

# Analyse des étiages de la Seine en amont de Paris au moyen du logiciel MODCOU

P. Viennot, E. Ledoux

Centre d'Informatique Géologique, Ecole des Mines de Paris, UMR 7619 Sisyphe

35 rue St Honoré 77305 Fontainebleau cedex

[pascal.viennot@ensmp.fr](mailto:pascal.viennot@ensmp.fr) , [emmanuel.ledoux@ensmp.fr](mailto:emmanuel.ledoux@ensmp.fr)

Analyse des étiages de la Seine en amont de Paris au moyen du logiciel MODCOU .....	1
1. Présentation générale.....	1
2. Annexe .....	2

## 1. Présentation générale

Le modèle mathématique couplé *MODCOU*, développé au Centre d'Informatique Géologique de l'Ecole des Mines de Paris, a été appliqué au bassin de la Seine pour simuler, au pas de temps journalier, les débits dans le réseau hydrographique mais également la piézométrie dans les aquifères de la Craie, de l'Eocène et de l'Oligocène par le biais d'une modélisation hydrodynamique des nappes. Le calage de différents paramètres du modèle, repris et affiné permet de reproduire de manière très satisfaisante l'ensemble du fonctionnement hydrodynamique du bassin sur la période 1970-2004, tant au niveau des variations saisonnières ou pluri annuelles des niveaux piézométriques observés qu'aux périodes de crues ou d'étiage des principaux cours d'eau du bassin

Une des exploitations de ce modèle permet d'estimer, par forçage climatique imposé (suppression des pluies météoriques pendant un temps  $t$  par exemple), l'évolution du débit de base des rivières liée aux seuls apports par les nappes. Les résultats montrent l'importance de l'état général des nappes sur les débits de base en cas d'étiage prolongé puisque, par exemple, celui de la Seine à Paris en septembre peut varier du simple au double après quatre mois de sécheresse imposés en période estivale.

L'exploitation du modèle sur 34 années consécutives (1970-2004) permet également d'évaluer la possibilité de prévoir un débit d'étiage en fonction de la piézométrie mesurée à une certaine période. Cette approche de la capacité des nappes à soutenir les étiages est une des préoccupations de la DIREN Ile de France. Pour ce faire, un choix de piézomètres dont les niveaux sont bien reproduits par le modèle a été effectué et l'existence d'une relation empirique entre la cote piézométrique mesurée au printemps et le débit de base calculé à l'automne a été étudiée. Les résultats montrent que, pour certains piézomètres, le coefficient de corrélation linéaire peut être supérieur à 0.8 mais que dans d'autres cas, la corrélation mesures piézométrique/débit de base est loin d'être satisfaisante. De plus, les résultats montrent que, plus tardivement par rapport à la mesure est effectuée la prévision du débit de base, meilleure est cette dernière. Ces résultats devraient ainsi permettre de proposer à la DIREN un protocole de suivi piézométrique permettant d'estimer, avec un certain degré de confiance associé, le débit de base des grandes rivières du bassin à tout moment d'une période d'étiage prolongé.

## **2. Annexe**

L'ensemble des résultats obtenus (calage du modèle, analyse des débits d'étiage de la Seine et de ses affluents en amont de Paris, relations piézométrie-débit d'étiage) est présenté dans le rapport annexé à ce document et intitulé « Modélisation du fonctionnement hydrogéologique du bassin de la Seine – Calage du comportement des nappes internes du bassin de la Seine / Prévission des étiages », rapport LHM/RD/04/30, Ecole des Mines de Paris, Centre d'Informatique Géologique, 2004, 92p..



Centre d'Informatique Géologique



# Modélisation du fonctionnement hydrogéologique du bassin de la Seine

-oOo-

## Calage du comportement des nappes internes du bassin de la Seine

/

## Prévision des étiages

-oOo-

P.Viennot ([Pascal.Viennot@ensmp.fr](mailto:Pascal.Viennot@ensmp.fr))

E. Ledoux ([Emmanuel.Ledoux@ensmp.fr](mailto:Emmanuel.Ledoux@ensmp.fr))

LHM/RD/04/30

Centre d'Informatique Géologique, 35 rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex

# SOMMAIRE

**1 : Calage du comportement des nappes internes du bassin de la Seine**

**2 : Restitution des débits aux principales stations hydrométriques**

**3 : Estimation d'un débit d'étiage prolongé en 2004**

**4 : Estimation des débits de tarissement sur 18 mois**

**5 : Approche du débit de base à partir de mesures piézométriques**

**Annexes : Courbes d'évolution comparée des niveaux piézométriques mesurés et calculés entre 1985 et 2004**

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : répartition géographique des piézomètres

Figure 2 : cartes de transmissivité obtenues après calage

Figure 3 : cartes de coefficient d'emmagasinement obtenues après calage

Figure 4 : situation géographique des stations hydrométriques

Figure 5 : répartition géographique des fonctions de production « zones urbaines »

Figure 6 : répartition géographique des fonctions de production « zones alluviales »

Figure 7 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine à Paris-Austerlitz

Figure 8 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine amont à Alfortville

Figure 9 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine amont à Bazoches-les-Bray

Figure 10 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine amont à Pont-sur-Seine

Figure 11 : comparaison des débits observés et calculés de la Marne à Gournay (Noisiel)

Figure 12 : comparaison des débits observés et calculés de la Marne à Châlons-en-Champagne

Figure 13 : comparaison des débits observés et calculés de l'Yonne à Courcelette

Figure 14 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine à Paris-Austerlitz après application d'un débit de prélèvement de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  en amont de Paris

Figure 15 : débit calculé de la Seine à Paris en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

Figure 16 : débit calculé de la Seine à Alfortville en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

Figure 17 : débit calculé de la Seine à Montereau en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

Figure 18 : débit calculé de la Seine à Nogent en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

Figure 19 : débit calculé de la Marne à Gournay (Noisiel) en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

Figure 20 : débit calculé de la Marne à Châlons en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

Figure 21 : débit calculé de l'Yonne à Courcelette en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

Figure 22 : débit de base de la Seine à Paris-Austerlitz fourni par les nappes internes

Figure 23 : débit de base de la Seine à Alfortville fourni par les nappes internes

Figure 24 : débit de base de la Seine à Montereau fourni par les nappes internes

Figure 25 : débit de base de la Seine à Nogent fourni par les nappes internes

Figure 26 : débit de base de la Marne à Gournay (Noisiel) fourni par les nappes internes

Figure 27 : débit de base de la Marne à Châlons fourni par les nappes internes

Figure 28 : débit de base de l'Yonne à Courlon fourni par les nappes internes

Figure 29 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Seine à Paris Austerlitz

Figure 30 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Seine à Alfortville

Figure 31 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Seine à Montereau

Figure 32 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Seine à Nogent

Figure 33 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Marne à Gournay (Noisiel)

Figure 34 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Marne à Châlons-en-Champagne

Figure 35 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : l'Yonne à Courlon

Figure 36 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai inférieur à 80 m<sup>3</sup>/s

Figure 37 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 80 et 90 m<sup>3</sup>/s

Figure 38 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 90 et 100 m<sup>3</sup>/s

Figure 39 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 100 et 110 m<sup>3</sup>/s

Figure 40 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 110 et 120 m<sup>3</sup>/s

Figure 41 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 120 et 130 m<sup>3</sup>/s

Figure 42 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 130 et 140 m<sup>3</sup>/s

Figure 43 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai supérieur à 1400 m<sup>3</sup>/s

Figure 44 : différences piézométriques calculées entre le 1<sup>er</sup> mai 2001 et le 1<sup>er</sup> mai 1992

Figure 45 : relation niveau piézométrique / débit de base de la Seine à Paris au bout de 5 mois d'étiage prolongé. Piézomètres à la nappe de la Craie

Figure 46 : relation niveau piézométrique / débit de base de la Seine à Paris au bout de 5 mois d'été prolongé. Piézomètres à la nappe de l'Eocène

Figure 47 : relation niveau piézométrique / débit de base de la Seine à Paris au bout de 5 mois d'été prolongé. Piézomètres à la nappe de l'Oligocène

Figure 48 : Evolution du coefficient de corrélation « cote piézométrique / débit de base à Paris » calculé sur 12 mois

## Préambule

Le but du présent rapport est d'établir un état d'avancement du calage et donc de la représentativité du modèle hydrodynamique de la Seine (Gomez et al, 2002, Synthèse de phase 3 du Piren-Seine), tant au niveau de la piézométrie des aquifères représentés qu'à celui des débits restitués aux différentes stations et plus particulièrement sur celles de la Seine et de la Marne et en amont immédiat de Paris.

A partir de là, des simulations prospectives d'estimation des débits de tarissement des principaux cours d'eau du bassin seront menées ainsi qu'une tentative d'approche de ce débit de base à partir de mesures piézométriques antérieures.

Pour mener à bien ce travail, les bases de données météorologiques, piézométriques et hydrographiques ont été actualisées afin de tenir compte des dernières mesures effectuées.

**Données météorologiques** (source *METEO-France Safran-Crocus*) :

- données journalières spatialisées (sur une grille de 8km x 8km) de précipitations (pluie et neige) et d'évapotranspiration potentielle ;
- données disponibles jusqu'au 5 mars 2004 inclus.

**Données piézométriques** (source *site du réseau piézométrique du bassin Seine-Normandie - <http://aesn.brgm.fr/piezo/piezo.dbc>*) :

- récupération de l'ensemble des données disponibles sur l'ensemble du réseau de piézomètres retenus pour les aquifères de l'Oligocène, de l'Eocène et de la Craie et sur la période 1985-2004.

**Données hydrographiques** (source *Division de l'Exploitation, des Etudes et de l'Environnement – IIBRBS*) :

- débits journaliers observés à 8 heures aux stations de :
  - Chalons en Champagne et Gournay pour la Marne ;
  - Pont-sur-Seine, Bazoches-les-Bray, Alfortville et Paris Austerlitz pour la Seine ;
  - Courlon pour l'Yonne.

Tous ces débits sont corrigés des apports ou prélèvements du lac du Der pour la Marne et/ou de ceux des lacs de Seine, Aube et Pannecière pour la Seine et l'Yonne.

## **1 : Calage du comportement des nappes internes du bassin de la Seine**

L'ensemble du modèle a été repris par modification locale des champs de transmissivité et de coefficient d'emmagasinement sur l'ensemble des formations aquifères (Oligocène, Eocène, Craie) afin de respecter au mieux les niveaux piézométriques moyens mais également la dynamique d'évolution transitoire de la piézométrie sur l'ensemble du domaine et sur une période globale de simulation de 1985 à 2004. Il est en effet important de bien reproduire ces évolutions piézométriques (variations saisonnières et interannuelles) si l'on veut approcher au mieux les débits d'étiage des rivières.

La figure 1 présente la situation géographique de l'ensemble des piézomètres retenus pour le calage.

L'ensemble des évolutions comparées après recalage du modèle, piézomètre par piézomètre, entre les charges hydrauliques mesurées et celles calculées au pas de temps journalier par le modèle sont présentées en annexe.

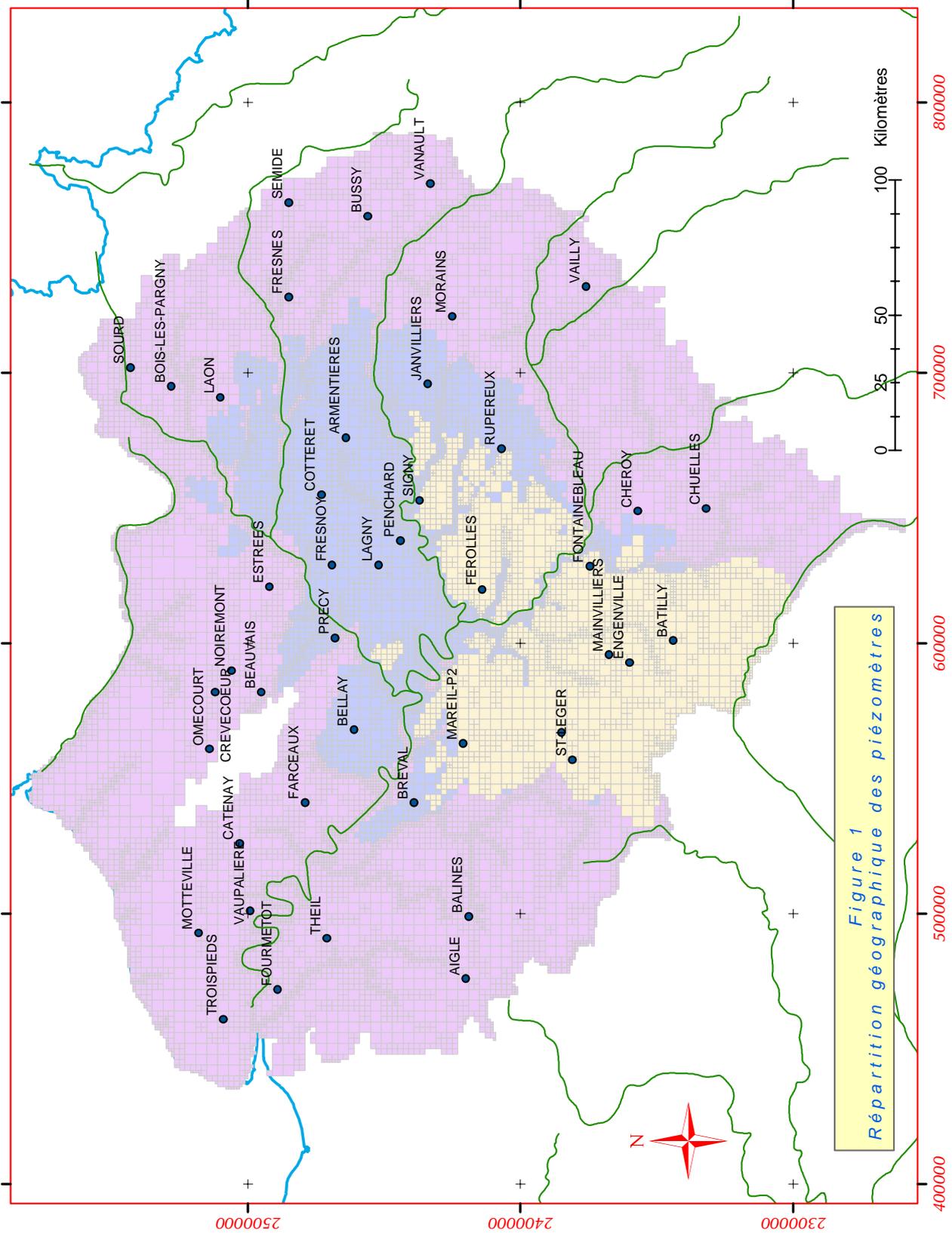


Figure 1  
Répartition géographique des piézomètres

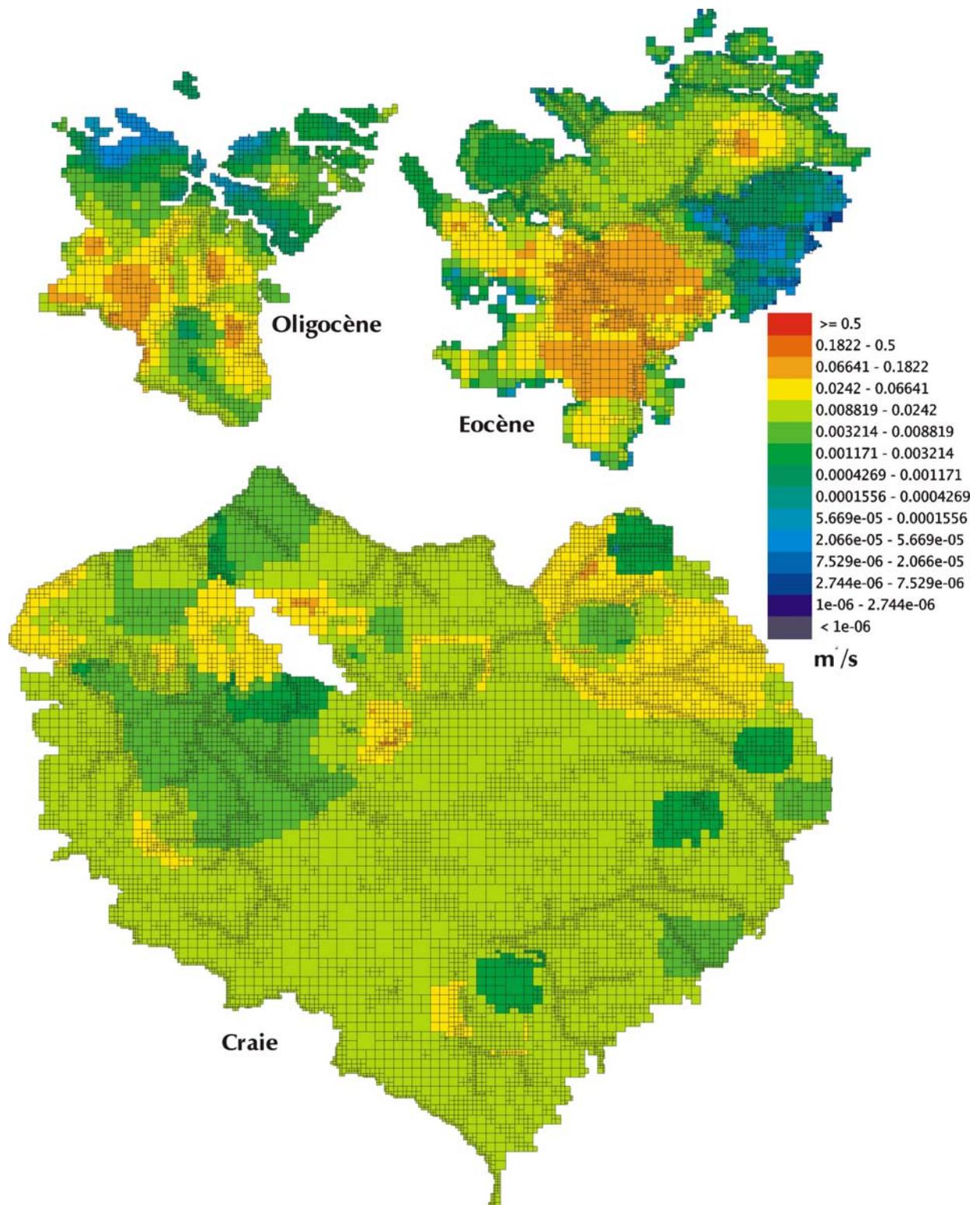


Figure 2 : cartes de transmissivité obtenues après calage

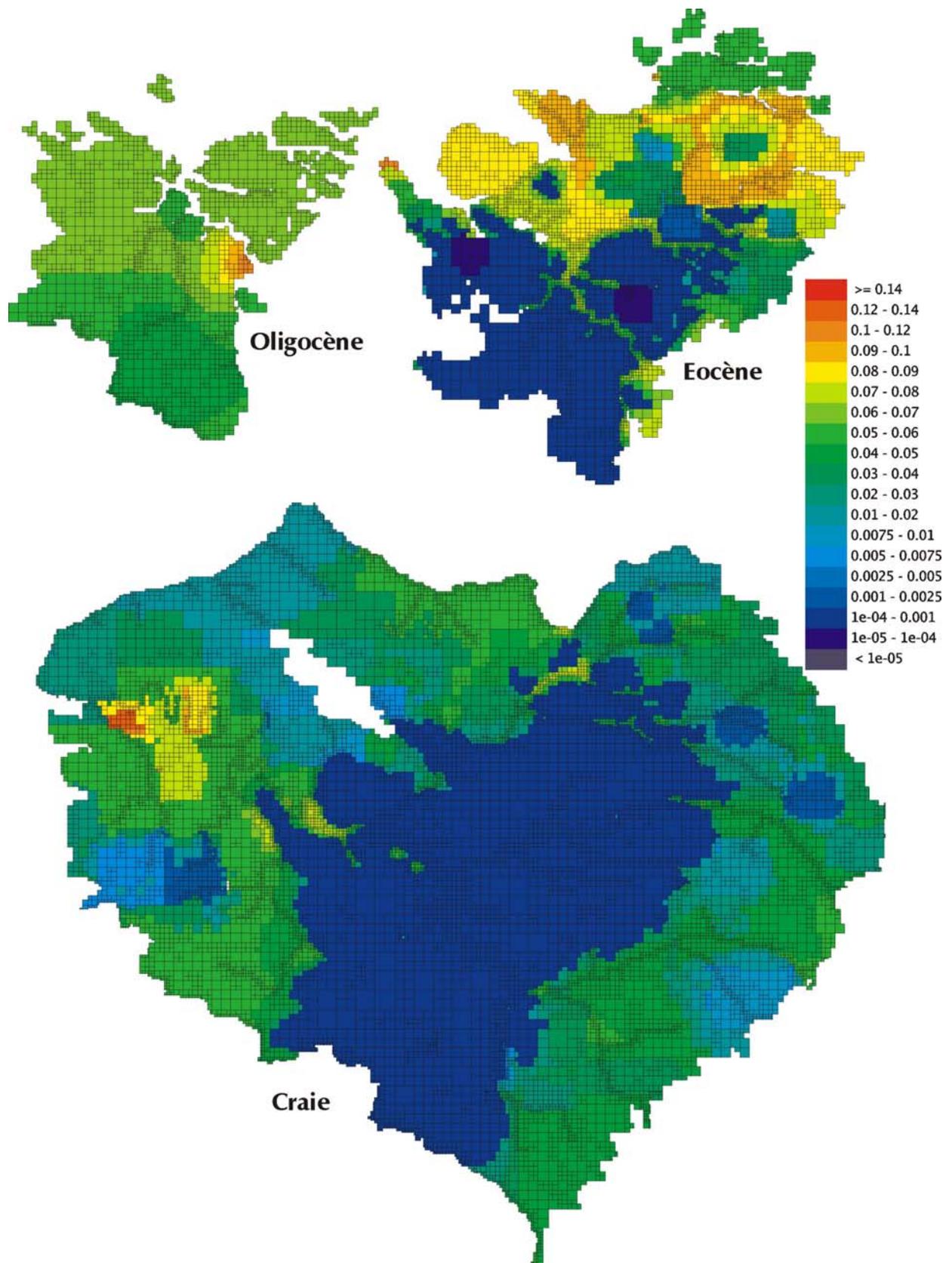


Figure 3 : cartes de coefficient d'emmagasinement obtenues après calage

## 2 : Restitution des débits aux principales stations hydrométriques

Associées au calage des évolutions piézométriques, la modification de certaines fonctions de production du modèle de surface a permis d'améliorer les courbes de restitution des débits des trois grandes rivières du bassin (Seine, Marne et Yonne).

La figure 4 situe la répartition géographique des stations hydrologiques utilisées pour le calage du modèle (stations nommées : « stations GLS utilisées pour le calage »).

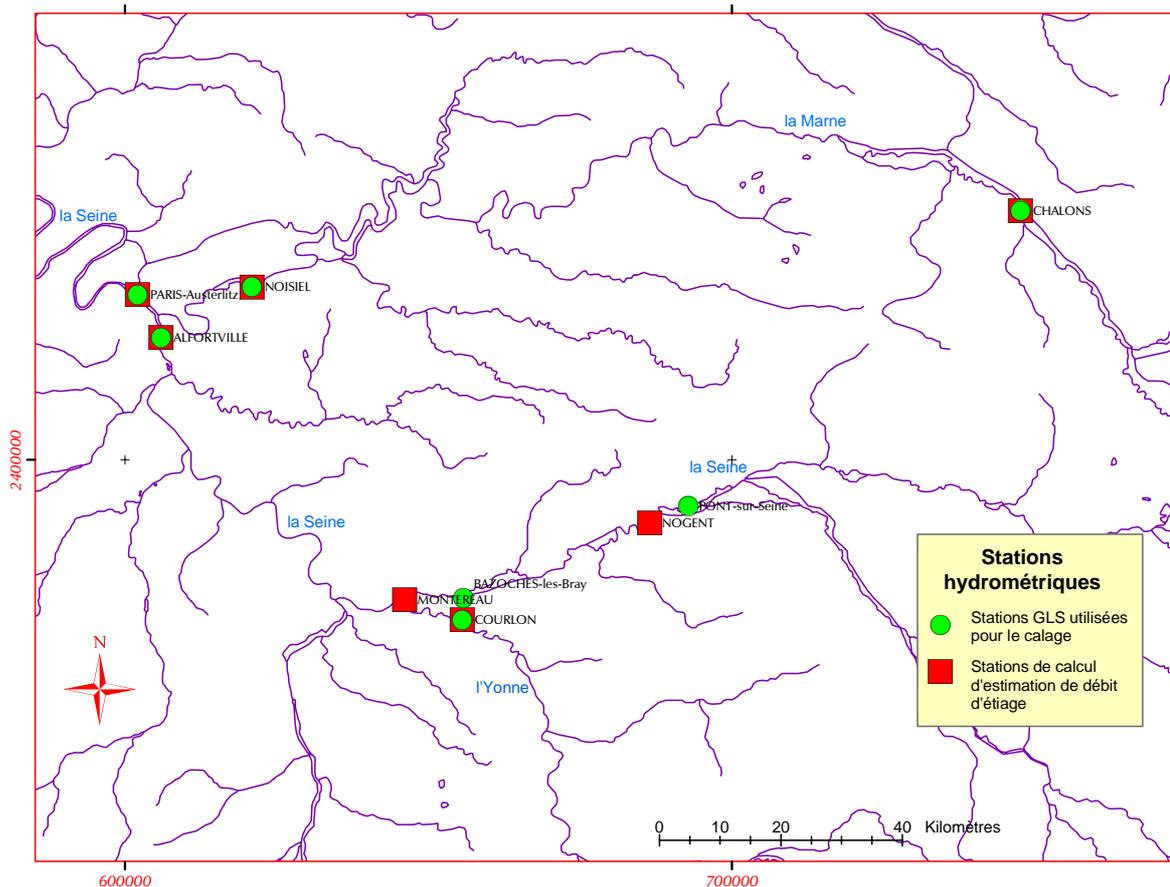


Figure 4 : situation géographique des stations hydrométriques

Les principales modifications ont été réalisées sur les fonctions de production représentant les zones urbaines et les zones alluviales afin de mieux reproduire, entre autres, l'influence de précipitations soutenues, limitées dans le temps et dont la totalité ou presque part en ruissellement (phénomènes orageux par exemple).

La situation géographique de ces zones ainsi que la part relative représentée par ces fonctions de production sur les mailles de surface est précisée sur les figures 5 et 6.

Les figures 7 à 13 présentent les évolutions comparées des débits mesurés et calculés aux différentes stations sur la période du 1/08/1999 au 1/3/2004.

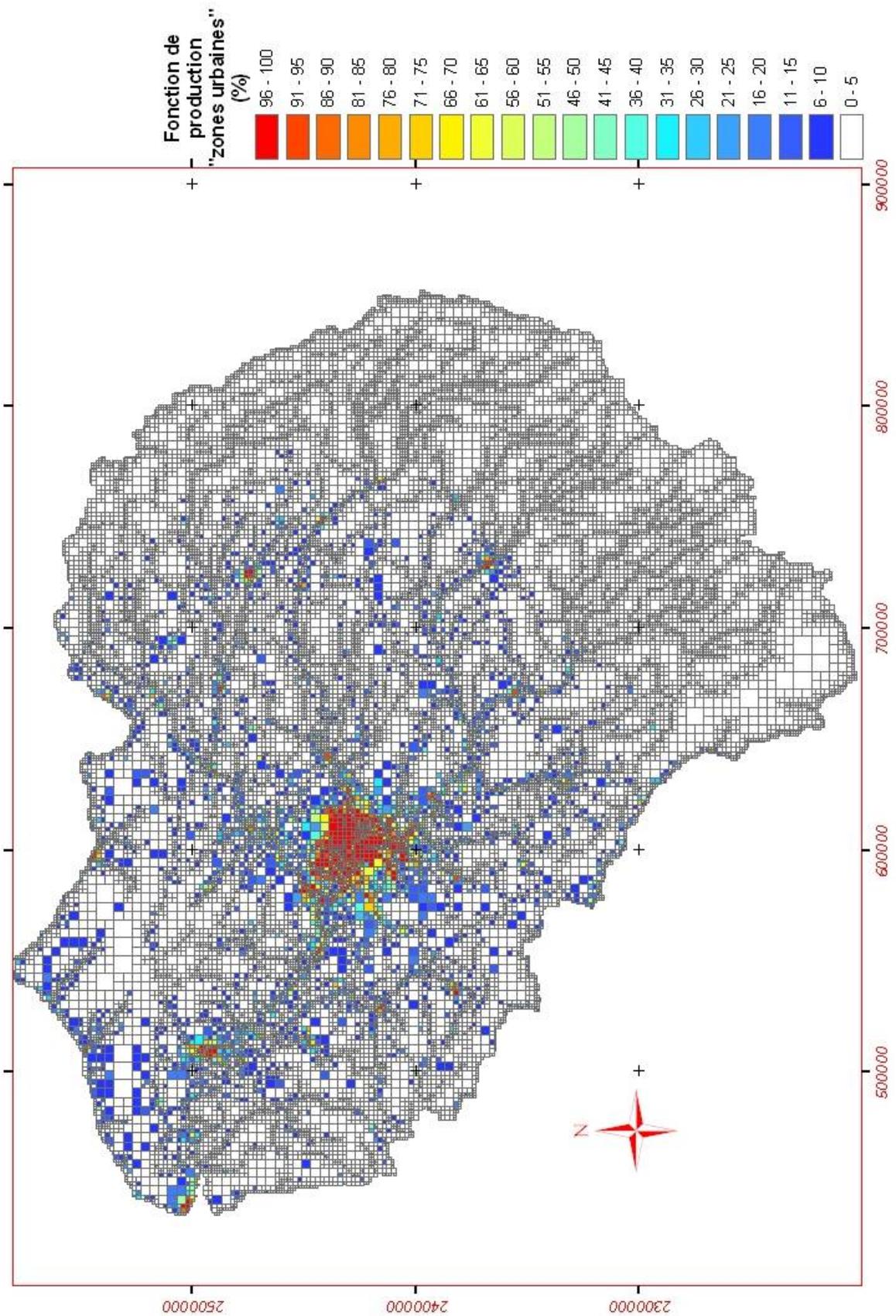


Figure 5 : répartition géographique des fonctions de production « zones urbaines »

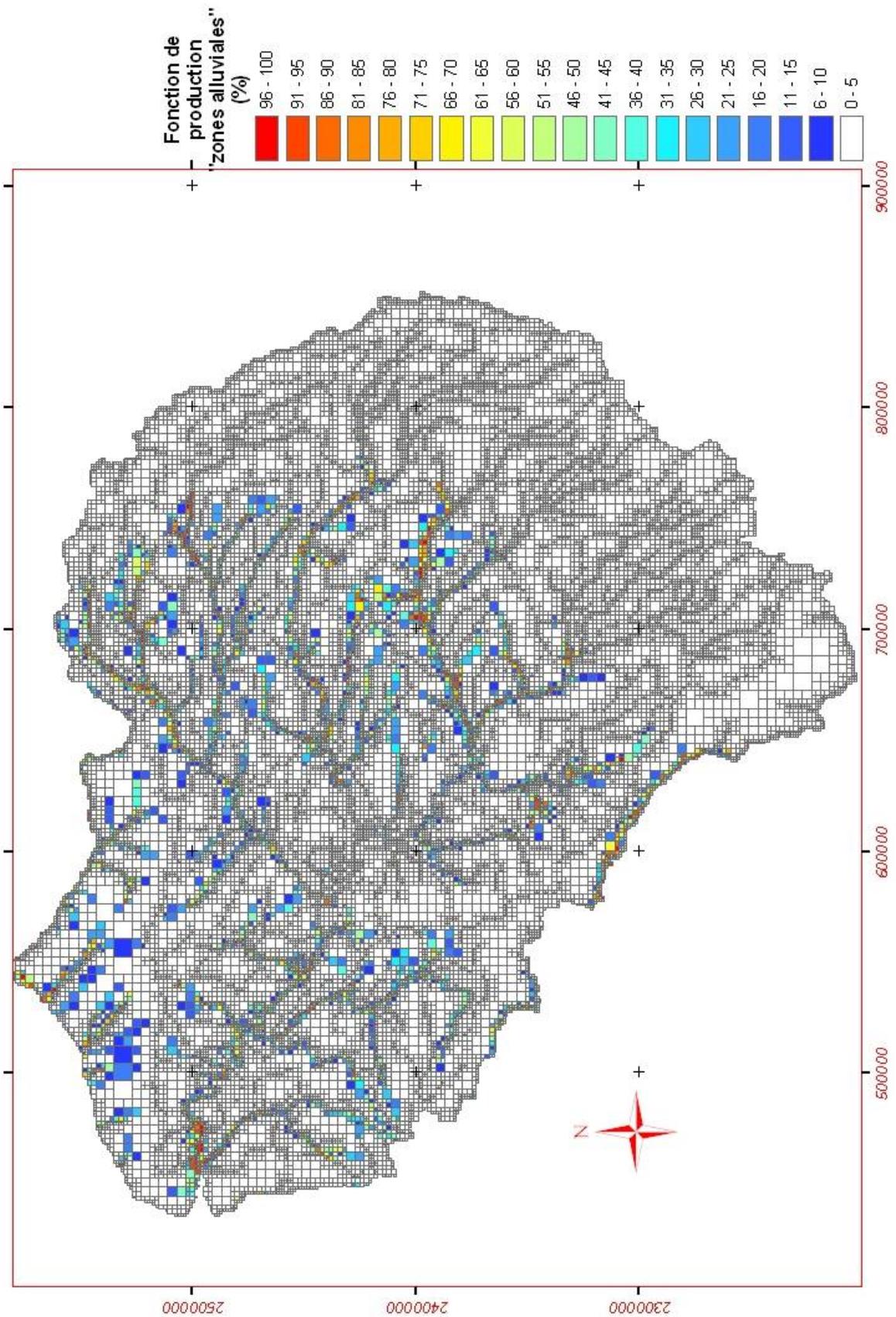


Figure 6 : répartition géographique des fonctions de production « zones alluviales »

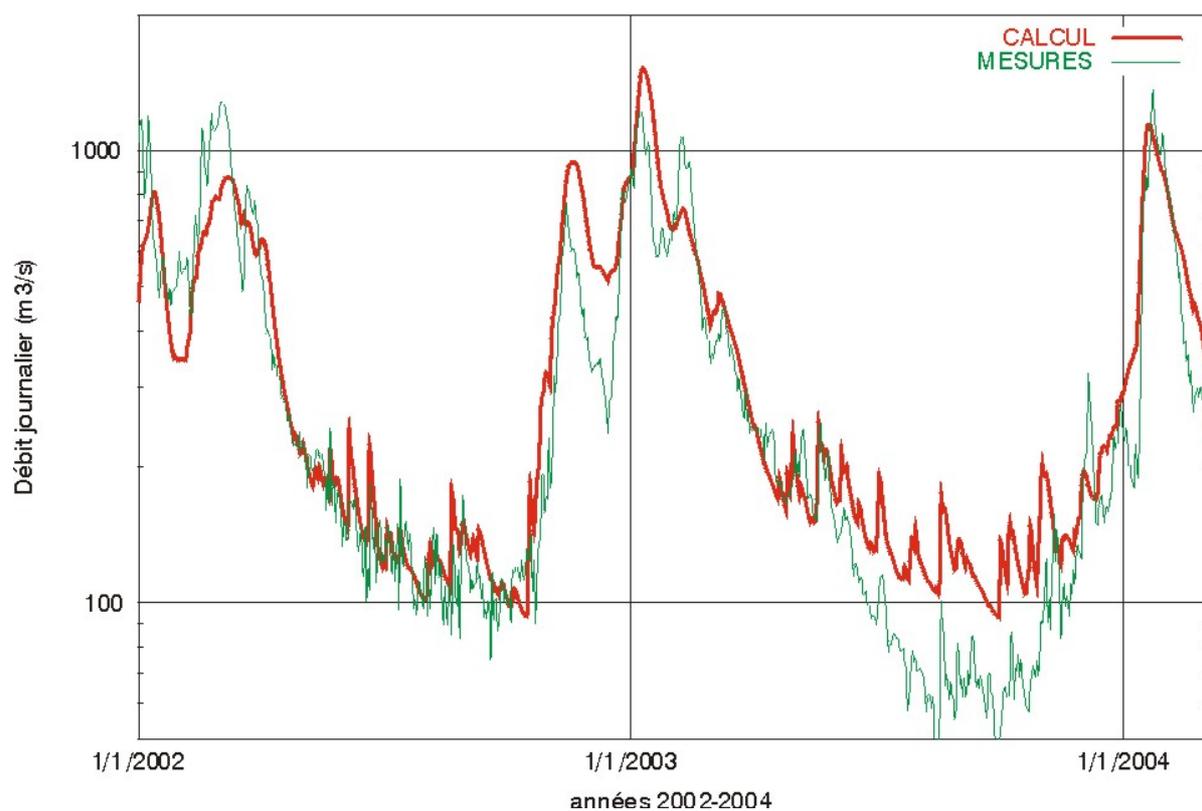
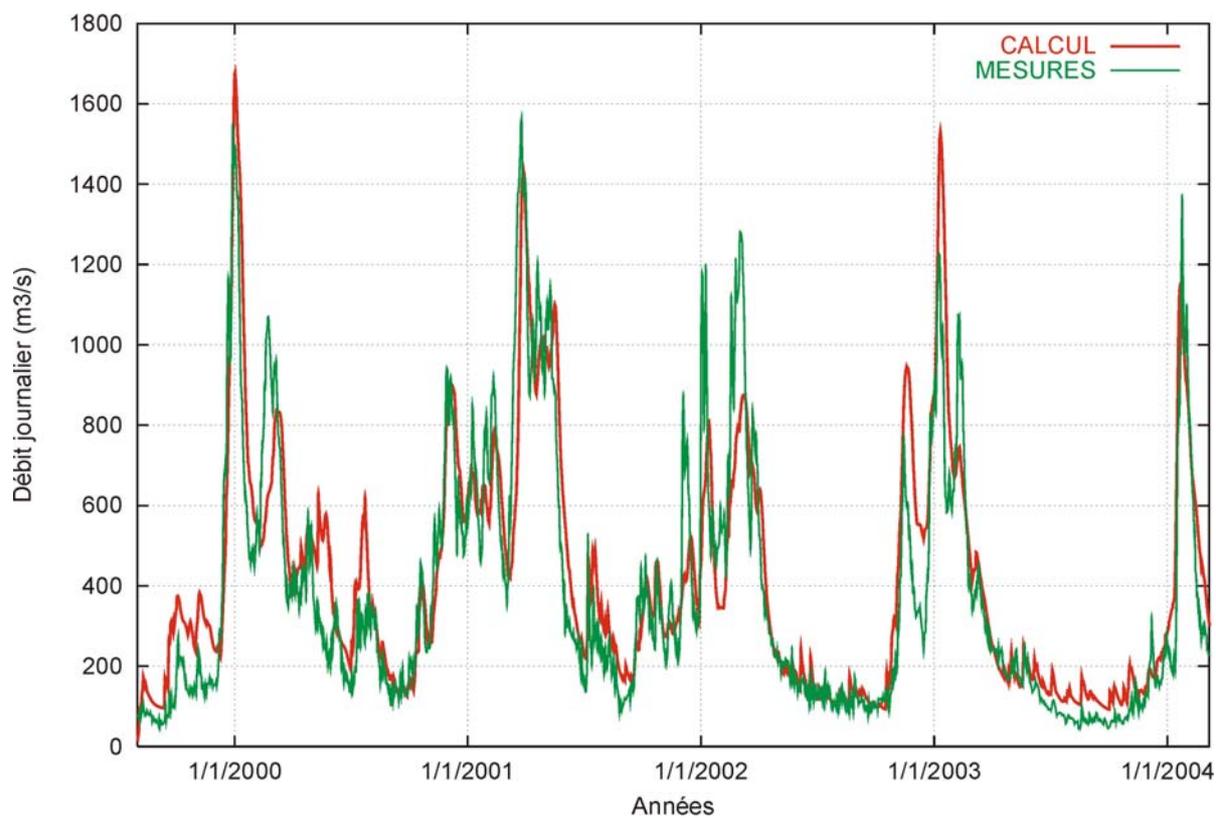


Figure 7 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine à Paris-Austerlitz

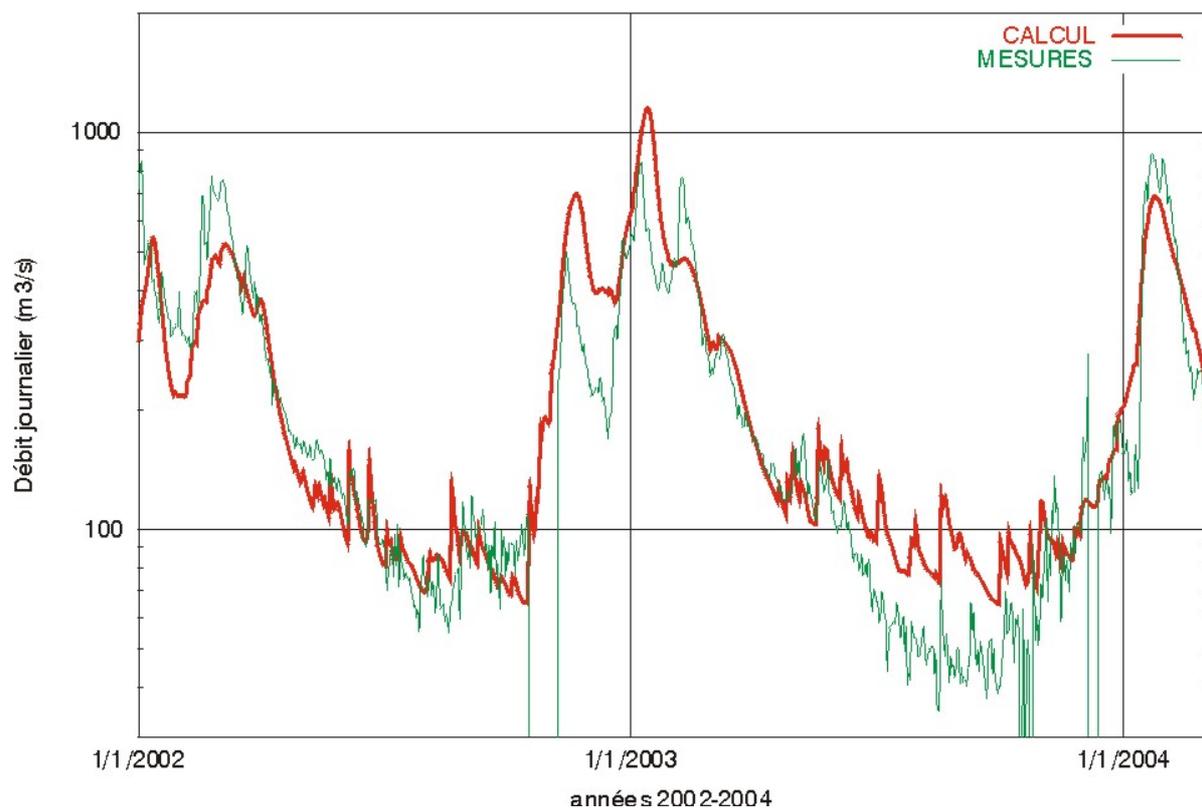
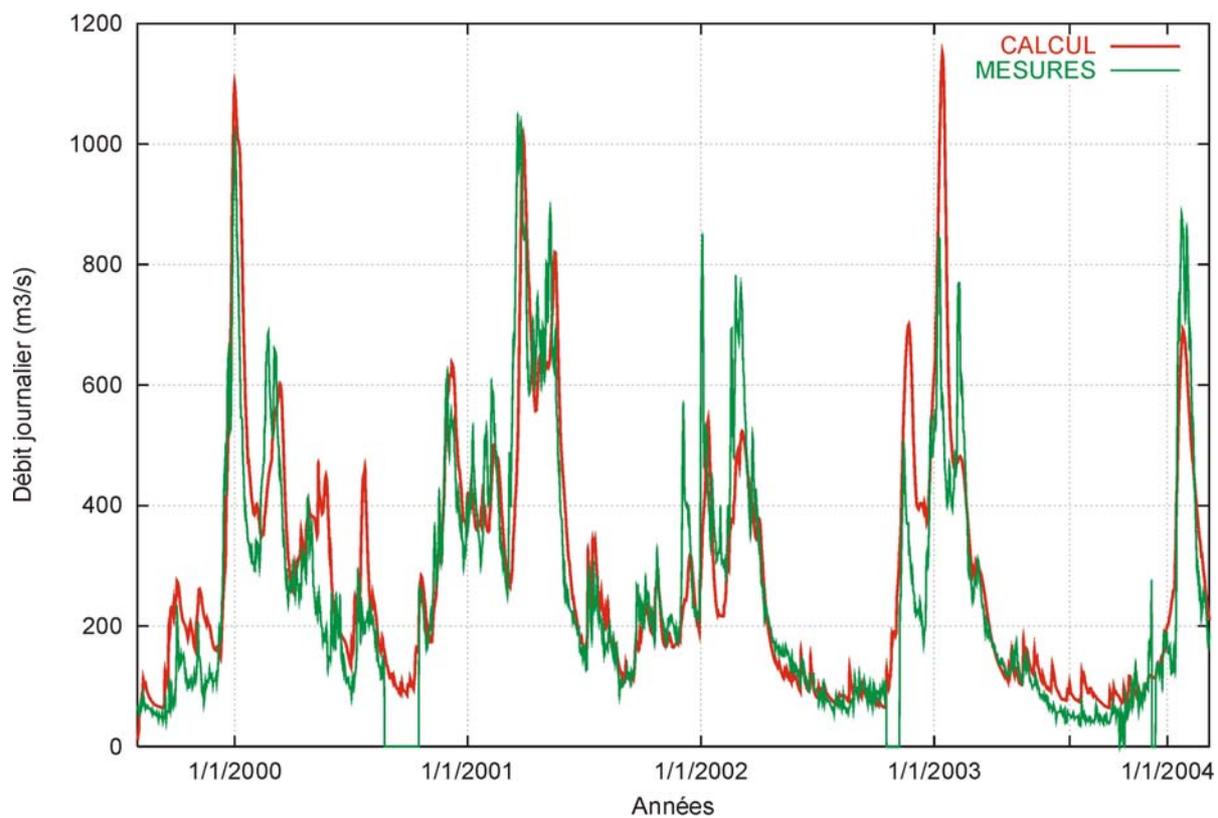


Figure 8 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine amont à Alfortville

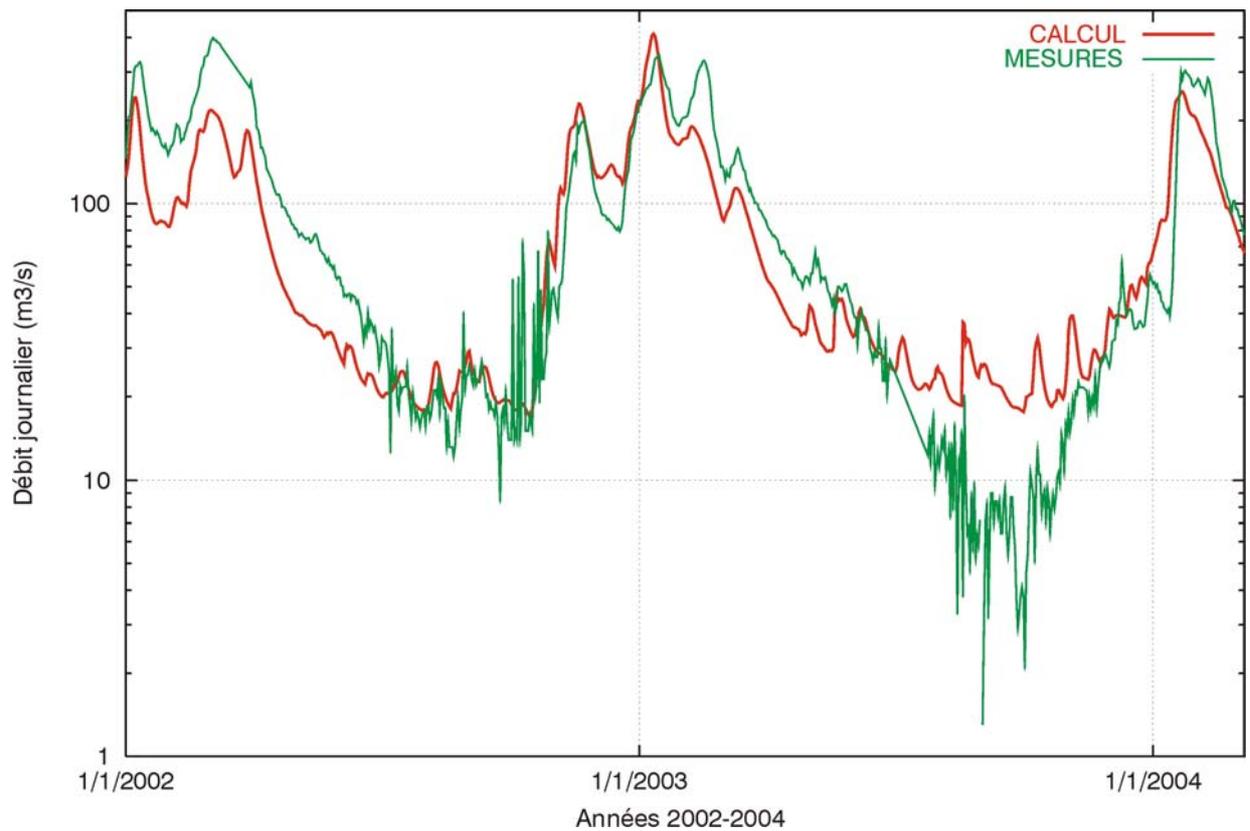
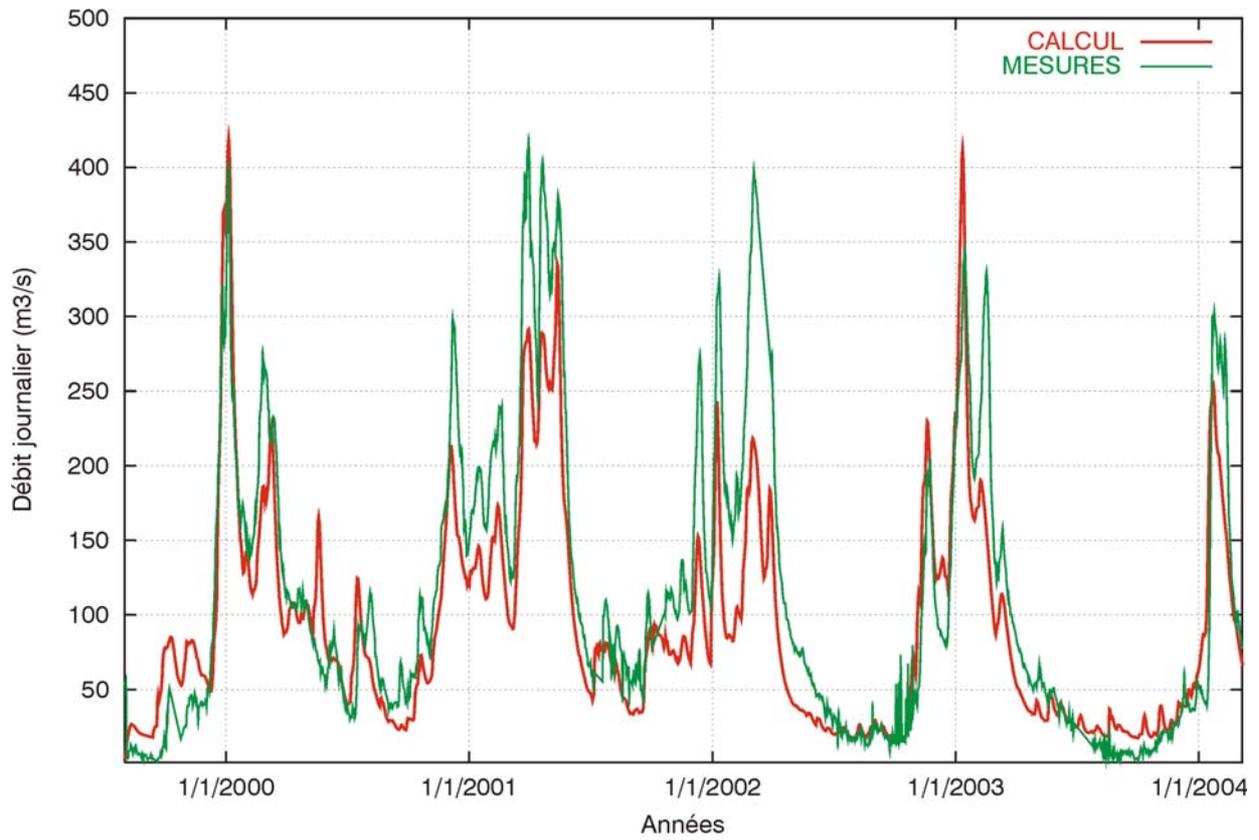


Figure 9 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine amont à Bazoches-les-Bray

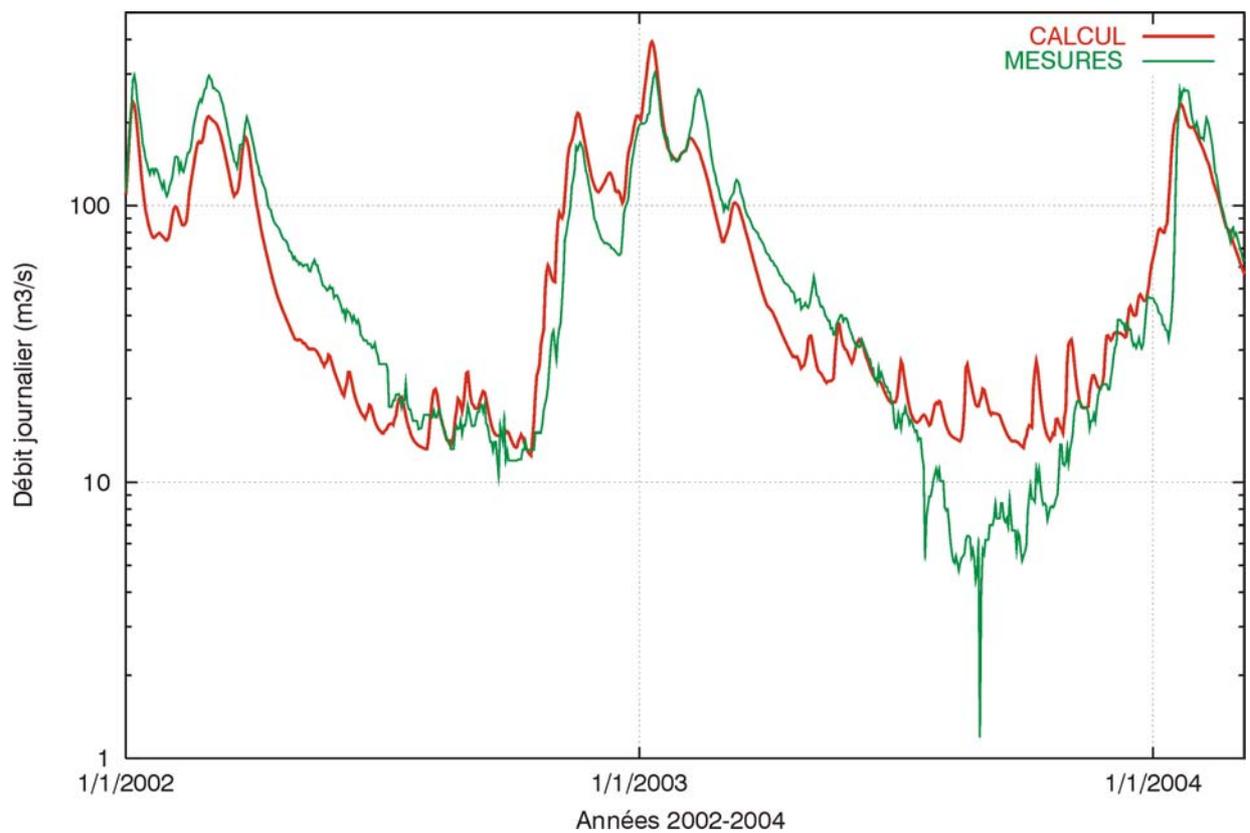
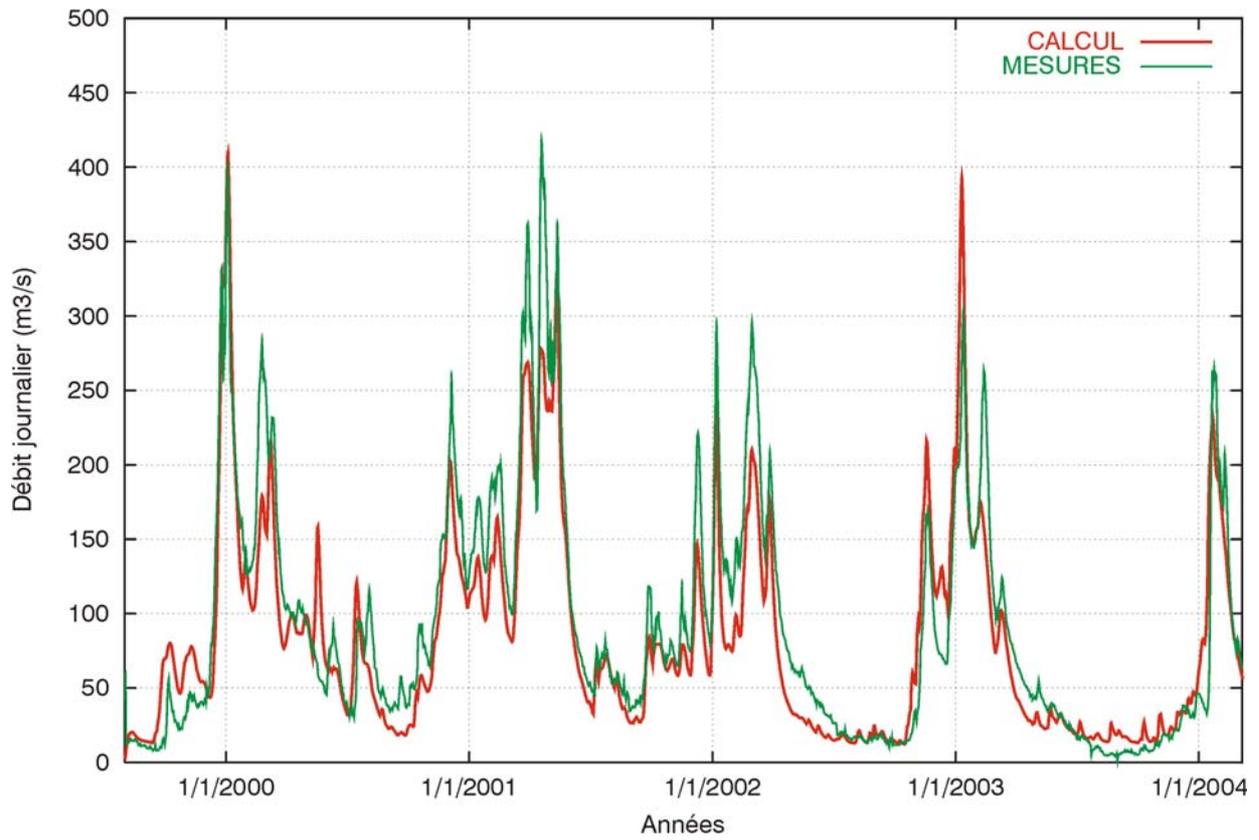


Figure 10 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine amont à Pont-sur-Seine

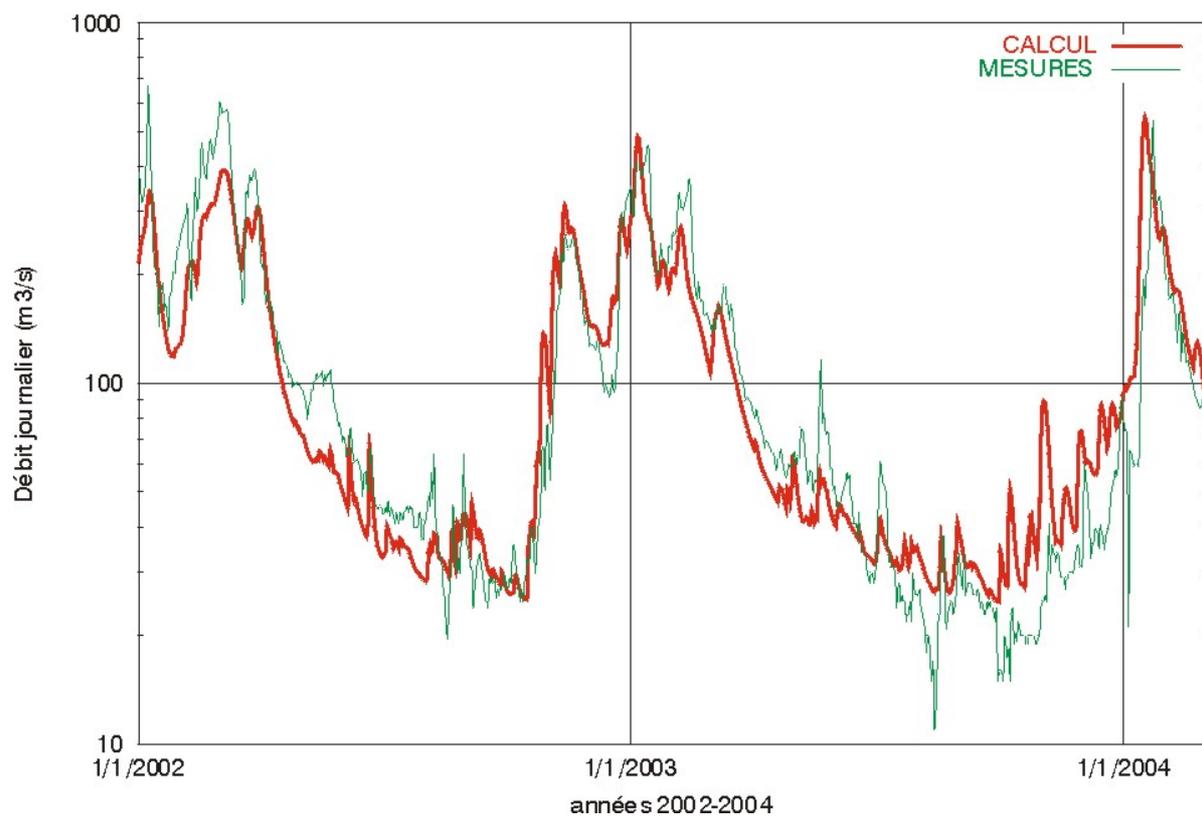
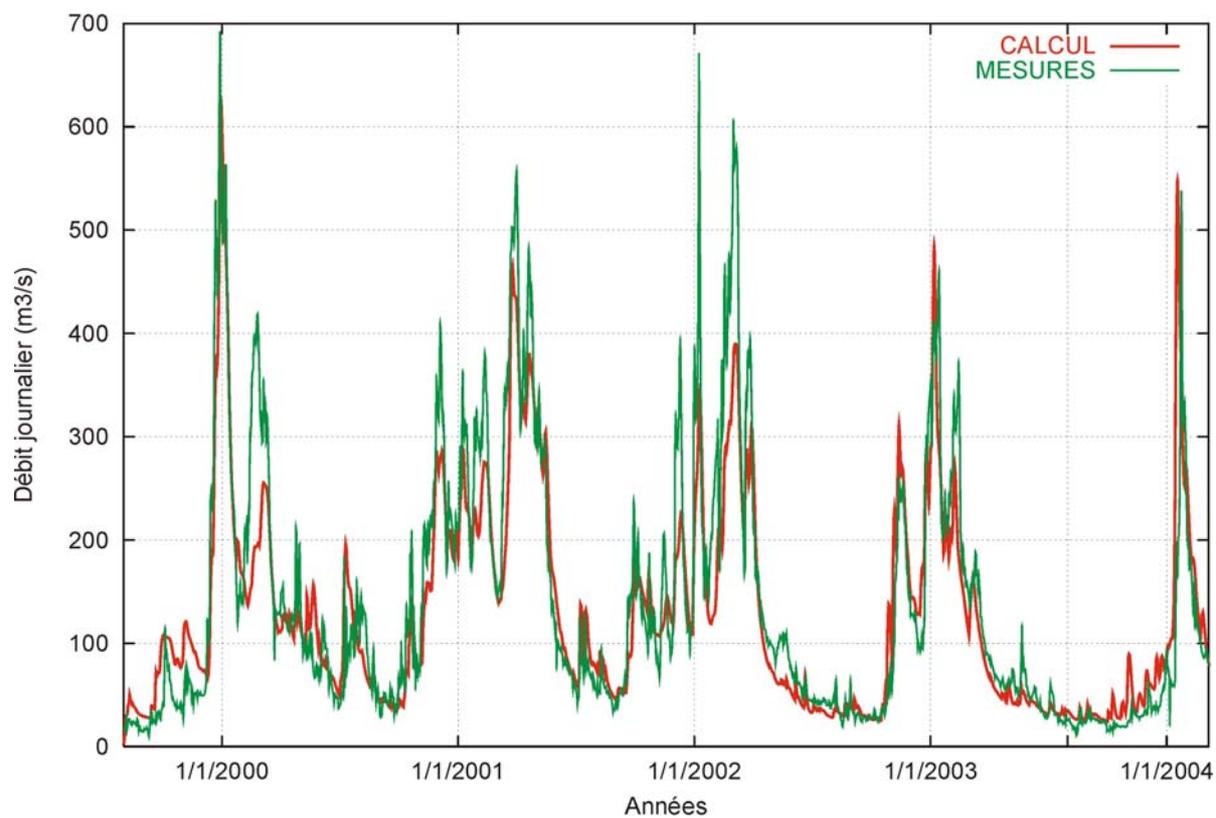


Figure 11 : comparaison des débits observés et calculés de la Marne à Gournay(Noisiel)

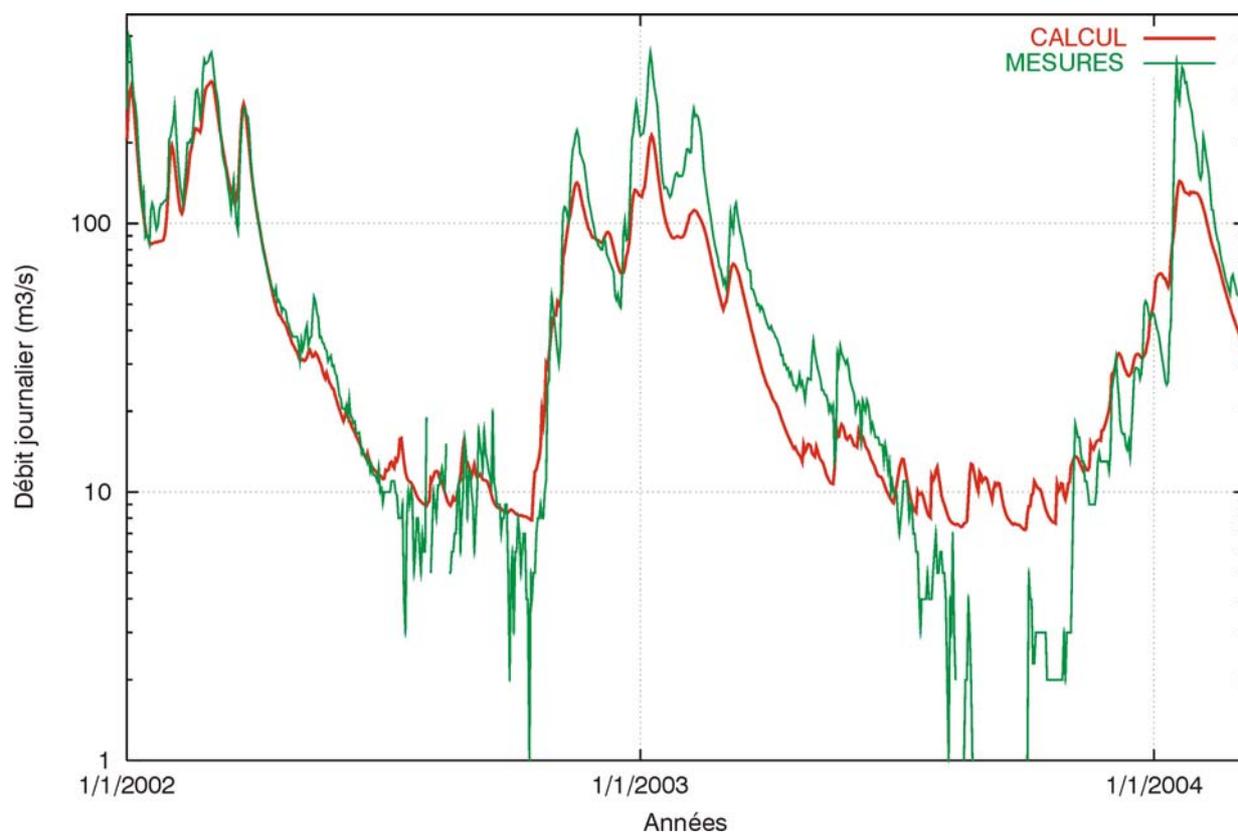
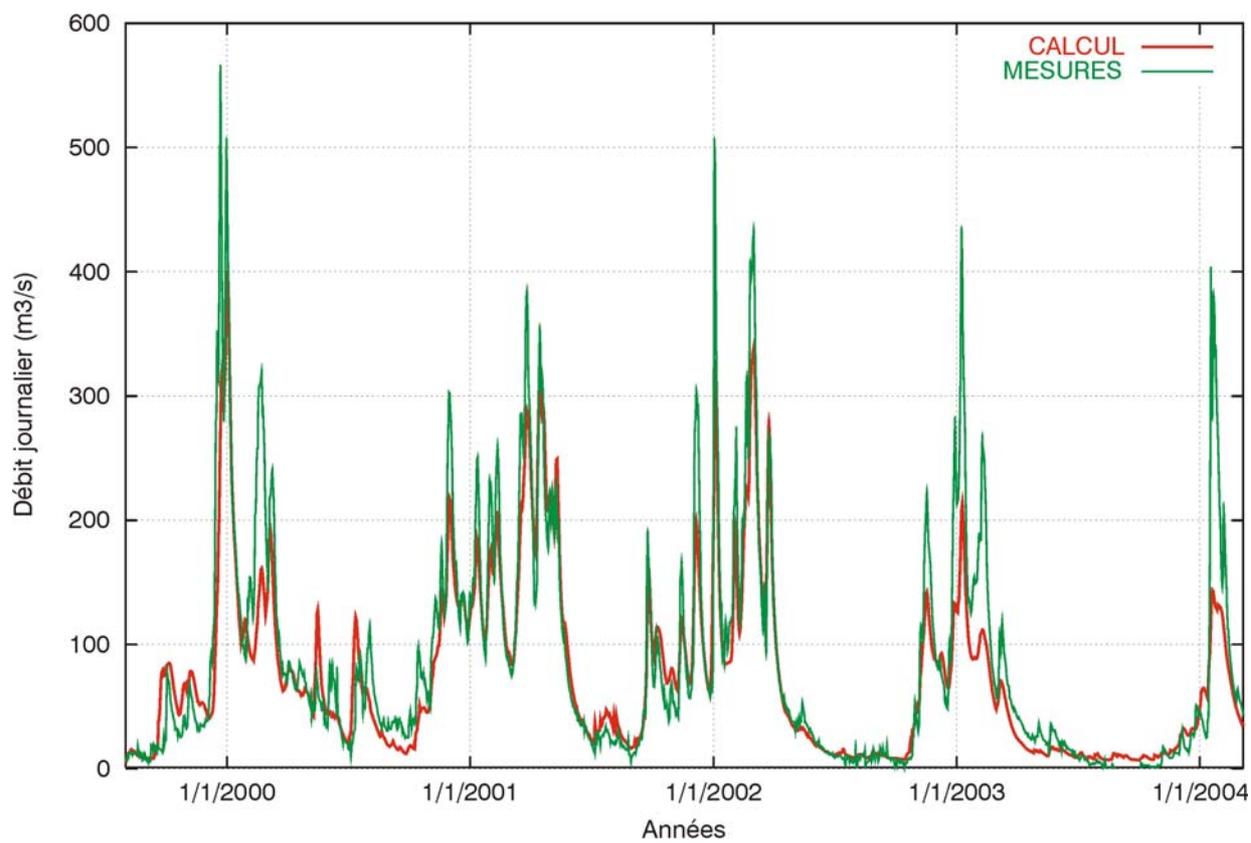


Figure 12 : comparaison des débits observés et calculés de la Marne à Châlons-en-Champagne

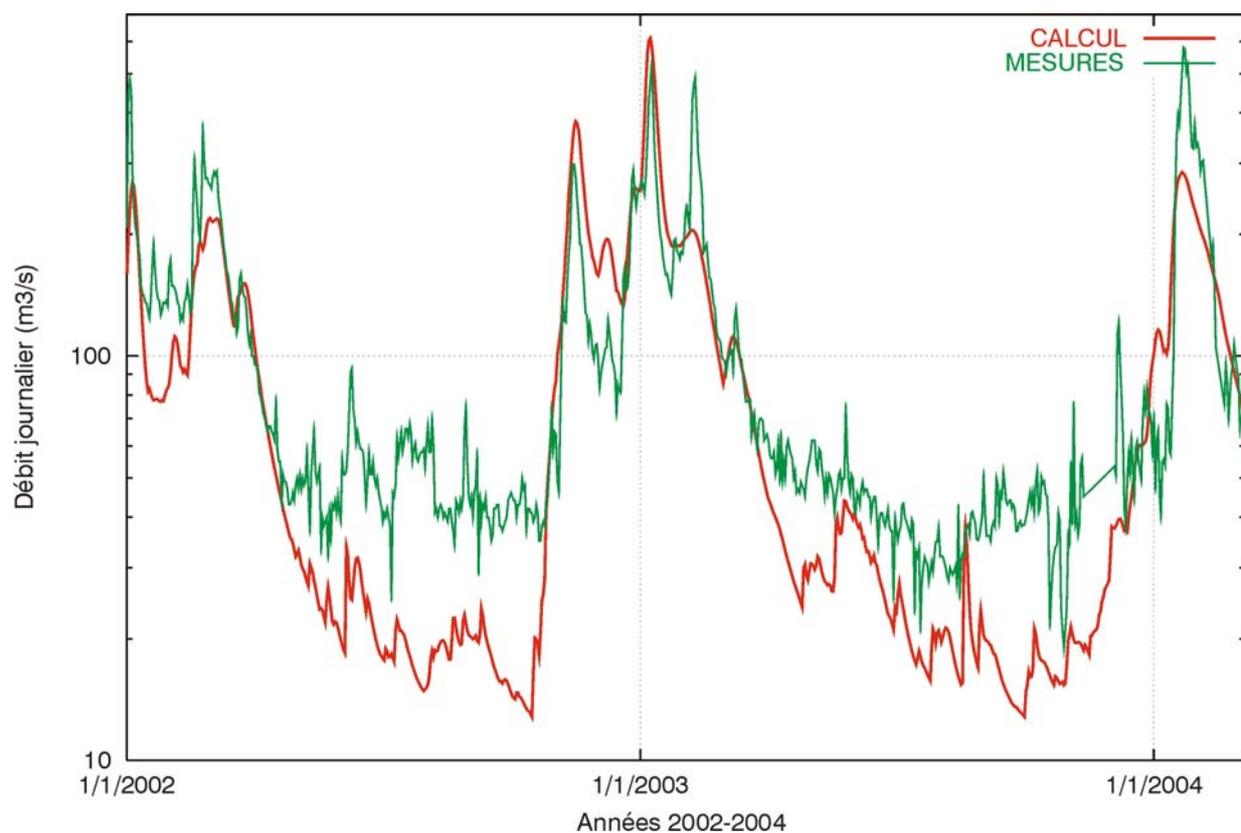
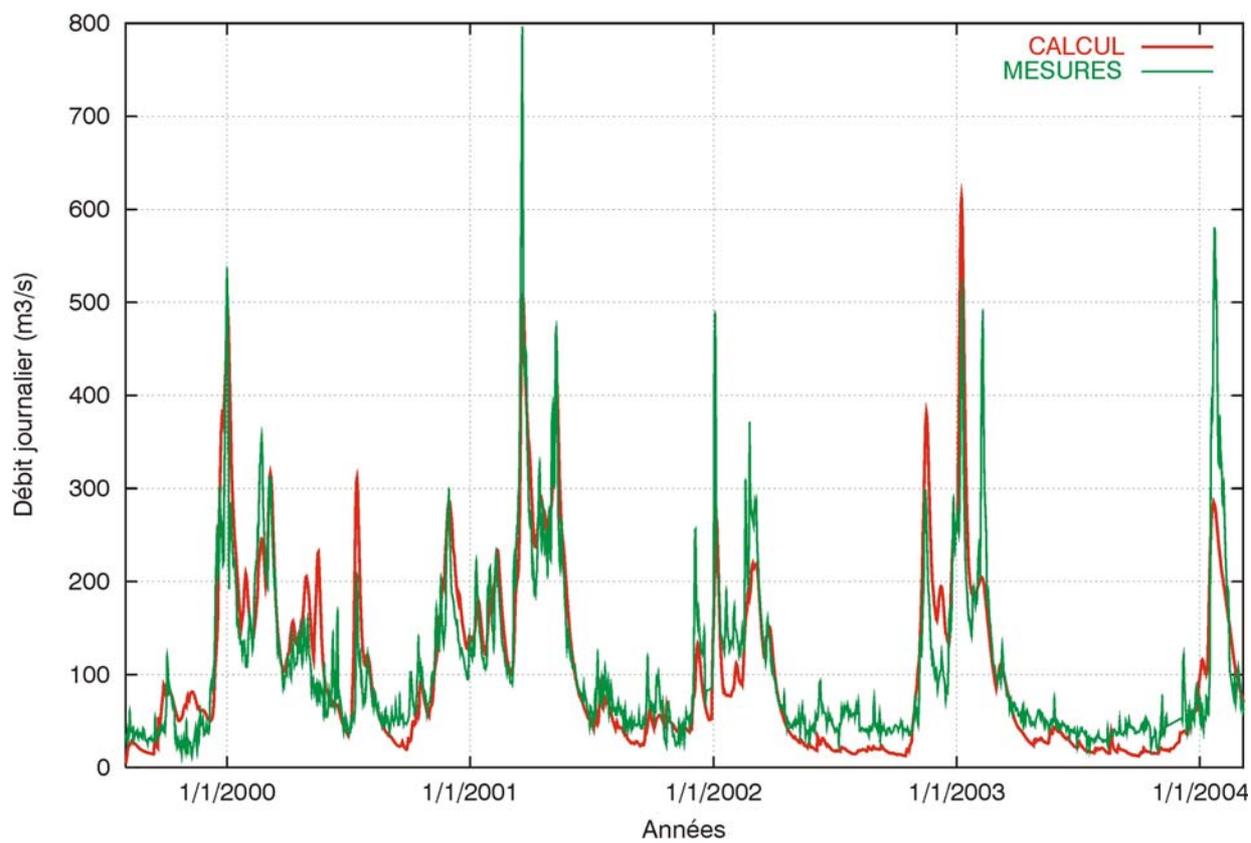


Figure 13 : comparaison des débits observés et calculés de l'Yonne à Courlon

Ces résultats font globalement apparaître une difficulté à reproduire les débits de crue de fin d'hiver 2001/2002 et ce sur la Marne et la Seine, les autres années étant beaucoup mieux reproduites. En 2002 lors d'un calcul similaire, E. Gomez avait mis en doute la validité des données météorologiques fournies par Météo-France sur cette période de par leur caractère trop récent (à l'époque) qui n'autorisait pas une critique poussée de leur validité et de la méthode d'interpolation. Or, depuis, ces données ont été validées et la mauvaise reproduction des débits pendant cette période reste donc inexplicée. Sur l'Yonne à Courlon, les crues du début d'année 2002 sont globalement mieux représentées mais sur cette station, ce sont les étiages qui sont mal reproduits, avec des valeurs calculées systématiquement trop faibles en cas d'absence prolongée de pluies efficaces (étés 2002 et 2003).

Enfin il faut noter l'absence de prise en compte dans le modèle des prélèvements effectués en Seine en amont de Paris. Ces prélèvements sont évalués en moyenne à  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  et la figure 14 montre qu'une simple translation des débits calculés de cette valeur améliore sensiblement la concordance mesure-calcul, notamment en période de fort étiage comme ce fut le cas en 2003.

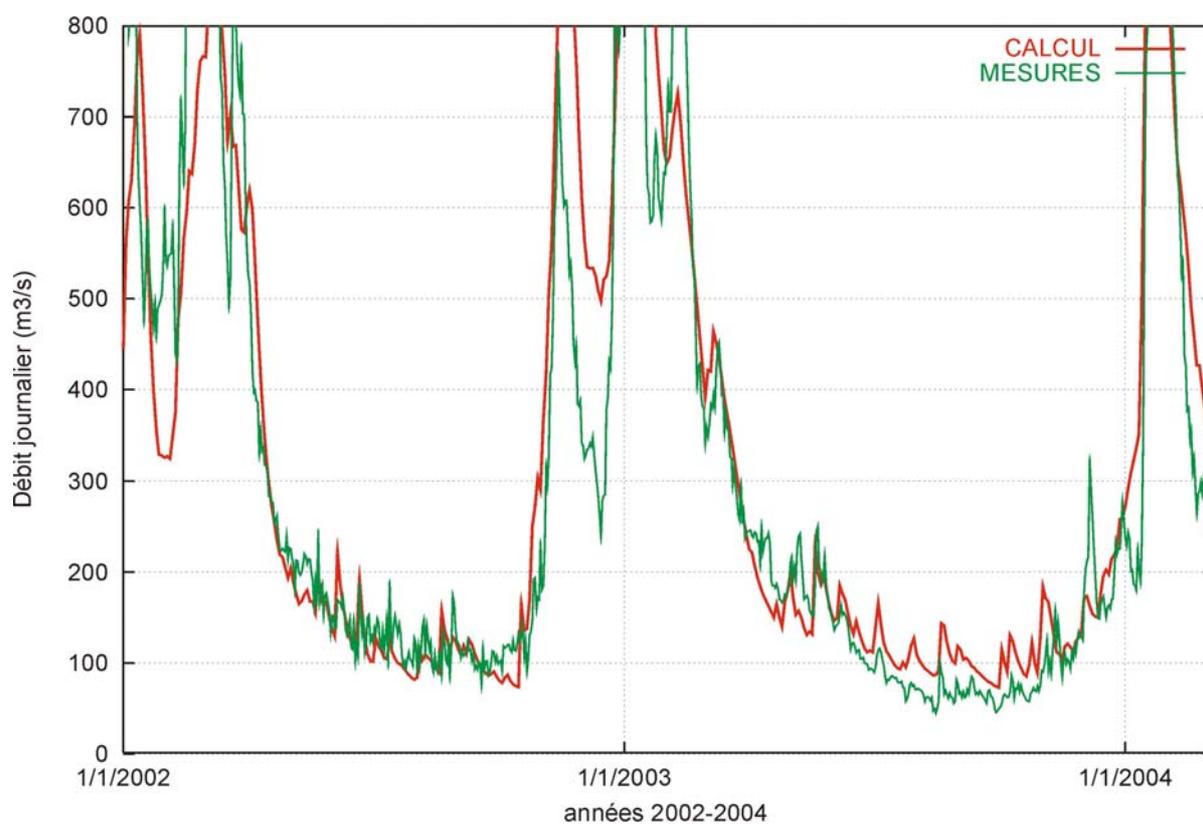


Figure 14 : comparaison des débits observés et calculés de la Seine à Paris-Austerlitz après application d'un débit de prélèvement de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  en amont de Paris

### 3 : Estimation d'un débit d'étiage prolongé en 2004

Une simulation prospective a été effectuée en supposant une absence totale de précipitation à partir du 4 mars 2004 et ce jusqu'au 31 juillet 2005. Pendant cette période, les données d'évapotranspiration potentielle sont supposées identiques à celles rencontrées l'année précédente.

Les figures 15 à 21 présentent les résultats obtenus sur la Seine, la Marne et l'Yonne aux stations de Paris-Austerlitz, Alfortville, Montereau et Nogent pour la Seine, Gournay (Noisiel) et Châlons-en-Champagne pour la Marne et Courlon pour l'Yonne.

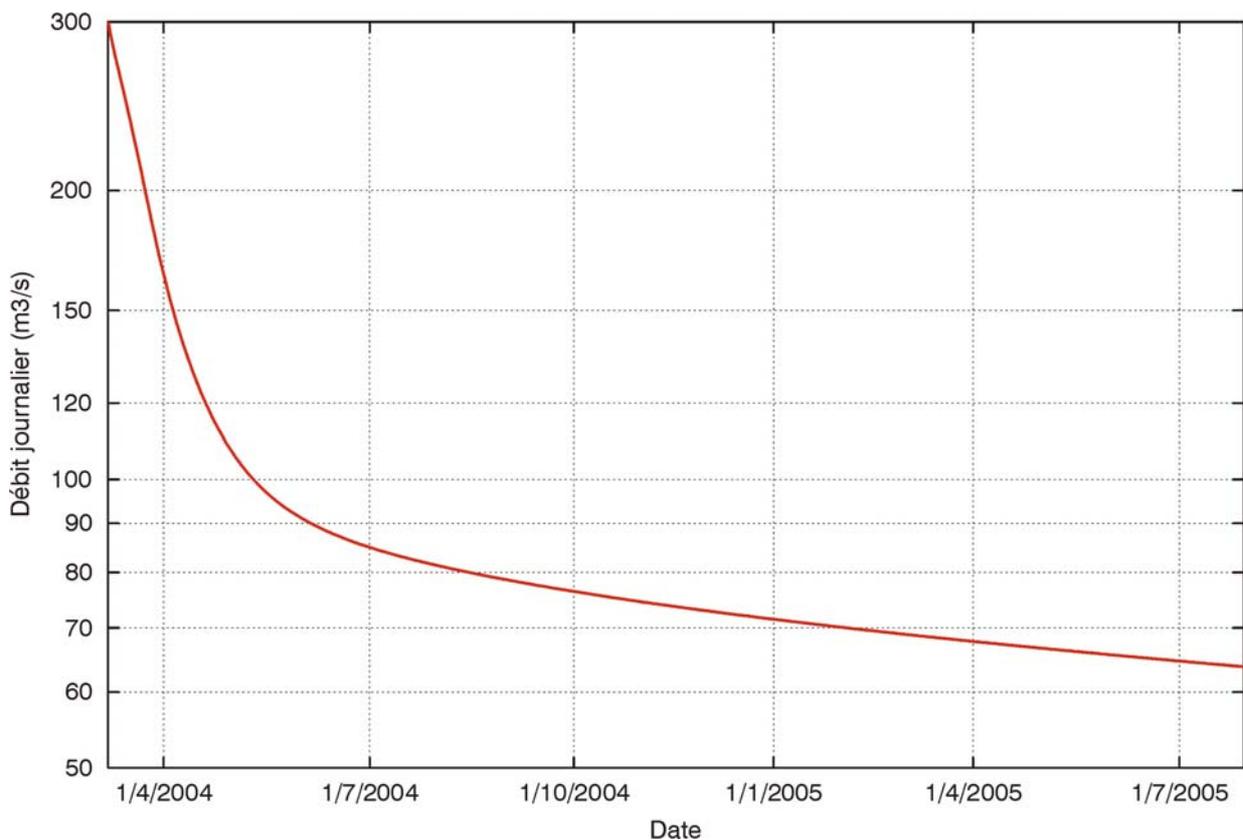


Figure 15 : débit calculé de la Seine à Paris en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

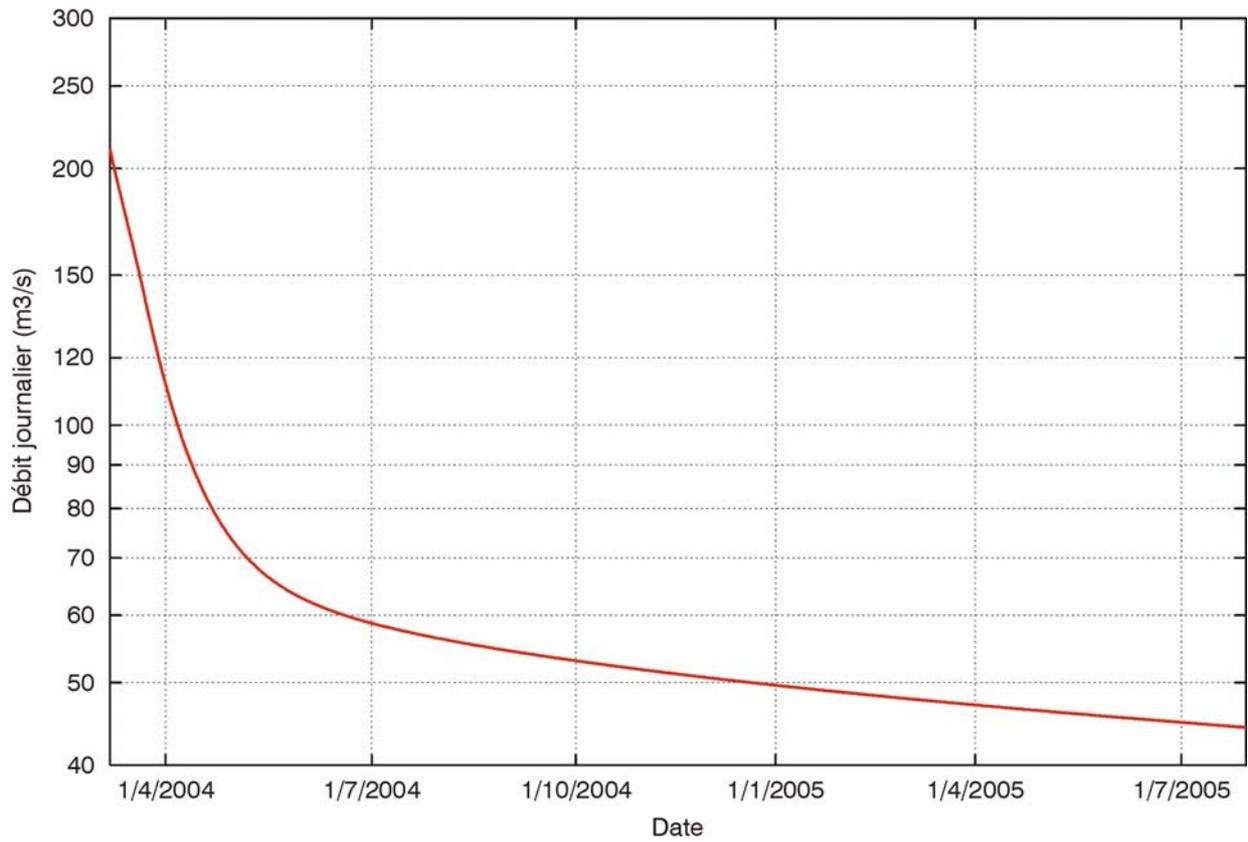


Figure 16 : débit calculé de la Seine à Alfortville en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

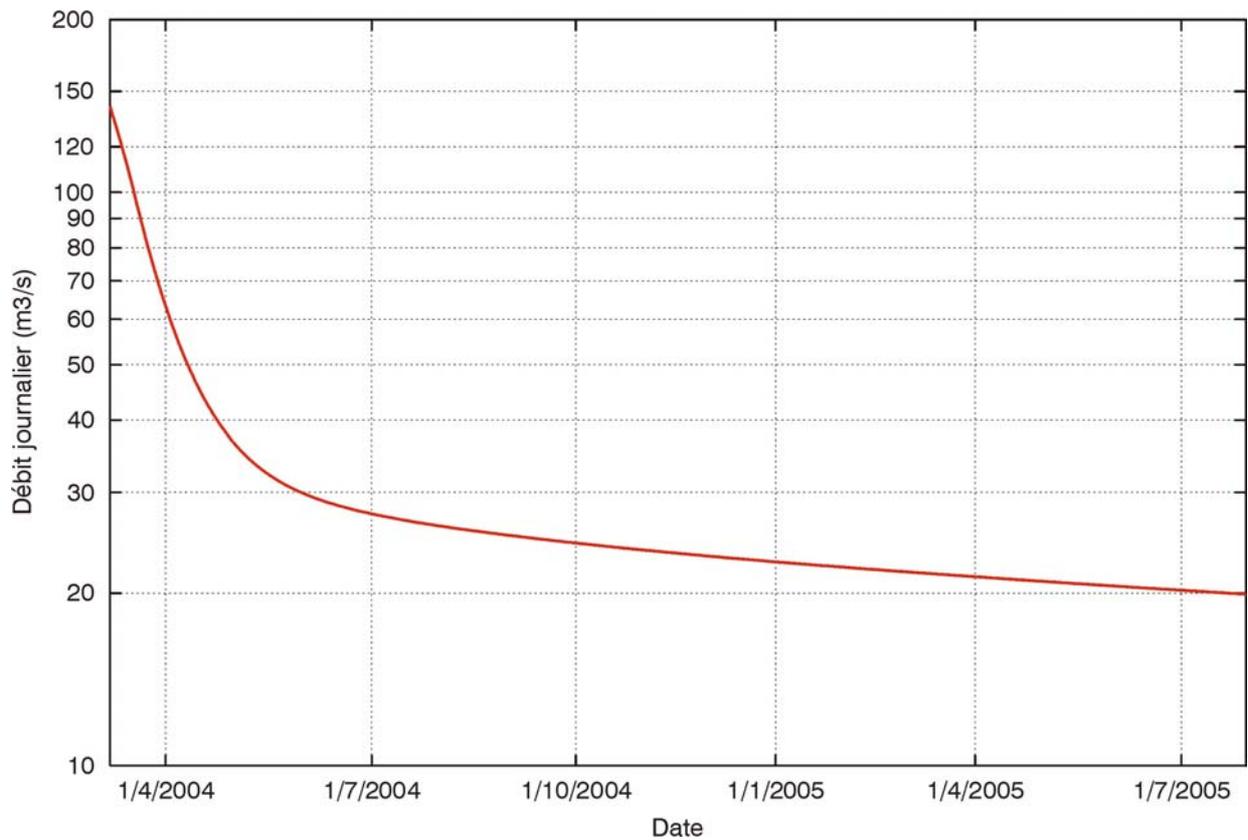


Figure 17 : débit calculé de la Seine à Montereau en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

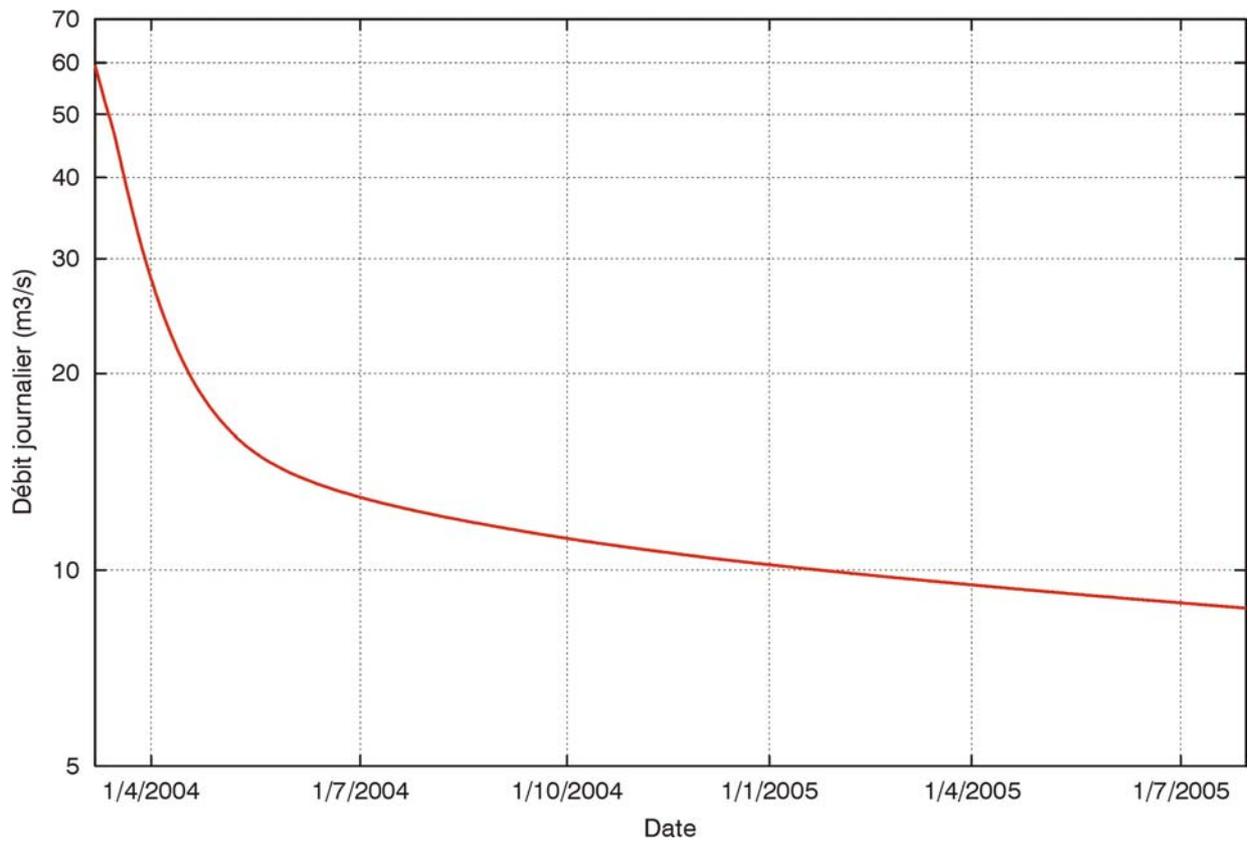


Figure 18 : débit calculé de la Seine à Nogent en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

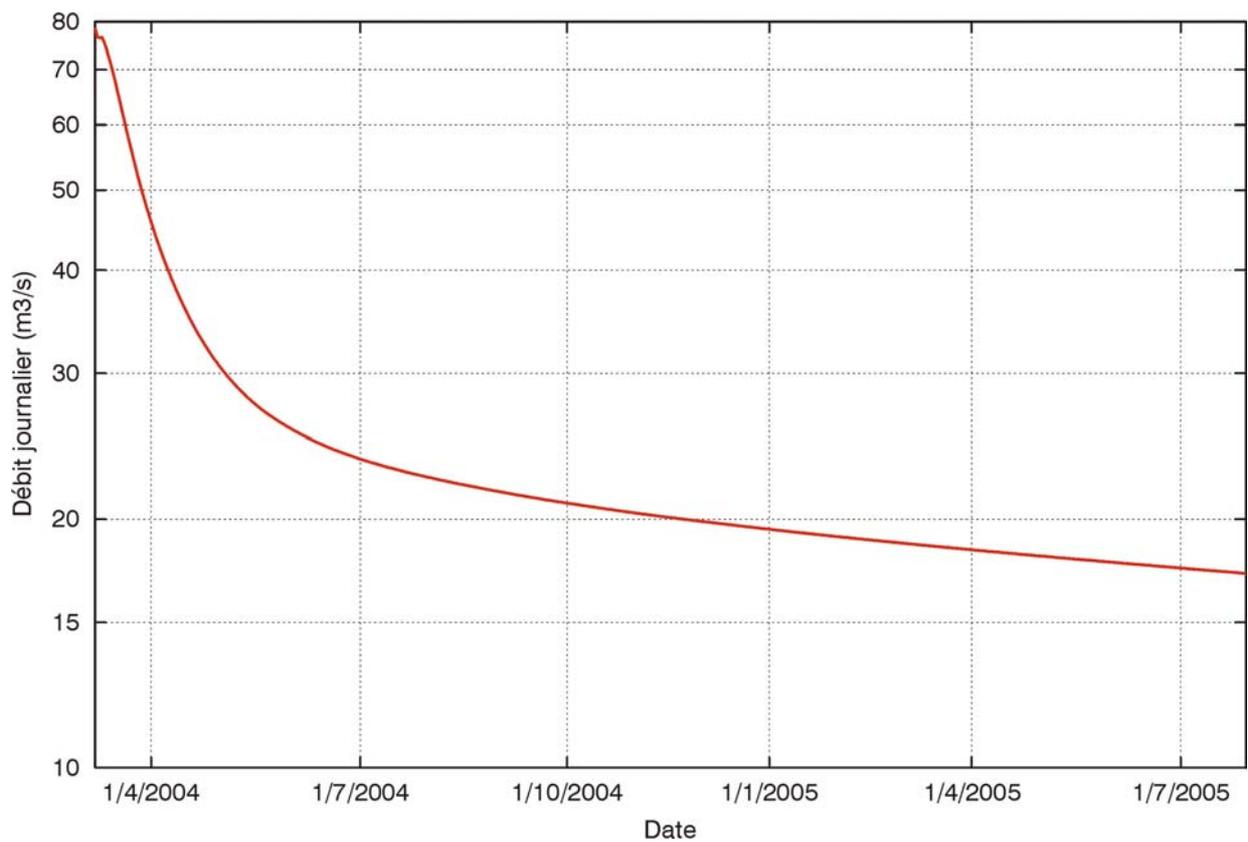


Figure 19 : débit calculé de la Marne à Gournay (Noisiel) en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

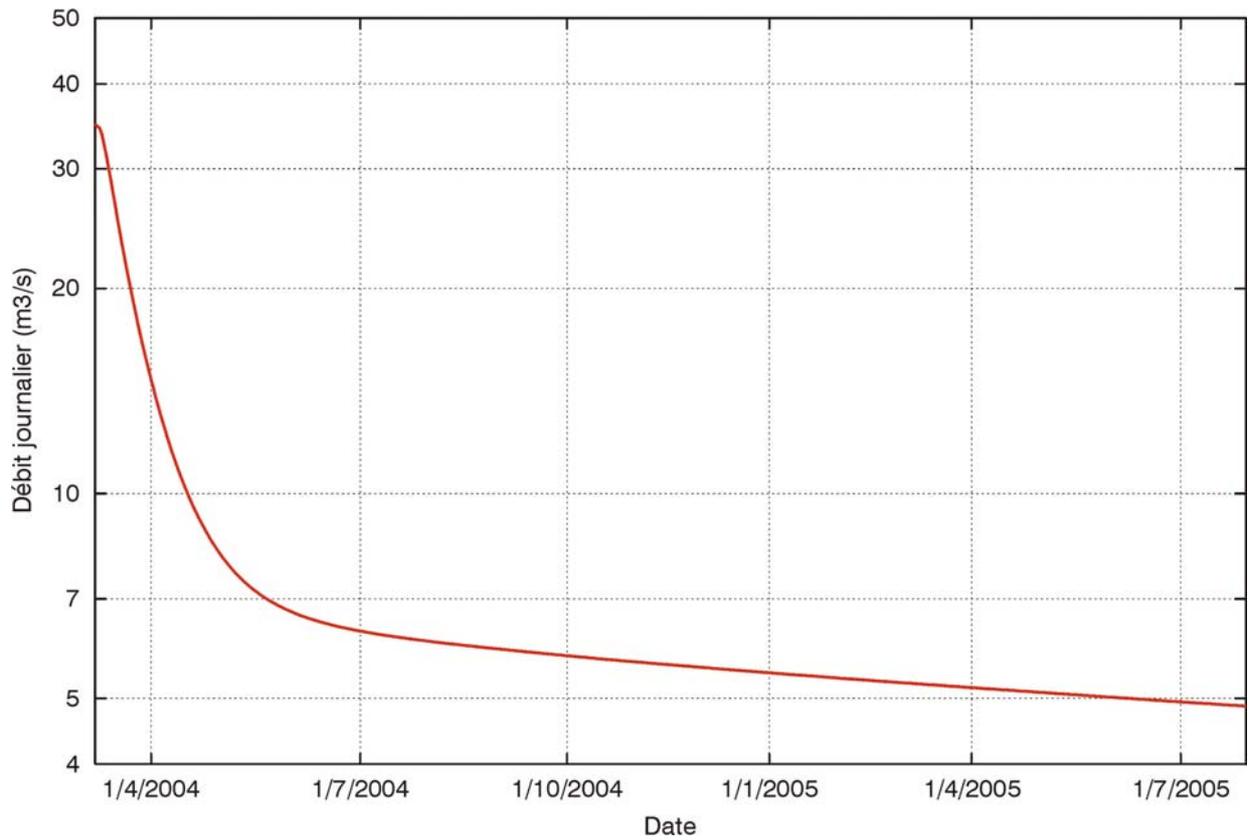


Figure 20 : débit calculé de la Marne à Châlons en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

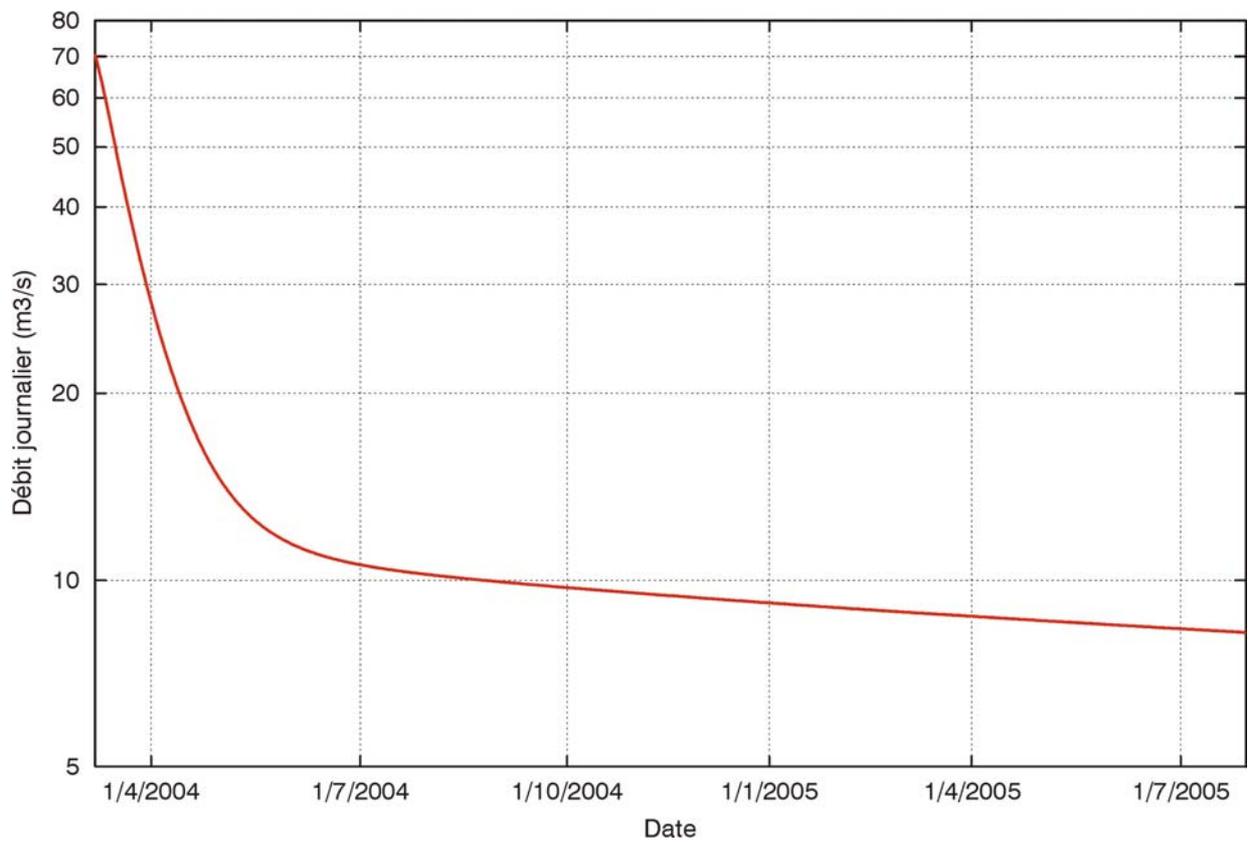


Figure 21 : débit calculé de l'Yonne à Courlon en cas d'étiage prolongé à partir du 4/3/2004

#### 4 : Estimation des débits de tarissement sur 18 mois

Compte tenu de la disponibilité sur plus de trente ans (1970/2004) de données météorologiques spatialisées au pas de temps journalier (précipitation, ETP), le modèle actualisé par les modifications des paramètres hydrodynamiques (§1) a été utilisé afin d'étudier l'évolution temporelle du débit de base des grandes rivières du bassin lié aux apports des nappes internes. Ce débit de base représente la contribution totale des formations aquifères au débit des rivières. Trois rivières sont particulièrement étudiées : la Seine, la Marne et l'Yonne et au niveau de 7 stations hydrométriques : Nogent <sup>s</sup>/Seine, Montereau, Alfortville et Paris-Austerlitz pour la Seine, Châlons-en-Champagne, Gournay (Noisiel) pour la Marne et Courlon pour l'Yonne.

Les figures 22 à 28 présentent respectivement les débits de base calculés sur 34 ans pour l'ensemble de ces stations. Ces courbes mettent en évidence les variations saisonnières mais également les variations inter-annuelles liées à l'état général des grandes formations aquifères du bassin.

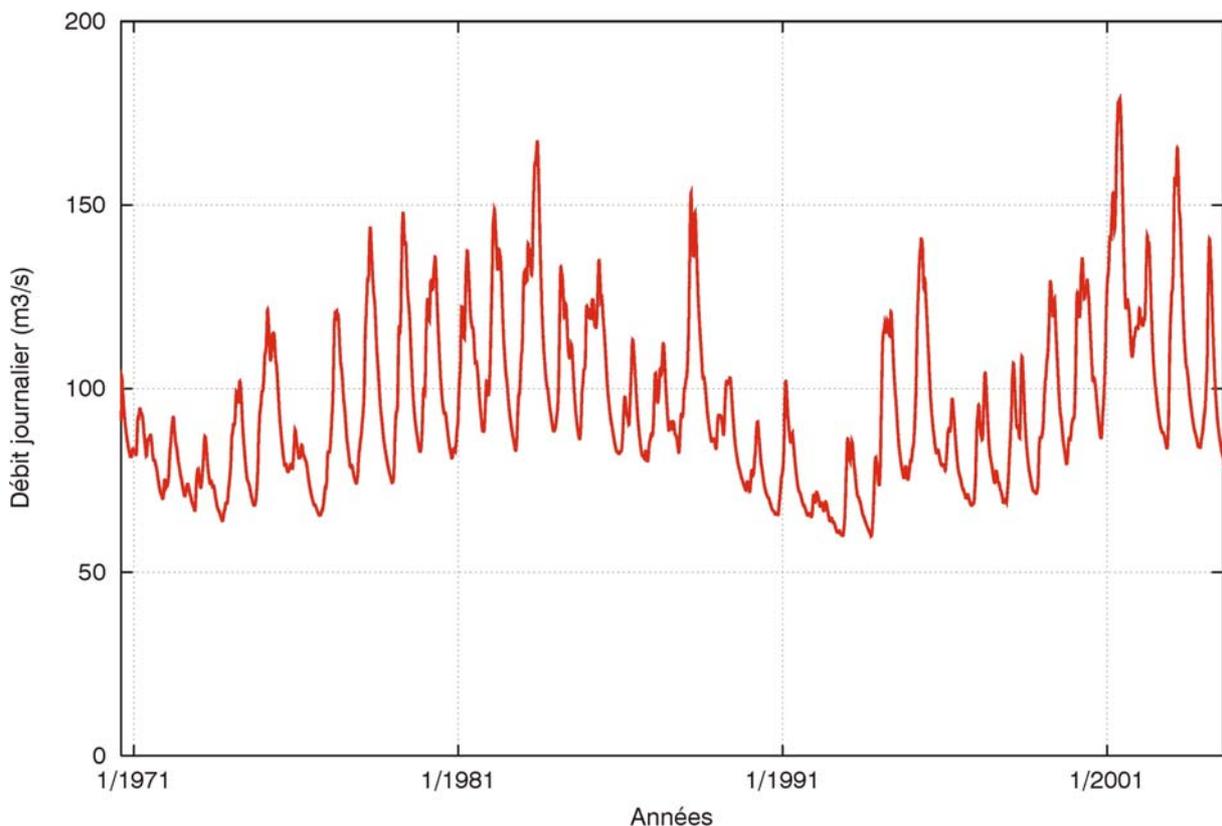


Figure 22 : débit de base de la Seine à Paris-Austerlitz fourni par les nappes internes

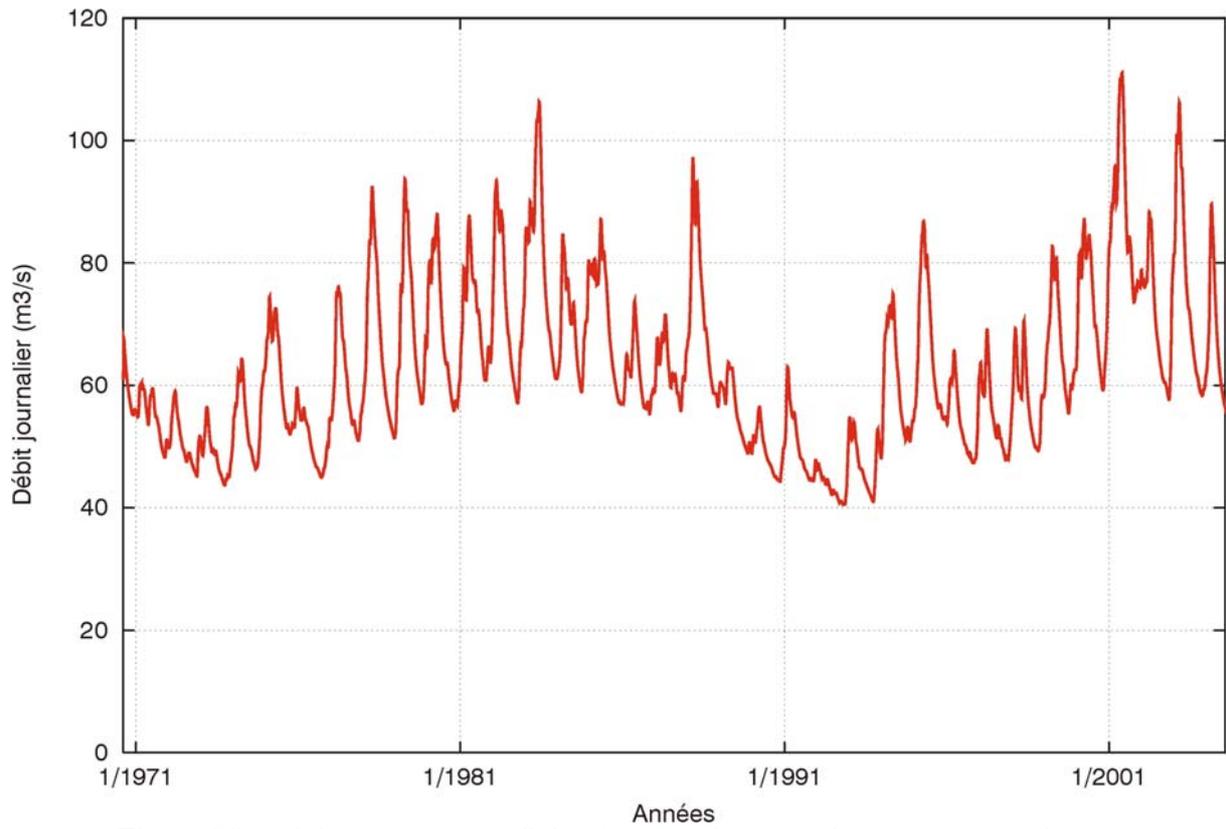


Figure 23 : débit de base de la Seine à Alfortville fourni par les nappes internes

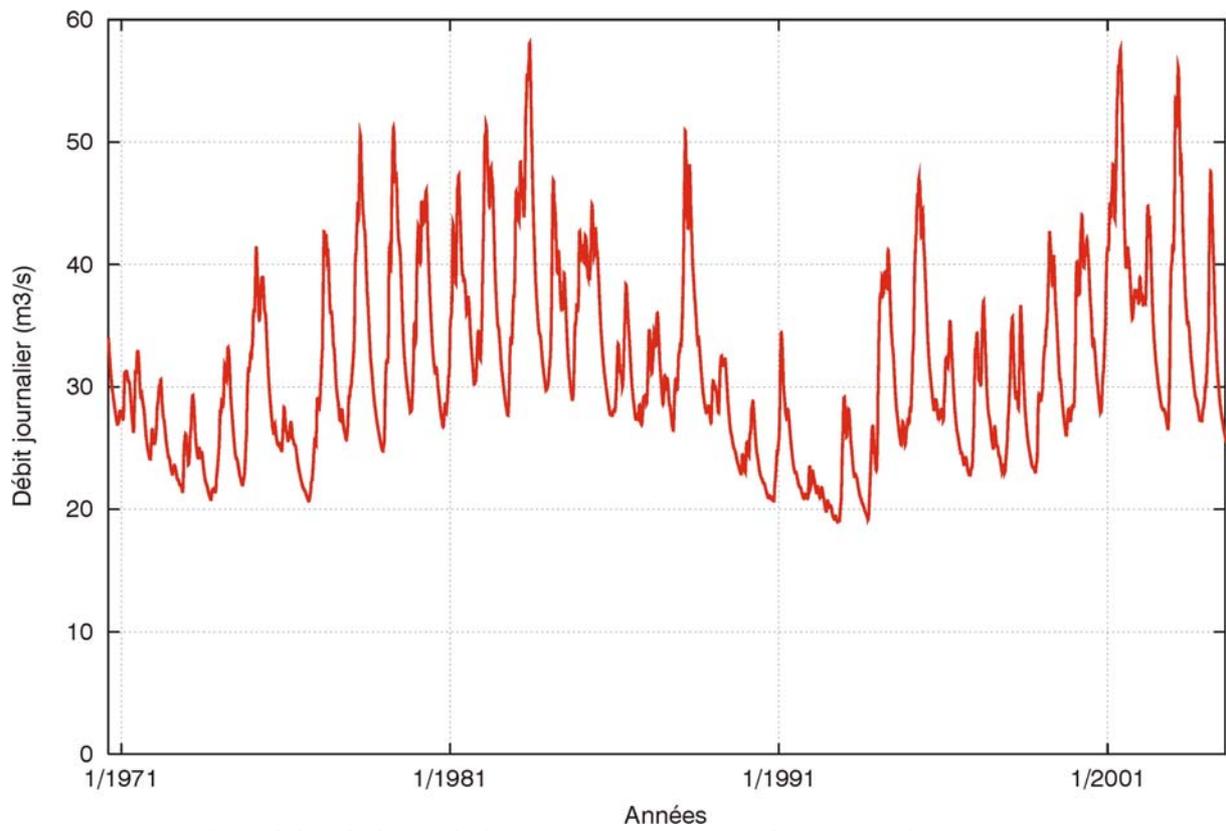


Figure 24 : débit de base de la Seine à Montereau fourni par les nappes internes

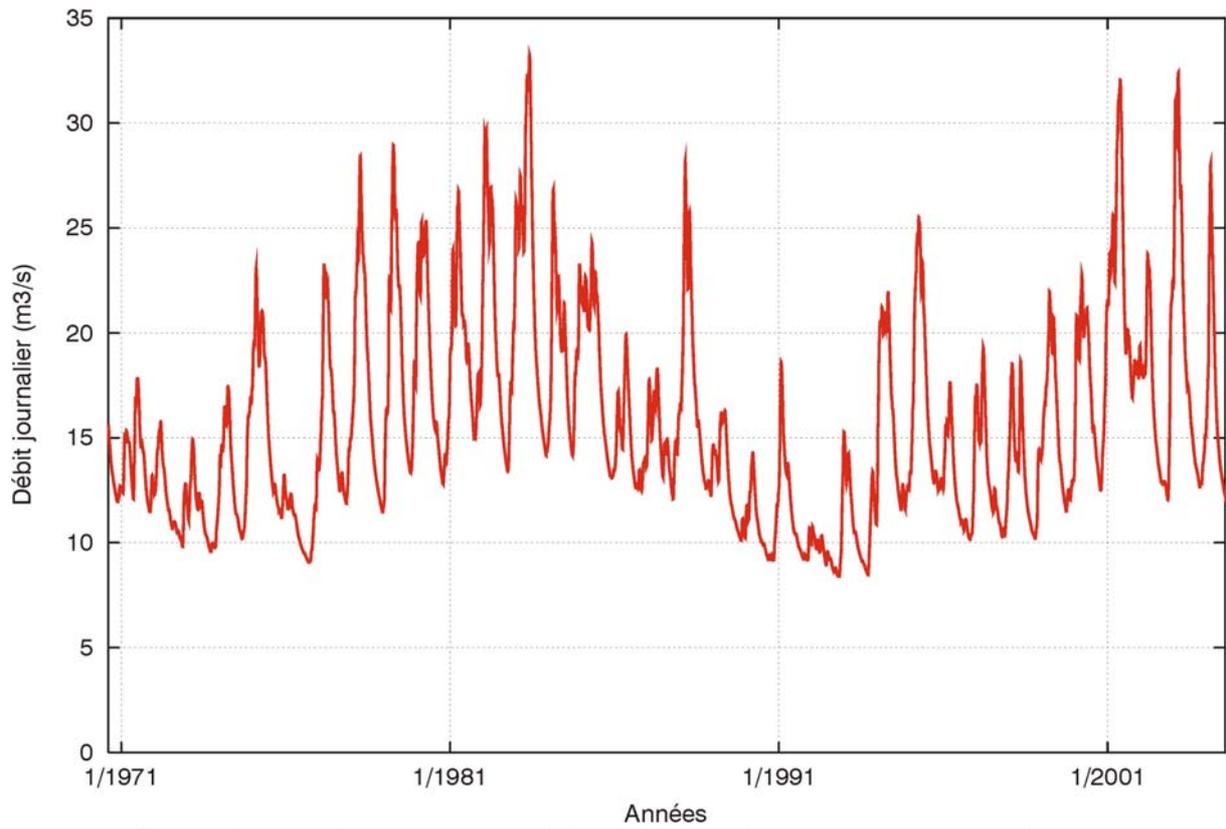


Figure 25 : débit de base de la Seine à Nogent fourni par les nappes internes

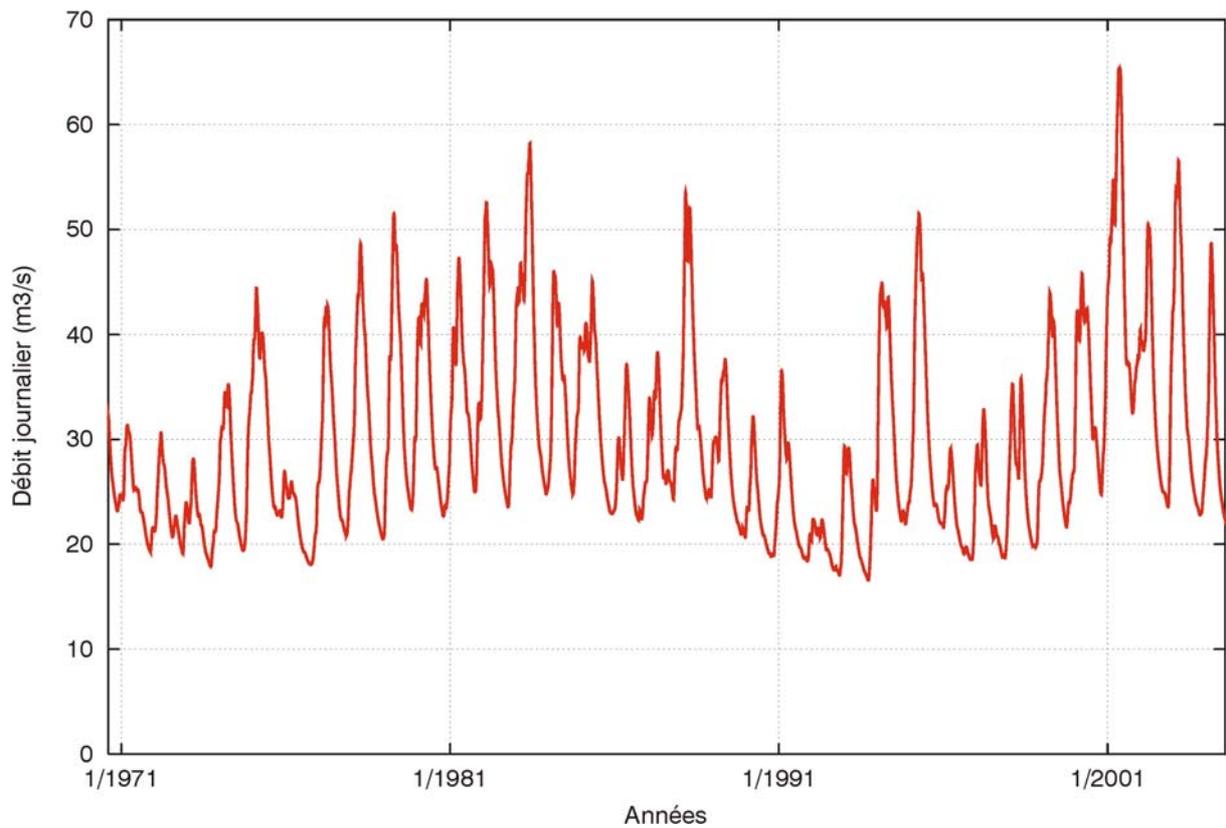


Figure 26 : débit de base de la Marne à Gournay (Noisiel) fourni par les nappes internes

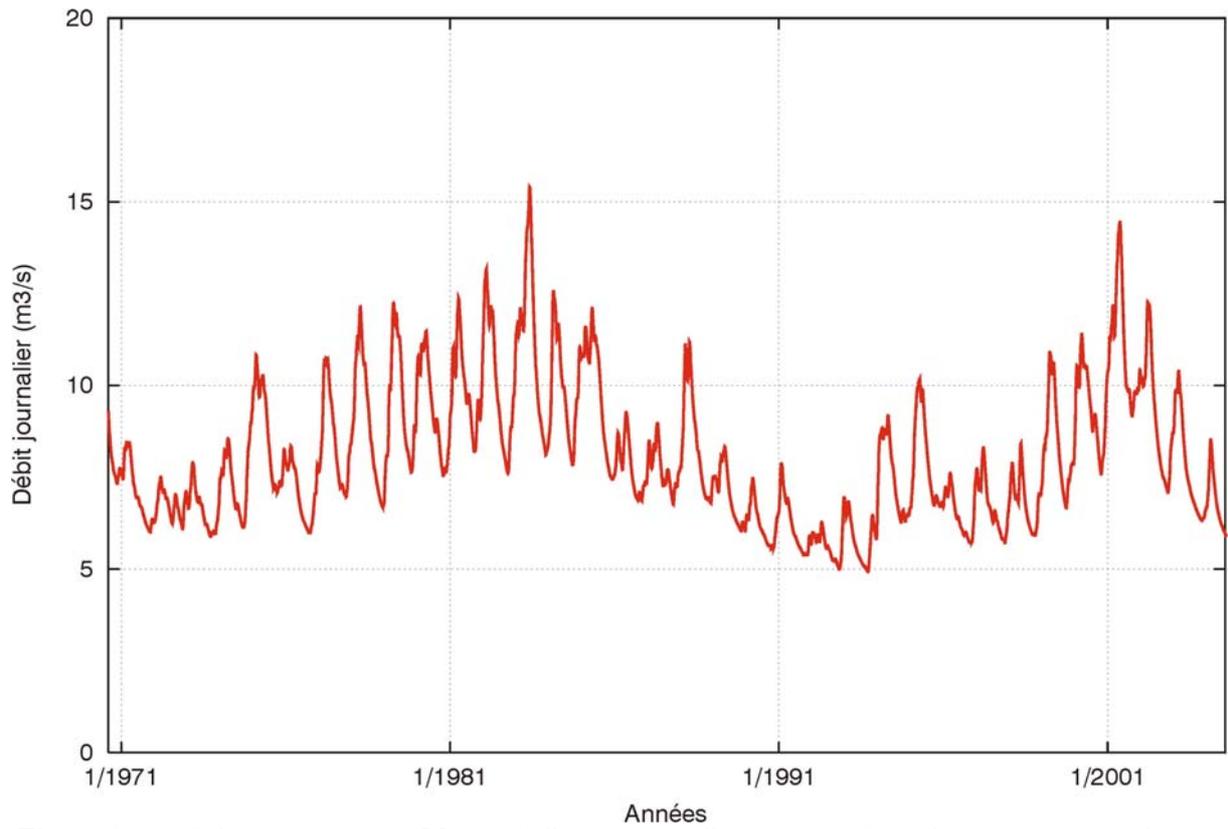


Figure 27 : débit de base de la Marne à Châlons-en-Champagne fourni par les nappes internes

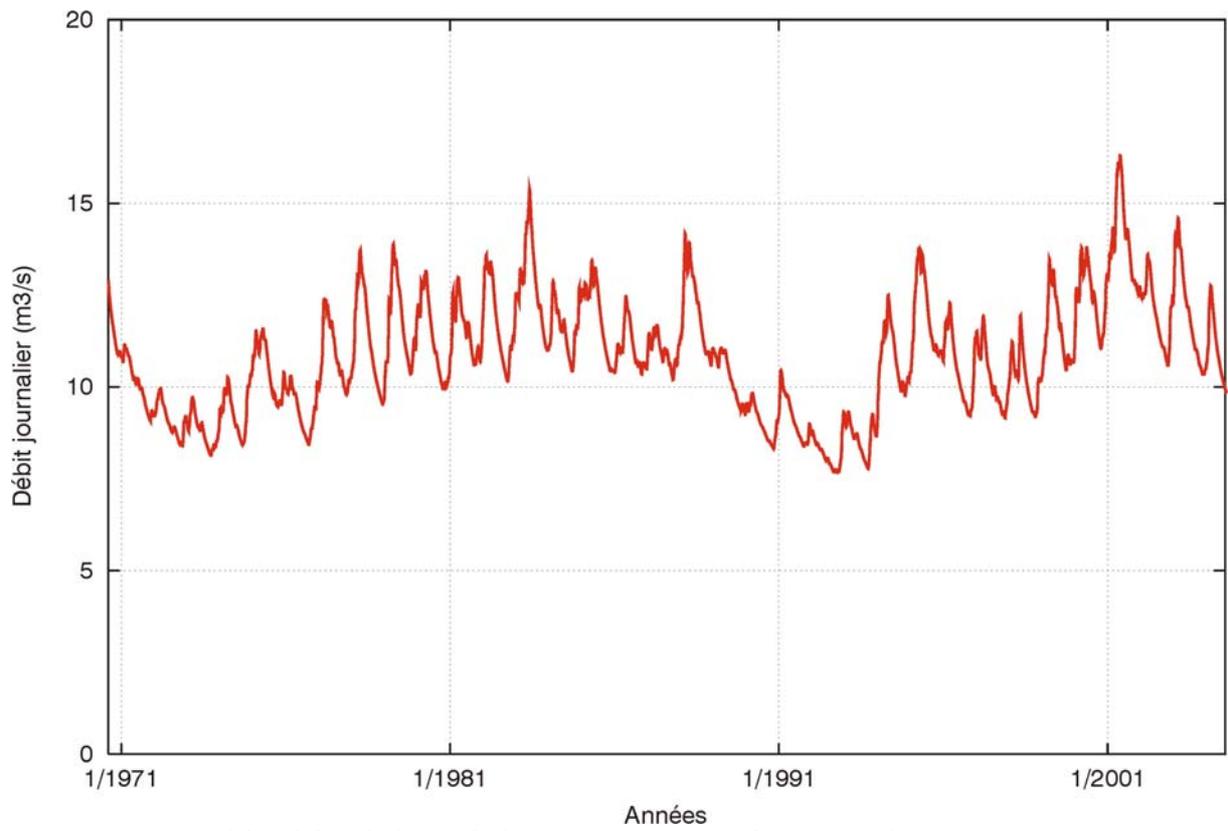


Figure 28 : débit de base de l'Yonne à Courlon fourni par les nappes internes

A partir de là, il est possible d'estimer l'évolution du débit de base fourni par les nappes en cas d'étiage prolongé et ce, en fonction de tout état annuel des nappes rencontré pendant ces trente quatre dernières années.

Pour ce faire, l'étiage est simulé en supposant l'absence totale de précipitation sur une période de 18 mois suivant le 1<sup>er</sup> mai de chaque année de simulation (de 1971 à 2003).

Les résultats obtenus pour chaque station considérée sont présentés sur les figures 29 à 35 (une courbe par année simulée).

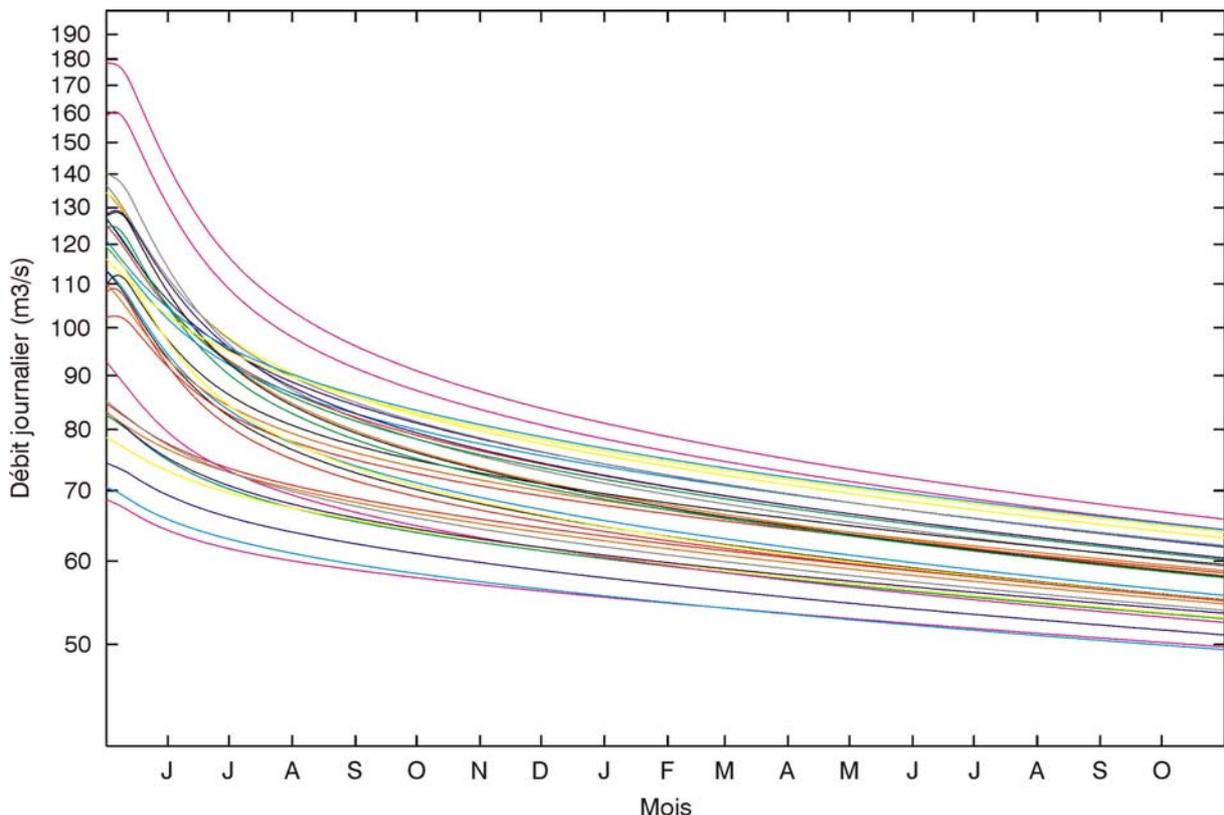


Figure 29 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Seine à Paris Austerlitz

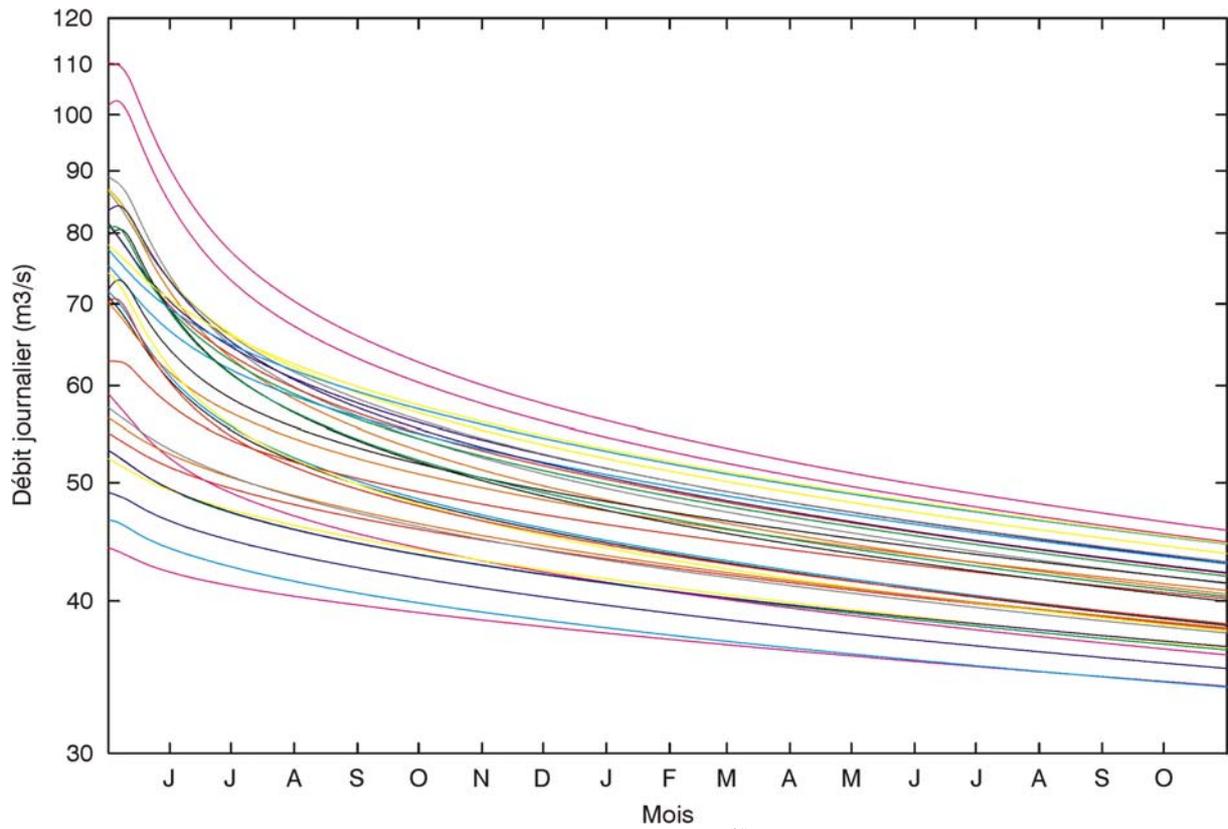


Figure 30 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Seine à Alfortville

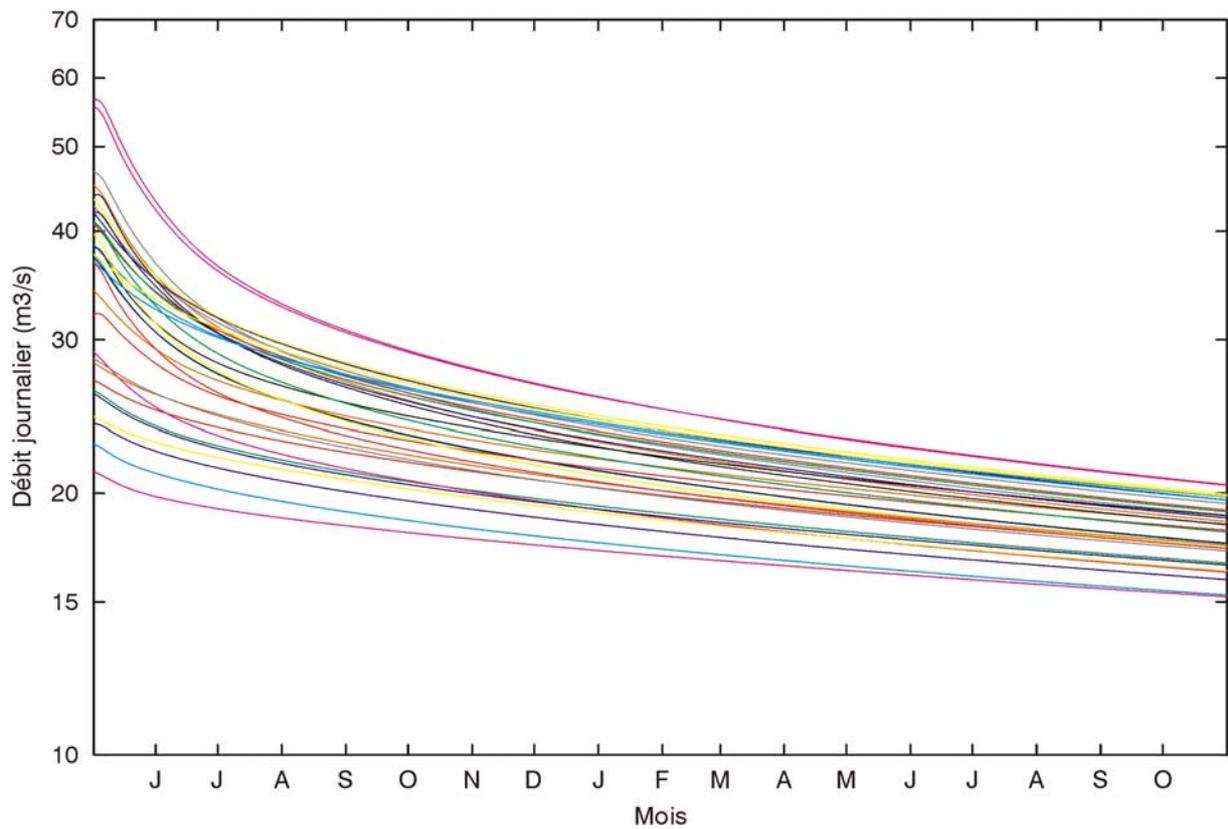


Figure 31 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Seine à Montereau

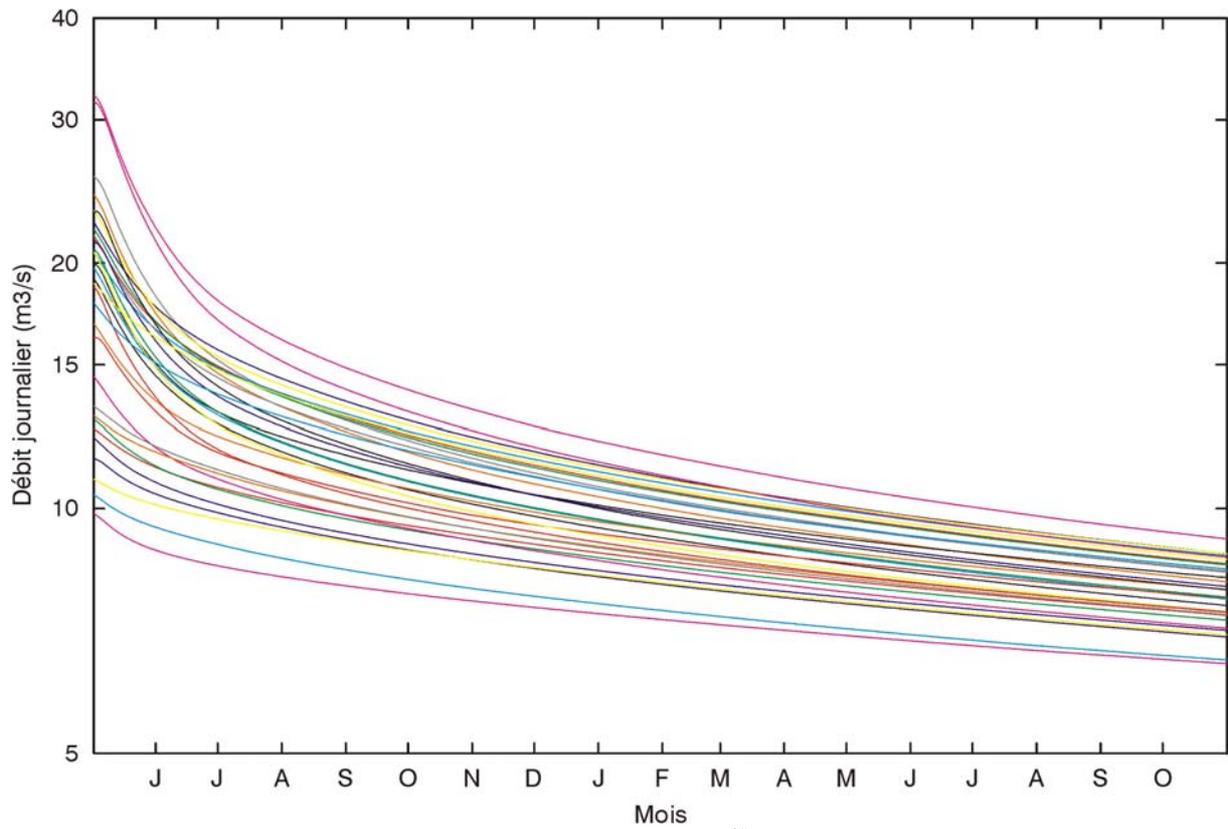


Figure 32 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Seine à Nogent

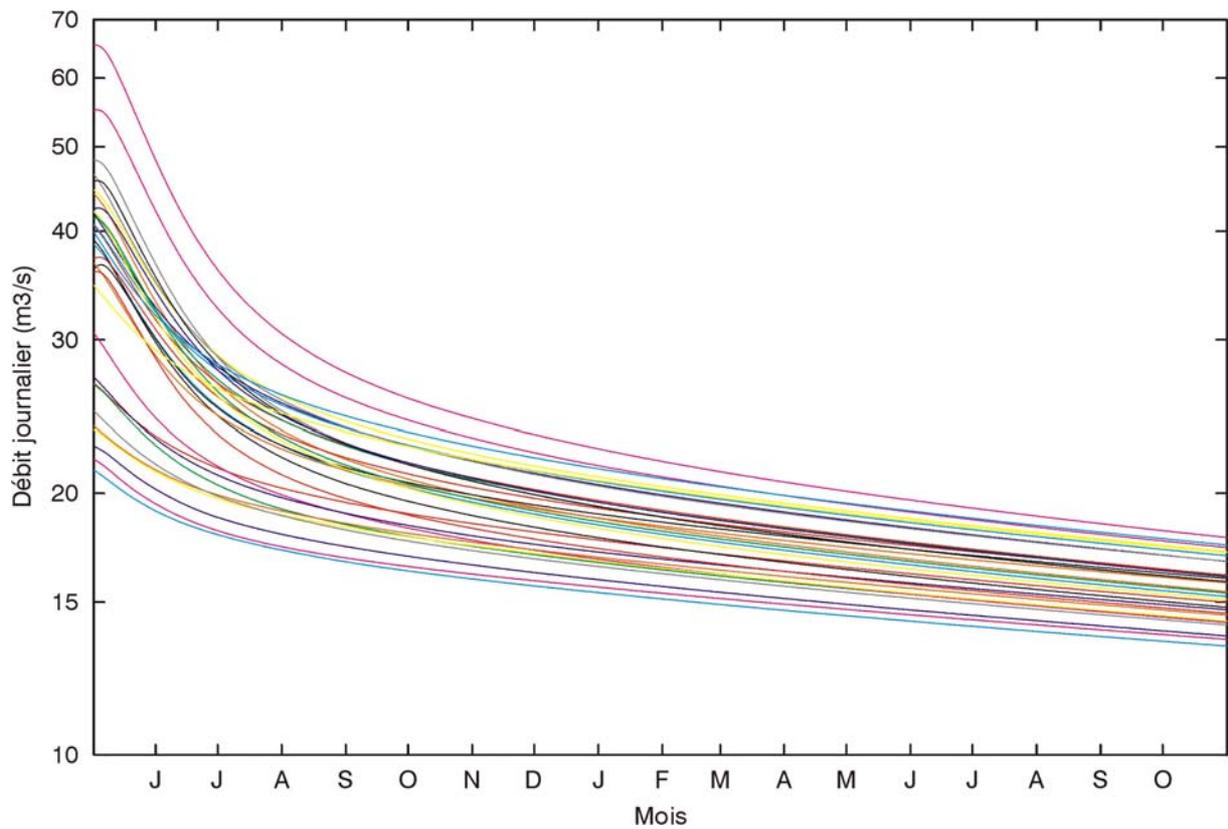


Figure 33 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Marne à Gournay (Noisiel)

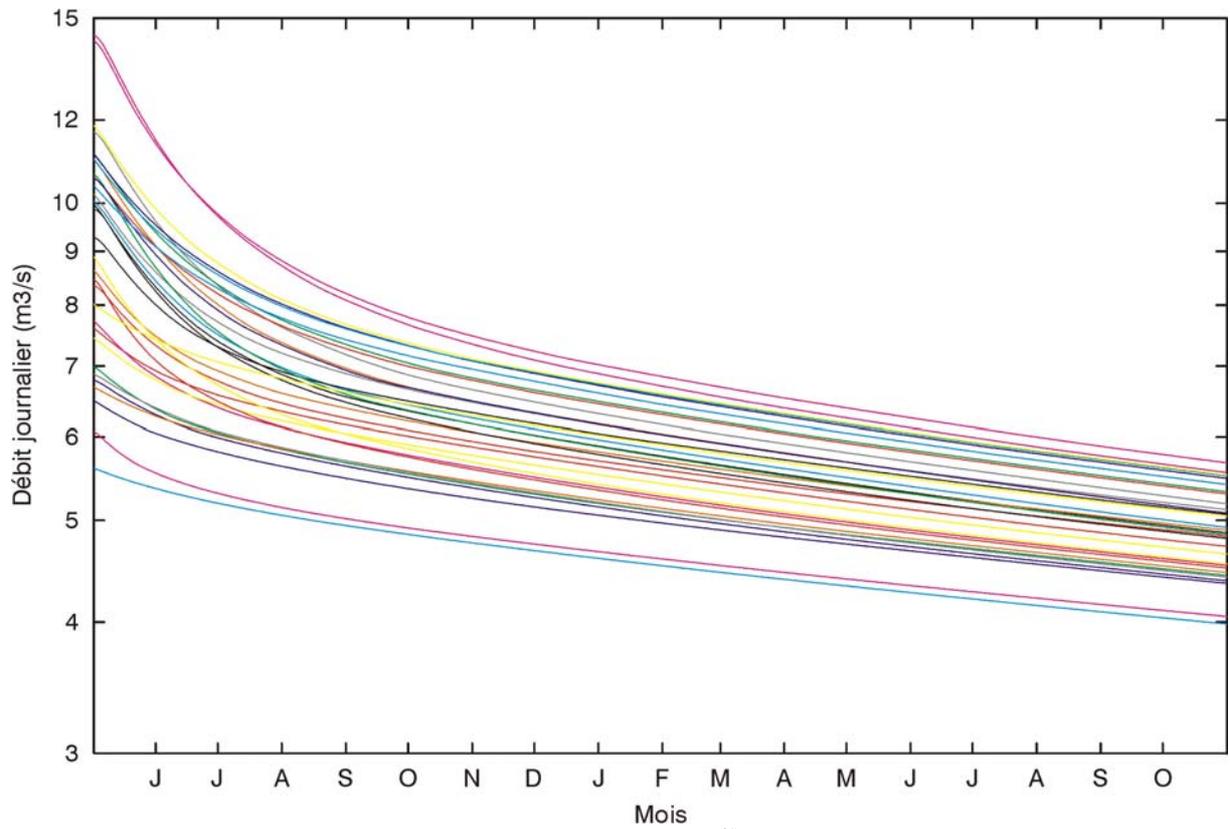


Figure 34 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : la Marne à Châlons-en-Champagne

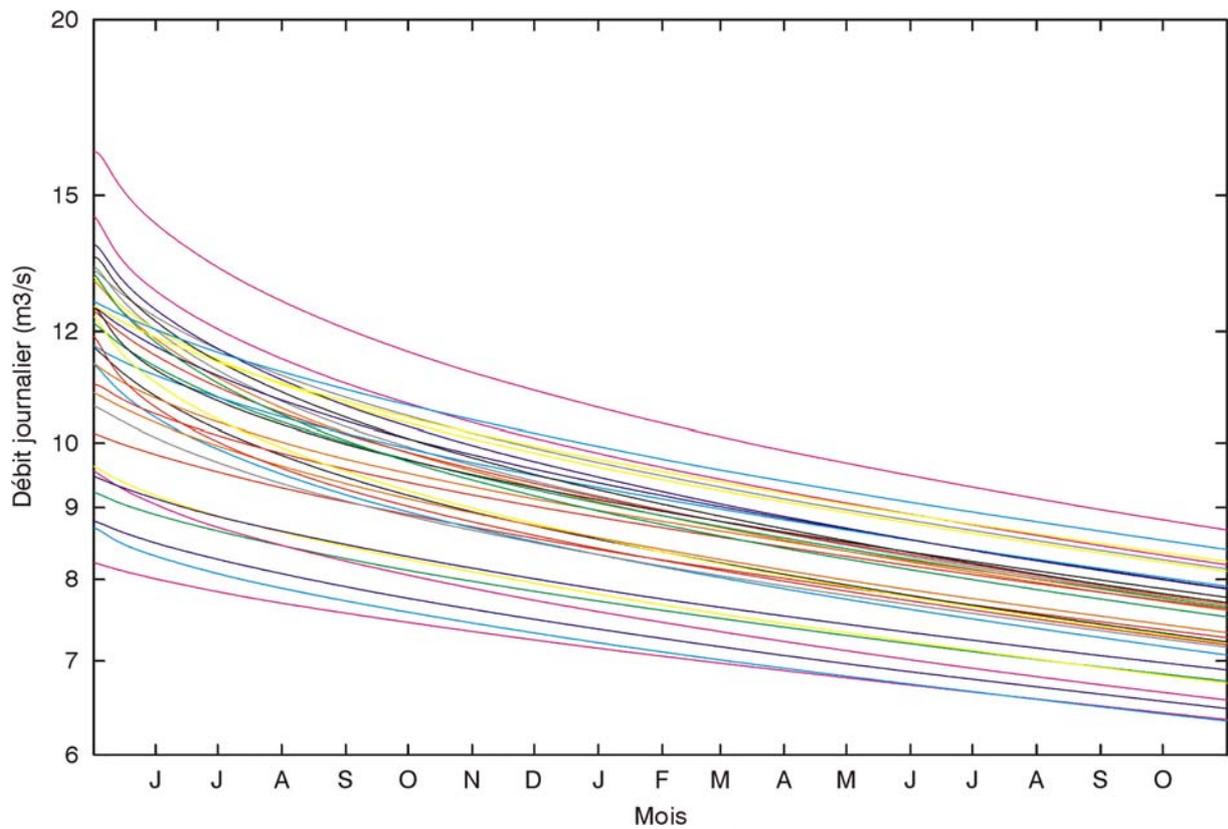


Figure 35 : débit de tarissement calculé à partir du 1<sup>er</sup> Mai de chaque année entre 1971 et 2003 : l'Yonne à Courlon

Pour chaque station hydrométrique, les débits de base peuvent être classés par classe de valeur au 1<sup>er</sup> mai de chaque année de simulation. Cela permet de détecter, sur les 34 années de simulation, quelles ont été les années à débit de base élevé ou plus faible. Sur ces mêmes courbes ont également été précisées, pour chaque année simulée, les évolutions du débit calculé de la rivière à partir du premier mai en imposant des précipitations nulles. Le point de départ de ces courbes correspond donc au débit global calculé par le modèle à cette date et pour la station considérée. Ceci permet de mettre en évidence le temps nécessaire à l'évacuation par le réseau hydrographique des débits induits par le ruissellement et les nappes externes. On remarque que globalement, il faut entre 3 et 4 semaines pour atteindre le débit de base.

A titre d'exemple, les figures 36 à 43 présentent les années classées par tranche de débit de base de la Seine de 10 m<sup>3</sup>/h au 1<sup>er</sup> mai sur la station hydrométrique de Paris-Austerlitz.

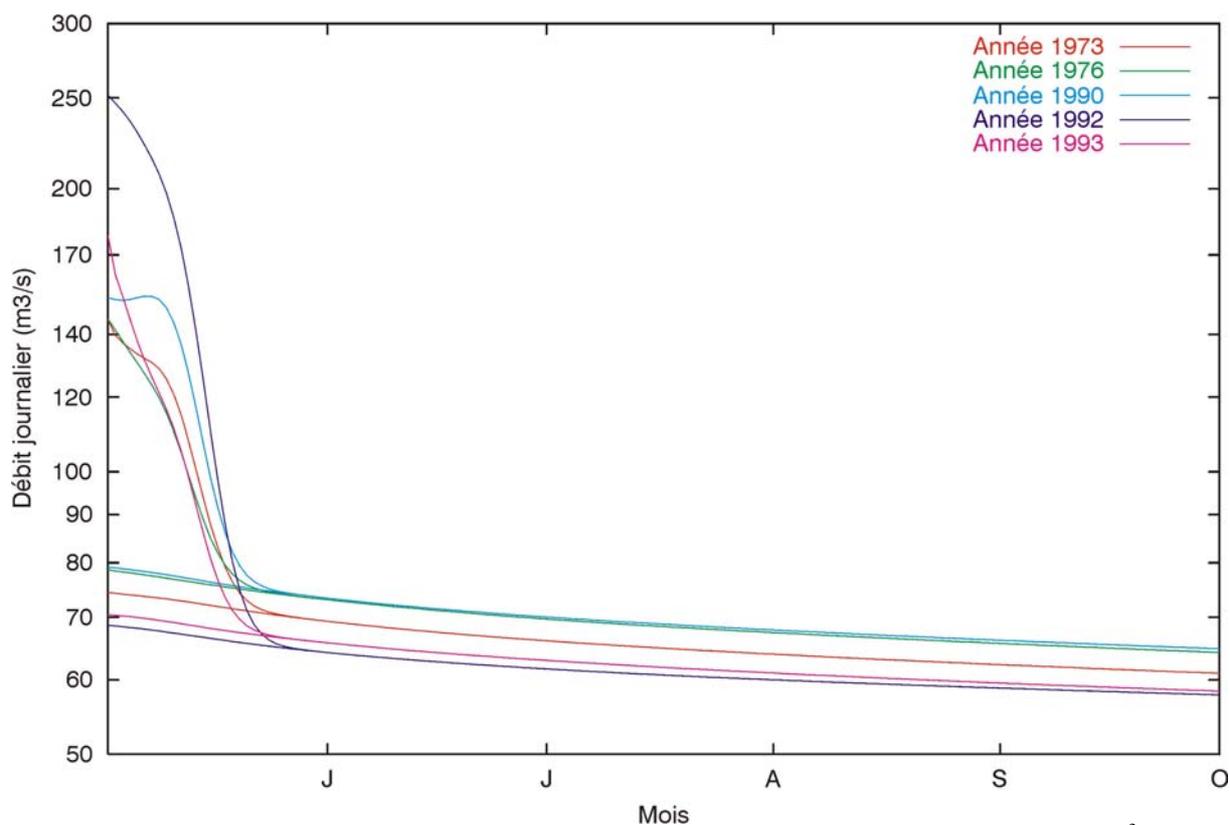


Figure 36 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai inférieur à 80 m<sup>3</sup>/s

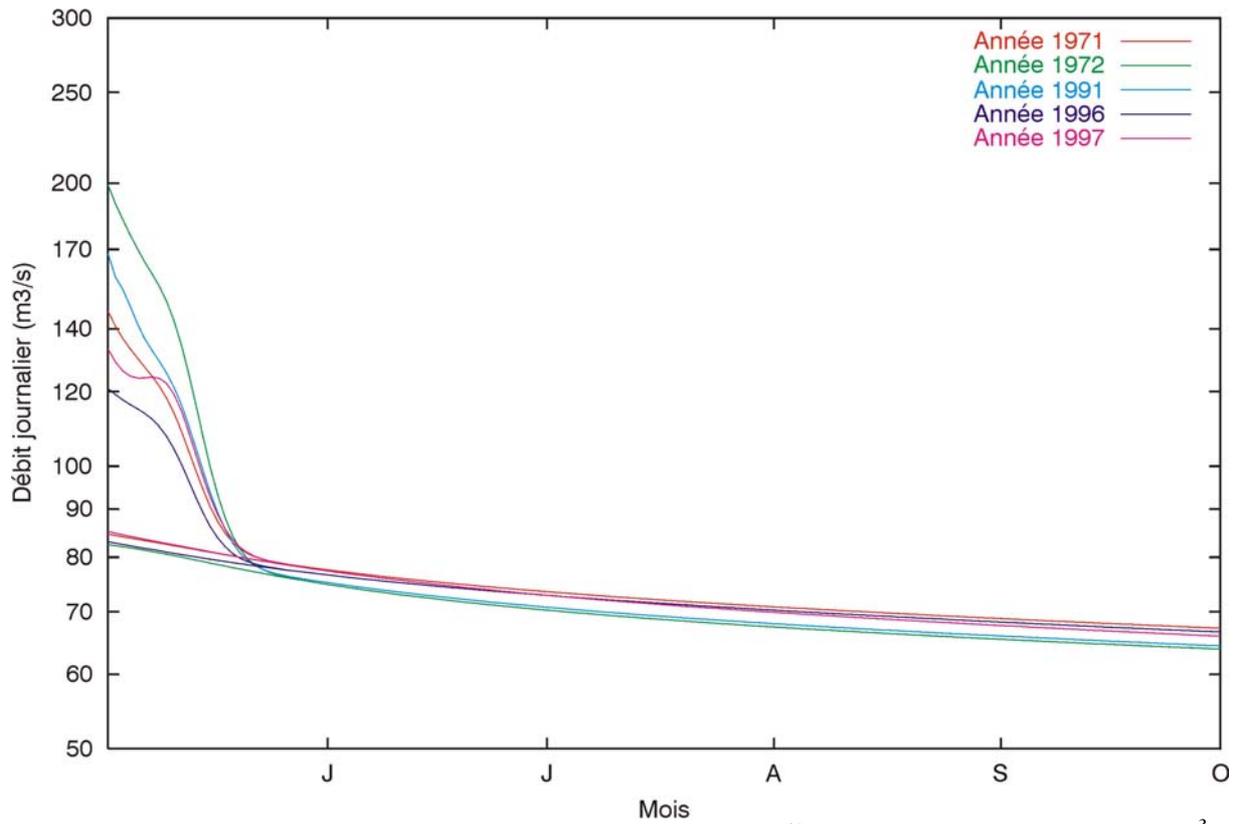


Figure 37 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 80 et 90 m<sup>3</sup>/s

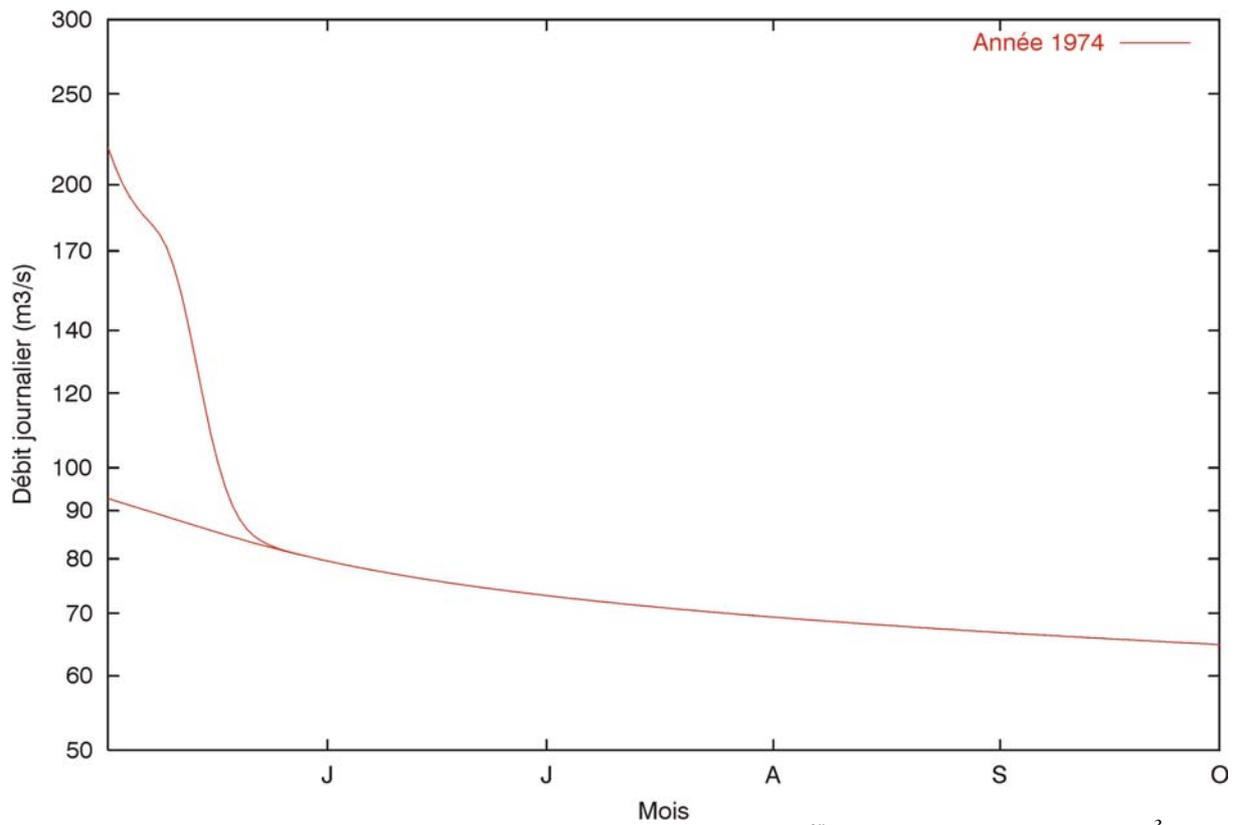


Figure 38 : la Seine à Paris Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris 90 et 100 m<sup>3</sup>/s

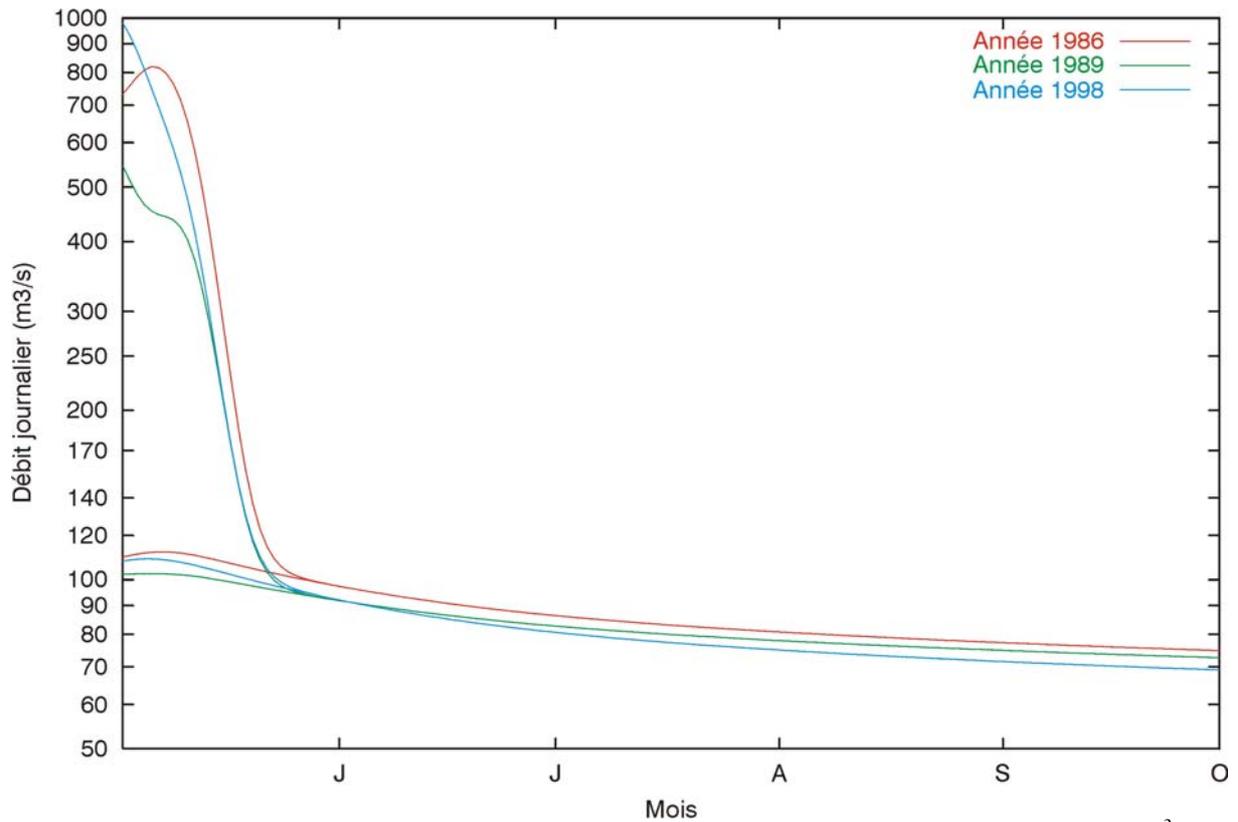


Figure 39 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris 100 et 110 m<sup>3</sup>/s

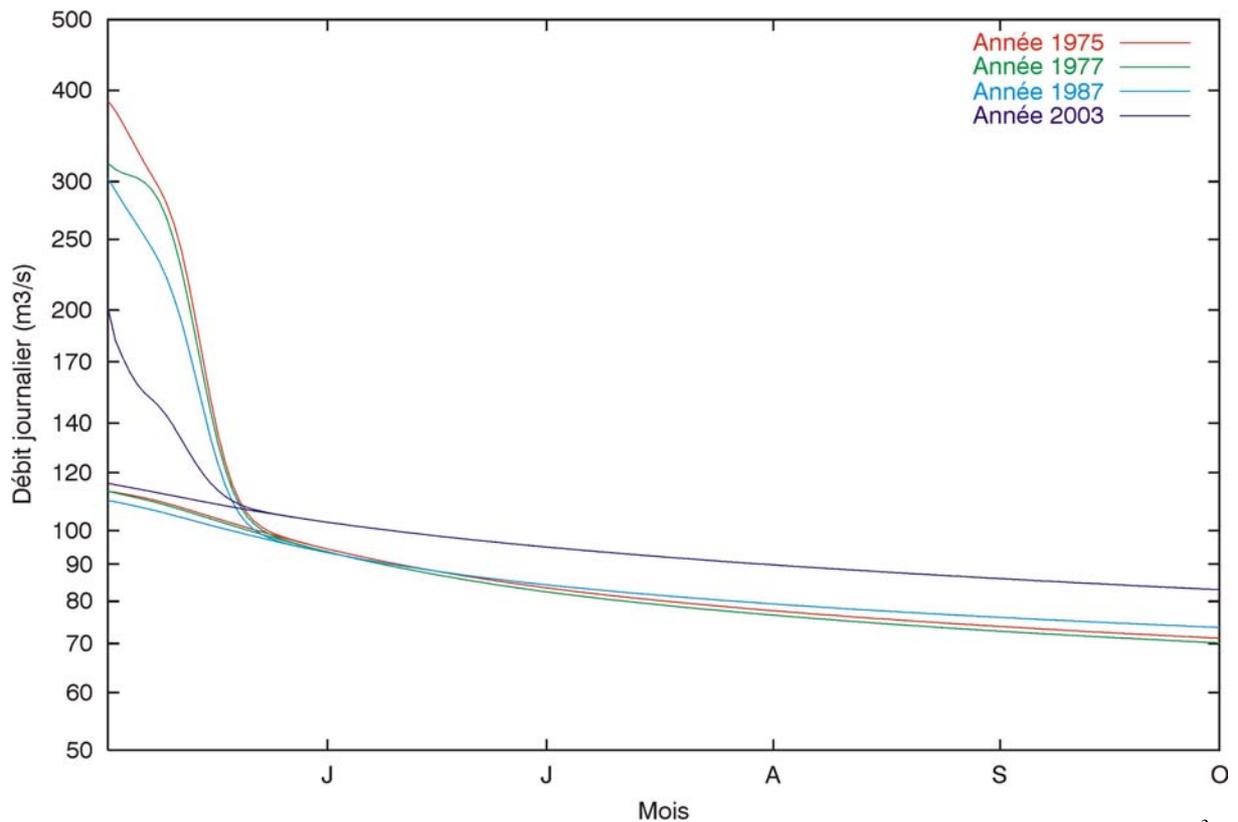


Figure 40 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 110 et 120 m<sup>3</sup>/s

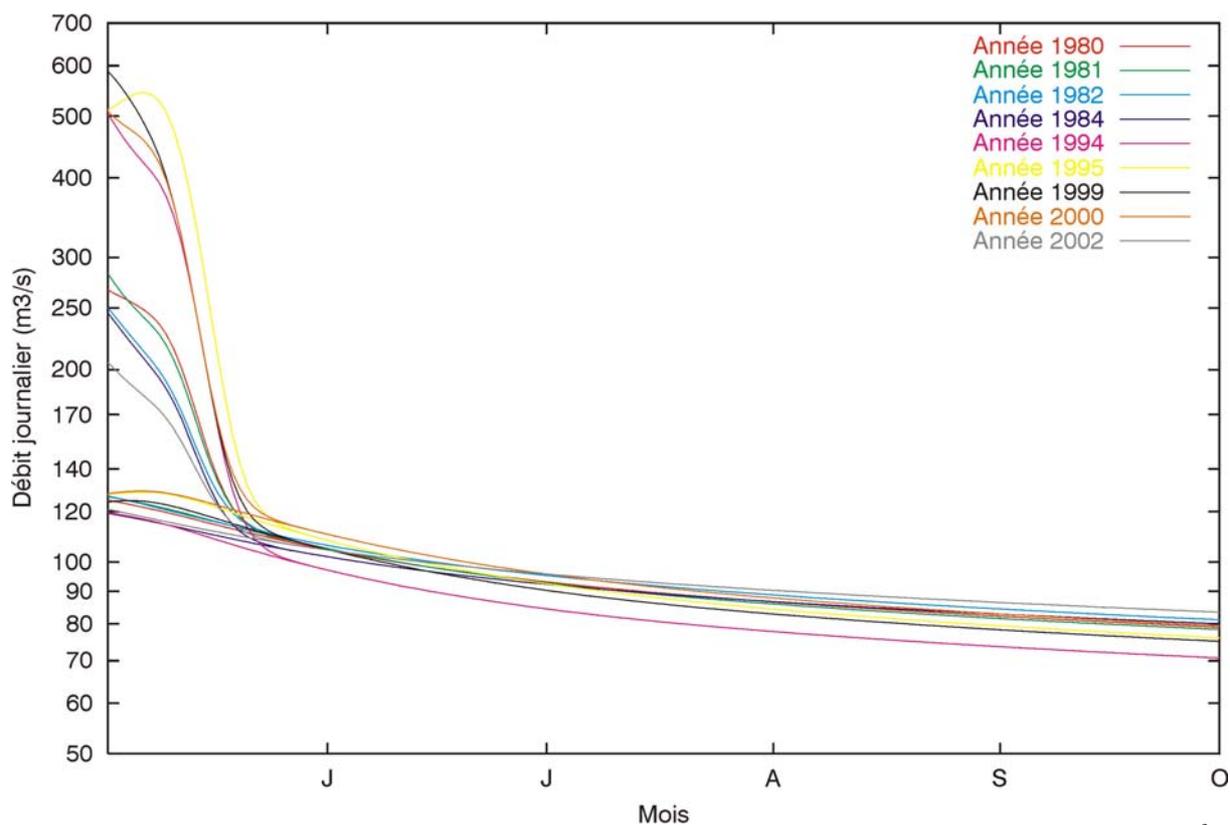


Figure 41 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 120 et 130 m<sup>3</sup>/s

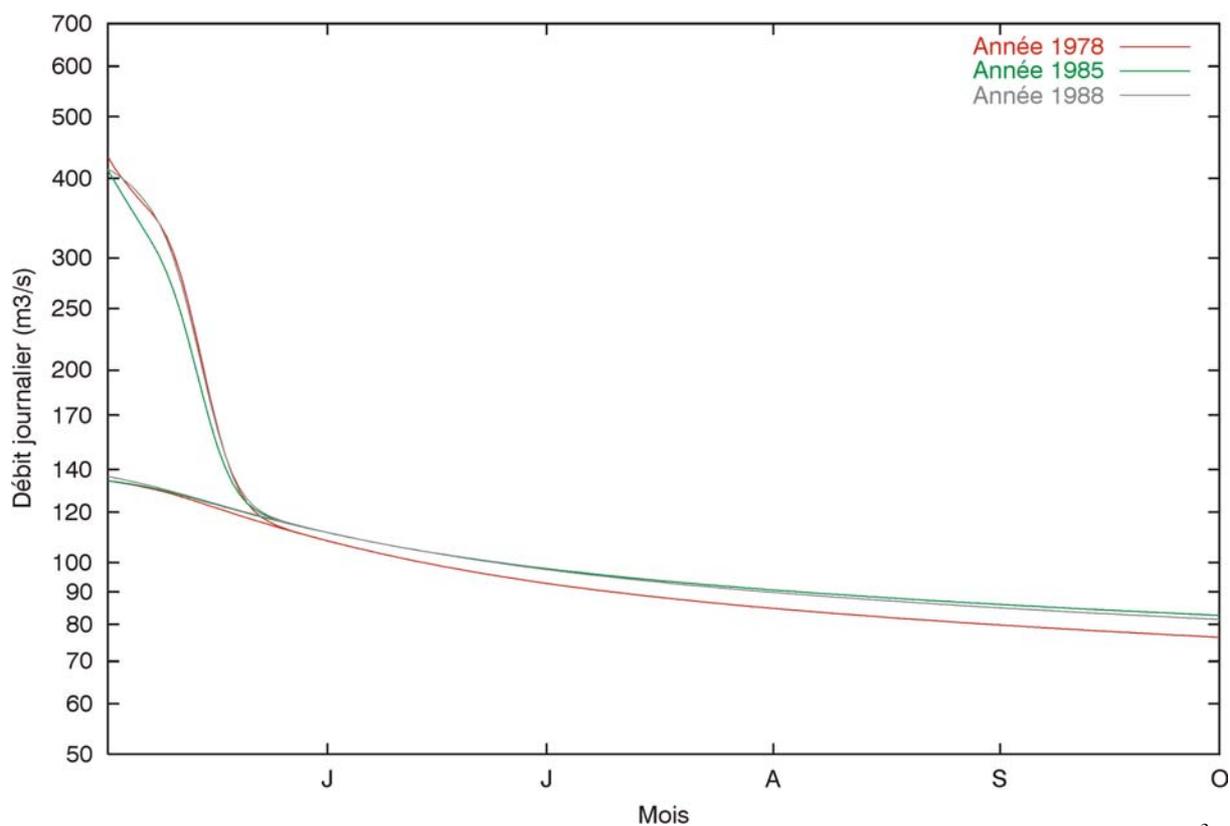


Figure 42 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai compris entre 130 et 140 m<sup>3</sup>/s

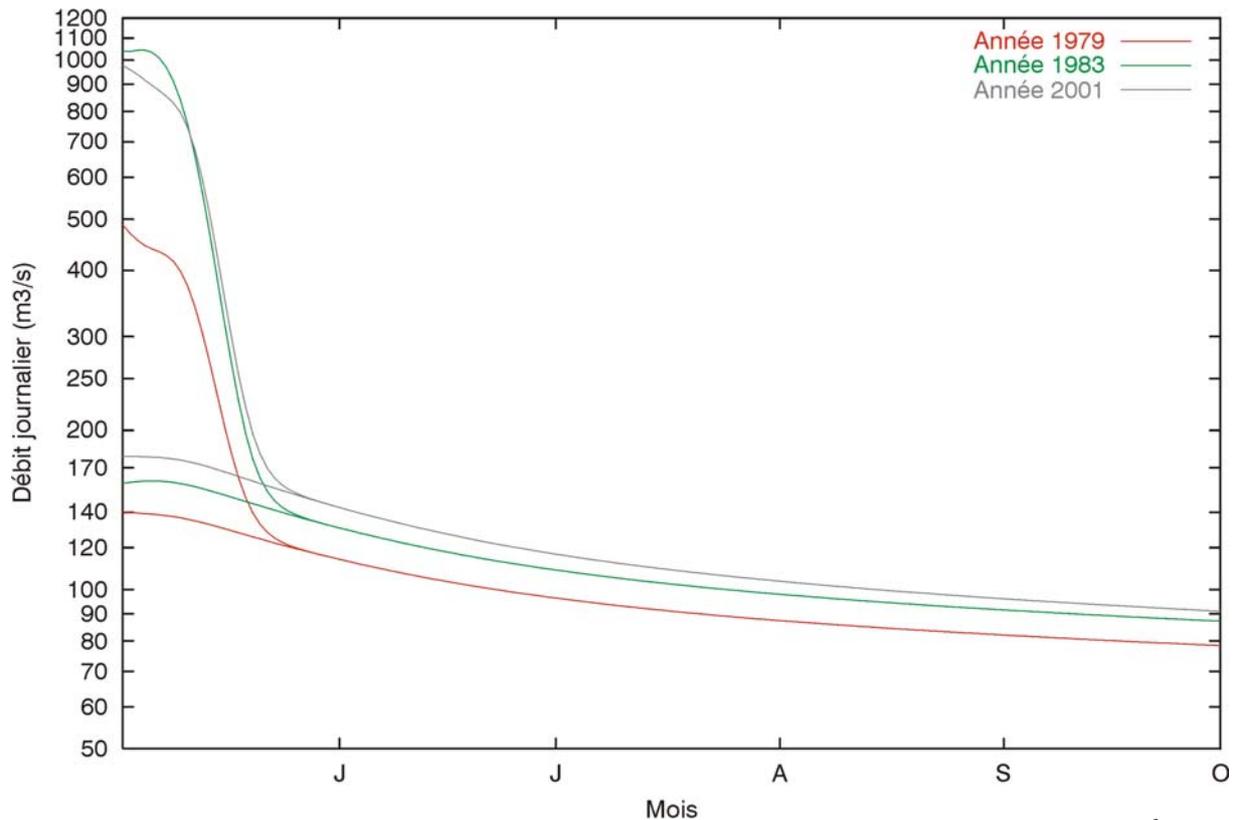


Figure 43 : la Seine à Paris-Austerlitz : débit de base au 1<sup>er</sup> mai supérieur à 140 m<sup>3</sup>/s

Au niveau de la Seine à Paris, ces calculs font apparaître que les années extrêmes sont :

- le printemps 1992 avec un débit de base minimal de l'ordre de 68 m<sup>3</sup>/s au 1<sup>er</sup> mai et passant sous les 58 m<sup>3</sup>/s début octobre ;
- le printemps 2001 avec un débit de base voisin de 180 m<sup>3</sup>/s début mai et de 90 m<sup>3</sup>/s début octobre.

Ces résultats font également apparaître la difficulté à « estimer » un débit d'étiage estival à partir de l'observation du débit effectif mesuré au 1<sup>er</sup> mai. En effet, et à titre d'exemple, les calculs montrent que, pour un même débit global de la Seine à Paris au 1<sup>er</sup> mai de l'ordre de 200 m<sup>3</sup>/s (années 1972 et 2003 par exemple), le débit de base calculé 5 mois plus tard (début octobre) peut être sensiblement différent : 63 ou 83 m<sup>3</sup>/s.

Enfin, la figure 44 présente les différences piézométriques calculées entre le 1<sup>er</sup> mai 2001 (nappe « haute ») et le 1<sup>er</sup> mai 1992 (nappe « basse »).

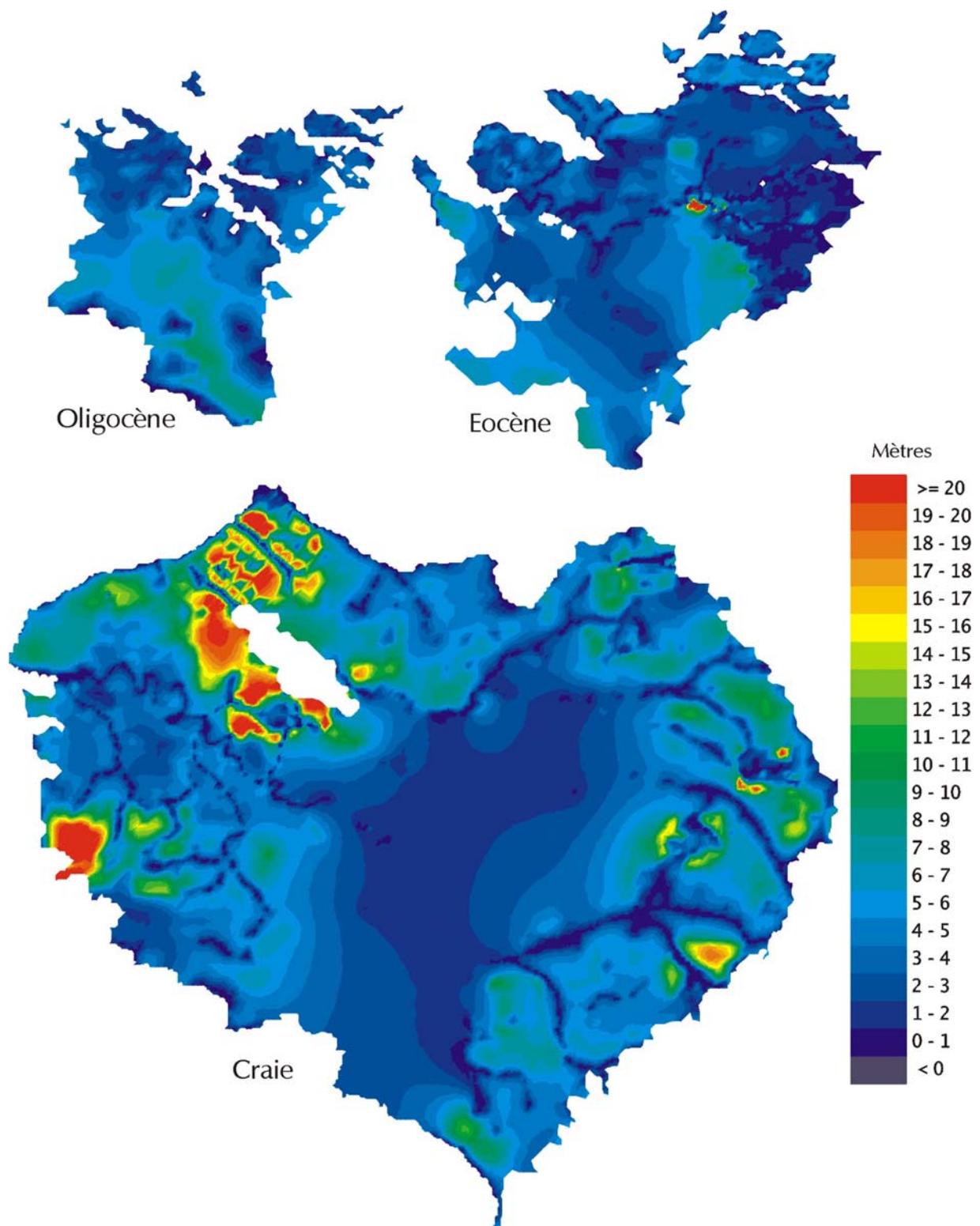


Figure 44 : différences piézométriques calculées entre le 1<sup>er</sup> mai 2001 et le 1<sup>er</sup> mai 1992

## 5 : Approche du débit de base à partir de mesures piézométriques

Une des préoccupations de la DIREN est d'approcher la capacité des nappes à soutenir les étiages en fonction de leur niveau piézométrique. Un premier type de réponse a été apporté par l'approche précédente, dans la mesure où le débit de base d'un cours d'eau est une représentation globale de l'état des nappes qui l'alimentent. Un second type de réponse peut être proposé en cherchant une relation directe entre la piézométrie et le débit d'étiage.

A partir du choix d'un certain nombre de piézomètres dont les niveaux calculés en régime transitoire sur les 34 ans de simulation sont constatés comme bien représentatifs des niveaux effectivement mesurés, on peut tracer, par exemple, le débit de base calculé à différentes période d'un étiage prolongé en fonction du niveau piézométrique mesuré à une date fixée.

Les figures 45 à 47 présentent le débit de base calculé à Paris après 5 mois d'étiage forcé en fonction du niveau piézométrique calculé (et proche de l'observé) au début de la période d'étiage considérée (1<sup>er</sup> mai de chaque année) et ce, sur quatre piézomètres captant chaque formation aquifère simulée (Craie, Eocène, Oligocène).

De cette manière, chaque figure comporte 33 points dont la valeur en abscisse correspond aux mesures piézométriques à chaque 1<sup>er</sup> mai de la période 1970-2004 et la valeur en ordonnée celle du débit de base de la Seine à Paris calculé le 1<sup>er</sup> octobre de la même année. La qualité de la relation « niveau piézométrique/débit de base » est approchée par le coefficient de corrélation de la régression linéaire associée.

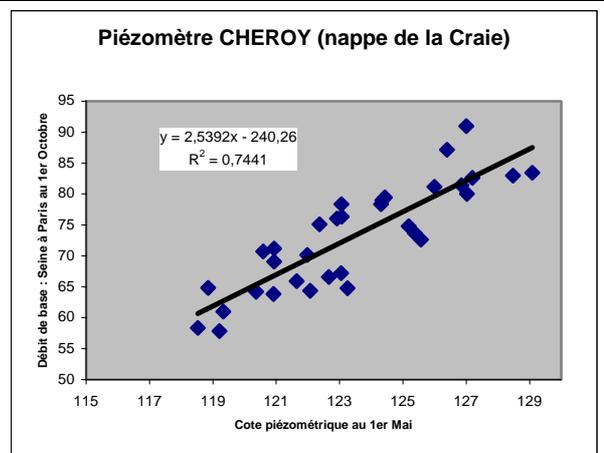
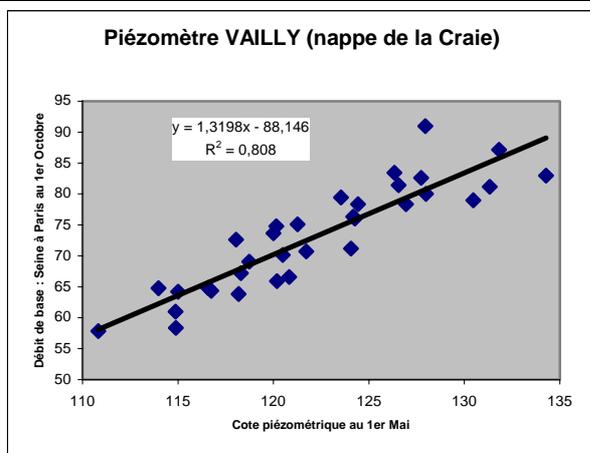
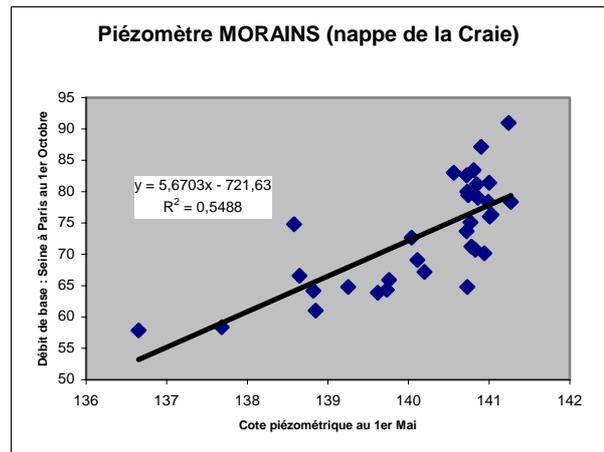
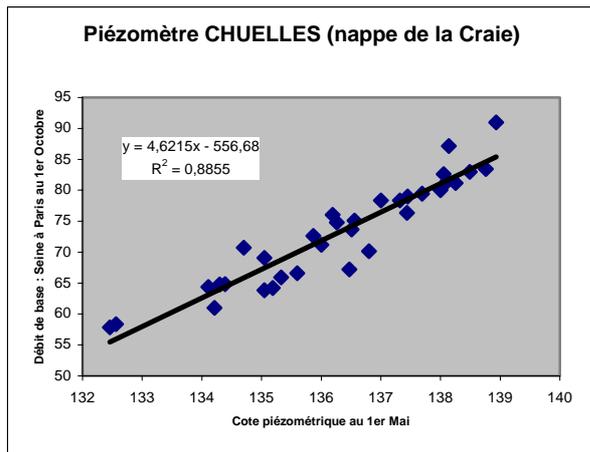
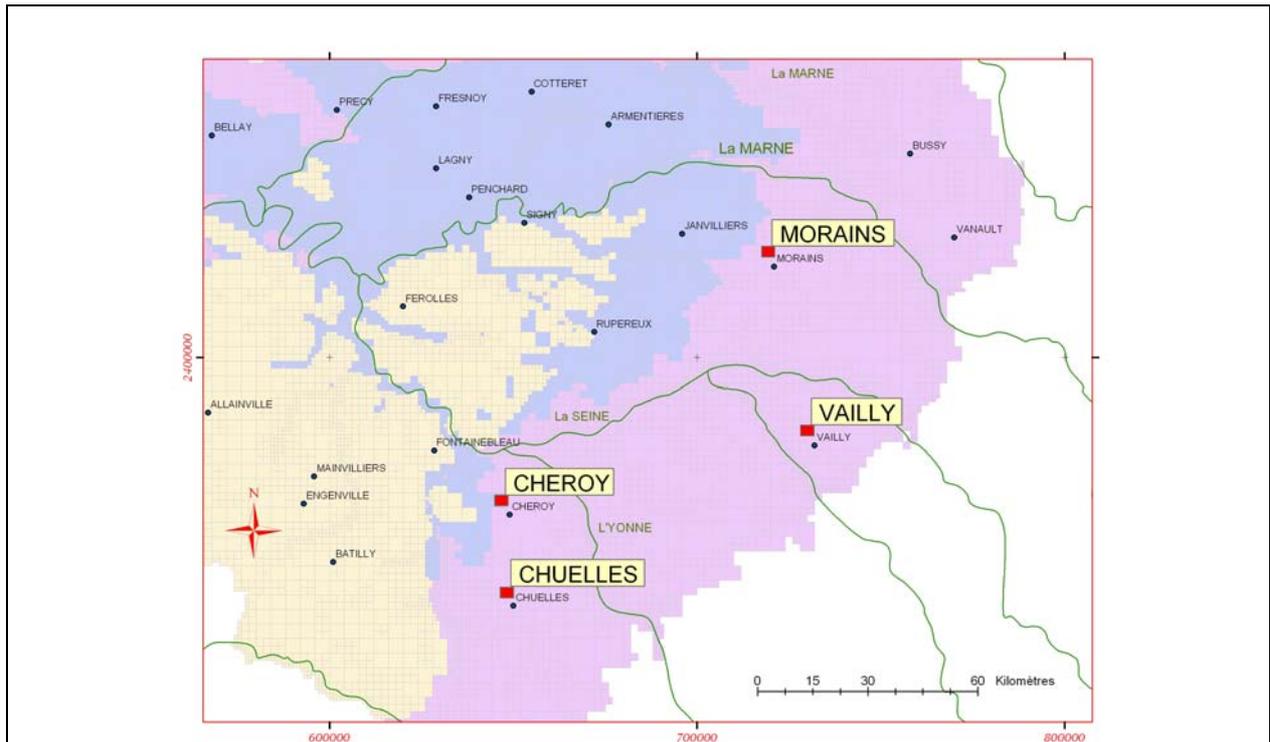


Figure 45 : relation niveau piézométrique / débit de base de la Seine à Paris au bout de 5 mois d'été prolongé. Piézomètres à la nappe de la Craie

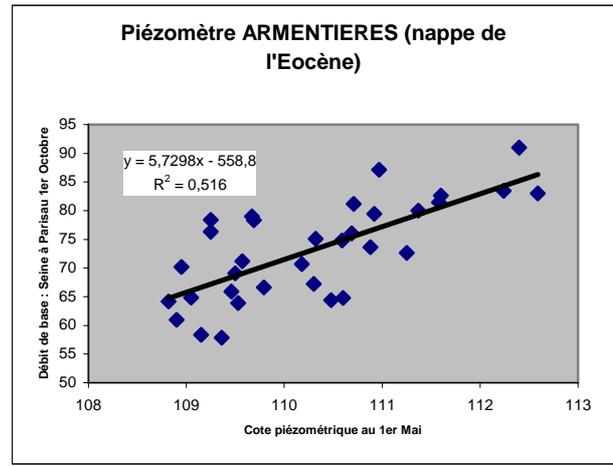
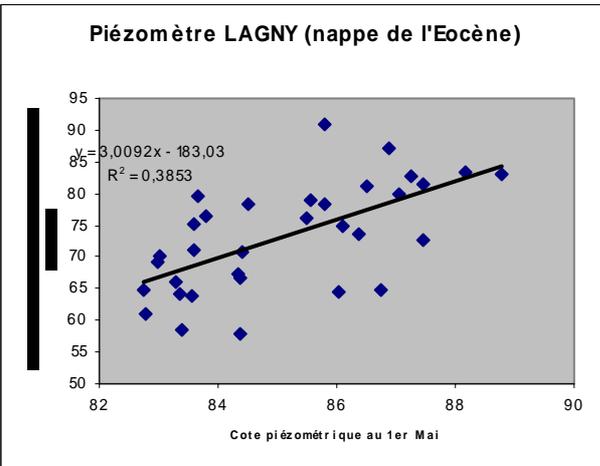
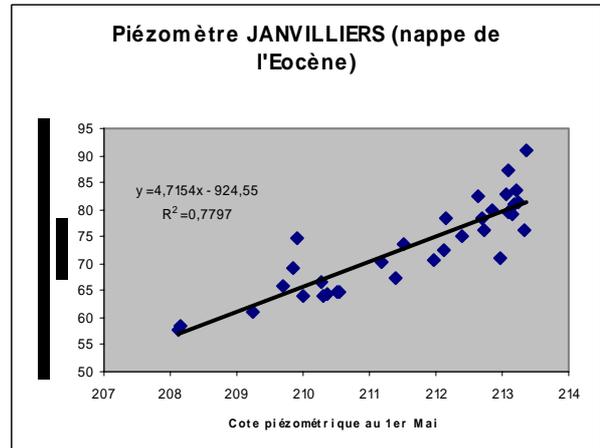
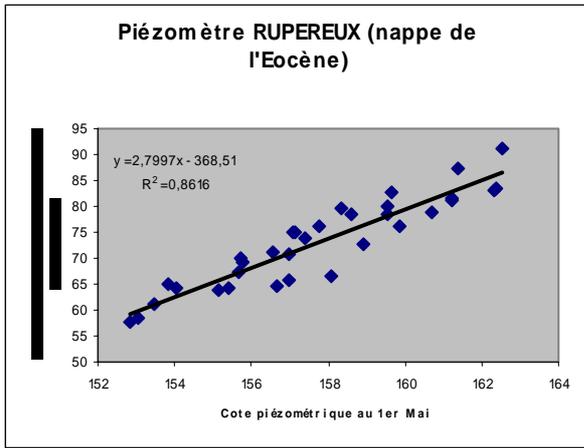
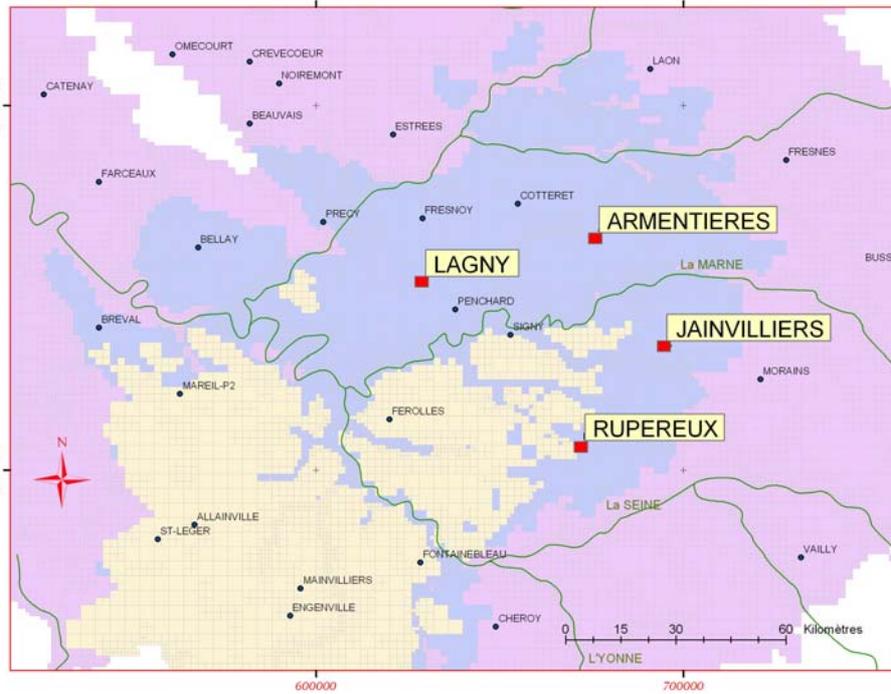


Figure 46 : relation niveau piézométrique / débit de base de la Seine à Paris au bout de 5 mois d'été prolongé. Piézomètres à la nappe de l'Eocène

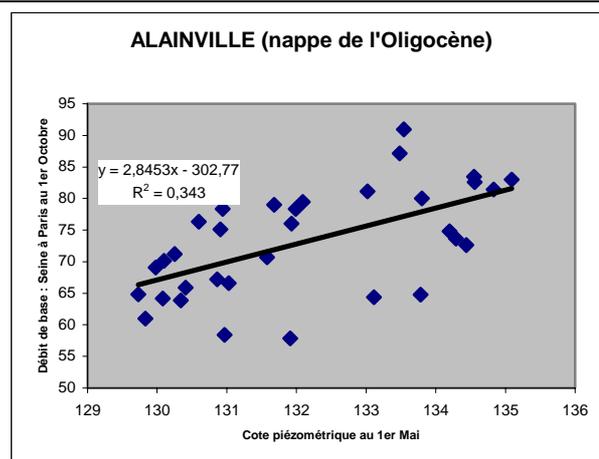
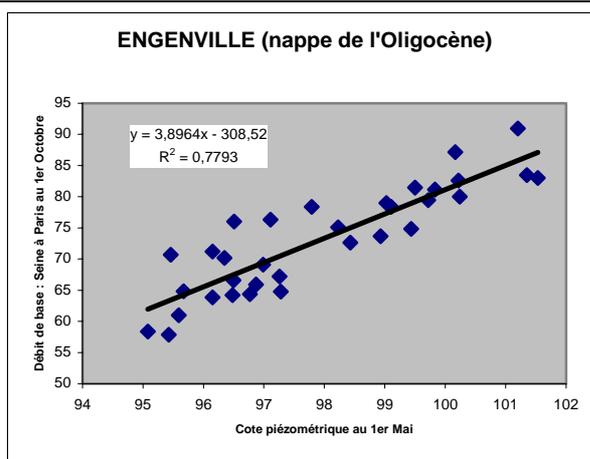
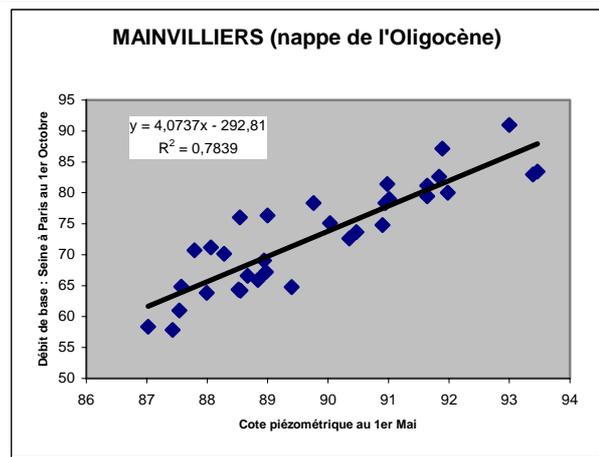
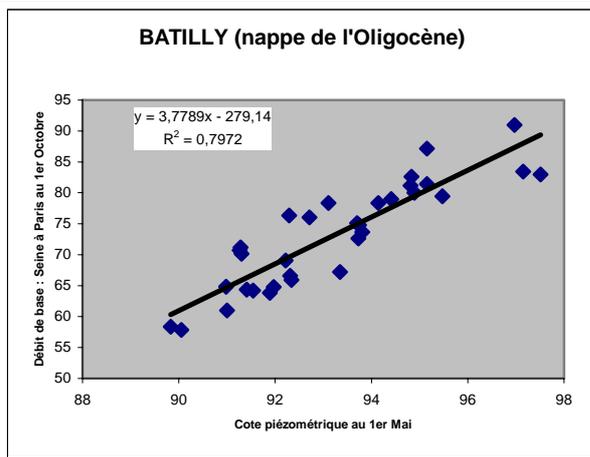
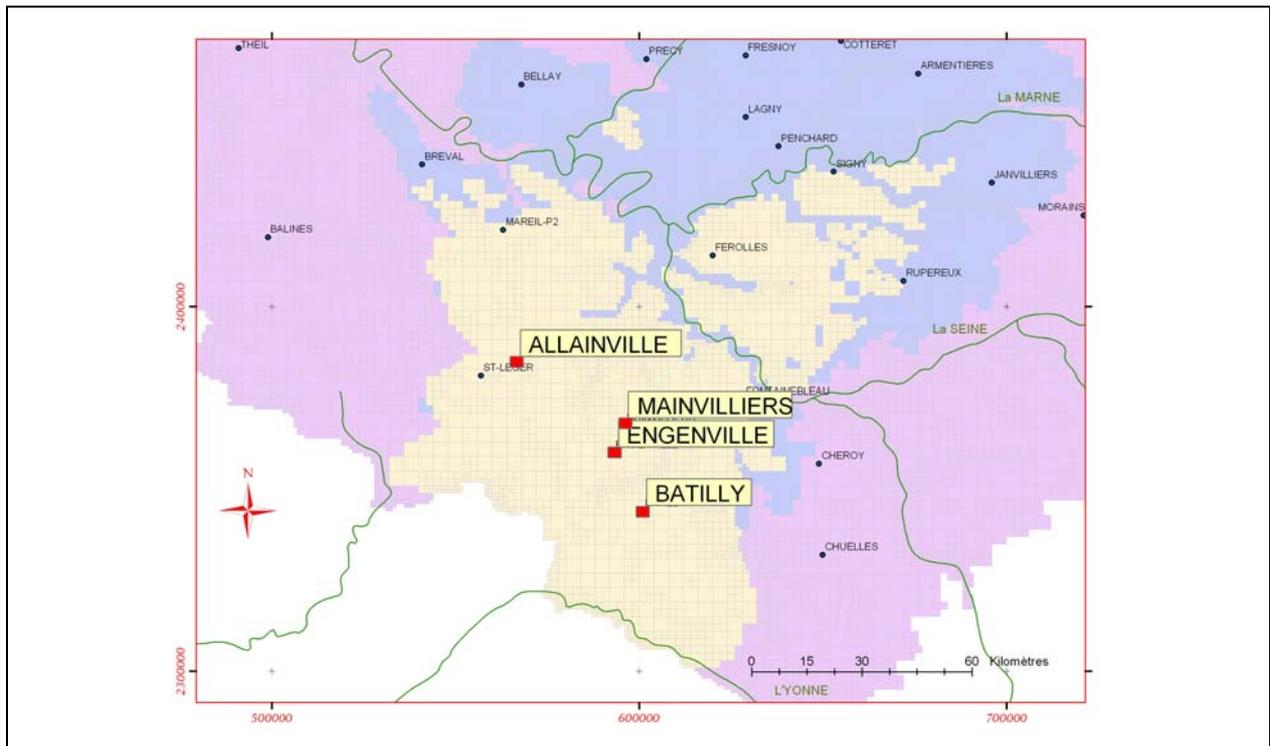


Figure 47 : relation niveau piézométrique / débit de base de la Seine à Paris au bout de 5 mois d'étiage prolongé. Piézomètres à la nappe de l'Oligocène

Ces premiers résultats obtenus grâce au modèle mathématique montrent une grande disparité entre piézomètres quant à la qualité du coefficient de corrélation obtenu et donc la difficulté d'approcher de manière satisfaisante un débit d'étiage par un suivi piézométrique.

De plus, comme le montre la figure 48, pour un même piézomètre (ici, les piézomètres de Chuelles, Rupereux et Batilly qui sont les ouvrages étudiés dont le coefficient de corrélation est le plus élevé pour chaque formation aquifère), le coefficient de corrélation obtenu dépend également du temps entre la date de mesure piézométrique et celle d'estimation du débit d'étiage. Sur ces courbes sont reproduit les coefficients de corrélation linéaire ( $R^2$ ) calculés mois par mois suivant le début de la période d'étiage et de la date de mesure piézométrique. On remarque que plus l'étiage est tardif, meilleure est l'estimation du débit d'étiage à Paris à partir de la mesure piézométrique. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'à plus long terme, les petites variations piézométriques locales se gomment au profit de variations globales plus intégratrices du niveau général des grands aquifères et donc de leur contribution aux débits de base des rivières.

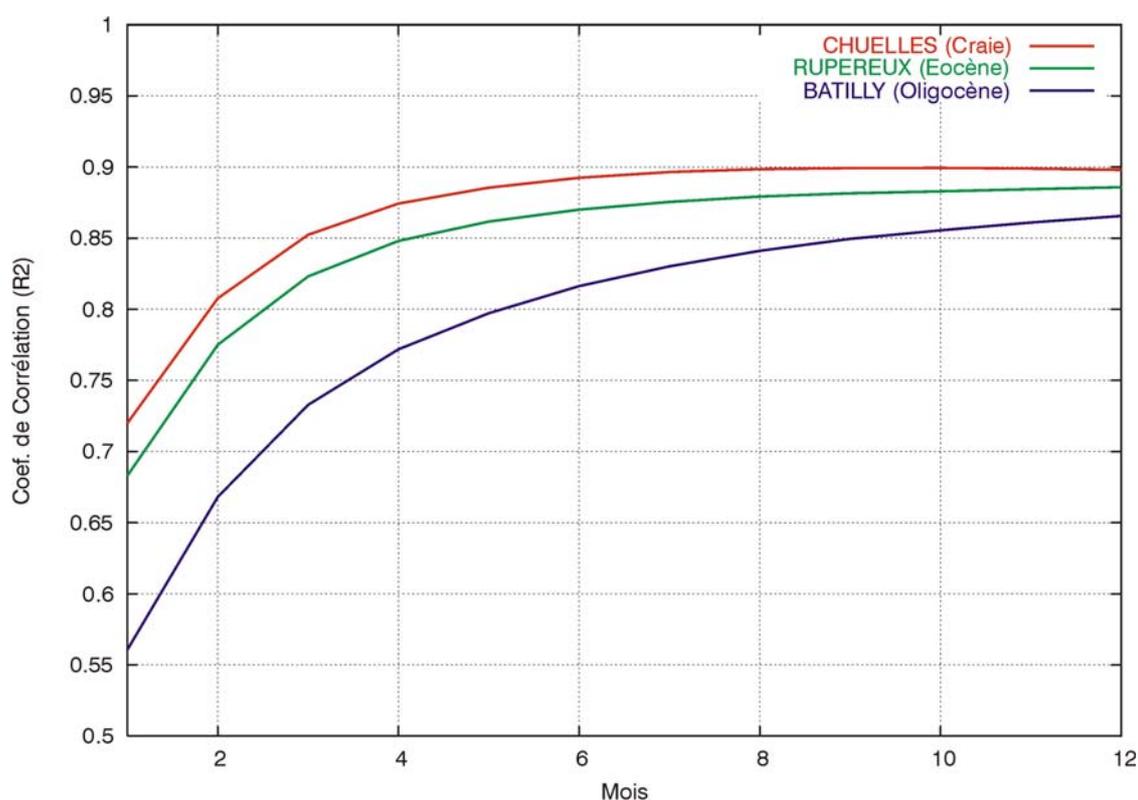
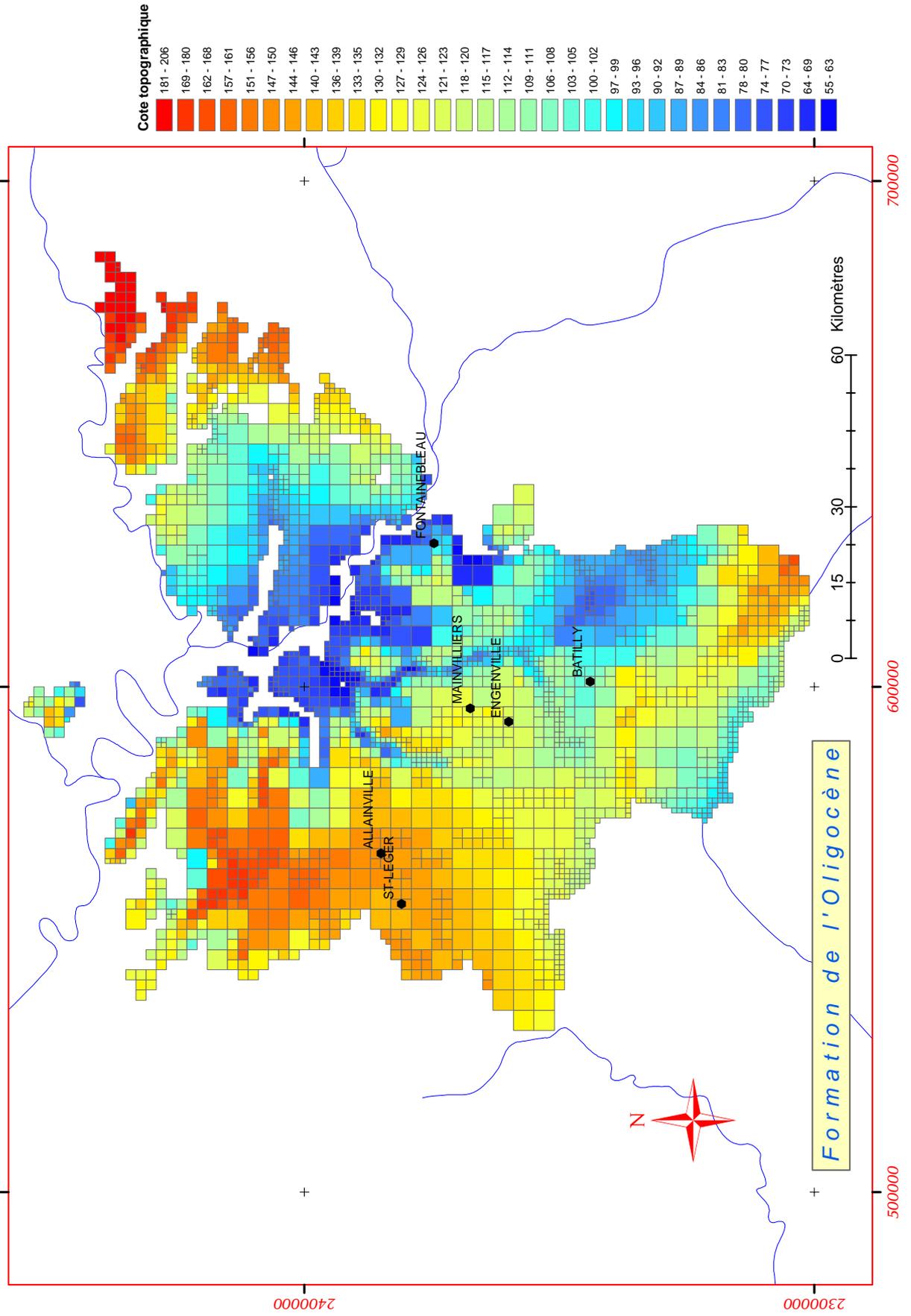


Figure 48 : Evolution du coefficient de corrélation « cote piézométrique / débit de base à Paris » calculé sur 12 mois

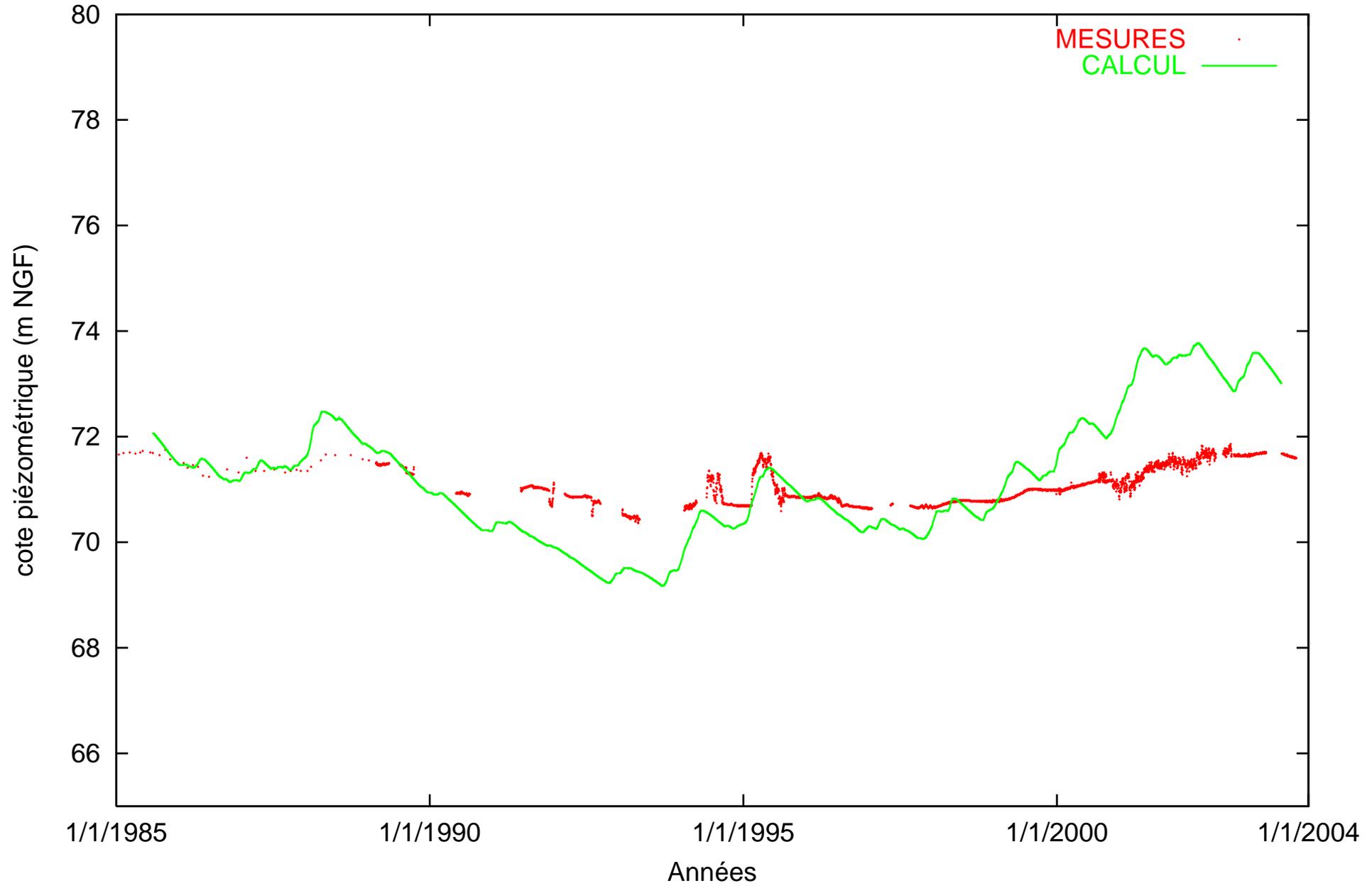
# **ANNEXE**

**-oOo-**

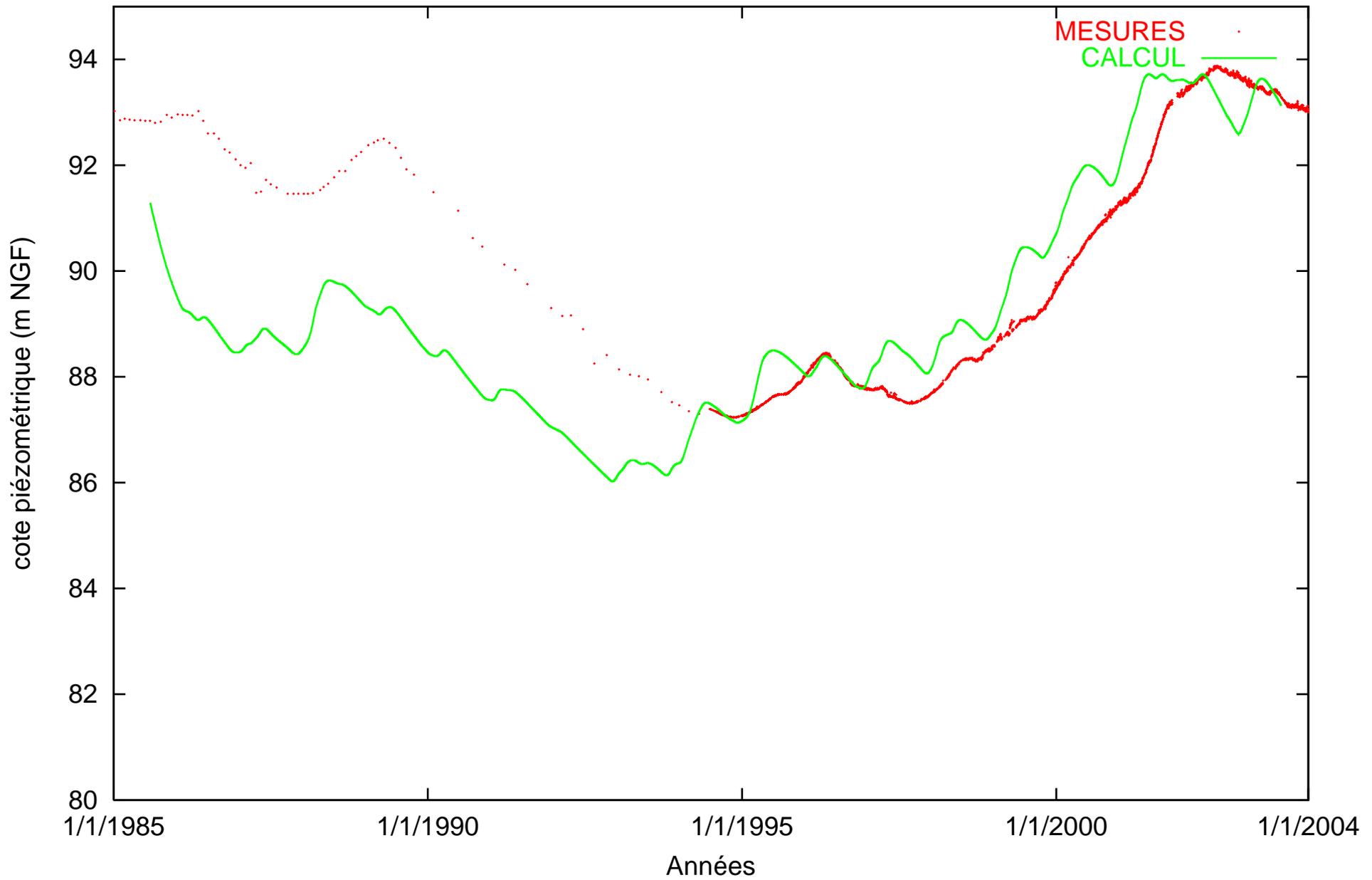
**Courbes d'évolution comparée  
des niveaux piézométriques  
mesurés et calculés entre 1985 et 2004**



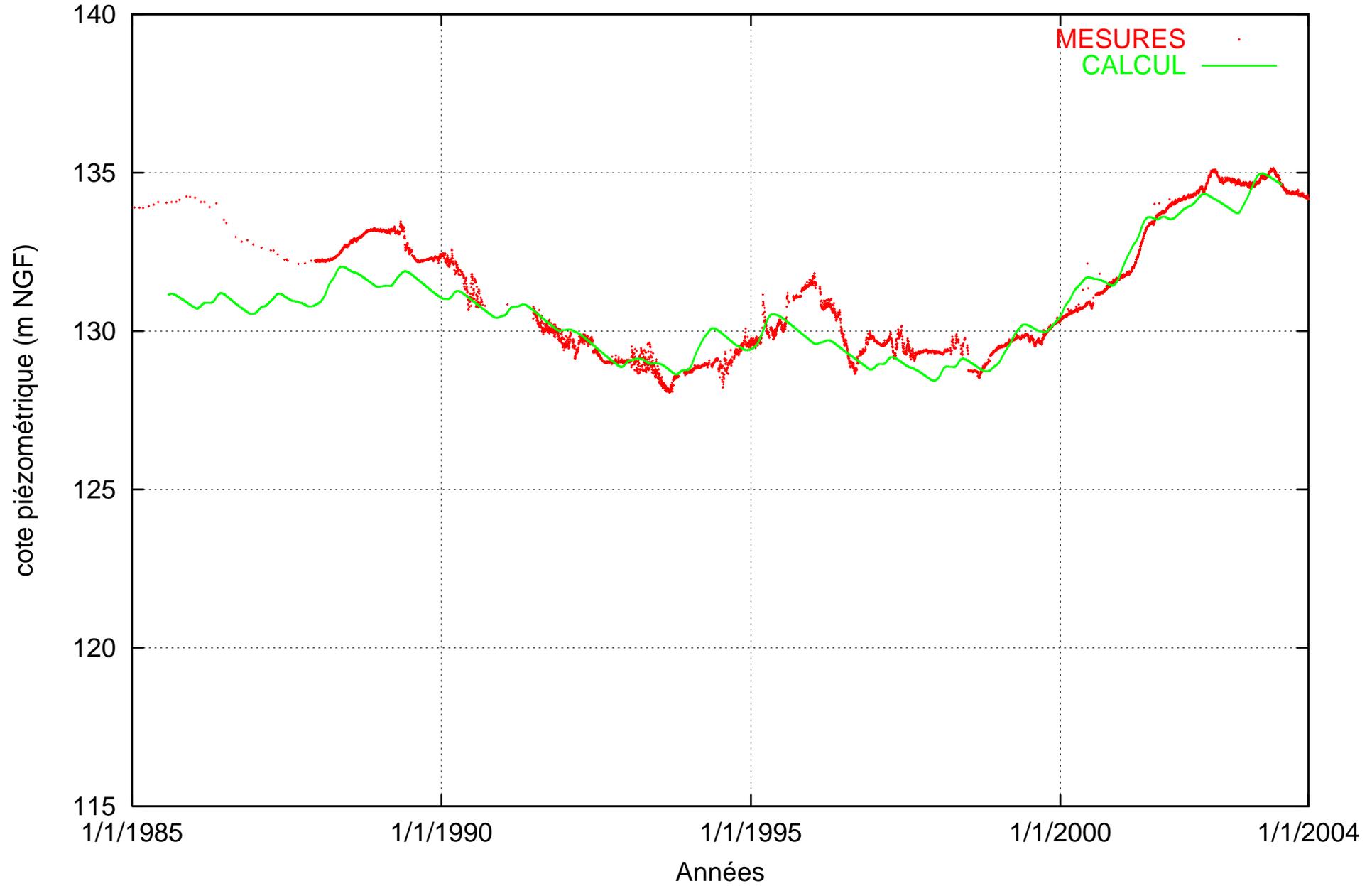
Piézomètre FONTAINEBLEAU : nappe de l'Oligocène



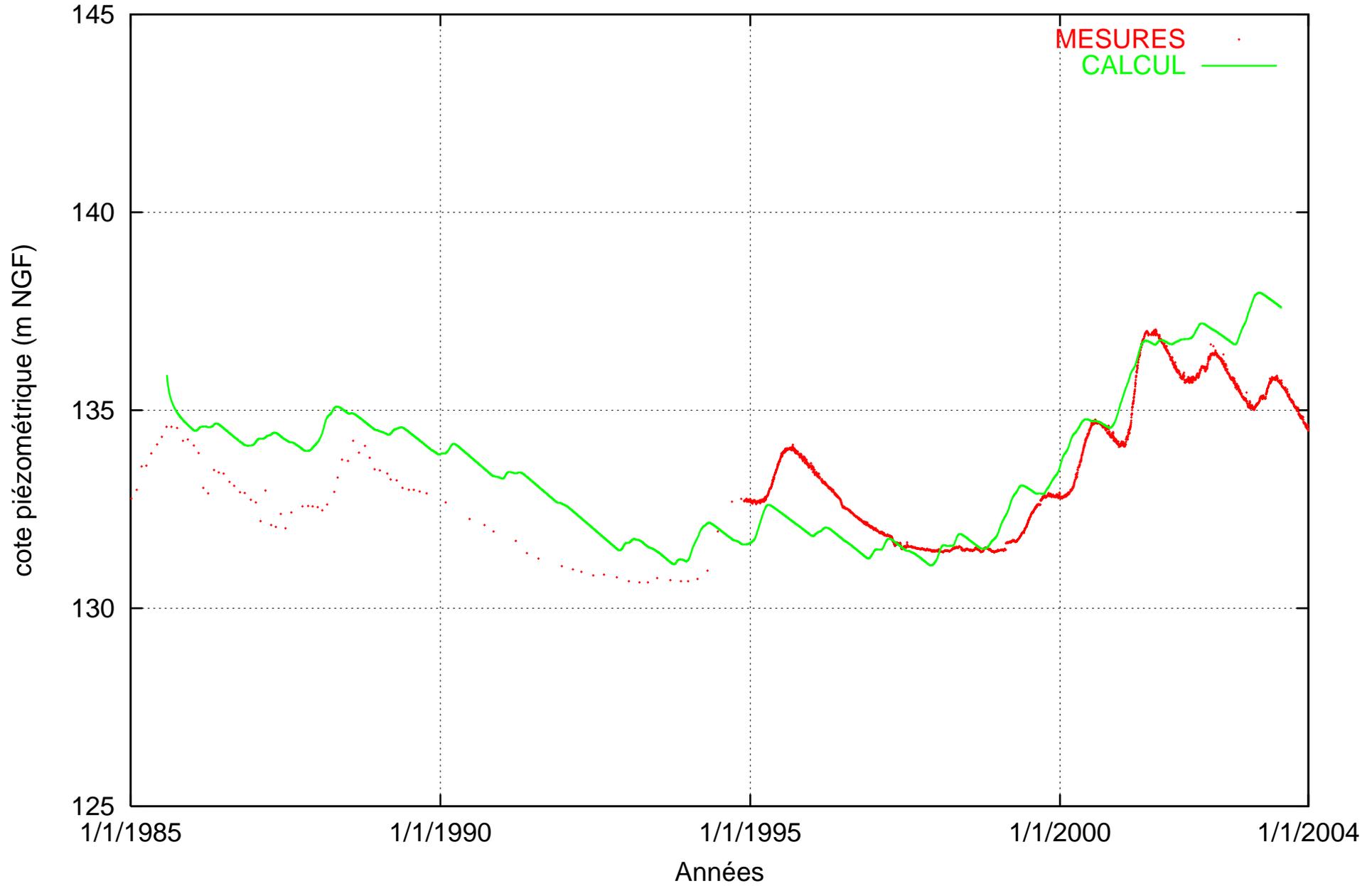
Piézomètre MAINVILLIERS : nappe de l'Oligocène



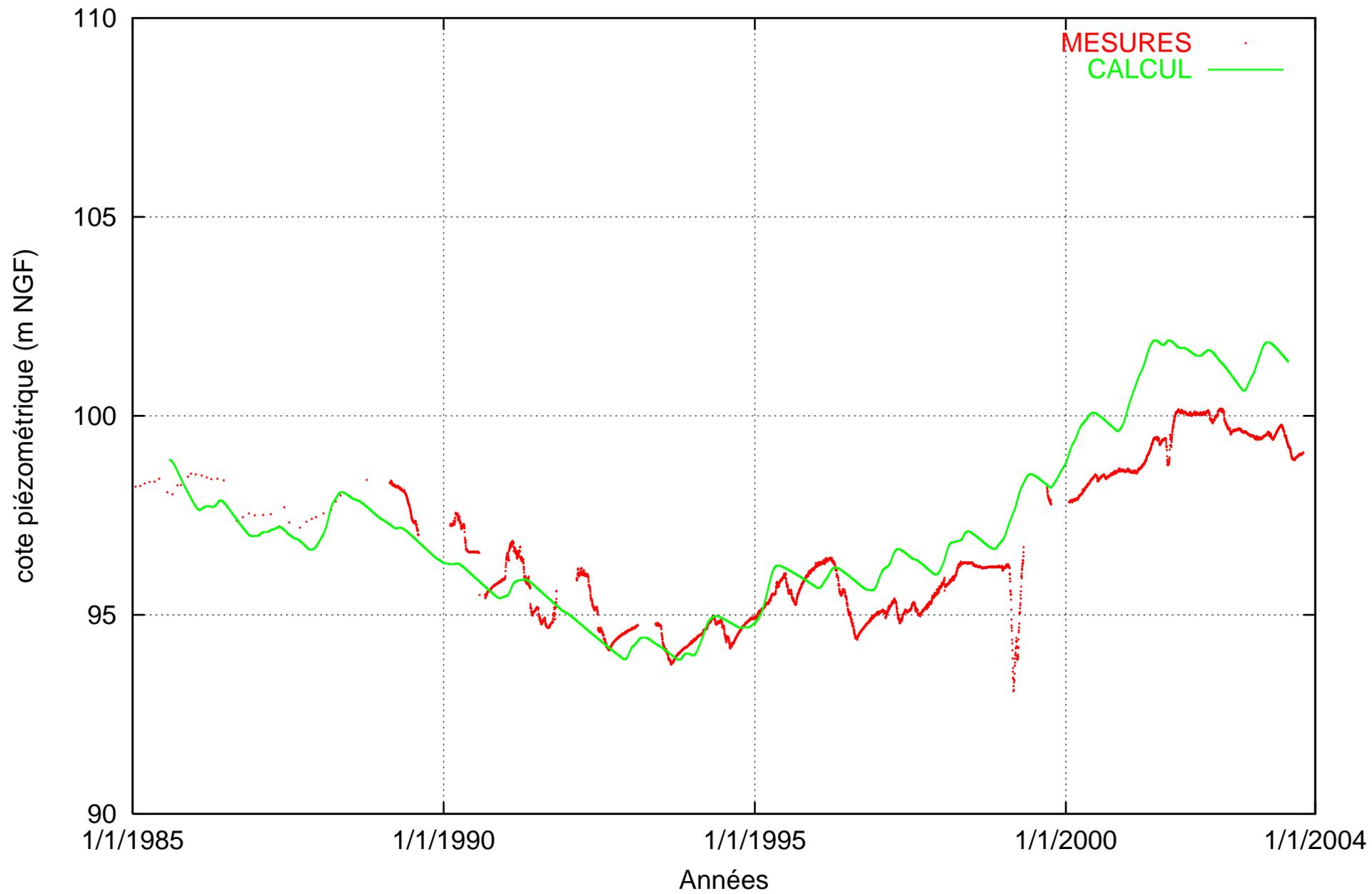
Piézomètre ALLAINVILLE : nappe de l'Oligocène



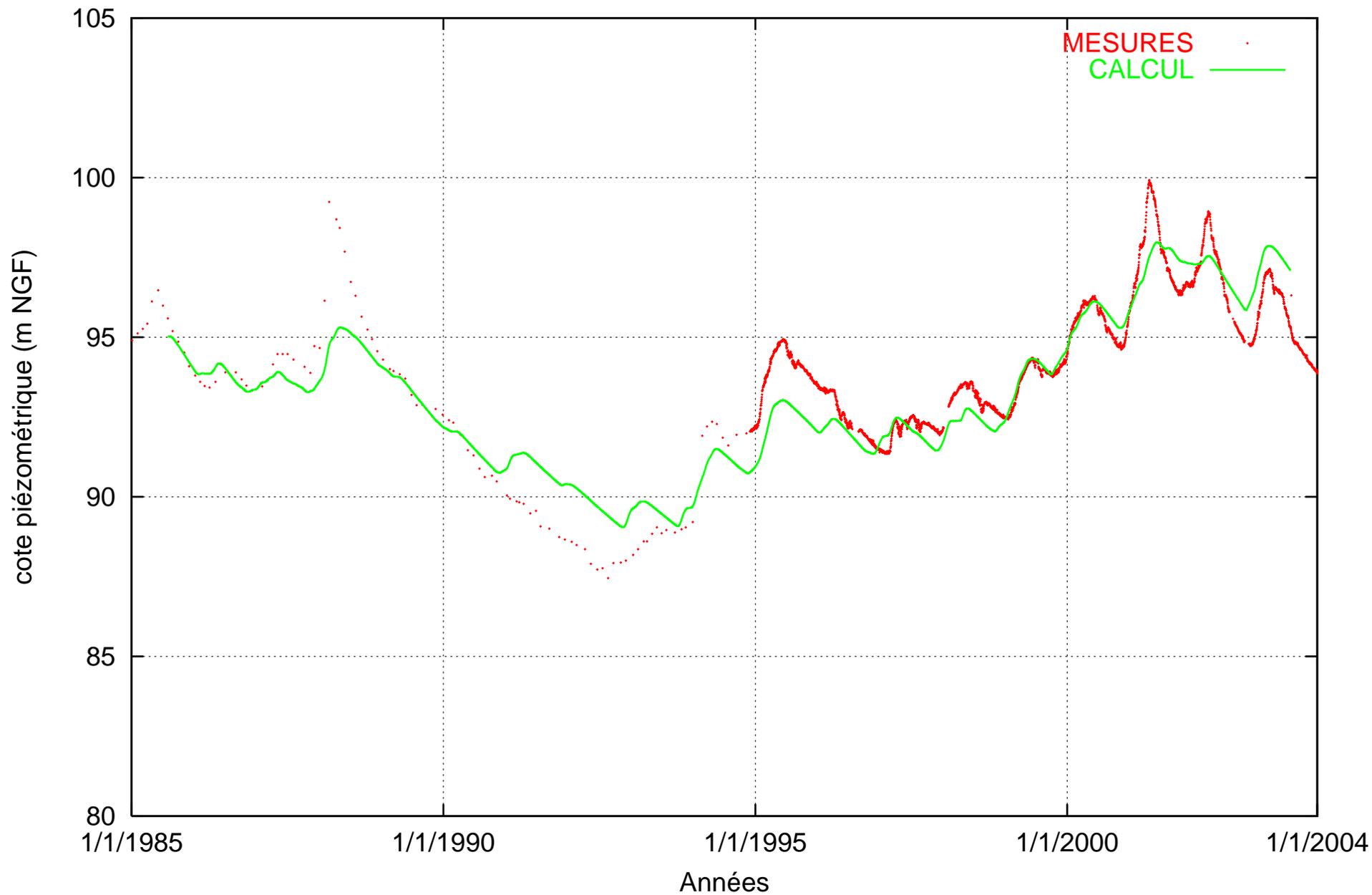
Piézomètre SAINT LEGER : nappe de l'Oligocène



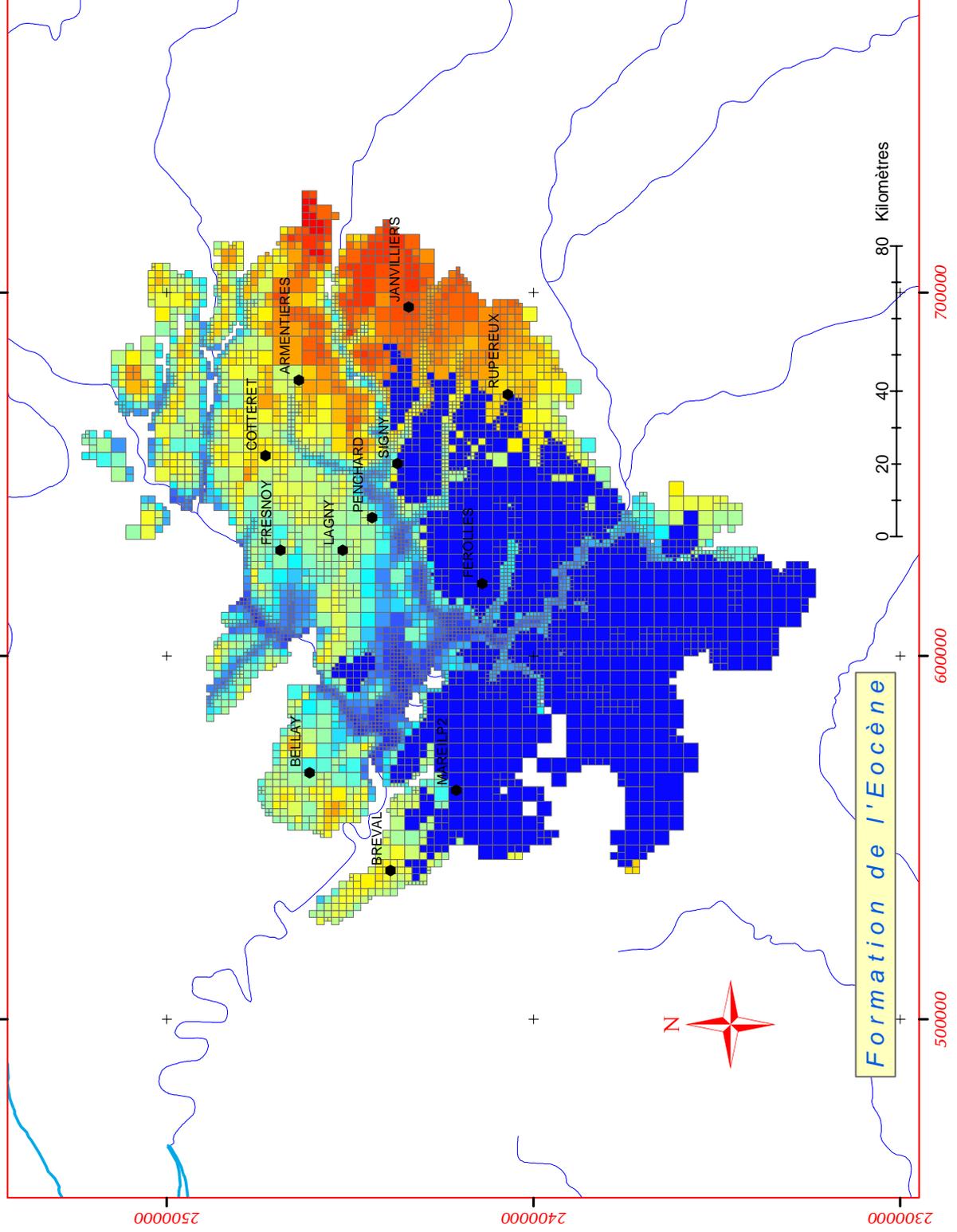
# Piézomètre ENGENVILLE : nappe de l'Oligocène



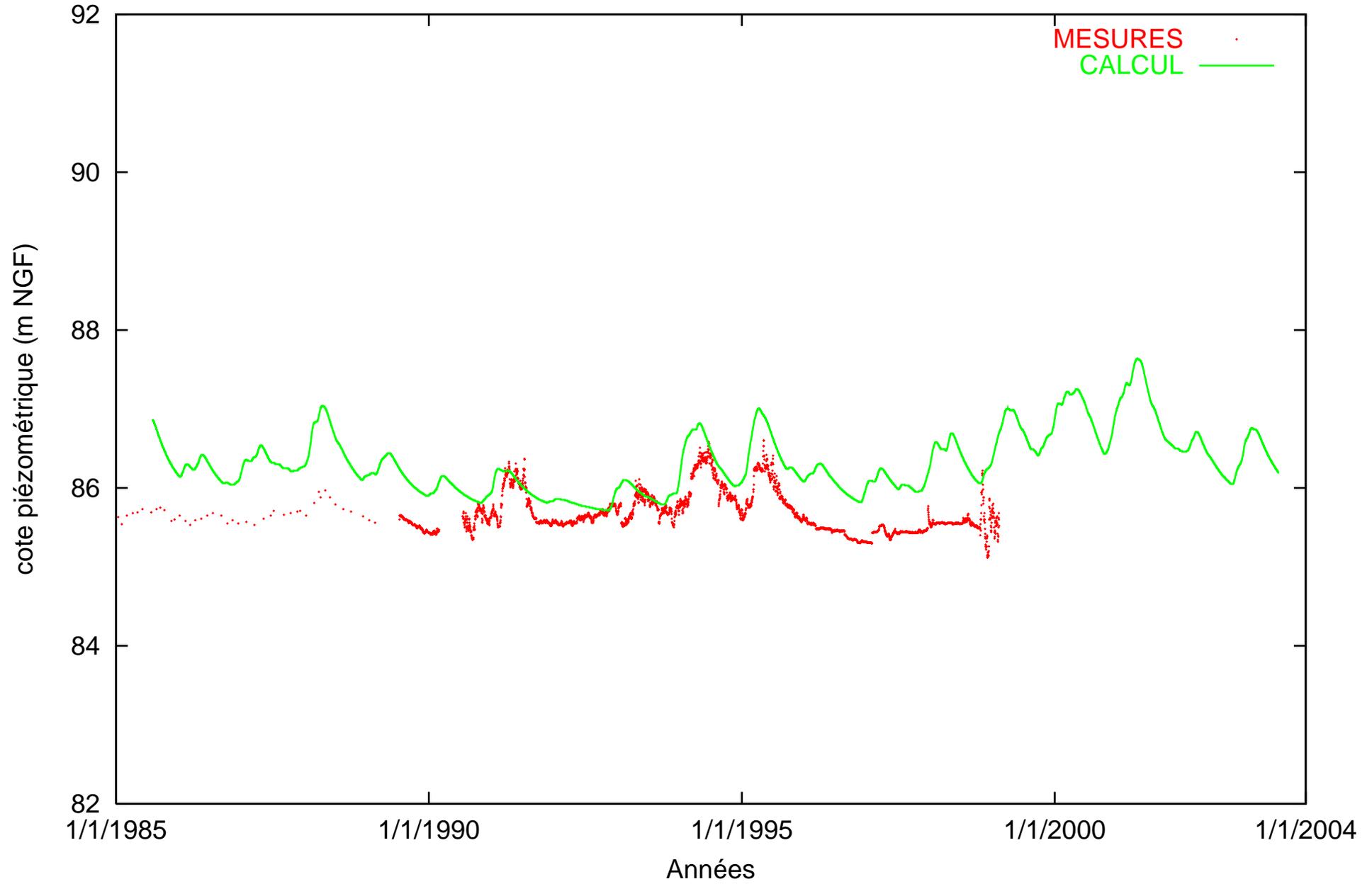
# Piézomètre BATILLY : nappe de l'Oligocène



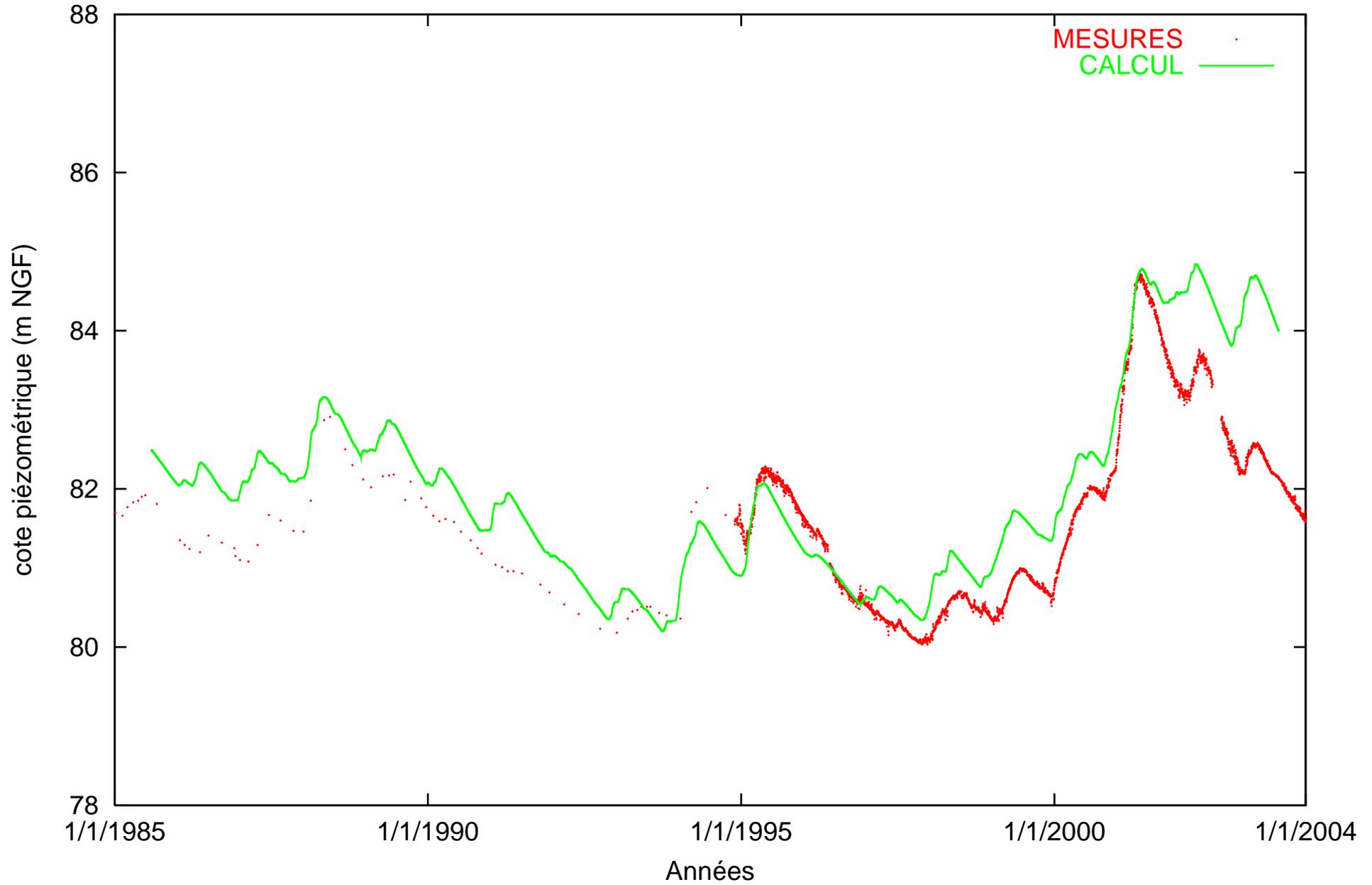
**Cote topographique**



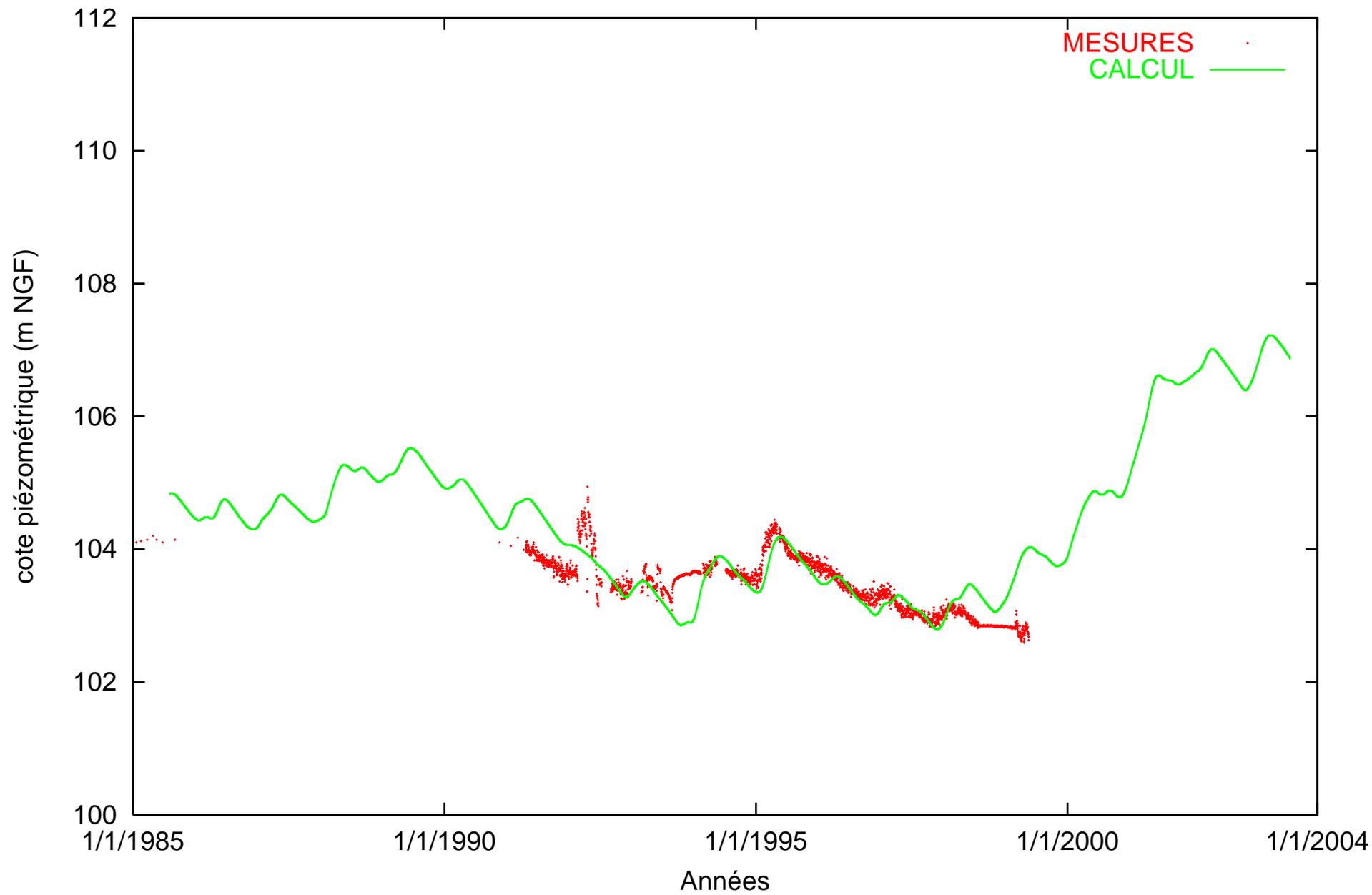
Piézomètre BELLAY : nappe de l'Eocène



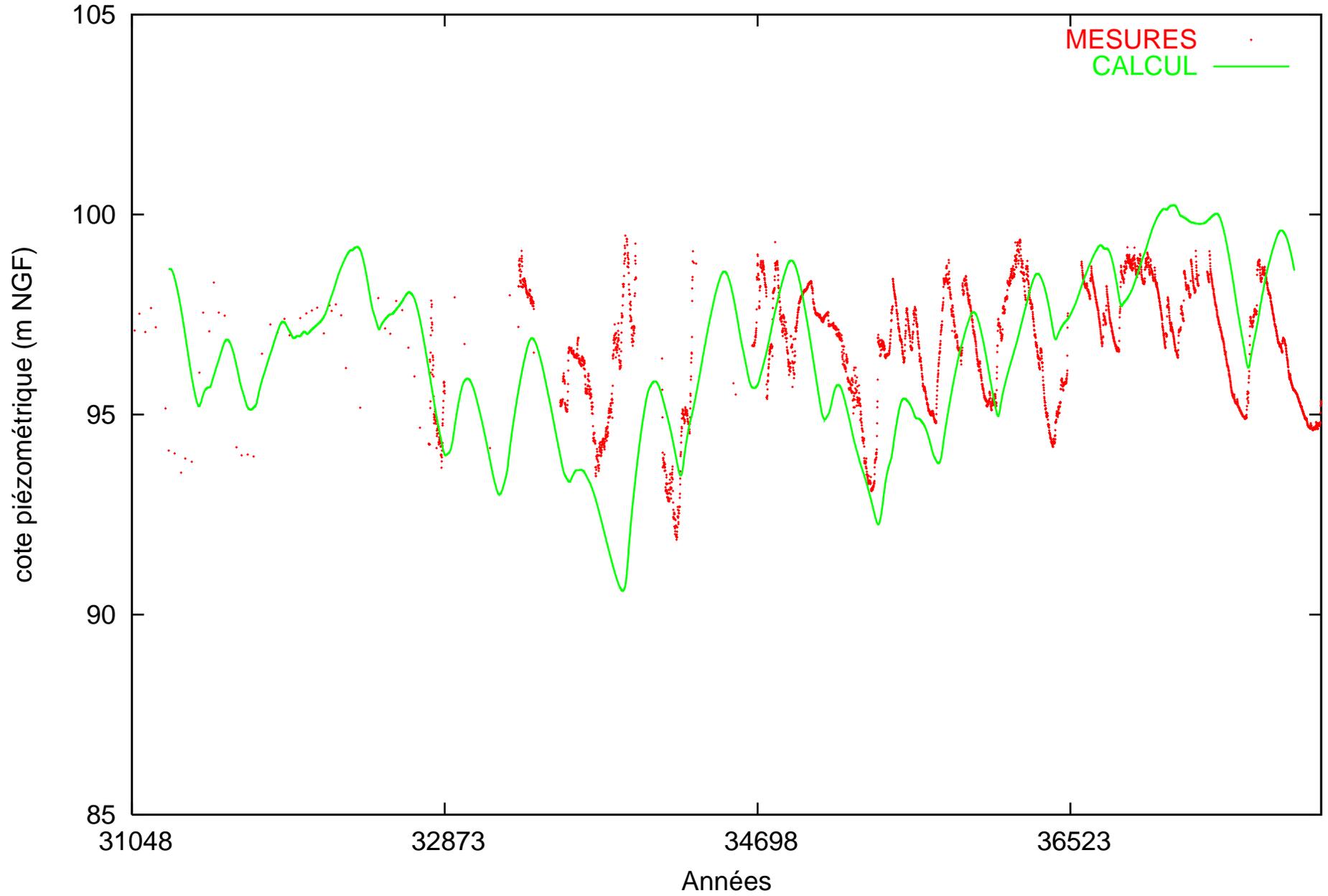
Piézomètre FRESNOY : nappe de l'Eocène



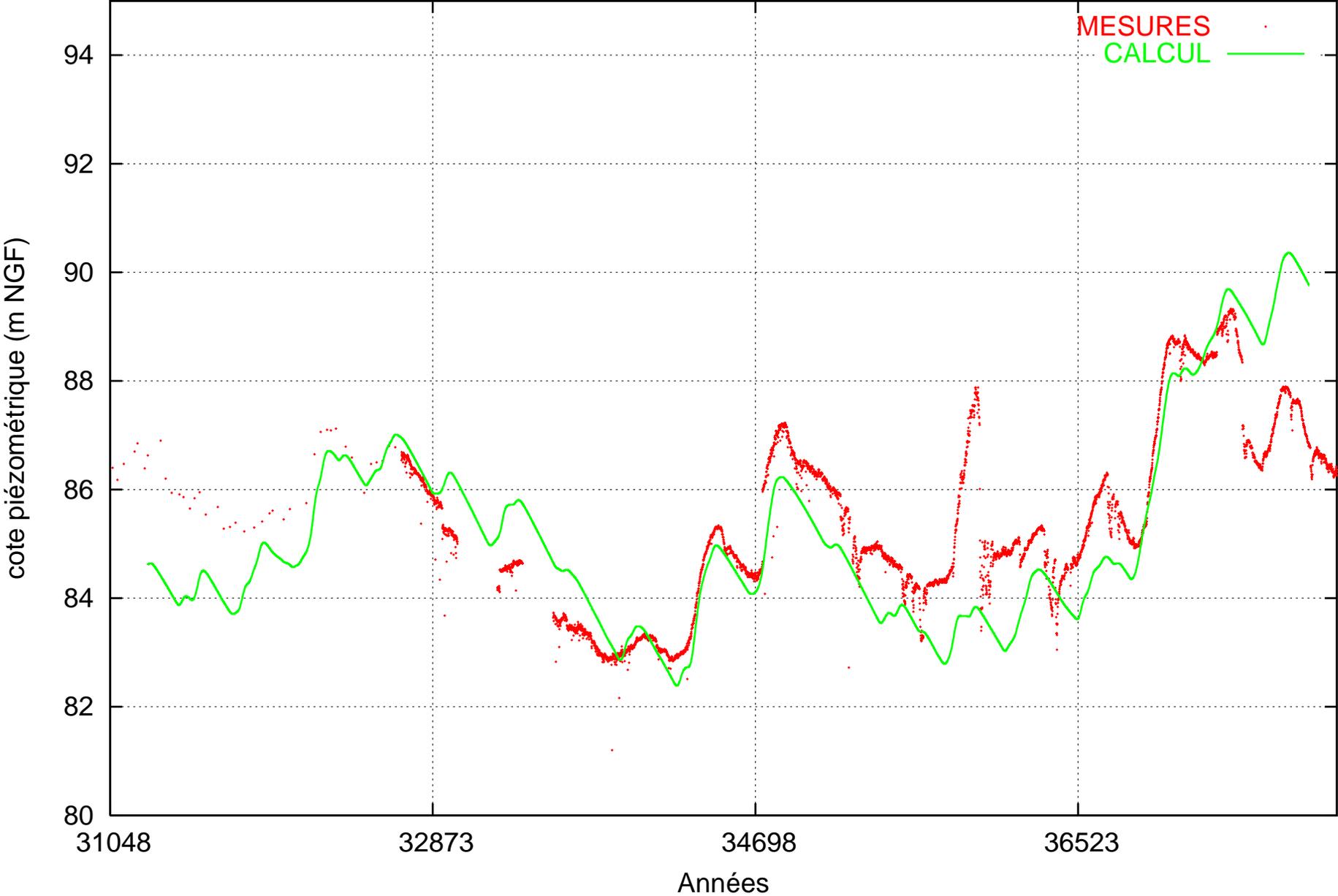
# Piézomètre COTTERET : nappe de l'Eocène



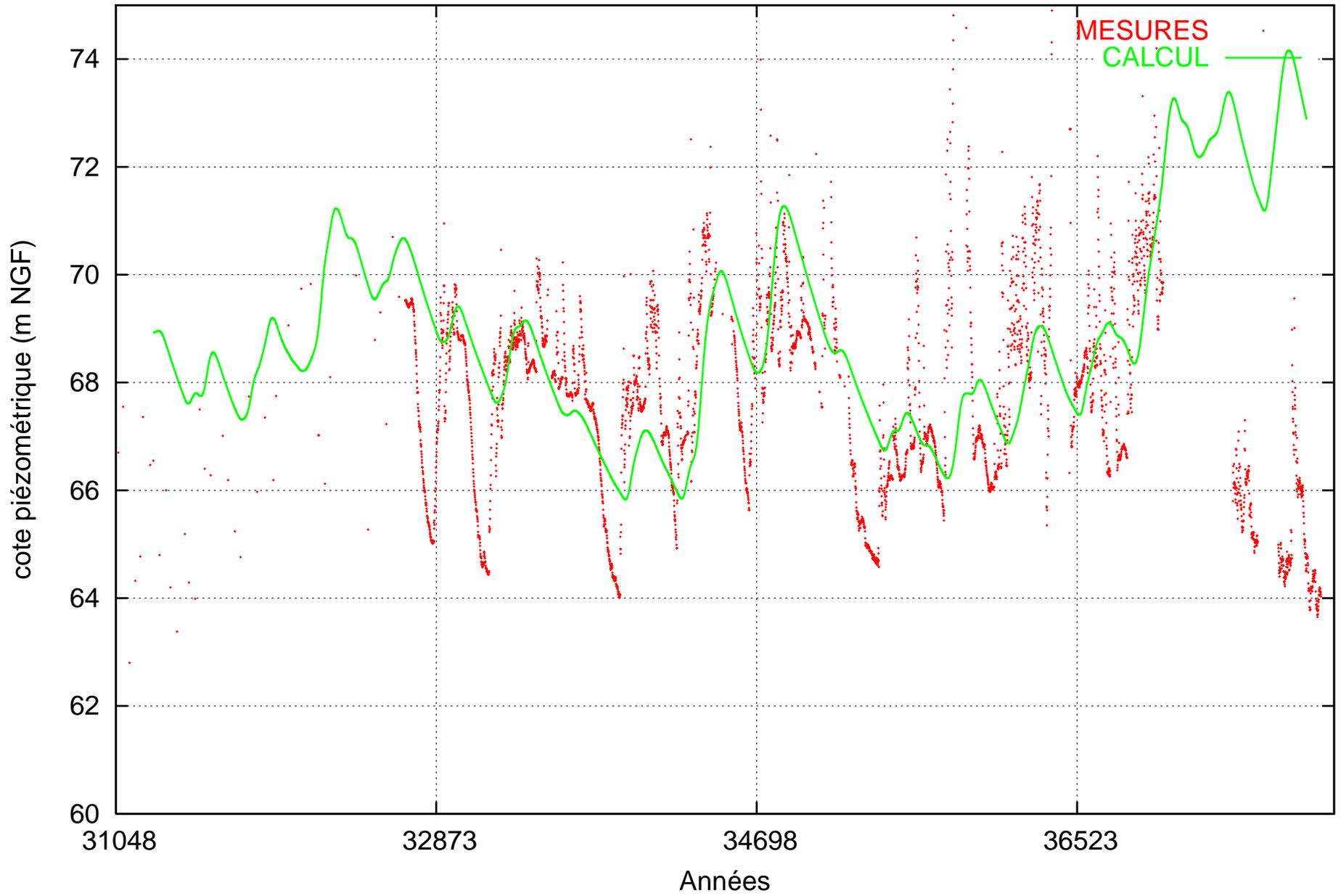
# Piézomètre SIGNY : nappe de l'Eocène



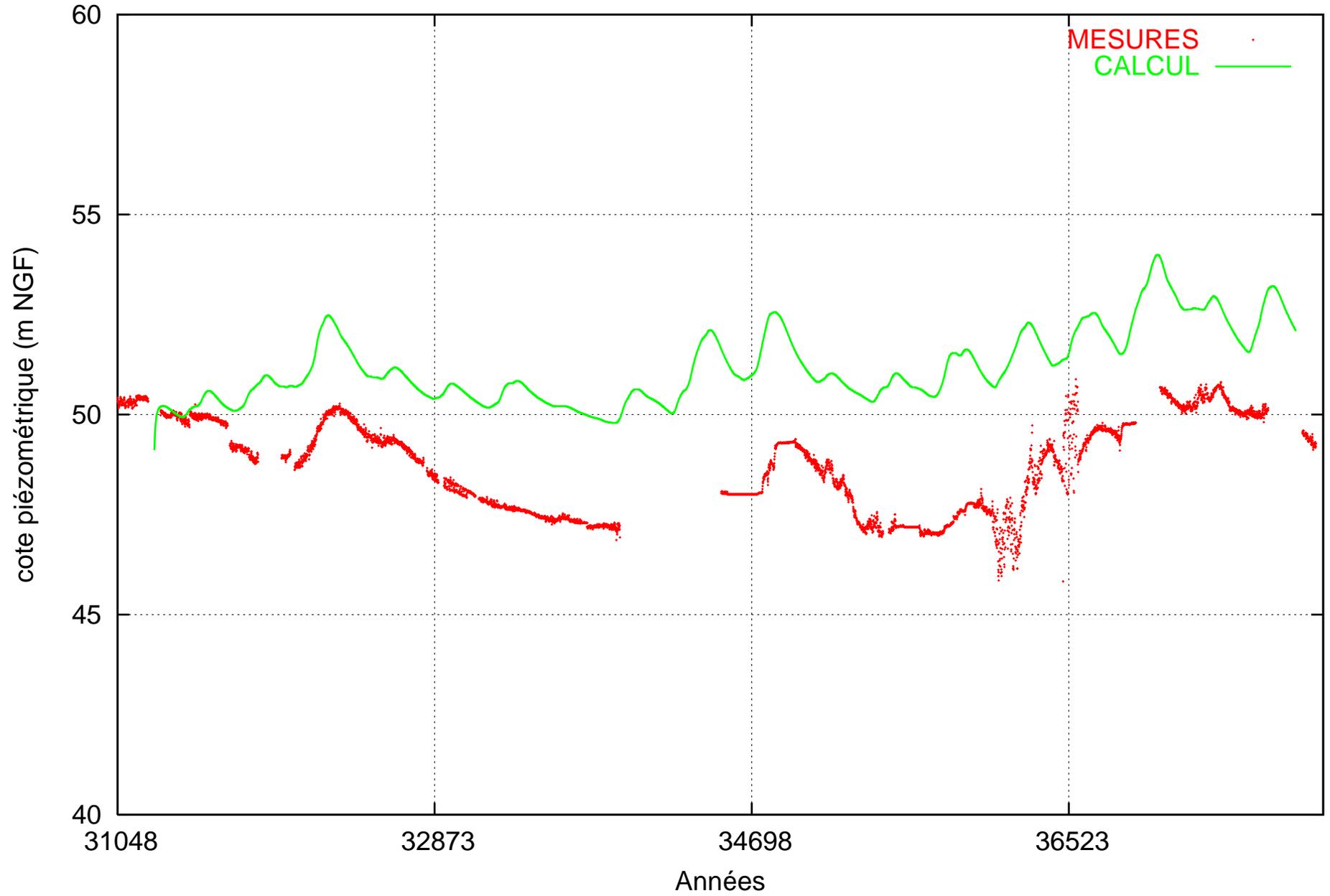
Piézomètre LAGNY : nappe de l'Eocène



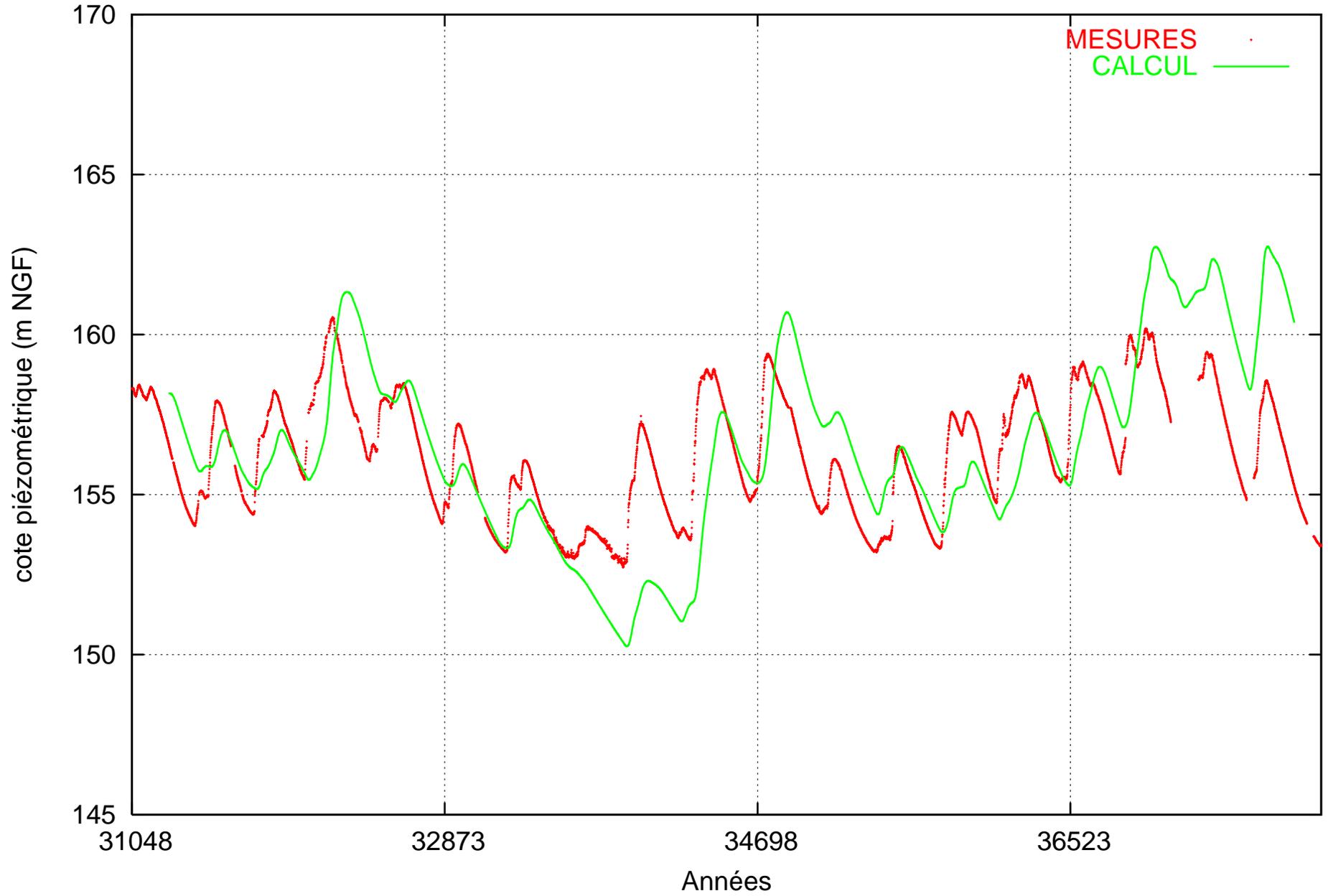
Piézomètre PENCHARD : nappe de l'Eocène



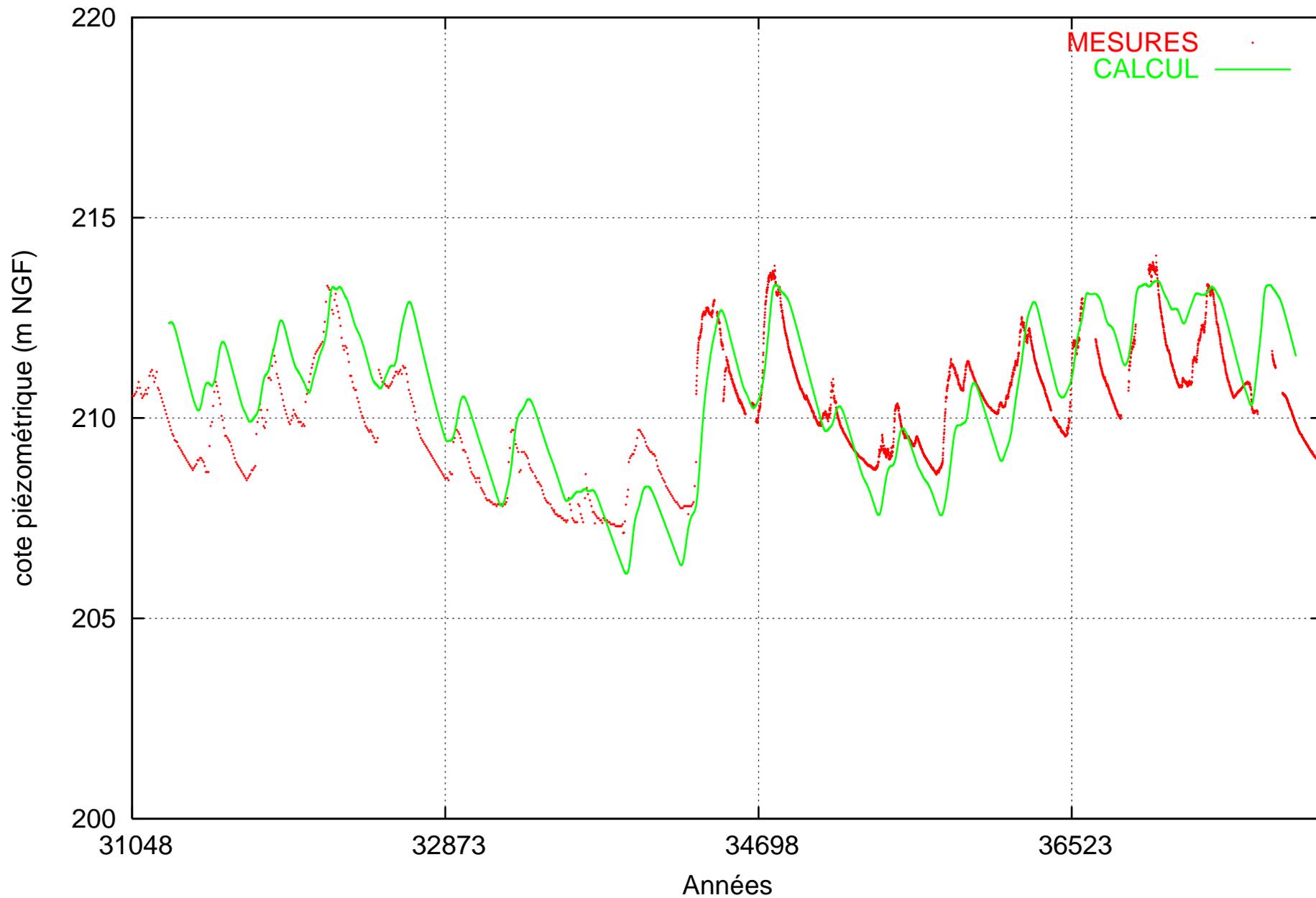
Piézomètre FEROLLES : nappe de l'Eocène



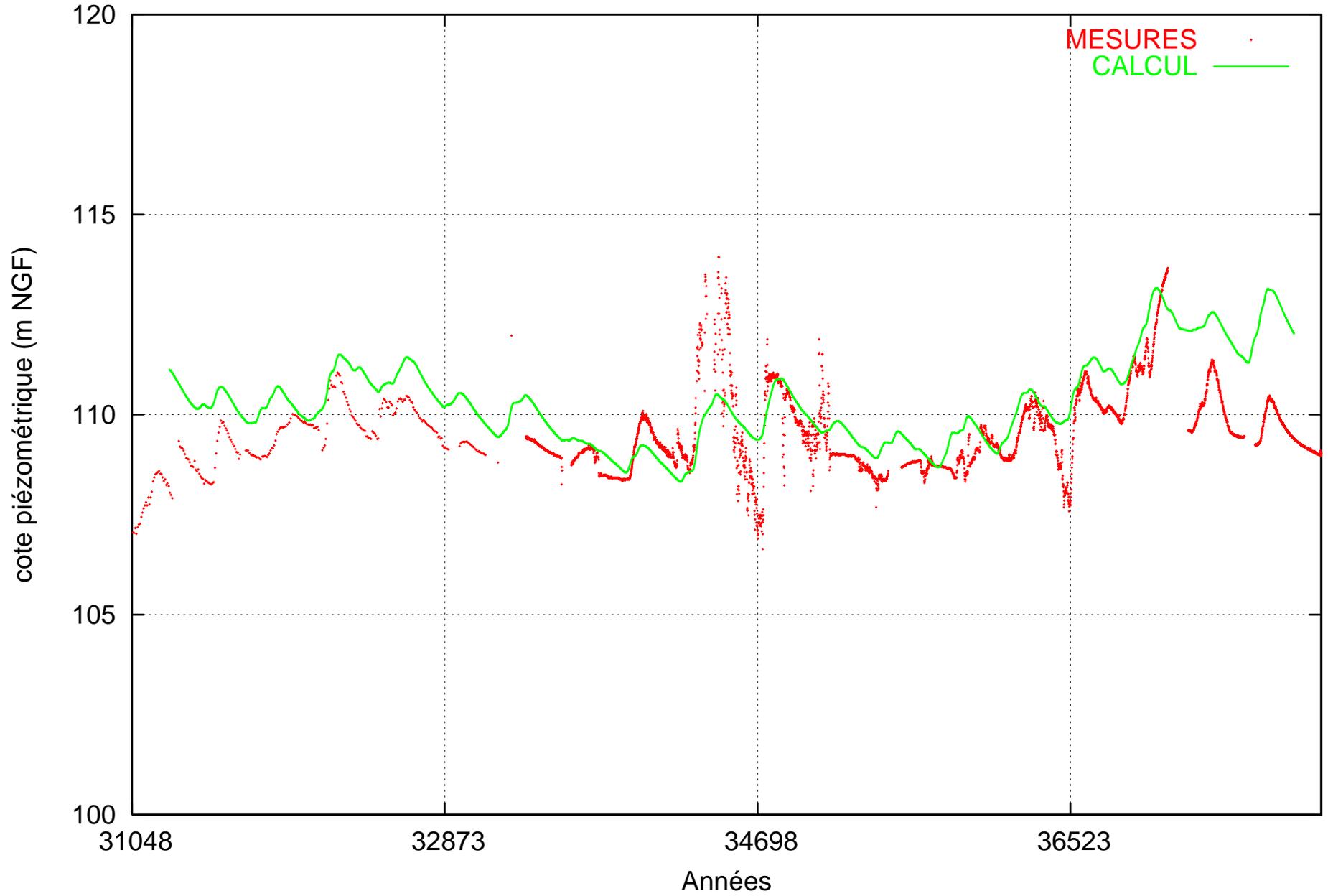
Piézomètre RUPEREUX : nappe de l'Eocène



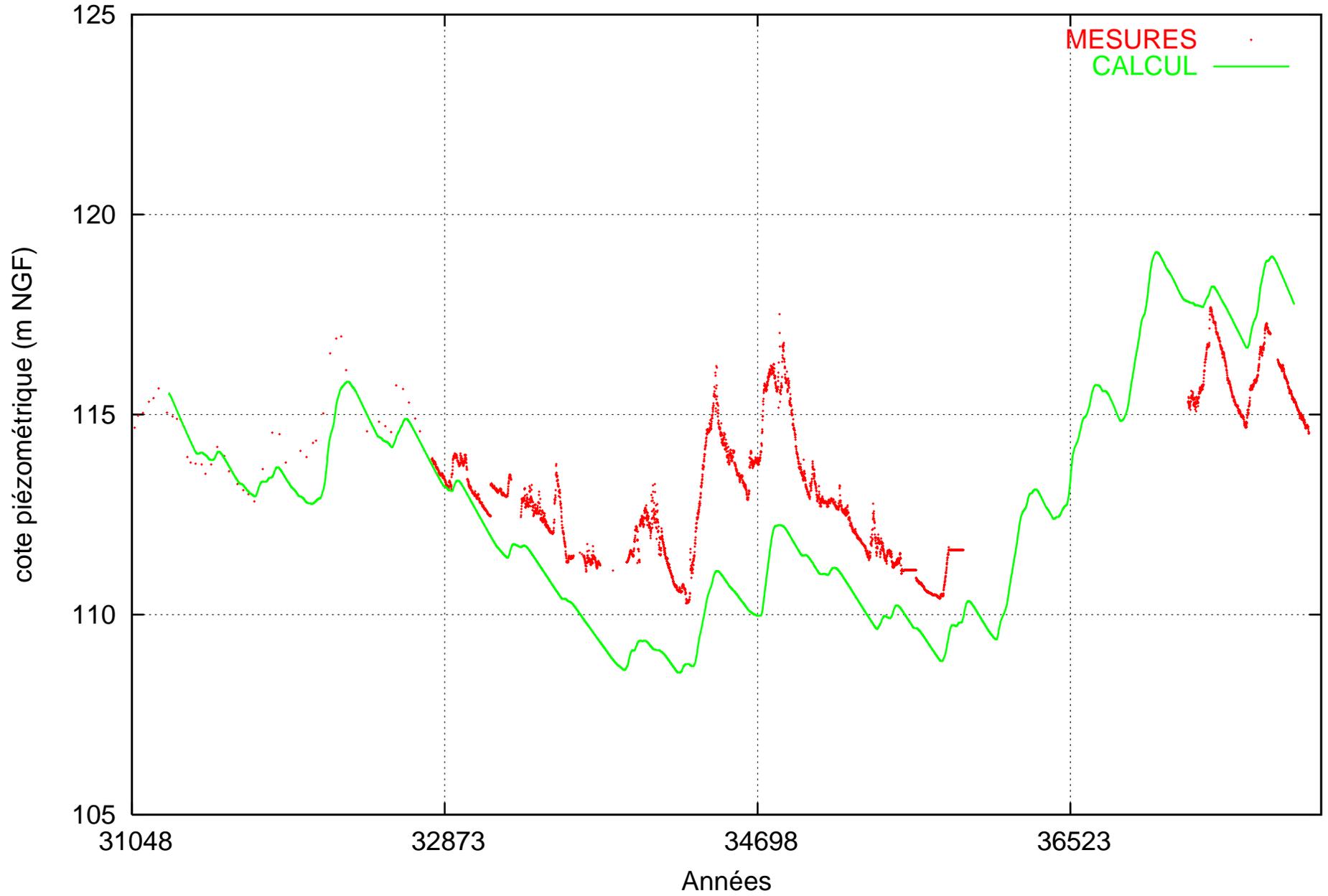
Piézomètre JANVILLIERS : nappe de l'Eocène



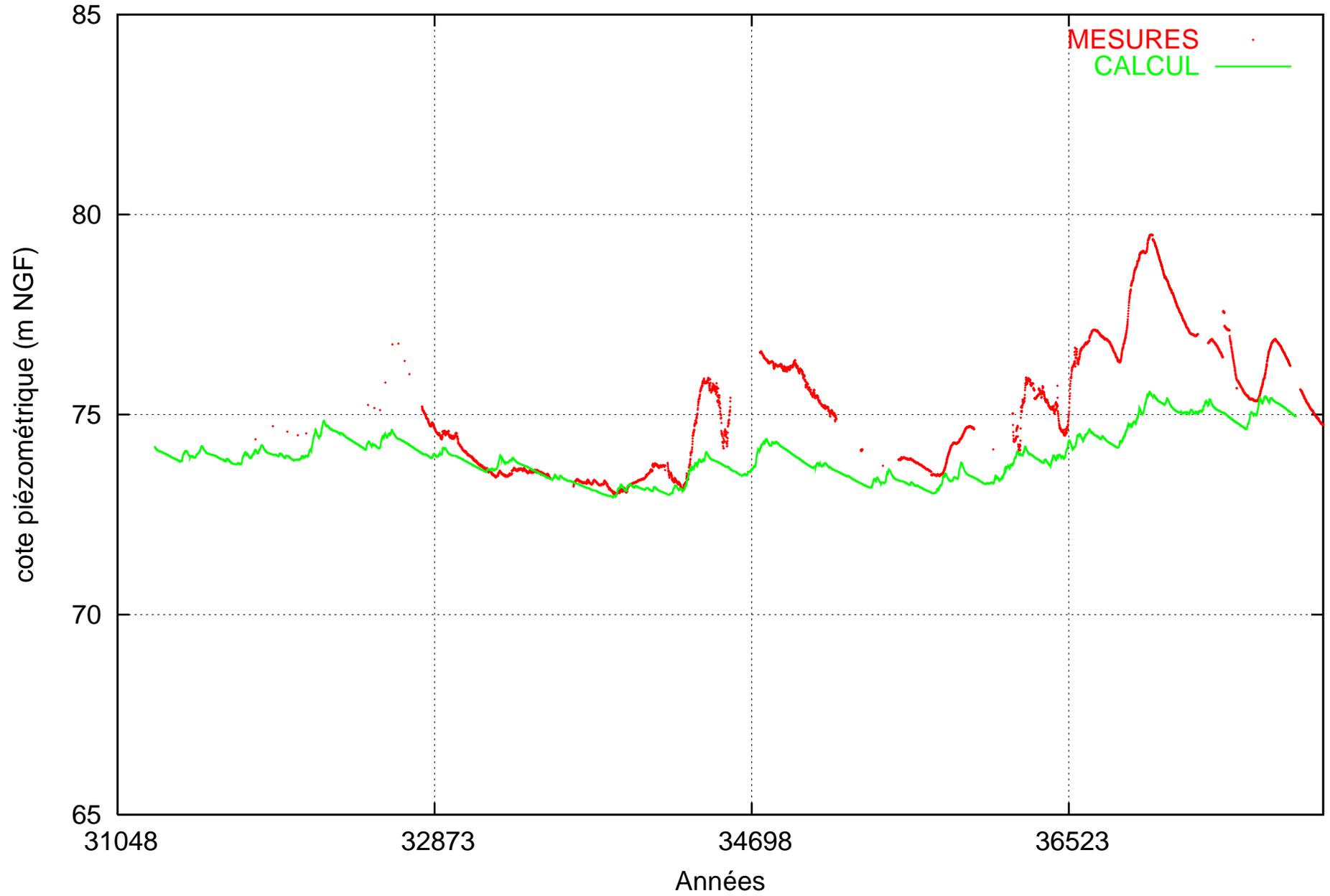
Piézomètre ARMENTIERES : nappe de l'Eocène



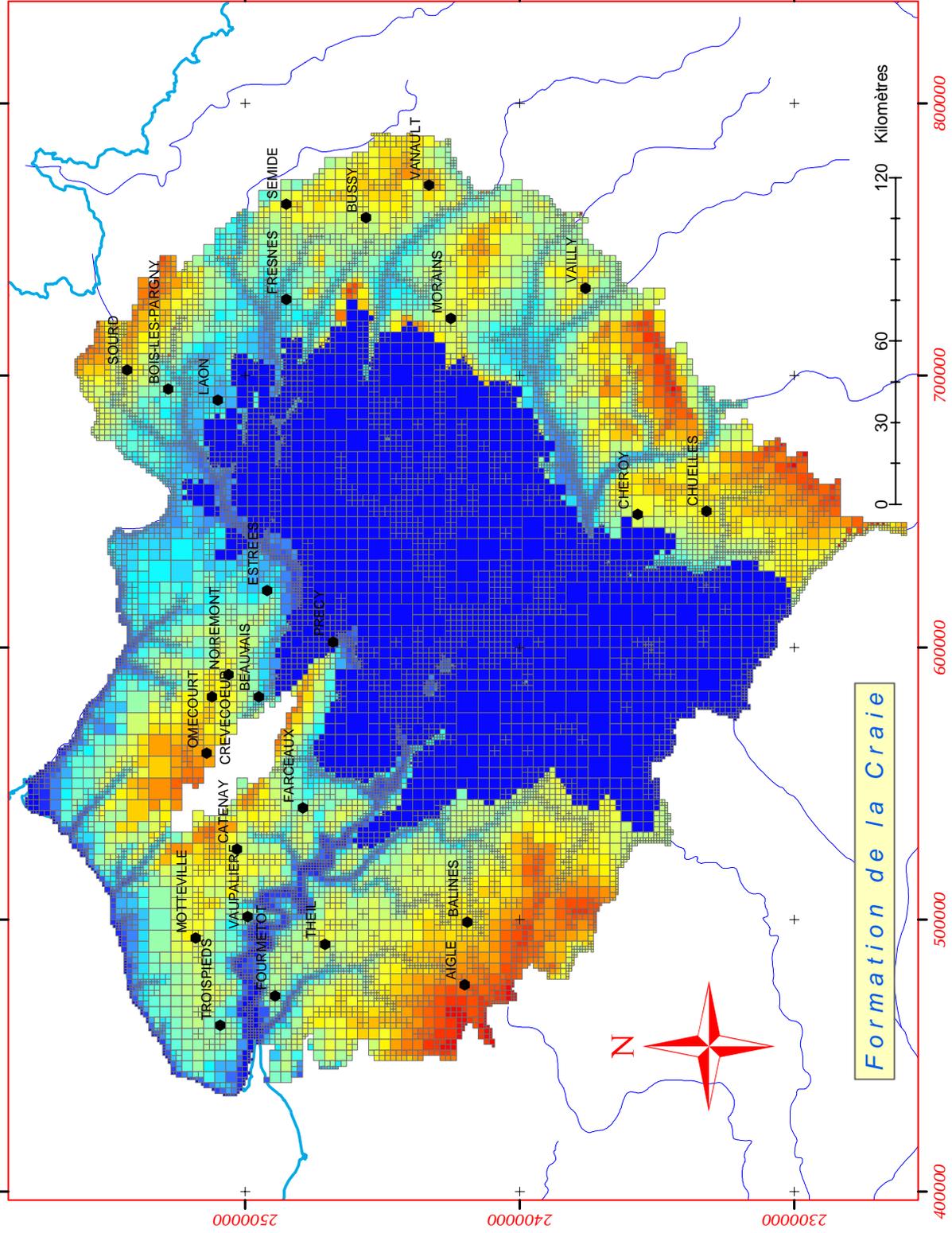
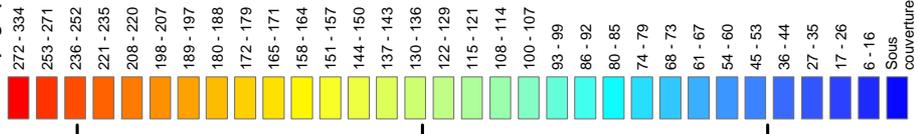
Piézomètre BREVAL : nappe de l'Eocène



Piézomètre MAREIL P2 : nappe de l'Eocène

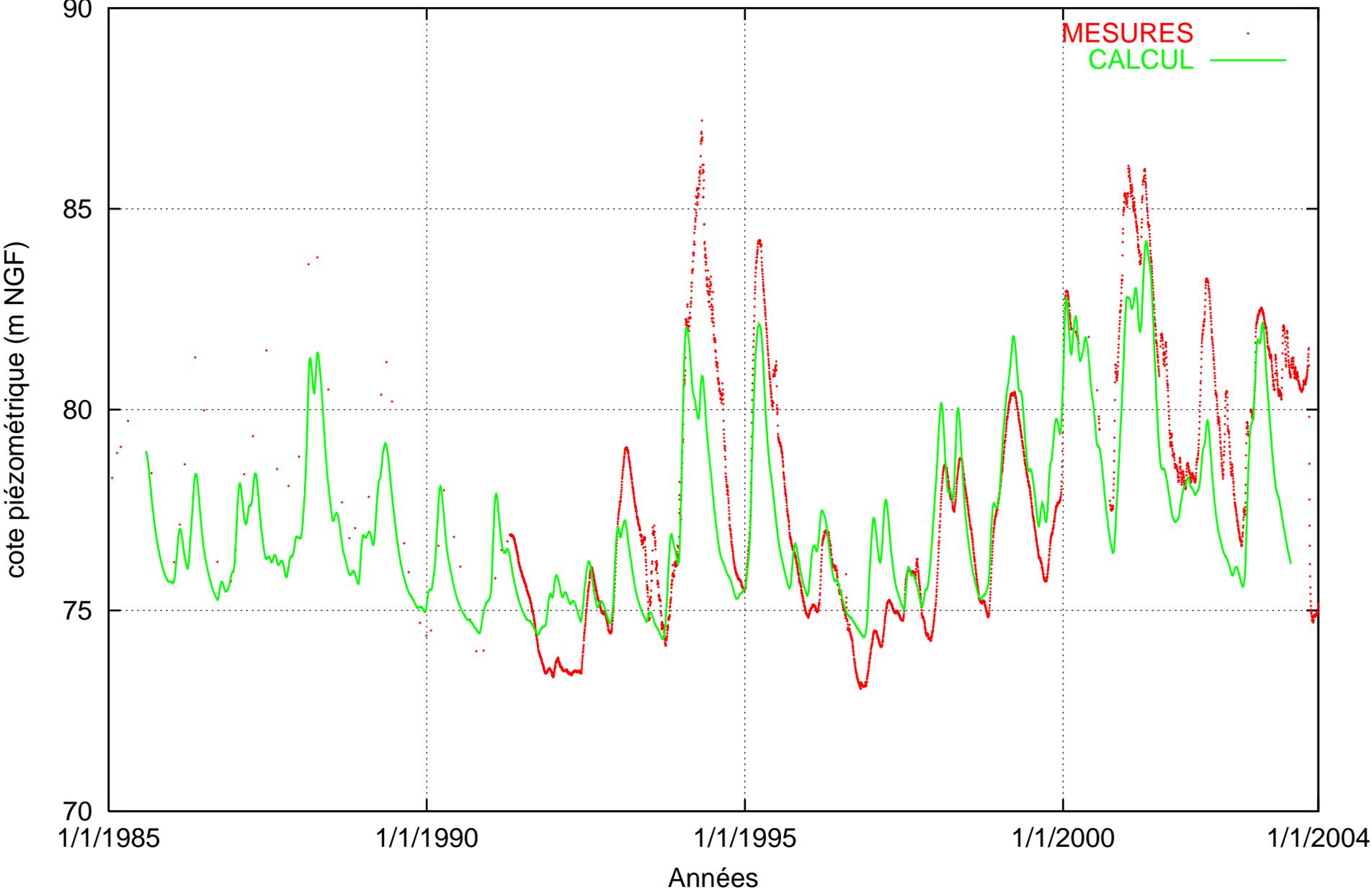


Cote topographique

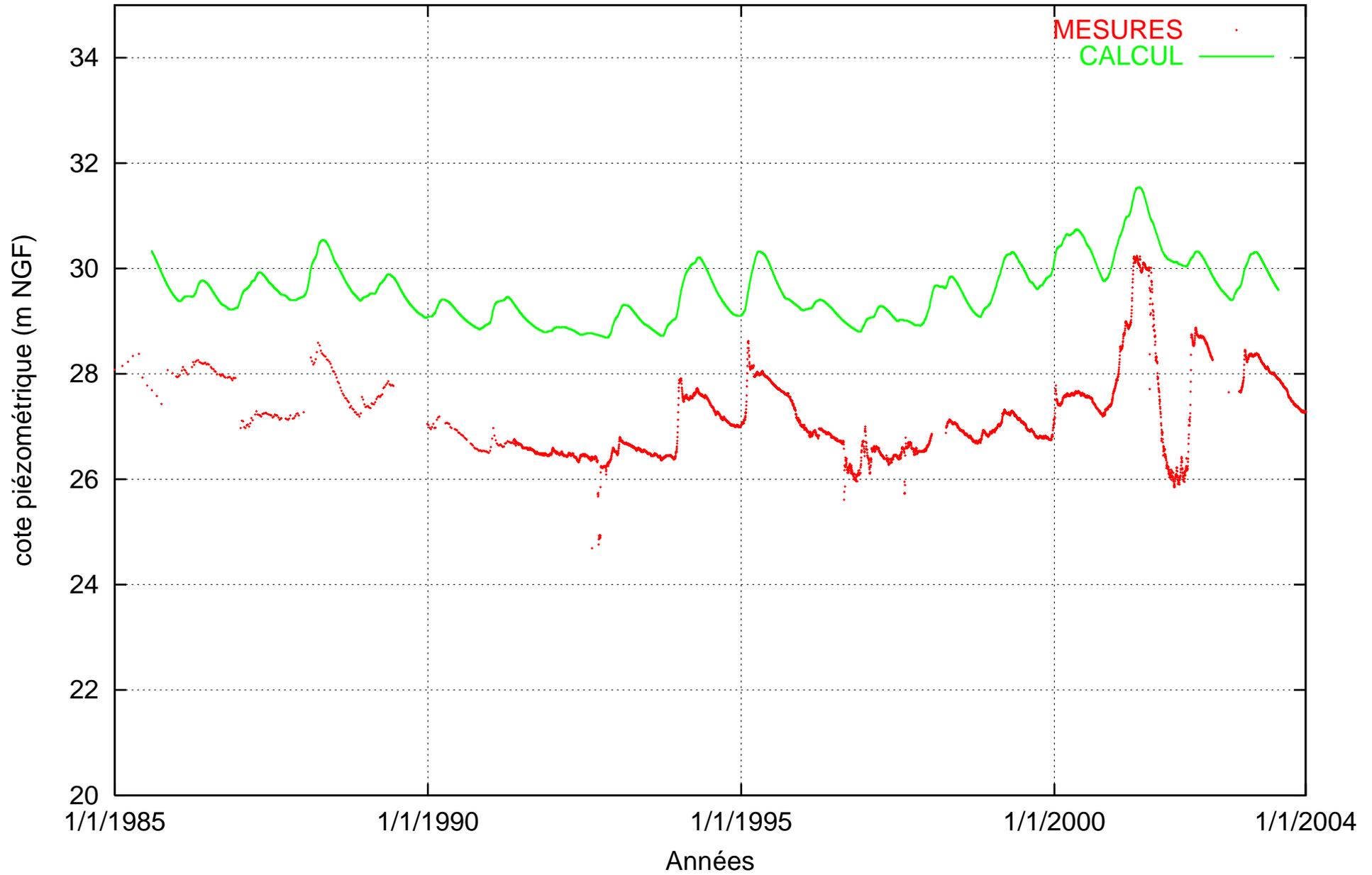


Formation de la Craie

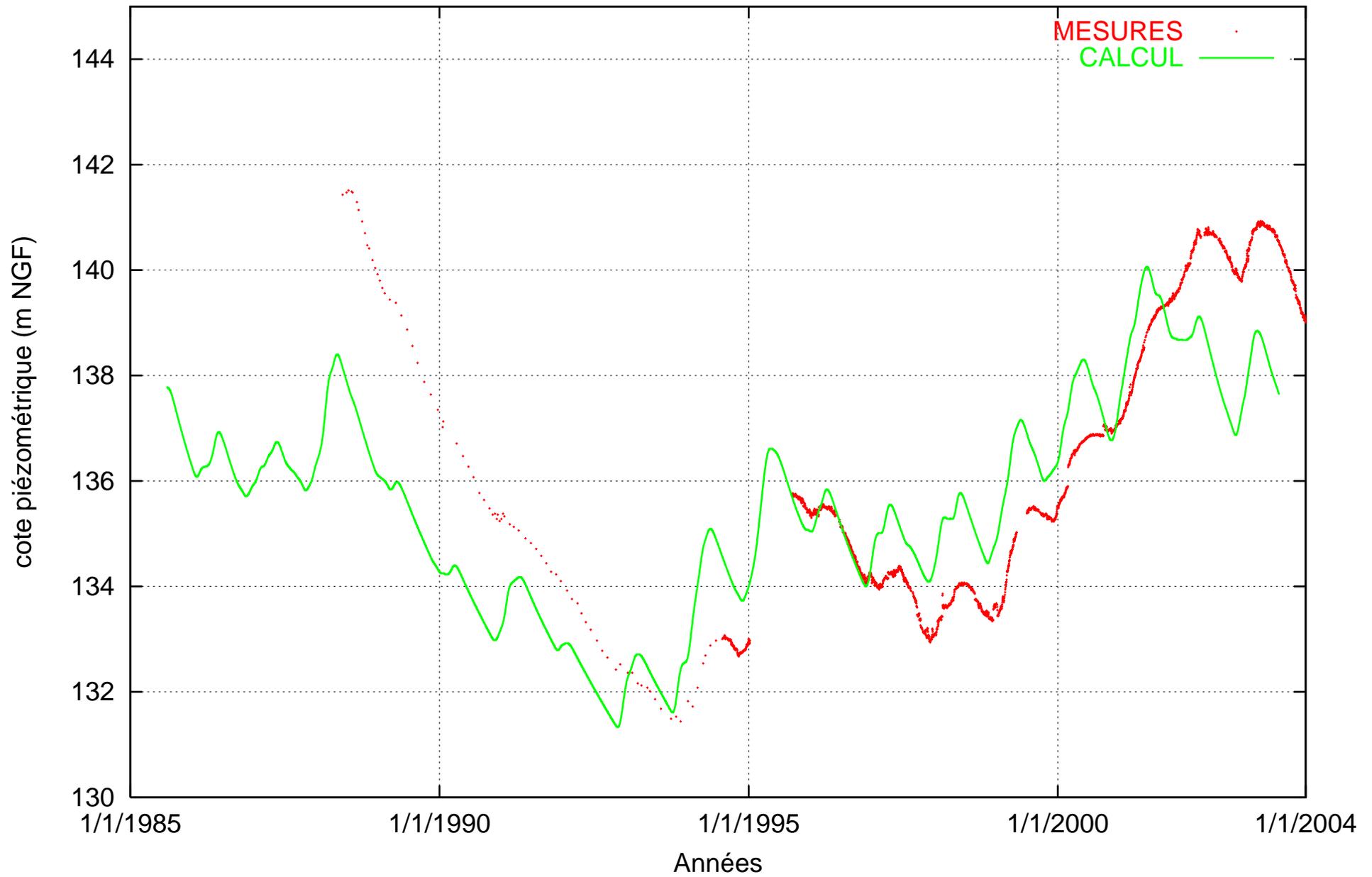
Piézomètre BEAUVAIS : nappe de la Craie



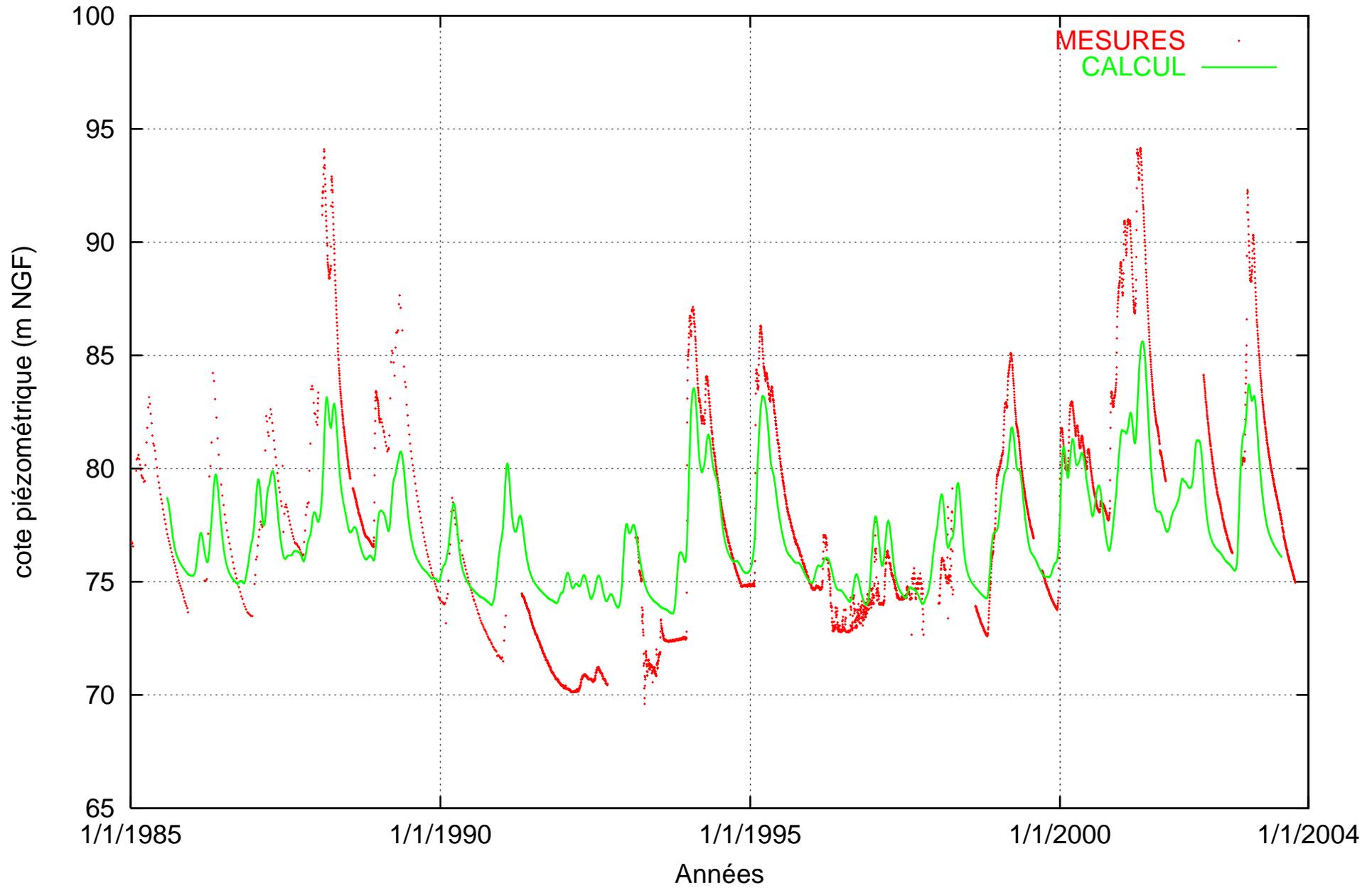
# Piézomètre PRECY : nappe de la Craie



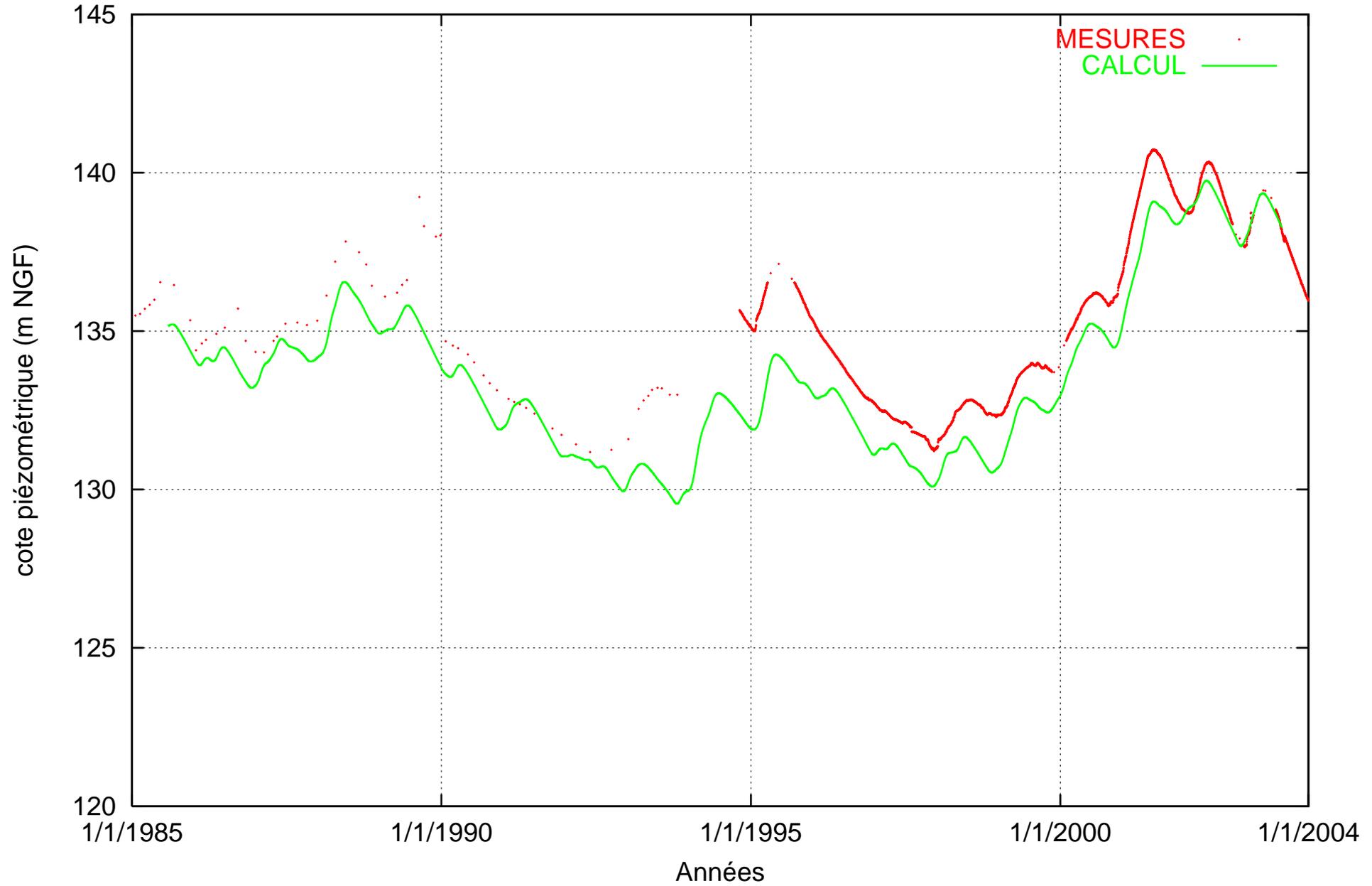
# Piézomètre CHUELLES : nappe de la Craie



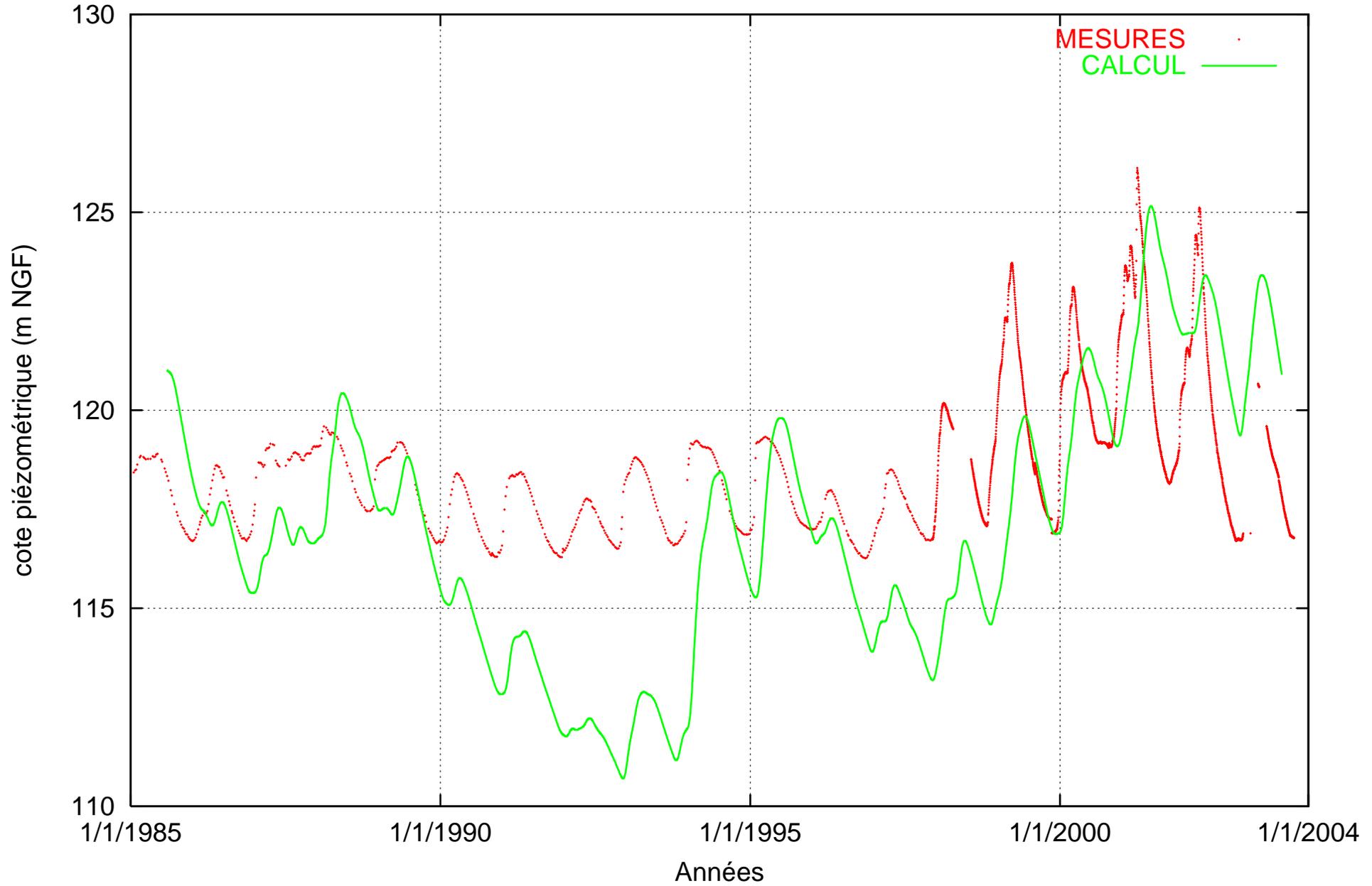
# Piézomètre BOIS les PARGNY : nappe de la Craie



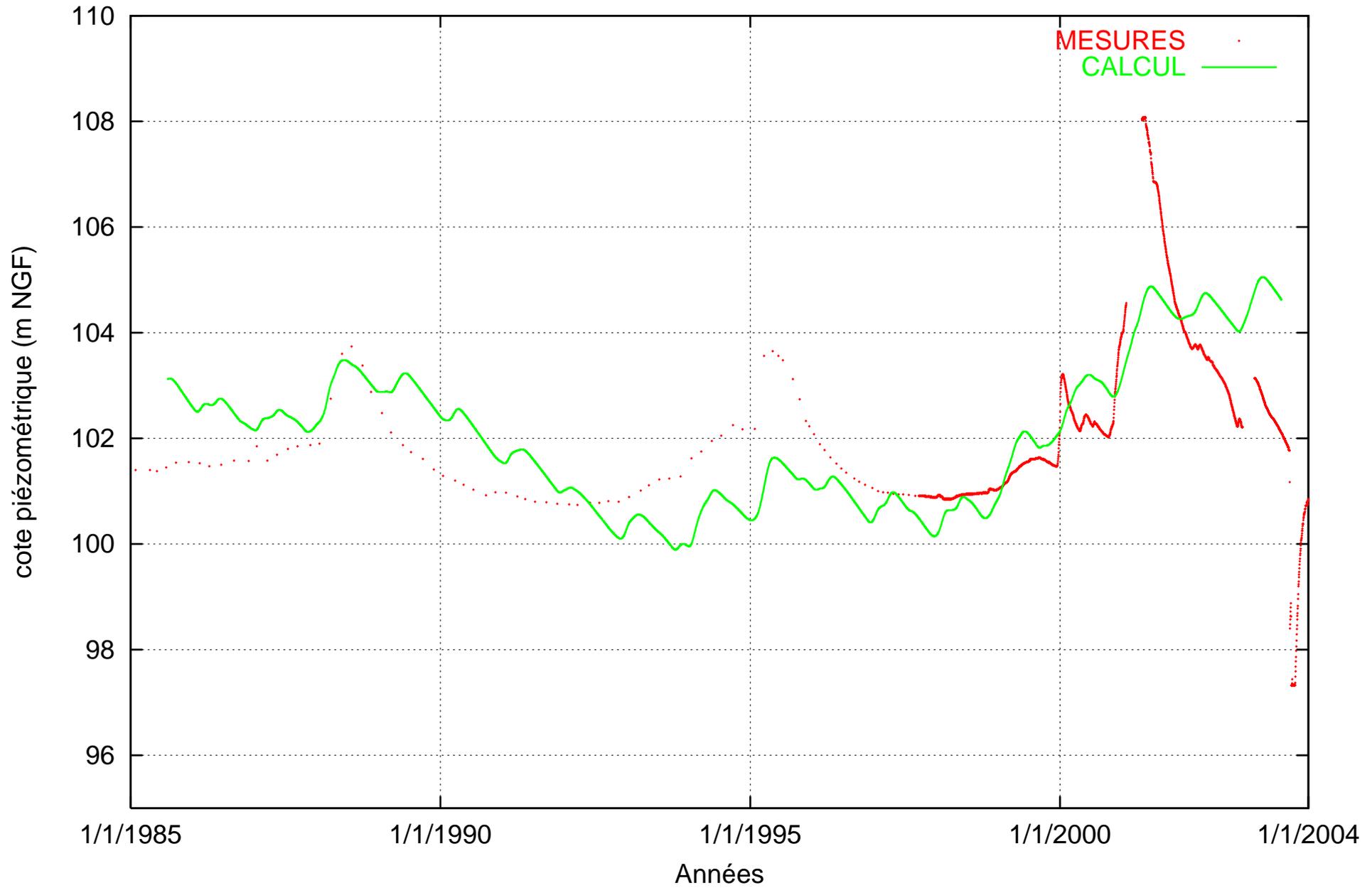
Piézomètre CREVECOEUR : nappe de la Craie



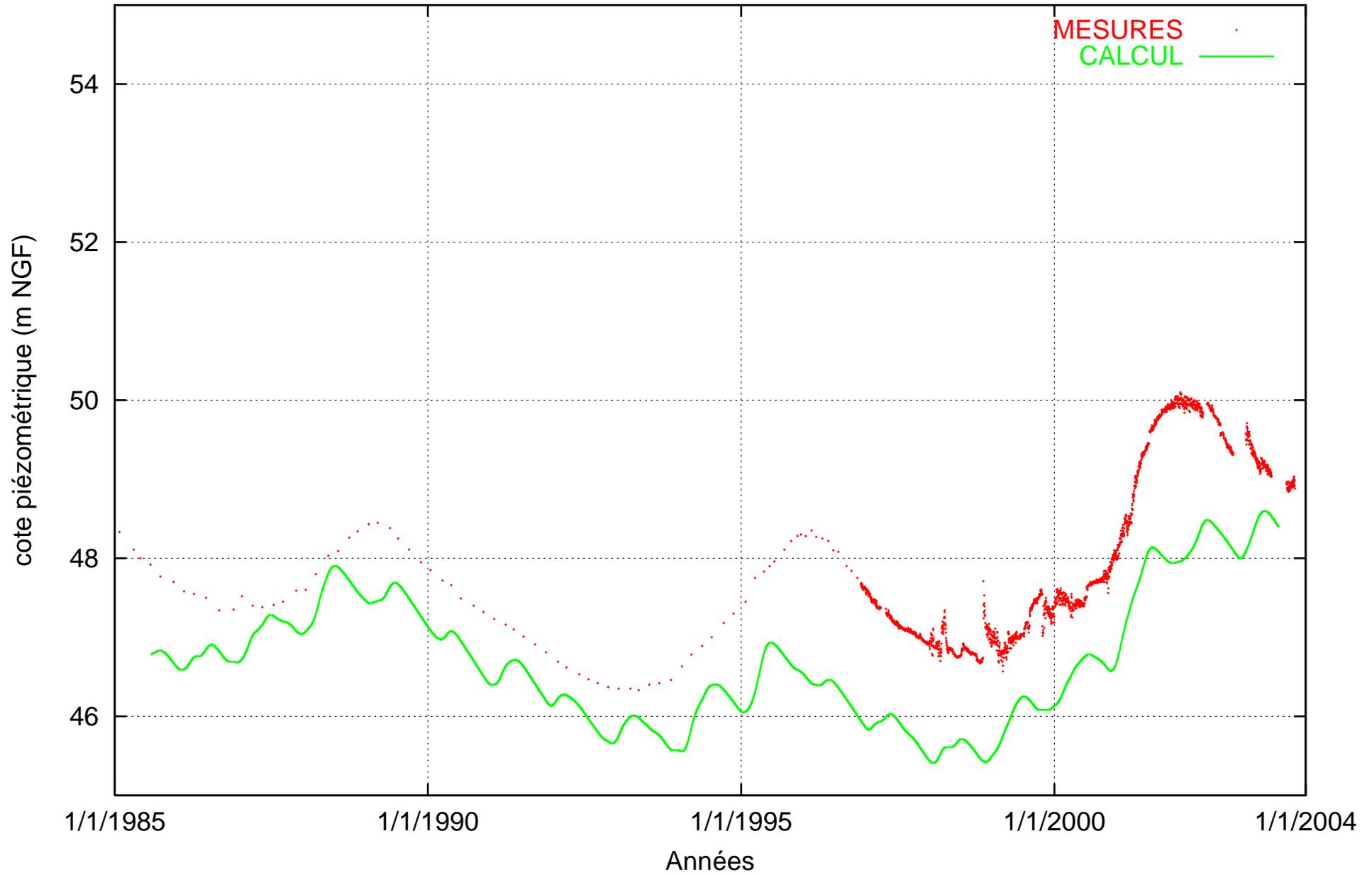
# Piézomètre SEMIDE : nappe de la Craie



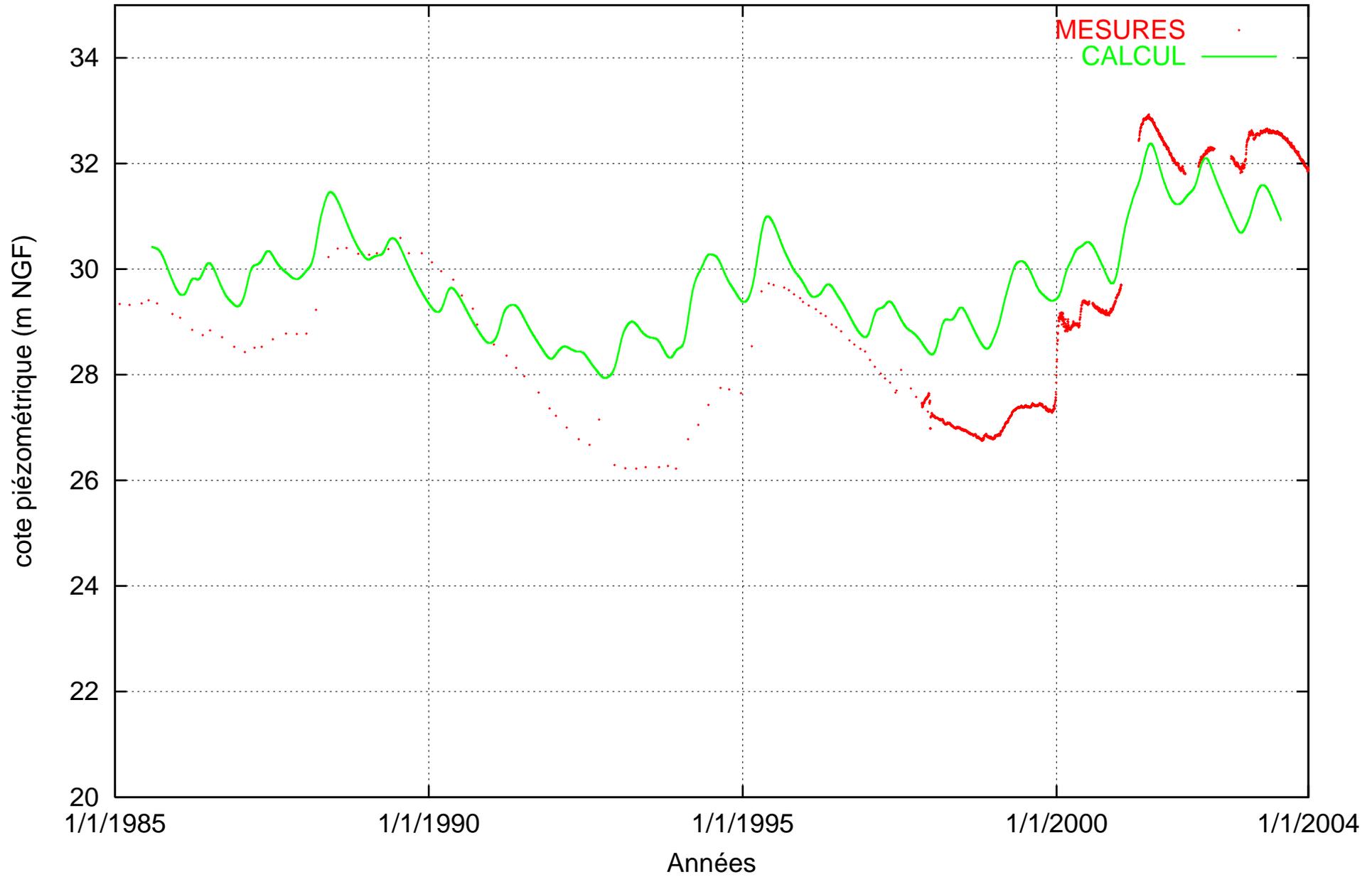
# Piézomètre THEIL : nappe de la Craie



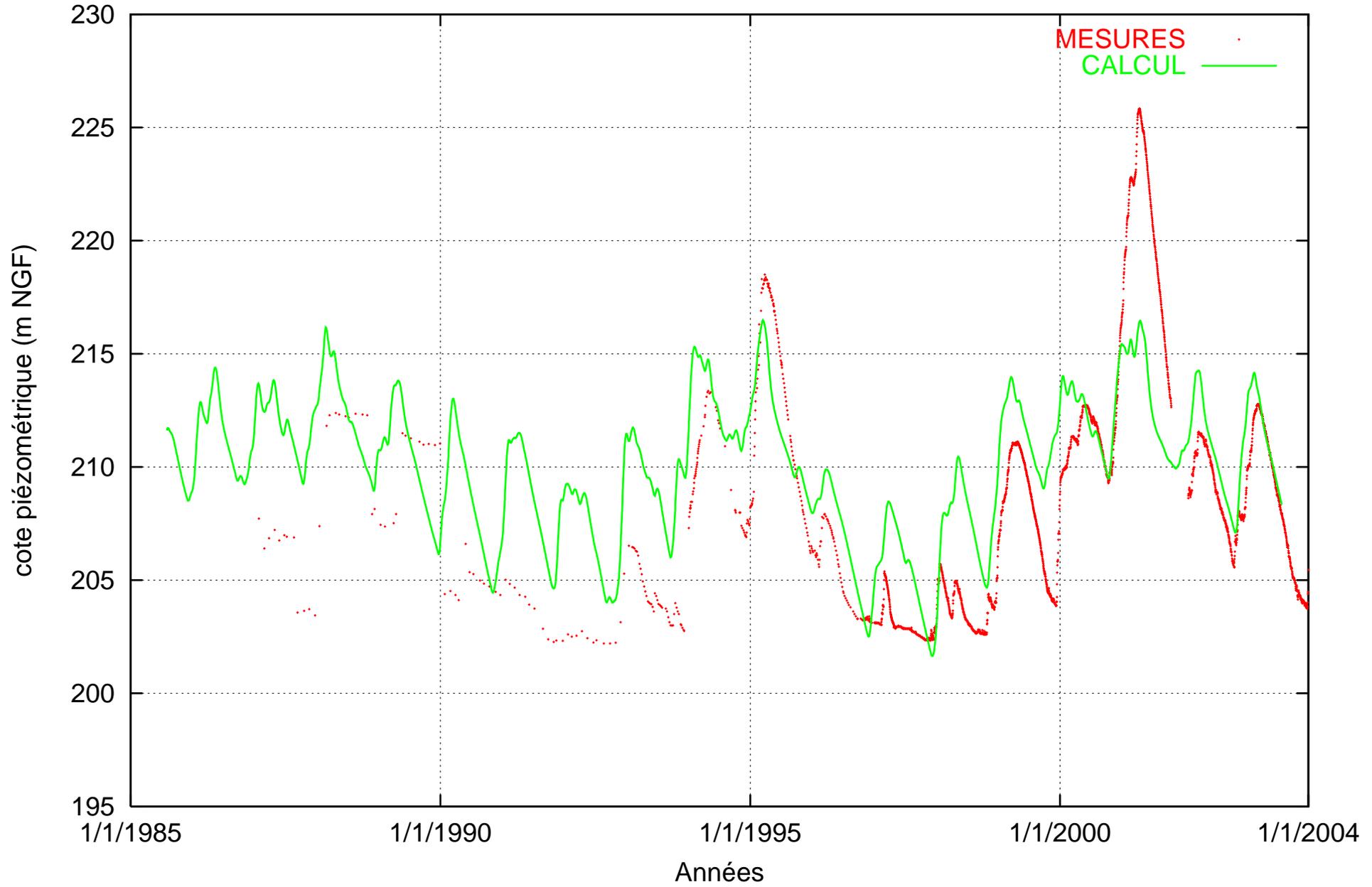
# Piézomètre FOURMETOT : nappe de la Craie



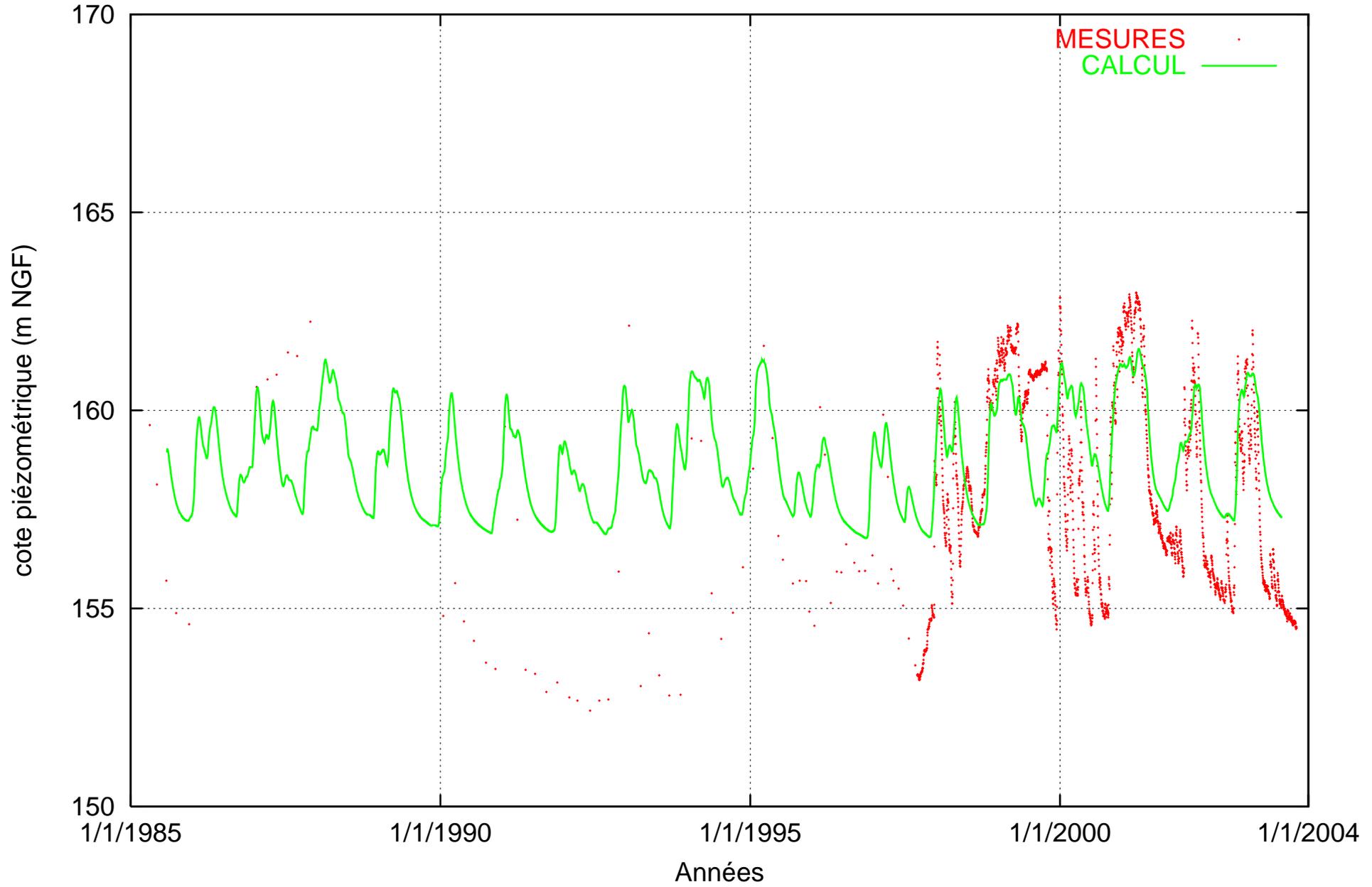
# Piézomètre VAUPALIERE : nappe de la Craie



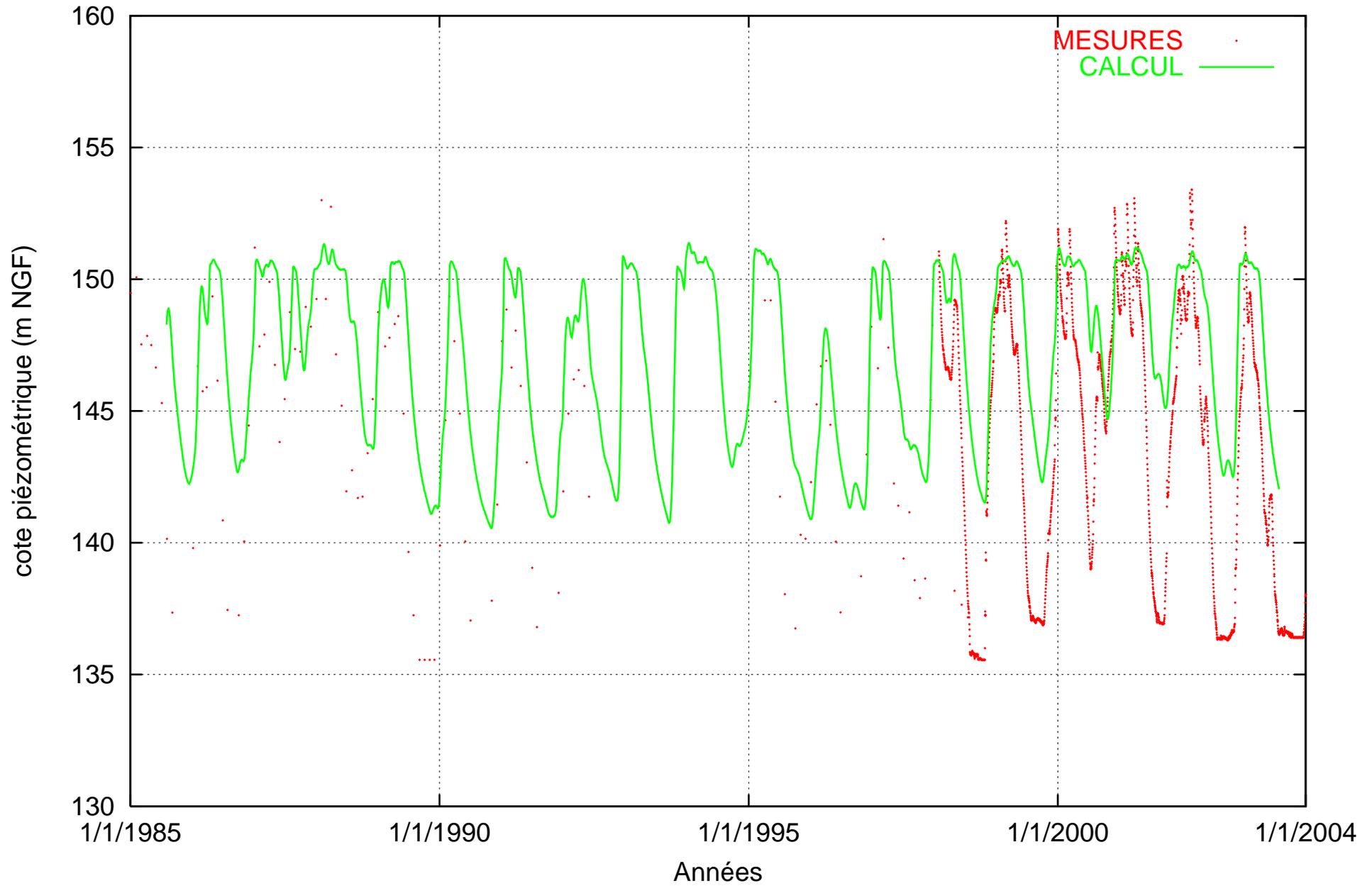
# Piezomètre AIGLE : nappe de la Craie



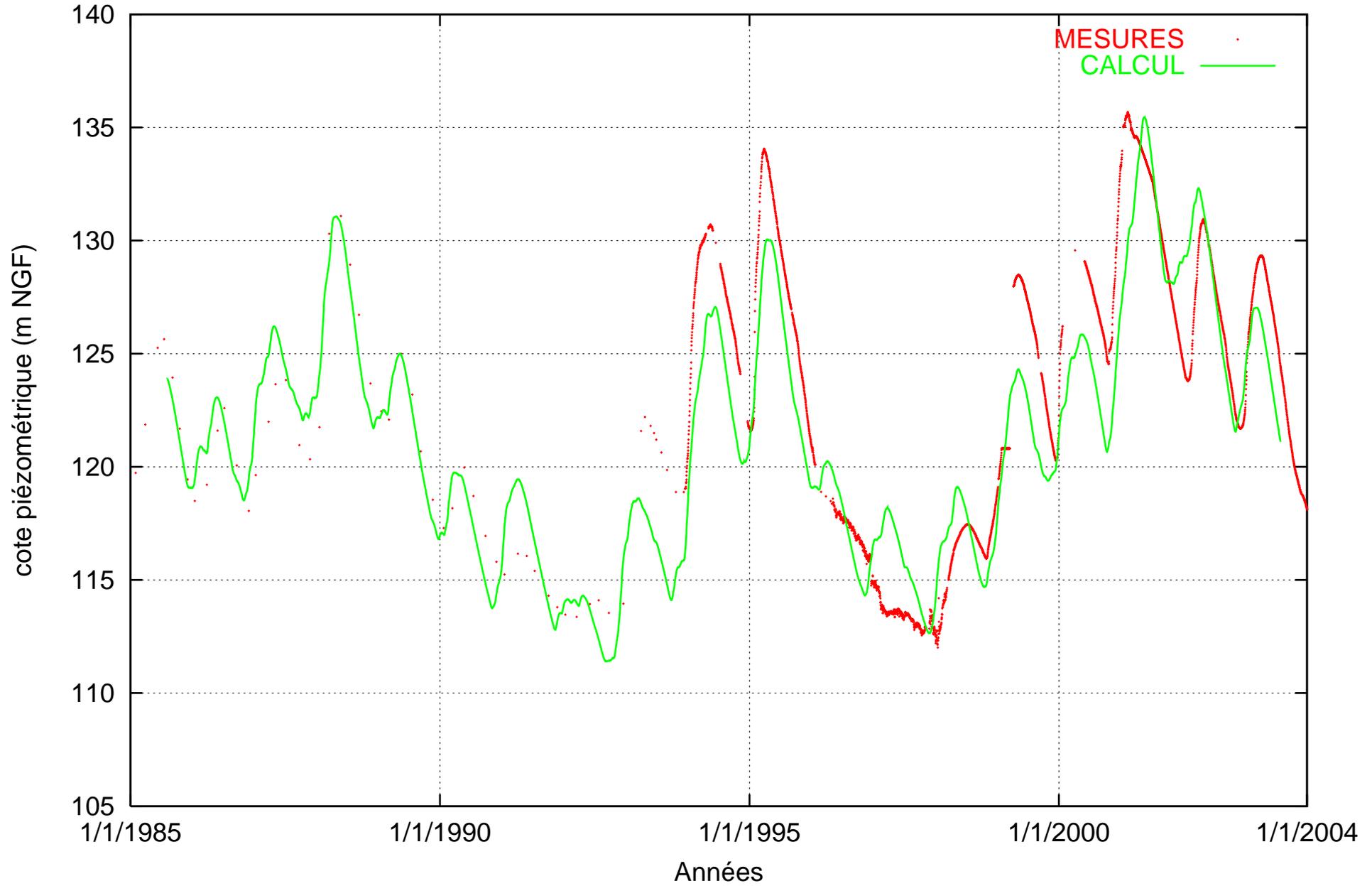
Piézomètre BALINES : nappe de la Craie



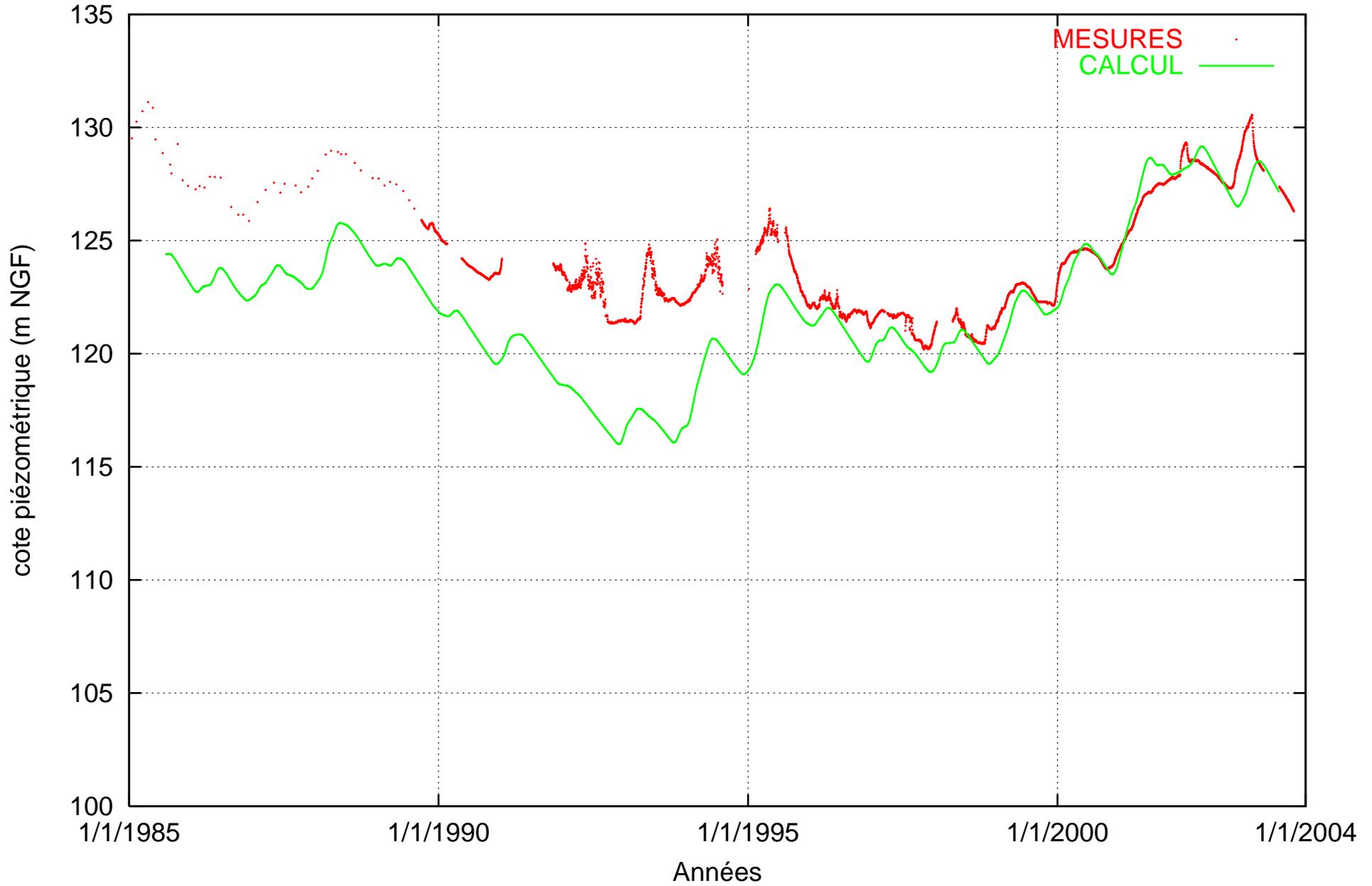
# Piézomètre BUSSY : nappe de la Craie



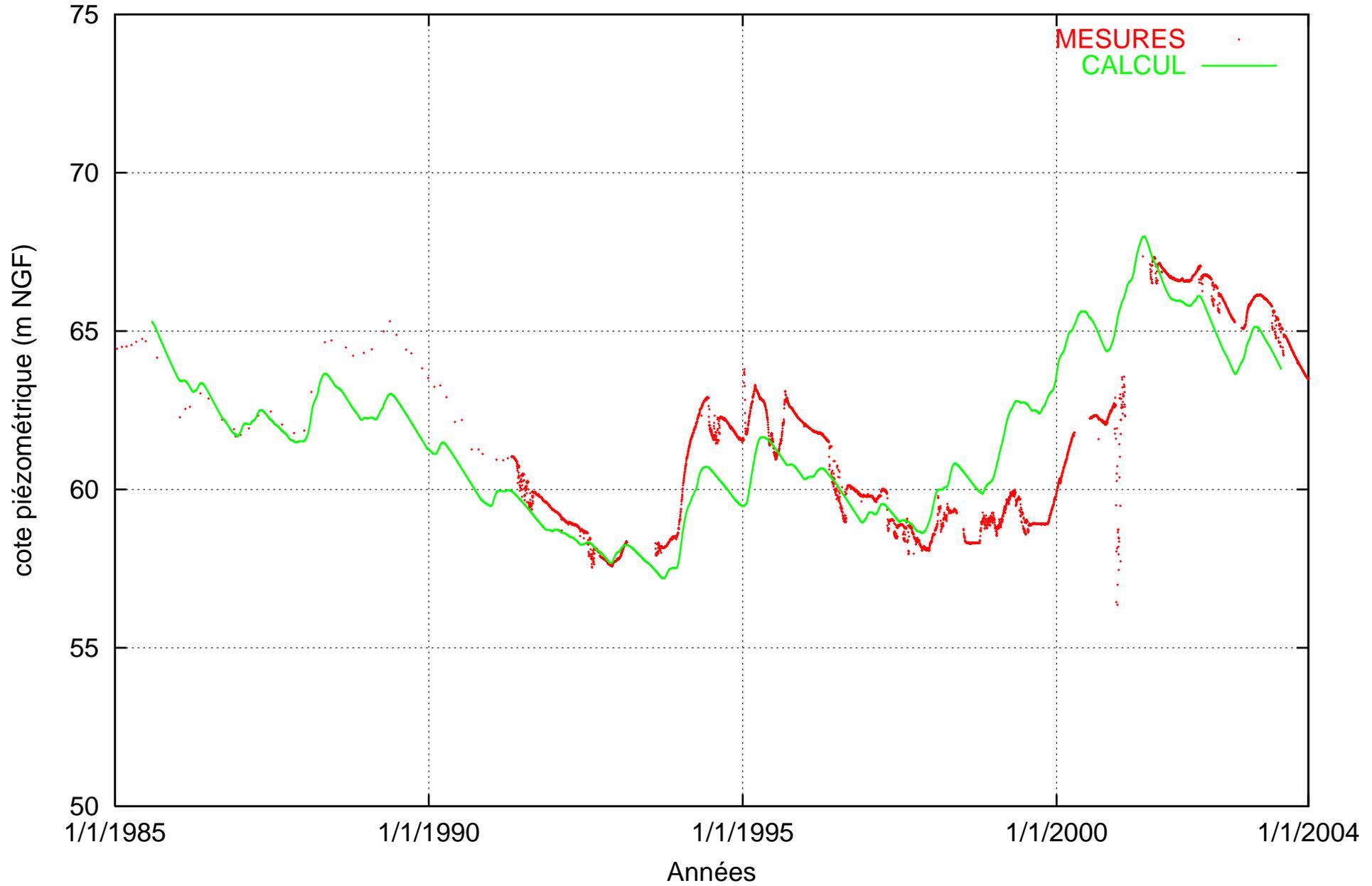
Piézomètre CATENAY : nappe de la Craie



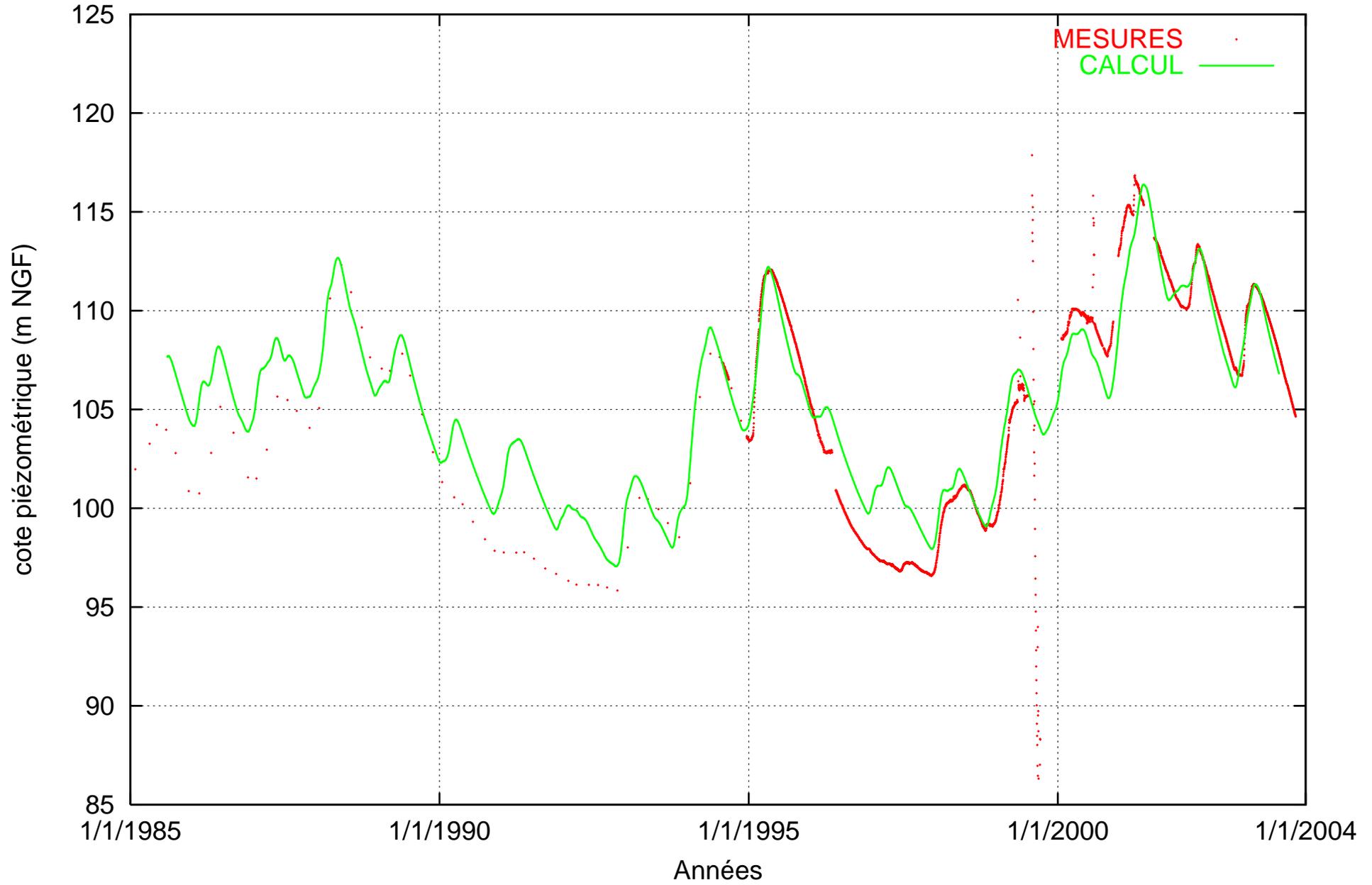
Piézomètre CHEROY : nappe de la Craie



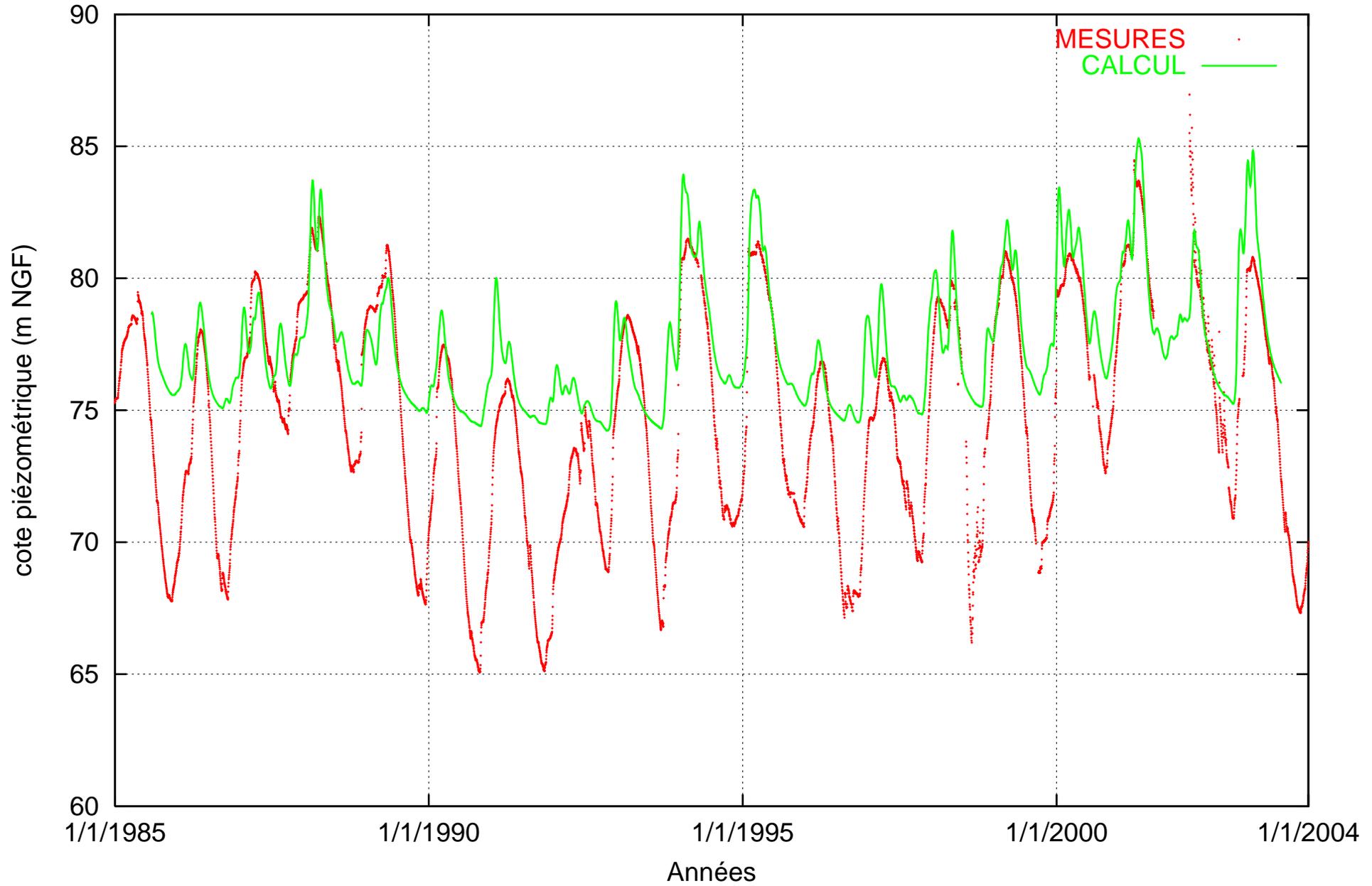
# Piézomètre ESTREES : nappe de la Craie



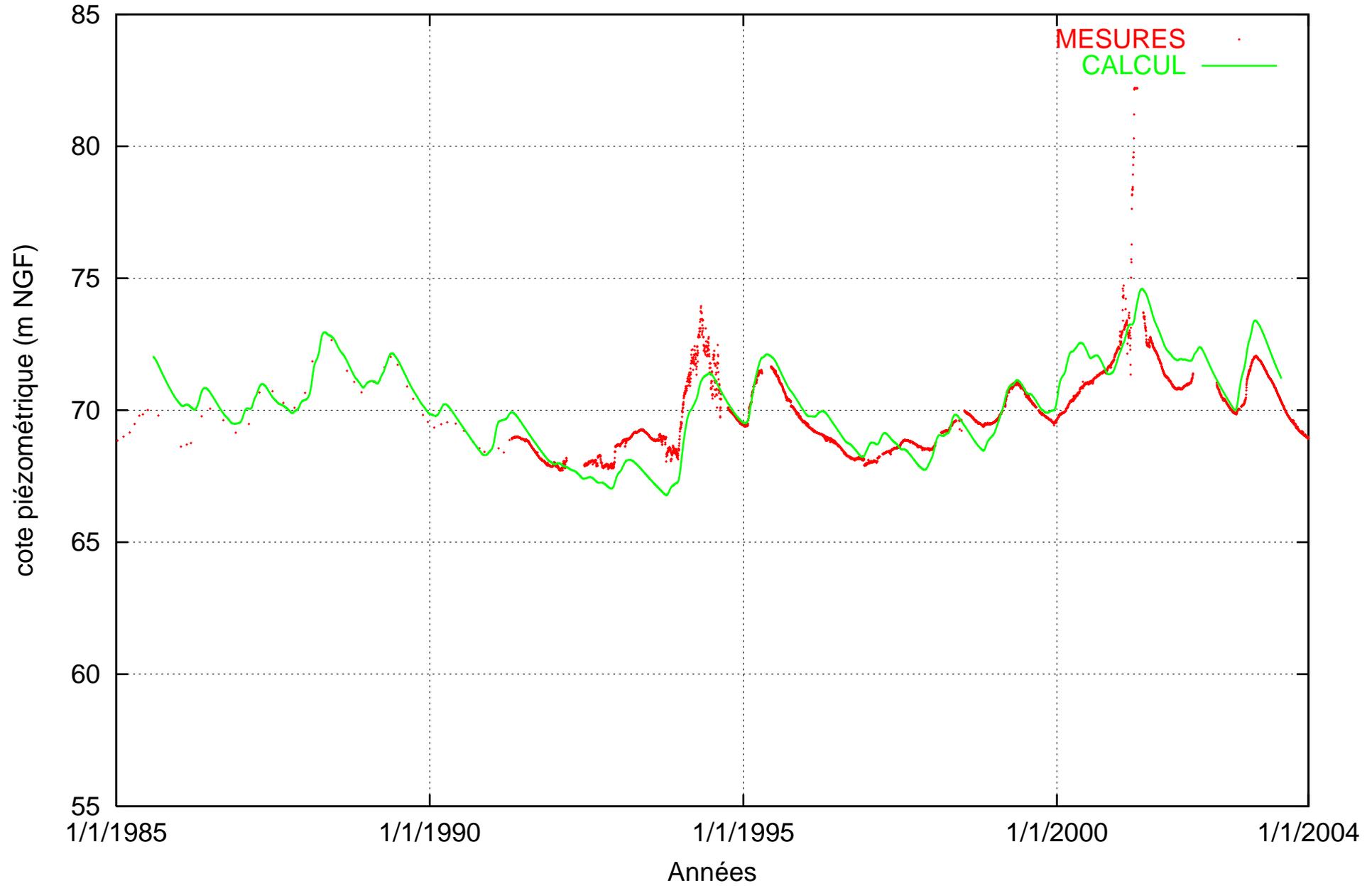
# Piézomètre FARCEAUX : nappe de la Craie



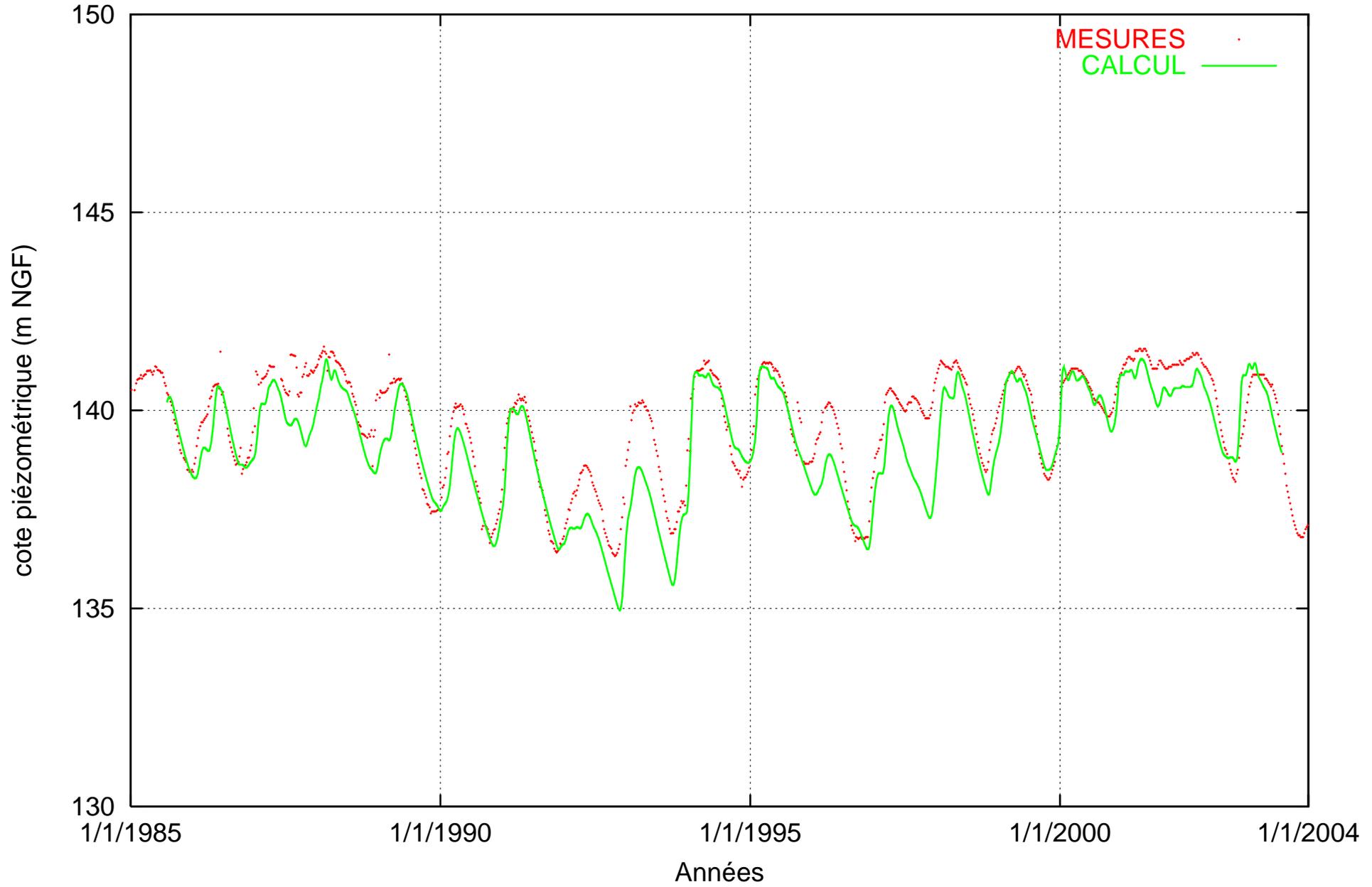
Piézomètre FRESNE les Reims : nappe de la Craie



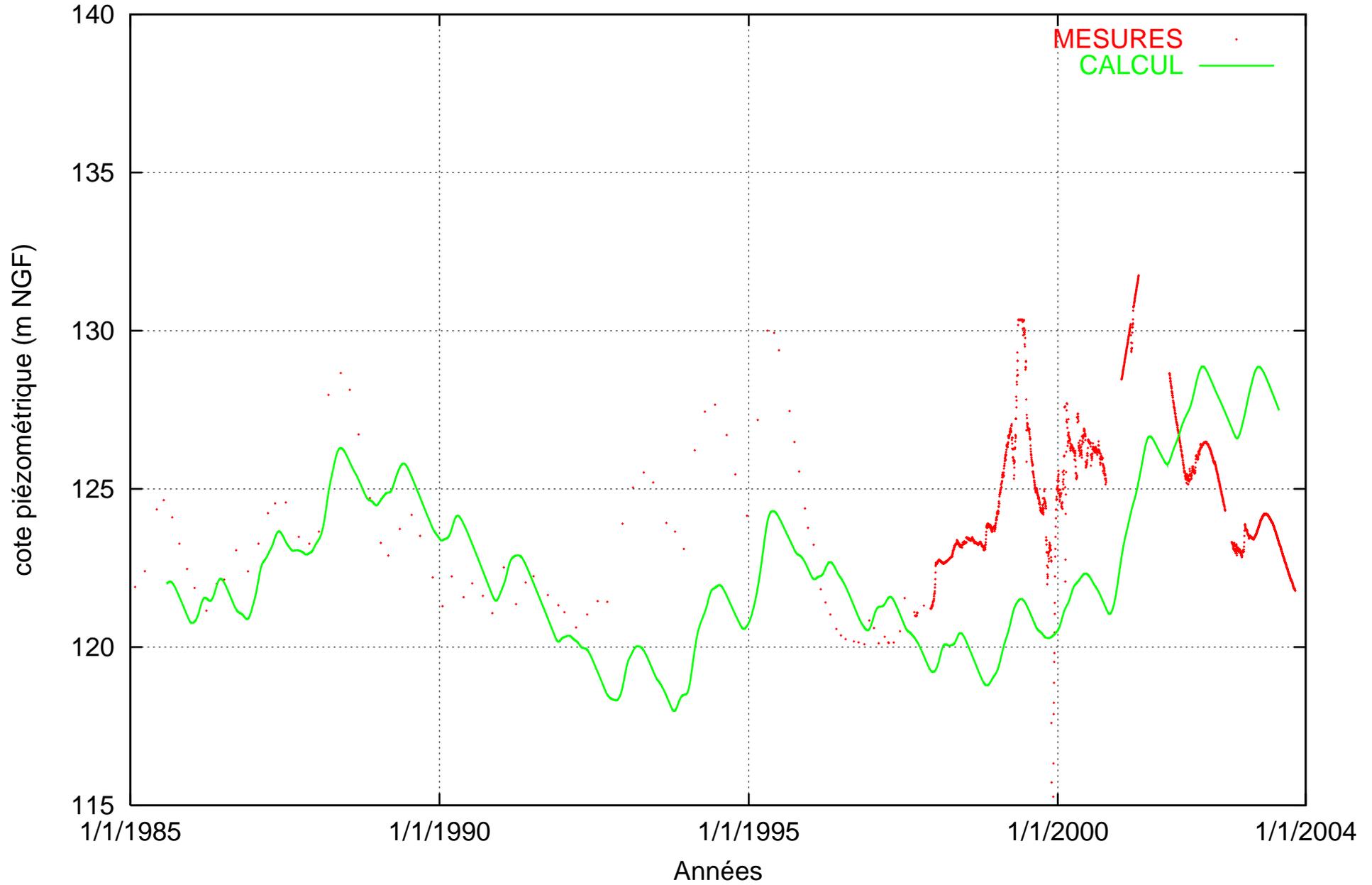
# Piézomètre LAON : nappe de la Craie



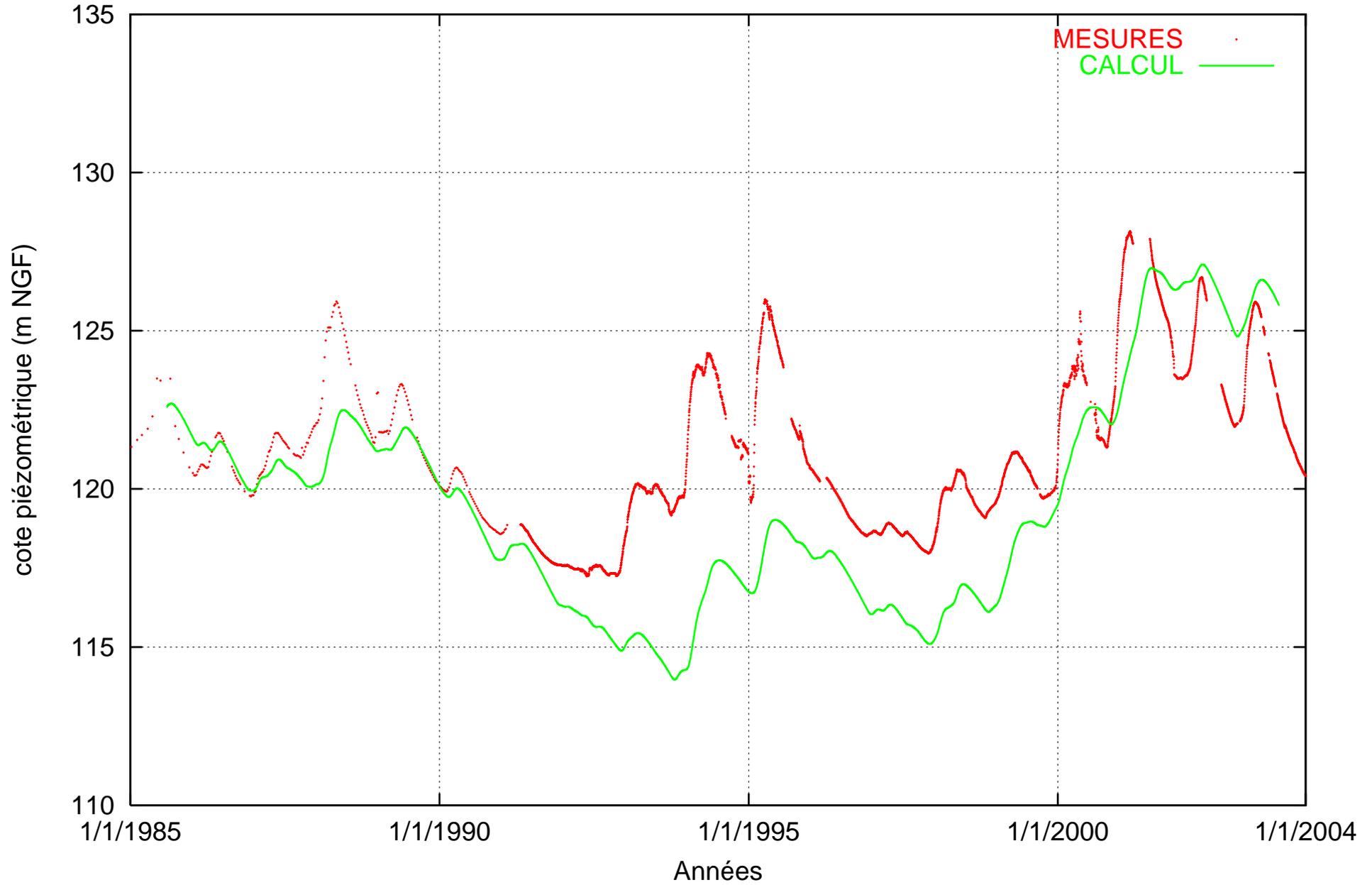
Piézomètre MORAINS : nappe de la Craie



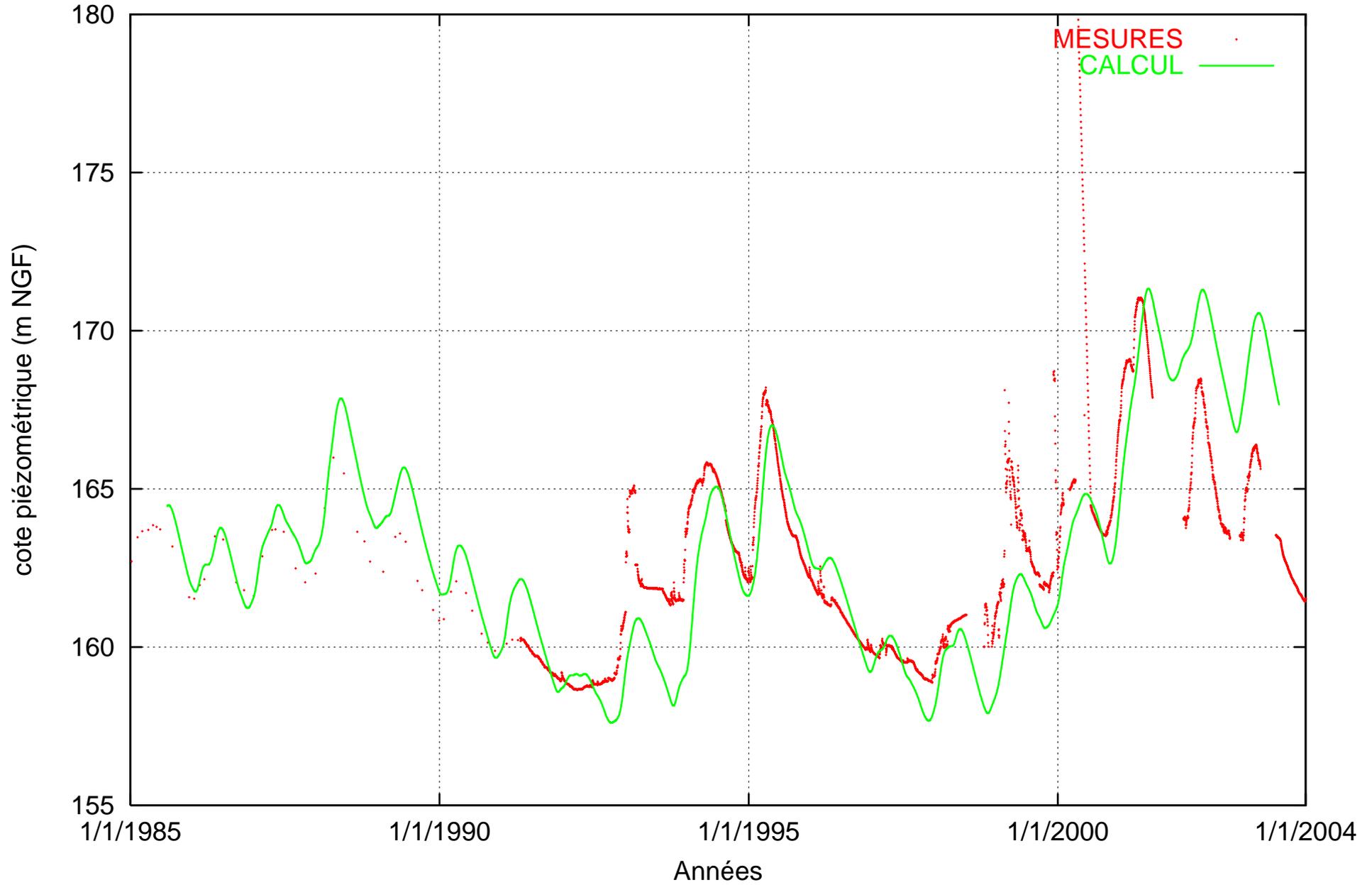
# Piézomètre MOTTEVILLE : nappe de la Craie



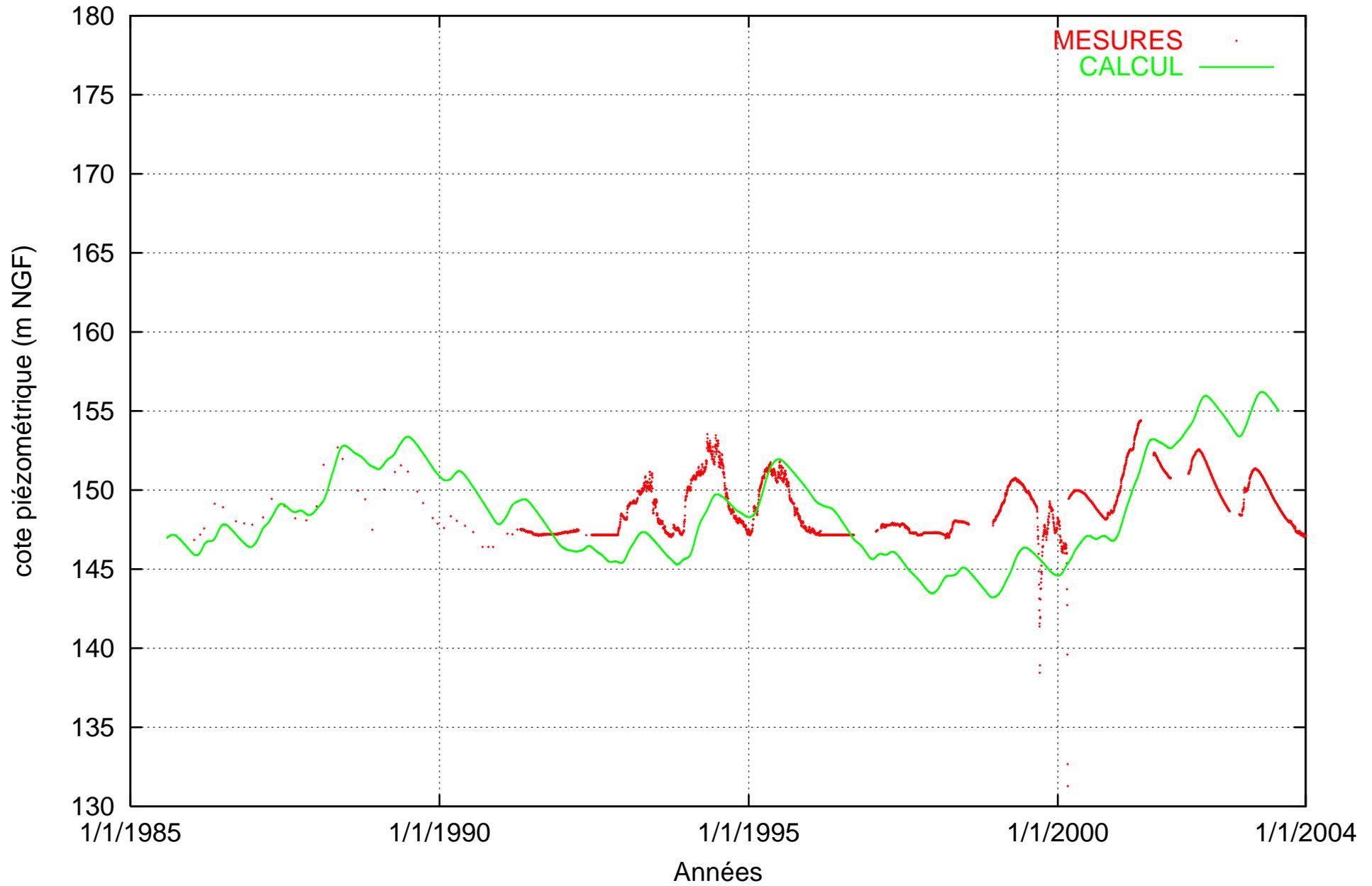
Piézomètre NOIREMONT : nappe de la Craie



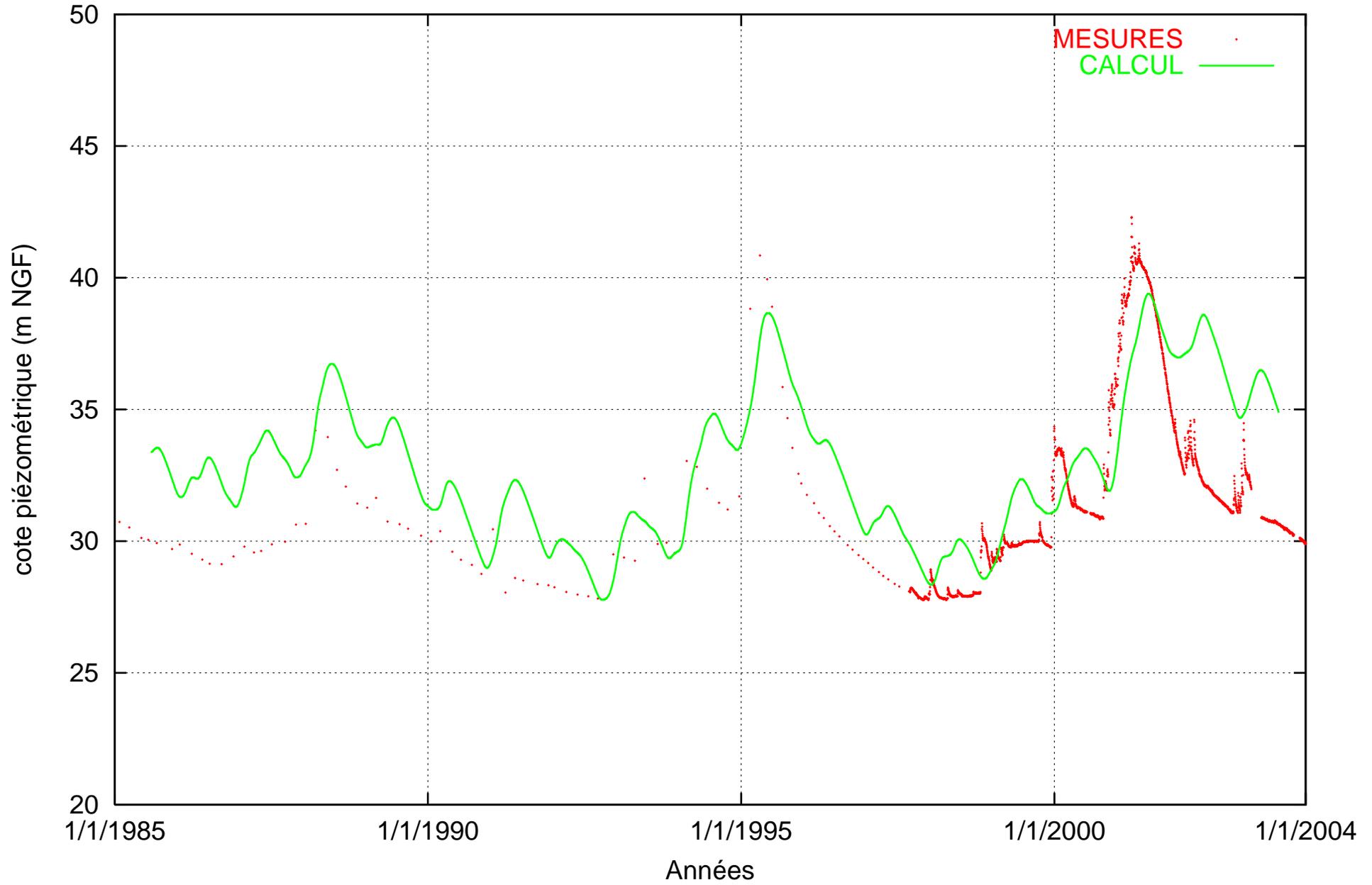
Piézomètre OMECOURT : nappe de la Craie



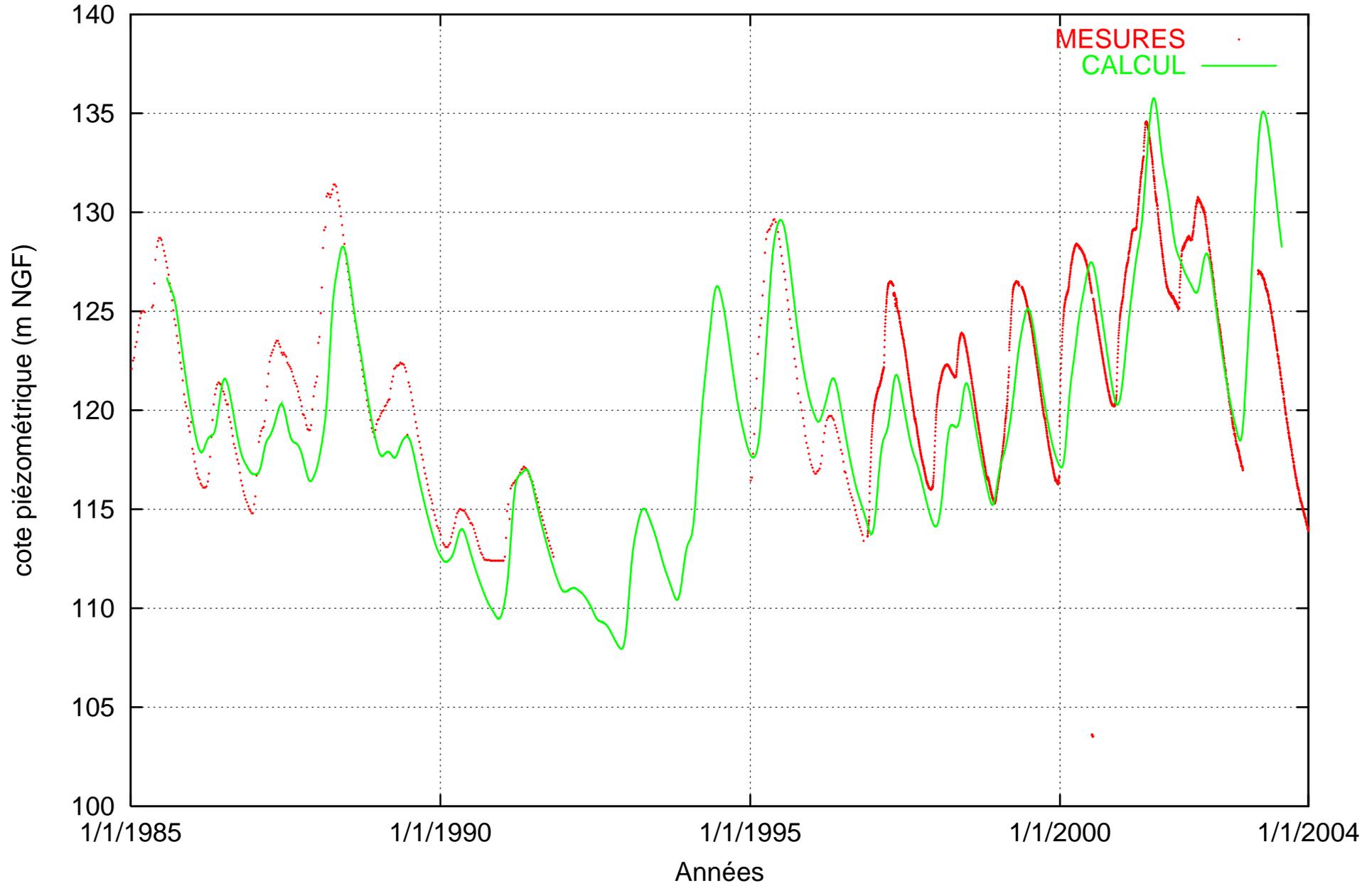
# Piézomètre SOURD : nappe de la Craie



# Piézomètre TROIS-PIERRES : nappe de la Craie



# Piézomètre VAILLY : nappe de la Craie



# Piézomètre VANAULT : nappe de la Craie

