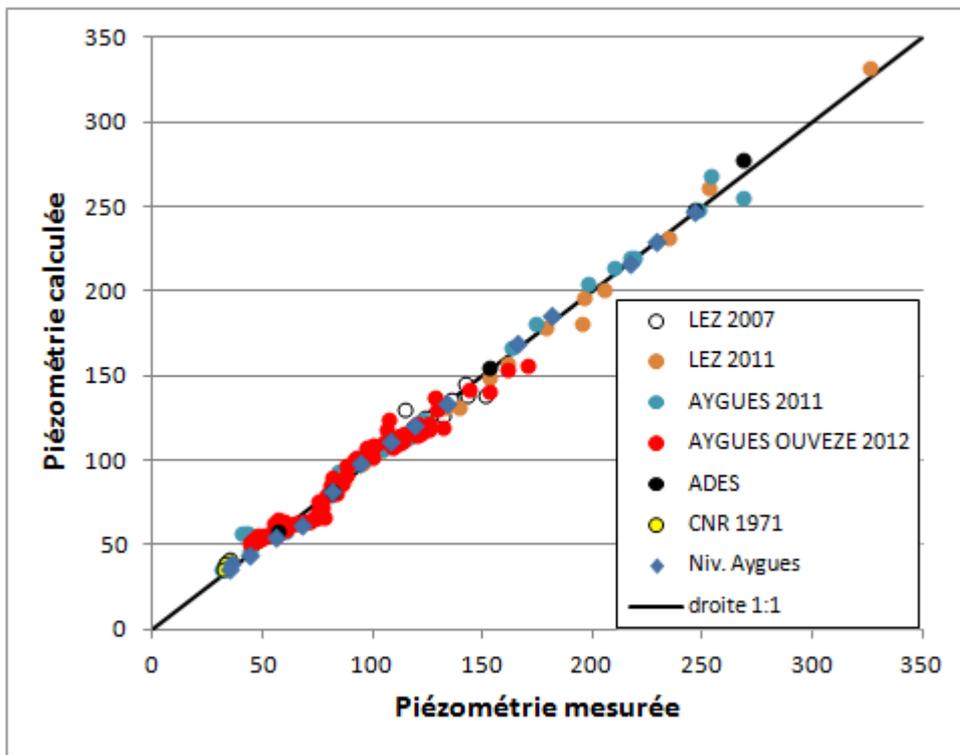


Figure : Comparaison des piézométries mesurées et simulées sur le bassin (coefficient de corrélation $R = 0,995$)

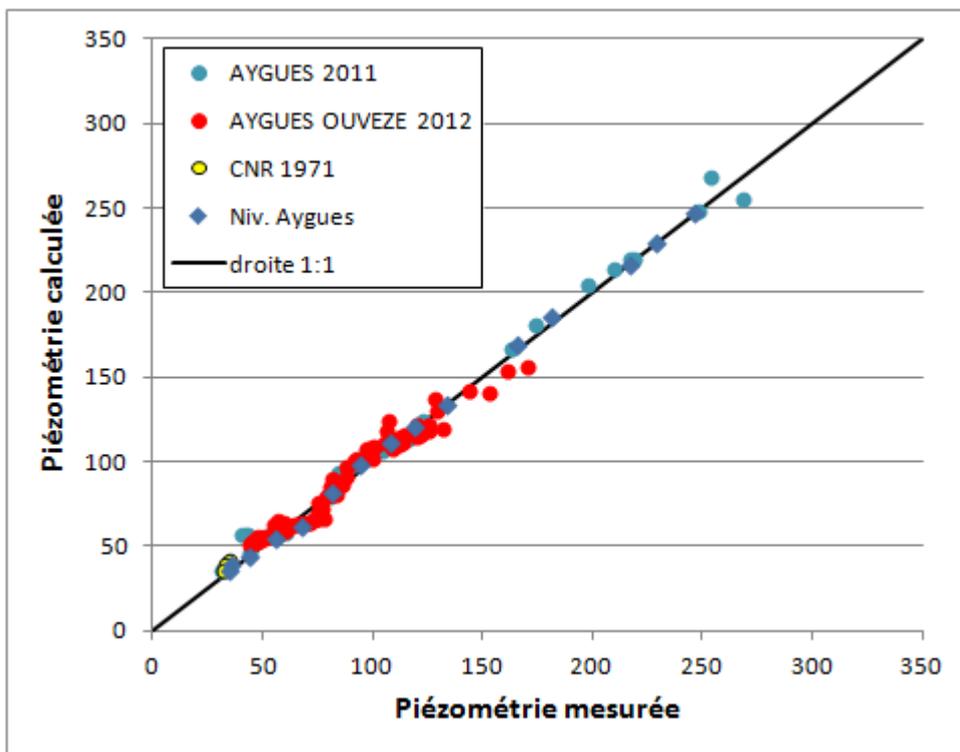


Figure : Comparaison des piézométries mesurées et simulées pour le bassin versant de l'Aygues

La figure suivante présente la carte piézométrique résultante.

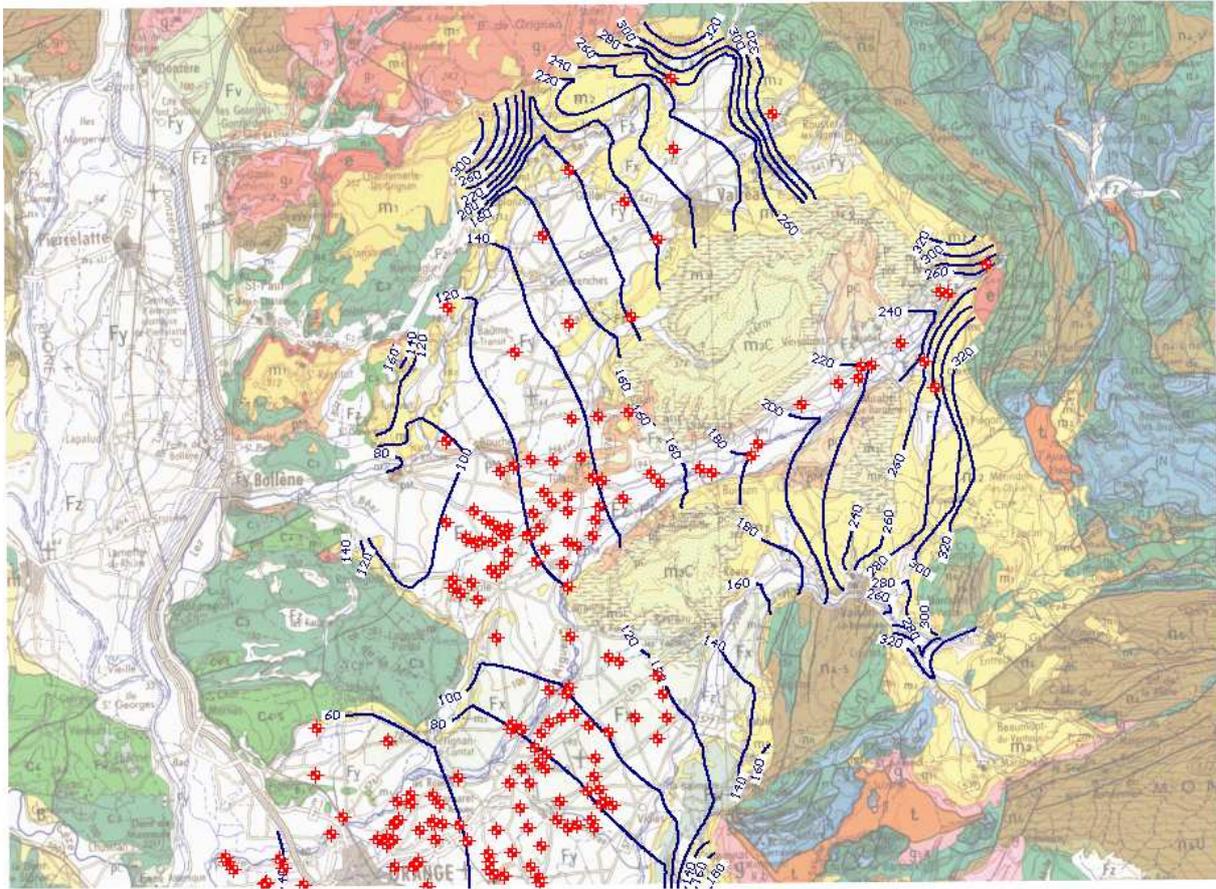


Figure : Piézométrie simulée avec le modèle calibré

Calibration du modèle en régime transitoire

Les données des suivis piézométriques des deux seuls piézomètres existant sur le bassin et disposant d'une longue chronique permettent par ailleurs de calibrer la valeur moyenne du coefficient d'emmagasinement qui est peu ou pas renseigné sur le territoire. Comme le montrent les résultats des figures suivantes, l'emmagasinement conditionne directement l'amplitude des fluctuations temporelles de la piézométrie, que ce soit au niveau des courbes saisonnières types (utilisant les moyennes interannuelles des recharges trimestrielles) ou des courbes interannuelles (utilisant les valeurs annuelles de recharge). Le modèle en régime permanent montrant un décalage de l'ordre du mètre pour ces deux piézomètres, les courbes ont été décalées d'un mètre afin de faciliter la comparaison visuelle. Les deux premières valeurs testées induisent des oscillations trop importantes au regard de celles observées sur les deux piézomètres de suivi piézométrique. La valeur d'emmagasinement de $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ est donc retenue pour les calculs effectués en régime transitoire.

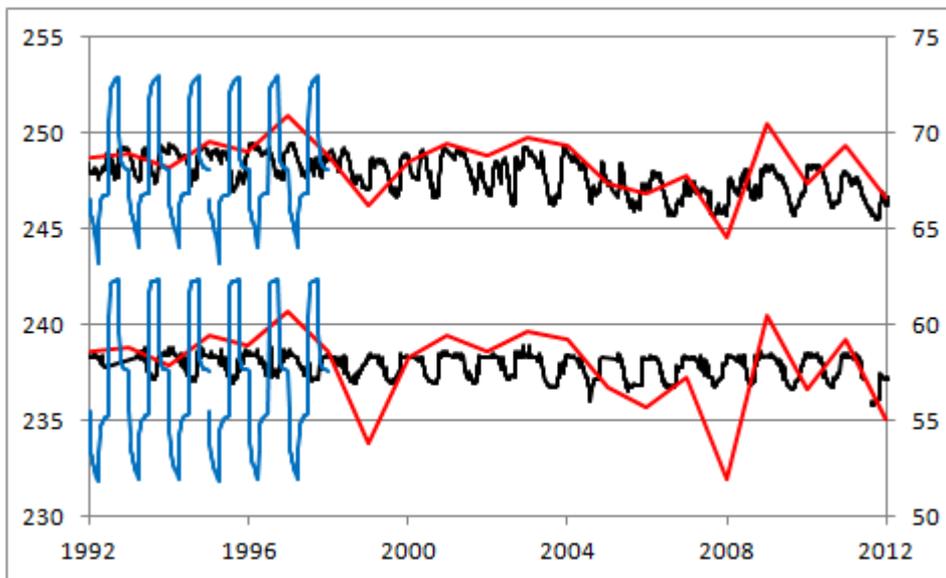


Figure : Comparaison des courbes piézométriques observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les courbes simulées avec les moyennes annuelles (en rouge) et les moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur d'emmagasinement spécifique de $10^{-5} m^{-1}$

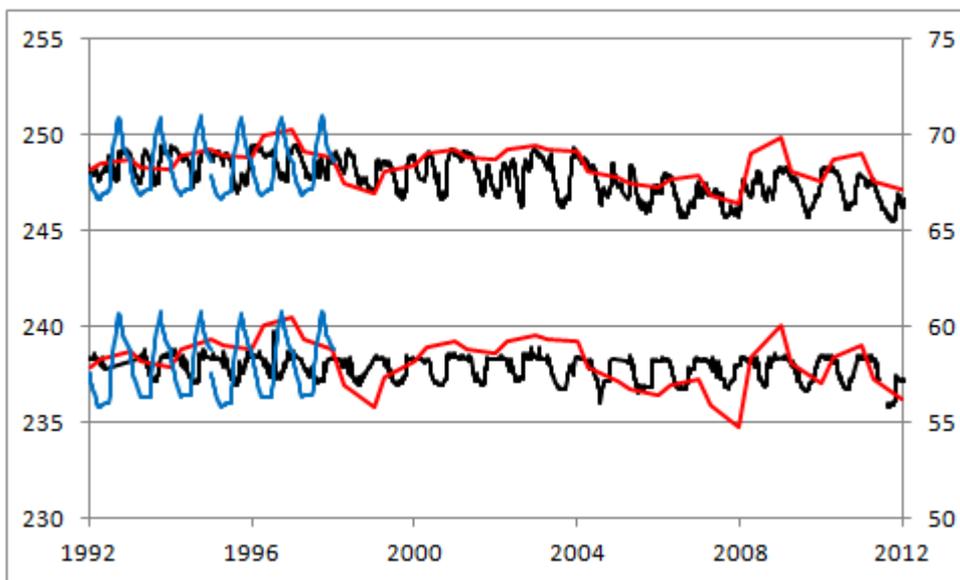


Figure : Comparaison des courbes piézométriques observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les courbes simulées avec les moyennes annuelles (en rouge) et les moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur d'emmagasinement spécifique de $5.10^{-4} m^{-1}$

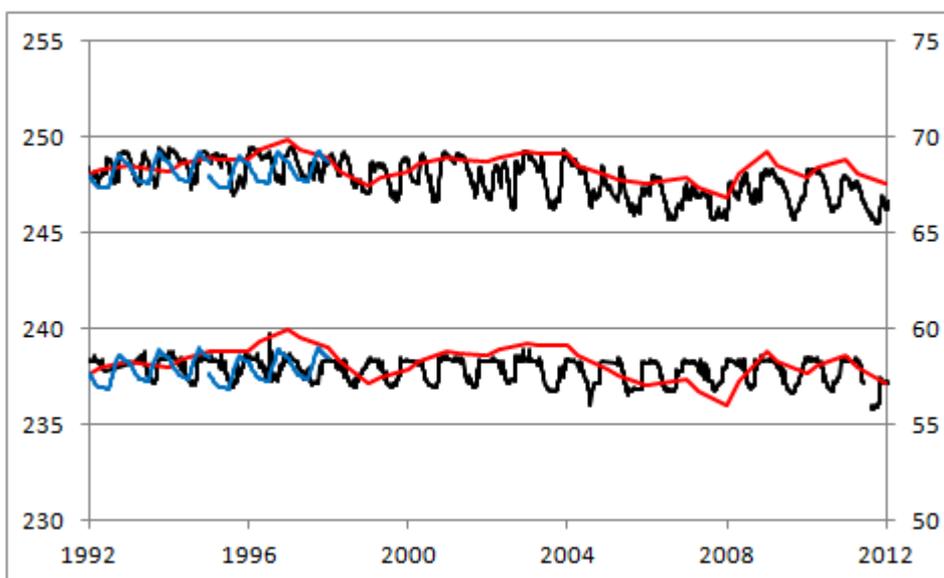


Figure : Comparaison des courbes piézométriques observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les courbes simulées avec les moyennes annuelles (en rouge) et les moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur d'emmagasinement spécifique de $2.10^{-3} m^{-1}$

L'évolution piézométrique obtenue avec la valeur du coefficient d'emmagasinement spécifique de $2.10^{-3} m^{-1}$ montre des oscillations intra-annuelles de même amplitude que celles observées, et une évolution interannuelle proche de celle observée, en particulier pour le piézomètre de Nyons. Nous admettrons donc valable pour les besoins du modèle cette valeur du coefficient d'emmagasinement.

La figure suivante présente la comparaison entre les courbes piézométriques observées sur les piézomètres de Nyons et de Camaret et les courbes simulées avec les recharges trimestrielles des 20 dernières années et la valeur d'emmagasinement calibrée. On observe un comportement assez similaire entre les courbes mesurées et simulées. Ces dernières semblent cependant surestimer les remontées de nappe avec des pics un peu trop marqués. Une valeur légèrement plus faible du coefficient d'emmagasinement pourrait amoindrir ces remontées trop marquées ainsi que l'amplitude interannuelle un peu trop importante. Nous maintiendrons cependant cette valeur d'emmagasinement calibrée car elle augmentera légèrement le contraste entre hautes eaux et basses eaux et sera donc conservative pour l'évaluation des débits de drainage des étiages.

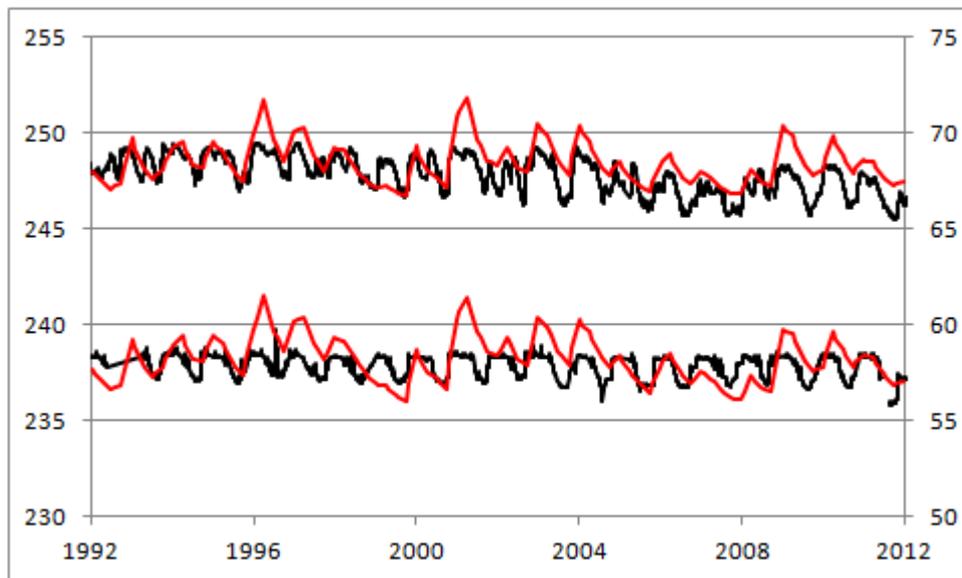


Figure : Comparaison des courbes piézométriques observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les courbes simulées avec les recharges trimestrielles des 20 dernières années (en rouge) et la valeur d'emmagasinement de $2.10^{-3} m^{-1}$

Bilan par sous-bassins en régime permanent

Le modèle ainsi calibré a permis de calculer les débits drainés par les différentes rivières en considérant la sectorisation définie pour les bilans hydrologiques. La figure ci-après rappelle l'extension des différents secteurs issus du découpage en sous-bassins des bassins versants du Lez et de l'Aygues (la numérotation utilisée est celle de la sectorisation).

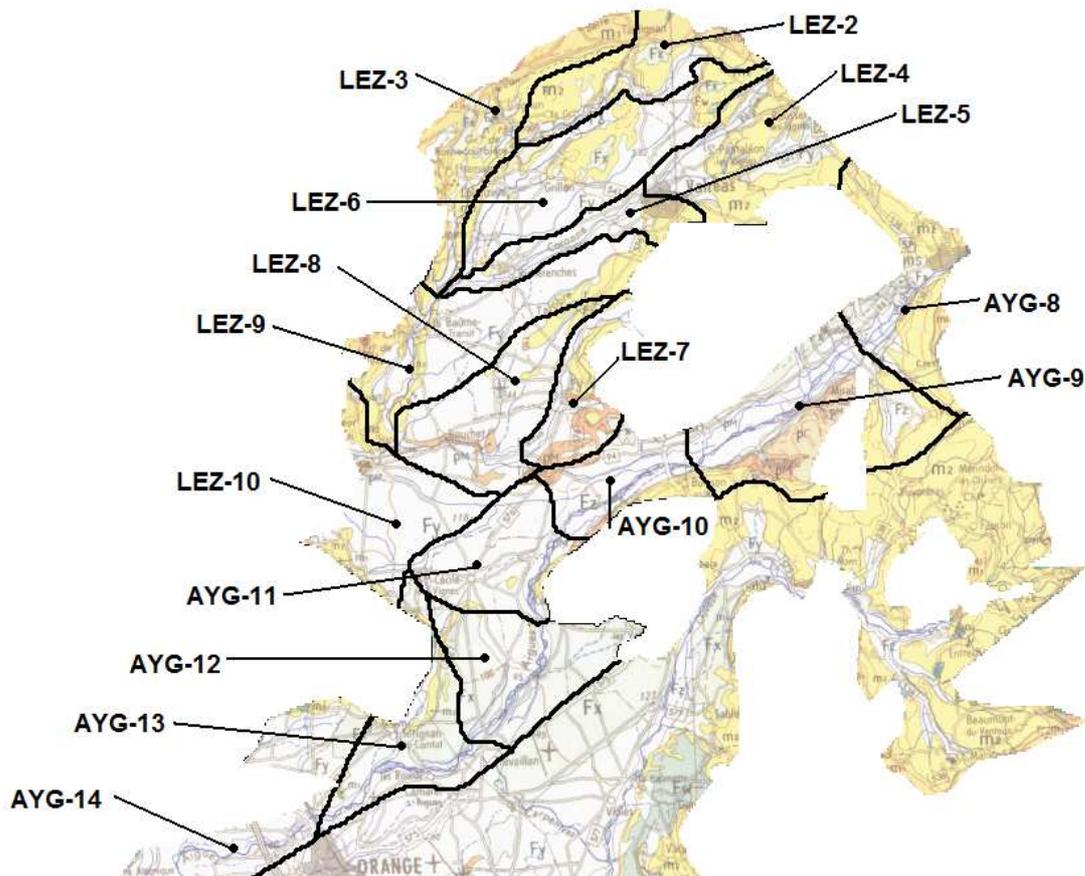


Figure : Sous-bassins hydrologiques définis pour les bassins versants du Lez et de l'Aygues

Les tableaux ci-après indiquent la recharge appliquée sur chacun des sous-bassins considérés et le drainage exercé par le cours d'eau sur ces sous-bassins. La nappe transférant l'eau d'amont en aval, les sous-bassins amont présentent un volume de drainage généralement plus faible que celui de la recharge. Pour les sous-bassins aval, l'inverse se produit. Sur la totalité du domaine simulé, la recharge et le drainage s'équilibrent approximativement, à une valeur de 113 Mm³/an.

No	Nom du sous-bassin	Recharge Mm ³ /an	Drainage Mm ³ /an
LEZ-2	Lez à Grignan	3,50	1,12
LEZ-3	Lez à Montségur	4,06	5,49
LEZ-4	Coronne amont	4,38	1,83
LEZ-5	Coronne aval	2,09	4,27
LEZ-6	Aulière amont	5,84	6,28
LEZ-7	Hérin amont	2,26	0,00
LEZ-8	Hérin aval	4,63	12,24
LEZ-9	Lez à Suze la Rousse	5,74	7,02
LEZ-10	Lez à Bollène	4,00	11,26
TOTAL		36,50	49,50

Tableau : Volumes annuels par sous-bassin de la recharge des nappes et de l'eau souterraine drainée par les rivières dans la partie molassique du bassin versant du Lez

Pour les sous-bassins aval des bassins versants du Lez (LEZ-10) et de l'Aygues (AYG-14) les volumes drainés sont vraisemblablement surestimés du fait que le drainage constitue la seule sortie possible de l'eau souterraine. Il y a donc lieu de considérer avec prudence les valeurs du drainage de ces sous-bassins aval. Dans les parties aval des bassins versants du Lez et de l'Aygues, alors que l'extension de l'aquifère régional a été limitée à celle de la molasse, la présence des alluvions peut permettre en effet un écoulement important d'eau. La non prise en compte de cet écoulement dans le modèle implique que tout le débit souterrain soit drainé dans les derniers sous-bassins.

Les bilans entrée-sortie présentés aux tableaux précédents montrent que 13,0 Mm³/an des 49,5 Mm³/an drainés par le Lez proviennent d'une recharge prenant place en dehors du bassin versant du Lez, c'est-à-dire au niveau du bassin versant de l'Aygues. De même, l'Aygues draine 8,1 Mm³/an de plus que ce qu'il ne reçoit en recharge. Si l'on considère ces 8,1 Mm³/an et les 13,0 Mm³/an contribués au bassin versant du Lez, ceci indique que 21,1 Mm³/an proviennent du bassin versant de l'Ouvèze. La figure suivante illustre la provenance des eaux drainées par les rives gauches du Lez et de l'Aygues dans leurs parties aval. On remarque dans chaque cas qu'une partie de l'alimentation est effectuée depuis le bassin versant voisin situé au sud.

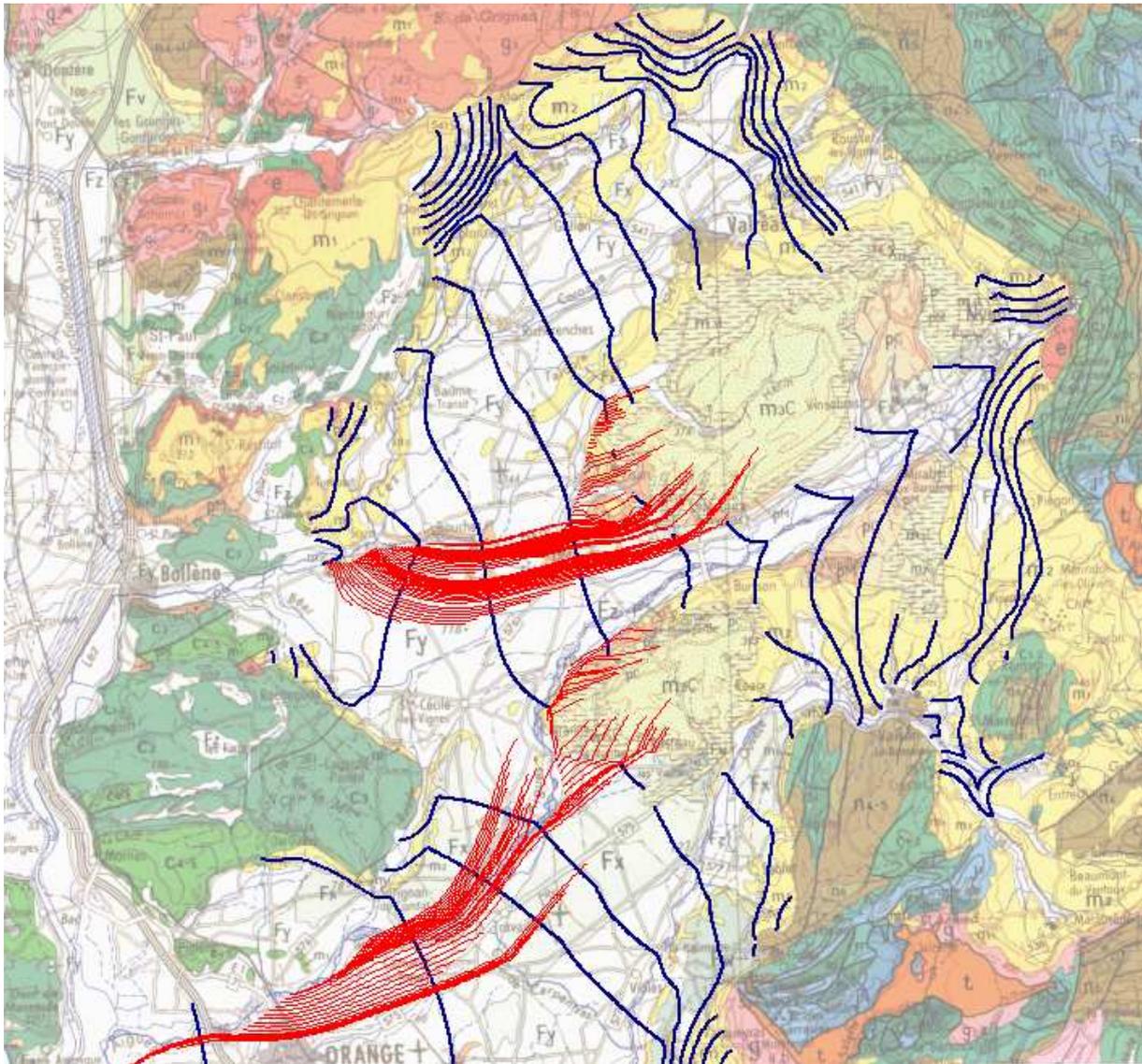


Figure : Origine des eaux drainées par les rives gauches du Lez et de l'Aygues dans leurs parties aval

Simulation de scénarios déficitaires chroniques en régime permanent

Le Niveau Piézométrique d'Alerte (NPA) est défini dans le SDAGE Rhône Méditerranée comme le niveau piézométrique de début de conflits d'usages et de premières limitations de pompages. Dans le cadre de cette étude, un complément à cette définition a été apporté considérant que ce niveau doit aussi garantir le bon fonctionnement quantitatif ou qualitatif de la ressource souterraine et des cours d'eau qu'elle alimente dans le respect des DOE des cours d'eau.

Le Niveau Piézométrique de Crise Renforcée (NPCR) est défini dans le SDAGE comme le niveau à ne jamais dépasser et donc d'interdiction des pompages à l'exception de l'alimentation en eau potable, qui peut faire l'objet de restrictions. Dans le cadre de cette étude, un complément à cette définition a été apporté considérant que c'est aussi la cote du niveau de la nappe au dessous de laquelle est mise en péril la survie des milieux aquatiques qu'elle alimente, dans le respect des DCR des cours d'eau.

Dans notre approche de modélisation hydrogéologique des contributions des nappes aux débits des cours d'eau, les chiffres montrent que la baisse de la recharge est en ordre d'importance la première cause des déficits d'écoulement. En effet, les volumes de prélèvements étant de l'ordre du dixième des volumes de la recharge, une variation même importante des prélèvements demeure faible devant la variabilité temporelle de la recharge.

Pour les simulations des scénarios déficitaires, nous avons donc considéré les cas suivants :

- une recharge (durant plusieurs années consécutives) égale à la recharge moyenne interannuelle moins un demi écart-type des recharges annuelles (soit 115 mm/an) ; cette recharge correspondrait à la suppression des restitutions estimées des canaux aux nappes et à plus du doublement des prélèvements sur les nappes ;
- une recharge (durant plusieurs années consécutives) égale à la recharge moyenne interannuelle moins un écart-type (soit 75 mm/an) ; cette valeur correspond approximativement à celle pour laquelle deux années sur dix seulement ont une recharge plus petite ;
- une recharge (durant plusieurs années consécutives) égale à la recharge moyenne interannuelle moins 1,5 écart-type (soit 35 mm/an) ; cette valeur correspond approximativement à la plus petite recharge observée sur la période.

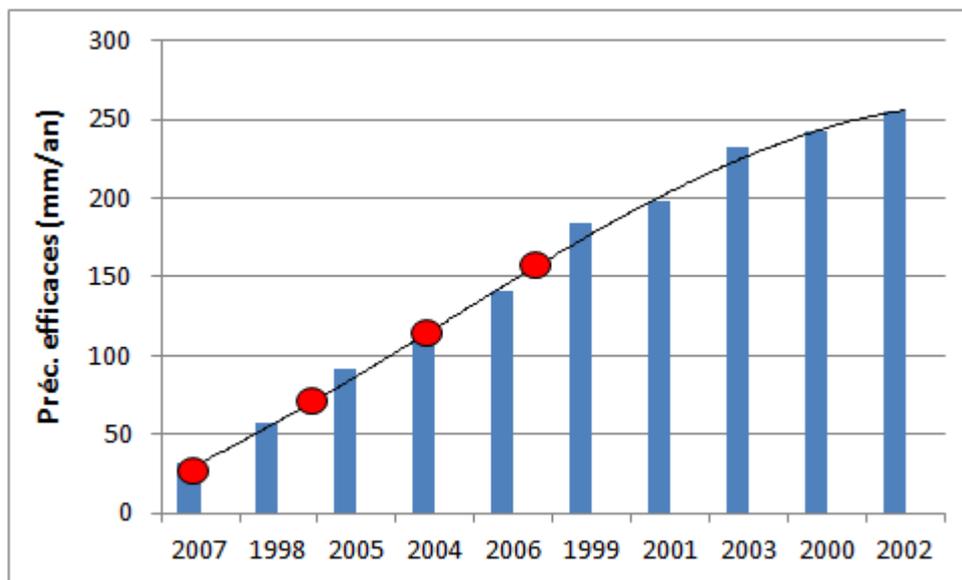


Figure : Précipitations efficaces annuelles classées de la période 1998-2007 (en rouge les valeurs de la moyenne et de la moyenne moins 0.5, 1.0 et 1.5 écart-type)

Les trois scénarios de recharge déficitaire de 115 mm/an, 75 mm/an et 35 mm/an, au lieu des 155 mm/an de la recharge normale, ont été simulés. Les tableaux ci-après résument les résultats obtenus pour ces trois scénarios.

Recharge	moyenne - 0.5 écart-type		moyenne - 1.0 écart-type		moyenne - 1.5 écart-type	
	Recharge	Drainage	Recharge	Drainage	Recharge	Drainage
LEZ-1	2.60	0.14	1.69	0.00	0.79	0.00
LEZ-2	3.01	4.28	1.96	2.71	0.92	0.21
LEZ-3	3.25	0.61	2.12	0.10	0.99	0.00
LEZ-4	1.55	2.02	1.01	1.26	0.47	0.46
LEZ-5	4.34	5.20	2.83	2.30	1.32	0.00
LEZ-6	1.68	0.00	1.10	0.00	0.51	0.00
LEZ-7	3.44	10.25	2.24	7.86	1.05	4.43
LEZ-9	4.26	5.78	2.78	4.11	1.30	0.86
LEZ-10	2.97	9.74	1.94	7.62	0.90	4.72
TOTAL	27.08	38.02	17.66	25.96	8.24	10.68

Tableau : Volumes annuels de recharge et de drainage (en Mm3/an) des nappes dans la partie molassique du bassin versant du Lez pour des recharges déficitaires chroniques

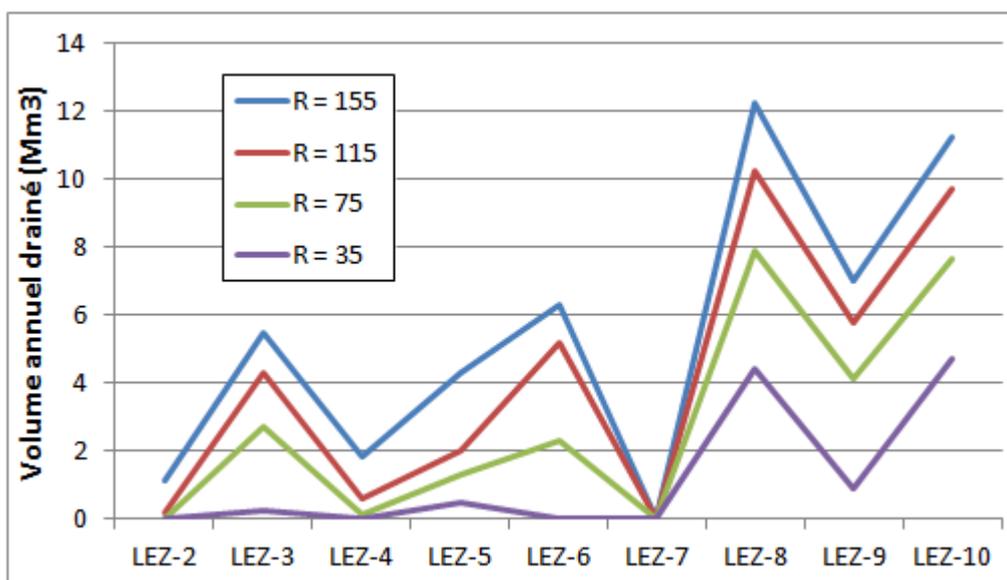


Figure : Volumes drainés par les tronçons de rivière des différents sous-bassins du Lez de la zone molassique pour les quatre scénarios de recharge (155, 115, 75 et 35 mm/an)

Pour le cas du Lez, une recharge deux fois moindre que la recharge moyenne interannuelle actuelle induit une alimentation des rivières par drainage environ deux fois plus petite en moyenne, mais dans une proportion assez variable selon les sous-bassins. Le drainage s'annule ainsi dans les sous-bassins LEZ-2 et LEZ-4, alors qu'il se maintient assez haut pour les sous-bassins situés en aval.

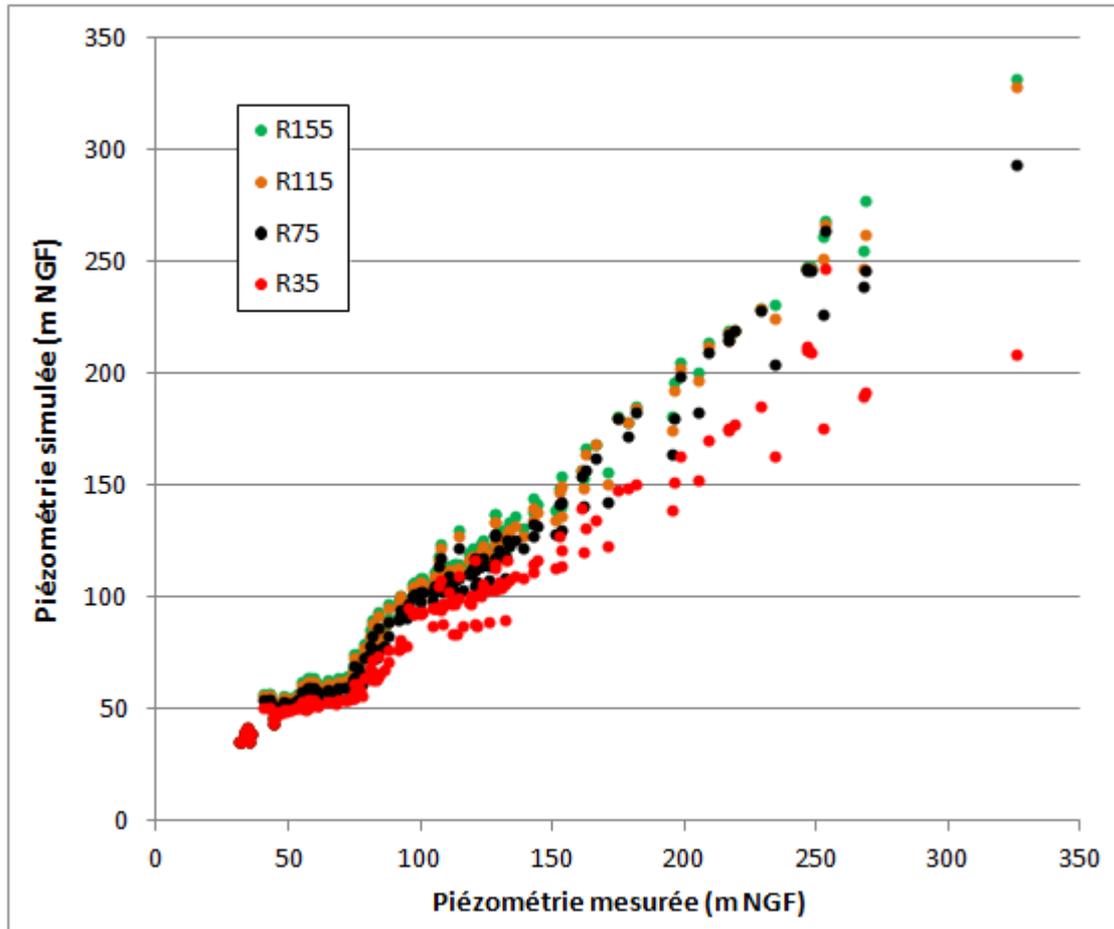


Figure : Comparaison des piézométries mesurées et simulées pour les quatre scénarios de recharge (155, 115, 75 et 35 mm/an)

Tel que le montre la figure comparative des piézométries simulées pour les différents scénarios déficitaires, la piézométrie décroche lorsque la recharge est deux fois moindre qu'en moyenne et s'effondre lorsqu'elle est du quart seulement de la recharge actuelle.

Rappelons qu'il s'agit là de la simulation de situations de recharge se maintenant sur plusieurs années (c'est-à-dire d'une tendance pérenne à la baisse des recharges) et non d'une situation propre à une année unique (situation qui fait quant à elle partie des conditions naturelles actuelles). Ces simulations reflètent ainsi la situation de changement climatique avec baisse des précipitations et/ou augmentation de la température et de l'ETP (diminuant les précipitations efficaces).

Bilan par sous-bassins en régime transitoire moyen

La première simulation en régime transitoire a considéré la distribution des recharges trimestrielles moyennes, avec 123.6 mm pour la période mi-octobre à mi-janvier (hiver), 37.4 mm pour la période mi-janvier à mi-avril (printemps), 1.3 mm pour la période mi-avril à mi-juillet (été) et 22.2 mm pour la période mi-juillet à mi-octobre (automne). Notons que la recharge de la période printanière est équivalente à la moyenne annuelle (37.4 mm/4 mois versus 155 mm/12 mois). Ce scénario correspond donc à la situation normale. Il vise à quantifier l'inertie du système et la variabilité inter-saisonnière des apports aux cours d'eau.

Les résultats de la simulation en régime transitoire saisonnier sont présentés aux tableaux et figures ci-après. Tenant compte d'un délai moyen d'écoulement vertical de l'eau au travers de la zone non saturée (zone vadose), l'été correspond à la période mi-juin à mi-septembre, l'automne à celle de mi-septembre à mi-décembre, l'hiver de mi-décembre à mi-mars et le printemps de mi-mars à mi-juin.

	été	automne	hiver	printemps	année
LEZ-2	0	0	27869	3013	7721
LEZ-3	3415	8690	40861	15884	17212
LEZ-4	0	361	28699	5883	8736
LEZ-5	2836	4018	42874	13937	15916
LEZ-6	4095	8480	43110	17356	18260
LEZ-7	0	0	313	0	78
LEZ-8	18829	23788	62367	34376	34840
LEZ-9	7302	12964	44170	19421	20964
LEZ-10	16624	22607	55749	30695	31419

Tableau : Volumes drainés (m³/j) simulés pour les sous-bassins du Lez

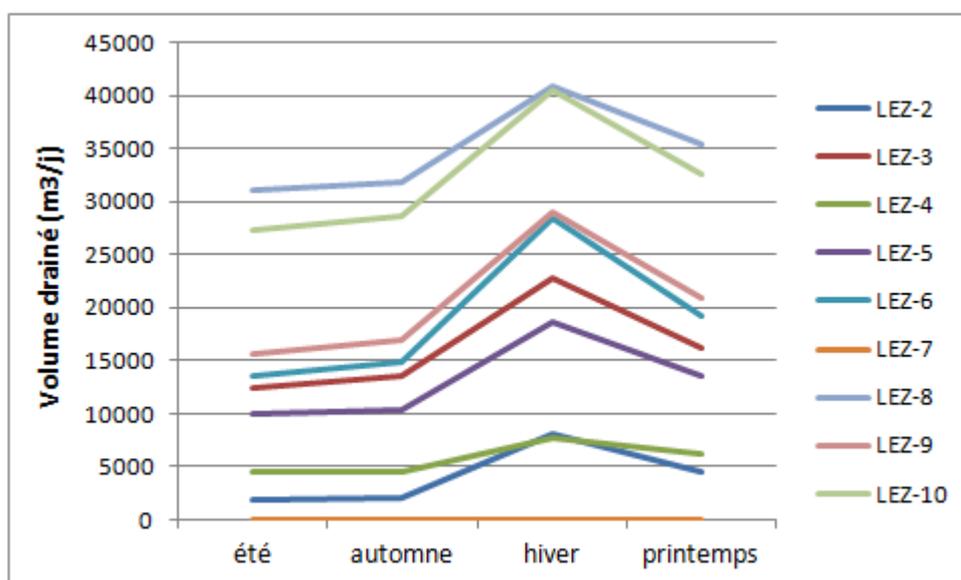


Figure : Volumes drainés (m³/j) simulés pour les sous-bassins du Lez

Pour la simulation en régime transitoire saisonnier, on remarque que les volumes drainés varient durant l'année de façon peu importante à assez importante selon les sous-bassins mais pas de façon suffisamment drastique au point d'annuler le débit contribué aux sous-bassins.

Bilan par sous-bassins en régime transitoire interannuel

Une deuxième approche de simulation en régime transitoire a été réalisée avec

- dans un premier temps ,les valeurs annuelles de recharge ;
- dans un second temps, avec les valeurs trimestrielles de recharge.

Les résultats de la simulation en régime transitoire utilisant les recharges des vingt dernières années sont présentées à la figure ci-après. On remarque que les volumes annuels drainés, même s'ils varient d'une année sur l'autre sont assez tamponnés par l'inertie des écoulements souterrains. Les années les plus déficitaires (2007, 1998, 2011) montrent quand même une baisse notable des débits drainés.

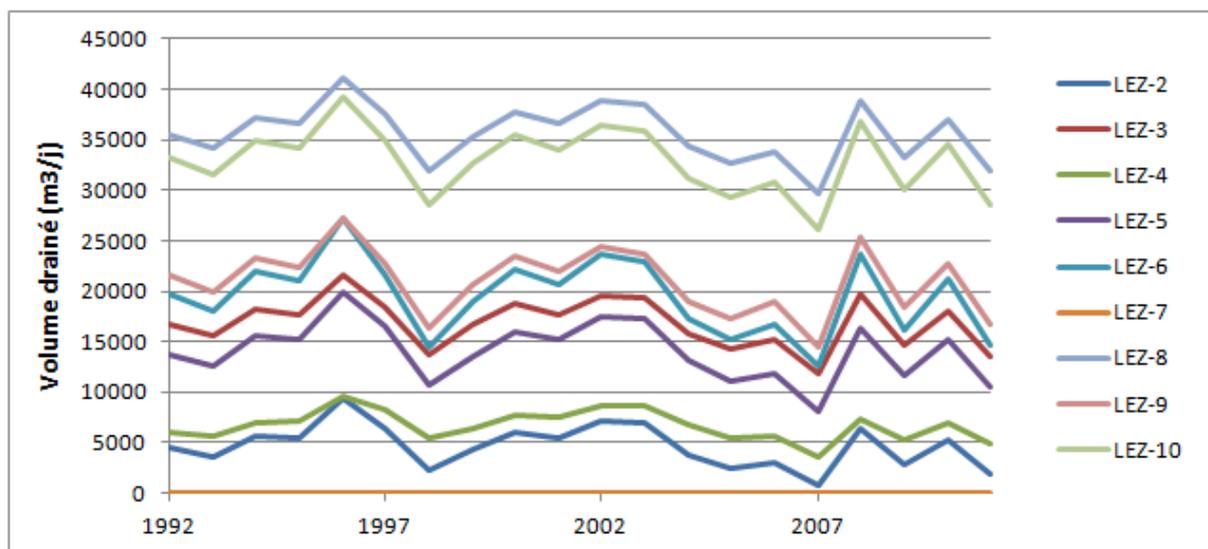


Figure : Volumes drainés simulés par sous-bassins du Lez pour les recharges des vingt dernières années

Les résultats de la simulation en régime transitoire utilisant les recharges trimestrielles des quarante dernières années sont présentés à la figure ci-après. On remarque que les volumes drainés trimestriellement varient avec une amplitude assez semblable à celle observée pour les moyennes interannuelles de recharge trimestrielle, mais parfois plus marquée lorsque le contraste entre les précipitations efficaces des trimestres successifs est également bien marqué. Les débits drainés en étiage varient assez peu d'une année sur l'autre, alors que les débits drainés en hautes eaux présentent des contrastes interannuels marqués.

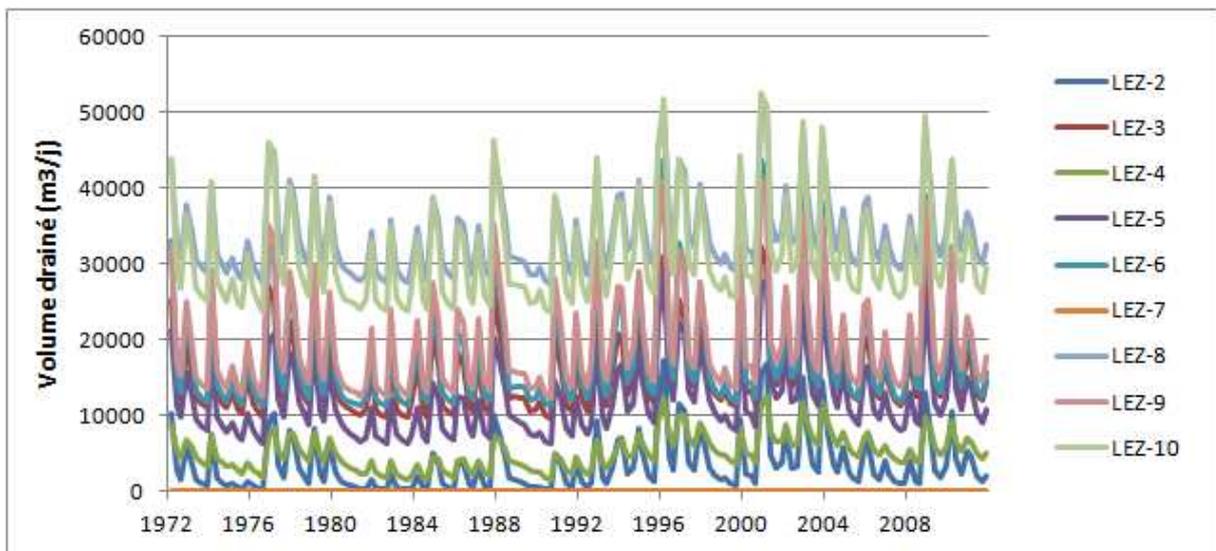


Figure : Volumes drainés simulés par sous-bassins du Lez pour les recharges trimestrielles des quarante dernières années

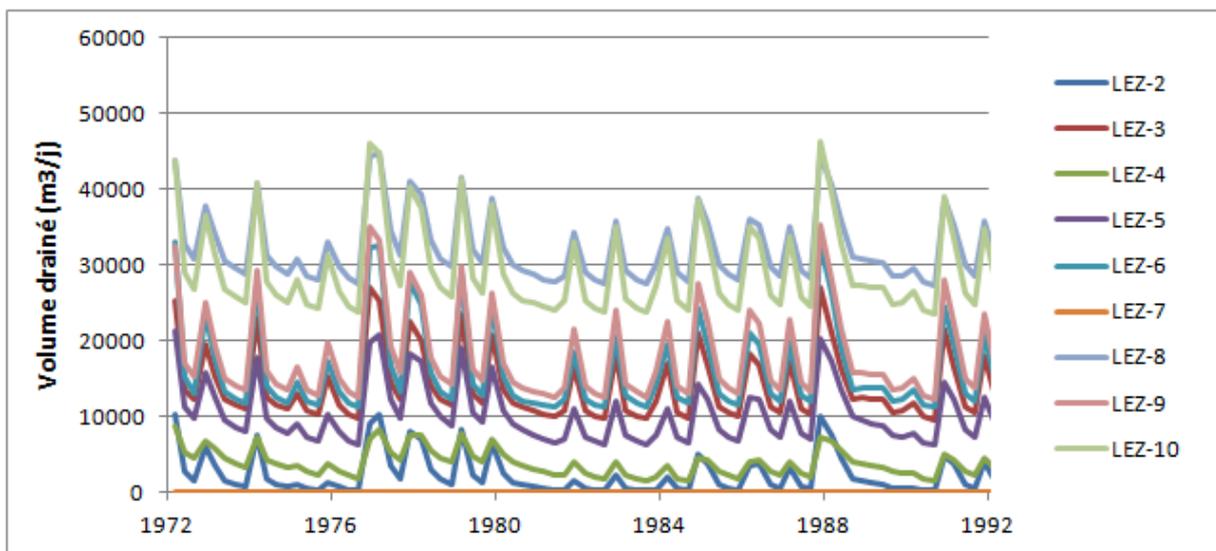


Figure : Volumes drainés simulés par sous-bassins du Lez pour les recharges trimestrielles des quarante dernières années (zoom 1972-1991)

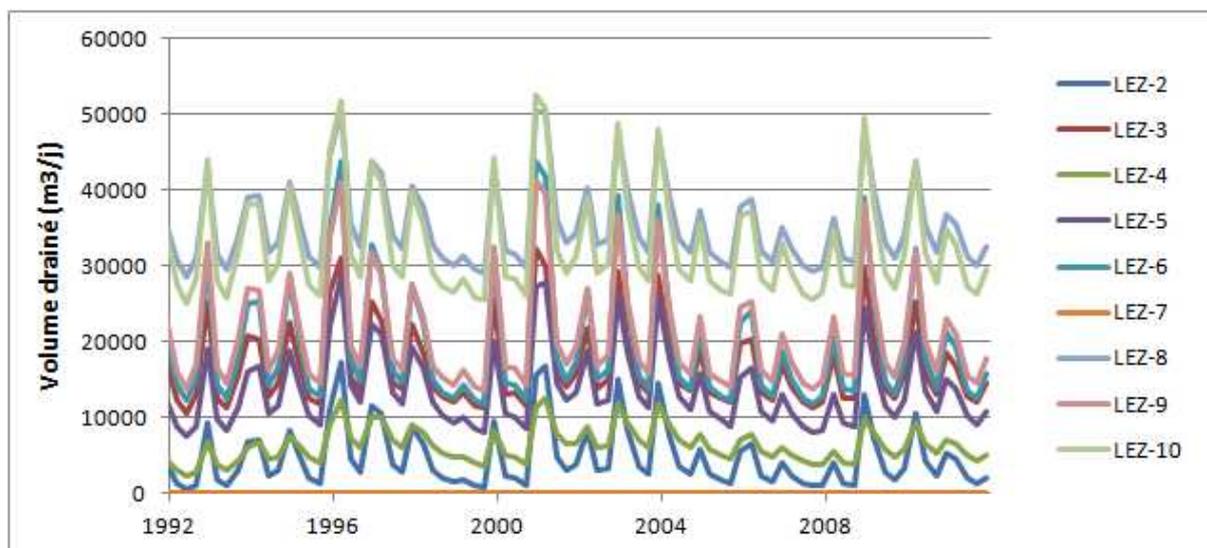


Figure : Volumes drainés simulés par sous-bassins du Lez pour les recharges trimestrielles des quarante dernières années (zoom 1992-2011)

Simulation de scénarios déficitaires en régime transitoire interannuel

Finalement la troisième simulation en régime transitoire a considéré une succession de 3 années déficitaires au taux de recharge de 55 mm/an. Ce taux correspond à la recharge moyenne – 1.25 écart-type. Il correspond par ailleurs à la recharge moyenne des trois années déficitaires observées (2007, 1998, 2011). Ce scénario représente donc la situation statistique défavorable où trois années déficitaires se suivent.

Les résultats de la simulation en régime transitoire d’une succession de trois années déficitaires à 55 mm/an de recharge au lieu de 155 mm/an sont présentés aux figures ci-après. On remarque que l’impact d’une succession de trois années très déficitaires sur les débits drainés n’est pas marqué de façon si importante.

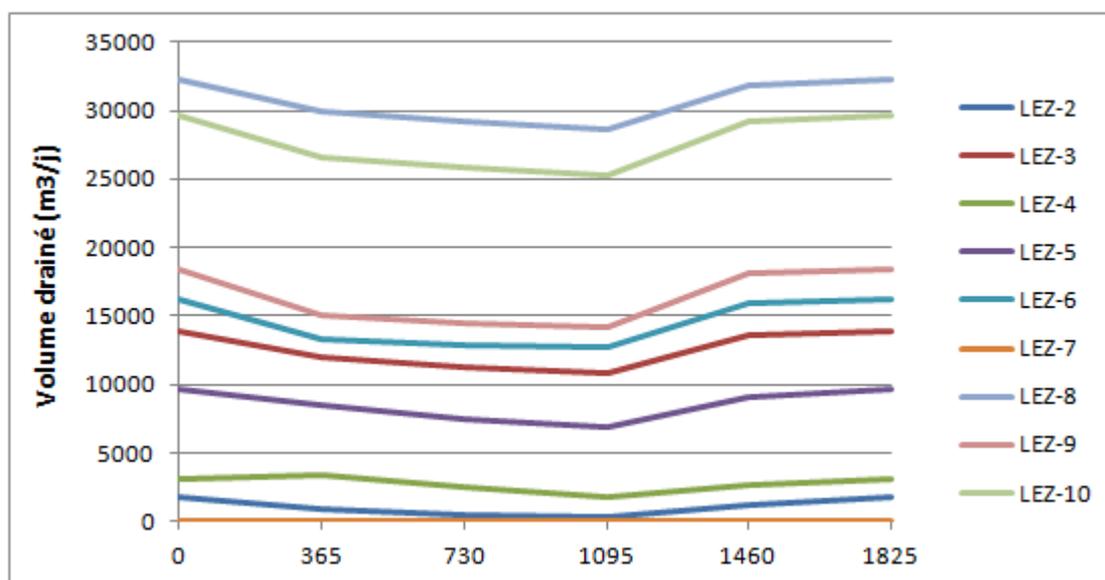


Figure : Volumes drainés simulés par sous-bassins du Lez pour trois années successives très déficitaires

Annexe 2 : Paramètres de simulation ATHYS choisis

Paramètres		Lez	Coronne et Aulière	Hérin
Fonction de production	$STO [mm]$	18	35	35
	$INF [mm.h^{-1}]$	4	40	40
	$F [m^{-1}]$	25	45	25
	$Ds [j^{-1}]$	0.07	0.045	0.03
Fonction de transfert	$V0 [m.s^{-1}]$	1.75		
	$Alfa [ad]$	0.5		
	$Beta [ad]$	0.2		
	$K [ad]$	0.5		



**ATTEINDRE
L'ÉQUILIBRE QUANTITATIF
EN AMÉLIORANT
LE PARTAGE
DE LA RESSOURCE EN EAU
ET EN ANTICIPANT
L'AVENIR**

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX

Les études volumes prélevables visent à améliorer la connaissance des ressources en eau locale dans les territoires en déficit de ressource.

Elles doivent aboutir à la détermination d'un volume prélevable global sur chaque territoire. Ce dernier servira par la suite à un ajustement des autorisations de prélèvement dans les rivières ou nappes concernées, en conformité avec les ressources disponibles et sans perturber le fonctionnement des milieux naturels.

Ces études sont également la première étape pour la définition de plans de gestion de la ressource et des étiages, intégrant des règles de partage de l'eau et des actions de réduction des prélèvements.

Les études volumes prélevables constituent une déclinaison opérationnelle du SDAGE et répondent aux objectifs de l'Orientation fondamentale 7 « Atteindre l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ».

Elles sont menées par des bureaux d'études sur 70 territoires en déficit du bassin Rhône-Méditerranée.

Maître d'ouvrage :

- Syndicat mixte du bassin versant du Lez

Financeurs :

- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse
- Fond européen de développement régional

Bureau d'études :

- CEREG Ingénierie
- Idées Eaux
- Lisode
- Hydriad
- Brigitte Lambey