

## Méthode de calcul du déficit hydrique de marais

Guillaume Gianni, Eric Torrejón del Aguila et Philip Brunner

Centre d'hydrogéologie et de géothermie de Neuchâtel, Université de Neuchâtel

Extrait du rapport : « *Dynamique hydrogéologique et bilans hydriques de marais* »

### RÉSUMÉ

Les marais en Suisse ont subi de fortes pressions pendant ces derniers siècles. Outre la biodiversité, ce sont aussi des fonctions écosystémiques essentielles, telles que l'effet tampon des marais pendant les crues, qui sont menacées. La déperdition des marais est en majeure partie causée par la perturbation de leur approvisionnement en eau et par conséquence de leur bilan hydrique. Les bilans hydriques des marais sont caractérisés par une importante évapotranspiration. Avec les précipitations, les flux de surface et souterrains contribuent à l'alimentation en eau des marais. Une quantité d'eau suffisante, permettant une évapotranspiration optimale de la végétation, est indispensable au maintien de la qualité et quantité de la végétation spécifique des marais. L'objectif du présent document est de présenter une méthode basée sur le déficit en eau de pluie par rapport à la demande en évapotranspiration de la végétation. En prenant en compte la dynamique hydrogéologique du marais suite à des précipitations, elle permet d'évaluer le volume d'eau nécessaire au marais, qui devra être fourni par les eaux souterraines sous-jacentes, afin de satisfaire sa demande en évapotranspiration et ainsi d'assurer la pérennité de sa végétation.

### ZUSAMMENFASSUNG

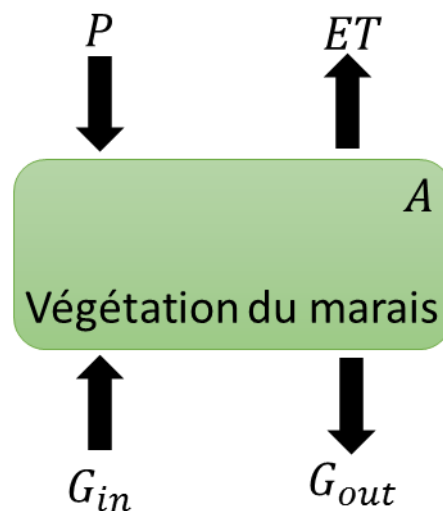
In den letzten Jahrhunderten sind die Moorgebiete in der Schweiz unter starken Druck geraten. Neben der Biodiversität sind auch wesentliche Ökosystemfunktionen, wie die Pufferwirkung von Moorgebieten bei Hochwasser-Ereignissen, gefährdet. Der Verlust der Moorgebiete wird hauptsächlich durch die Störung ihrer Wasserversorgung und somit ihrer Wasserbilanz verursacht. Die Wasserbilanzen der Moorgebiete sind durch signifikante Evapotranspiration gekennzeichnet. Neben den Niederschlägen werden Moorgebiete auch durch Oberflächen- und Grundwasserströmung versorgt. Eine ausreichende Wassermenge, die eine optimale Evapotranspiration der Vegetation ermöglicht, ist wesentlich für die Erhaltung der Qualität und Quantität der spezifischen Vegetation der Moorgebiete. In diesem Bericht wird eine Methode beschrieben, welche auf dem Niederschlagsdefizit bezüglich des Evapotranspirationsbedarfs der Vegetation basiert. Unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Dynamik der Moorgebiete infolge Niederschlägen ermöglicht die Methode die Abschätzung vom Wasserbedarf des Moorgebietes, welches durch Grundwasser versorgt werden muss, um seinen Bedarf an Evapotranspiration zu erfüllen und um die Erhaltung seiner Vegetation zu sichern.

## Contenu

Principes de la méthode.....	3
Exemple d'application .....	5
Discussion et conclusion .....	9

## Principes de la méthode

La présente méthode de calcul du déficit hydrique en eau de pluie de la « végétation du marais » (désigné par « marais » par la suite) est basée sur le bilan hydrique de la végétation du marais (**Figure 1**) et non sur le bilan hydrique de l'aquifère du marais. Le déficit potentiel en eau est évalué sur une période définie par la différence entre les apports d'eau par les précipitations sous forme de pluie  $P$  à la surface du marais et les soustractions d'eau par l'évapotranspiration du marais  $ET$ . Quand la différence est négative, c'est-à-dire une évapotranspiration supérieure aux précipitations, alors ce déficit en eau doit être comblé par d'autres apports afin de maintenir les fonctions physiologiques de la végétation de marais et donc d'assurer sa pérennité.

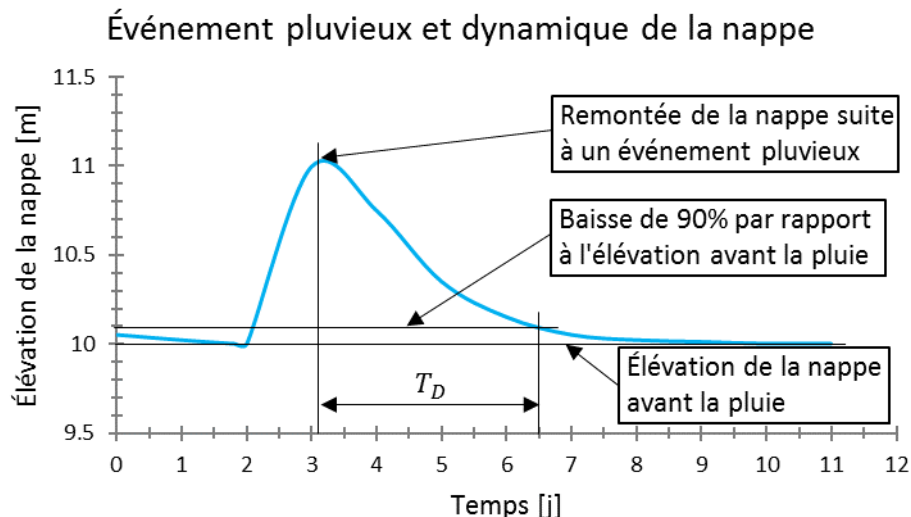


**Figure 1 :** Représentation schématique des composantes du bilan hydrique de la végétation du marais.

L'apport supplémentaire est supposé être supporté par les eaux souterraines  $G_{in}$  dans la zone de marais. Cela implique que l'élévation de la nappe phréatique sous-jacente doit être suffisante afin que la végétation du marais puisse s'alimenter en eau via son réseau racinaire. On considère aussi que la disponibilité de l'eau apportée par les précipitations  $P$  est limitée dans le temps car ces précipitations ne s'accumulent pas sur une durée illimitée dans la zone proche de la surface, zone dans laquelle la végétation peut s'approvisionner en eau. Les eaux de pluie sortent de la zone de marais considérée suite à leur infiltration dans les eaux souterraines puis exfiltration au niveau des limites drainantes  $G_{out}$  (rivières, drains, etc...), et ceci sur une période de temps fonction des propriétés hydrauliques de la surface et du milieu souterrain, ainsi que des conditions aux limites de la zone considérée.

Par conséquent une période de disponibilité de l'eau de pluie  $T_D$ , pour le marais, doit être estimée pour établir ce bilan hydrique (Par défaut, une valeur de 3 jours, estimée pour des sites de marais, peut être utilisée) . Cette estimation peut être faite à partir de l'observation de la dynamique de la surface piézométrique suite à des événements pluvieux afin d'évaluer le temps au bout duquel la surface piézométrique retrouve une élévation proche de son élévation avant la précipitation (**Figure 2**). La valeur de  $T_D$  peut être considérée comme

étant l'intervalle de temps qui sépare le maximum piézométrique suite à l'événement pluvieux et la réduction de 90% de se maximum par rapport à l'élévation piézométrique avant la pluie, en tenant compte de la tendance générale de la nappe (tendance à l'augmentation ou la diminution de la surface piézométrique, due par exemple aux saisons).



**Figure 2 :** représentation schématique de la méthode d'estimation de la valeur la période de disponibilité de l'eau de pluie  $T_D$  suite à un événement pluvieux.

La période sur laquelle le déficit hydrique en eau de pluie de la végétation du marais doit être définie (Période de  $N$  jours  $j$ ), par exemple sur une base annuelle ou pour des périodes intermédiaires. Les valeurs journalières, sur cette période, des précipitations, sous forme de pluie,  $P$  et de l'évapotranspiration du marais  $ET$  doivent être mesurées ou estimées (Par exemple, l'estimation de l'évapotranspiration peut être effectuée par la méthode de Penman-Monteith en fonction des variables climatiques qui sont mesurées). Le déficit journalier  $D_j$  en eau de pluie du marais ainsi que le déficit cumulé  $D_c$  sur la période considérée peut alors être estimé à partir des variables ( $T_D$ ,  $N$  et  $j$ ) et des vecteurs ( $P$  et  $ET$ ) définis. Pour chaque jour  $j$  la valeur des eaux de pluie disponibles  $P_{T_D j}$ , est calculée par la sommation des pluies  $P_j$  sur  $T_D$  jours, à partir du jour courant. La différence entre la valeur de l'évapotranspiration du courant jour  $ET_j$  et celle de  $P_{T_D j}$  est calculée. Si  $ET_j > P_{T_D j}$ , alors il y a un déficit en eau de pluie pour le courant jour et sa valeur  $D_j$  augment la valeur de  $D_c$  (le déficit total sur la période considérée). Le processus est répété pour les  $N$  jour constituant la période considérée. La **Figure 3** présente un organigramme du processus d'estimation. Le processus de calcul peut être réalisé à l'aide d'un tableur ou d'un langage de programmation.

### Estimation du déficit hydrique en eau de pluie du marais

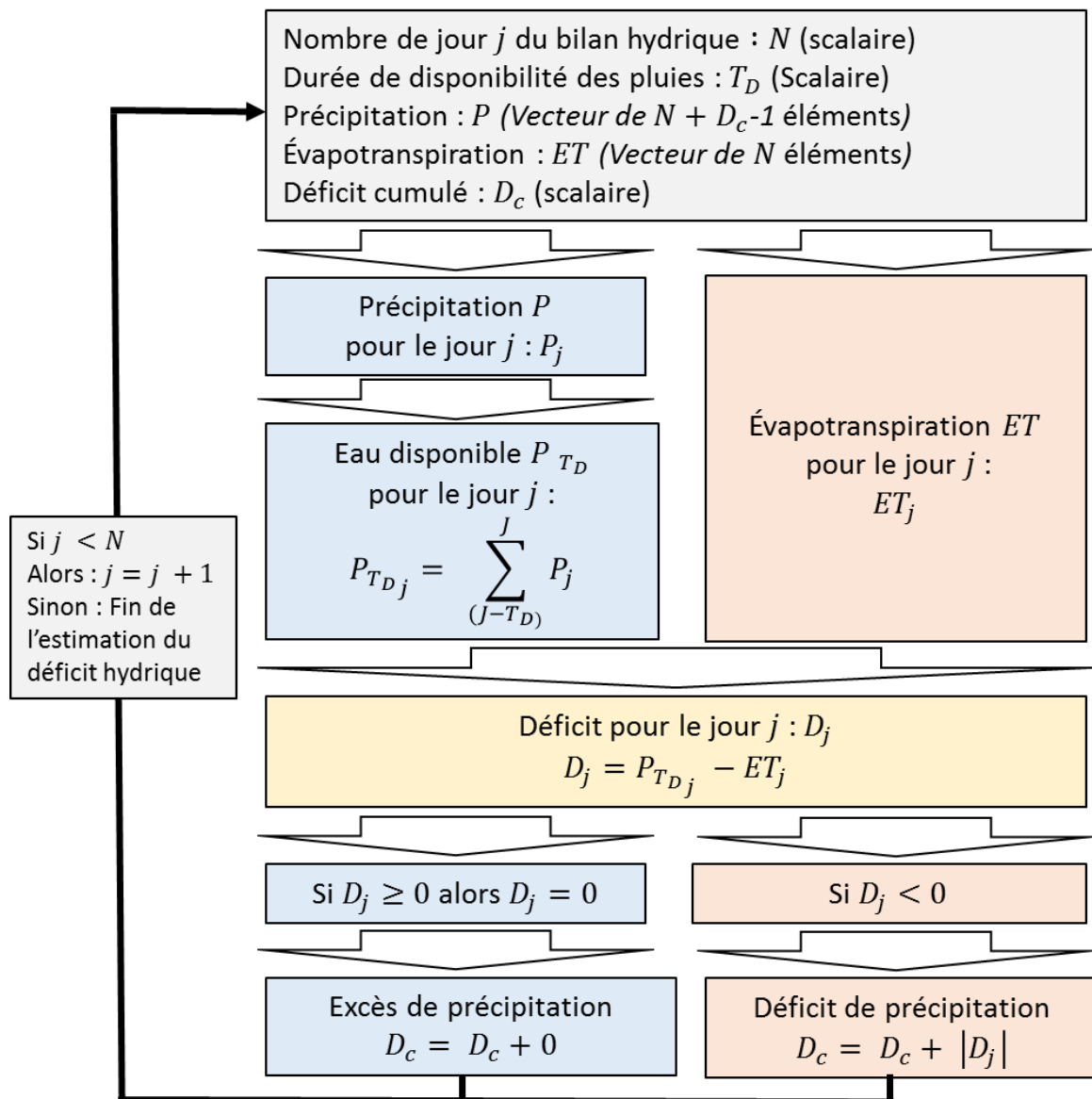
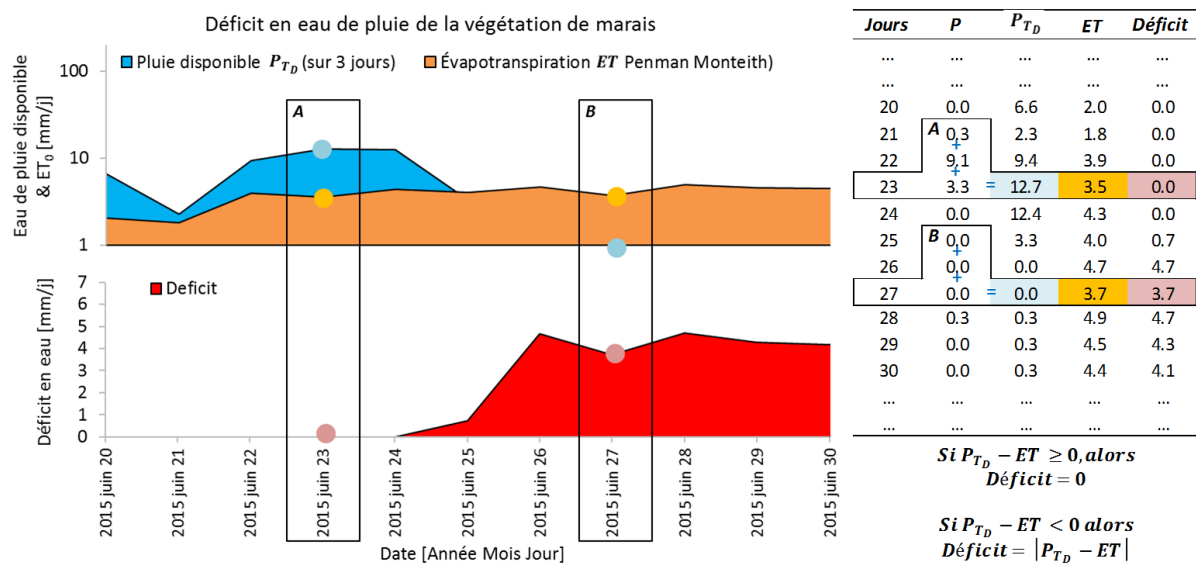


Figure 3 : Organigramme du processus d'estimation du déficit en eau de pluie du marais.

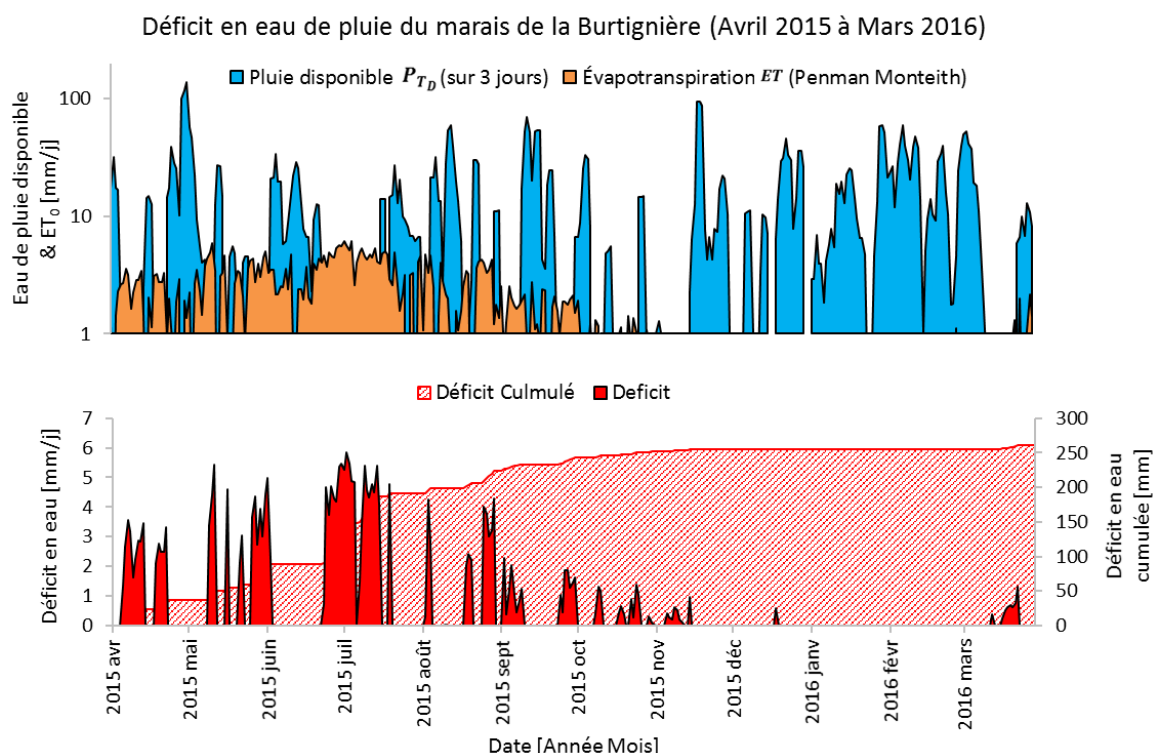
### Exemple d'application

La **Figure 4** montre un exemple du résultat du traitement des données climatiques (Précipitations et évapotranspirations journalières) sur une période de 10 jours (juin 2015). La variable  $P_{T_D}$  est estimé pour chaque jour  $j$  en sommant les valeurs des précipitations sur  $T_D$  jour (ici  $T_D = 3$ , la sommation est représenté dans les zones **A** et **B** du tableau de la **Figure 4**). Le déficit potentiel est alors calculé dans la colonne *Déficit* à partir des colonnes  $ET$  et  $P_{T_D}$  et si la valeur de  $ET > P_{T_D}$ , alors ça valeur est reportée dans la colonne *Déficit*, sinon elle est égale à 0.



**Figure 4:** Exemple de résultat du traitement des données climatiques avec un tableau afin d'estimer la valeur du déficit hydrique en eau de pluie du marais.

La **Figure 5** montrent les résultats obtenus sur un site de marais de l'Arc jurassien pour un période d'une année entre avril 2015 et mars 2016.



**Figure 5 :** Déficit d'eau de précipitation quotidien sur une période de 1 an pour le site de la Burtignière (Avril 2015 – Mars 2016).

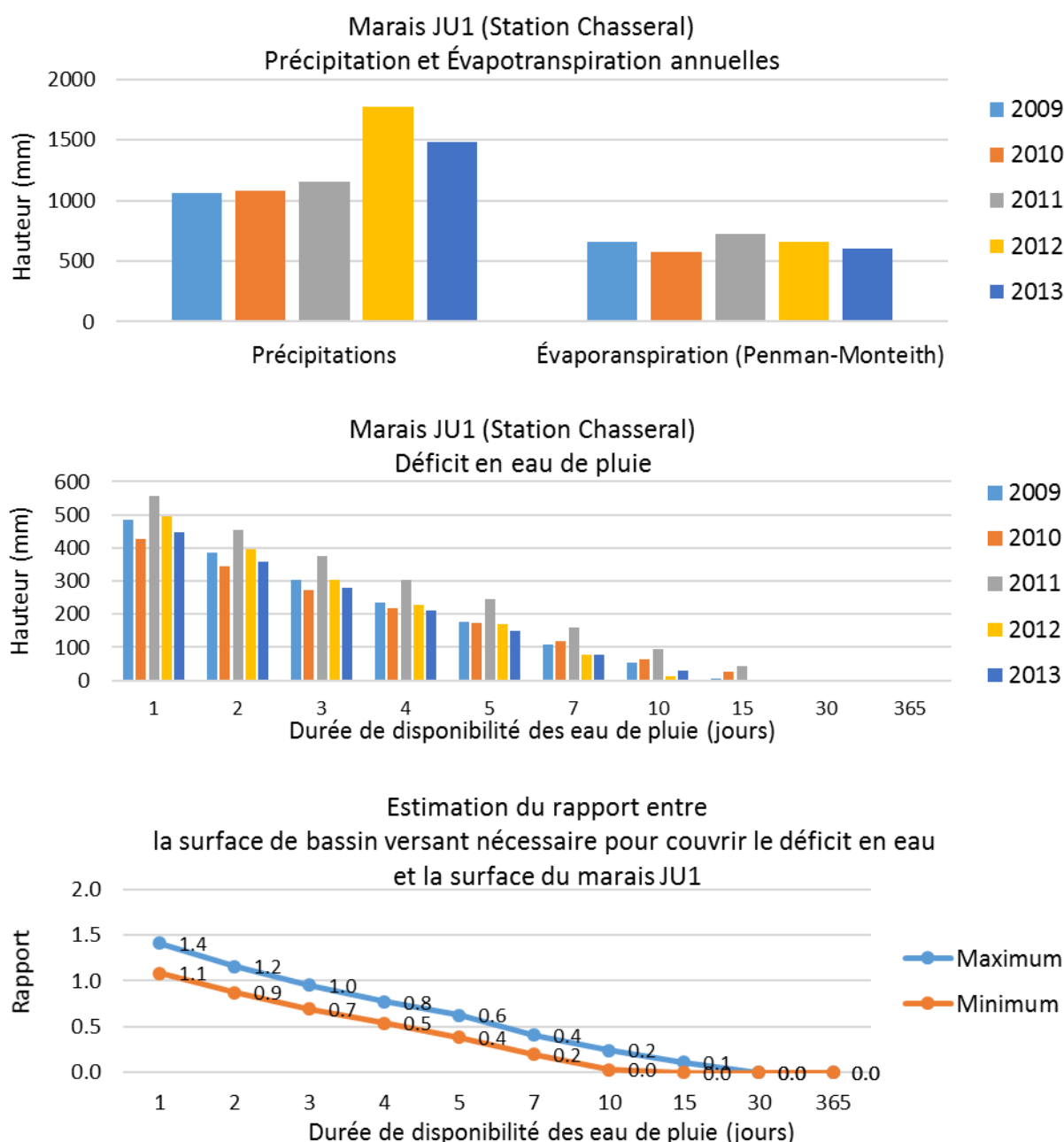
Les résultats des 3 dernières colonnes du tableau sont reportées sur les graphiques adjacents où les zones **A** et **B** sont aussi localisées, soit le jour 23 et 27 du mois de juin 2015. Les valeurs des cases colorées du tableau sont représentées sous forme de disques de la même couleur sur les graphiques. Ces deux zones montrent une absence et une présence de déficit réciproquement. La valeur cumulé du déficit  $D_c$  n'est pas représentée.

La méthode est appliquée à un autre site de marais suisse d'importance nationale, JU1, localisé dans le Jura (570750 – 232280 CH1903-LV03) d'une superficie de 0.95 km<sup>2</sup> et la sensibilité de valeur du déficit estimée par rapport à la valeur de la période de disponibilité de l'eau de pluie  $T_D$  est évaluée. Afin d'évaluer la sensibilité de la méthode sur ce site, plusieurs valeurs de  $T_D$  ont été utilisées (1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 30 jours et 1 année) et les valeurs des variables climatiques de cinq années consécutives (de 2009 à 2013) ont été introduites dans l'estimation du déficit hydrique.

**Figure 5** montrent les résultats obtenus ainsi que l'estimation du rapport entre la surface de bassin versant nécessaire pour couvrir le déficit en eau et la surface du marais JU1. On peut observer une augmentation du déficit hydrique inversement proportionnel à la période de disponibilité en eau de pluie disponible. En effet, sur une base de disponibilité d'une année, les valeurs de déficit hydrique estimées sont de 0. Cela est vrai pour l'ensemble des sites étudiés, car les valeurs des précipitations annuelles sont toujours supérieures aux valeurs d'évapotranspirations annuelles. Pour une valeur de disponibilité en eau de pluie minimale, c'est-à-dire 1 jour, on peut observer que le déficit hydrique tant vers la valeur d'évapotranspiration annuelle. Pendant les événement pluvieux les valeurs d'évapotranspiration sous en générale les plus faibles. En considérant que ces précipitations ne sont plus disponibles pour contribuer à l'évapotranspiration les jours suivants, sans précipitation et pendant lesquels la demande en évapotranspiration est davantage présente, alors cette demande se traduit en grande partie en déficit hydrique. Concernant l'estimation des surfaces de bassin versant nécessaires à l'alimentation en eau permettant de combler le déficit hydrique, celles-ci varient en fonction du déficit hydrique calculé, qui lui-même varie en fonction de la valeur de  $T_D$ .

Il est important de noter que, suivant cette approche, l'estimation des surfaces de bassin versant nécessaires pour couvrir le déficit en eau de pluie suppose que les eaux souterraines sont suffisamment proche de la végétation de marais pour que celle-ci puisse s'y alimenter en eau pendant les périodes estimées de déficit hydrique. Ce sont donc les volumes d'eau extraits au eaux souterraines par la végétation de marais afin de satisfaire sa demande en évapotranspiration. Ce ne sont dès lors pas les surfaces de bassin versant minimales nécessaires pour maintenir l'élévation de la nappe phréatique.

Il faut donc considérer que le maintien d'une élévation suffisante de la surface phréatique, en terme d'accessibilité pour le réseau racinaire du marais, demande potentiellement des surfaces de bassin versant supérieures à celles définies par la méthode. Pour la définition de ces surfaces des études hydrogéologiques sur chaque site sont nécessaires afin de définir les propriétés et les géométries des aquifères de ces marais.



**Figure 5 :** Résultats de l'analyse pour le site de marais JU1 (Jura, canton du Jura) pour les 5 années consécutives 2009, 2010, 2011, 2012 et 2013 et pour des périodes de disponibilité de l'eau de pluie, suite à des précipitations, de valeurs 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 30 jours et 1 année. Le rapport entre la surface du bassin versant permettant de couvrir le déficit en eau de pluie et la taille du marais considéré est estimé.



## Discussion et conclusion

Les mesures climatiques utilisées sont extraites de stations météorologiques OFEV les plus proches des sites de marais concernés. Des mesures faites directement sur les sites de marais peuvent améliorer les estimations.

Les valeurs d'évapotranspiration sont basées sur le calcul de l'évapotranspiration de référence  $ET_0$  (Penman-Monteith) et on estime que cette valeur est proche de l'évapotranspiration du marais  $ET_m$  en supposant que le coefficient de culture des marais  $K_c$  est égale à 1. Des valeurs plus précises de ce facteur pour les différentes végétations de marais peuvent permettre d'améliorer les estimations.

La contribution à la demande en évapotranspiration de l'humidité contenue dans la zone non saturée n'est pas spécifiquement prise en compte, car plus complexe à estimer et dépendante des propriétés du sol. Aussi, les potentiels ruissellements des précipitations entrant ou sortant de la surface du marais considéré ne sont pas estimés et donc ne sont pas ajoutés ou soustraits de l'apport en eau de pluie sur le marais.

Il est aussi important de noter que, suivant cette approche, l'estimation des surfaces de bassin versant nécessaires pour couvrir le déficit en eau de pluie suppose que les eaux souterraines sont suffisamment proche de la végétation de marais pour que celle-ci puisse s'y alimenter en eau pendant les périodes estimées de déficit hydrique. Ce sont donc les volumes d'eau extraits au eaux souterraines par la végétation de marais afin de satisfaire sa demande en évapotranspiration. Ce ne sont dès lors pas les surfaces de bassin versant minimales nécessaires pour maintenir l'élévation de la nappe phréatique. Il faut donc considérer que le maintien d'une élévation suffisante de la surface phréatique, en terme d'accessibilité pour le réseau racinaire du marais, demande potentiellement des surfaces de bassin versant supérieures à celles définies par la méthode. Pour la définition de ces surfaces des études hydrogéologiques sur chaque site sont nécessaires afin de définir les propriétés et les géométries des aquifères de ces marais.

Cependant, en prenant en compte c'est observation, cette approche permet de rapidement estimer les potentielles stress hydriques subis par les marais relatifs à une insuffisance des précipitations. Ces stress hydriques pouvant être annulés par la présence d'une nappe phréatique dont l'élévation est suffisante pour permettre à la végétation de marais de s'y alimenter en eau. Concrètement, le bon fonctionnement de cette alimentation peut être évalué par l'installation de piézomètres dans les sites de marais. Les mesures piézomètres permettent d'une part de vérifier que l'alimentation du marais en eaux souterraines pendant les stress hydriques est effective, par l'observation de fluctuations de l'élévation de la nappe phréatique liées à la demande en évapotranspiration, et d'autre part, ces mesures permettent d'évaluer la valeur du paramètre  $T_D$  (période de disponibilité des eaux de pluies) indispensable pour réduire de l'incertitude sur l'estimation du déficit hydrique du marais.