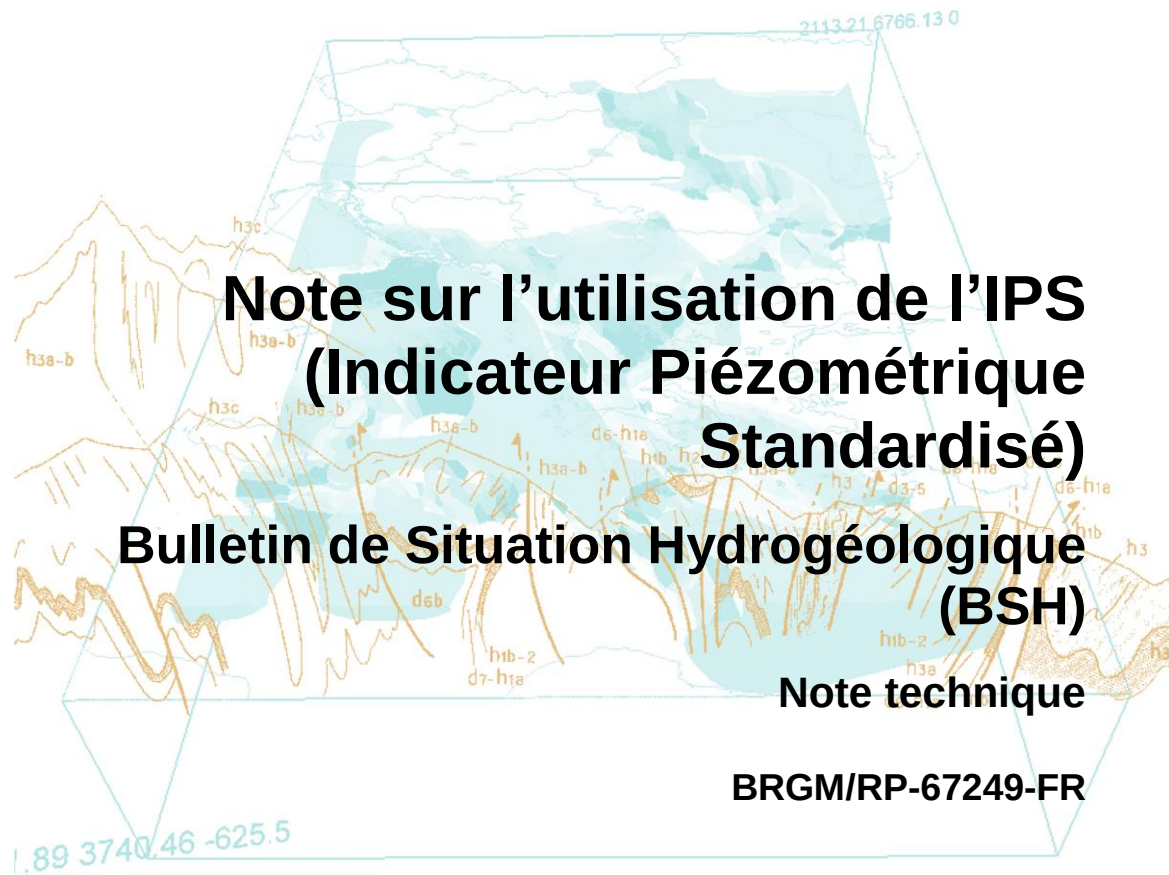




T. KLINKA,
Novembre 2016

Contenu

1. Le nouvel indicateur : l'IPS (Indicateur Piézométrique Standardisé).....	5
1.1. L'index piézométrique standardisé	6
1.1.1. Principes de la méthode.....	6
1.1.2. Interprétation générale de la méthode	8
1.1.3. Exemple de résultats.....	9
1.1.4. Propositions de classification des niveaux.....	11
1.1.5. Durée minimum de la chronique nécessaire pour le calcul et période de référence.....	13
1.1.6. Avantages de l'IPS.....	13
2. Utilisation de l'IPS	15
2.1. Descripteurs associés à l'IPS	15
2.1.1. Résultats graphiques.....	15
2.1.2. Résultats numériques.....	19
2.1.3. Estimation de la tendance d'évolution	27
2.2. Examen de quelques cas	28
2.2.1. Piézomètre 00115X0011/P1.....	28
2.2.2. Piézomètre 07221D0023/S	30
2.2.3. Piézomètre 02206X0022/S1.....	32
3. Conclusion	34
4. Bibliographie	35

Liste des illustrations

Illustration 1 : Principe du calcul de l'IPS	7
Illustration 2 : Exemple d'IPS pour la chronique de niveaux du piézomètre 01381X0070/P25 captant la nappe des alluvions quaternaires de la Moselle.	9
Illustration 3 : Exemple d'IPS pour la chronique de niveaux du piézomètre 03263X0004/FAEP (Fains la Folie) captant la nappe des Calcaires de Beauce	10
Illustration 4 : Valeurs des IPS_1 et SIP_6 (figure du haut) et des IPS_1 et IPS_12 (figure du bas) à fin mars 2014.....	26
Illustration 5 : Exemple de fiche piézométrique « IPS »	26
Illustration 6 : Exemple de résultats pour le piézomètre 00115X0011.....	29
Illustration 7 : Exemple de résultats pour le piézomètre 07221D0023.....	31
Illustration 8 : Exemple de résultats pour le piézomètre 02206X0022.....	33

Liste des tableaux

Tableau 1 : Proposition de classification des niveaux de nappe en 5 classes en fonction des valeurs de l'IPS : bornes du BSH	11
Tableau 2 : Proposition de classification des niveaux de nappe en 7 classes en fonction des valeurs de l'IPS : bornes du BSH	11
Tableau 3 : Quelques valeurs du SPI et périodes de retour correspondantes (Météo-France)	12

Introduction

Cette note a pour objectif de présenter aux hydrogéologues chargés de l'édition des bulletins de situations hydrogéologiques régionaux le nouvel indicateur de situation hydrogéologique, appelé « **IPS** » pour **Indicateur Piézométrique Standardisé**.

Dans une première partie, le **nouvel IPS** est présenté d'un point de vue méthodologique, afin de connaître son mode de fonctionnement.

Ensuite, l'utilisation de l'IPS et les multiples descripteurs qui l'accompagnent sont présentés de manière à identifier comment décrire le « niveau des nappes » et « l'évolution récente ». Plusieurs exemples viennent appuyer l'utilisation de ces outils (IPS et descripteurs) pour décrire l'état hydrogéologique d'une nappe.

Les fichiers qui accompagnent cette note et qui intègrent les données de l'IPS des mois de mars, avril et mai 2015 sont dans un format actuel « natif ». Ces fichiers et formats seront adaptés en fonction de la pertinence et de l'usage de ces descripteurs.

Cette note est une forme synthétique des documents suivants, qui peuvent être consultés pour aller plus loin :

- Proposition d'un indicateur piézométrique standardisé pour le Bulletin de Situation Hydrologique "Nappes", Rapport final, **BRGM/RP-64147-FR**, Décembre 2014 ;
- Note BRGM sur la mise en place d'un nouvel indicateur du BSH, Février 2015.

1. Le nouvel indicateur : l'IPS (Indicateur Piézométrique Standardisé)

Le niveau des nappes et leur évolution récente sont les deux principales informations communiquées au travers du BSH pour fournir une image synthétique et lisible par tous de l'état de la situation hydrogéologique.

Les méthodes de calcul de l'indicateur BSH actuellement implémentées sur ADES nécessitent une évolution au regard des travaux statistiques récents réalisés dans ce domaine (SPI, SSWI) et au vu des conditions d'application nécessaires pour l'analyse statistique des séries de données piézométriques.

Les indicateurs piézométriques ont un rôle important dans une gestion locale de la ressource, mais la diversité de leur mode de détermination ne permet pas d'avoir une vision homogène de l'impact d'un déficit pluviométrique sur l'état des nappes libres à l'échelle nationale, contrairement à d'autres indicateurs associés à d'autres variables, comme les indicateurs sécheresse utilisés désormais par Météo-France :

- l'index standardisé des précipitations (SPI, Standardized Precipitation Index) et
- l'index standardisé d'humidité du sol (SSWI, Standardized Soil Wetness Index).

C'est pourquoi, il est proposé de répondre au besoin d'évaluation de la situation quantitative de la ressource en eau souterraine par un nouvel indicateur, **l'IPS** (*Indicateur Piézométrique Standardisé*) basé sur la même méthodologie que ces index.

La méthodologie de l'IPS est inspirée du SPI (Index de Précipitation Standardisé).

L'objectif des auteurs était de proposer un indicateur qui puisse être utilisé pour analyser, de façon homogène sur tout un territoire, des épisodes de sécheresse à différentes échelles de temps en ne faisant intervenir qu'une seule variable (ici le niveau piézométrique). Ces échelles de temps sont d'autant plus intéressantes que les nappes réagissent avec inertie aux fluctuations climatiques.

L'IPS est défini sur une échelle dite « standard », sa valeur numérique varie de -3 à +3 (sans unité), il permet d'avoir une vision homogène de l'état des nappes libres (ou captives) à l'échelle nationale, et est cohérent avec deux autres indicateurs utilisés depuis peu par Météo-France (le SPI et le SSWI).

La valeur de l'IPS est utilisée comme une simple comparaison à une valeur moyenne et non nécessairement associé à une période de retour, il peut ainsi permettre d'intégrer les nappes à cycle pluriannuel dont les niveaux suivent des tendances interannuelles à la hausse ou à la baisse.

Les détails du calcul de l'indicateur IPS sont présentés dans le [rapport BRGM/RP-61807-FR](#) (2013) et le rapport BRGM/RP-64147-FR (2014).

1.1. L'INDEX PIÉZOMÉTRIQUE STANDARDISÉ

1.1.1. Principes de la méthode

De façon analogue au SPI (non présenté dans cette note), l'Indicateur Piézométrique Standardisé (IPS) a été calculé et testé dans le cadre d'une étude réalisée pour l'ONEMA (rapport BRGM/RP-61807-FR, 2013).

Pour les niveaux piézométriques, les étapes de calcul de l'IPS sont les suivantes :

- 1) construction d'une série de niveaux piézométriques mensuels sur une période de N années,
- 2) calcul du niveau piézométrique moyen sur n mois (le mois courant et les n-1 mois précédents) avec $n = 3, 6, 9, 12$ mois ou plus. Ces n mois représentent différentes échelles de temps (on parle aussi d'échelle d'agrégation) pouvant correspondre à des périodes déficitaires en précipitations conduisant à un impact sur le compartiment hydrogéologique,
- 3) compte tenu de la grande diversité de forme des histogrammes, ce qui ne permet pas toujours d'ajuster une loi de probabilité, la méthode utilise un estimateur à noyau de la densité de probabilité, estimateur que l'on ajuste sur l'histogramme des valeurs mensuelles (Illustration 1).

On obtient donc en définitive une courbe continue d'**IPS_n-mois** sur l'ensemble de la période des N années :

- l'IPS_1-mois permet de caractériser le niveau moyen du mois en cours en comparaison avec les mois précédents, les mêmes mois des N années, ...
- l'IPS_6-mois, permet de caractériser le niveau moyen sur les 6 derniers mois (en incluant le mois en cours), ainsi de suite.

Par « mois en cours » on entend le mois précédent l'édition du bulletin, par exemple pour le bulletin au 1^{er} juin, le mois en cours correspond aux données du mois de mai.

Quelle que soit l'échelle de temps d'agrégation de l'IPS (1, 6, 12 mois), le calcul de la moyenne des niveaux étant glissant, on a toujours une valeur d'IPS calculée par mois (12 valeurs d'IPS par an).

Sur l'illustration 1, le **graphique A** montre l'histogramme de densité des niveaux moyens des mois de mai et l'ajustement d'un estimateur de la densité de probabilité.

Le **graphique B** montre la distribution cumulée de fréquence ajustée des niveaux moyens des mois de mai, projetée sur la loi normale centrée réduite sur le **graphique C** (fréquence cumulée). La valeur de l'IPS est lue en abscisse, de -3 à +3, 0 étant le niveau normal.

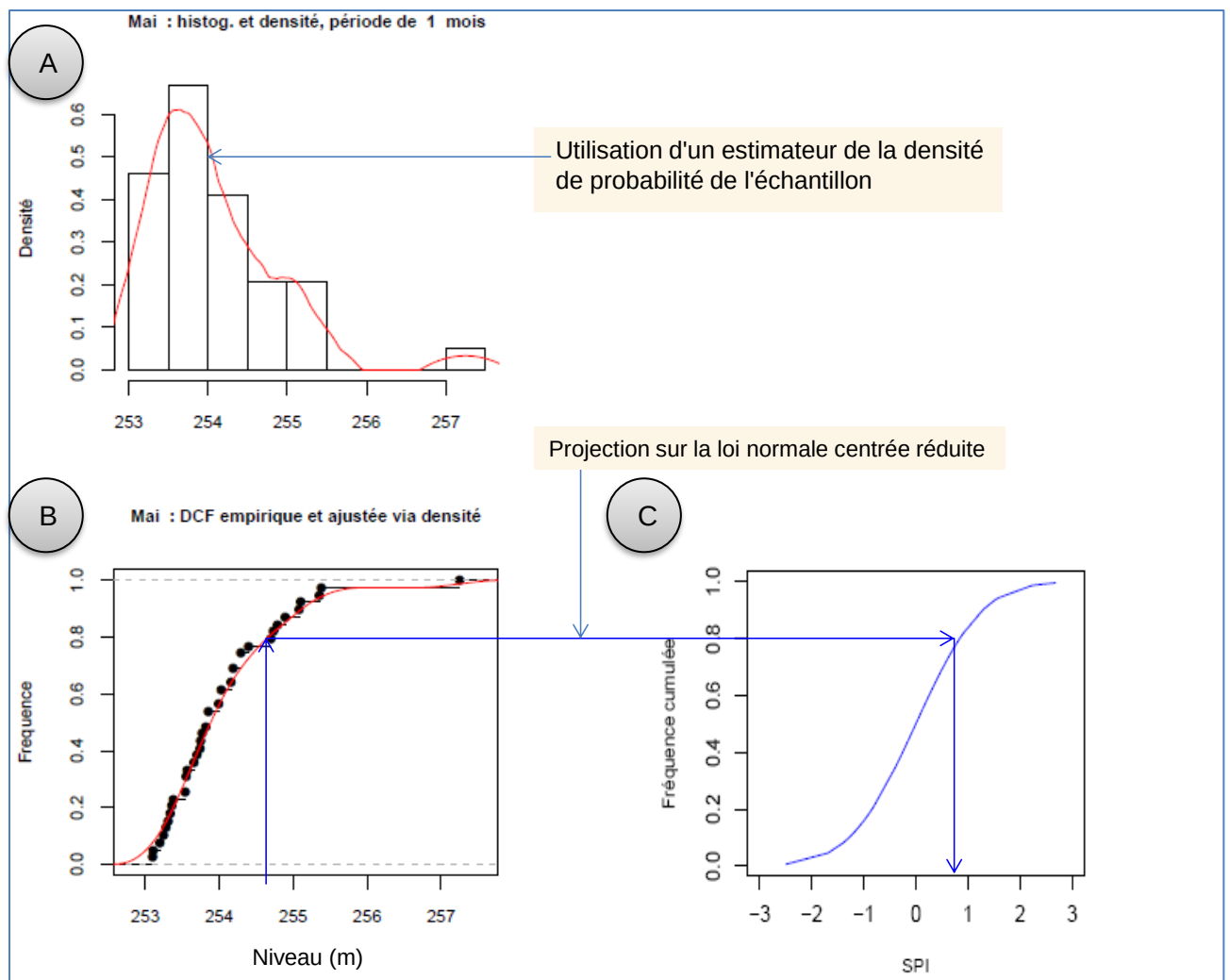


Illustration 1 : Principe du calcul de l'IPS

1.1.2. Interprétation générale de la méthode

L'intérêt majeur de cette méthode, contrairement à celle du BSH, est qu'elle peut s'appliquer à tous types de nappes, dont les nappes à cycles pluriannuels ou les nappes présentant une tendance continue à la baisse ou à la hausse. En effet, il n'est pas nécessaire de respecter les conditions d'application d'une approche probabiliste. D'une façon très générale, on ajuste sur un histogramme (outil purement descriptif) une fonction (que l'on peut appeler estimateur de densité de probabilité, mais ce n'est pas une appellation nécessaire), puis l'on projette cette fonction sur une autre fonction (qui est la fonction représentant la loi normale, mais qui est d'abord une fonction que l'on va exploiter dans un certain intervalle de valeurs, en l'occurrence un intervalle compris entre -3 et +3).

Si les conditions d'application d'une approche probabiliste sont satisfaites, il est possible de garder le vocable probabiliste et d'interpréter les résultats en termes de période de retour (mais ce n'est pas nécessaire), si les conditions d'application d'une approche probabiliste on n'interprétera pas les résultats en termes de période de retour, mais on qualifiera les niveaux (niveaux hauts, niveaux très hauts ...).

En résumé, l'IPS revient donc à quantifier les écarts à la moyenne (valeur de l'IPS égale à zéro) de façon homogène pour tous les piézomètres. Pour illustrer cela, un exemple est donné ci-après (d'autres exemples sont disponibles dans le rapport BRGM/RP-64147-FR).

1.1.3. Exemple de résultats

L'illustration 2 et l'illustration 3 montrent quelques graphiques relatifs à l'IPS mensuel pour 2 piézomètres, l'un (01381X0070/P25, Bertrange) captant les alluvions quaternaires de la Moselle (nappe à cycle annuel), l'autre (03263X0004/FAEP, Fains la Folie) captant la nappe des calcaires de Beauce (nappe à cycles pluriannuels).

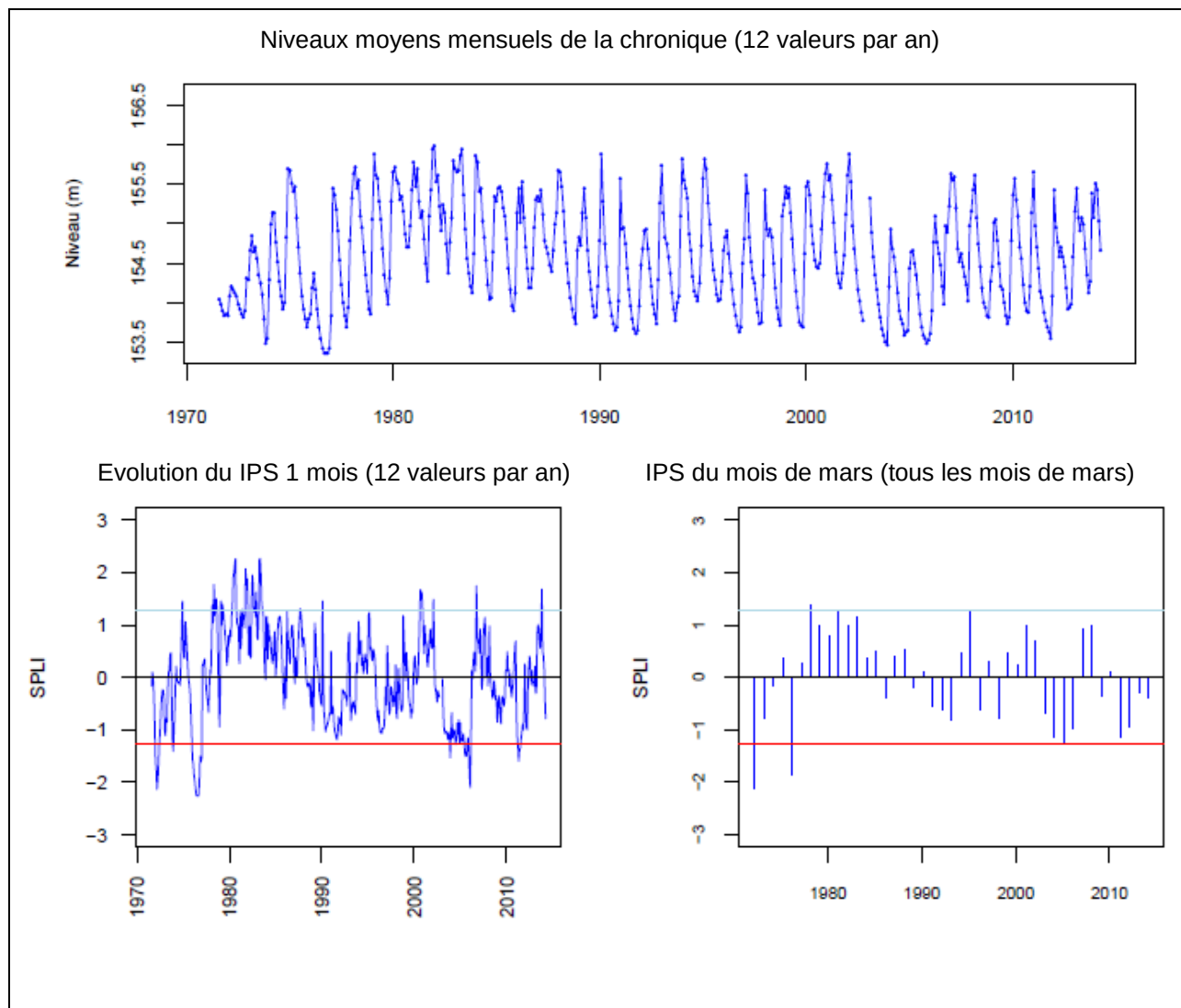


Illustration 2 : Exemple d'IPS pour la chronique de niveaux du piézomètre 01381X0070/P25 captant la nappe des alluvions quaternaires de la Moselle.

La ligne rouge correspond à la valeur -1.28 de l'IPS, la ligne bleue à la valeur +1.28.

Le graphique de l'IPS 1 mois du mois de mars (en bas à droite) montre l'évolution du IPS pour tous les mois de mars. Ce graphique permet donc de comparer l'IPS du mois en cours avec celui des autres années. Dans le cas présent, l'IPS 1 mois du mois de mars est négatif ainsi que sur les 3 dernières années. Cette situation peut s'expliquer par un déficit pluviométrique (par exemple) caractérisée plusieurs mois auparavant via le SPI.

Nota bene : le graphique d'évolution de l'IPS 1 mois avec 12 valeurs par an (en bas à gauche) est représenté comme une série continue. Ce graphique va être modifié et représenté différemment, sous forme de barres discontinues (comme le graphique en bas à droite), car l'IPS d'un mois n'est pas lié au mois précédent, mais à tous les mois m des n années, il n'y a donc pas de raison de représenter cette continuité.

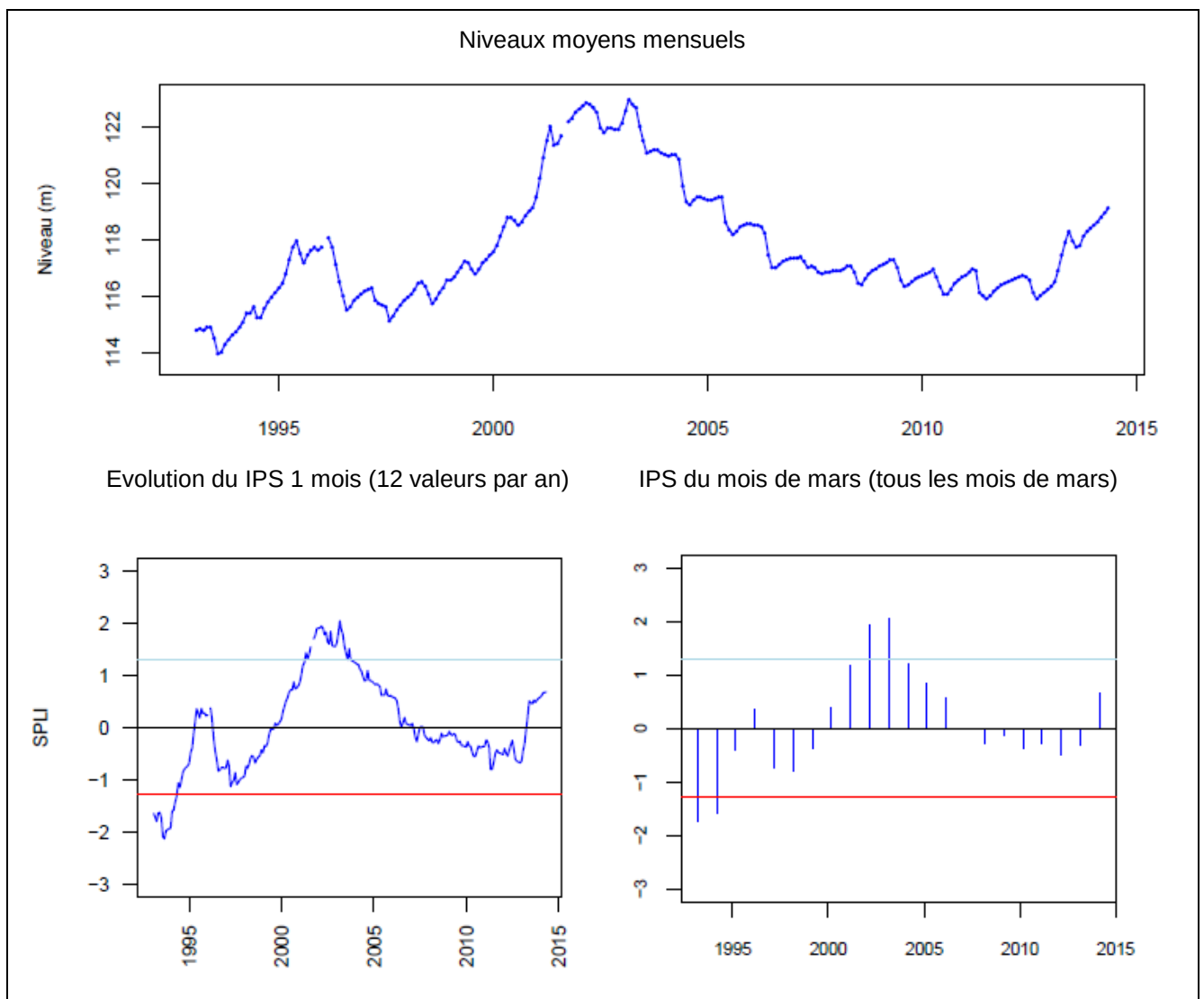


Illustration 3 : Exemple d'IPS pour la chronique de niveaux du piézomètre 03263X0004/FAEP (Fains la Folie) captant la nappe des Calcaires de Beauce

La ligne rouge correspond à la valeur -1.28 de l'IPS, la ligne bleue à la valeur +1.28.

Il est à noter que le graphique d'évolution de l'IPS 1 mois (12 valeurs par an) sera recalculé et mis à jour à chaque nouveau mois. À proprement parler, au mois d'avril par exemple, tous les IPS 1 mois du mois d'avril des N années seront recalculés en intégrant dans l'histogramme la nouvelle valeur du niveau piézométrique moyen mensuel du mois d'avril, mettant à jour l'IPS qui sera affiné.

1.1.4. Propositions de classification des niveaux

Pour une meilleure lisibilité du IPS, la classification du BSH actuel en 5 classes est reprise dans le Tableau 1 (la classification établie par Météo-France pour le SPI présente des coupures trop larges en termes de période de retours) :

Caractérisation de l'état des nappes	Valeurs de l'IPS		Période de retour du BSH (si conditions d'application satisfaites)
Niveaux très bas	$< -1,28$		> 10 ans sec
Niveaux bas	$\geq -1,28$ et $< -0,25$		Entre 2,5 ans sec et 10 ans sec
Niveaux autour de la normale	$\geq -0,25$ et $< 0,25$		Entre 2,5 ans sec et 2,5 ans humide
Niveaux hauts	$\geq 0,25$ et $< 1,28$		Entre 2,5 ans humide et 10 ans humide
Niveaux très hauts	$\geq 1,28$		> 10 ans humide

Tableau 1 : Proposition de classification des niveaux de nappe en 5 classes en fonction des valeurs de l'IPS : bornes du BSH

Dans ce tableau, la notion de période de retour est mentionnée, mais peut très bien être occultée, conformément à l'interprétation générale de la méthode. Sont gardées aussi les valeurs de l'IPS correspondant à ces périodes de retour, ce qui est pratique lorsque l'interprétation probabiliste reste possible.

Une autre possibilité serait de reconduire la classification du BSH actuel, soit en 7 classes (Tableau 2) afin de mieux discriminer les niveaux « hauts » et « bas » :

Proposition de classification	Valeurs de l'IPS	Période de retour (si conditions d'application satisfaites)
Niveaux très bas	< -1.28	> 10 ans sec
Niveaux bas	entre -1.28 et -0.84	Entre 10 ans sec et 5 ans sec
Niveaux modérément bas	entre -0.84 et -0.25	Entre 2.5 ans sec et 5 ans sec
Niveaux autour de la normale	entre -0.25 et 0.25	Entre 2.5 ans sec et 2.5 ans humide
Niveaux modérément hauts	entre 0.25 et 0.84	Entre 2.5 ans humide et 5 ans humide
Niveaux hauts	entre 0.84 et 1.28	Entre 5 ans humide et 10 ans humide
Niveaux très hauts	> 1.28	> 10 ans humide

Tableau 2 : Proposition de classification des niveaux de nappe en 7 classes en fonction des valeurs de l'IPS : bornes du BSH

Pour information, le Tableau 3 présente quelques valeurs du SPI et périodes de retour correspondantes :

Valeurs du SPI	Probabilité	Période de retour (année)	Dépassement (année)
0	0,5	2	1/2
0.8416	0,8	5	1/5
1	0,8413	6	1/6
1.2815	0,9	10	1/10
1.6448	0,95	20	1/20
2	0,9772	44	1/44
2.326	0,99	100	1/100
3	0,9986	741	1/741

Tableau 3 : Quelques valeurs du SPI et périodes de retour correspondantes (Météo-France)

1.1.5. Durée minimum de la chronique nécessaire pour le calcul et période de référence

Idéalement, il faudrait se baser sur la période Météo France (30 ans, 1981-2010). Aujourd'hui, il existe 118 (sur 250) chroniques parmi les points utilisés pour le BSH national avec un nombre d'années supérieur à 30 ans. Par contre, en prenant une période de 15 ans, on pourrait considérer une grande majorité des piézomètres actuels (234/250). On pourrait donc, lorsque possible se baser sur la période 1981-2010 et si non sur la période XXXX-2010.

Il est toutefois nécessaire de permettre le calcul pour des chroniques plus courtes. En effet, dans certaines régions (Bretagne, Languedoc-Roussillon, Martinique,...), les bulletins régionaux s'appuient sur des piézomètres ayant des chroniques plus courtes. L'IPS pourrait être calculé pour les piézomètres ayant une longueur de chronique minimum de 15 ans.

Pour les chroniques n'ayant pas 15 ans de mesures piézométriques, un calcul simplifié sera proposé. Toutefois, il est proposé de garder le minimum actuel qui est de 10 ans. Pour les chroniques disposant entre 10 et 15 ans de données, les paramètres à calculer seraient donc particularisés.

- 1) Si l'on **décide d'occulter la référence probabiliste**, alors on peut retenir 15 ans minimum, ce qui permet de traiter 94% des points (mais on peut aussi la garder au cas par cas pour particulariser le cas échéant)
- 2) Si l'on décide de garder une référence probabiliste pour les nappes qui remplissent les conditions :
 - Si l'on part sur 5 classes, avec comme bornes extrêmes **l'équivalent du décennal**, il faut un minimum de 15 ans ;
 - Si l'on part sur 7 classes, avec comme bornes extrêmes **l'équivalent des 25 ans** (comme Météo France), il faut un minimum de 30 ans (seulement 118 chroniques ont plus de 30 ans) ;
 - Si l'on part sur 7 classes, avec comme bornes extrêmes **l'équivalent du vingtenal**, il faut un minimum de 25 ans (150 chroniques).

Si l'on veut traiter le maximum de points il faut alors choisir l'option 1.

A ce jour les conditions du calcul de l'IPS quant au nombre de mesures minimum nécessaire dans un mois ne sont pas déterminées, elles le seront ultérieurement, après tests.

1.1.6. Avantages de l'IPS

À terme, l'IPS se substituera à l'indicateur actuel du BSH nappes (calcul de quantiles et traduction en période de retour). Une application systématique aux points du BSH (250) est prévue en 2014, afin de s'assurer de la robustesse de cet indicateur.

L'IPS présente plusieurs avantages :

- il est applicable à toutes les nappes, dont celles avec des tendances à la baisse ou à la hausse (abandon de la notion de période de retour, celle-ci pouvant néanmoins toujours s'appliquer aux nappes à cycle annuel),
- l'échelle de valeurs est commune à toutes les nappes, permettant de les comparer entre elles, ce qui facilite aussi l'émergence d'un indicateur global à l'échelle d'une nappe,
- il permet de quantifier la sévérité d'un épisode de sécheresse (durée, intensité, magnitude), comme l'index standardisé des précipitations (SPI),

- il est cohérent avec le SPI, ce qui facilite la comparaison de l'état des nappes avec les épisodes climatiques (dont les décalages temporels). L'IPS permet par exemple de comparer un état de sécheresse climatique (ou de sécheresse des sols) avec un état hydrogéologique qui n'est pas (encore) en sécheresse lié à l'inertie des nappes.
- Il est utilisable comme indicateur d'état sur le long terme (nécessité d'une période de référence), permettant de suivre la situation d'une nappe sur le long terme.

L'IPS permet de faire évoluer de manière pertinente l'analyse de la situation hydrogéologique et d'offrir une image homogène au niveau national afin que tous les acteurs disposent des mêmes calculs, vocabulaire et représentations graphiques.

2. Utilisation de l'IPS

2.1. DESCRIPTEURS ASSOCIÉS À L'IPS

Les calculs effectués pour l'IPS et les graphiques associés sont réalisés à l'aide d'un programme écrit en langage « R ».

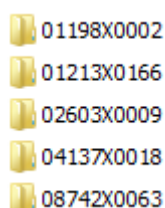
Deux types de résultats sont disponibles :

- les résultats numériques issus de l'analyse des chroniques piézométriques sont rassemblés dans plusieurs fichiers ASCII (le fichier principal étant : resume_mois.out),
- ces résultats numériques sont présentés dans un fichier PDF sous forme de graphiques (chroniques, histogrammes).

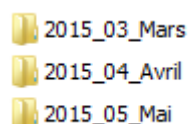
2.1.1. Résultats graphiques

Les chroniques piézométriques et les résultats de l'IPS sont présentés sous forme graphique pour chaque piézomètre et pour chaque mois.

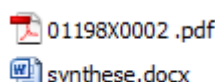
Actuellement, les répertoires fournis portent un nom qui correspond à l'indice BSS de chaque, il s'agit, par exemple, des dossiers suivants :



Dans chaque répertoire, on trouve les sous-répertoires suivants (mois traités) :



Dans chaque sous-répertoire, le fichier PDF inclus tous les graphiques associés au piézomètre et au mois traité :



Après avoir traité les mois de mars et avril, nous avons constaté qu'il était possible de générer une fiche de synthèse avec les principaux descripteurs de l'IPS sous forme fichier Word, c'est le cas pour le mois de **mai**.

- **Fichier PDF** : ce document PDF de 12 pages présente les informations suivantes :
 - Page 1 :
 - **graphique** de la chronique piézométrique au pas de temps journalier ;
 - statistiques et nombre de mesures annuelles.
 - Page 2 :
 - **graphique** des niveaux moyens mensuels ;
 - **graphique** des niveaux annuels moyens, minimum et maximum.

- Page 3 :
 - **boîte** à moustache des moyennes mensuelles ;
 - **boîte** à moustache des niveaux moyens mensuels ;
 - **histogramme** des moyennes interannuelles de chaque mois.
- Page 4 :
 - **test** de tendance (Mann-Kendall) ;
 - **test** de rupture (Pettitt).
- Page 5 :
 - **Distribution** de fréquence empirique des niveaux moyens annuels (et ajustement) ;
 - **Histogrammes** (effectif, densité) ;
 - **Autocorrélation** des niveaux piézométriques moyens annuels.
- Page 6 :
 - **graphique** du niveau moyen du mois en cours de toutes les années ;
 - **autocorrélation** des niveaux piézométriques moyens mensuels ;
 - **histogramme** (densité) ;
 - **distribution** cumulée de fréquence empirique des niveaux piézométriques moyens du mois en cours.
- Page 7 :
 - **graphique** de l'évolution du niveau moyen mensuel sur les 12 derniers mois ;
 - **calcul** de l'index de position (IP).
- Page 8 :
 - **histogramme** des niveaux piézométriques moyens mensuels du mois en cours et ajustement ;
 - **distribution** cumulée de fréquence empirique et ajustement ;
 - **calcul** de l'IPS 1 mois pour chaque mois de la chronique ;
 - **calcul** de l'IPS 1 mois pour le mois en cours.
- Page 9 :
 - **graphique** de l'évolution de l'IPS 1 mois du mois en cours ;
 - **valeur** numérique de l'IPS 1 mois.
- Page 10 : même présentation que la page 8 avec **l'IPS 6 mois** (l'échelle d'agrégation est de 6 mois).
- Page 11 : même présentation que la page 8 avec **l'IPS 12 mois** (l'échelle d'agrégation est de 12 mois).
- Page 12 :
 - interprétation possible des **périodes de retour** si les conditions d'analyse probabilistes sont satisfaites,
 - **position** du niveau moyen mensuel actuel par rapport aux périodes de retour.

- **Fichier synthese.docx** : ce fichier est une synthèse de l'analyse de la chronique d'un piézomètre pour le mois en cours. Un exemple en est donné ci-dessous.

On précise que ci-dessous, la moyenne , le maximum et le minimum sont calculés sur la série des données brutes journalières.

Fiche synthétique

01198X0002

Nombre d'années de données : 50 , du 1966-01-10 au 2015-05-31

Nombre de jours avec mesures : 8347 sur un total de 18039 ,soit 46.3 %

Moyenne : 36.85

Ecart-type : 4.04

Maximum : 49.29

Minimum : 27.88

Autocorrélation. Ordre 1: 0.659 Ordre 2: 0.259 Ordre 3: -0.015

Pas de tendance significative (hausse ou baisse) dans la série des valeurs annuelles

Pas de rupture significative dans la série des valeurs annuelles

SPLI1 du mois 5 : 0.47

SPLI6 du mois 5 : 0.67

SPLI12 du mois 5 : 0.89

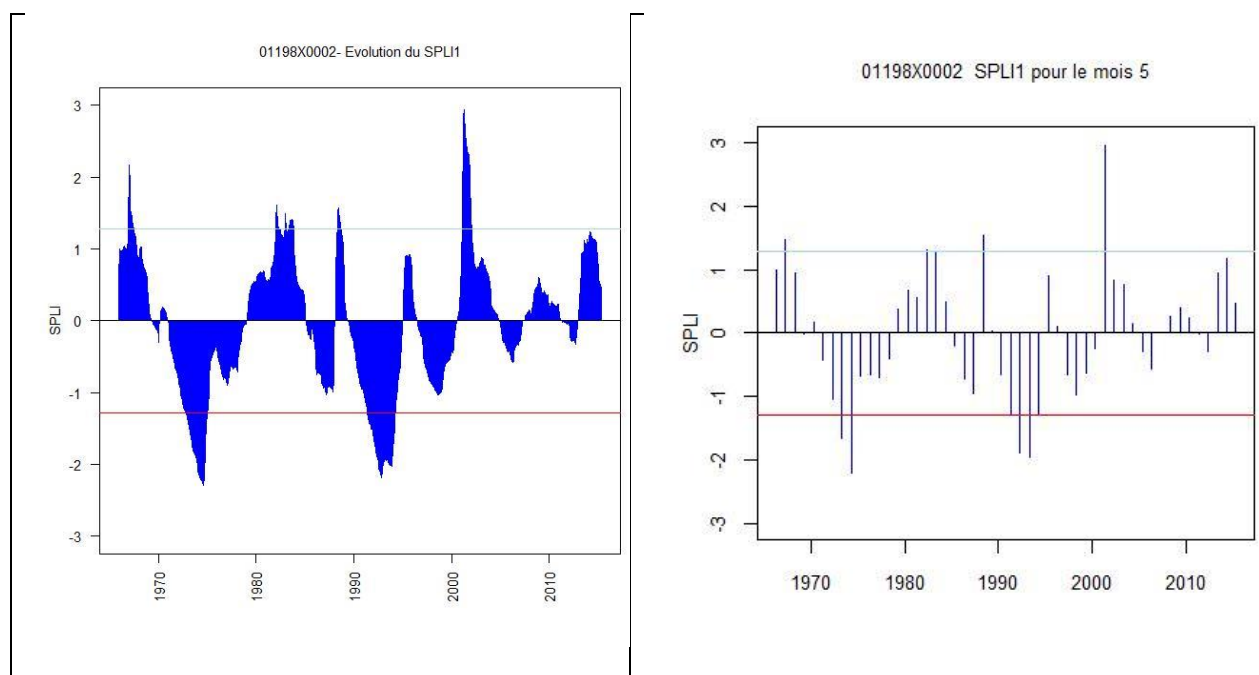
Etat de la nappe : niveaux modérément hauts

Moyenne en 2015 du mois 5 : 39.39 ,calculée sur 31 jours

Moyenne de l'ensemble des mois 5 : 36.64

Nombre d'années sur les 10 dernières années de la série (avec mesures) où le SPLI1 du mois sélectionné était négatif : 4

% du temps où le SPLI1 était négatif sur les 120 derniers mois de la série mensuelle des SPLI1 (tous les mois) : 38

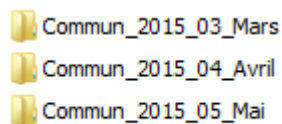


SPLI1 du mois 3 : 0.55
SPLI1 du mois 4 : 0.51
SPLI1 du mois 5 : 0.47

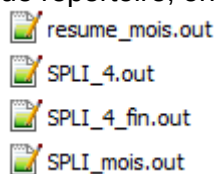
2.1.2. Résultats numériques

Le document PDF permet d'apprécier visuellement au travers des graphiques l'évolution du niveau piézométrique et de l'IPS pour le mois en cours.

Les résultats numériques concernant l'ensemble des piézomètres et le mois traité sont stockés dans :

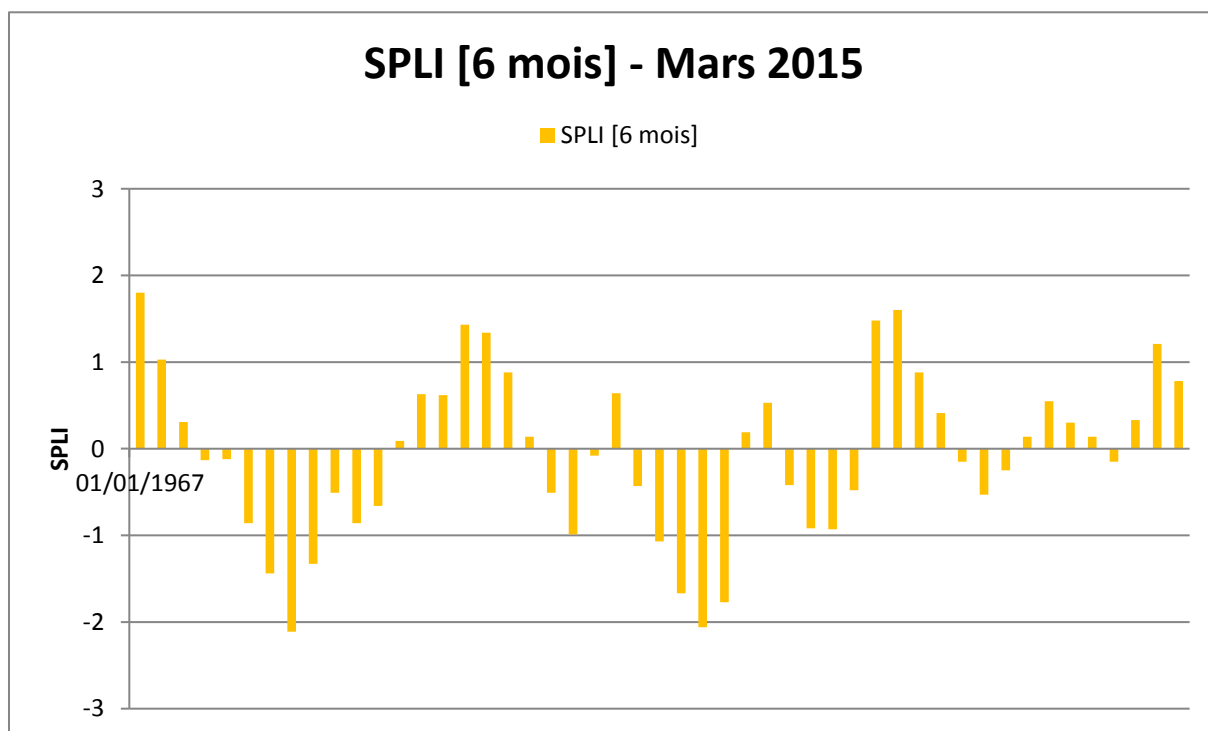
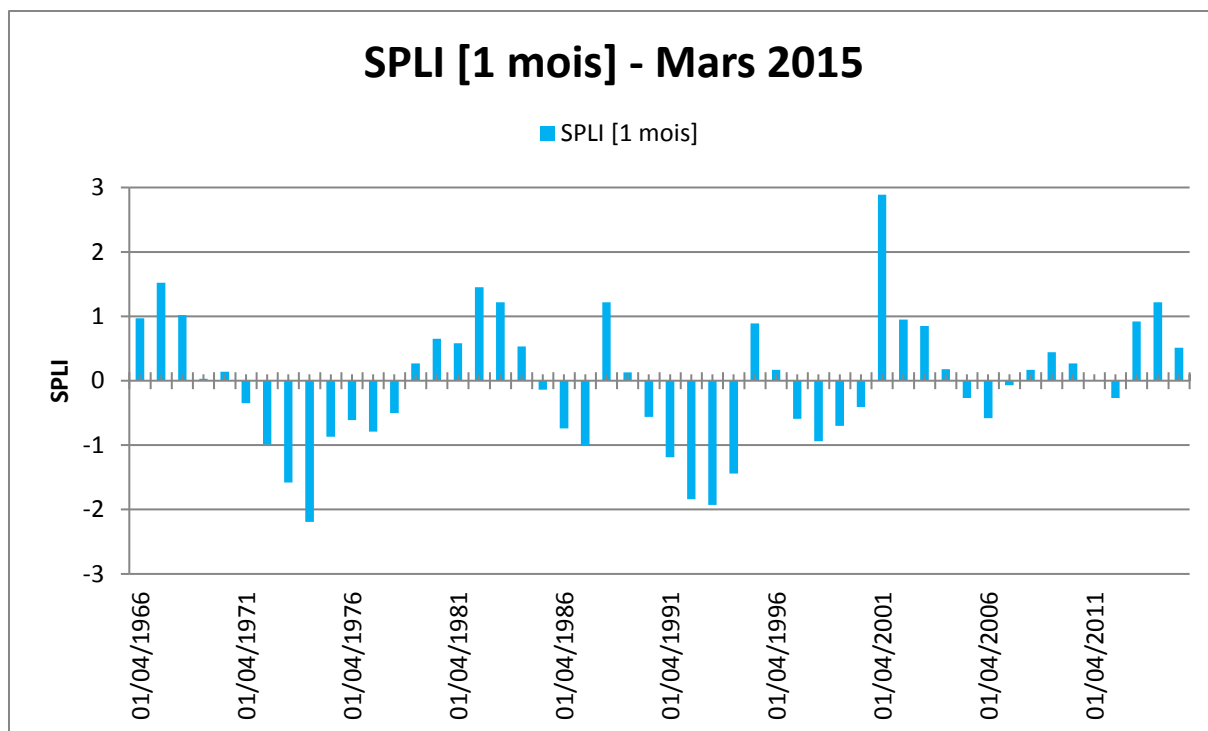


Dans chaque répertoire, on trouve les fichiers suivants :

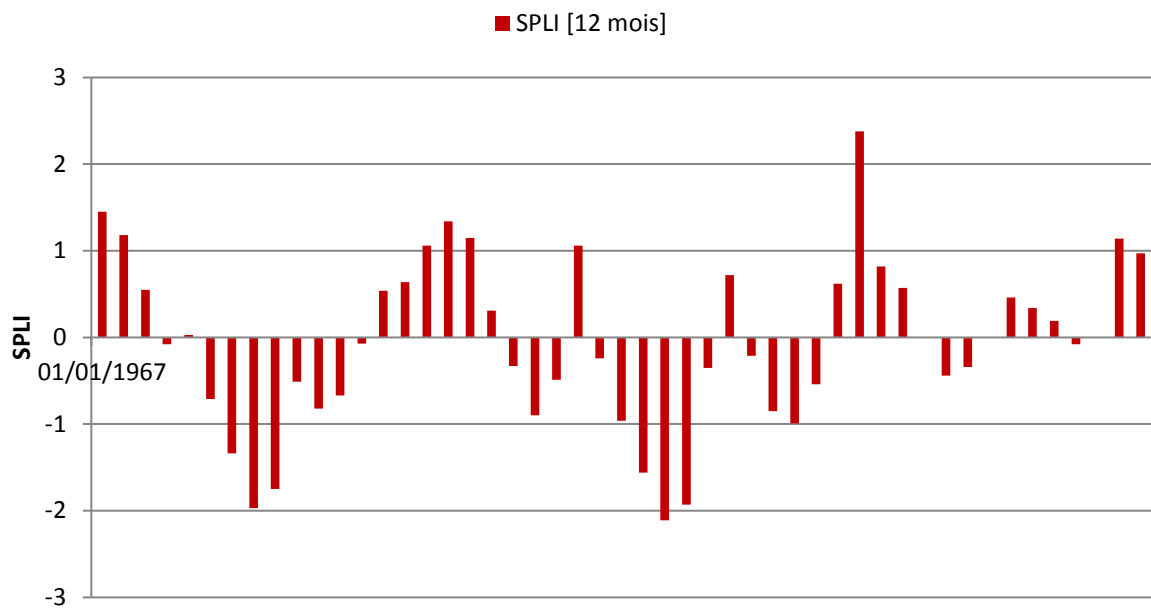


Ces fichiers intègrent les données de tous les piézomètres traités, ils sont décrits ci-après et sont amenés à évoluer en fonction des retours. Les fichiers peuvent déjà différer en fonction des mois traités et des évolutions réalisées. Des fichiers Excel sont parfois proposés et donnent des exemples de valorisation des résultats sous forme graphique.

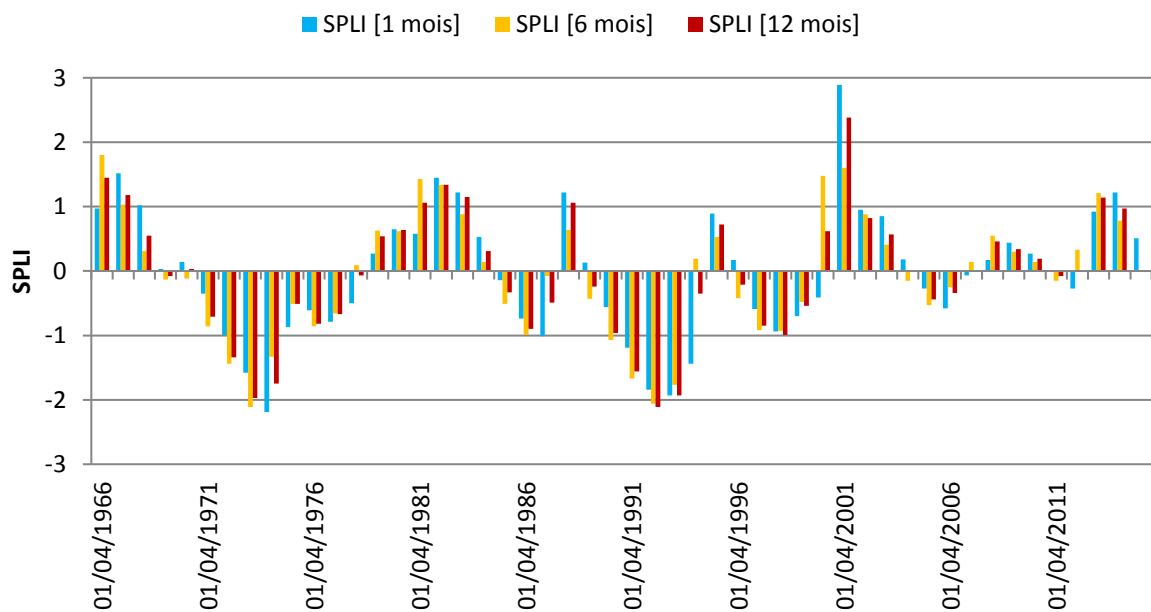
- **SPLI_4.out** : ce fichier contient les valeurs de l'IPS 1, 6 et 12 mois pour le mois 4 (soit avril) pour tous les piézomètres. Exemple de valorisation de ces données pour le piézomètre **01198X0002/S1** :



SPLI [12 mois] - Mars 2015



SPLI [1, 6, 12 mois] - Mars 2015



- **SPLI_4_fin.out** : ce fichier contient les résultats du SPLI n mois (1, 6, 12 mois) du mois en cours pour l'ensemble des piézomètres. Exemple de tableau :

<i>indice BSS</i>	<i>SPLI [n mois]</i>	<i>SPLI</i>	<i>Année</i>	<i>Mois</i>
01198X0002	1	0.51	2015	4
01198X0002	6	0.78	2015	4
01198X0002	12	0.97	2015	4
01213X0166	1	0.31	2015	4
01213X0166	6	-0.33	2015	4
01213X0166	12	0.19	2015	4
02603X0009	1	0.5	2015	4
02603X0009	6	0.64	2015	4
02603X0009	12	0.81	2015	4
04137X0018	1	-0.21	2015	4
04137X0018	6	-0.21	2015	4
04137X0018	12	-0.27	2015	4
08742X0063	1	-0.17	2015	4
08742X0063	6	-0.51	2015	4
08742X0063	12	-0.15	2015	4

Dans ce tableau généré automatiquement par l'outil, seul l'indice BSS est reporté pour une question de simplicité.

- **resume_mois.out** : ce fichier contient les résultats des analyses des chroniques piézométriques pour le mois en cours. À chaque ligne est associé un piézomètre identifié par son code BSS, il y a 39 colonnes en incluant le code BSS. Ce fichier est décrit ci-après.

Pour chaque piézomètre, ce fichier texte (importable sous Excel) contient une liste de descripteurs, présentés ci-après, permettant de décrire le niveau piézométrique et d'évaluer la situation quantitative de la ressource en eau.

Piezo : indice BSS (code BSS tronqué à 10 caractères, soit uniquement l'indice BSS)

Date_deb : date de début des mesures (au format jj/mm/aaaa)

Date_fin : date de fin des mesures (au format jj/mm/aaaa)

Nbre_ann : nombre d'années depuis le début des mesures

Manquant : nombre d'années sans mesure

Mois : numéro m du mois sélectionné pour les calculs de l'IPS (m= 1, 2, 3, ..., 11,12)

Moy_Série : moyenne des mesures journalières

Max_serie : valeur maximale de la série de mesures journalières

Min_serie : valeur minimale de la série de mesures journalières

Normale : normale sur la période 1981-2010 (quand les mesures sont postérieures à 1981, la normale est calculée sur la période XXXX-2010)

N_ans_norm : nombre d'années sur lesquelles la normale est calculée (donc au plus 30 années)

ro1_an : autocorrélation au pas de temps annuel d'ordre 1 (c'est-à-dire au bout d'une année)

ro2_an : autocorrélation au pas de temps annuel d'ordre 2

ro3_an : autocorrélation au pas de temps annuel d'ordre 3

Tendanc_an : pente de la tendance (méthode de Sen, exprimée en m/an)

T_signific : significativité de la tendance (au seuil de risque de 5%, oui ou non)

R_signific : existence d'une rupture (oui= rupture significative ; non= pas de rupture)

Moy_mens : moyenne des valeurs de la série moyennée au pas de temps mensuel

Max_mens : valeur maximale de la série moyennée au pas de temps mensuel

Min_mens : valeur minimale de la série moyennée au pas de temps mensuel

Pente_12der : pente calculée sur les 12 derniers mois de la série (méthode de Sen, exprimée en m/an)

H_B : indicateur de hausse ou de baisse sur les 3 derniers mois :

- B indique une baisse
- H indique une hausse
 - o Soit B1H1B1, indique baisse, hausse et baisse,
 - o B1H2, une baisse suivie de deux hausses,
 - o H3, trois hausses consécutives.

La méthode est détaillée dans le § 2.1.3 Estimation de la tendance d'évolution, ci-après.

Moy_fin_m : moyenne du mois courant (dernier mois de la série des n mois de numéro m)

ro1_mois_m : autocorrélation d'ordre 1 au pas de temps annuel dans la série des n mois de numéro m

ro2_mois_m : autocorrélation d'ordre 2 au pas de temps annuel dans la série des n mois de numéro m

ro3_mois_m : autocorrélation d'ordre 3 au pas de temps annuel dans la série des n mois de numéro m

Nbre_val : nombre de valeurs effectivement présentes dans la série du mois traité

SPLI_1mois : valeur du SPLI 1 mois pour le mois courant (donc le dernier) de la série des n mois de numéro m sélectionné

SPLI6mois : valeur du SPLI 6 mois pour le mois courant (donc le dernier) de la série des n mois de numéro m sélectionné

SPLI12mois : valeur du SPLI 12 mois pour le mois courant (donc le dernier) de la série des n mois de numéro m sélectionné

Moy_SPLI : moyenne du SPLI 1 mois sur l'ensemble de la chronique au pas de temps mensuel

Norm_SPLIm : normale du SPLI_1 mois dans la série des n mois de numéro m sur la période 1981-2010 (quand les mesures sont postérieures à 1981, la normale est calculée sur la période XXXX-2010)

Ecart_norm : c'est la différence entre la normale du SPLI_1mois et la valeur courante du SPLI_1 mois : $\text{Ecart_norm} = \text{SPLI_1mois} - \text{Norm_SPLIm}$

Negatif_m : nombre d'années sur les 10 dernières années de la série où le SPLI_1 du mois sélectionné était négatif.

Negatif : dans la série mensuelle des SPLI_1 (tous les mois), le % du temps sur les 120 derniers mois (10 ans) où le SPLI_1 était négatif

IPSPLI : partage des valeurs du SPLI_1mois en 5 classes numérotées de 1 à 5.

IPBSH : partage des valeurs du BSH en 5 classes numérotées de 1 à 5.

SPLI_BSH : différence entre la valeur de la classe résultant du SPLI et la valeur de la classe résultant du BSH. 0 signifie que le résultat entre le SPLI et le BSH est le même (période de retour).

Position : position (en %) de la valeur courante du mois m par rapport à l'amplitude maximale observée dans la série au pas de temps mensuel. Lorsque l'interprétation probabiliste n'est pas possible ou lorsque la chronique est trop courte (<15 ans), ce critère peut être utilisé pour qualifier le niveau des nappes.

Un exemple de fichier **resume_mois.out** est donné ci-dessous.

Exemple de fichier **resume_mois.out** (transposé via Excel) :

Piezo	01198X0002	01213X0166	02603X0009	04137X0018	08742X0063
Date_deb	10/01/1966	05/02/1974	01/01/1969	08/12/1954	01/01/1996
Date_fin	16/05/2015	18/05/2015	18/05/2015	04/05/2015	18/05/2015
Nbre_ann	50	42	47	62	20
Manquant	0	0	0	0	1
Mois	4	4	4	4	4
Moy_Série	36.84	53.08	128.73	235.33	56.45
Max_serie	49.29	55.02	142.15	241.73	57.99
Min_serie	27.88	49.99	116.31	231.98	54.68
Normale	36.62	53	128.69	235.35	56.42
N_ans_norm	30	30	30	30	14
ro1_an	0.659	0.17	0.73	0.384	0.238
ro2_an	0.259	-0.096	0.348	0.044	-0.148
ro3_an	-0.015	-0.268	0.108	-0.09	-0.127
Tendanc_an	0.054	0.004	-0.098	-0.004	-0.001
T_signific	non	non	non	non	non
R_signific	non	non	non	non	non
Moy_mens	36.1	52.96	128.92	235.25	56.45
Max_mens	49.13	55.02	141.96	240.91	57.67
Min_mens	27.9	49.99	116.32	232.06	54.83
Pente_12der	-0.398	0.035	-0.469	-0.034	0.068
H_B	B1H1B1	H1B1H1	H3	H3	B1H2
Moy_fin_m	39.46	52.81	134.71	235.82	56.89
ro1_mois_m	0.591	0.027	0.712	0.322	-0.006
ro2_mois_m	0.214	-0.051	0.346	0.082	-0.334
ro3_mois_m	-0.053	-0.091	0.112	-0.095	0.01
Nbre_val	50	42	47	61	18
SPLI_1mois	0.509	0.311	0.498	-0.209	-0.168
SPLI6mois	0.777	-0.335	0.636	-0.206	-0.509
SPLI12mois	0.967	0.188	0.814	-0.269	-0.151
Moy_SPLI	-0.027	0.003	0.013	0.009	0.005
Norm_SPLIm	-0.016	0	0.016	-0.065	0.051
Ecart_norm	0.52	0.31	0.48	-0.14	-0.22
Negatif_m	3	6	7	4	6
Negatif	38	47	78	56	50
IPSPLI	3	3	3	4	4
IPBSH	3	3	3	4	4
SPLI_BSH	0	0	0	0	0
Position	55	72	71	41	74

Le BSH tel qu'établi aujourd'hui correspond à l'IPS_1 mois. L'utilisation de l'IPS_6 ou 12 mois (Illustration 4) permettrait de donner une image plus réaliste dans le cas des systèmes aquifères à forte inertie. Le nombre de mois pris en compte pour la représentation va permettre de représenter des phénomènes à long ou court terme.

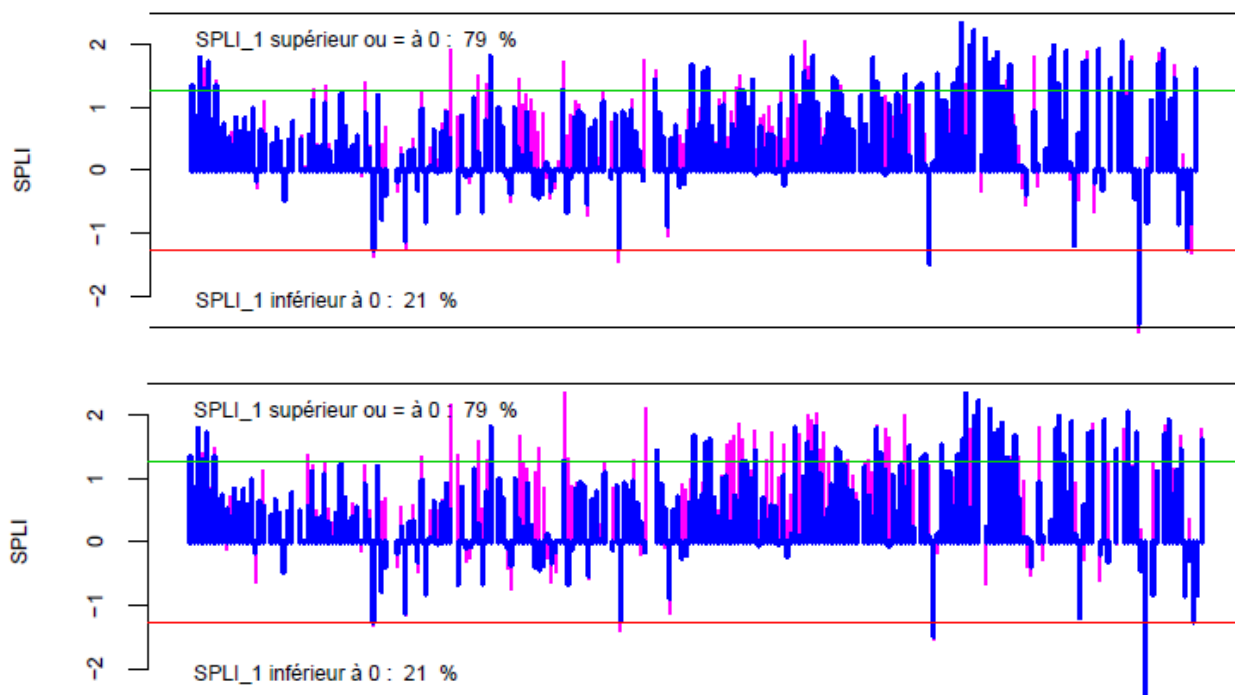


Illustration 4 : Valeurs des IPS_1 et SIP_6 (figure du haut) et des IPS_1 et IPS_12 (figure du bas) à fin mars 2014

Exemple d'une fiche IPS pour un piézomètre, valorisant plusieurs descripteurs de l'IPS présentés précédemment :

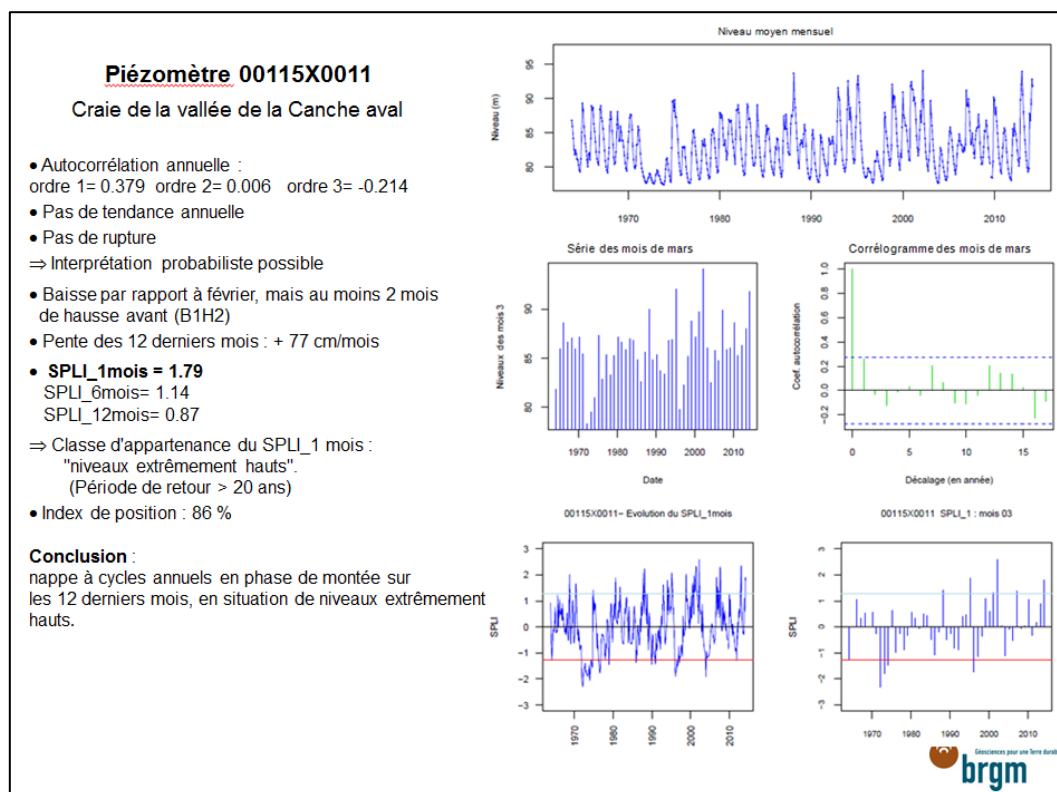


Illustration 5 : Exemple de fiche piézométrique « IPS »

Les calculs sous « R » pourraient permettre d'établir une fiche (Illustration 5) qui contiendrait de manière visuelle et synthétique l'information nécessaire pour établir le bulletin de situation. Cette fiche serait une aide pour l'hydrogéologue et non pas une représentation graphique à ajouter au bulletin. L'ensemble des descripteurs resterait bien-sûr disponible pour les hydrogéologues qui veulent aller plus loin dans leur évaluation.

Cette fiche sera agrémentée des données piézométriques du mois en cours et de l'année en cours avec, en surimpression, celles de l'année précédente (axe des temps non pas en date mais en jours, de 1 à 365). Également, il serait mentionné sur le graphique IPS les classes (5 ou 7) par des lignes horizontales de couleurs.

Il est important de mettre en évidence les conclusions de l'information : typologie et classification des nappes, tendance à la hausse ou à la baisse.

2.1.3. Estimation de la tendance d'évolution

L'indicateur BSH actuel permet d'évaluer la tendance évolutive du niveau piézométrique par rapport au mois précédent et ainsi d'estimer une hausse, une baisse ou une stabilité du niveau d'eau. Or, cette notion n'a pas de sens puisqu'elle est évaluée avec deux valeurs. Il est donc proposé de faire évoluer cette notion grâce à l'IPS.

Parmi les descripteurs calculés, ceux qui se rapprochent de ces notions sont :

- **Tendanc_an** : pente de la tendance (méthode de Sen) sur l'ensemble de la chronique ;
- **Pente_12der** : pente calculée sur les 12 derniers mois de la série (méthode de Sen) (si pas de pente, alors niveau stable) ;
- **H_B** : indicateur de hausse ou de baisse sur les 3 derniers mois (par ex. HBB, HHH, BHB, ...).

2.2. EXAMEN DE QUELQUES CAS

2.2.1. Piézomètre 00115X0011/P1

Les graphiques associés sont présentés sur l'illustration 6.

Moyenne du mois de mars 2014 : 91.7 m

Valeur mensuelle maximale : 94.1 m

Valeur mensuelle minimale : 77.5 m

Autocorrélation annuelle : ordre 1= 0.379 ordre 2= 0.006 ordre 3= -0.214

Pas de tendance annuelle

Pas de rupture

Baisse par rapport à février mais au moins 2 mois de hausse avant (B1H2)

Tendance sur les 12 derniers mois de la série des valeurs mensuelles : + 77 cm/mois

SPLI_1mois = 1.79 SPLI_6mois= 1.14 SPLI_12mois= 0.87

Classe d'appartenance du SPLI_1 de mars 2014 : "niveaux extrêmement hauts".

La série satisfaisant les conditions d'application d'une analyse probabiliste, on peut raisonner en terme de fréquence (empirique) et de période de retour. Elle est ici supérieure à 20 ans (le SPLI_1 étant supérieur à 1.64)

Sur les 10 dernières années, le SPLI_1 du mois de mars a été négatif 4 années

Sur les 10 dernières années (120 mois), le SPLI_1 a été négatif 48 fois sur 100 (soit environ 1 année sur 2)

Index de position : 86 %

Les descripteurs calculés indiquent donc une nappe à cycles annuels (faible autocorrélation), à forte amplitude de fluctuations (descripteur *Amplitude*), sans tendance annuelle avec des niveaux globalement en hausse sur les 12 derniers mois (descripteur *Tendance_12mois*). Les valeurs de l'IPS pour le mois de mars indiquent quant à elles une situation de "niveaux extrêmement hauts".

Conclusion pour une caractérisation synthétique : nappe à cycles annuels en phase de montée sur les 12 derniers mois, en situation de niveaux extrêmement hauts.

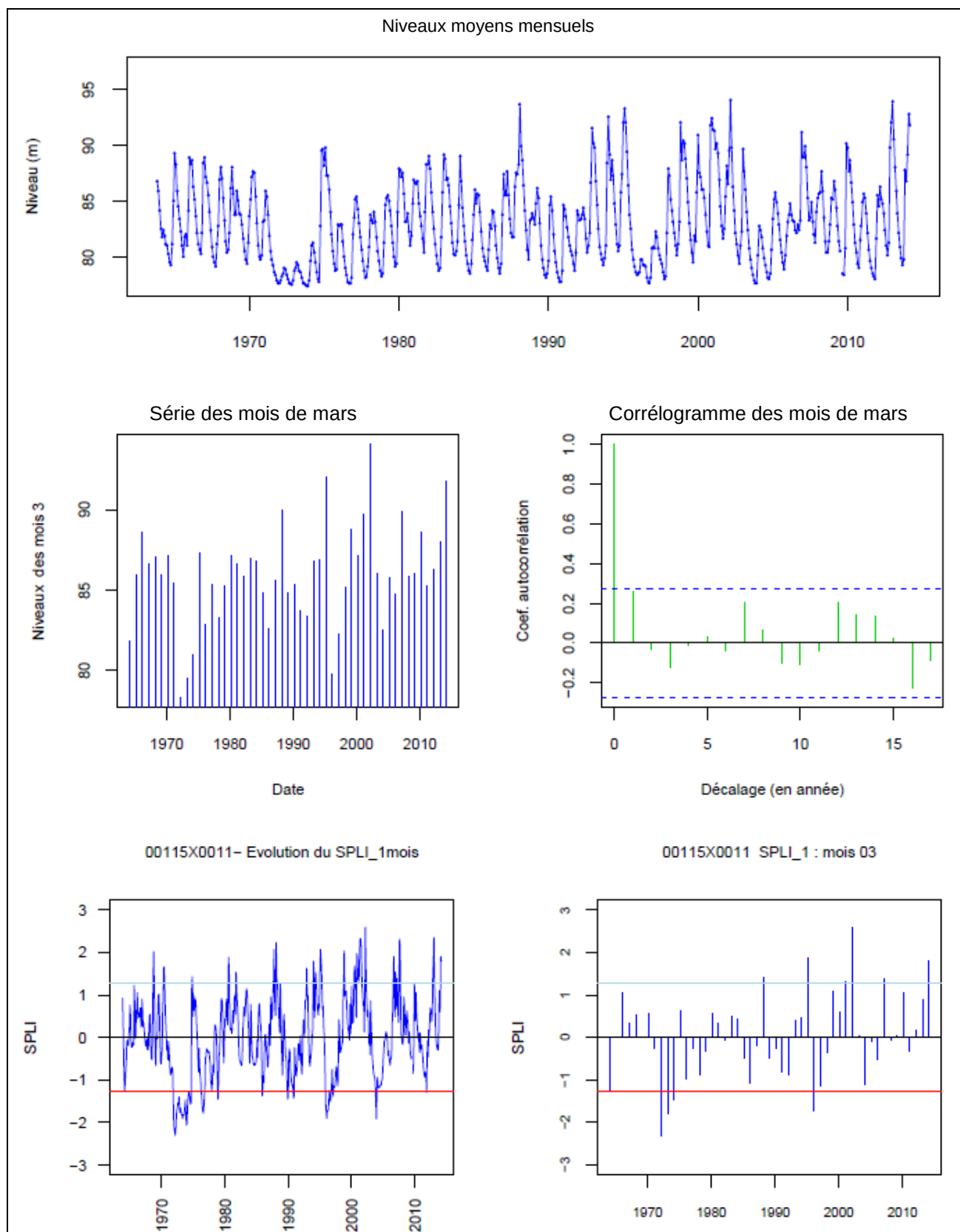


Illustration 6 : Exemple de résultats pour le piézomètre 00115X0011

2.2.2. Piézomètre 07221D0023/S

Les graphiques associés sont présentés sur l'illustration 7.

Autocorrélation annuelle : ordre 1= 0.782 ordre 2= 0.581 ordre 3=0.464

Tendance annuelle significative, pente de 9 cm/an

Rupture significative

En hausse depuis au moins 3 mois

SPLI_1mois = 0.098 SPLI_6mois=0.055 SPLI_12mois=-0.185

Sur les 10 dernières années, le SPLI_1 a toujours été négatif 93 fois sur 100

Sur les 10 dernières années, le SPLI_1 du mois de mars a été négatif 9 années

Index de position : 47 %

Les descripteurs calculés indiquent donc une nappe à cycles pluriannuels, affectée d'une tendance significative à la baisse, mais avec des niveaux en hausse depuis au moins 3 mois. Les valeurs du SPLI pour le mois de mars indiquent quant à elles une situation de "niveaux moyens", mais en valeur légèrement positive. Une situation déficitaire d'au moins 9 ans a précédé.

Conclusion pour une caractérisation synthétique : nappe à cycles pluriannuels, en phase de montée dans un nouveau cycle, en situation de niveaux moyens.

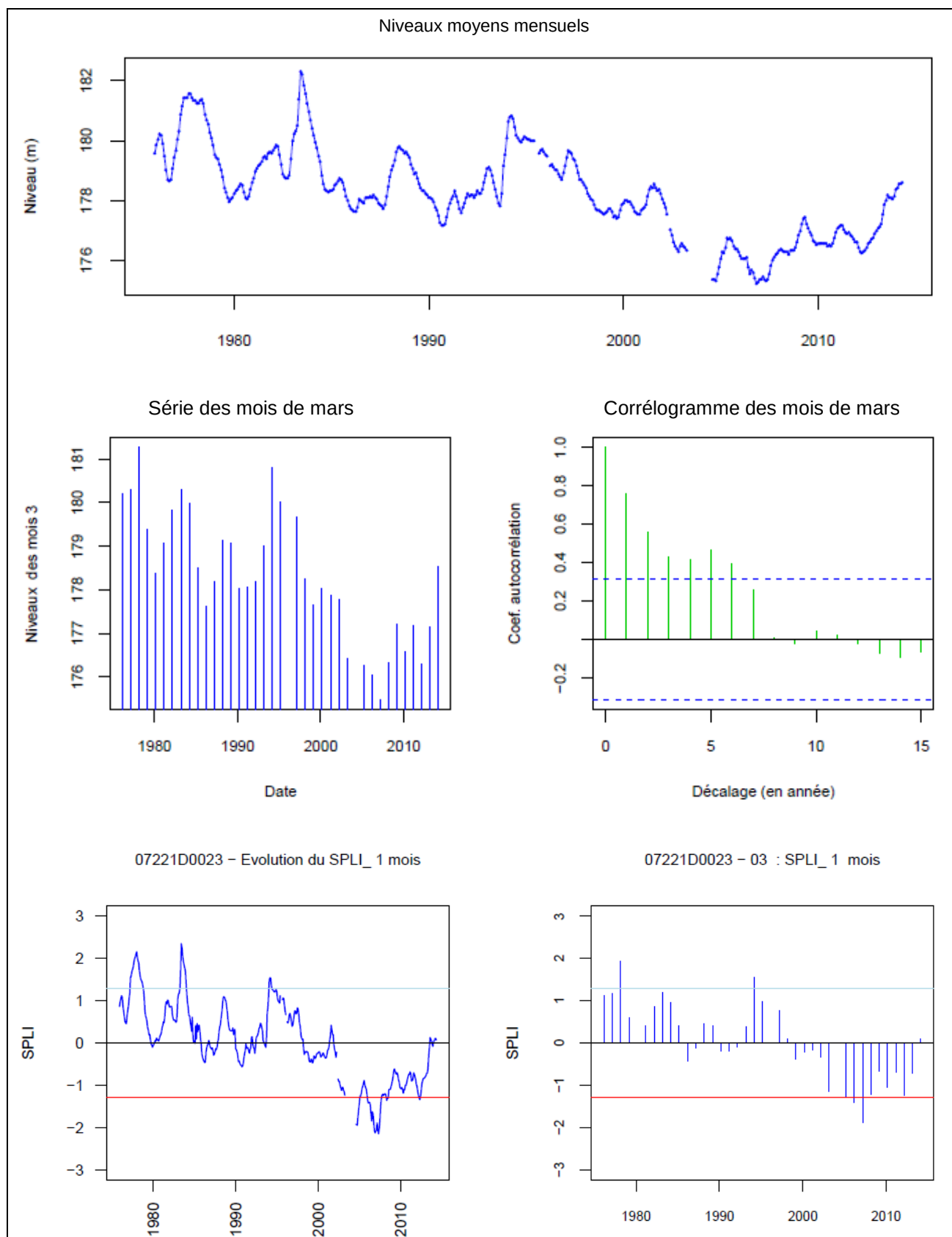


Illustration 7 : Exemple de résultats pour le piézomètre 07221D0023

2.2.3. Piézomètre 02206X0022/S1

Les graphiques associés sont présentés sur l'illustration 8.

Autocorrélation annuelle : ordre 1= 0.903 ordre 2= 0.745 ordre 3=0.604

Tendance annuelle significative, pente de 14.5 cm/an

Rupture significative

En hausse depuis au moins 3 mois

SPLI_1mois = -0.069 SPLI_6mois=-0.21 SPLI_12mois=-0.248

Sur les 10 dernières années, le SPLI_1 a toujours été négatif

Sur les 10 dernières années, le SPLI_1 du mois de mars a toujours été négatif

Index de position : 48 %

Les descripteurs calculés indiquent donc une nappe à cycles pluriannuels, affectée d'une tendance significative à la baisse, mais avec des niveaux en hausse depuis au moins 3 mois. Les valeurs du SPLI pour le mois de mars indiquent quant à elles une situation de "niveaux moyens", mais en valeur légèrement négative. Cette situation « sous 0 » dure depuis au moins 10 ans.

Conclusion pour une caractérisation synthétique: nappe à cycles pluriannuels, en phase de montée d'un nouveau cycle, en situation de niveaux moyens.

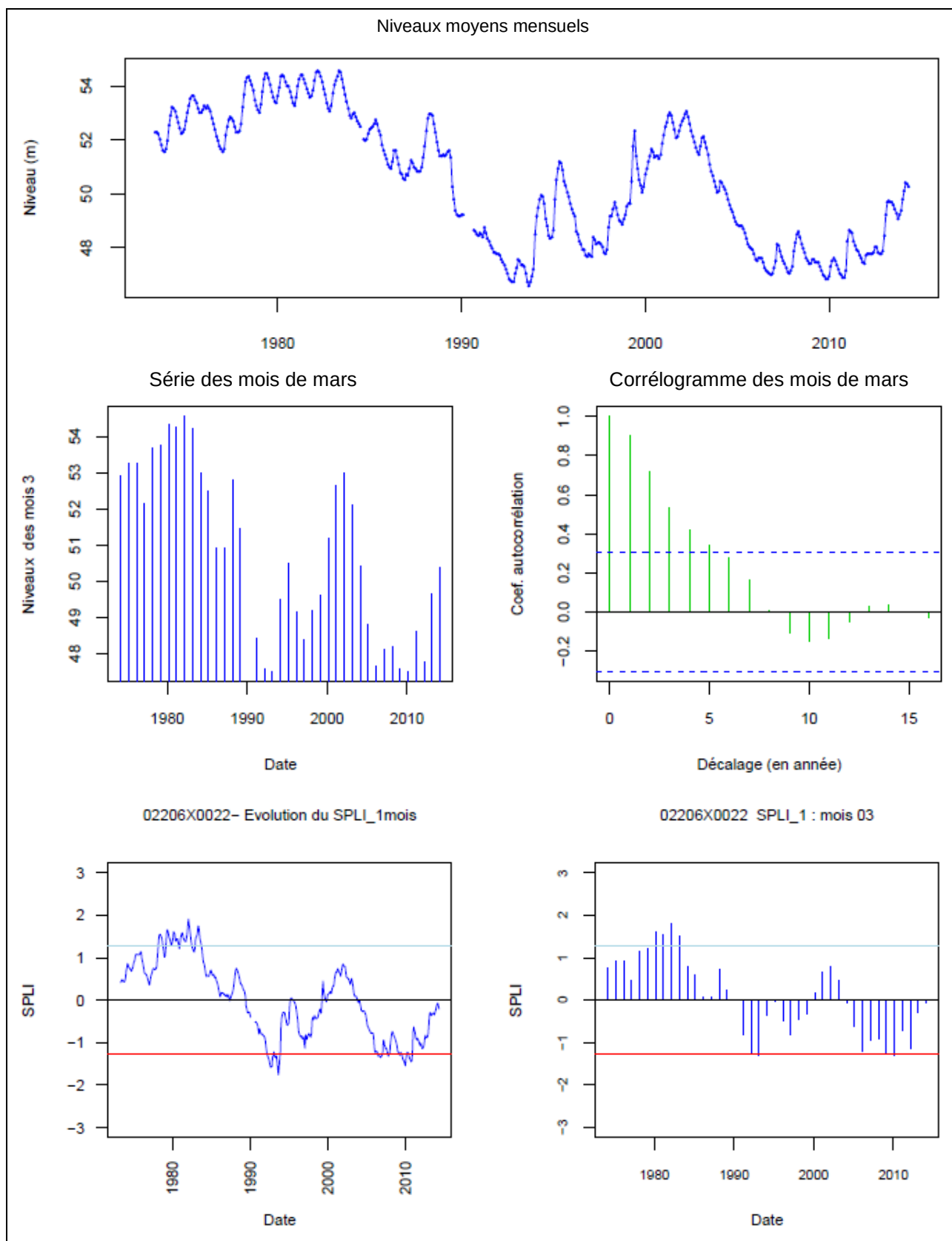


Illustration 8 : Exemple de résultats pour le piézomètre 02206X0022

3. Conclusion

L'analyse de 250 séries piézométriques utilisées pour définir l'indicateur mensuel du Bulletin de Situation Hydrogéologique des Nappes et le calcul d'un nouvel indicateur, l'IPS (*Indicateur Piézométrique Standardisé*) montrent l'intérêt qu'il y a à substituer cet index à l'indicateur du BSH. En effet, par rapport à ce dernier, l'IPS:

- est caractérisé par une valeur purement numérique (comprise entre -3 et +3), contrairement à l'indicateur du BSH (défini en terme de période de retour), ce qui permet de faire aisément des agrégations pour obtenir un indicateur de nappe à partir d'indicateurs ponctuels;
- peut être interprété de façon probabiliste si les conditions d'application sont remplies (en général pour des nappes à cycles annuels) ou simplement comme une comparaison à une valeur moyenne de référence ce qui permet d'intégrer les nappes à cycles pluriannuels ou présentant une tendance continue à la hausse ou à la baisse,
- peut être associé à d'autres indicateurs, comme le SPI (l'index standardisé des précipitations) dont il reprend les principes de calcul et le SSWI (l'index standardisé d'humidité des sols), tous deux utilisés par Météo-France et cartographiés à l'échelle nationale.

L'acceptation de l'IPS en remplacement de l'indicateur du BSH devra être suivie d'une réflexion de la part de l'ensemble des producteurs du BSH nappes pour définir :

- le nombre de classes de valeurs de l'IPS et les bornes de ces classes,
- les notions de "en hausse", "en baisse" et de stabilité : depuis 3 mois, 6 mois, 12 mois ?
- le mode de représentation graphique et cartographique,
- la période de référence.

Par ailleurs, l'identification cartographique des points où les niveaux présentent une tendance continue à la hausse ou à la baisse depuis de nombreuses années serait souhaitable.

Tous les calculs peuvent être faits automatiquement. Dans cette étude, ils ont été réalisés à l'aide du logiciel R (logiciel "libre" de traitements de données et d'analyses statistiques, très largement utilisé par la communauté scientifique).

4. Bibliographie

Seguin J.J. (2014). Proposition d'un indicateur piézométrique standardisé pour le Bulletin de Situation Hydrologique « nappes ». Rapport final.

Vigouroux P., Gironde C. (2011). Bulletin de situation hydrologique des nappes (BSH nappes) – Nouveau cadrage 2012. Rapport BRGM/RP/60538-FR, 60p.

Vernoux J.F., Seguin J.J. (2012). Établissement d'un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines – Année 2. Rapport BRGM/RP-61807-FR