



Journée Scientifique et Technique du CFMS

12 MAI 2022

Estimation du niveau de nappe à retenir pour le dimensionnement d'un chantier d'exhaure

Risques associés à la problématique

- **Impossibilité de dénoyer (dimensionnement non adéquat, arrêté de rejet limitant, etc.)**
- **Ennuyage de la fouille périodique**
- **Désordres mécaniques sous-estimés**
- **Ou au contraire conservatisme menant à un surdimensionnement**



Les données piézométriques

« il conviendra notamment de caractériser la cote altimétrique de la surface des nappes ou le niveau piézométrique dans les formations aquifères, leurs variations dans le temps et les niveaux réels des nappes, y compris les éventuels niveaux extrêmes et leurs intervalles de récurrence » (§ 6.1)

- **Mesures des niveaux de nappe nécessaires**
- **Les niveaux en rivière peuvent aider suivant le contexte (plus facile à installer, parfois déjà suivis par ailleurs)**
- **Statistiques pour estimer les intervalles de récurrence**

Remarques sur les statistiques

« Il y a trois types de mensonges : les petits, les gros, et les statistiques »

« Je ne crois que les statistiques que j'ai moi-même falsifiées »

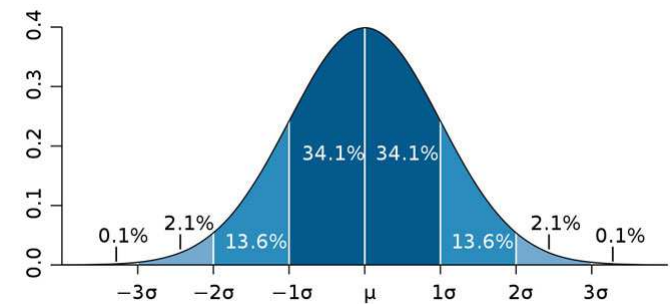
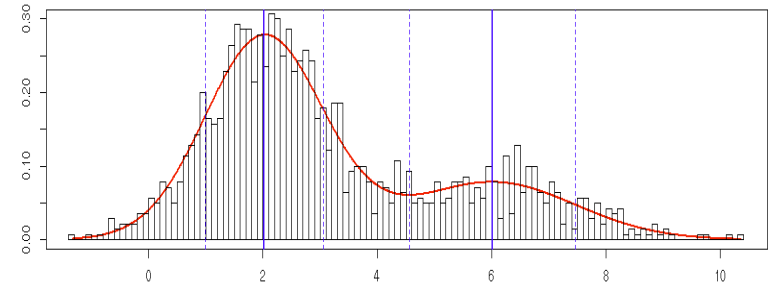
« Ce que j'ai appris en cours de statistiques, c'est que je ne sais pas faire de statistiques »

- **Beaucoup de vigilance et de recul sur la représentativité des résultats sont importants**
- **Cela reste tout de même des éléments factuels, base de discussion constructive entre les différents acteurs**

Cas particuliers - erreurs

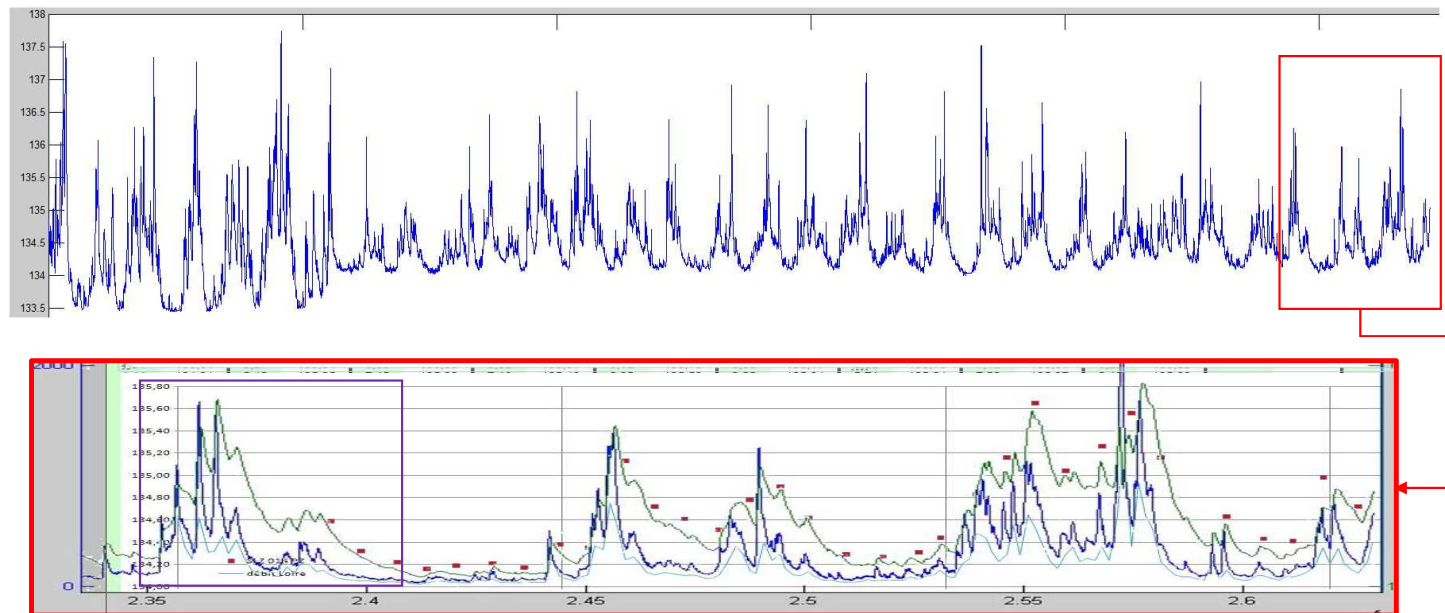
« pour une valeur conservative, on prend la moyenne harmonique et enlève un écart-type »

- la moyenne harmonique n'est pas liée à la représentation de l'échantillon
- on présuppose implicitement une forme de distribution (typiquement centrée, type gaussienne)
- on se couvre sur les 16% des valeurs les plus basses sur une gaussienne à $m-\sigma$, mais pas sur une distribution quelconque



Cas particuliers – nappes fluviales

➔ Possibilité parfois de recréer des chroniques artificielles en cas de manque de données

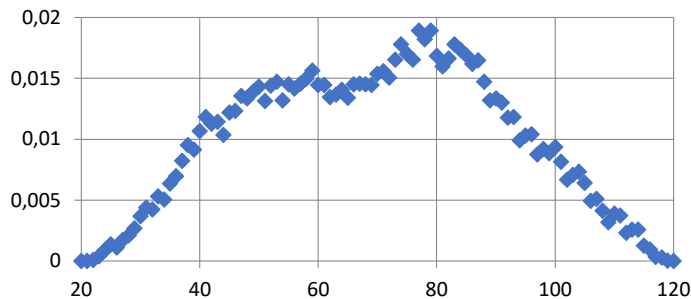


Génération de chronique continue (vert) calée sur le fleuve (bleu) - apprentissage sur 1 an de mesures - et comparaison aux mesures discrètes (rouge)

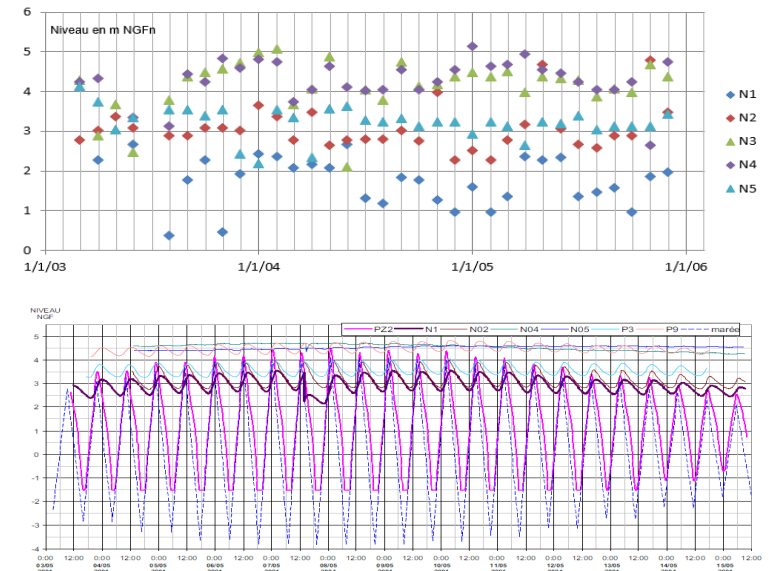
Cas particuliers – nappes tidales

➤ Variations quotidiennes et liées aux coefficients de marée

- *Adapter la fréquence de mesures*
- *Piézomètres permettant de capter tout le marnage*
- *Pour les niveaux hauts, raisonner sur les niveaux de marée haute et non pas sur toute la chronique*



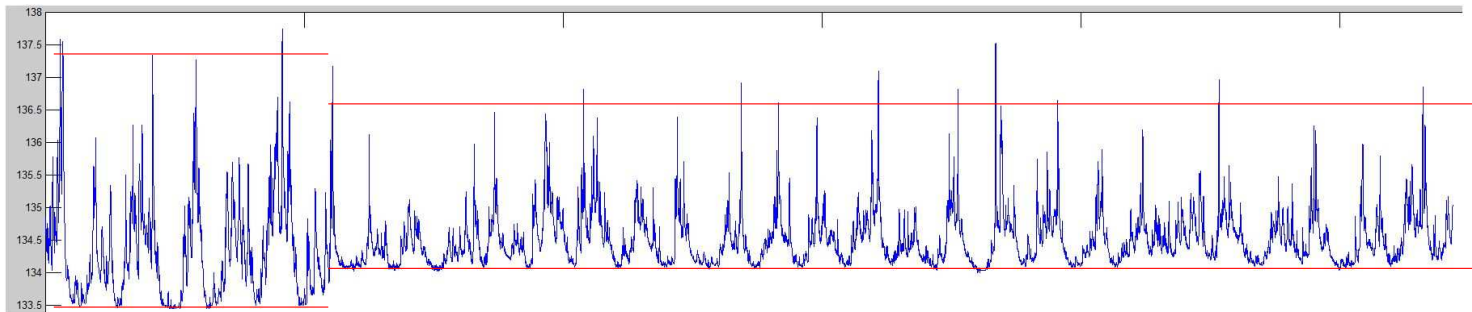
Répartition des coefficients au marégraphe de Brest entre 1986 et 2013



Effet de la fréquence de mesure

Cas particuliers – ouvrages modifiant les écoulements

- Indiquer si le site bénéficie d'ouvrages qui influencent le niveau de la nappe (pompages, seuils, etc.)
- Séparer les données entre les périodes de fonctionnement et les périodes d'arrêt



Exemple : mise en service des seuils en Loire et régulation des crues à Belleville

Niveau des eaux de chantiers EC

- Est assimilé à un niveau caractéristique
- Sert à dimensionner l'exhaure et la stabilité provisoire
- Doit tenir compte des conséquences éventuelles induites par un dépassement :
 - *ruine du chantier*
 - *aspect réglementaire, contraintes de rejet*
 - *coût d'un arrêt de chantier*
 - *possibilité de noyer temporairement la fouille*
- Plusieurs niveaux peuvent être retenus en fonction des saisons dans le cas d'un chantier long

Contrôle du niveau de nappe

- **Sujet sensible en cas de problème lors des travaux**
- **Les conditions hydrogéologiques lors du chantier sont différentes de celles des mesures disponibles du fait du rabattement en cours**
- **Les modalités de contrôle sont à déterminer préalablement au démarrage du chantier (exemples possibles : mesure en rivière, corrélation établie au préalable avec un autre piézomètre, etc.)**

Approche probabiliste

- **Permet de discuter sur un niveau de risque acceptable entre MOA, MOE et entreprise (probabilité de dépassement)**
- **Définition d'une période de retour associée**
- **Nécessite des données, autrement inapplicable**
- **Hypothèse de niveaux extrêmes indépendants (crues suivant une loi de Poisson)**

Méthodologie – période de retour

- Définition du niveau de risque a recherché (par exemple : $a = 20\%$)
- Sur cette base, estimation de la période de retour D à retenir sur laquelle on souhaite se couvrir en fonction de la durée du chantier d (par exemple : $d = 3$ ans) suivant :

$$a = 1 - e^{-\frac{d}{D}} \quad \text{et} \quad D = -\frac{d}{\ln(1 - a)}$$

dans l'exemple, $D = 13$ ans

- Établissement du niveau de nappe correspondant à cette période de retour sur la base des éléments disponibles (ajustement de Gumbel par exemple)

Méthodologie – ajustement

➤ La loi de Gumbel est proposée : deux méthodes d'ajustement dans le guide

Avec X l'échantillon des maximaux x , α le paramètre de seuil et β le paramètre d'échelle. La variable u de Gumbel permet de représenter la distribution comme une droite :

$$u_X(x) = -\ln[-\ln f_X(x)] = \frac{x - \alpha}{\beta}$$

➤ Moments

$$\alpha = \bar{X} - \beta \gamma$$
$$\beta = \frac{\sqrt{6 \operatorname{Var}(X)}}{\pi}$$

➤ Hazen

Une fois les n valeurs ordonnées de la plus petite à la plus grande, une fréquence f est associée à chacune en fonction de son rang r :

$$f_X(x) = \frac{r(x) - 0.5}{n} \quad (\text{r\`egle de Hazen})$$

Puis calage aux moindres carrés des paramètres.

Exemple de calcul - données

- Cas d'une nappe d'accompagnement d'un fleuve (les pics de nappe sont liés aux crues du fleuve)
- Données sur plusieurs années
- Perméabilité de l'aquifère $K = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
- Rabattement souhaité à 76,15 m NGF, pendant 3 ans
- Les crues sont pointées ci-contre



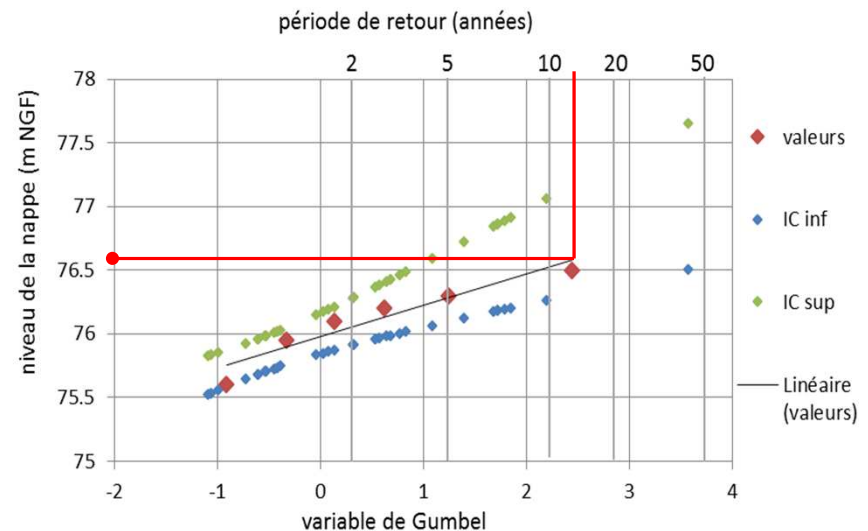
Exemple de calcul - ajustement

➤ Avec les moments : $\alpha = 75,95$ et $\beta = 0,3679$

➤ Avec Hazen : $\alpha = 75,97$ et $\beta = 0,3677$

$$D = \frac{1}{1 - f_X(x)}$$

➤ Pour $D = 13$ ans, le niveau de nappe est de **76,6 m NGF** (ajustement médian)



Exemple de calcul – débit d'exhaure

➤ Pas de parois étanches, fouilles verticales

➤ Fouille de 6 m x 9 m

➤ Méthode de Schneebeli

$$Q = 2,5 \cdot K \cdot s \cdot \sqrt{S_m}$$

$$Q = 166,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Si le dimensionnement de l'exhaure est remis en cause, il peut être pertinent (ou non selon les cas) d'augmenter le niveau de risque acceptable en mettant en balance le coût d'une perte provisoire du chantier (ou bien d'envisager une paroi étanche).

Conclusion

- **La définition du niveau d'eau de chantier a un impact direct sur le dimensionnement du dispositif d'exhaure**
- **Les données sont importantes pour fiabiliser sa détermination**
- **Une approche probabiliste simple peut être employée**
- **Tous ces éléments sont présentés au paragraphe 7.1 du document, les détails sont en Annexe C**

Merci de votre attention