



**Stations hydrométriques sur les cours d'eau du Ris et du  
Kerharo :**

**Courbes de tarage et extrapolation des débits aux  
exutoires des 8 cours d'eau du Plan gouvernemental de  
lutte contre les algues vertes**

CHARTE DE TERRITOIRE DE LA BAIE DE DOUARNENEZ -  
PLAN GOUVERNEMENTAL DE LUTTE CONTRE LES ALGUES VERTES

Avril 2015

## Sommaire

<b>1.</b>	<b>CONTEXTE.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>COURBES DE TARAGE DES 2 STATIONS HYDROMETRIQUES.....</b>	<b>6</b>
2.1.	JAUGEAGES AU COURANTOMETRE ELECTROMAGNETIQUE.....	6
2.2.	METHODOLOGIE.....	6
2.3.	COURBE DE TARAGE DE LA STATION HYDROMETRIQUE DU RIS.....	7
2.3.1.	<i>PARTICULARITES POUR LA CONSTRUCTION DE LA COURBE DE TARAGE DU RIS.....</i>	<i>7</i>
2.3.2.	<i>1<sup>ERE</sup> COURBE DE TARAGE INCLUANT L'ENSEMBLE DES JAUGEAGES.....</i>	<i>9</i>
2.3.3.	<i>COURBE DE TARAGE DE L'ANNEE 2013.....</i>	<i>11</i>
2.3.4.	<i>COURBE DE TARAGE DE L'ANNEE 2014.....</i>	<i>13</i>
2.3.5.	<i>EXTRAPOLATION POUR LES HAUTES EAUX.....</i>	<i>14</i>
2.3.6.	<i>BILAN : LES DIFFERENTES COURBES DE TARAGE OBTENUES.....</i>	<i>20</i>
2.3.7.	<i>JAUGEAGES DE CONTROLE.....</i>	<i>20</i>
2.4.	COURBE DE TARAGE DE LA STATION HYDROMETRIQUE DU KERHARO.....	22
2.4.1.	<i>PARTICULARITES POUR LA CONSTRUCTION DE LA COURBE DE TARAGE DU KERHARO..</i>	<i>22</i>
2.4.2.	<i>1<sup>ERE</sup> COURBE INCLUANT L'ENSEMBLE DES JAUGEAGES.....</i>	<i>24</i>
2.4.3.	<i>COURBE DE TARAGE DE L'ANNEE 2013.....</i>	<i>26</i>
2.4.4.	<i>COURBE DE TARAGE DE L'ANNEE 2014.....</i>	<i>27</i>
2.4.5.	<i>BILAN : LES DIFFERENTES COURBES DE TARAGE OBTENUES.....</i>	<i>32</i>
2.4.6.	<i>JAUGEAGES DE CONTROLE.....</i>	<i>33</i>
<b>3.</b>	<b>EXTRAPOLATION DES DEBITS JOURNALIERS AUX EXUTOIRES DES 8 COURS D'EAU DU PLAN GOUVERNEMENTAL DE LUTTE CONTRE LES ALGUES VERTES.....</b>	<b>35</b>
3.1.	METHODOLOGIE.....	35
3.2.	EXTRAPOLATION A L'EXUTOIRE DU RIS.....	35
3.3.	EXTRAPOLATION A L'EXUTOIRE DU STALAS.....	38
3.4.	EXTRAPOLATION A L'EXUTOIRE DU KERGAOULEDAN.....	39
3.5.	EXTRAPOLATION A L'EXUTOIRE DU PENITY.....	42
3.6.	EXTRAPOLATION A L'EXUTOIRE DU KERHARO.....	44
3.7.	EXTRAPOLATION A L'EXUTOIRE DU LAPIC.....	47
3.8.	EXTRAPOLATION A L'EXUTOIRE DU LESTREVET.....	49
3.9.	EXTRAPOLATION A L'EXUTOIRE DE L'ABER.....	51
3.10.	SYNTHESE DES FORMULES D'EXTRAPOLATION AUX EXUTOIRES.....	57
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>58</b>
	ANNEXE 1 : STATIONS HYDROMETRIQUES RIS-KERHARO - HAUTEURS D'EAU ENREGISTREES ET JAUGEAGES EFFECTUES.....	59
	ANNEXE 2 : LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE DE DEBIT.....	60



## 1. Contexte

La charte de territoire 2012-2015, déclinaison locale du plan gouvernemental de lutte contre les algues vertes, fixe un objectif de réduction d'ici 2015 des flux de nitrates déversés en baie de Douarnenez. Le futur SDAGE 2016-2021 fixe également un objectif pour les baies « algues vertes ».

Jusqu'à présent les débits étaient extrapolés à partir de la station hydrométrique du Steir (DREAL). Cette extrapolation comporte des limites relatives aux différences de fonctionnement entre les bassins versants (en fonction de la géologie, de l'occupation des sols, de la morphologie) et aux différences de pluviométrie. Afin de disposer de données plus fiables, **deux stations hydrométriques ont été installées en octobre 2013** avec l'appui de la DREAL sur des bassins versants de la charte de territoire représentatifs des 2 contextes géologiques principaux : **le Kerharo (BV schisteux) et le Ris (BV granitique)**. Les stations sont situées légèrement en amont des exutoires, en aval immédiat de ponts (photo ci-après). La station du Ris comporte un seuil de contrôle artificiel (déversoir en V) installé juste avant la station, celle du Kerharo comporte un seuil de contrôle naturel constitué d'un dépôt de graviers. Pour plus de précisions sur chaque station, consulter le rapport de fin de travaux (EPAB, décembre 2013).

Les exutoires des 8 cours d'eau de la charte de territoire ont fait l'objet de mesures ponctuelles des débits afin de reconstituer les débits journaliers par extrapolation.







## 2. Courbes de tarage des 2 stations hydrométriques

### 2.1. Jaugeages au courantomètre électromagnétique

Les jaugeages au courantomètre électromagnétique ont été effectués en régie entre octobre 2013 et septembre 2014. Les graphiques présentés en annexe 1 montrent la situation de chaque jaugeage sur le tracé des hauteurs d'eau enregistrées sur chaque station. On remarque que la répartition des jaugeages est plutôt bonne sur les basses et moyennes eaux. Par contre les hautes eaux n'ont pas pu être jaugeées à cause de débits trop importants. La DREAL a été sollicité pour des mesures à l'aide d'appareil adapté (type ADCP), mais n'a pu répondre favorablement étant débordée par les fortes crues de l'hiver 2013-2014.

### 2.2. Méthodologie

Les jaugeages ont permis de construire la courbe de tarage de chaque station hydrométrique. Cette courbe représente la relation du débit en fonction de la hauteur d'eau. Elle permet de calculer les débits instantanés en fonction des hauteurs d'eau enregistrées en continu aux 2 stations hydrométriques (une mesure/heure et lorsque variation supérieure à 3mm). Cette relation peut présenter des instabilités dans le temps si les seuils de contrôle sont modifiés au cours du temps. La station du Ris comporte un seuil de contrôle artificiel (déversoir en V), celle du Kerharo comporte un seuil naturel (dépôt de graviers). Nous allons voir que les relations débit-hauteur d'eau ont été perturbées sur les 2 stations par les précipitations exceptionnellement importantes de l'hiver 2013-2014.

Le logiciel BAREME<sup>1</sup>, élaboré par la DREAL, a été utilisé pour tracer les courbes de tarage. Ce logiciel permet d'établir une relation sous la forme :

$$Q = a * (H - H_0)^b$$

où les coefficients  $H_0$  et  $b$  ont une signification hydraulique. La relation est donc plus réaliste que celle obtenue à partir des simples régressions linéaire, polynomiale ou puissance sur excel.

Un autre avantage du logiciel BAREME est la visualisation directe sur 2 graphiques des dispersions des jaugeages (( $Q_{\text{jaugeé}} - Q_{\text{courbe}}$ )/ $Q_{\text{courbe}}$ ) en fonction des hauteurs d'eau et du temps. Cela permet d'évaluer rapidement les phénomènes de détarage, c'est-à-dire les perturbations de la relation débit-hauteur d'eau. Lorsqu'un détarage est identifié, il est nécessaire de tracer 2 courbes de tarages anté- et post-détarage. Ce fût le cas pour les 2 stations hydrométriques. La dispersion maximale tolérée est de 10 % du débit (source : Charte qualité de l'hydrométrie, Ministère de l'environnement, 1998).

L'expertise de la DREAL Bretagne et d'un ingénieur de l'université Montpellier 2 ont été sollicitées pour élaborer les 2 courbes. Chaque courbe de tarage est établie pour une période et un intervalle de validité.

---

<sup>1</sup> Et son guide de l'utilisateur

## 2.3. Courbe de tarage de la station hydrométrique du Ris

### 2.3.1. Particularités pour la construction de la courbe de tarage du Ris

La section d'écoulement au droit de la station du Ris est constituée de murets en béton. Lorsque la hauteur d'eau est supérieure à 1,20 m le cours d'eau déborde sur les rives : c'est la côte de débordement (photo ci-dessous). La hauteur maximale jaugée est 1,13 m. Donc il est nécessaire d'extrapoler pour les hauteurs supérieures à la côte de débordement, à partir d'un relevé topographique au droit de la station.



Les courbes de tarages établies à partir des jaugeages sont valables sur l'intervalle de 0 à 1,20m.

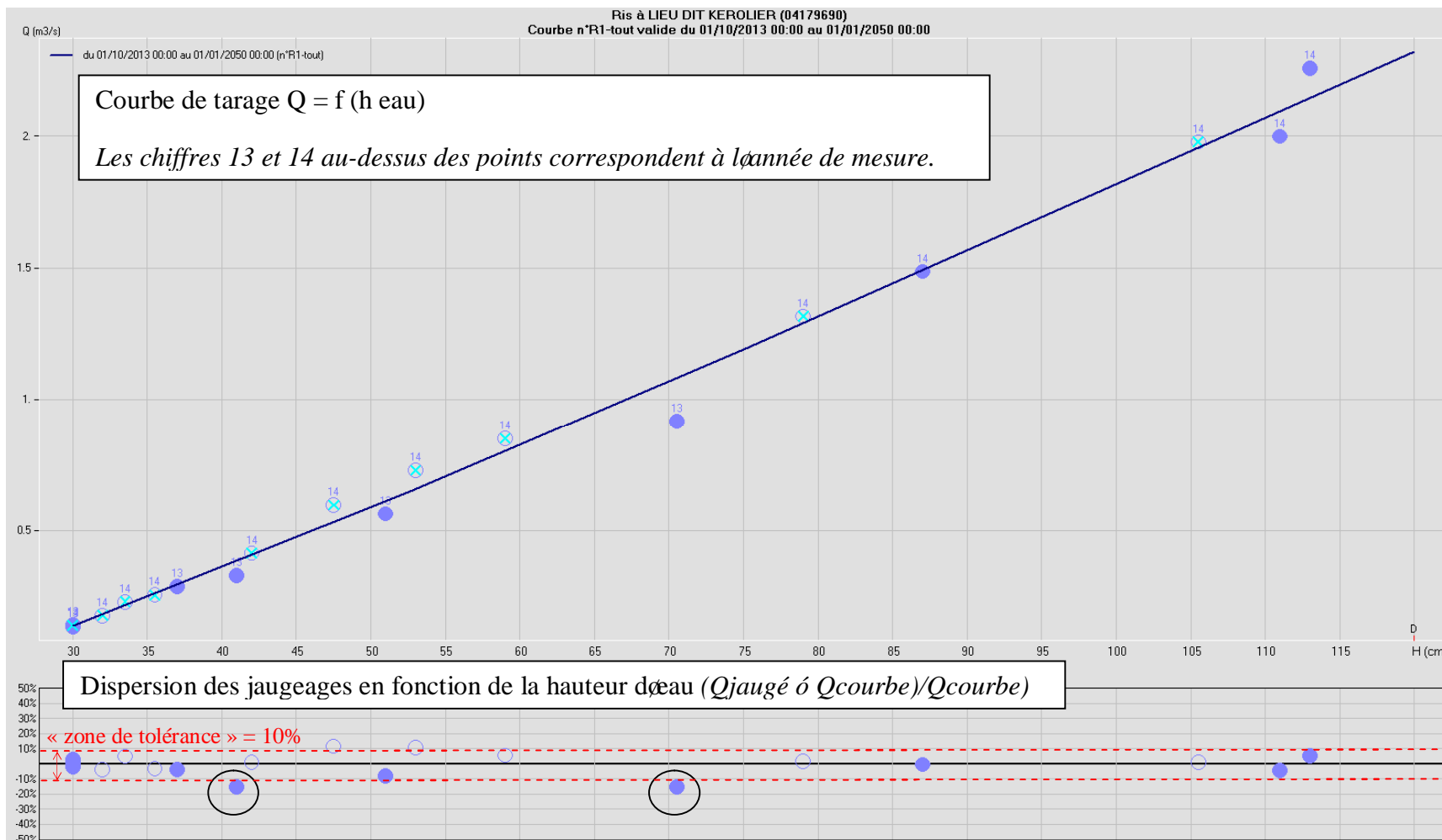


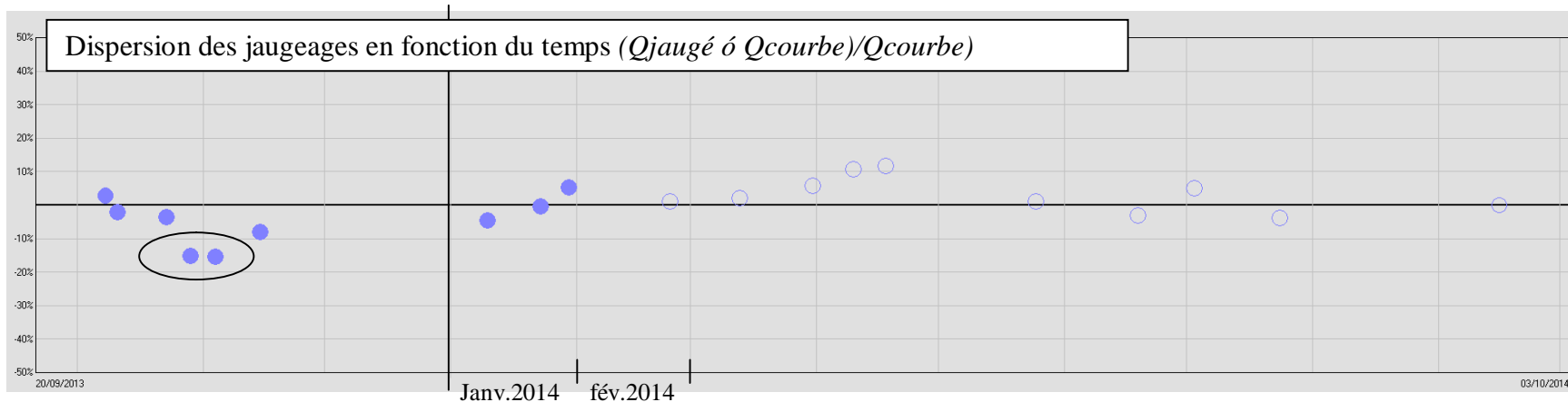


*Exemple de crue du 15 janvier 2015 : hauteur à l'échelle = 140 cm*



### 2.3.2. 1<sup>ère</sup> courbe de tarage incluant l'ensemble des jaugeages



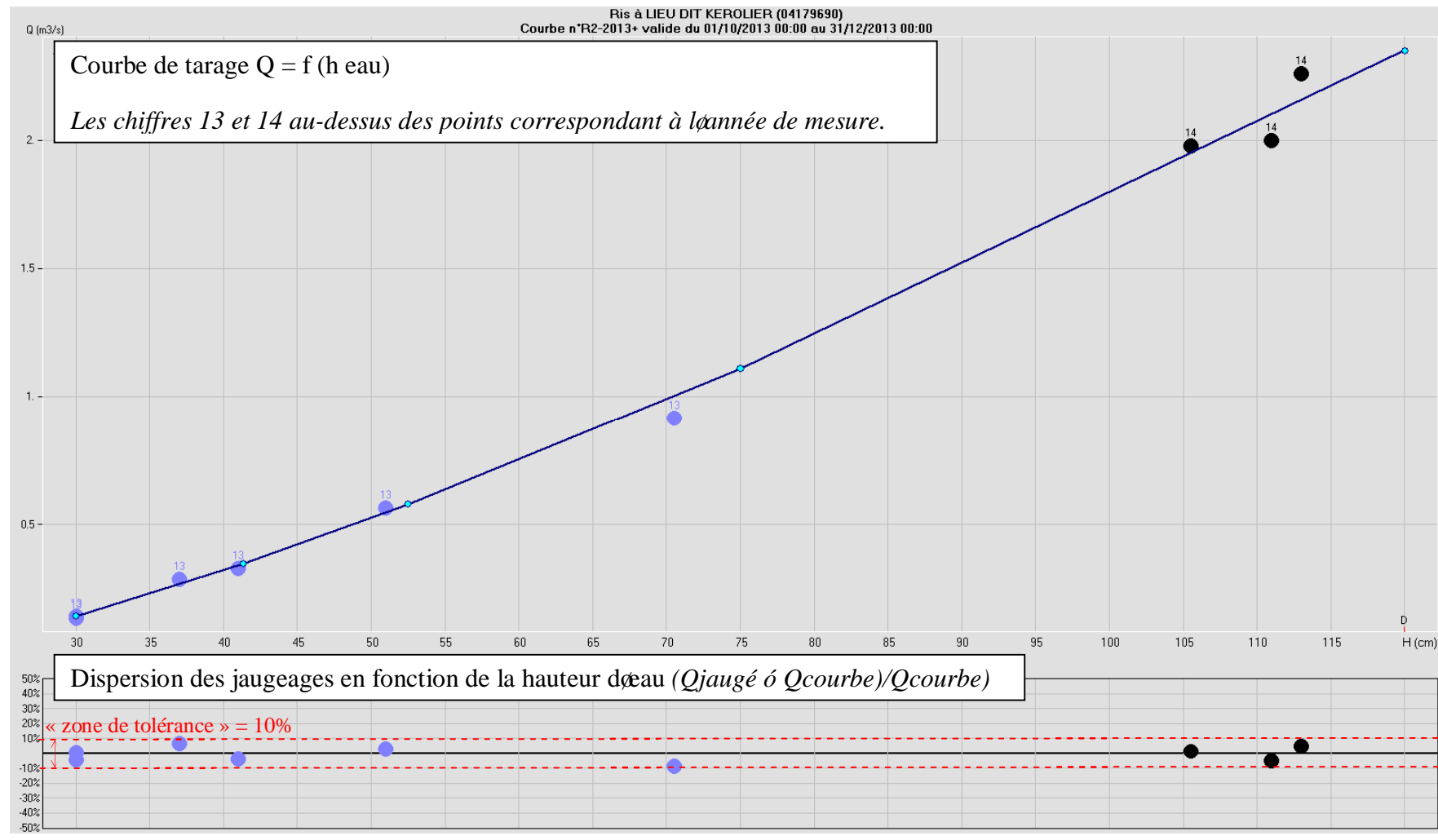


Ce 1<sup>er</sup> tracé incluant l'ensemble des jaugeages réalisés entre octobre 2013 et septembre 2014 montre une dispersion supérieure à la dispersion tolérée (-15%) pour 2 jaugeages effectués fin octobre/ début novembre 2013. Ce détarage serait dû aux crues exceptionnelles survenues en janvier/février 2014. En concertation avec la DREAL Bretagne, il a été convenu de tracer 2 courbes de tarages :

- Une 1<sup>ère</sup> courbe de tarage pour l'année 2013 avec les jaugeages de 2013 et les jaugeages de 2014 effectués en hautes eaux (non influencés par les seuils de contrôle aval) ;
- Une 2<sup>e</sup> courbe de tarage pour l'année 2014 avec les jaugeages de 2014.

### 2.3.3. Courbe de tarage de l'année 2013

Pour construire la courbe de tarage sur la période d'octobre à décembre 2013, ont été pris en compte 9 jaugeages : 6 jaugeages réalisés en octobre-novembre 2013 et 3 jaugeages réalisés en janvier 2014 à des hauteurs d'eau supérieures à 1 m.



Stations hydrométriques Ris/Kerharo : courbes de tarage ó extrapolation débits  
 EPAB, avril 2015

Avec cette nouvelle courbe, la dispersion des jaugeages est inférieure aux 10% tolérés.

La courbe est établie pour l'intervalle de hauteur d'eau allant de 0 à 120 cm. En effet, à partir de 120 cm,

**Formule de tarage de la station hydrométrique du Ris ó année 2013**

$$Q = 0.006651 * (H-18.9)^{1.2708}$$

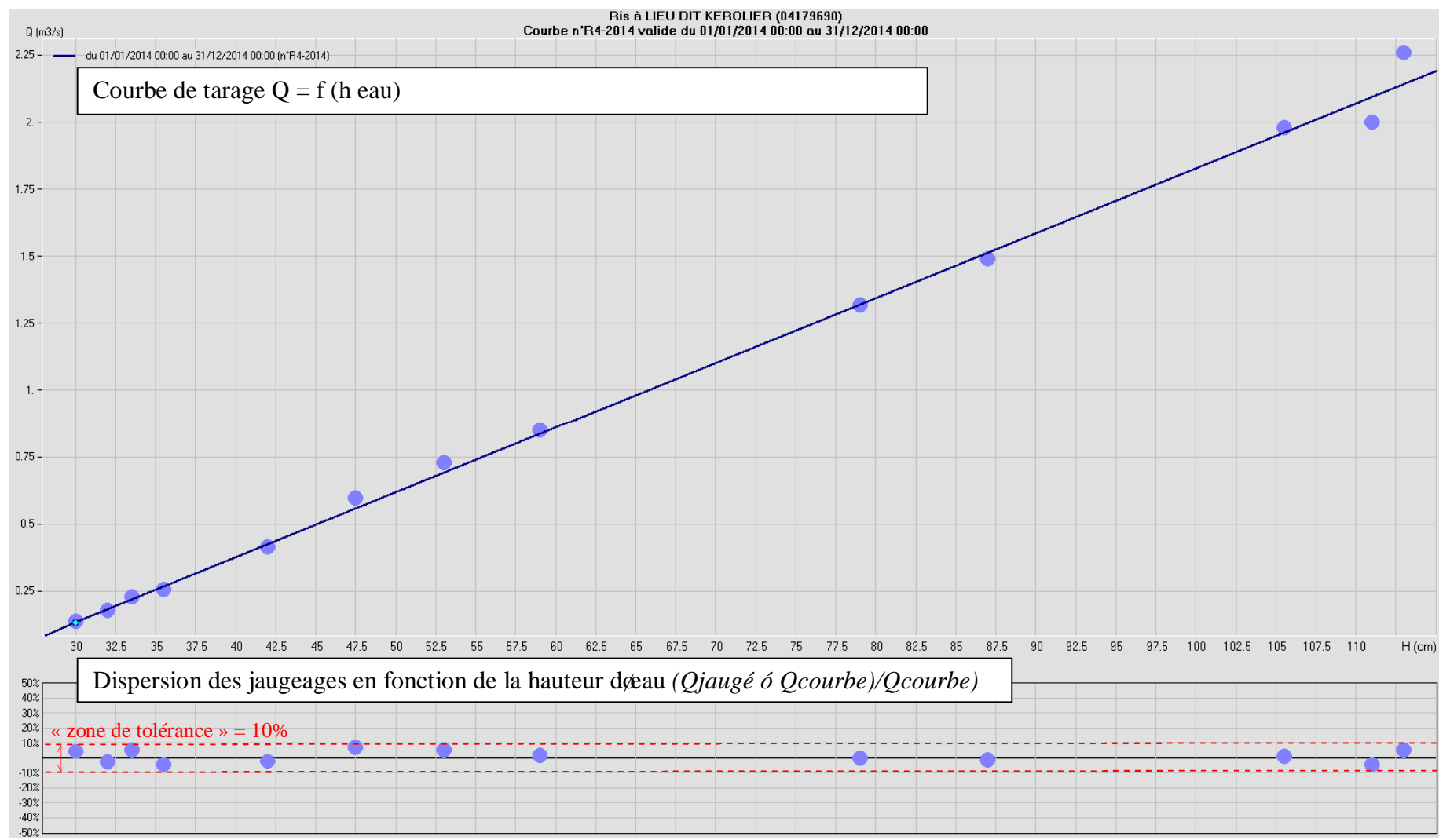
Période de validité : 1<sup>er</sup> octobre au 31 décembre 2013

Intervalle de validité : 0 à 120 cm (correspondant à la cote de débordement)



### 2.3.4. Courbe de tarage de l'année 2014

Les 13 jaugeages réalisés en 2014 ont été considérés pour construire la courbe de tarage de l'année 2014.



Stations hydrométriques Ris/Kerharo : courbes de tarage ó extrapolation débits  
EPAB, avril 2015

On remarque là aussi une dispersion des jaugeages inférieure aux 10% tolérés.

**Formule de tarage de la station hydrométrique du Ris ó année 2014**

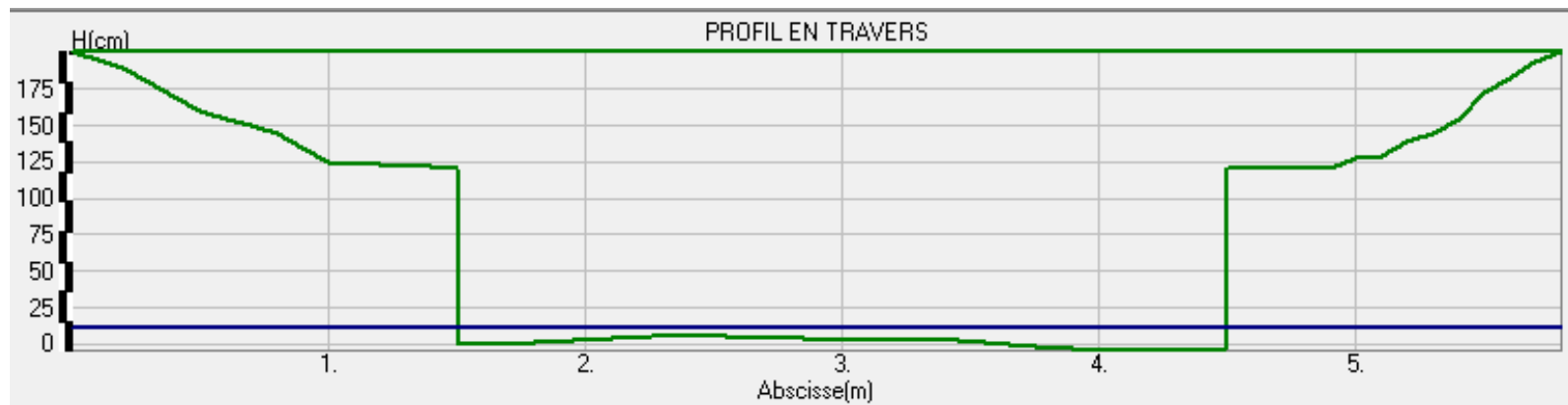
$$Q = 0.02712 * (H-24.9)^{0.9757}$$

Période de validité : 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre 2014

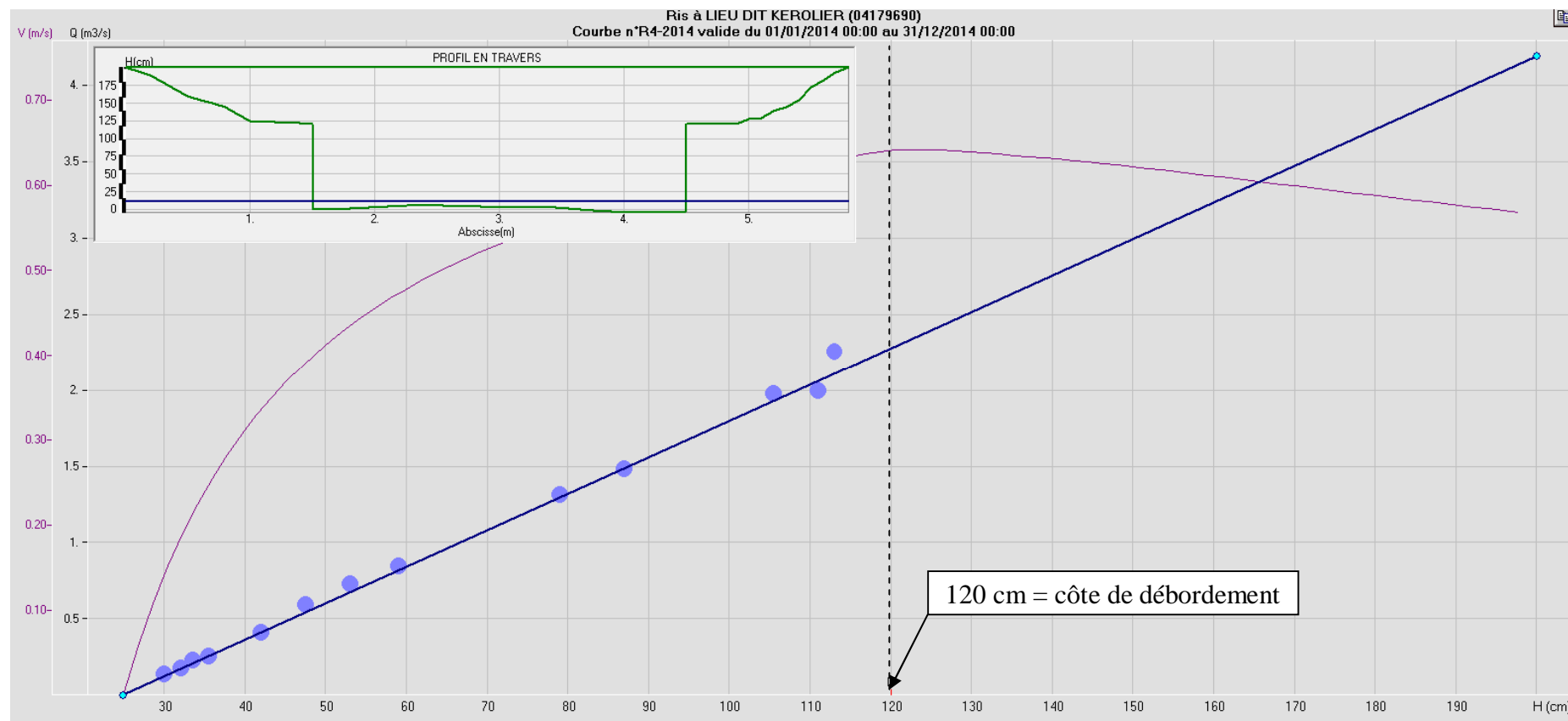
Intervalle de validité : 0 à 120 cm (=côte de débordement)

2.3.5. Extrapolation pour les hautes eaux

Afin d'extrapoler la courbe de tarage pour les hautes eaux, un relevé topographique a été réalisé au niveau de la section en travers au droit de la station (figures suivante).

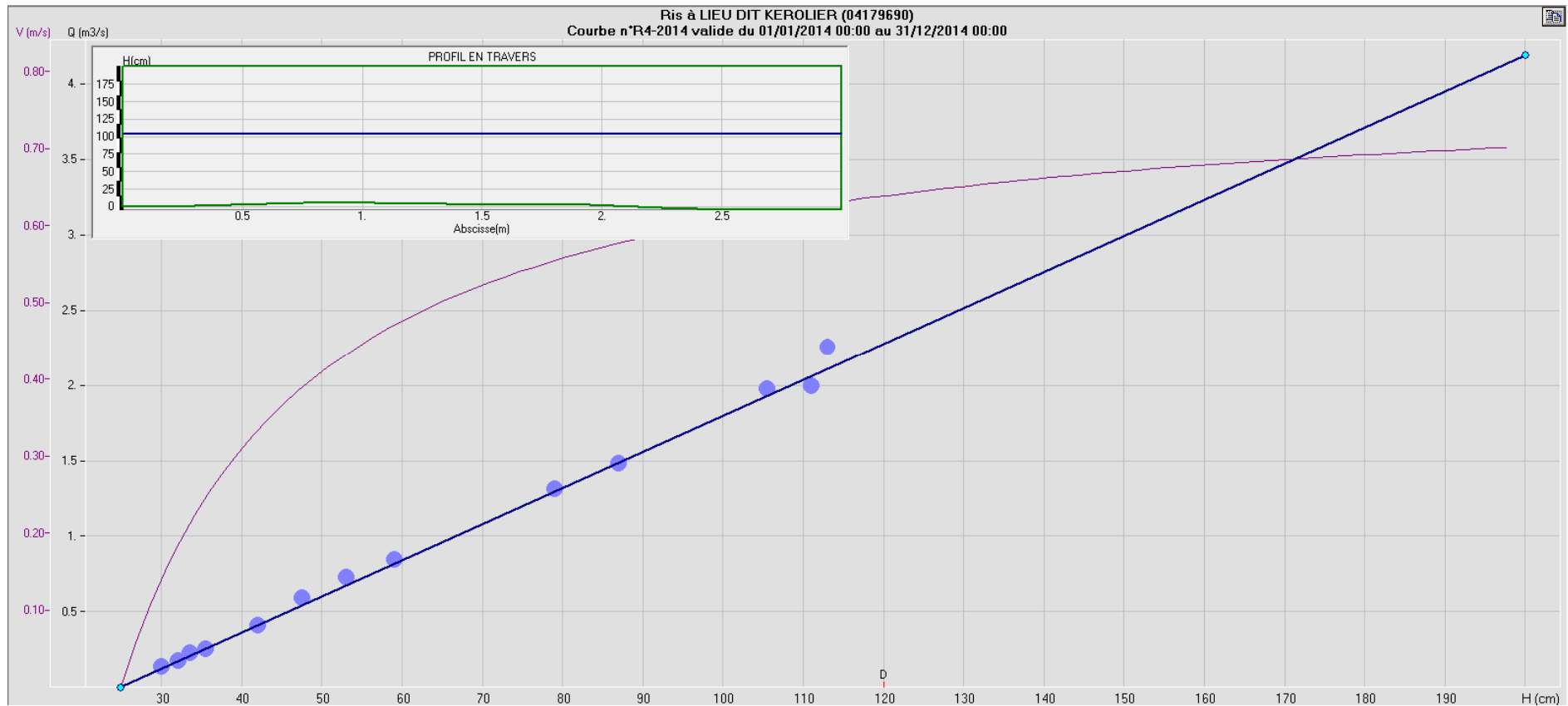


L'intégration de la section en travers dans le logiciel BAREME permet d'obtenir la courbe des vitesses en fonction de la hauteur d'eau (figure suivante en violet).



On remarque que l'extrapolation de la courbe de tarage au delà de la côte de débordement est aberrante puisque la courbe des vitesses décroît à partir de 120 cm. Il est donc nécessaire de corriger les valeurs de vitesse afin d'obtenir une courbe de tarage cohérente pour les hautes eaux. Pour cela, nous avons considéré qu'il n'y avait pas de débordement (figure suivante).



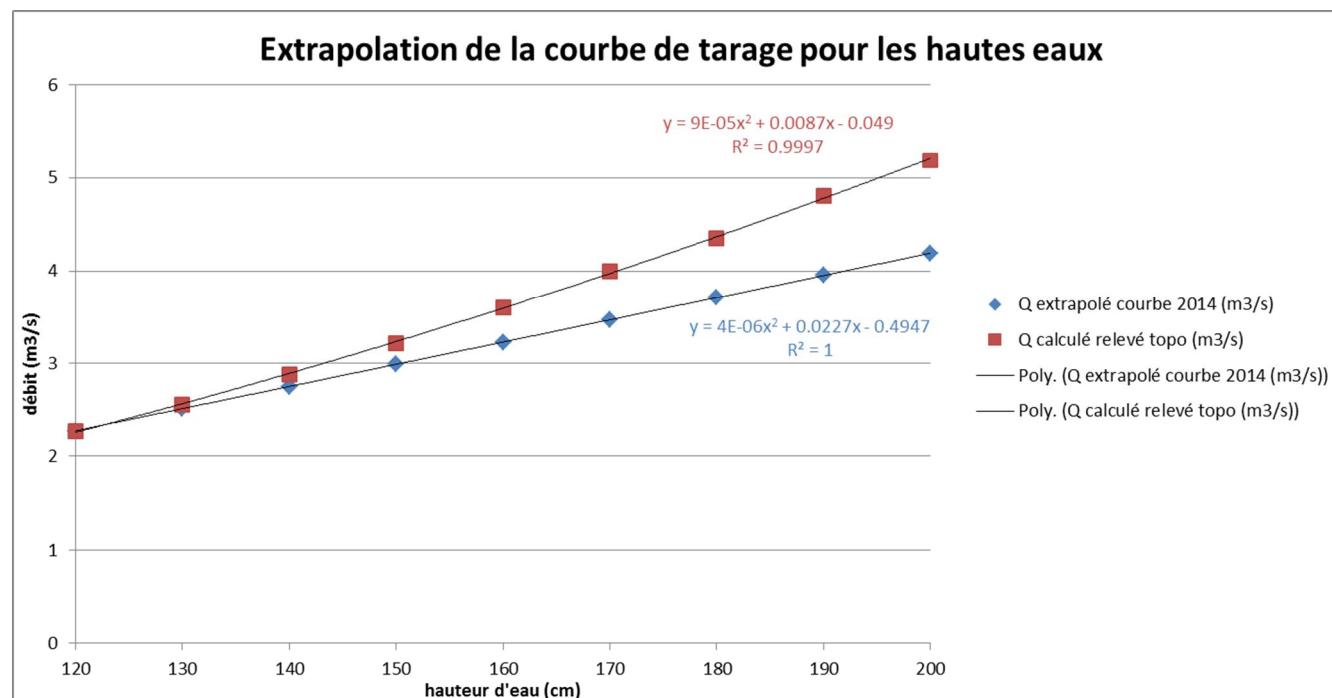


En considérant l'absence de débordement (profil en travers type canal), on obtient une courbe des vitesses cohérente, qui continue de croître au-delà de 120 cm de hauteur d'eau. Ces données de vitesse permettent de reconstituer le débit selon la formule :  $Q = V * S$  (S : aire de la section d'écoulement), en considérant cette fois l'aire de la section d'écoulement correspondant à la section réelle calculé à partir du relevé topographique.

On obtient :

h eau (cm)	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Q extrapolé à partir de la courbe de tarage 2014 (m3/s)	2.28	2.52	2.75	2.99	3.23	3.47	3.71	3.95	4.19
Q calculé à partir de la section issue du relevé topographique (m3/s)	2.28	2.56	2.88	3.22	3.6	4	4.35	4.8	5.19

Ces données ont été intégrées sur excel pour obtenir la formule de tarage pour les hautes eaux.



La régression polynomiale a le meilleur coefficient de corrélation (0.9997 contre 0.9968 pour la régression linéaire). Cette formule est valable pour l'intervalle de hauteur d'eau de 120 à 200 cm, correspondant au maximum de l'échelle limnimétrique. Elle est valable du 1<sup>er</sup> octobre 2013 au 31 décembre 2014.

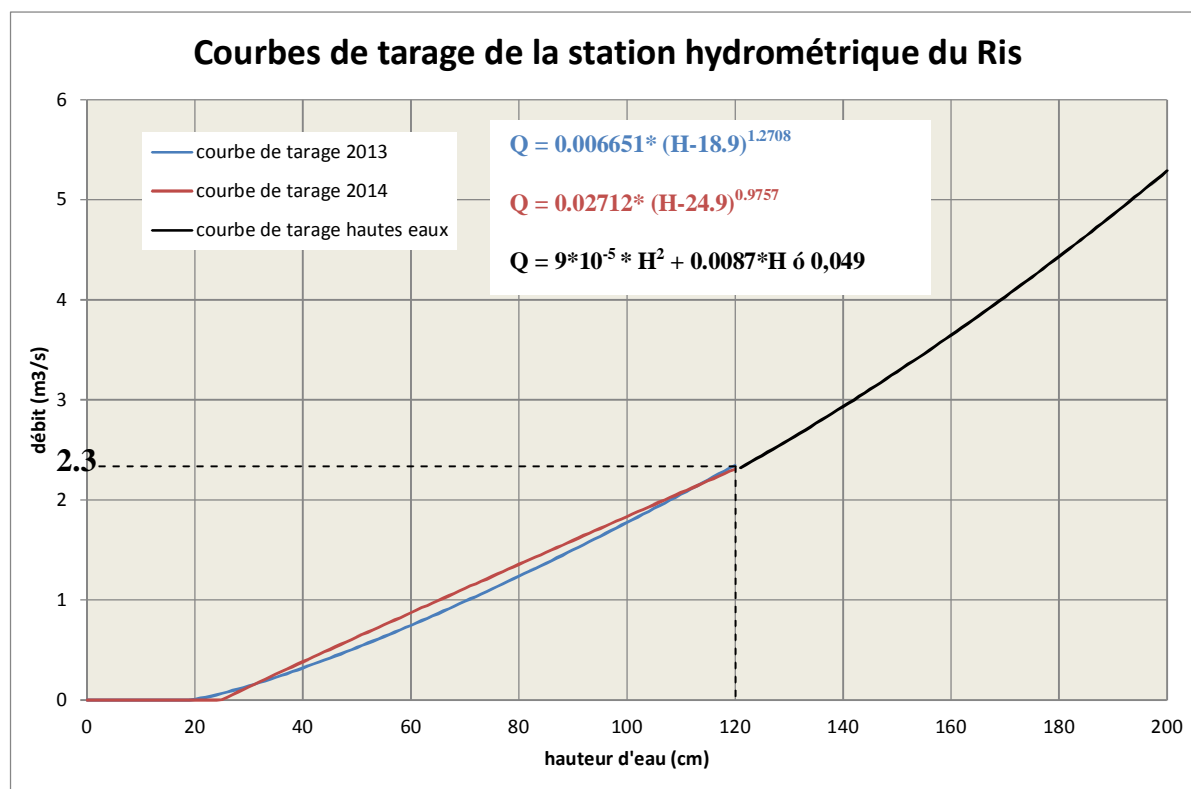
**Formule de tarage de la station hydrométrique du Ris ó hautes eaux**

$$Q = 9 \cdot 10^{-5} * H^2 + 0.0087 * H \text{ ó } 0,049$$

Période de validité : 1er octobre 2013 au 31 décembre 2014

Intervalle de validité : 120 à 200 cm

### 2.3.6. Bilan : les différentes courbes de tarage obtenues



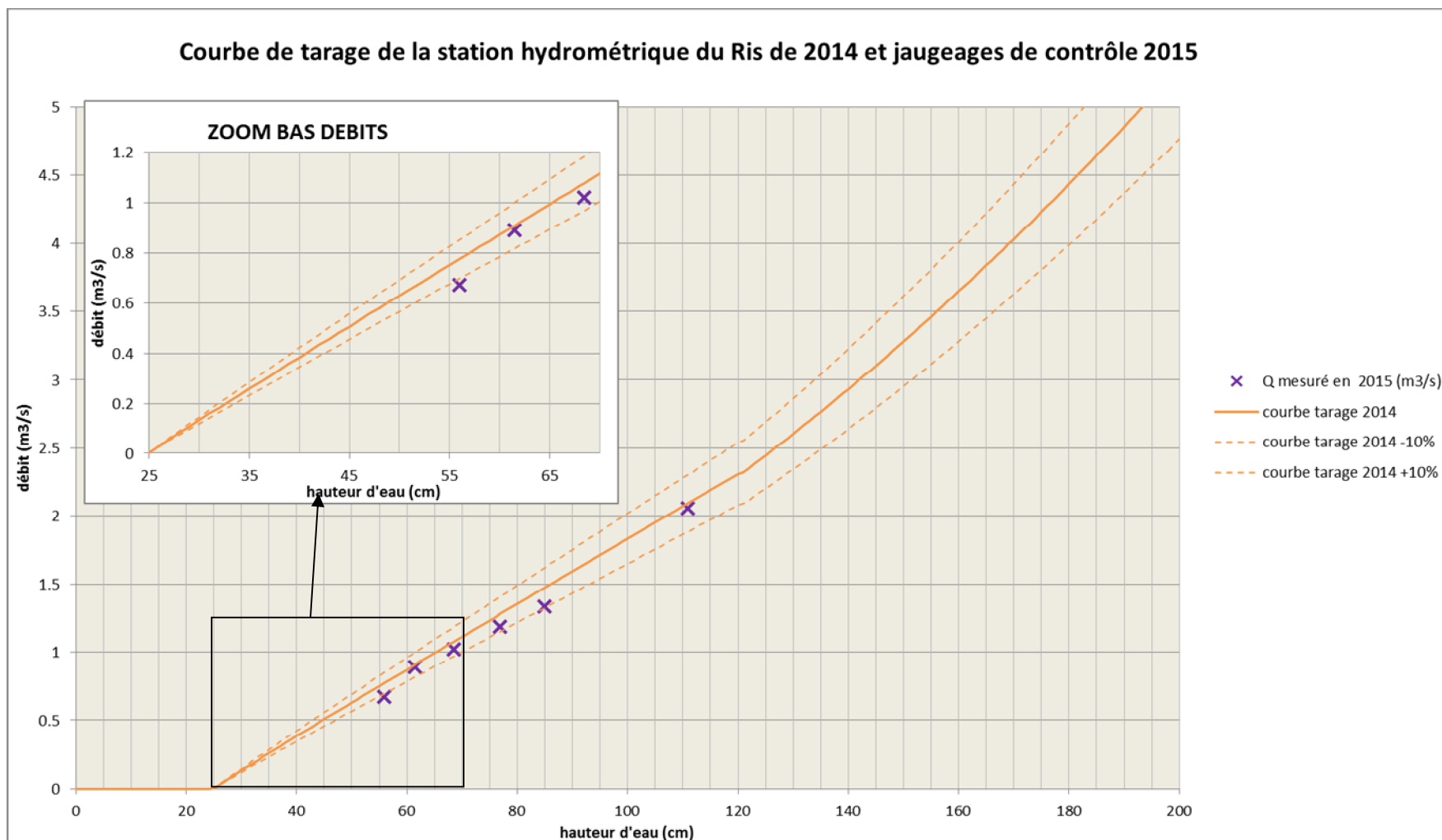
La courbe de tarage en hautes eaux présente une inflexion qui est cohérente avec le débordement du cours d'eau sur les berges à partir d'une hauteur d'eau de 120 cm (augmentation exponentielle de la section d'écoulement).

### 2.3.7. Jaugeages de contrôle

L'année 2015 est consacrée à quelques jaugeages de contrôle de la stabilité des courbes de tarage de 2014. Les jaugeages au courantomètre électromagnétique sont réalisés à la station hydrométrique du Ris avec une attention particulière en moyennes eaux, lorsque le seuil artificiel est noyé pour vérifier s'il y a des variations dues à des changements des seuils de contrôle naturels en aval de la station. Les premiers résultats



montrent des valeurs mesurées très proches des valeurs de la courbe (figure suivante), comprises dans l'intervalle de tolérance des 10 % à l'exception d'une valeur à 56cm de hauteur d'eau (-11%). Selon les résultats observés en fin de saison hydrologique, il pourra être décidé d'actualiser la courbe de tarage pour le calcul des débits de l'année 2015.



## 2.4. Courbe de tarage de la station hydrométrique du Kerharo

### 2.4.1. Particularités pour la construction de la courbe de tarage du Kerharo

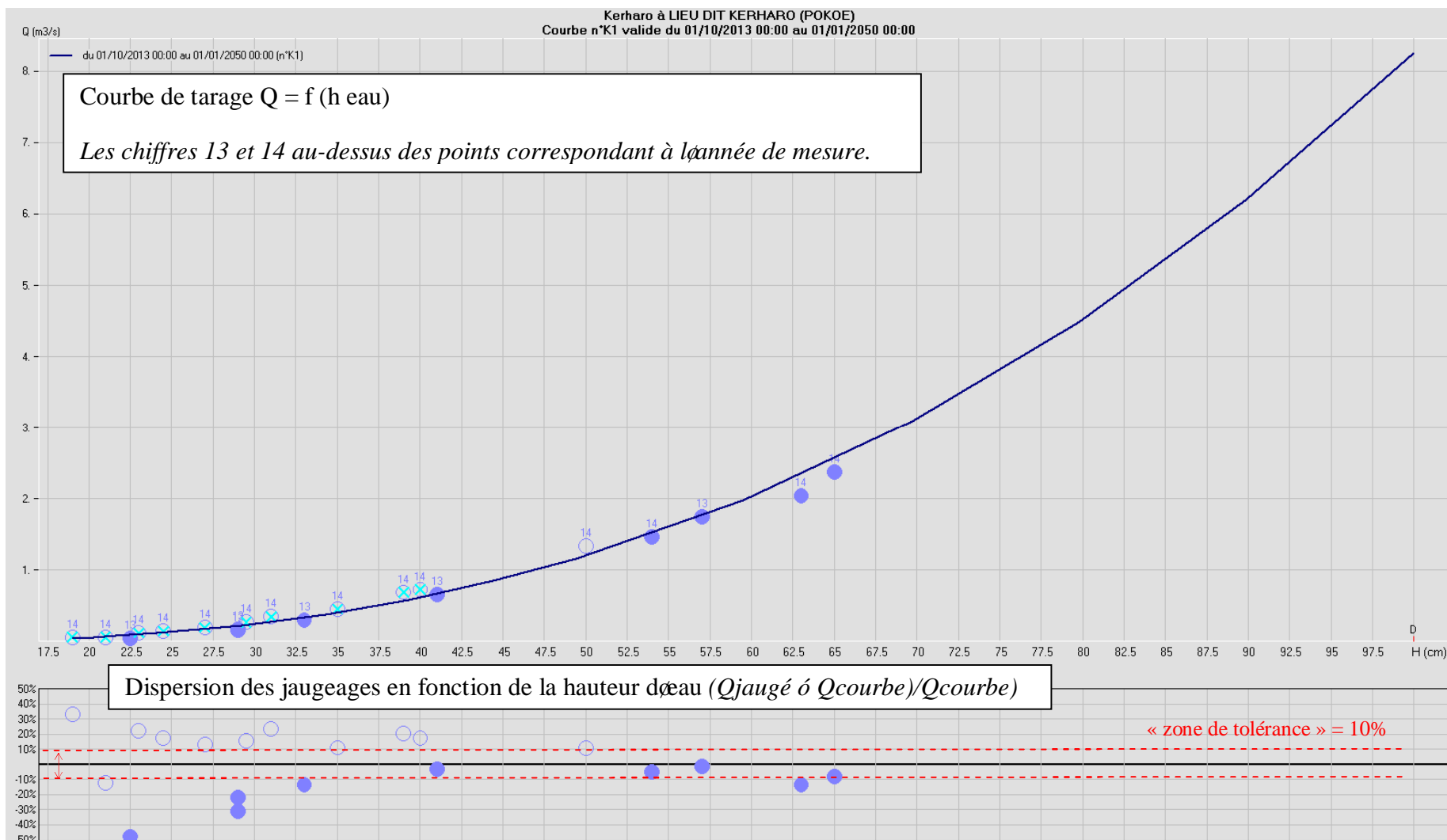
La section d'écoulement au droit de la station du Kerharo est constituée de berges argileuses quasiment verticales (photo ci-dessous). Contrairement à la station du Ris, ici il n'y a pas de débordement au droit de la station. La hauteur maximale jaugée est 0,81 m. La hauteur maximale relevée depuis l'installation de la station est 1,55 m (06/02/2014). Il est donc nécessaire d'extrapoler pour les hauteurs supérieures à 0,81 m. La section d'écoulement sous le pont auquel est fixé la station est parfaitement verticale sur les bords jusqu'à 2 m de hauteur. L'extrapolation pour les hautes eaux ne nécessite donc pas de relevé topographique. La courbe de tarage établie à partir des jaugeages sera donc extrapolée aux hautes eaux jusqu'à une hauteur de 2m.

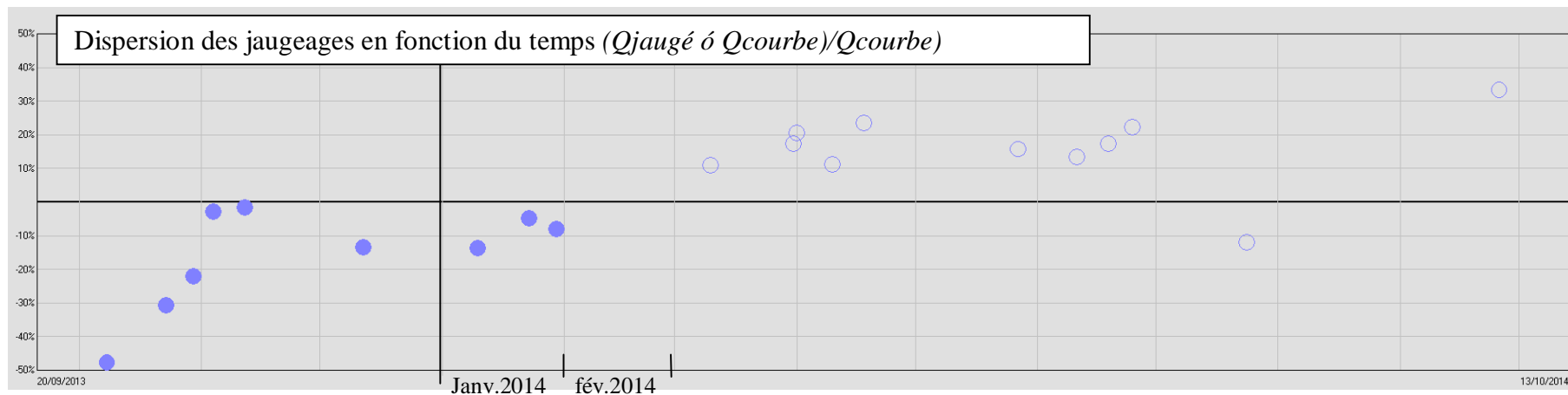




*Crue du 15 janvier 2015 : hauteur à l'échelle = 135 cm*

## 2.4.2. 1<sup>ère</sup> courbe incluant l'ensemble des jaugeages





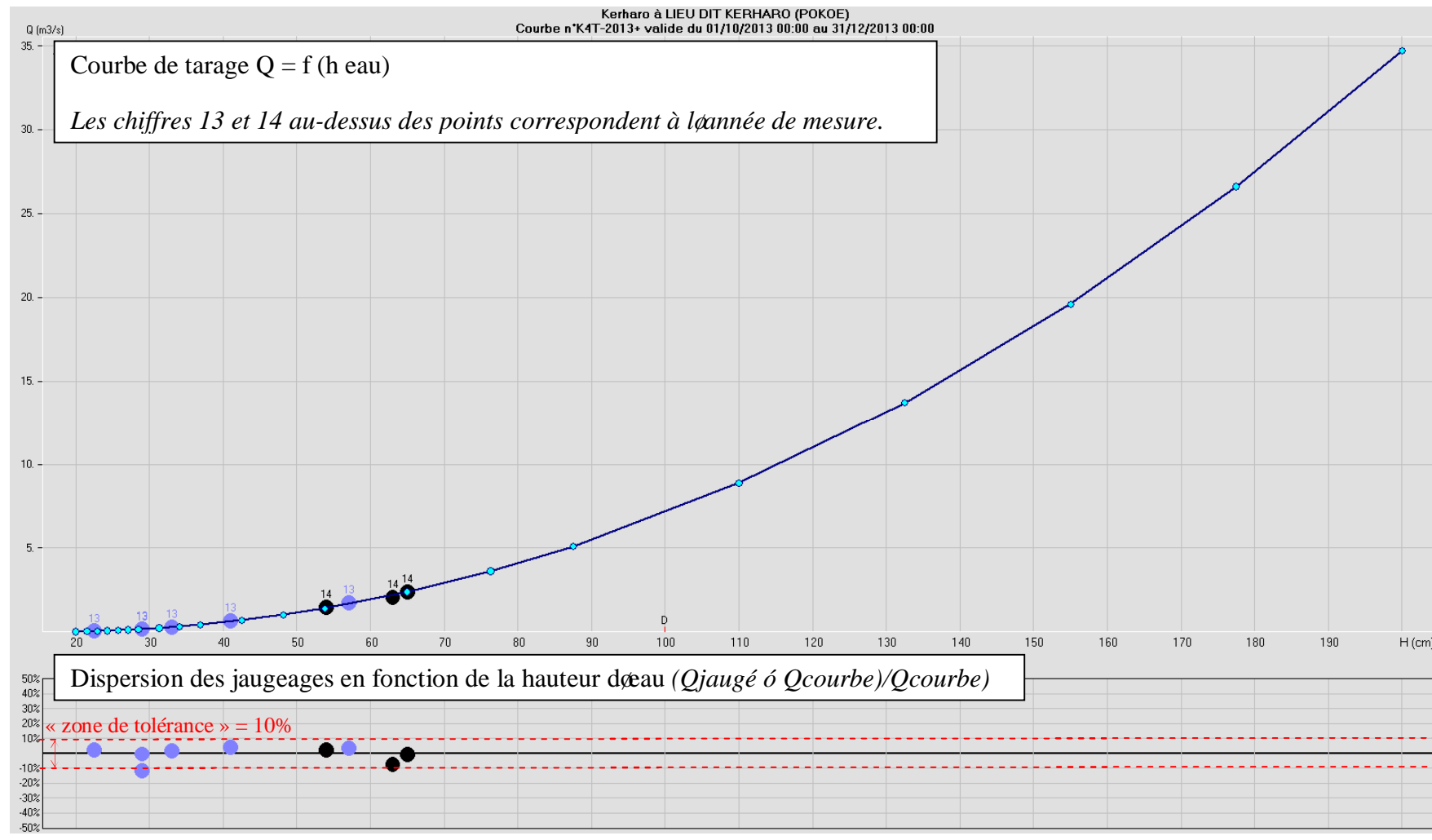
On remarque une dispersion des jaugeages très importante, surtout pour les faibles débits. Cela indique une modification du seuil naturel situé en aval immédiat de la station, suite aux crues importantes de l'hiver 2014.

Comme pour le Ris, en concertation avec la DREAL Bretagne, il a été convenu de tracer 2 courbes de tarages :

- Une 1<sup>ère</sup> courbe de tarage pour l'année 2013 avec les jaugeages de 2013 et les jaugeages de 2014 effectués en hautes eaux (non influencés par les seuils de contrôle aval) ;
- Une 2<sup>e</sup> courbe de tarage pour l'année 2014 avec les jaugeages de 2014 et le jaugeage de 2013 en moyennes eaux.

### 2.4.3. Courbe de tarage de l'année 2013

Pour construire la courbe de tarage sur la période d'octobre à décembre 2013, ont été pris en compte 9 jaugeages : 6 jaugeages réalisés en octobre-novembre-décembre 2013 et 3 jaugeages réalisés en janvier 2014 à des hauteurs d'eau supérieures à 0.50 m.



Stations hydrométriques Ris/Kerharo : courbes de tarage ó extrapolation débits  
EPAB, avril 2015

Avec cette nouvelle courbe, la dispersion des jaugeages est inférieure aux 10% tolérés.

**Formule de tarage de la station hydrométrique du Kerharo ó année 2013**

$$Q = 0.0008335 * (H-15.4)^{2.0383}$$

Période de validité : 1<sup>er</sup> octobre au 31 décembre 2013

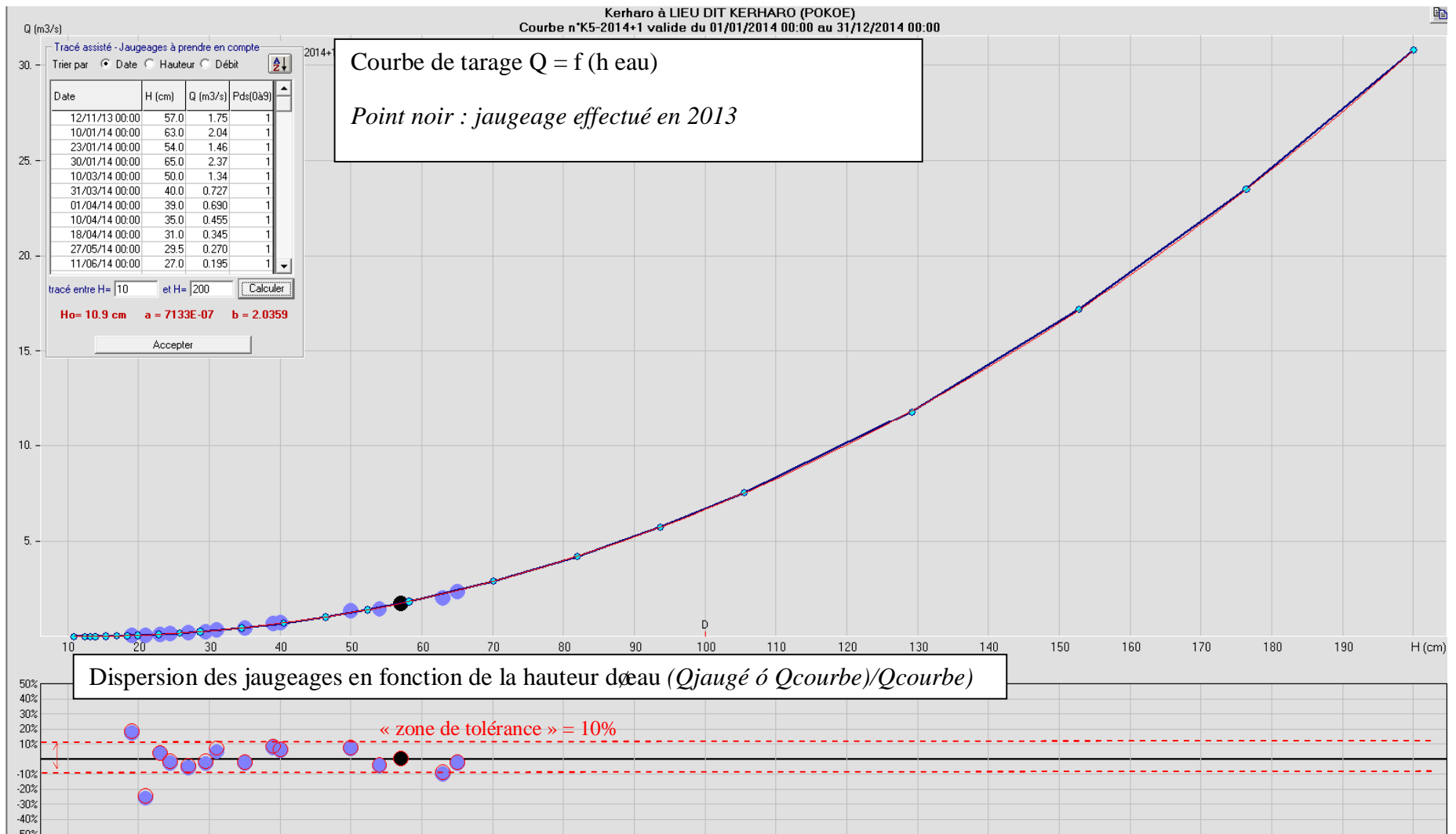
Intervalle de validité : 0 à 200 cm

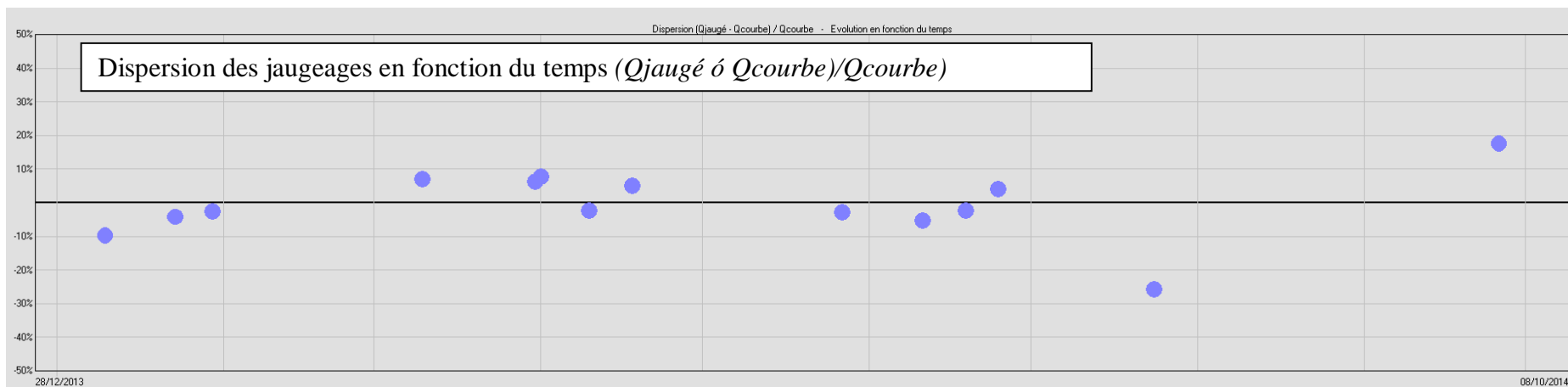
2.4.4. Courbe de tarage de l'année 2014

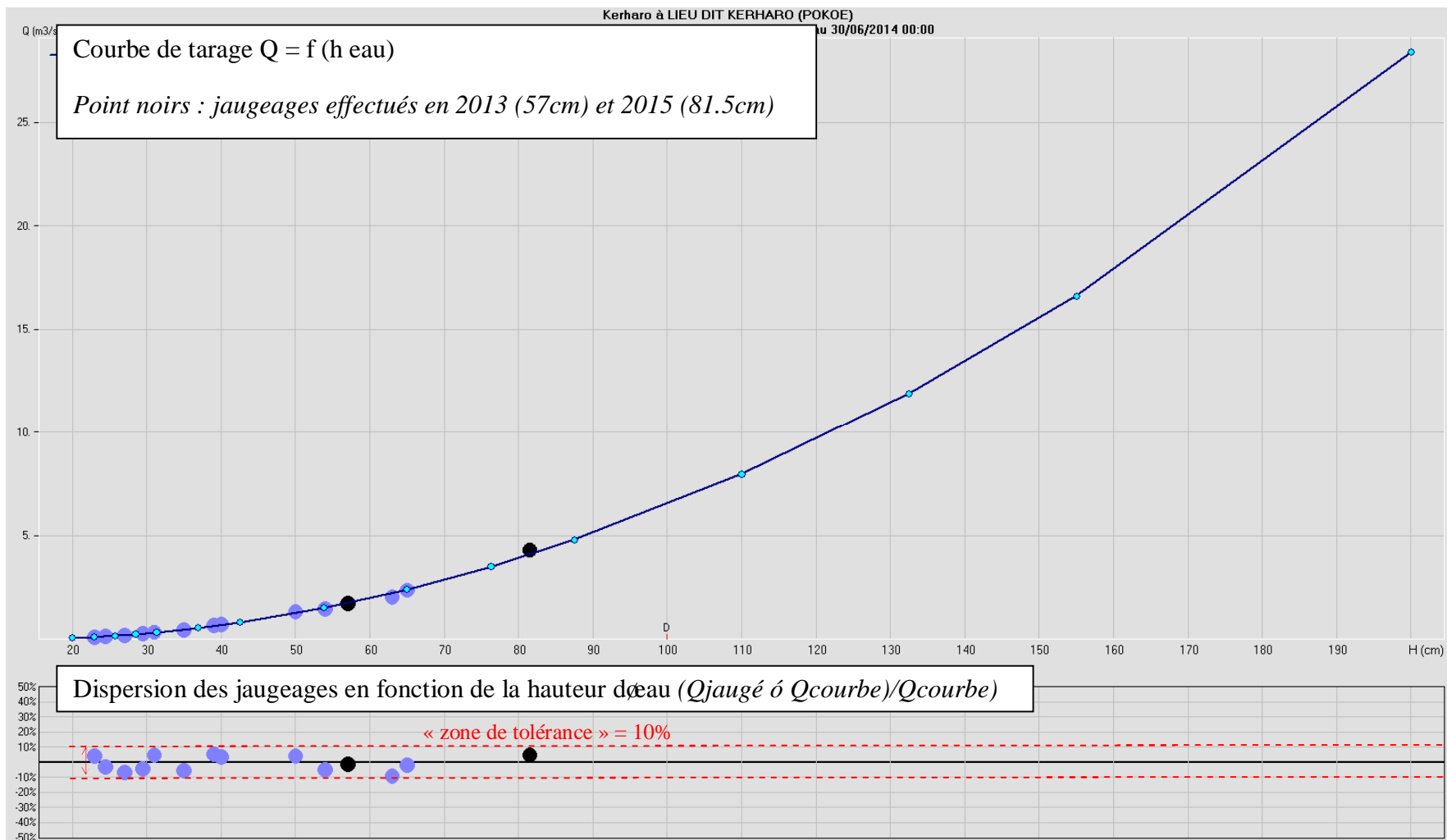
Ont été considérés pour construire la courbe de tarage de l'année 2014 :

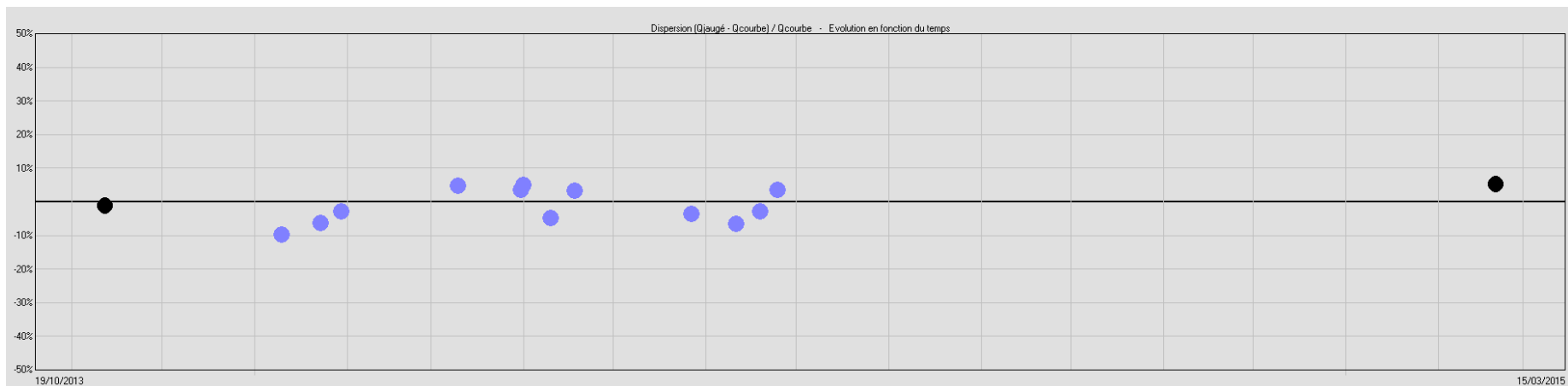
- les 14 jaugeages réalisés en 2014
- le jaugeage réalisé en 2013 à une hauteur de 57 cm, à laquelle l'influence du seuil naturel est limitée.











Cette fois l'ensemble des jaugeages est compris dans l'intervalle de dispersion de 10%. Le jaugeage à 81,5cm de février 2015 permet d'augmenter la précision en hautes eaux.

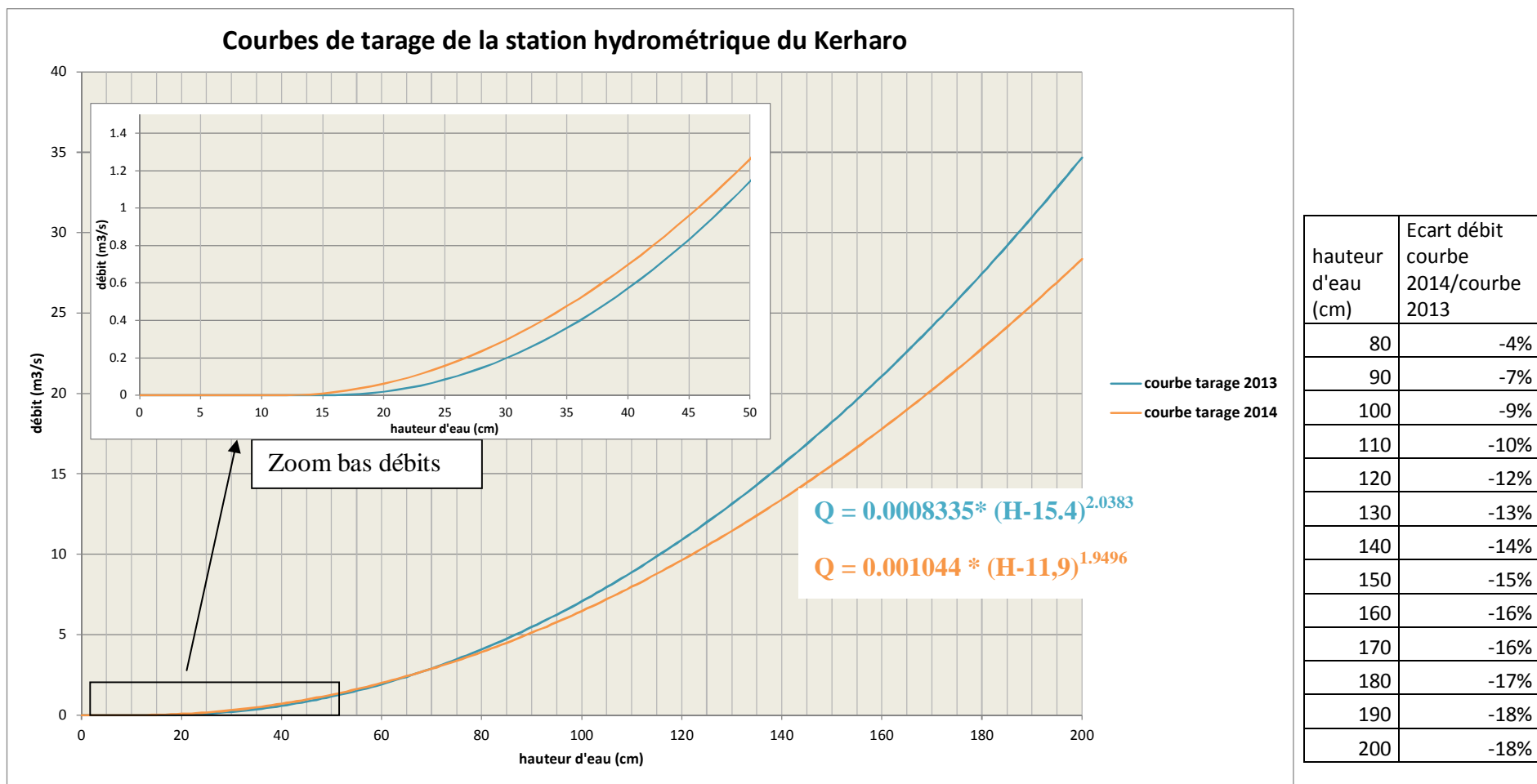
#### **Formule de tarage de la station hydrométrique du Kerharo ó année 2014**

$$Q = 0.001044 * (H-11,9)^{1.9496}$$

Période de validité : 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre 2014

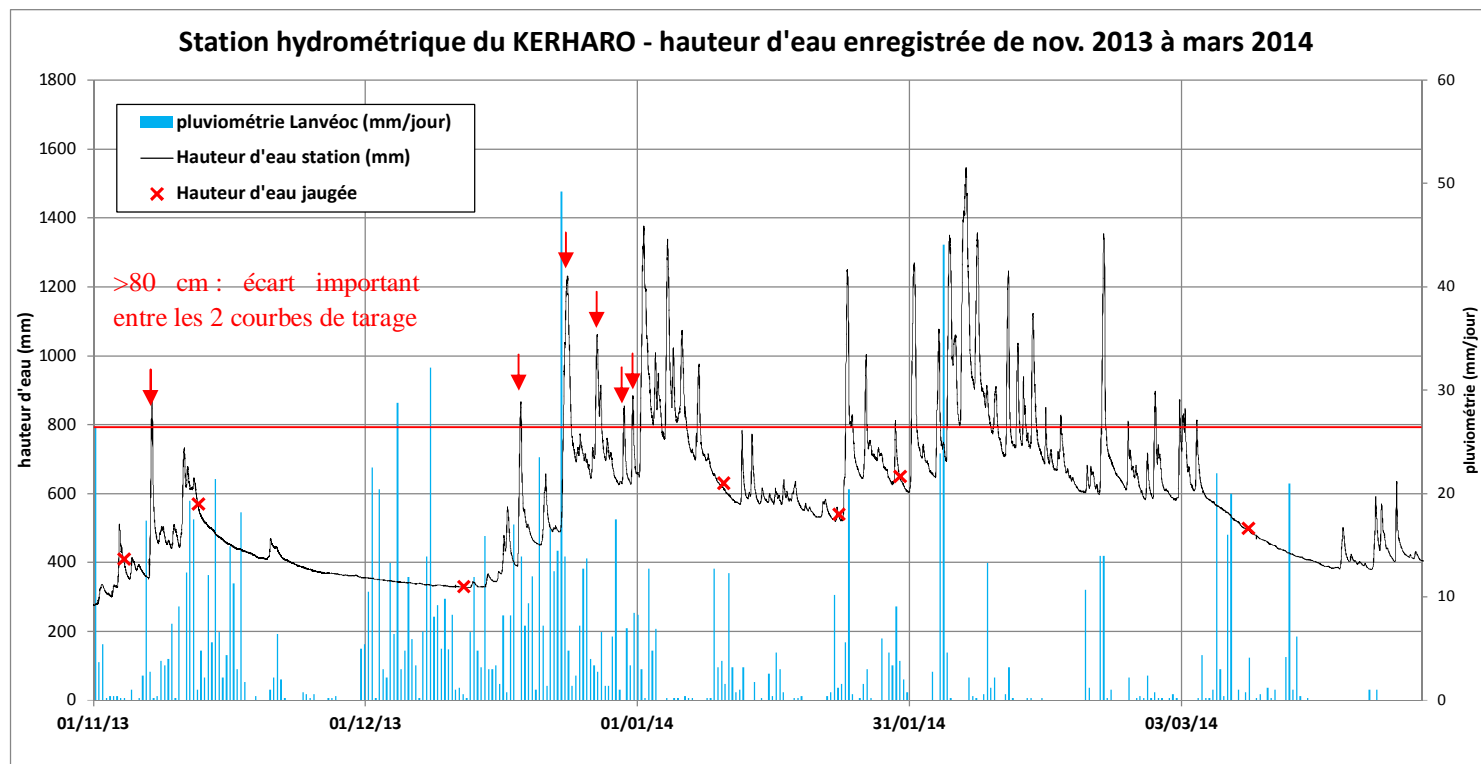
Intervalle de validité : 0 à 200 cm

### 2.4.5. Bilan : les différentes courbes de tarage obtenues



A partir d'une hauteur d'eau de 80 cm, on remarque un écart entre les 2 courbes 2013 et 2014, qui augmente progressivement (cf tableau). Cela est dû à la différence en termes de nombre et de dispersion des jaugeages considérés pour établir les 2 courbes (9 jaugeages pour la courbe 2013 contre 14 pour la courbe 2014). La courbe de tarage de 2013 sur-estime donc probablement les hauts débits (supérieurs à 4 m<sup>3</sup>/s).

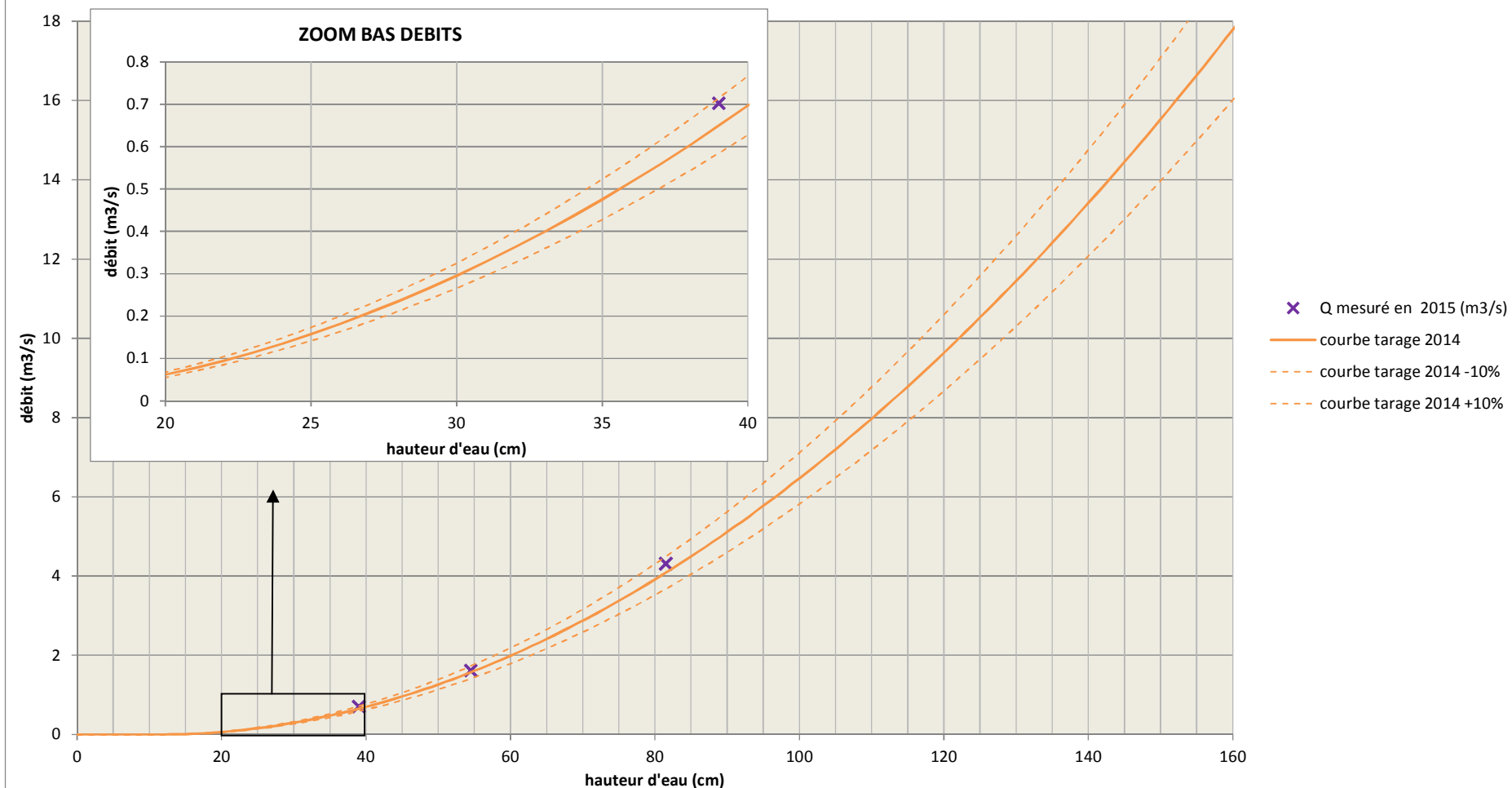
Si l'on regarde le relevé des hauteurs d'eau instantanées (figure suivante), on observe fin 2013 seulement 6 dépassements ponctuels des 80cm de hauteur d'eau, dont 4 dépassements à moins de 90cm. Même si la courbe de tarage de 2013 sur-estime les forts débits, l'impact est négligeable.



#### 2.4.6. Jaugeages de contrôle

L'année 2015 est consacrée à quelques jaugeages de contrôle de la stabilité de la courbe de tarage de l'année 2014. Les jaugeages au courantomètre électromagnétique sont réalisés à la station du Kerharo avec une attention particulière en basses et moyennes eaux afin de déterminer une éventuelle modification du seuil naturel. Les premiers résultats montrent des valeurs mesurées très proches des valeurs de la courbe, comprises dans l'intervalle de tolérance des 10 % (figure suivante).

### Courbe de tarage de la station hydrométrique du Kerharo de 2014 et jaugeages de contrôle 2015



En cas de stabilité avérée en fin de saison hydrologique, la courbe de tarage de 2014 pourra être utilisée pour calculer les débits de l'année 2015.



### **3. Extrapolation des débits journaliers aux exutoires des 8 cours d'eau du plan gouvernemental de lutte contre les algues vertes**

#### **3.1. Méthodologie**

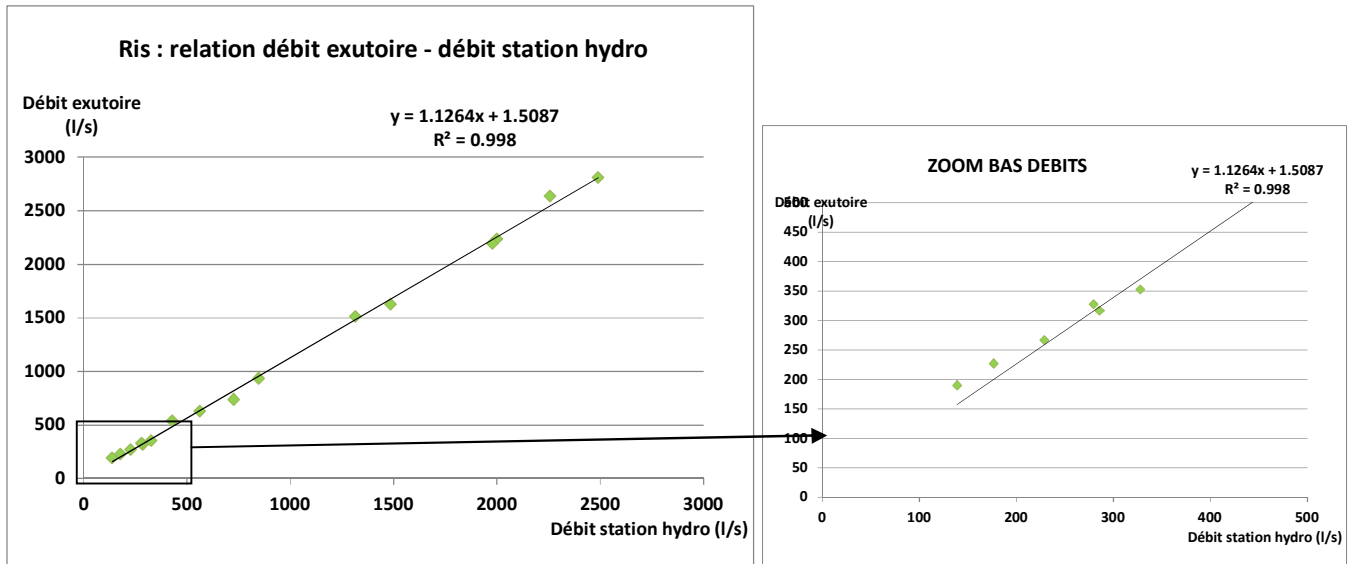
Environ 15 jaugeages ont été effectués aux exutoires de chacun des cours d'eau de la charte de territoire (Kergaoulédan, Stalas, Pénity, Ris, Laptic, Lestrevet, Kerharo, Aber). Dans la mesure du possible les campagnes de jaugeages ont été effectuées en simultané aux exutoires et aux 2 stations hydrométriques et en période de stabilité hydrologique, dans le but d'extrapoler les débits à partir des valeurs relevés sur le terrain (se référer au document du protocole de mesure pour plus d'informations- EPAB 2013). Seul l'Aber n'a pas été jaugé en même temps à cause de la distance qui le sépare des autres cours d'eau, il fait donc l'objet d'une extrapolation à partir des débits instantanés calculés aux stations hydrométriques. Pour des raisons liées aux marées ou à la météo, certaines mesures ont été effectuées aux exutoires sans mesure le même jour à la station. Dans ce cas, les débits instantanés aux stations calculés à partir de la formule de tarage ont été pris en compte pour améliorer la corrélation.

Le calcul de corrélation a été effectué sur excel en établissant la courbe de régression entre les débits mesurés à l'exutoire de chaque cours d'eau et les débits mesurés à la station hydrométrique de référence, la plus proche en termes de fonctionnement hydrologique (fonction notamment du contexte géologique). Les 3 cours d'eau du Port-Rhu ont été corrélés avec la station hydrométrique du Ris (contexte granitique), le Laptic et le Lestrevet avec la station hydrométrique du Kerharo (contexte schisteux), et l'Aber situé en contexte particulier de grès-schistes-quartzites a été corrélé avec les données des 2 stations pour déterminer la corrélation la plus précise.

La formule de corrélation permet ensuite de calculer, pour l'année hydrologique 2013-2014, le débit moyen journalier aux exutoires à partir du débit moyen journalier à la station hydrométrique de référence. Ces débits sont comparés avec ceux obtenus par l'ancienne méthode d'extrapolation à partir du Steir.

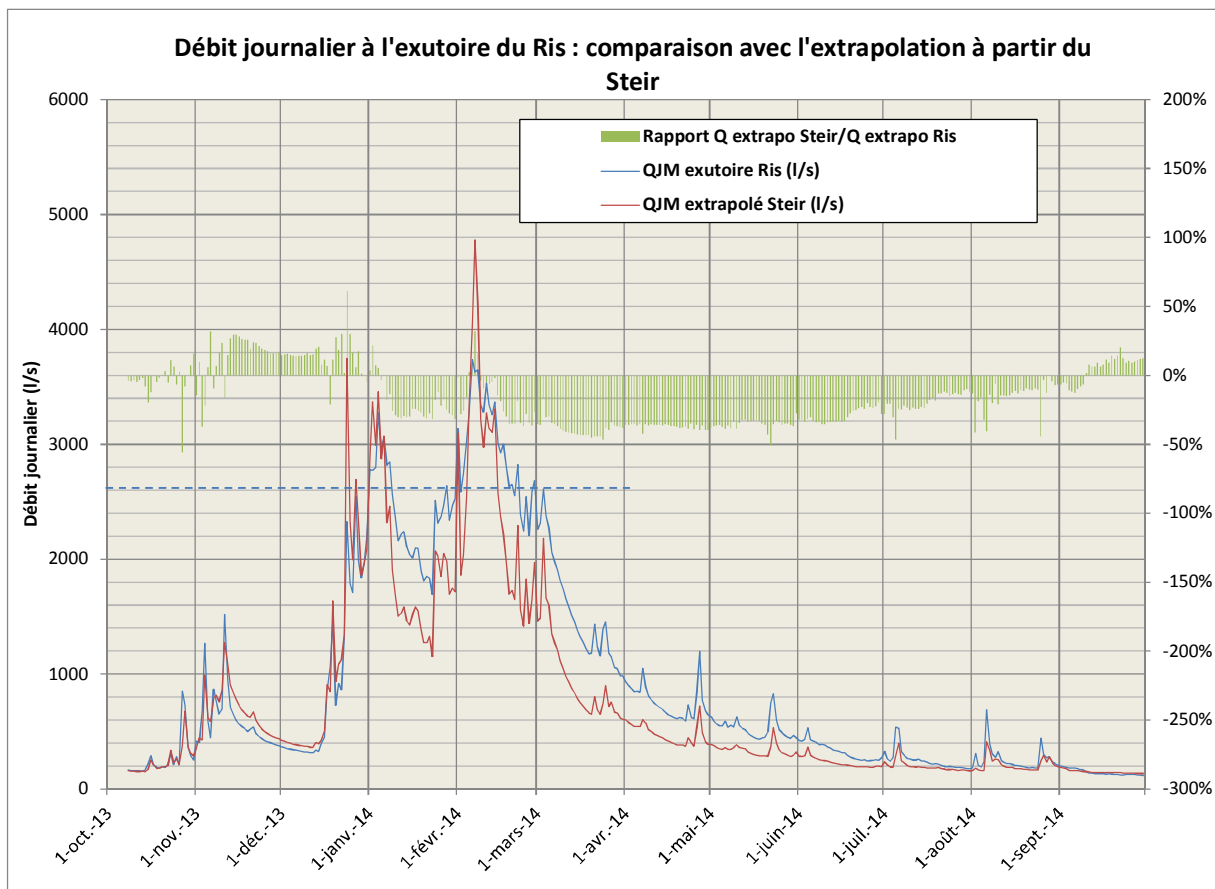
#### **3.2. Extrapolation à l'exutoire du Ris**

Sur les 19 jaugeages effectués, 3 jaugeages ont été retirés : 2 jaugeages dont le débit à l'exutoire était inférieur au débit à la station hydrométrique (périodes de basses eaux avec possible influence du captage de Keratry) et un jaugeage en moyennes eaux (mesure en décrue). La régression linéaire donne le meilleur résultat avec un coefficient de corrélation de 0.998 (figure suivante).



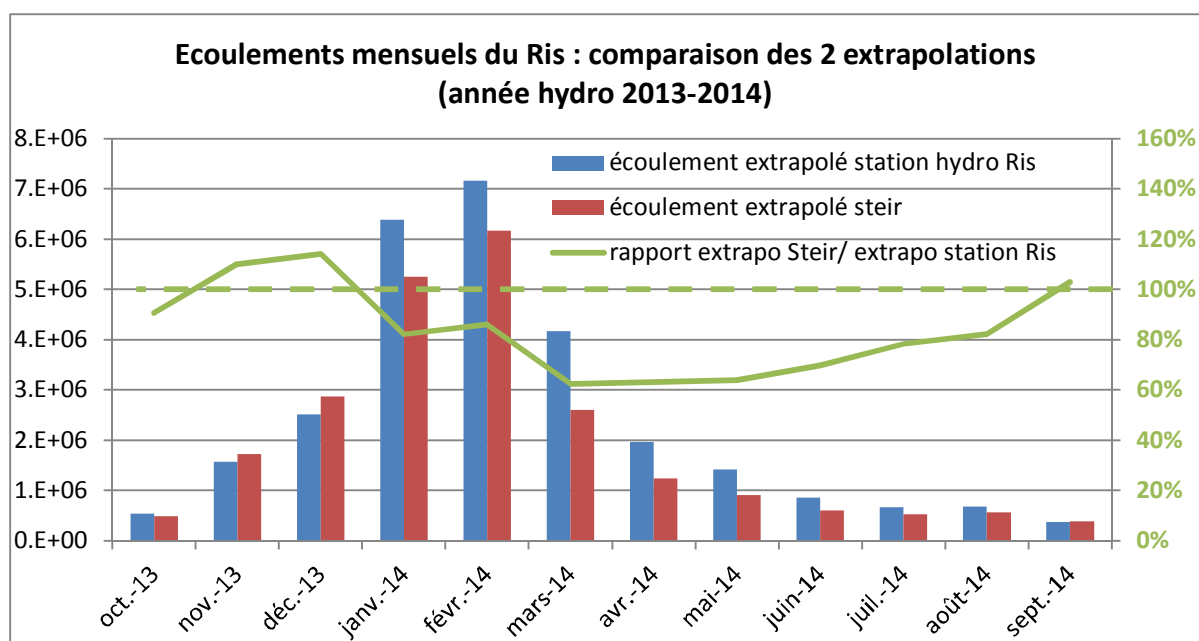
Le zoom sur la partie basse de la courbe montre une bonne relation. Pour un débit nul à la station, le débit à l'exutoire est de 1,5 l/s, ce qui est cohérent.

Les débits journaliers calculés à partir de cette formule sont globalement supérieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir (figure suivante). Seuls quelques pics de crue sont inférieurs à ceux calculés à partir de l'extrapolation du Steir.



L'extrapolation des débits à la station du Ris pour les hauteurs d'eau supérieures à la cote de débordement est d'une fiabilité incertaine. Le débit à la station du Ris correspondant à la cote de débordement (120cm) est de 2300 l/s (cf bilan courbes de tarage du Ris), ce qui donne à l'exutoire un débit d'environ 2600 l/s. Ce débit est dépassé en 2013-2014 sur des périodes relativement réduites : début janvier et les 3 premières semaines de février (figure précédente). Même si l'extrapolation en hautes eaux est d'une fiabilité incertaine, l'impact sur les débits de l'année 2013-2014 est relativement réduit.

A l'échelle mensuelle (figure suivante), on voit que l'extrapolation à partir du Steir sous-estime essentiellement les périodes de moyennes eaux (mars à juin).

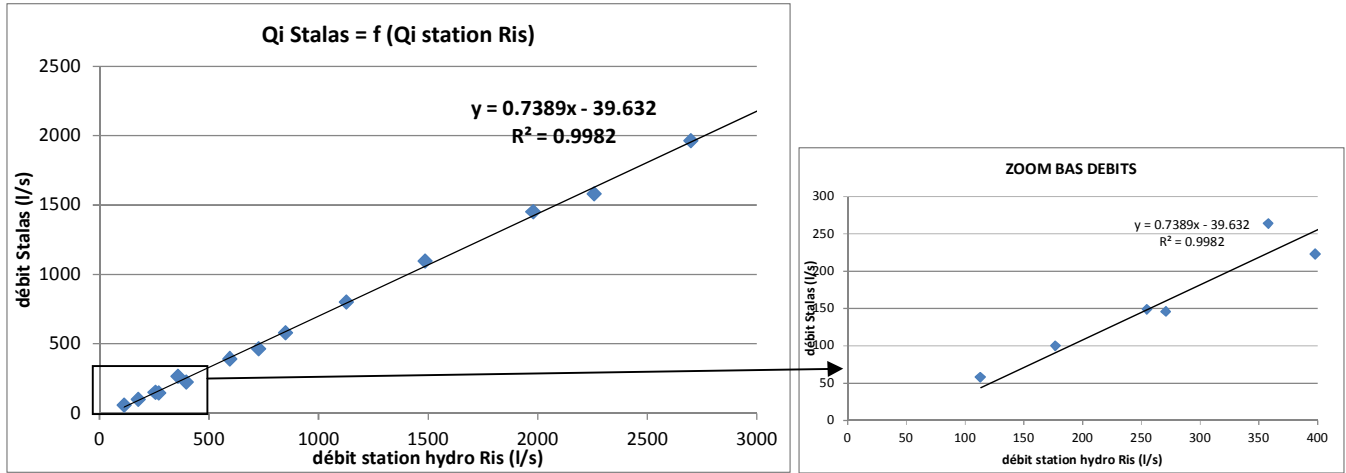


Les valeurs de lame d'eau pour l'année 2013-2014 montrent que l'extrapolation à partir du Steir sous-estime le débit du Ris de 18 % à l'échelle annuelle (tableau suivant).

	écoulement extrapolé station hydro Ris	écoulement extrapolé steir	rapport extrapo Steir/ extrapo station Ris
lame d'eau annuelle (m3/an) / année 2013-14	28 325 207	23 322 902	82.3%

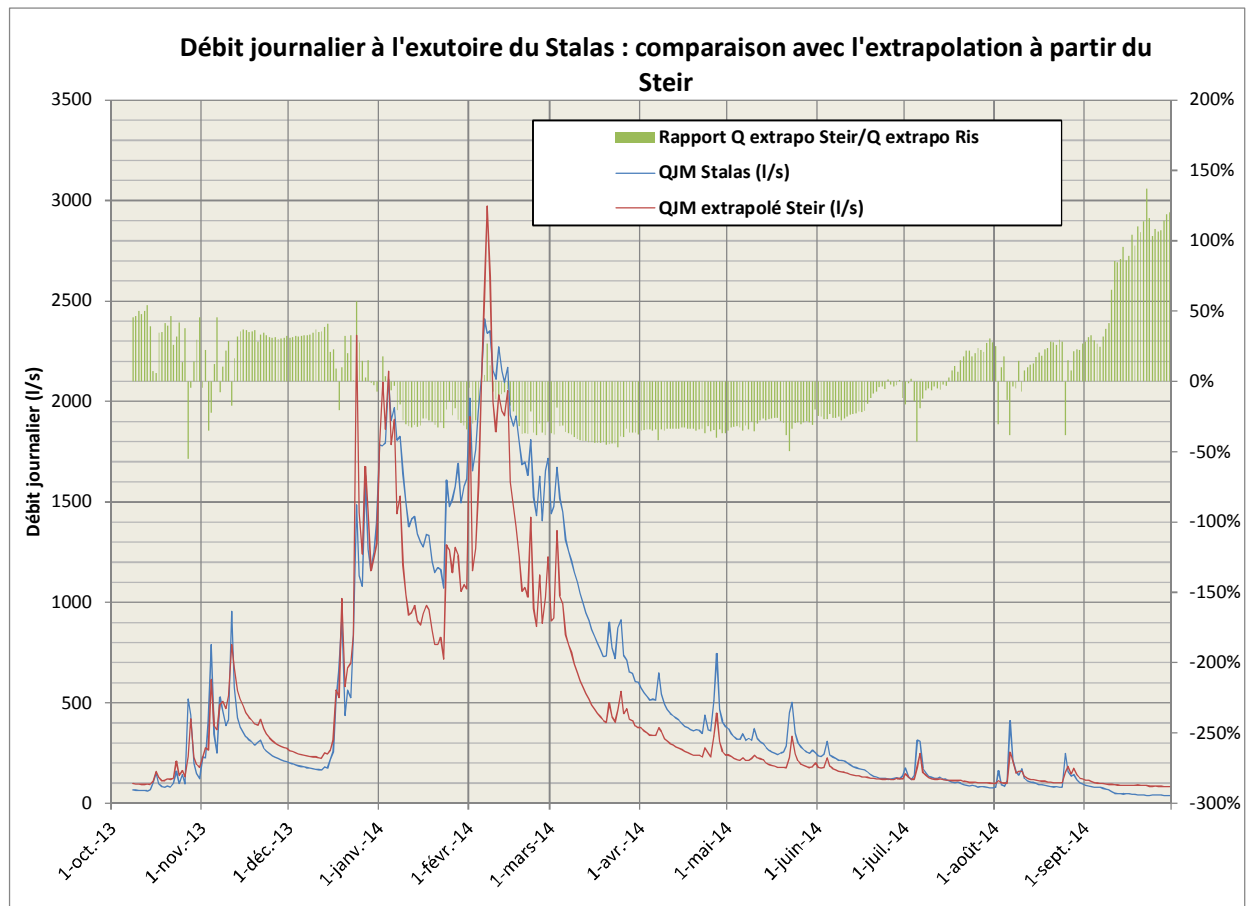
### 3.3. Extrapolation à l'exutoire du Stalas

Sur les 15 jaugeages effectués, 1 jaugeage a été retiré : le 07/02/2014 avec un débit du Stalas supérieur à celui de la station hydrométrique du Ris (+7%)! La régression linéaire donne le meilleur résultat avec un coefficient de corrélation de 0.9982 (figure suivante).

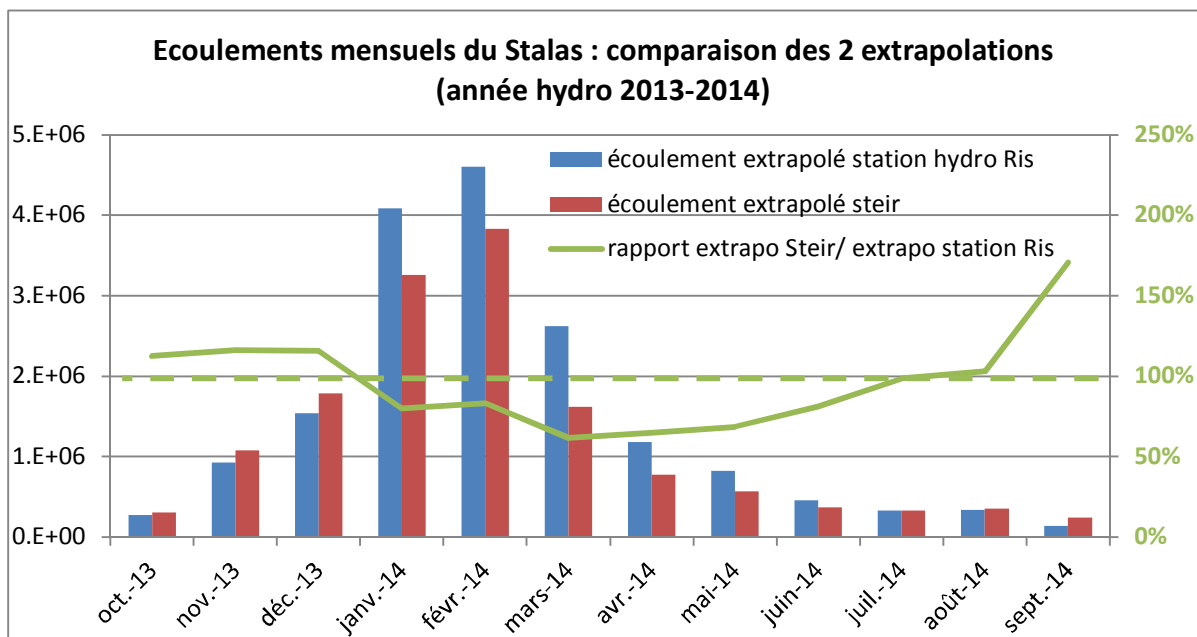


Le zoom sur la partie basse de la courbe montre une bonne relation. Le débit du Stalas est nul quand le débit à la station hydrométrique du Ris est de 54 l/s, ce qui est cohérent.

Les débits journaliers et mensuels calculés à partir de cette formule sont présentés sur les figures suivantes.



Stations hydrométriques Ris/Kerharo : courbes de tarage ó extrapolation débits  
EPAB, avril 2015



On remarque que les débits calculés par l'extrapolation de la station du Ris sont :

- supérieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir en hautes et moyennes eaux de janvier à juin (à l'exception de quelques pics de crue) ;
- inférieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir en basses eaux.

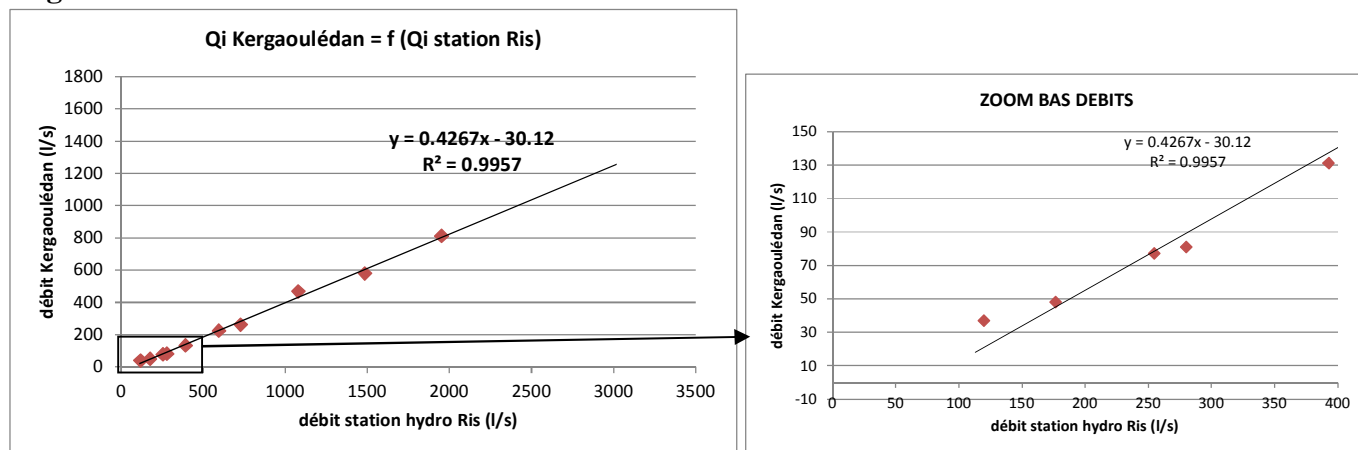
Les valeurs de lame d'eau pour l'année 2013-2014 montrent que l'extrapolation à partir du Steir sous-estime le débit du Stalas de 16 % à l'échelle annuelle (tableau suivant).

	écoulement extrapolé station hydro Ris	écoulement extrapolé steir	rapport extrapo Steir/ extrapo station Ris
<b>lame d'eau annuelle (m3/an) / année 2013-14</b>	17 324 395	14 499 734	84%

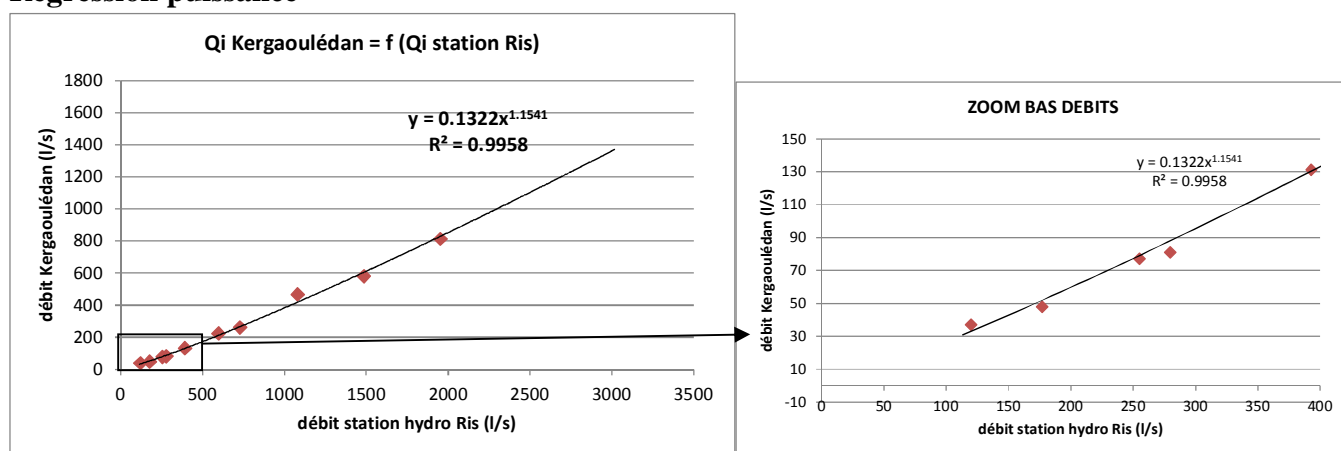
### 3.4. Extrapolation à l'exutoire du Kergaoulédan

Sur les 13 jaugeages effectués, 3 jaugeages ont été retirés car trop éloignés de la courbe de régression : 2 jaugeages effectués en décrue et un jaugeage probablement sous l'influence de la marée. Le retrait permet d'améliorer le coefficient de régression (linéaire) qui passe de 0.9201 à 0.9957. La régression puissance donne quasiment le même résultat que la régression linéaire avec un coefficient de corrélation de 0.9958 (figure suivante).

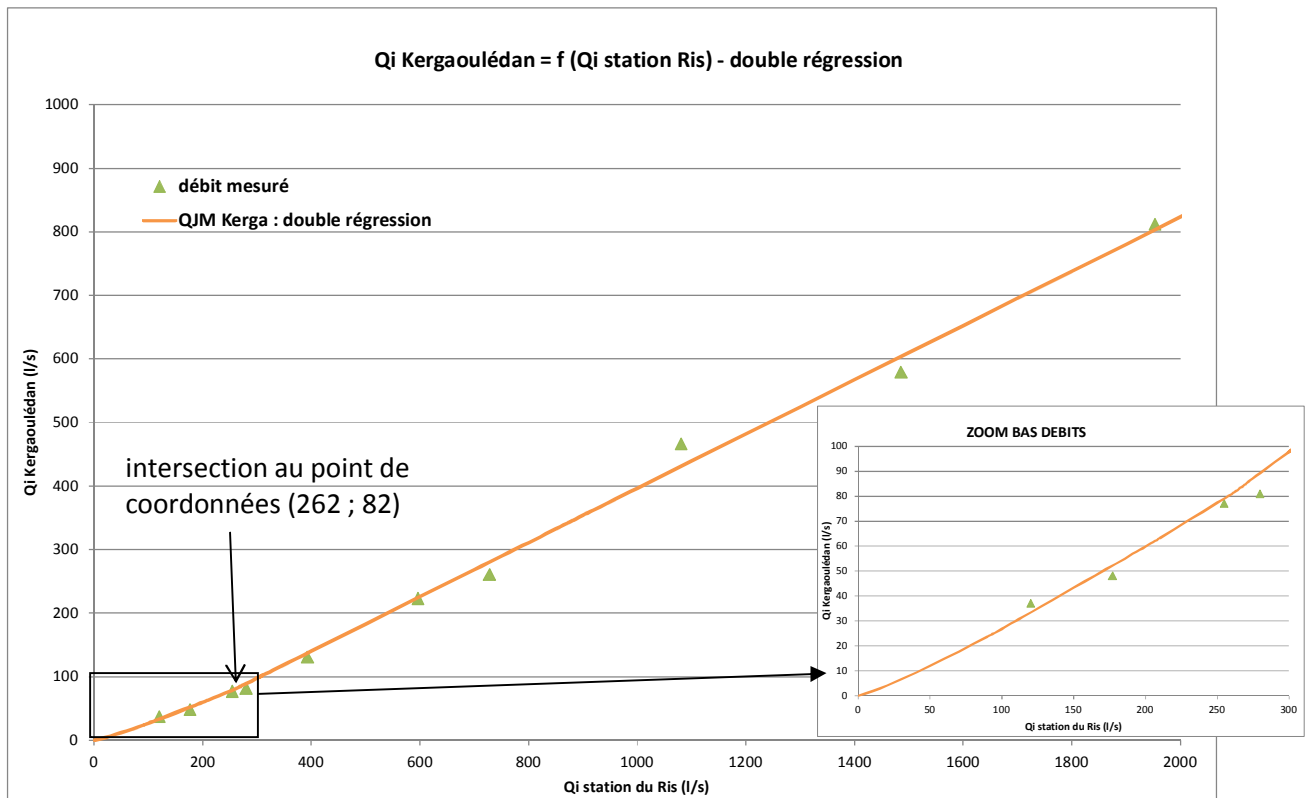
## Régression linéaire



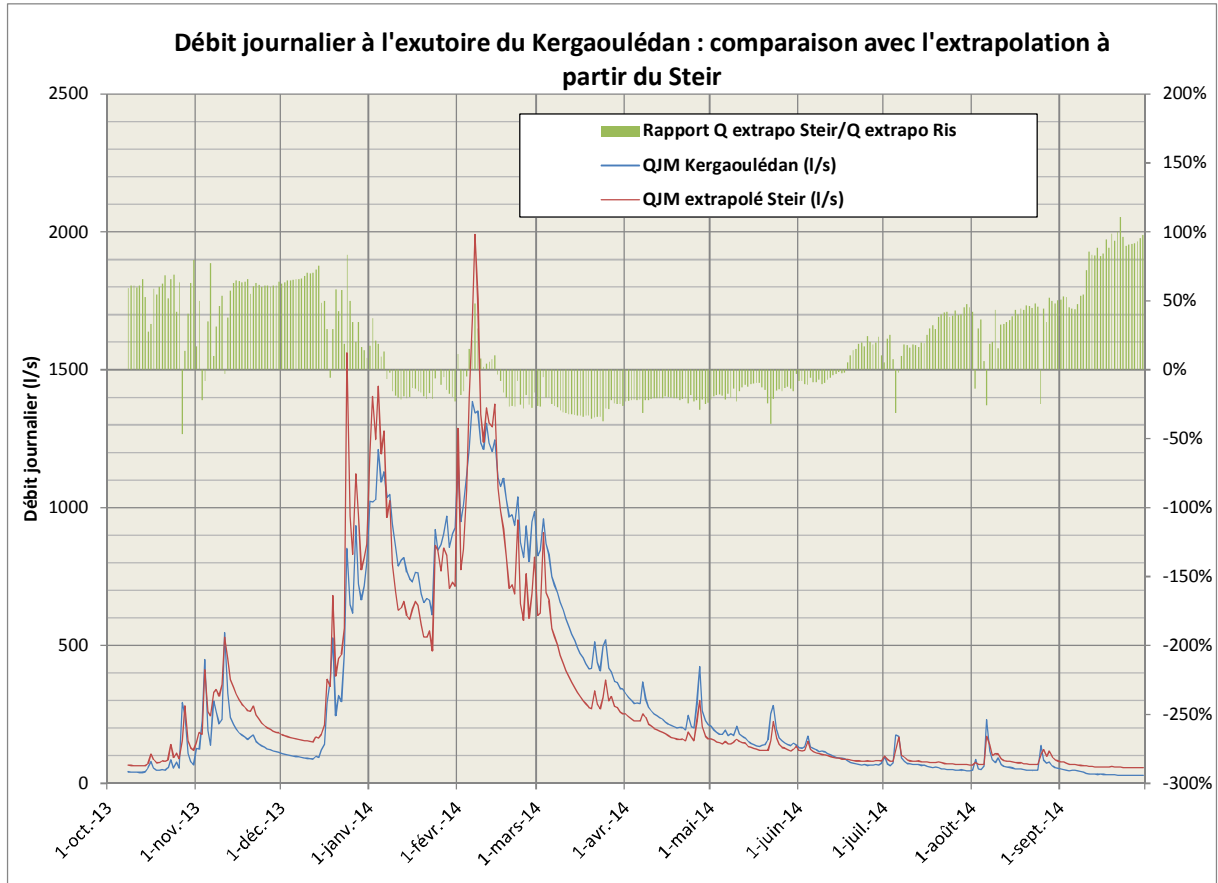
## Régression puissance



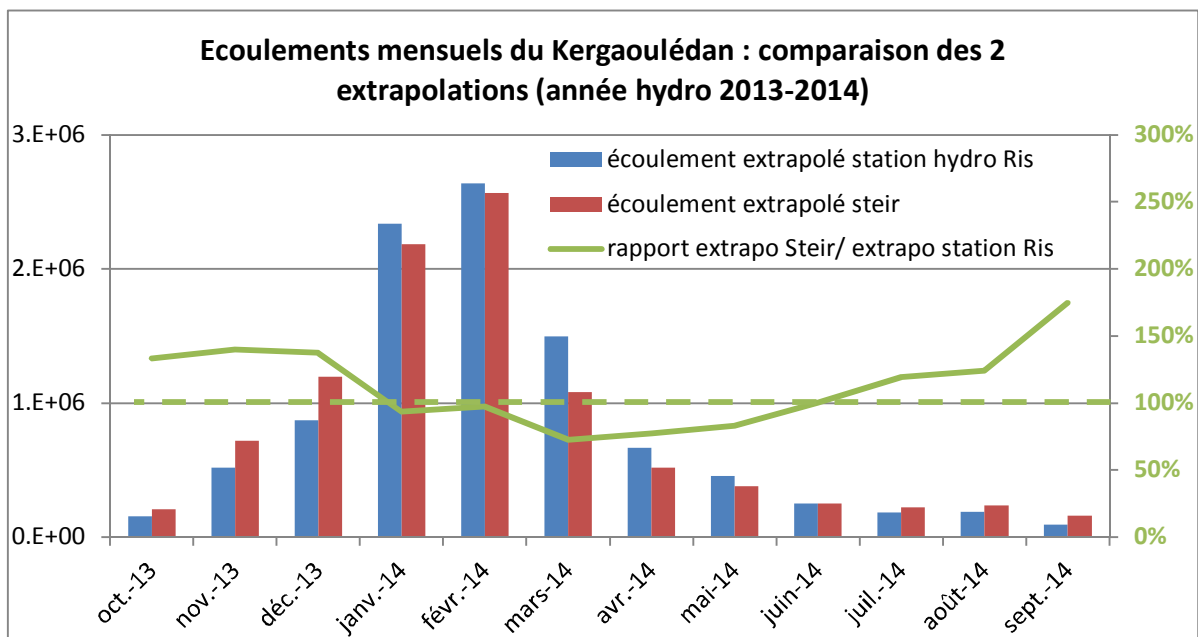
Cependant la régression puissance n'est pas adaptée aux forts débits (sur-estimation). Par ailleurs la régression linéaire n'est pas adaptée aux bas débits. En effet, le zoom sur la partie basse de la courbe montre une mauvaise corrélation avec le jaugeage le plus faible. Ainsi la double régression est utilisée : puissance en basses eaux et linéaire en moyennes et hautes eaux (figure suivante). Le point d'intersection des 2 courbes a pour coordonnées (262 ; 82).



Les débits journaliers et mensuels calculés à partir de ces formules sont présentés sur les figures suivantes.







On remarque, comme sur le Stalas (mais avec une ampleur différente), que les débits calculés par l'extrapolation de la station du Ris sont :

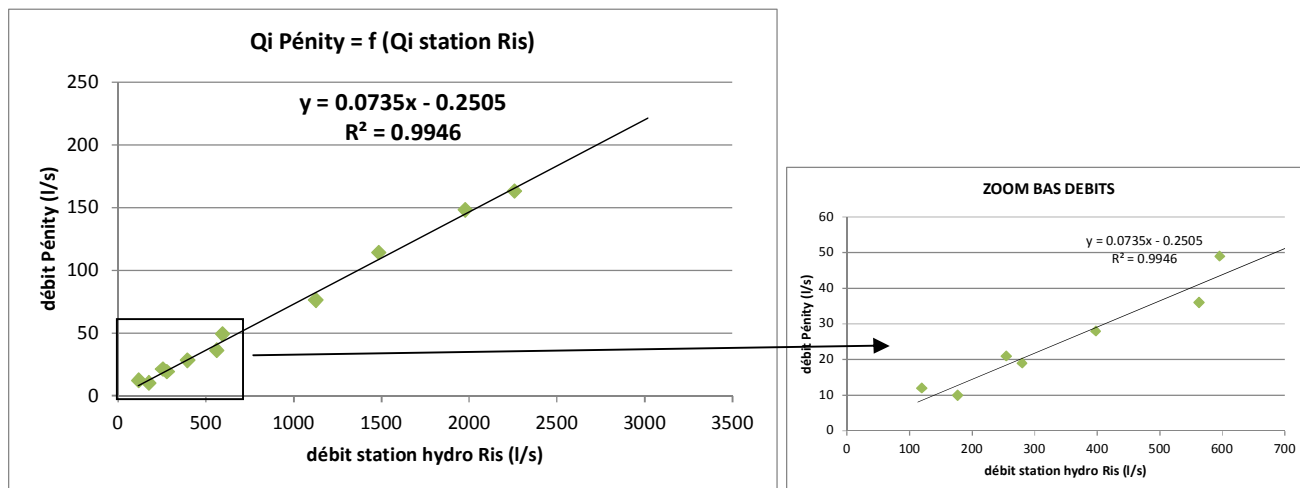
- supérieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir en hautes et moyennes eaux (à l'exception de quelques pics de crue);
- très inférieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir en basses eaux.

Les valeurs de lame d'eau pour l'année 2013-2014 montrent que l'extrapolation à partir du Steir sous-estime le débit du Kergaoulédan de 1,4 % à l'échelle annuelle (tableau suivant).

	écoulement extrapolé station hydro Ris	écoulement extrapolé Steir	rapport extrapo Steir/ extrapo station Ris
<b>lame d'eau annuelle (m3/an) / année 2013-14</b>	9 847 563	9 711 446	98.6%

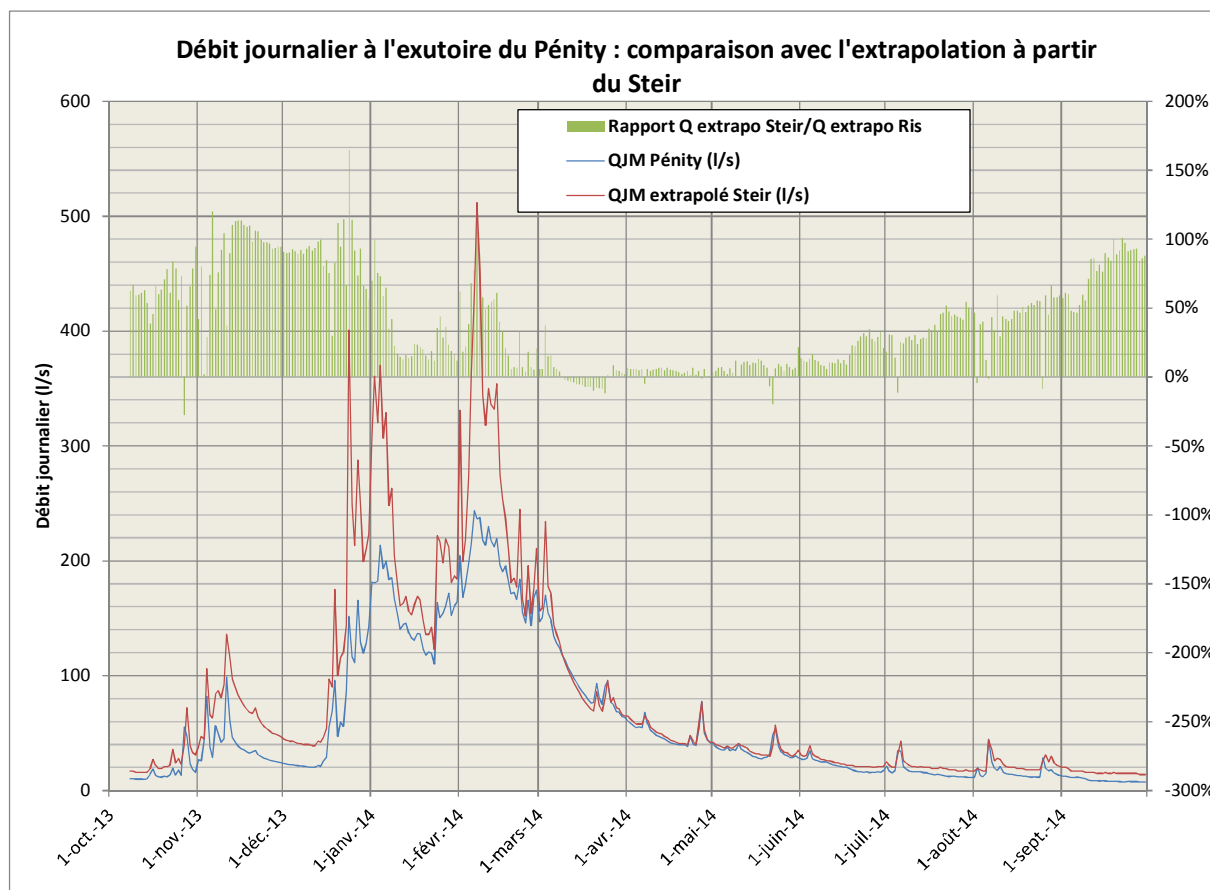
### 3.5. Extrapolation à l'exutoire du Pénity

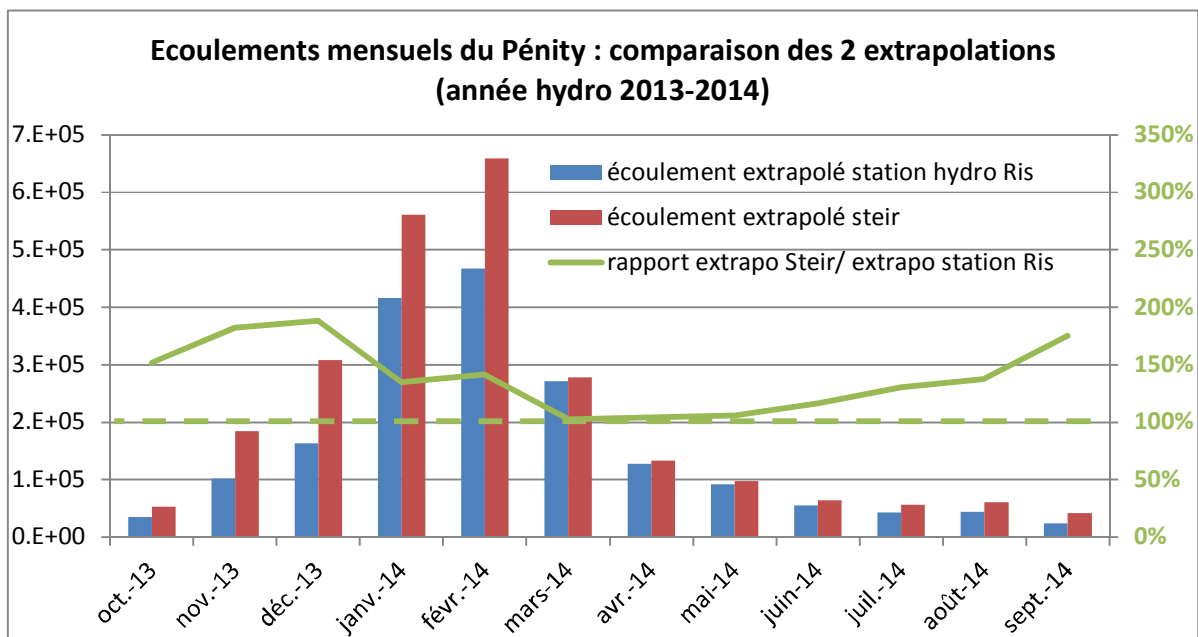
Sur les 13 jaugeages effectués, 2 jaugeages ont été retirés (période de décrue). La régression linéaire donne le meilleur résultat avec un coefficient de corrélation de 0.9946 (figure suivante).



Le zoom sur la partie basse de la courbe montre une bonne relation.

Les débits journaliers et mensuels calculés à partir de cette formule sont présentés sur les figures suivantes.





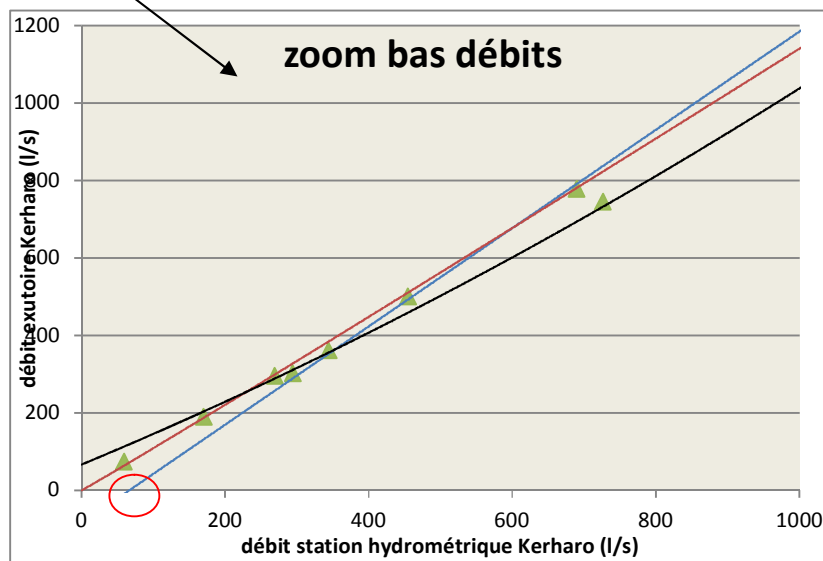
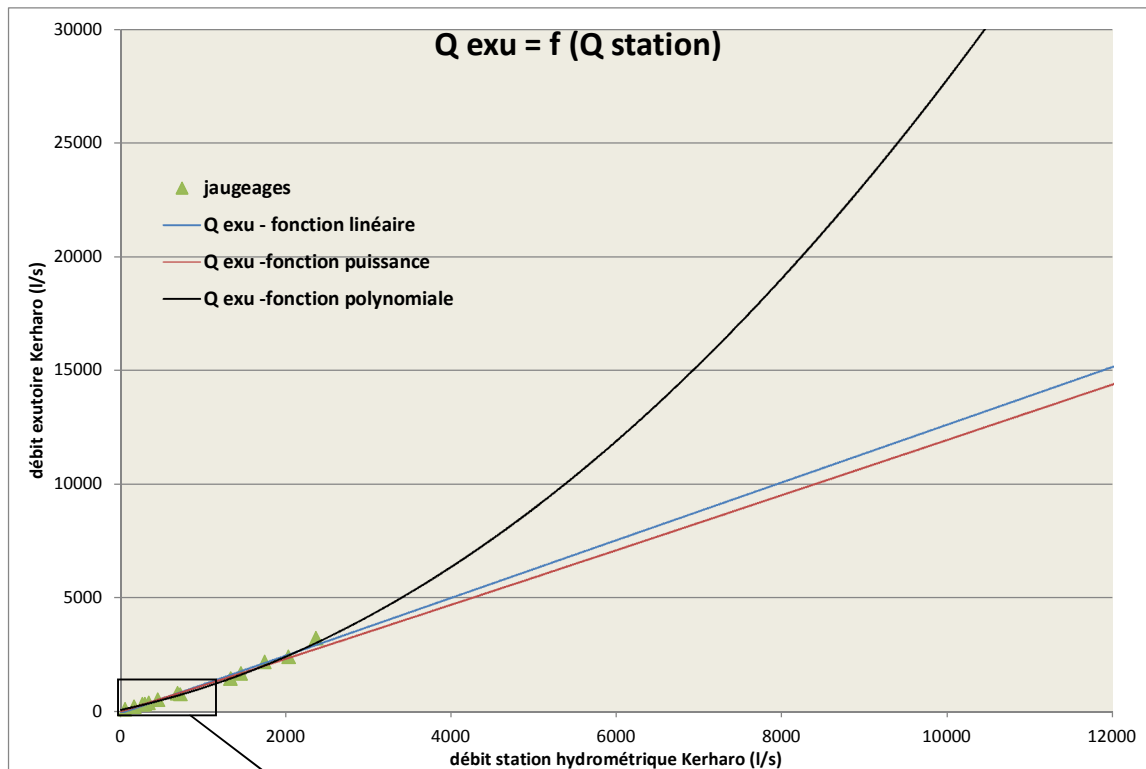
On remarque que les débits calculés à partir de l'extrapolation de la station du Ris sont inférieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir, surtout en hautes et basses eaux. Le bassin d'orage situé à proximité de l'exutoire du Pénity tamponne les débits en période de hautes eaux, ce qui expliquerait cette différence.

Les valeurs de lame d'eau pour l'année 2013-2014 montrent que l'extrapolation à partir du Steir sur-estime le débit du Pénity de 36 % à l'échelle annuelle (tableau suivant).

	écoulement extrapolé station hydro Ris	écoulement extrapolé steir	rapport extrapo Steir/ extrapo station Ris
<b>lame d'eau annuelle (m3/an) / année 2013-14</b>	1 837 487	2 494 627	135.8%

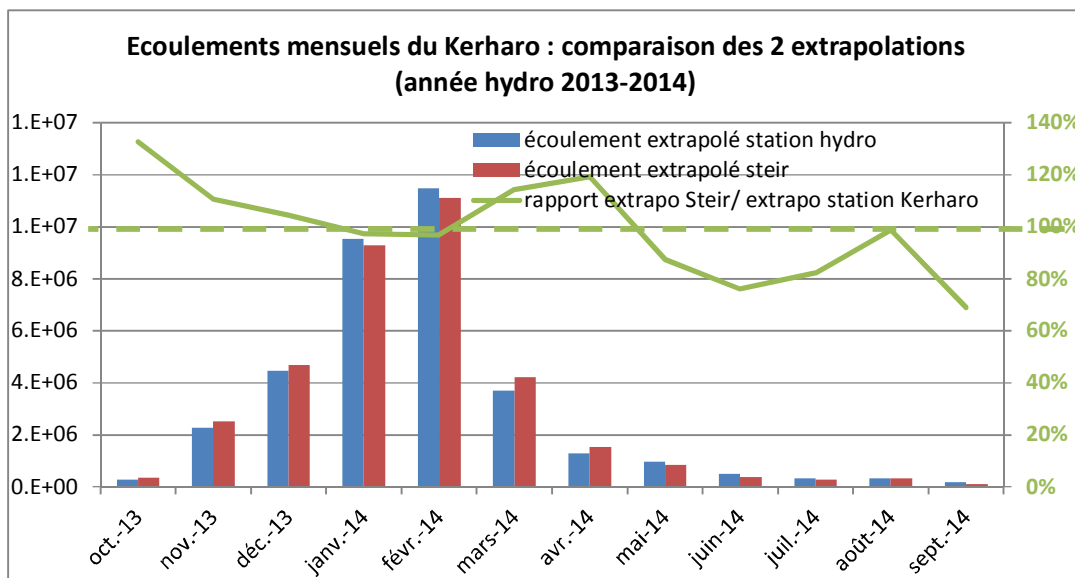
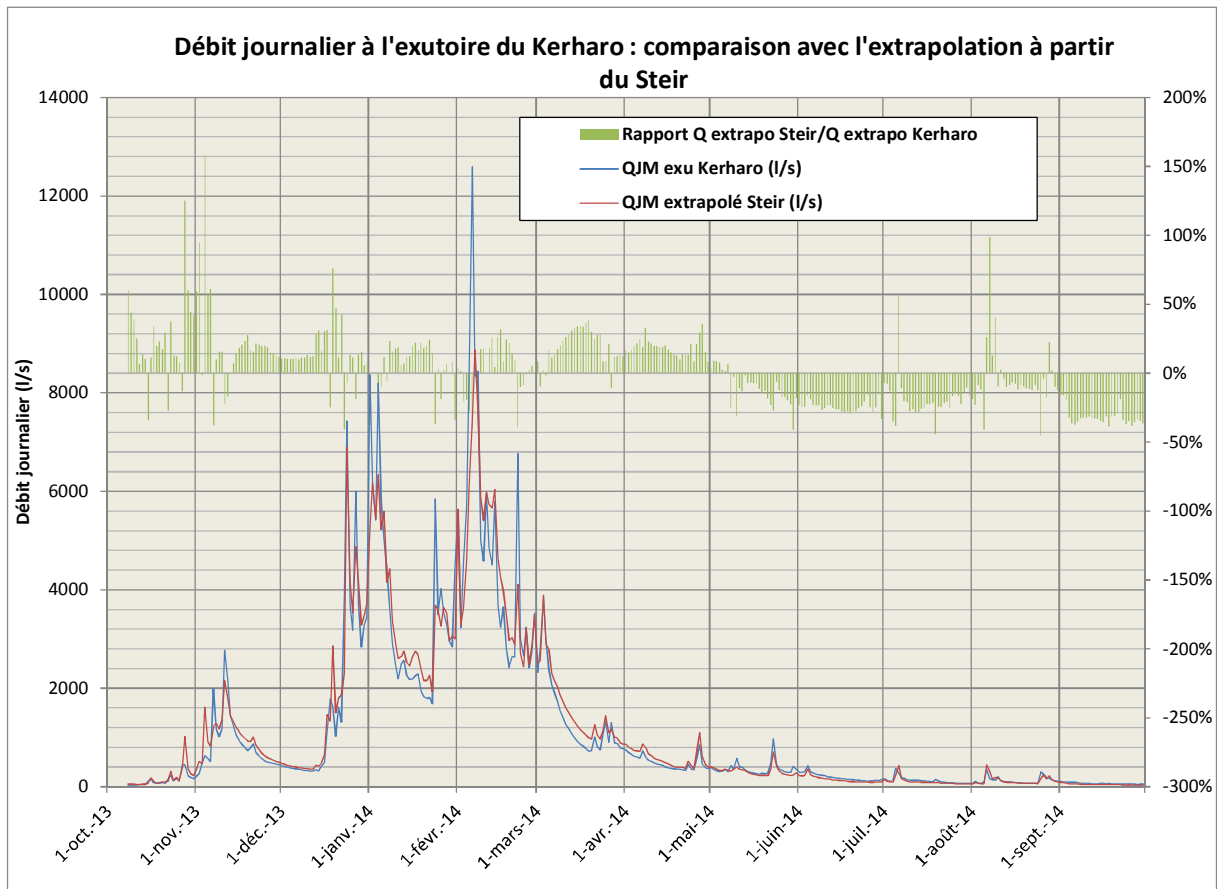
### 3.6. Extrapolation à l'exutoire du Kerharo

Sur les 18 jaugeages effectués, 5 jaugeages ont été retirés car le débit à l'exutoire était inférieur au débit à la station hydrométrique (lié à l'exutoire partiellement obstrué par les sédiments en étiage). Le graphique suivant présente les résultats des 3 types de régression : linéaire, puissance et polynomiale.



- **régression polynomiale** : meilleur résultat avec un coefficient de corrélation de 0.9961. Cependant cette régression exagère fortement les hauts débits (influence du plus gros jaugeage à 3200 l/s).
- **régression linéaire** : Formule :  $y = 1.2727x - 88.686$ .  $R^2 = 0.9868$ . Elle pose un problème pour les bas débits : quand le débit à l'exutoire est nul, le débit à la station hydrométrique est de 70 l/s !
- **régression puissance** : Formule :  $y = 0.9957x^{1.0197}$ .  $R^2 = 0.9952$ . Elle permet d'avoir un résultat plus cohérent pour les bas débits. C'est donc cette régression que nous utiliserons.

Les débits journaliers et mensuels calculés à partir de cette formule sont présentés sur les figures suivantes.



On remarque que les débits calculés par l'extrapolation de la station du Kerharo sont globalement :

- légèrement inférieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir en hautes et moyennes eaux (à l'exception de quelques pics de crue);

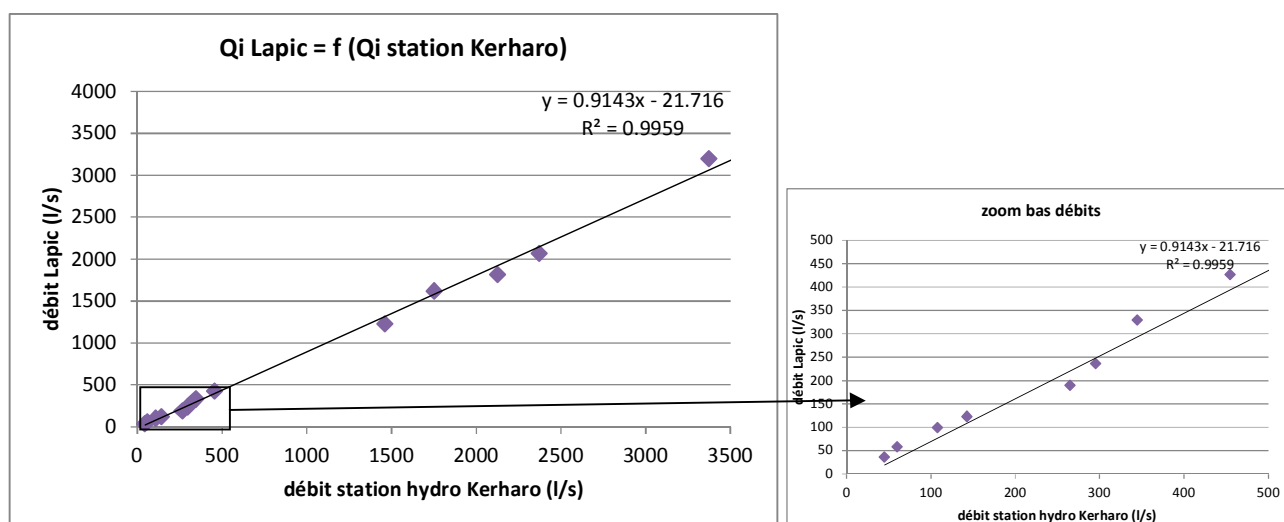
- supérieurs à ceux par l'extrapolation du Steir en basses eaux.

Les valeurs de lame d'eau pour l'année 2013-2014 montrent que l'extrapolation à partir du Steir sur-estime légèrement le débit du Kerharo de 1 % à l'échelle annuelle (tableau suivant).

	écoulement extrapolé station hydro Kerharo	écoulement extrapolé steir	rapport extrapo Steir/ extrapo station Ris
lame d'eau annuelle (m3/an) / année 2013-14	35 351 823	35 683 459	101%

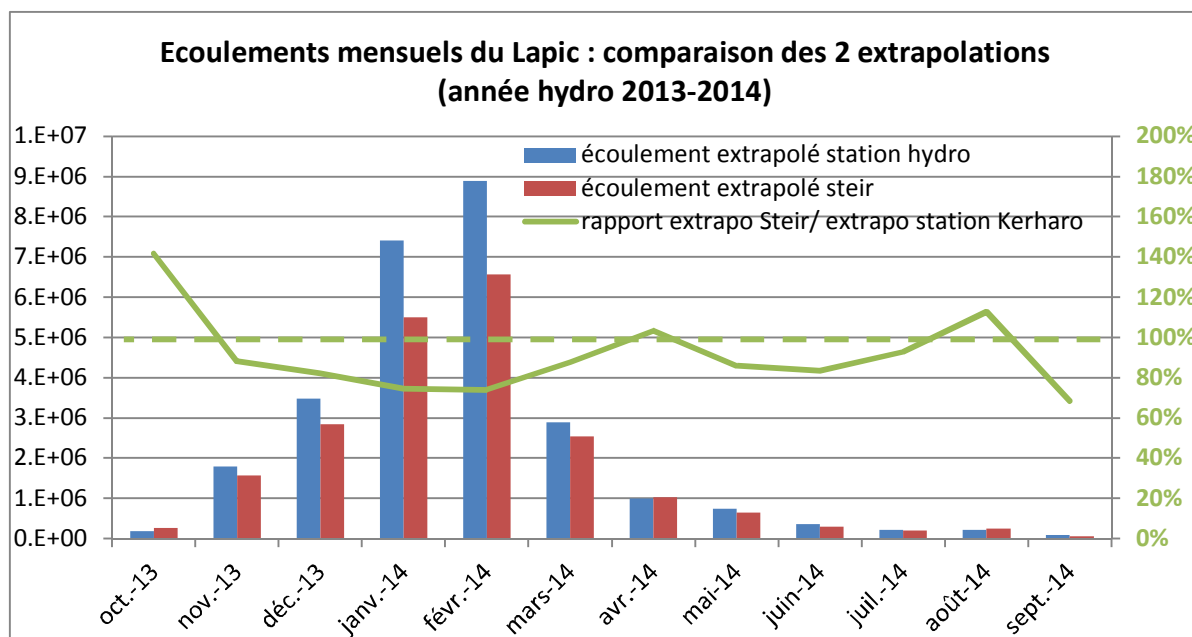
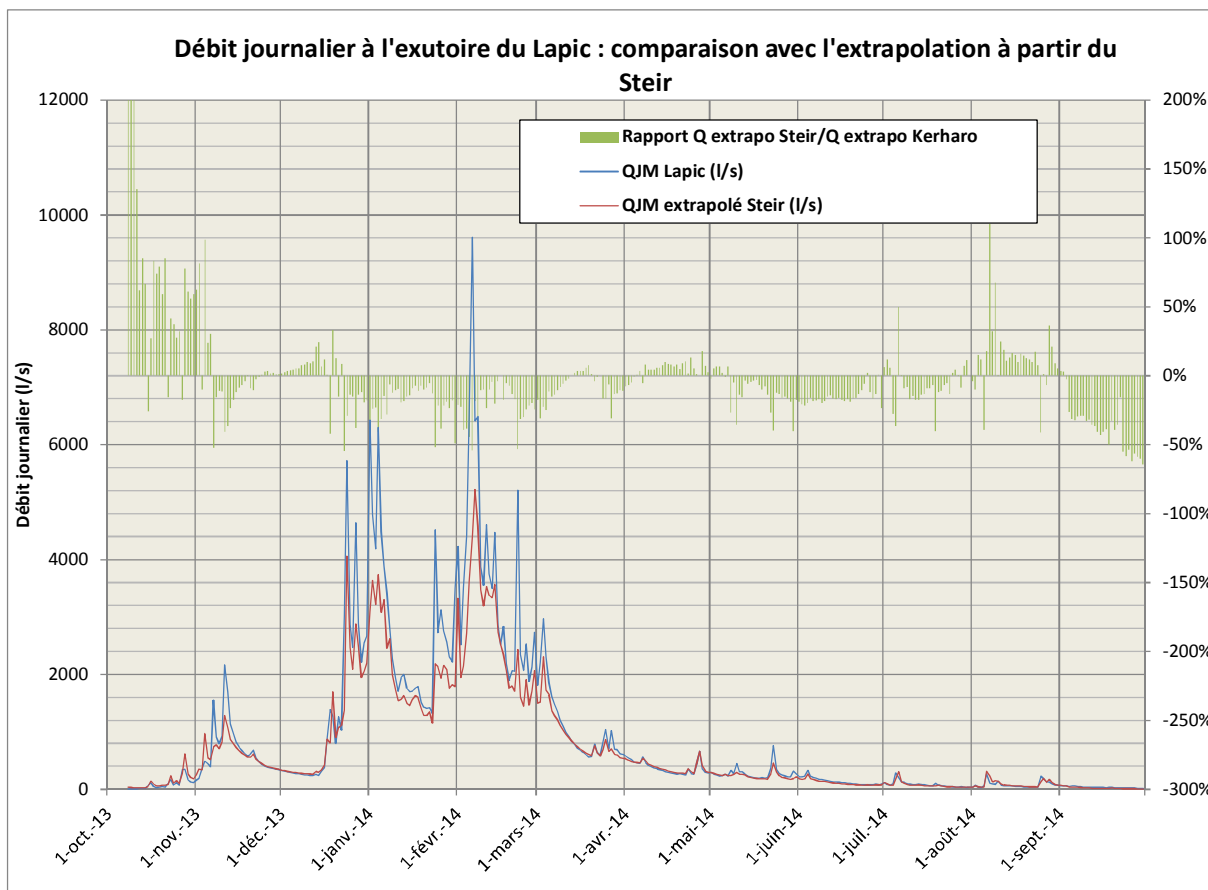
### 3.7. Extrapolation à l'exutoire du Laptic

Sur les 15 jaugeages effectués, 2 jaugeages ont été retirés (précipitations faibles entre la mesure à l'exutoire du Laptic et la mesure à la station du Kerharo). La régression linéaire donne un résultat correct avec un coefficient de corrélation de 0.9959 (figure suivante).



Le zoom sur la partie basse de la courbe montre une bonne relation : le débit du Laptic est nul quand le débit à la station hydrométrique du Kerharo est inférieur à 24 l/s.

Les débits journaliers et mensuels calculés à partir de cette formule sont présentés sur les figures suivantes.



On remarque que les débits calculés à partir de l'extrapolation de la station du Kerharo sont supérieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir, à quelques exceptions près en moyennes et basses eaux (octobre, avril et août).

Les valeurs de lame d'eau pour l'année 2013-2014 montrent que l'extrapolation à partir du Steir sous-estime le débit du Lapic de 20 % à l'échelle annuelle (tableau suivant).

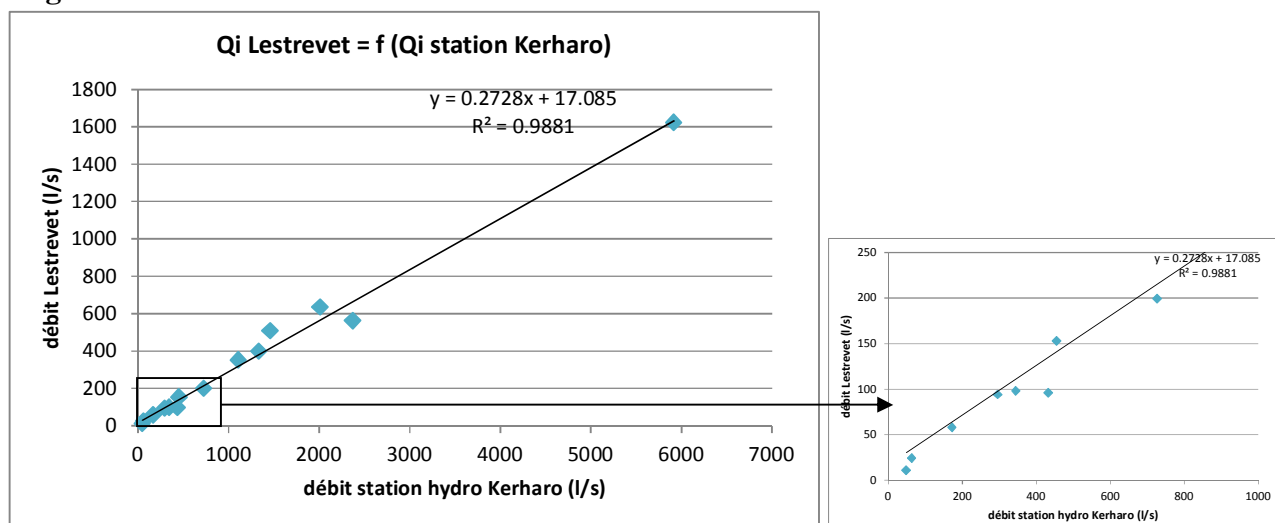


	écoulement extrapolé station hydro Kerharo	écoulement extrapolé steir	rapport extrapo Steir/ extrapo station Ris
lame d'eau annuelle (m3/an) / année 2013-14	27 218 204	21 740 227	80%

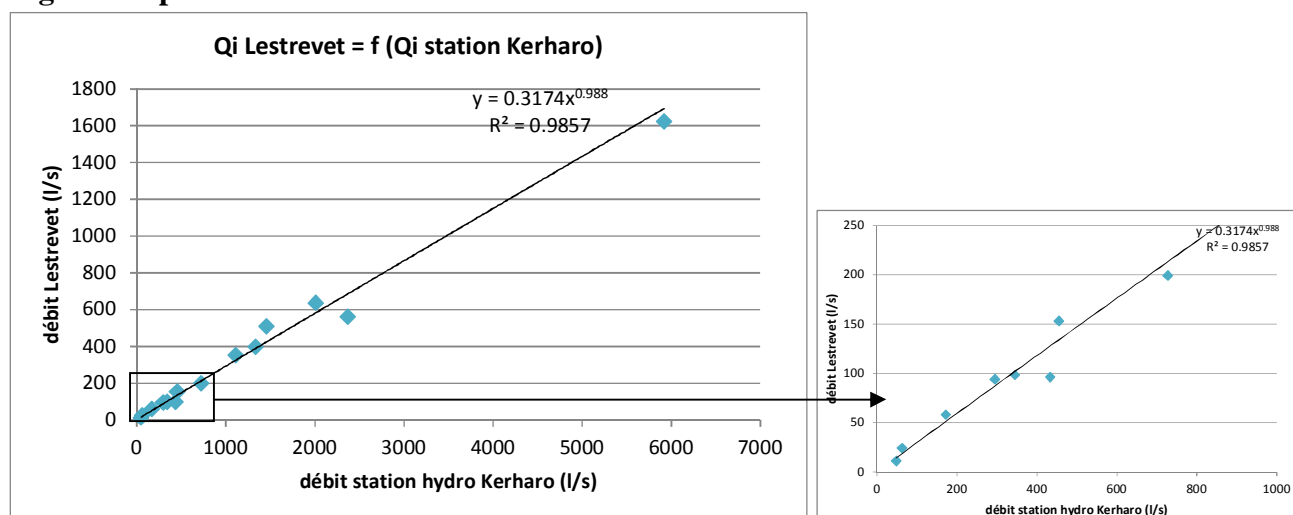
### 3.8. Extrapolation à l'exutoire du Lestrevet

L'ensemble des 14 jaugeages effectués ont été considérés. Les figures suivantes présentent les résultats des régressions linéaire et puissance.

#### Régression linéaire

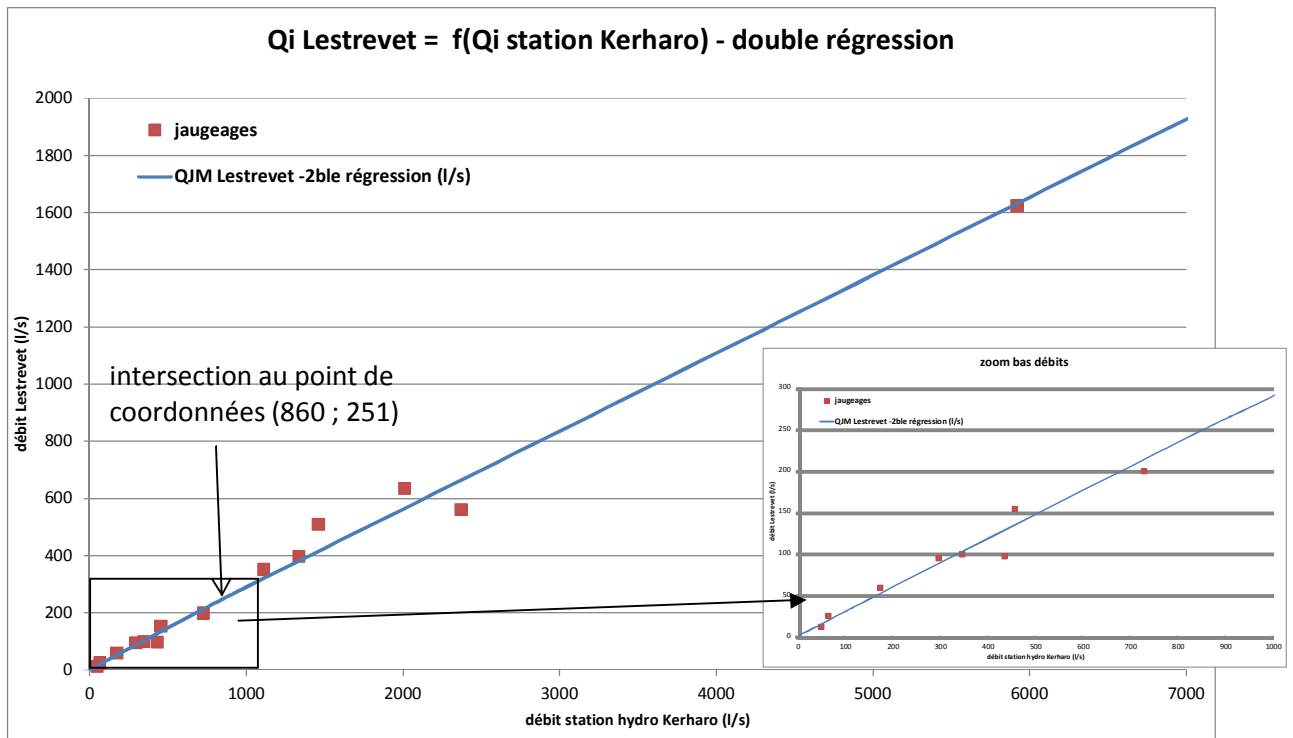


#### Régression puissance

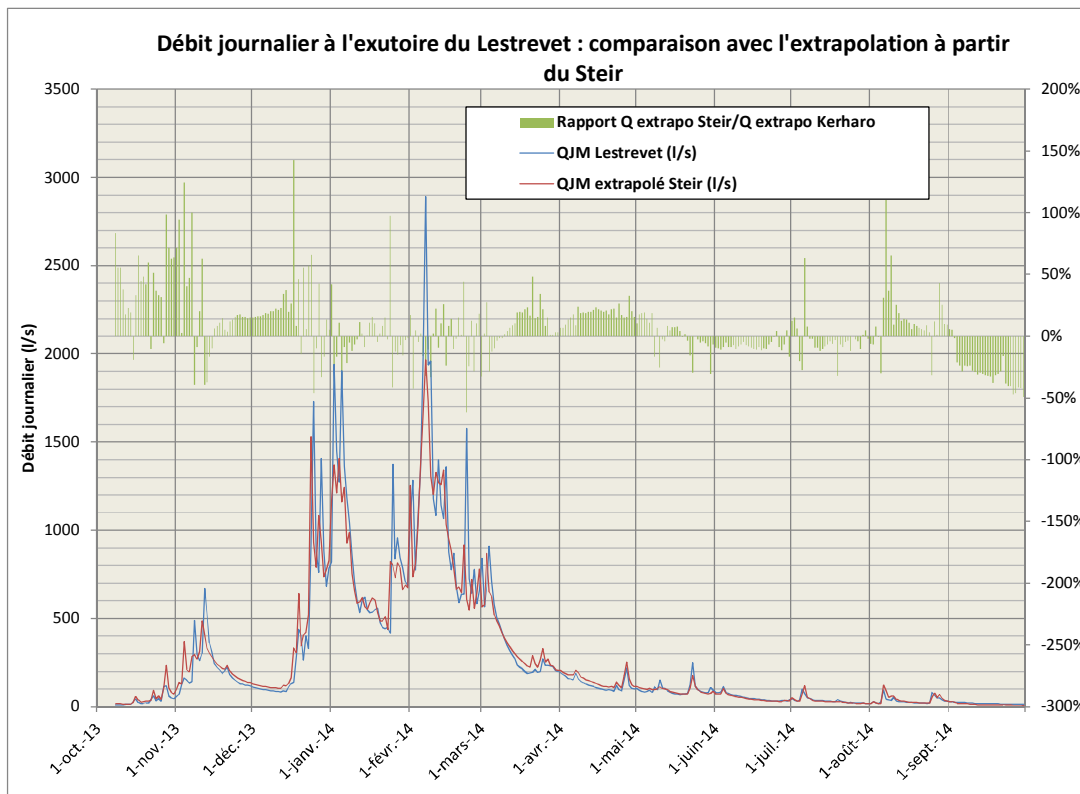


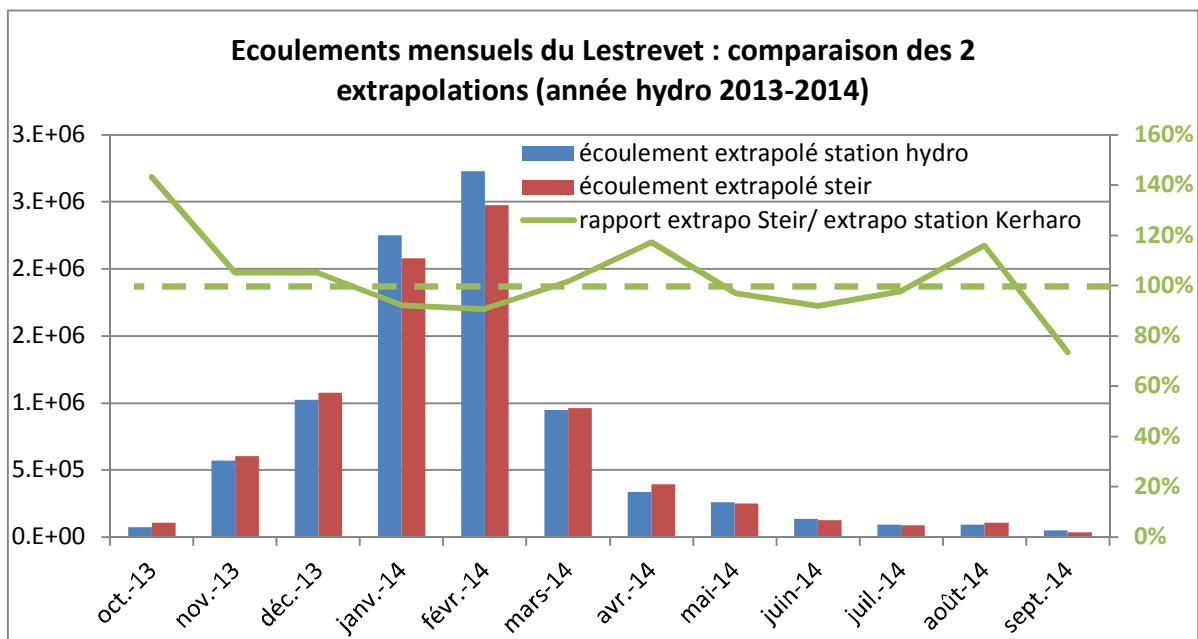
- régression linéaire :  $R^2 = 0.9881$ . Problème : quand le débit à la station du Kerharo est nul, celui du Lestrevet est de 17 l/s. Meilleur coefficient de corrélation que la régression puissance, donc utilisation en dehors des basses eaux.
- régression puissance :  $R^2 = 0.9857$ .

Ainsi la double régression est utilisée : puissance en basses eaux et linéaire en moyennes et hautes eaux (figure suivante). Le point d'intersection des 2 courbes a pour coordonnées (860 ; 251).



Les débits journaliers et mensuels calculés à partir de ces formules sont présentés sur les figures suivantes.





On remarque que les débits calculés par l'extrapolation de la station du Kerharo sont :

- légèrement supérieurs à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir en hautes eaux ;
- globalement similaires à ceux obtenus par l'extrapolation du Steir le reste de l'année.

Les valeurs de lame d'eau pour l'année 2013-2014 montrent que l'extrapolation à partir du Steir sous-estime le débit du Lestrevet de 3 % à l'échelle annuelle (tableau suivant).

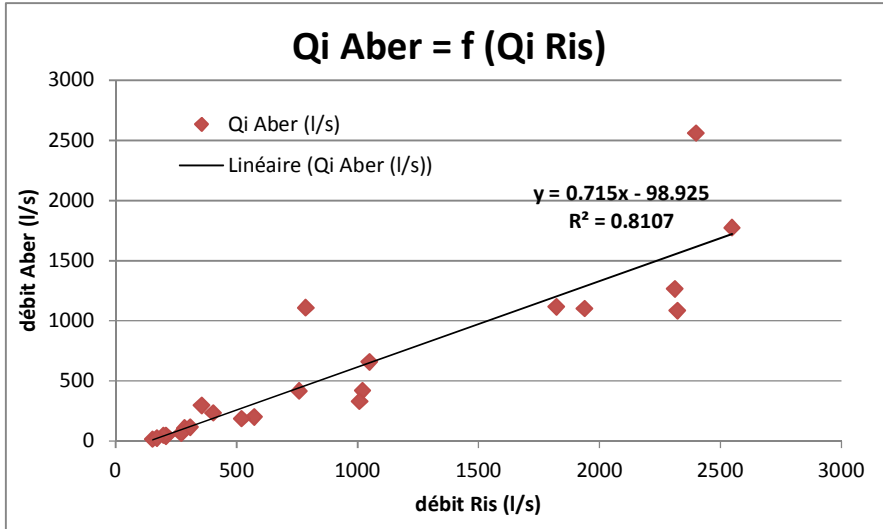
	écoulement extrapolé station hydro Ris	écoulement extrapolé steir	rapport extrapo Steir/ extrapo station Ris
<b>lame d'eau annuelle (m3/an) / année 2013-14</b>	8 555 849	8 300 707	97%

### 3.9. Extrapolation à l'exutoire de l'Aber

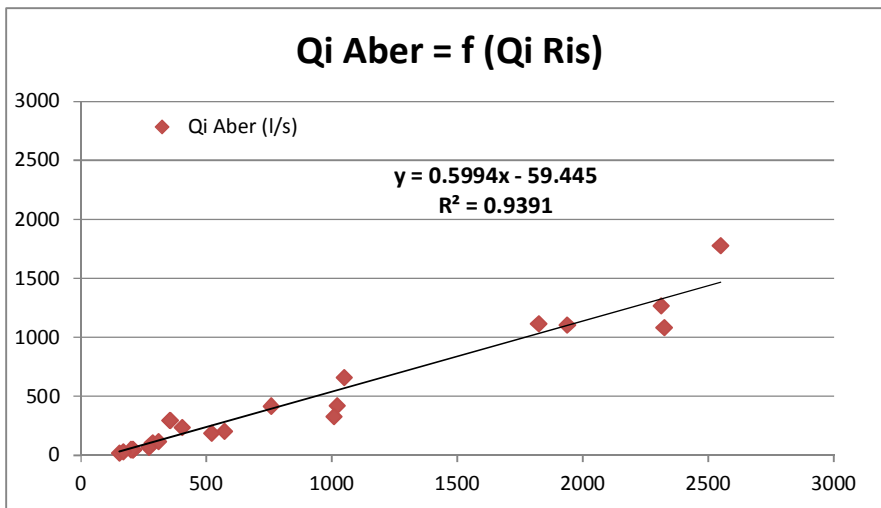
Dans le cadre d'une étude sur le débit réservé de l'usine d'eau potable de Poraon, des jaugeages ont été réalisés tout au long de l'année 2014 par un bureau d'étude à la même station que celle de l'EPAB et selon un protocole similaire. La prise en compte de ces jaugeages permet d'augmenter la valeur du coefficient de corrélation quel que soit le type de régression considéré.

La corrélation a été effectuée avec les données des 2 stations hydrométriques. Les figures suivantes présentent les résultats de la régression linéaire en prenant en compte l'ensemble des 23 jaugeages effectués.

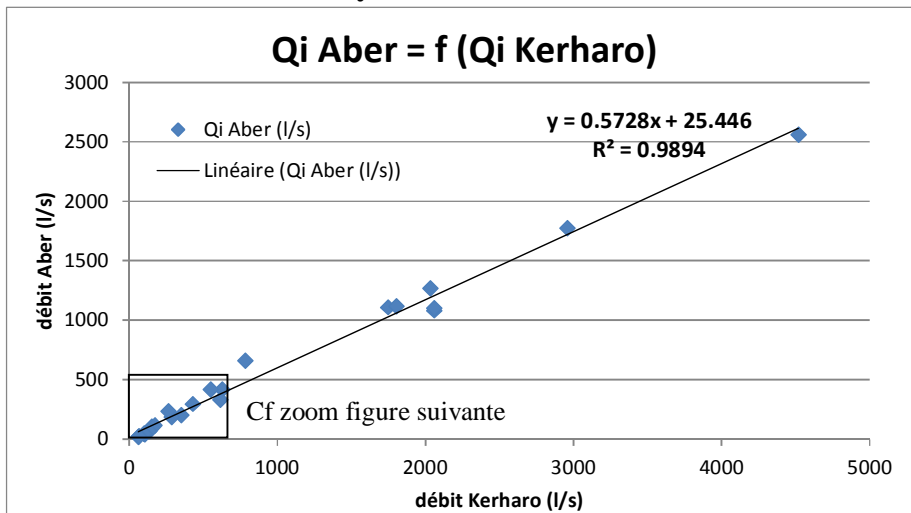
### Corrélation Aber-station hydro Ris



Retrait 2 valeurs aberrantes (débit Aber > débit Ris) :

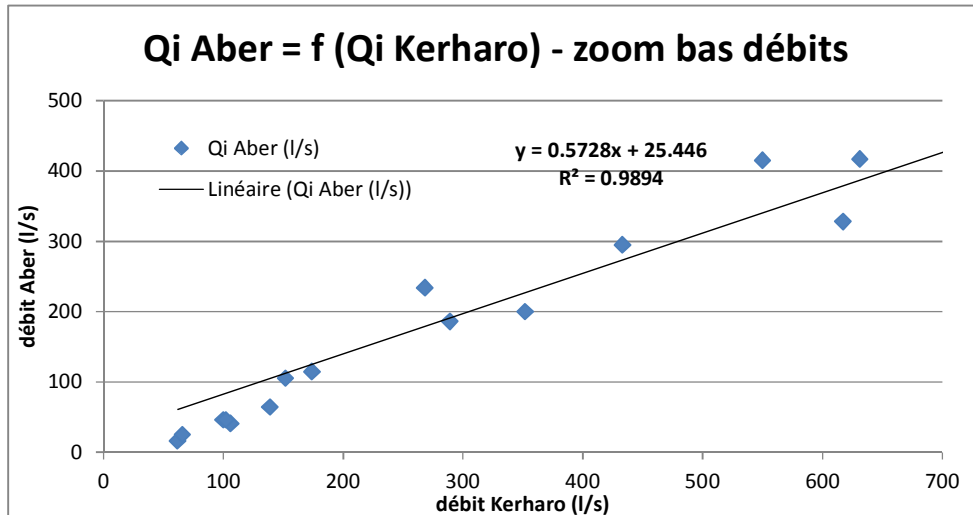


### Corrélation Aber-station hydro Kerharo



La corrélation est meilleure avec la station hydrométrique du Kerharo ( $R^2$  de 0.9894) qu'avec celle du Ris ( $R^2$  de 0.8107, réduit à 0.9391 en retirant 2 valeurs aberrantes).

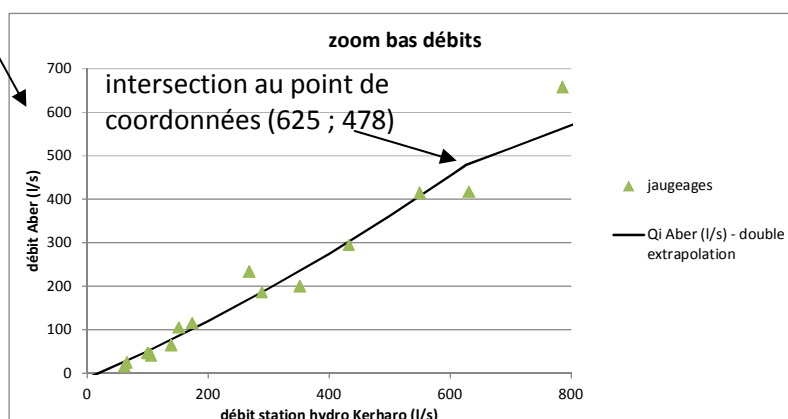
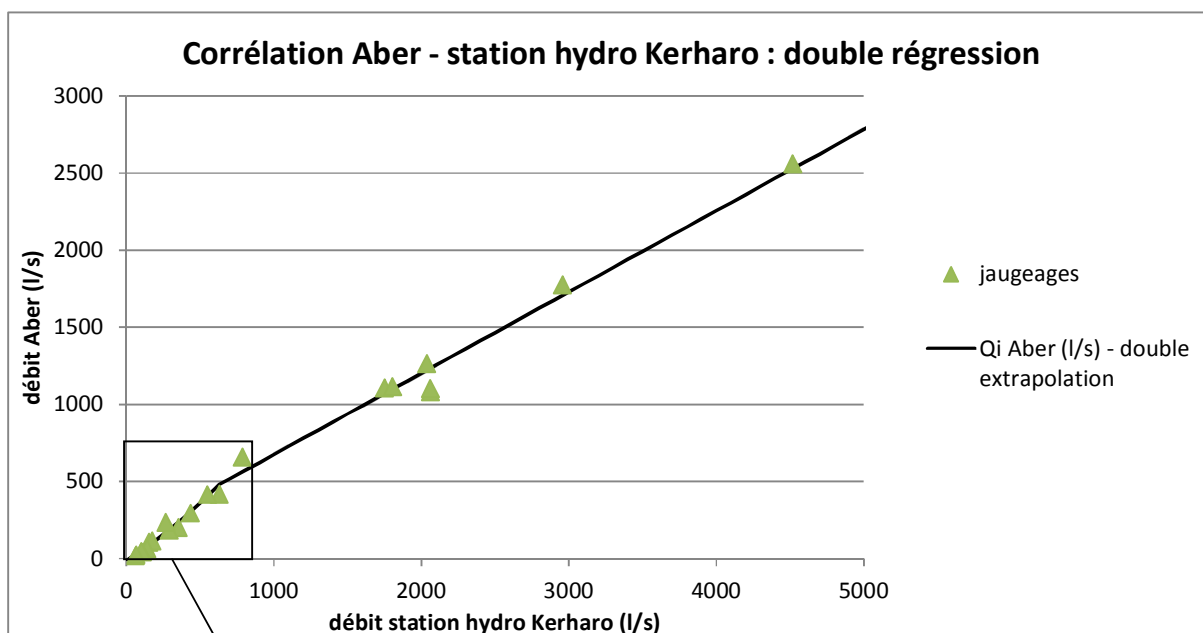
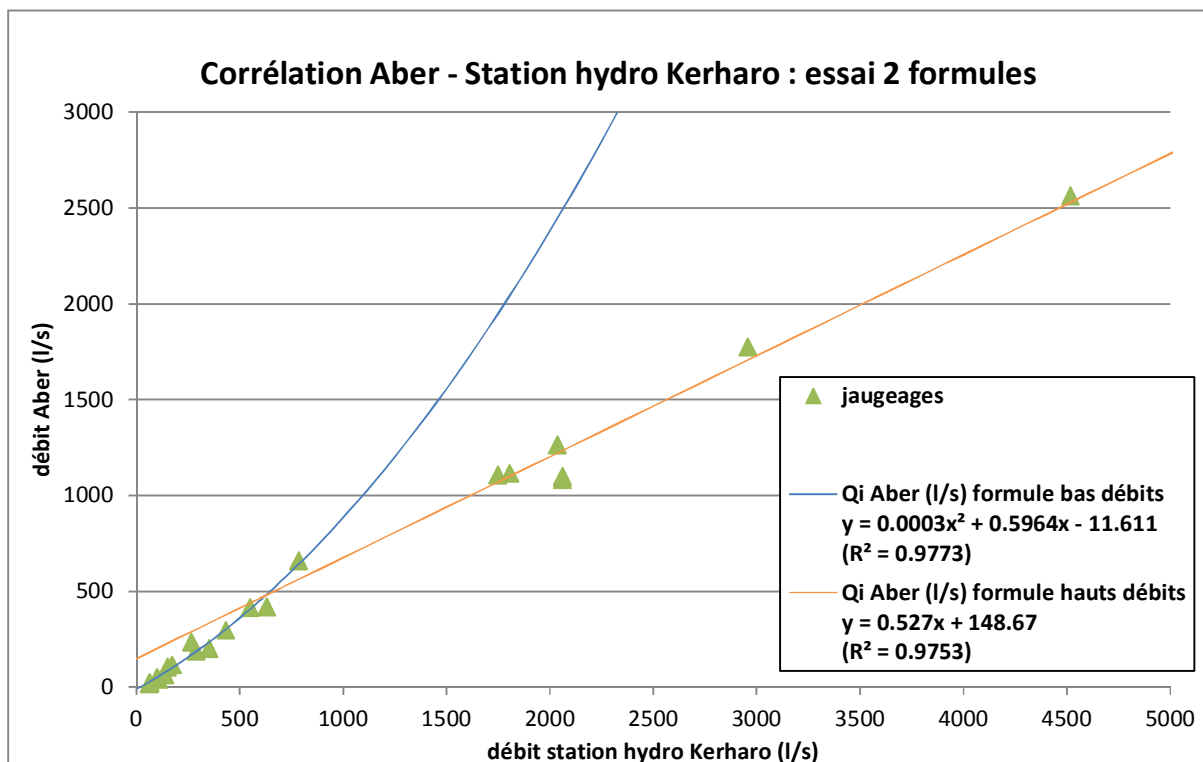
La régression linéaire semble fiable pour les hauts débits, néanmoins lorsqu'on zoome sur les bas débits, on s'aperçoit que la corrélation est mauvaise (cf figure suivante).



Les autres types de régression ne permettent pas d'améliorer le résultat. La solution a été de séparer les débits faibles des débits moyens et forts. Deux courbes ont été tracées (figures suivantes) :

- Une courbe pour les jaugeages de l'Aber inférieurs à 1000 l/s (total : 15 jaugeages). Malgré des coefficients de corrélation similaires, la régression polynomiale donne un meilleur résultat que la régression linéaire. En effet la régression linéaire donne un débit de l'Aber nul lorsque le débit à la station du Kerharo est de 45 l/s contre 19 l/s pour la régression polynomiale. Or au cours de l'année hydrologique 2013-14, on dénombre 8 journées avec un débit à la station du Kerharo inférieur à 45 l/s (minimum = 33 l/s) mais aucun assec sur l'Aber ! La régression polynomiale donne donc un résultat plus proche de la réalité.
- Une courbe pour les jaugeages de l'Aber supérieurs à 1000 l/s (total : 8 jaugeages). La régression linéaire donne un résultat satisfaisant avec un coefficient de corrélation de 0.9753.

Ainsi une double régression est utilisée : polynomiale en basses eaux et linéaire en moyennes et hautes eaux (figure suivante). Le point d'intersection des 2 courbes a pour coordonnées (625 ; 478).

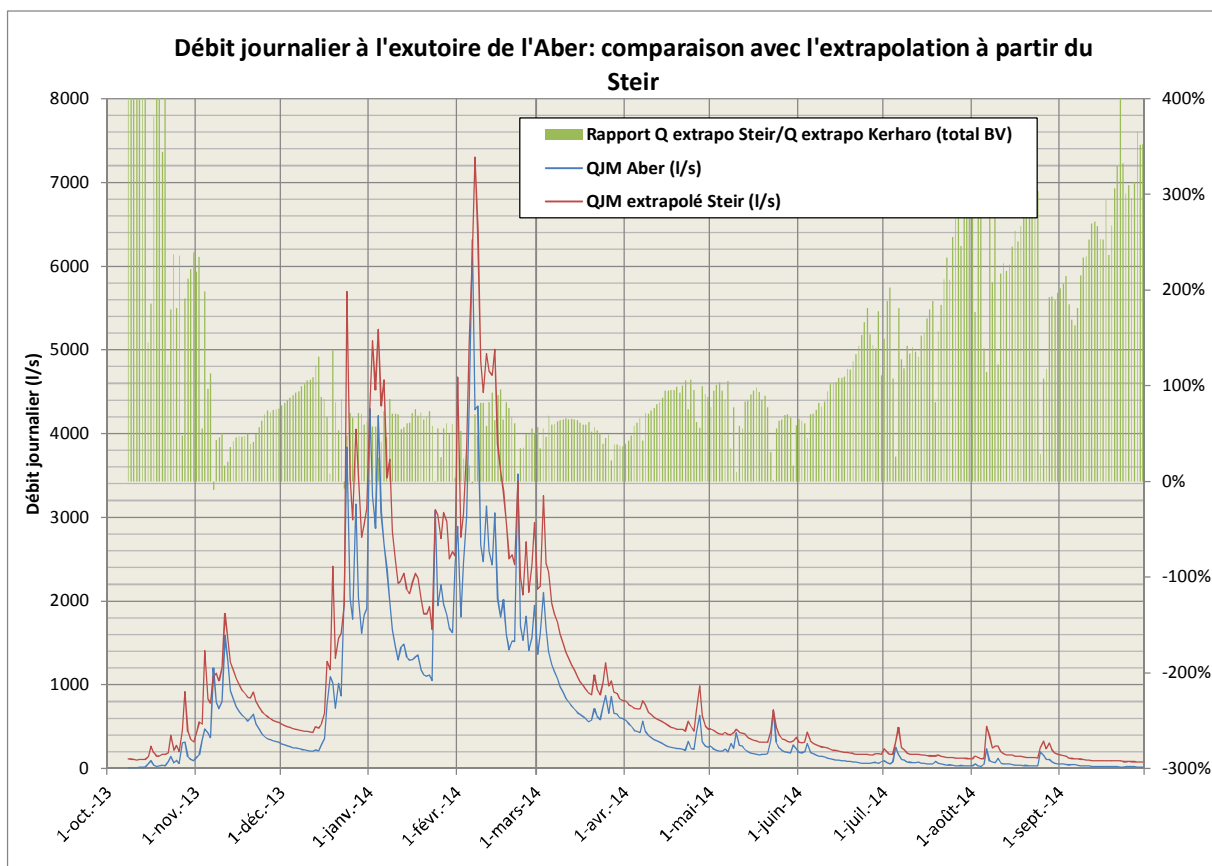


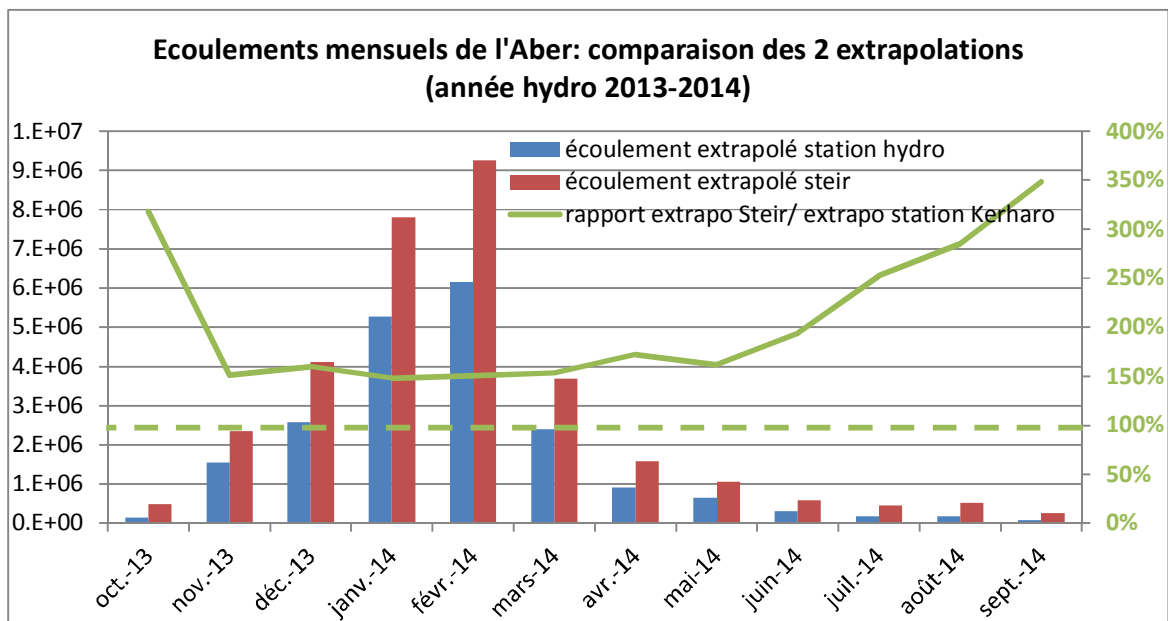
Stations hydrométriques Ris/Kerharo : courbes de tarage ó extrapolation débits  
 EPAB, avril 2015

Le changement de formule intervient pour un débit de l'Aber de 478 l/s, correspondant (selon les jaugeages) à une hauteur d'eau d'environ 35 cm. Sous cette hauteur, l'écoulement est influencé par 2 seuils situés en aval immédiat : un 1<sup>er</sup> seuil correspondant à la prise d'eau (vanne mobile) et un 2<sup>e</sup> seuil rectangulaire en aval. L'effet de ce double seuil peut être à l'origine de cette inflexion dans la courbe de corrélation.

La section de jaugeage à l'usine d'eau potable de Poraon est située à environ 3 km de l'exutoire : elle prend en compte 2734 ha, or le bassin versant de l'Aber fait 3089 ha au total (cf carte en annexe 2). C'est pourquoi il est nécessaire d'extrapoler les débits au prorata des surfaces, en multipliant le débit à Poraon par le coefficient :  $3089/2734 = 1.1298$ .

Les débits journaliers et mensuels calculés à partir de ces formules sont présentés sur les figures suivantes.





On remarque que les débits calculés par l'extrapolation de la station du Kerharo sont très inférieurs toute l'année à ceux calculés par extrapolation à partir du Steir. La formule d'extrapolation à partir du Steir est un simple calcul au prorata des surfaces de bassin versant, sans considération des différences pouvant influencer les débits (géologie, morphologie). Or l'Aber et le Steir ont des géologies différentes : schistes/grès/quartzites pour le 1<sup>er</sup> et schistes et granites pour le second.

Les valeurs de lame d'eau pour l'année 2013-2014 montrent que l'extrapolation à partir du Steir sur-estime le débit de l'Aber de 58 % à l'échelle annuelle (tableau suivant).

	écoulement extrapolé station hydro Kerharo	écoulement extrapolé steir	rapport extrapo Steir/ extrapo station Kerharo
<b>lame d'eau annuelle (m3/an) / année 2013-14</b>	20 430 533	32 193 590	158%



### 3.10. Synthèse des formules d'extrapolation aux exutoires

Cours d'eau	Station hydro. de référence	Nb valeurs	Type de régression	R <sup>2</sup>	Formules
Ris	Ris	16	linéaire	0.998	$1.1264 * Q_{stationRis} + 1.5087$
Stalas		14	linéaire	0.9982	$0.7389 * Q_{stationRis} - 39.632$
Kergaoulédan		10	Puissance-linéaire	0.9958 0.9957	Pour $Q_{stationRis} < 262$ l/s : $0.1322 * Q_{stationRis}^{1.1541}$ Pour $Q_{stationRis} > 262$ l/s : $0.4267 * Q_{stationRis} - 30.12$
Pénity		11	Linéaire	0.9946	$0.0735 * Q_{stationRis} - 0.2505$
Kerharo	Kerharo	13	Puissance	0.9952	$0.9957 * Q_{stationKerharo}^{1.0197}$
Lapic		13	Linéaire	0.9959	$0.9143 * Q_{stationKerharo} - 21.716$
Lestrevet		14	Puissance-linéaire	0.9857 0.9881	Pour $Q_{stationKerharo} < 860$ l/s : $0.3174 * Q_{stationKerharo}^{0.988}$ Pour $Q_{stationKerharo} > 860$ l/s : $0.2728 * Q_{stationKerharo} + 17.085$
Aber		15 (basses eaux) - 8 (hautes eaux)	Polynomiale ó Linéaire	0.9773 0.9753	Pour $Q_{stationKerharo} < 625$ l/s : $(0.0003 * Q_{stationKerharo}^2 + 0.5964 * Q_{stationKerharo} - 11.611) * 1.1298$ Pour $Q_{stationKerharo} > 625$ l/s : $(0.527 * Q_{stationKerharo} + 148.67) * 1.1298$

## 4. Conclusion et perspectives

Les lacunes de jaugeages en hautes eaux au niveau des 2 stations hydrométriques du Ris et du Kerharo posent un problème de précision pour le calcul des débits hivernaux. Il semble important de trouver une solution pour effectuer des mesures en hautes eaux afin de vérifier la fiabilité de l'extrapolation des courbes de tarage. Durant l'hiver 2015, on dénombre un seul pic de crue supérieur aux jaugeages effectués aux stations. Néanmoins le contexte du réchauffement climatique actuel risque de favoriser dans le futur les hivers très pluvieux comme en 2014. La location de matériel de mesure adapté (type ADCP) étant très coûteuse, la DREAL devra être sollicitée à nouveau chaque année pour effectuer des jaugeages en hautes eaux (au-delà de 1,20 m à la station hydrométrique du Ris et 0,8 m à celle du Kerharo).

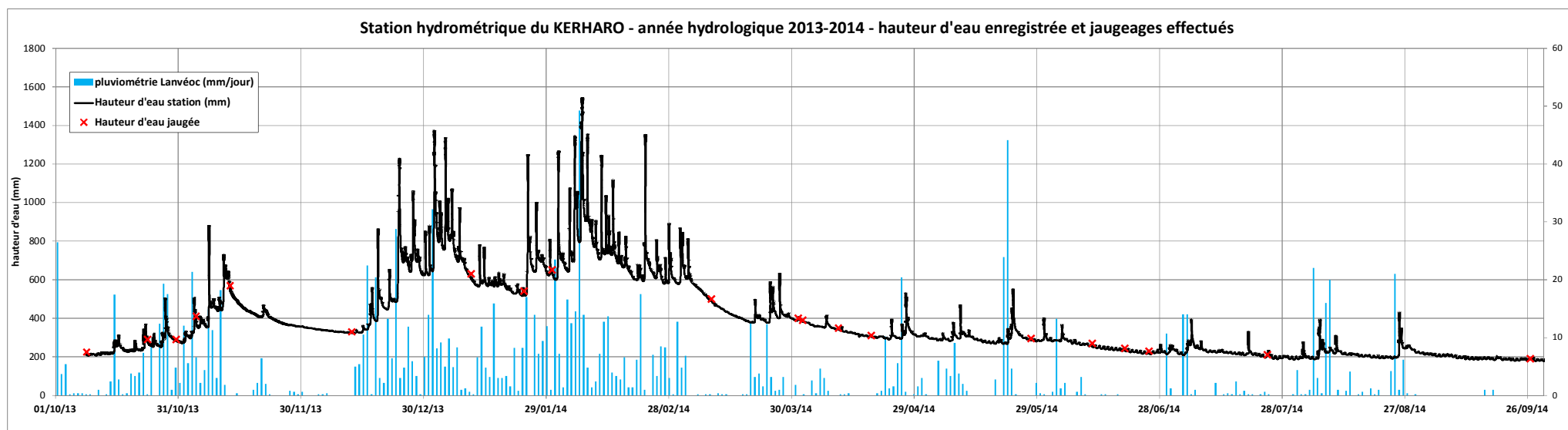
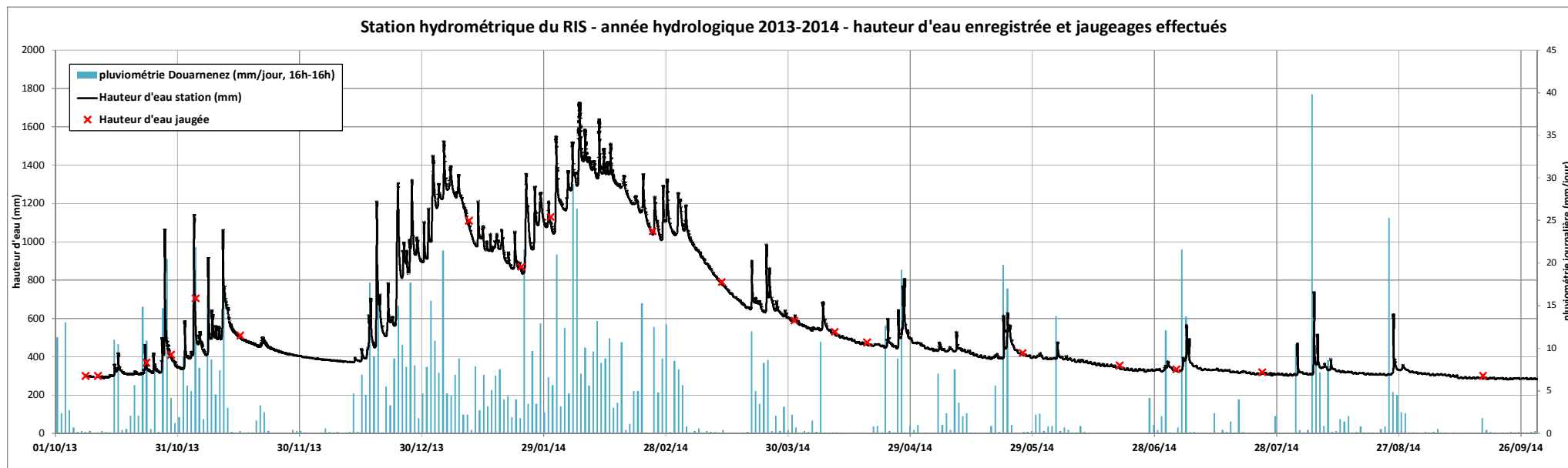
L'extrapolation aux exutoires des 8 cours d'eau de la charte de territoire a permis de mettre en évidence **pour l'année hydrologique 2013-2014** que **l'extrapolation à partir du Steir :**

- **sous-estime la lame d'eau annuelle des cours d'eau : Lopic, Ris et Stalas** (-16 à -20%), avec notamment une sous-estimation des débits mensuels sur la période de mai à septembre (période sensible de développement des algues vertes) ;
- **sur-estime la lame d'eau annuelle des cours d'eau : Aber et Pénity** (respectivement +58 et +36%)
- **donne une lame d'eau annuelle plutôt similaire pour les cours d'eau Kerharo, Lestrevet et Kergaoulédan**, avec néanmoins une sous-estimation des débits mensuels de l'ordre de 80% pour le Kerharo sur la période de mai à septembre.

Cet écart pourra fluctuer d'une année sur l'autre en fonction de l'hydraulicité annuelle.

L'extrapolation aux exutoires pourrait être étendue aux cours d'eau ne faisant pas partie de la charte de territoire 2012-2015 afin de se rapprocher au maximum de la réalité en termes de flux d'azote déversé dans la baie.

# ANNEXE 1 : stations hydrométriques RIS-KERHARO - hauteurs d'eau enregistrées et jaugeages effectués



Source : EPAB 2014

Stations hydrométriques Ris/Kerharo : courbes de tarage ó extrapolation débits  
EPAB, avril 2015

## ANNEXE 2 : localisation des stations de mesure de débit



Stations hydrométriques Ris/Kerharo : courbes de tarage ó extrapolation débits  
EPAB, avril 2015