



Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

## INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/23271

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/23271>



### RESEARCH ARTICLE

## ÉVALUATION DE L'APTITUDE À L'IRRIGATION DES EAUX SOUTERRAINES DU QUATÉNAIRE DE LA PARTIE SUD DU MARAIS POITEVIN (NOUVELLE-AQUITAINE FRANCE) ET DE SON SUBSTRATUM CARBONATÉ DE L'OXFORDIEN SUPÉRIEUR

### ASSESSMENT OF THE IRRIGATION SUITABILITY OF QUATERNARY GROUNDWATERS FROM THE SOUTHERN PART OF THE POITEVIN MARSH (NEW-AQUITAINE FRANCE) AND ITS UNDERLYING UPPER-OXFORDIAN CARBONATE BEDROCK

Anongba Braphond Rodrigue Vincent Benjamin<sup>1</sup>, BongouaAffi Jeanne Devisme<sup>2</sup> and Tohour Privat<sup>3</sup>

1. École Normale Supérieure (ENS), département des sciences et technologies, section des sciences de la vie et de la terre. 08 BP 10 Abidjan 08, Côte d'Ivoire.

2. Laboratoire de pédologie, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières. Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

3. École Normale Supérieure (ENS), département des sciences et technologies, section des sciences de la vie et de la terre. 08 BP 10 Abidjan 08, Côte d'Ivoire.

#### Manuscript Info

##### Manuscript History

Received: 10 February 2026

Final Accepted: 12 March 2026

Published: April 2026

##### Key words:-

Poitevin marsh, wetland, irrigation, groundwater, Salinity.

#### Abstract

The Marais Poitevin, an anthropogenically influenced wetland located in western France, constitutes a critical resource for local agricultural activities. This study aims to evaluate the irrigation suitability of groundwater originating from Quaternary deposits and the Upper Oxfordian carbonate substratum in the southern sector of the marsh. Seventeen groundwater samples were collected and subjected to comprehensive analysis. In situ measurements were conducted for key physicochemical parameters, including pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), redox potential (Eh), temperature, and dissolved oxygen (O<sub>2</sub>). Major and minor ion concentrations were determined using atomic absorption spectrometry and ion chromatography. The analytical results reveal the following order of ion abundance: Na<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> among cations, and Cl<sup>-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> among anions. Piper diagram interpretation identifies two predominant hydrochemical facies: Na<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup> and Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

"© 2026 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Evaluation based on irrigation indices including electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), soluble sodium percentage (SSP), Kelly's ratio (KR), permeability index (PI), magnesium adsorption ratio (MAR), and total hardness (TH) indicates that groundwater from the Upper Oxfordian located along the marsh periphery is suitable

**Corresponding Author:-**Anongba Braphond Rodrigue Vincent Benjamin

**Address:-**École Normale Supérieure (ENS), département des sciences et technologiques, section des sciences de la vie et de la terre. 08 BP 10 Abidjan 08, Côte d'Ivoire.

for the irrigation of salt-tolerant crops cultivated on well-drained soils. Conversely, groundwater from the central marsh area, characterized by elevated salinity, is deemed unsuitable for conventional irrigation practices. These findings underscore the necessity for integrated and adaptive water resource management strategies to preserve this vulnerable ecosystem.

## **Introduction:-**

### **Contexte et justification:-**

Les zones humides, en tant qu'écosystèmes d'interface entre les systèmes aquatiques et terrestres, jouent un rôle fondamental dans le maintien des équilibres hydrologiques, la régulation climatique, la séquestration du carbone, la conservation de la biodiversité et la fourniture de nombreux services écosystémiques (Mitsch et Gosselink, 2000 ; Junk et al., 2013). Leur valeur écologique et socio-économique est aujourd'hui largement reconnue. Toutefois, leur forte attractivité pour les activités humaines, notamment l'agriculture, l'urbanisation et l'industrialisation, a entraîné leur dégradation rapide à l'échelle mondiale. En Europe, il est estimé que plus de 60 % des zones humides ont disparu entre 1950 et 1970, principalement sous l'effet des aménagements anthropiques (Fustec et Lefeuvre, 2000 ; Mitsch et Gosselink, 2000). Le Marais Poitevin, deuxième plus grande zone humide de France après la Camargue, constitue un exemple de ces dynamiques d'anthropisation. Modélisé depuis le Moyen-Âge par des opérations successives d'assèchement et d'endiguement, cet espace a vu sa structure hydrologique naturelle profondément altérée pour permettre l'extension de la surface agricole utile. Ces aménagements, intensifiés au XX<sup>e</sup> siècle, ont entraîné la perte de plus de 50 % des prairies humides (Yassin, 2023 ; Binet et al., 2009 ; Yanis, 2004) et la transformation du paysage en un espace dominé par une agriculture intensive et fortement consommatrice d'eau (Chambre d'agriculture 17/79 et Coop de l'eau 79, 2018).

L'organisation actuelle de la production agricole repose principalement sur la céréaliculture (blé, maïs, orge, sorgho), les oléagineux (colza, tournesol, soja) et l'élevage, dont les besoins en eau sont concentrés sur la période estivale (juin-août). Cependant, le régime pluviométrique régional est caractérisé par une forte saisonnalité avec près de 50 % des précipitations annuelles concentrées entre octobre et février (Anongba, 2007 ; Camuzard, 2000). Cette situation impose un recours massif à l'irrigation, mobilisant en particulier les ressources en eaux souterraines des formations quaternaires et du substratum jurassique sous-jacent. La qualité chimique de ces ressources hydriques soulève néanmoins des préoccupations majeures. En effet, plusieurs travaux ont documenté la forte minéralisation des eaux du Marais Poitevin, témoignant d'une présence significative de sels dissous d'origine géogénique et marine (Anongba et al., 2024 ; Anongba et al., 2023 ; Hantzpergue, 1988 ; Salin, 1969). L'utilisation de telles eaux en irrigation, expose les sols à un risque accru de salinisation, processus reconnu comme un facteur majeur de dégradation de la fertilité des sols agricoles dans de nombreuses régions du monde (Amouri, 2016 ; Hamdoud, 2012 ; Lobna et al., 2007 ; Challita et Moujabber, 2004).

La salinisation des sols, qu'elle soit primaire ou secondaire, modifie en profondeur leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. Elle se traduit notamment par l'accumulation excessive de sodium échangeable sur le complexe adsorbant, favorisant la dispersion des argiles, la dégradation de la structure, la réduction de la perméabilité, ainsi que par l'asphyxie racinaire et la réduction de l'activité biologique (Mehdi, 2008 ; Ado, 2017). Ces processus compromettent durablement la productivité agricole et menacent la durabilité des systèmes cultureux dans les zones vulnérables telles que le Marais Poitevin. Dans cette optique, la présente étude vise à évaluer l'aptitude à l'irrigation des eaux souterraines du Marais Poitevin, en tenant compte de leur qualité physico-chimique. L'analyse repose sur l'utilisation d'indicateurs reconnus pour leur pertinence dans l'évaluation de la qualité des eaux à usage agricole. Ce sont la conductivité électrique (CE), les solides totaux dissous (TDS), la dureté totale (DT), le rapport d'adsorption du sodium (SAR), le pourcentage de sodium soluble (SSP), le rapport de Kelly (KR), l'indice de perméabilité (IP) et le rapport d'adsorption du magnésium (MAR). L'intégration de ces paramètres permettra de classer les eaux en fonction de leur aptitude agronomique, d'identifier les contraintes potentielles liées à leur usage et de formuler des recommandations en matière de gestion durable des ressources hydriques, adaptées aux spécificités écologiques et agricoles du Marais Poitevin.

### **Présentation de la zone d'étude:-**

#### **Localisation géographique:-**

Le Marais Poitevin, localisé dans la partie occidentale de la France, constitue la seconde plus vaste zone humide du territoire national après la Camargue. Ancien golf des pictons, cette entité géographique résulte d'un comblement

progressif et d'aménagements anthropiques successifs. Elle s'étend sur environ 70 km, depuis la ville de Niort jusqu'à l'océan Atlantique et couvre une superficie estimée à 964 km<sup>2</sup>. Le Marais Poitevin s'inscrit dans une vaste dépression morphostructurale, encadrée par deux plaines du substratum carbonaté, témoignant de la structure isoclinale des formations jurassiques de la bordure septentrionale du bassin d'Aquitaine (Camuzard 2000 ; Dupuis et al. 1965). Administrativement, cette zone humide s'étend sur deux régions (Pays de la Loire et Nouvelle-Aquitaine) et trois départements (Vendée, Charente-Maritime et Deux-Sèvres). Elle regroupe un total de 82 communes, représentant une population de 161000 habitants selon le recensement de l'INSEE en 2015 (INSEE, 2016), ce qui en fait un espace fortement anthropisé.

**D'un point de vue fonctionnel et hydrologique, le Marais Poitevin peut être subdivisé en trois grandes entités (Anongba, 2007 ; Bernard, 2006) qui sont :**

1. la façade littorale, soumise à l'influence marine, est caractérisée par la présence de vasières tidales et de prés salés dans la baie de l'Aiguillon,
2. Le marais desséché, situé en zone centrale, est protégé des marées par des digues maritimes et des crues hivernales par des digues latérales. Ce secteur, largement aménagé (drainage souterrain, endiguement), est essentiellement dédié à l'agriculture ou au maintien des prairies naturelles,
3. Le Marais Mouillé, localisé en périphérie, constitue la zone d'expansion naturelle des crues hivernales. Non protégé contre les inondations, il se développe le long des principaux cours d'eau et présente un fort dynamisme hydrique saisonnier.

La présente étude porte spécifiquement sur la partie sud du Marais Poitevin, localisée à l'interface des départements de la Charente-Maritime et des Deux-Sèvres, en bordure septentrionale du bassin, à proximité du détroit du Poitou. Cette zone d'étude s'étend de la commune de Bessines, à l'est, jusqu'à celle de Charron à l'ouest (Figure 1). Elle couvre une superficie de 550 km<sup>2</sup> et englobe 27 communes, dont 16 appartiennent à la Charente-Maritime et 11 aux Deux-Sèvres. Sur le plan climatique, le secteur étudié est soumis à un régime océanique tempéré, avec une pluviométrie annuelle moyenne oscillant entre 770 mm à la Rochelle et 840 mm à Niort (Anongba, 2007).

**Contexte géologique et hydrogéologique:-**

La topographie du marais Poitevin se caractérise par une homogénéité altimétrique. Le paysage est ponctué d'îlots dont les altitudes varient entre 10 et 20 m, correspondant soit à des affleurements résiduels de formations calcaro-marneuses ayant échappé au nivellement lors des cycles d'érosions successifs qui ont jalonné l'histoire du marais, soit des formations de cailloutis ou de graviers d'âge quaternaire reposant sur des bancs calcaires plus anciens (Welsch, 1916). Sur le plan géologique, la zone d'étude repose principalement sur un substratum jurassique constitué des formations calcaro-marneuses du Jurassique supérieur, essentiellement de l'Oxfordien et du Kimmeridgien, sauf dans la portion nord-est du secteur d'étude où les formations superficielles recouvrent le Jurassique moyen (Callovien) (Mazeau, 1979).

**Ces unités géologiques sont recouvertes de dépôts meubles d'origine variée :**

- dépôts marins (bri flandrien),
- dépôts fluviatiles (bri fluviatile, terrasses alluviales anciennes et récentes),
- dépôts colluvionnaires et tourbeuses dans certaines zones.

Ces formations superficielles d'épaisseurs variables se superposent ou s'individualisent latéralement selon une organisation spatiale complexe (figure 2), en lien avec l'histoire sédimentaire et hydrogéomorphologique du marais.

**Du point de vue hydrogéologique, deux grands réservoirs aquifères peuvent être distingués dans la zone d'étude :**

1. le réservoir du Malm, constitué des formations du Kimméridgien inférieur et de l'Oxfordien supérieur,
2. le réservoir du Dogger, formé par les unités du Callovien et du Bathonien.

Ces formations aquifères sont libres en périphérie du marais, mais se retrouvent confinées sous les dépôts quaternaires au sein du marais. Ainsi, l'Oxfordien supérieur, largement présent dans la zone d'étude, constitue le soubassement dominant du Marais Poitevin et est recouvert dans la majeure partie du secteur d'étude par des formations meubles d'origine quaternaire.

### Contexte pédologique:-

La Pédogénèse du Marais Poitevin résulte essentiellement de l'altération de formations géologiques à dominante calcaire, dont la nature lithologique influence directement le développement des horizons pédologiques et la répartition spatiale des unités de sols. L'organisation pédologique de la zone d'étude se caractérise par une mosaïque de types de sols correspondant à des environnements de formation distincts, eux-mêmes tributaires de la topographie, de l'hydrodynamique locale et de l'héritage géologique. L'unité pédologique la plus représentative du Marais Poitevin est constituée par les sols des marais, qui forment l'horizon superficiel typique de cette zone humide (Safège, 2004). Ces sols qualifiés de « jeunes », présentent un profil pédologique de type AC, caractérisé par une absence ou une très faible différenciation d'horizons pédogénétiques, signe d'une évolution récente ou d'un renouvellement fréquent du matériau pédologique (Nijs, 1978). Les terres de groie, largement répandues dans le périmètre d'étude, se développent préférentiellement sur des substrats calcaires ou marno-calcaires. Ces sols, également désignés comme monophasés peu évolués (Nijs, 1978), possèdent un profil A (B) C, où l'horizon intermédiaire (B), lorsqu'il est présent, se distingue par un début de décarbonatation. Leur faible différenciation pédologique reflète une dynamique de formation lente dans un contexte édaphique à faible lessivage.

Les sols tourbeux, quant à eux, se forment dans des dépressions hydroactives, au sein desquelles l'accumulation de matière organique végétale en milieu réducteur et saturé d'eau engendre des horizons organiques riches. Selon la classification de Kubiéna (1953), ces sols correspondent à des tourbes eutrophes, de type hydro-mull calcique ou anmoor, traduisant un enrichissement en bases échangeables, notamment en calcium, en lien avec la nature calcaire du substratum et la stagnation prolongée de l'eau. Enfin, les sols des fonds de vallées, souvent associés aux zones de contact entre les unités géomorphologiques majeures, présentent une texture généralement argilo-limoneuse à limoneuse, voire sablo-limoneuse. Ils se distinguent par une structure fine à modérément développée, souvent conditionnée par une hydromorphie plus ou moins marquée et une dynamique sédimentaire fluviale ancienne ou récente (Safège, 2004).

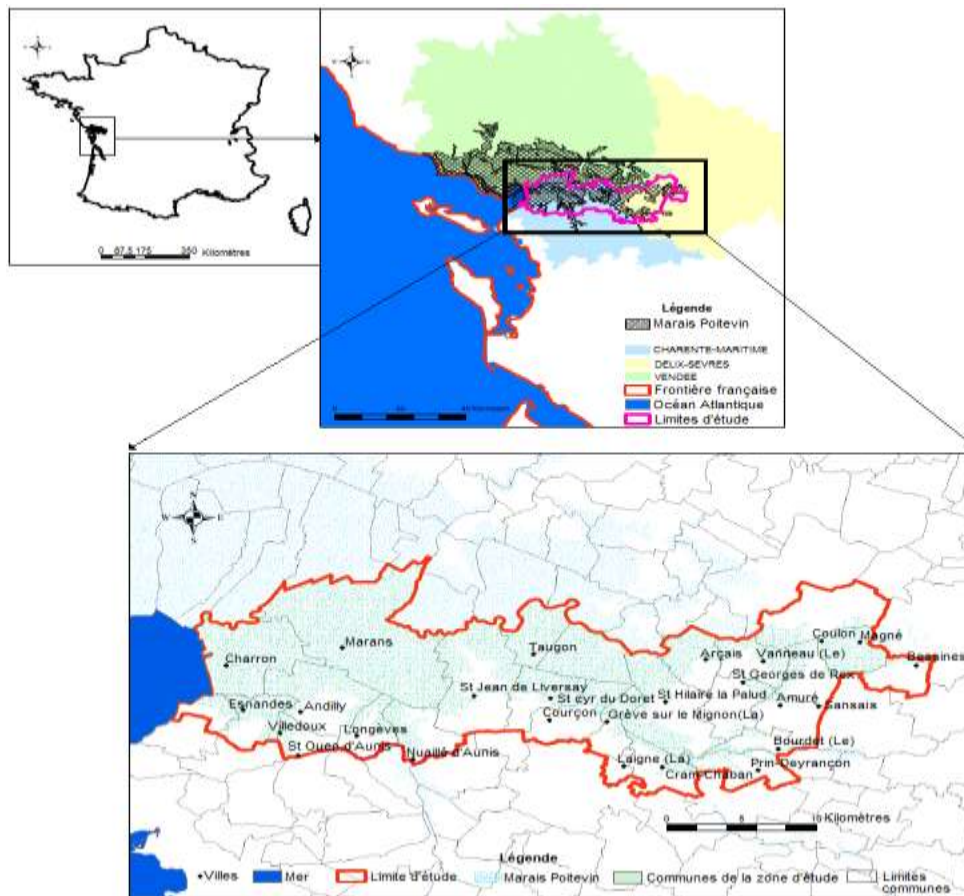


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude(Vincent et al., 2022)

## Méthodologie:-

### Implantation des forages dans le Marais Poitevin:-

Afin de caractériser la qualité physico-chimique des eaux souterraines du Marais Poitevin et d'en évaluer l'aptitude à l'irrigation, un dispositif d'échantillonnage a été mis en place à travers la réalisation de 19 forages répartis sur l'ensemble de la zone d'étude (figure 2). Ces ouvrages ont été réalisés, en mode destructif, à l'aide d'une foreuse à tarière hélicoïdale ( $\varnothing$  150 mm) munie de vis sans fin, assemblées par clavettes, permettant d'atteindre la profondeur souhaitée tout en préservant l'intégrité des horizons traversés. Parmi ces forages, 8 sont localisés sur deux sites expérimentaux représentatif du gradient ouest-est de la zone d'étude. Le premier est situé à Marans en limite occidentale et le second à Saint-Hilaire-la-Palud (SHP), en bordure orientale. 4 de ces ouvrages (Marans F1, Marans F4, SHP F1 et SHP F4) sont aménagés de manière à capter les eaux de l'Oxfordien supérieur, confiné sous les dépôts quaternaires. A noter que le forage Marans F1 était à sec le jour de la campagne d'échantillonnage et n'a pu être intégré aux analyses hydrochimiques. 10 forages supplémentaires (SHP F2, SHP F3, Marans F2, Marans F3, Andilly Alon, Marans Flandre, Arçais, Le Vanneau, Mazin et Taugon) sont implantés au sein même du Marais Poitevin et captent les eaux des formations superficielles du Quaternaire. Les analyses réalisées sur les eaux des forages Marans F2 et Marans F3 ayant révélé des résultats strictement similaires, vraisemblablement en raison de leur proximité spatiale immédiate (3,65 m), ces deux ouvrages ont été regroupés sous la dénomination commune « Marans F2-3 » dans les tableaux des résultats et des figures. En complément, 5 points de captage supplémentaires ont été sélectionnés en amont immédiat du Marais Poitevin, dans les zones agricoles exploitées, afin d'évaluer les caractéristiques des eaux de l'Oxfordien supérieur en contexte extra-marais. Il s'agit de puits d'exploitants agricoles situés dans les communes de Port-Jouet, St Jean de Liversay, Épannes, Andilly ville et Anais Moulin neuf.

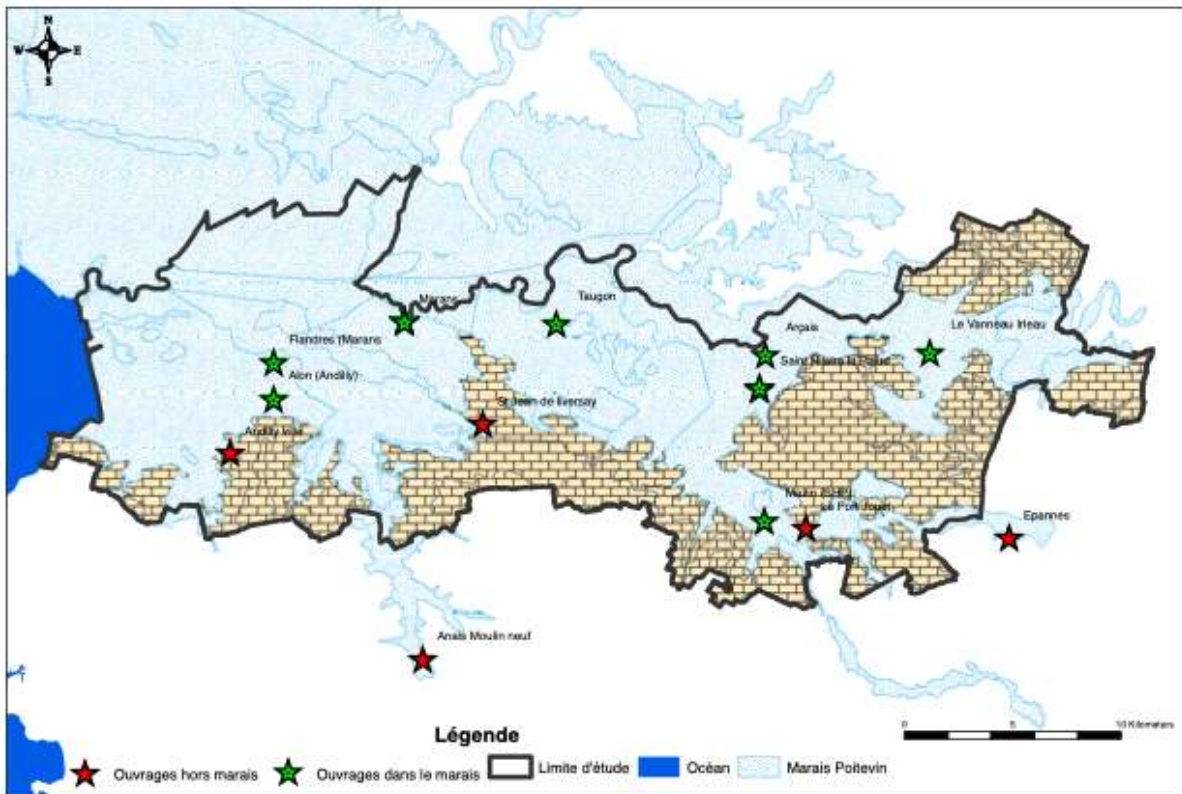


Figure 2 : Disposition des ouvrages sur la zone d'étude dans la partie sud du Marais Poitevin(Braphond et al., 2023)

### Échantillonnage et mesures des paramètres physico-chimiques:-

La présente étude repose sur une campagne d'échantillonnage conduite en février 2007 durant laquelle 17 échantillons d'eau souterraines ont été prélevés sur des ouvrages de captage représentatifs des principales unités géologiques du Marais Poitevin. Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une pompe électrique portable immergée de 2 pouces alimentée par un groupe électrogène de 4 kVa et régulée par un convertisseur de fréquence

assurant un débit constant. Chaque ouvrage a été préalablement purgé de façon à renouveler au moins trois volumes de colonne d'eau, garantissant ainsi la représentativité de l'échantillon vis-à-vis de l'aquifère environnant. Les échantillons ont été recueillis à l'aide de tubulures en polyéthylène haute densité dans des flacons en polyéthylène stériles, préalablement rincés à l'eau du site. Deux types de conservations ont été appliqués. Les échantillons destinés à l'analyse des cations ont été acidifiés in situ à l'aide d'acide nitrique ultrapure ( $\text{pH} < 2$ ), afin de prévenir toute précipitation ou adsorption sur les parois. Ceux destinés à l'analyse des anions ont été conservés sans acidification. L'ensemble des échantillons a été filtré sur site à l'aide de filtres à membrane Millipore de porosité  $0,45 \mu\text{m}$  et  $0,22 \mu\text{m}$ , afin d'éliminer tous les éléments solides restés en suspension. Les flacons ont ensuite été hermétiquement scellés, étiquetés et conservés dans des glacières à température contrôlée ( $2^\circ\text{C} < T < 8^\circ\text{C}$ ), puis acheminés vers le laboratoire dans un délai de moins de 48 heures.

Les paramètres physico-chimiques suivants ont été directement mesurés sur le terrain. Ce sont les teneurs en  $\text{HCO}_3^-$ , la conductivité électrique, la température, le pH, le potentiel d'oxydoréduction, l'oxygène dissous et les solides totaux dissous (TDS). Les teneurs en  $\text{HCO}_3^-$  ont été déterminées par la méthode de titrage de Granen utilisant du HCl 0,1 N. La conductivité électrique, le pH et la température ont été mesurés au moyen d'un appareil multiparamètres WTW pH/Cond 340 i régulièrement calibré à l'aide de tampons standards pour les électrodes pH (pH 4 et 7). Les mesures d'oxygène dissous, le potentiel redox et les solides totaux dissous (TDS) ont été réalisées à l'aide de l'appareil U-22XD de chez Horiba. Les plages de mesure des équipements sont les suivantes. Pour la conductivité électrique, la plage de mesure varie de 0 à 50000 mS/cm avec une résolution de 1 mS/cm. La plage de mesure de la température va de  $-5,0$  à  $+105^\circ\text{C}$  avec une résolution de  $1^\circ\text{C}$ . Celle du pH va de  $-2,00$  à  $+19,99$  upH avec une résolution de 0,01 unité pH. La plage de mesure du potentiel d'oxydoréduction va de  $-1999$  à  $+1999$  mV avec une résolution de 1mV. Celle de l'oxygène dissous va de 0 à 19,9 mg/L avec une résolution de 0,2 mg/L. Quant aux solides totaux dissous, la plage de mesure va de 0 à 65 g/L avec une précision de 1g/L.

L'ensemble des analyses chimiques a été réalisé au laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Avignon, dans des conditions garantissant la traçabilité et la fiabilité des résultats. Les anions des eaux souterraines du Marais Poitevin ont été quantifiés par chromatographie ionique (CI) sur un Dionex ICS 1000 avec une précision analytique estimée à  $\pm 5\%$ . Les cations ont été déterminés par spectrométrie d'absorption atomique à flamme sur un Varian SpectraAA-640 avec une précision  $< \pm 10\%$ . Toutes les concentrations ioniques ont été exprimées en milliéquivalents par litre (meq/L), selon les exigences des calculs ultérieurs.

#### Évaluation de la qualité des analyses effectuées:-

Avant de discuter les résultats de toute analyse chimique, il convient d'évaluer la fiabilité des dosages effectués. La méthode utilisée est appelée balance ionique ou balance d'électroneutralité ( $\mathcal{E}$ ) (Matthess, 1982 ; Singhal et Gupta, 2010). Elle est exprimée sous la forme d'un écart relatif par la formule 1

$$\mathcal{E} = \frac{\sum^+ \text{Cations} - \sum^- \text{Anions}}{\sum^+ \text{Cations} + \sum^- \text{Anions}} \times 100 \quad 1$$

Cette marge de déséquilibre doit être interprétée comme un biais induit lors de l'analyse. En règle générale, les résultats d'analyses sont appréciés selon la classification ci-après.

$-1\% < \mathcal{E} < +1\%$	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
$-5\% \text{ et } -1\% < \mathcal{E} < +1\% \text{ et } +5\%$	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable
$-10\% \text{ et } -5\% < \mathcal{E} < +5\% \text{ et } +10\%$	Fiabilité des résultats d'analyses médiocre
$\mathcal{E} < -10\% \text{ ou } \mathcal{E} > +10\%$	Fiabilité des résultats d'analyses douteuse

D'après cette classification, l'écart admis est estimé classiquement à  $-5\% < \mathcal{E} < +5\%$ . La qualité des analyses a donc été rigoureusement contrôlée par l'établissement d'un bilan ionique pour chaque échantillon et acceptée lorsque que l'erreur relative était inférieure à  $\pm 5\%$

**Étude deshydrofaciès des eaux souterraines:-**

La représentation graphique des faciès hydrochimiques a été réalisée au moyendu diagramme de Piper (Piper 1944), permettant une visualisation synthétique des types d'eau dominants.

Le logiciel utilisé dans cette étude pour la représentation de ce diagramme est la version 8.1 du programme informatique « DIAGRAMMES » du laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Avignon (Simler, 2024).

**Paramètres utilisés pour l'évaluation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation:-**

Afind'évaluer l'aptitude à l'irrigation des eaux souterraines du Marais Poitevin, une approche par une étude multiparamètres a été retenue. Cette démarche repose sur l'analyse quantitative de plusieurs indicateurs physico-chimiques fondés sur les concentrations en certains ions spécifiques. Ainsi, les paramètres étudiés sont, le rapport d'absorption du sodium (SAR), le pourcentage du sodium soluble (SSP), le rapport d'absorption du magnésium (MAR), l'indice de perméabilité (IP), le rapport de Kelly (KR), la dureté totale (DT), les solides totaux dissous (TDS) et la conductivité électrique (CE). La teneur en  $\text{Na}^+$  d'une eau d'irrigation constitue un facteur critique, en raison de son rôle déterminant dans la dégradation structurale et texturale des sols par dispersion des argiles et réduction de la perméabilité. Une forte concentration de  $\text{Na}^+$  dans l'eau du sol entraîne l'échange des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  adsorbés sur le complexe argilo-humique par le  $\text{Na}^+$  compromettant ainsi le mouvement de l'eau et de l'air dans les horizons pédologiques (Collins et Jenkins, 1996). Le risque associé est évalué par le SAR, exprimé selon la formule de l'équation 2 du tableau 1 où les concentrations ioniques sont rapportés en  $\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q}.\text{L}^{-1}$  (Singhal et Gupta, 2010). Il est obtenu par un rapport relatif entre l'ion  $\text{Na}^+$  et les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  présent dans l'eau. Quatre classes de qualité d'eau sont ainsi définies (Domenico et al, 1990 ; Ayers et Westcot, 1985 ; Wilcox, 1955) : excellentes ( $\text{SAR} < 10$ ) ; bonnes ( $10 - 18$ ) ; admissibles ( $18 - 26$ ) et mauvaises ou inadaptées ( $\text{SAR} > 26$ ).

Le pourcentage de sodium soluble (SSP), calculé selon la formule 3 du tableau 1, complète l'évaluation en rapportant les teneurs en  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  à l'ensemble des bases échangeables (Wilcox, 1955). L'interprétation repose sur cinq classes, allant de l'excellence ( $\text{SSP} < 20\%$ ) à l'inaptitude ( $\text{SSP} > 80\%$ ) en passant par bonne ( $20 - 40\%$ ), admissible ( $40 - 60\%$ ) et douteuse ( $60 - 80\%$ ) (Rawat et al, 2018). Le rapport de Kelley (KR) (Kelly, 1940) évalue également la tendance sodique de l'eau, avec un seuil critique fixé à  $\text{KR} > 1$ , indicatif d'un risque d'alcalinisation (formule 6 du tableau 1). L'indice de perméabilité (IP) déterminé selon la formule 5 du tableau 1 (Doneen, 1964) mesure l'impact potentiel des concentrations en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{HCO}_3^-$  sur la capacité de percolation de l'eau dans les sols. Trois classes de perméabilité sont ainsi définies:  $\text{IP} > 75\%$  (eau convenable),  $25 < \text{IP} < 75\%$  (au bonne) et  $\text{IP} < 25\%$  (eau inappropriée) (Srinivasamoorthy et al, 2014). Le rapport d'absorption du magnésium (MAR) permet de diagnostiquer l'effet du  $\text{Mg}^{2+}$  sur la stabilité du sol. Lorsque MAR dépasse 50%, l'eau est considérée comme pouvant induire une alcalinisation des sols, altérant ainsi leur fertilité (Kumar et al., 2007 ; Rawat et al., 2018; Paliwal, 1972; Elango et al., 2003). Ce paramètre est calculé à partir de la formule 4 du tableau 1.

La dureté totale (DT), indicateur de la concentration globale en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , est calculée selon la formule empirique 7 du tableau 1, dans laquelle les teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont exprimées en mg/L et les facteurs 2,5 et 4,1 sont le rapport entre la masse de la formule  $\text{CaCO}_3$  et la masse atomique du calcium et du magnésium respectivement. Les classes définies par Sawyer et Mc Carty (1967) sont les suivantes: eau douce ( $< 75 \text{ mg/L de CaCO}_3$ ), modérément dure ( $75 - 150 \text{ mg/L de CaCO}_3$ ), dure ( $150 - 300 \text{ mg/L de CaCO}_3$ ) et très dure ( $> 300 \text{ mg/L de CaCO}_3$ ). Les solides totaux dissous (TDS) sont un indicateur global de la minéralisation des eaux. Il est déterminé soit par sommation des concentrations ioniques mesurées, soit par évaporation d'un volume connu d'échantillon (Fetter, 2001). Les eaux sont classées en trois catégories: bonnes ( $\text{TDS} < 450 \text{ mg/L}$ ), modérées ( $450 - 2000 \text{ mg/L}$ ) et dangereuses ( $\text{TDS} > 2000 \text{ mg/L}$ ). Enfin, la conductivité électrique (CE), qui est égale à l'inverse de la résistance électrique sur un centimètre cube d'eau (Charles, 2002 ; Hem, 1985), mesurée à  $25^\circ\text{C}$ , traduit la charge ionique totale de l'eau et constitue un paramètre clé pour évaluer le risque de salinisation du sol. Selon la classification de Wilcox (1955), quatre classes de risque sont établies : faible ( $\text{CE} < 250 \mu\text{S/cm}$ ), moyen ( $250 - 750 \mu\text{S/cm}$ ), élevé ( $750 - 2250 \mu\text{S/cm}$ ) et très élevé ( $\text{CE} > 2250 \mu\text{S/cm}$ ). Une conductivité excessive limite la disponibilité de l'eau pour les plantes en créant une contrainte osmotique, réduisant ainsi le rendement agricole (Ayers et Westcot, 1985). Chaque paramètre a été déterminé à partir des données analytiques obtenues lors de la campagne d'échantillonnage de février 2007, et leur interprétation croisée a permis une évaluation fine et exhaustive de la qualité des eaux souterraines du Marais Poitevin en vue de leur utilisation à des fins agricoles.

**Tableau 1 : Formules empiriques standards permettant d'évaluer l'aptitude des eaux à l'irrigation**

Abréviation	Nom du Paramètre	Formule empirique standard	N°	Unité	Références bibliographiques
SAR	Rapport d'absorption du sodium	$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}$	2	(meq/l) <sup>1/2</sup>	Richards (1954) ; Ayers and Westcot (1985)
SSP	Pourcentage du sodium soluble	$SSP = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \times 100$	3	%	Wilcox (1955), Todd (1980)
MAR	Rapport d'absorption du magnésium	$MAR = \frac{(Mg^{2+})}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})} \times 100$	4	%	Paliwal (1972)
IP	Indice de perméabilité	$IP = \frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3^-})}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+)} \times 100$	5	%	Doneen (1964) ; Siamak et Srikantaswamy (2009)
KR	Rapport de Kelly	$KR = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$	6		Kelly (1940)
DT	Dureté totale	$DT = 2.5(Ca^{2+}) + 4.1(Mg^{2+})$	7	mg/l	Sawyer and Mc Carty, (1967)

**Résultats:-****Présentation des resultants:-****Les eaux souterraines du quaternaire dans le Marais Poitevin:-**

Les températures des eaux des formations du quaternaire dans le Marais Poitevin sont assez homogènes et varient de 9,8°C à Taugon à 14,5°C sur le site expérimental de Marans. La température de ces eaux reflète celle de la saison hivernale avec une valeur moyenne de 13,2°C (n = 7 ;  $\sigma = 0,9$  ;  $\sigma/m = 12$  %). Ces eaux sont neutres avec des valeurs de pH qui varient de 6,76 à 7,75 (m=7,2 ; n =9 ;  $\sigma = 0,4$  ;  $\sigma/m = 6$  %). Elles sont modérément à fortement minéralisées avec des valeurs de conductivité qui vont de 910 mS.cm<sup>-1</sup> à Taugon à 37100 mS.cm<sup>-1</sup> sur le site expérimental de Marans (m = 8063mS.cm<sup>-1</sup> ; n = 9 ;  $\sigma = 11640$  ;  $\sigma/m = 144$  %). Les valeurs du potentiel d'oxydo-réduction vont de -169 mV sur le site expérimental de Marans à 218 mV à Andilly Alon (n = 9 ;  $\sigma = 137$  ;  $\sigma/m = 858$  %). Quant aux éléments totaux dissous (TDS), les valeurs obtenues sont comprises entre 600mg/L et 22000mg/L.

Les teneurs en bicarbonates mesurées dans les échantillons des eaux du Quaternaire varient de 5,72még.L<sup>-1</sup> dans les eaux de Taugon à 353,10még.L<sup>-1</sup> dans celles du site expérimental de Marans. Le seul ouvrage du Quaternaire présentant une faible quantité de calcium se situe à Le Vanneau (1,70még.L<sup>-1</sup>). Hormis celui-ci, les teneurs rencontrées dans les eaux des autres ouvrages du Quaternaire fluctuent entre 5,17 még.L<sup>-1</sup> à Marans Flandres et 21,15még.L<sup>-1</sup> à Saint Hilaire la Palud. Les teneurs en magnésium des eaux des formations du Quaternaire sont comprises entre 1,51még.L<sup>-1</sup> à Taugon et 72,33még.L<sup>-1</sup> sur le site expérimental de Marans. Contrairement au calcium et au magnésium, les teneurs en sodium obtenues sont très élevées dans les eaux des formations du Quaternaire. Ces valeurs vont de 1,14még.L<sup>-1</sup> dans les eaux des formations quaternaires de Mazin à 288,39még.L<sup>-1</sup> dans celles des formations quaternaires du site expérimental de Marans. Les teneurs en potassium les plus élevées se rencontrent dans les eaux des sites expérimentaux avec des valeurs qui oscillent entre 0,13még.L<sup>-1</sup> à Taugon et 6,09még.L<sup>-1</sup> sur le site expérimental de Marans (Tableau 2). Les valeurs moyennes des ions majeurs permettent de déduire que l'abondance des cations et des anions dans les eaux de cette partie du Marais Poitevin est la suivante : Na<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Par conséquent, les Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> sont les ions dominants dans les eaux souterraines du Quaternaire.

**Les eaux souterraines de l'Oxfordien supérieur dans le Marais Poitevin:-**

Dans les formations de l'Oxfordien supérieur confinées sous le Quaternaire, les températures des eaux souterraines mesurées varient de 13,7 °C sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud à 14,5 °C sur celui de Marans (m= 14,2 °C ; n = 3 ;  $\sigma = 0,4$  ;  $\sigma/m = 3$  %). La conductivité de ces eaux montre une très forte minéralisation matérialisée

par des valeurs allant de 22500 mS.cm<sup>-1</sup> à Saint Hilaire la Palud à 36100 mS.cm<sup>-1</sup> mesurée sur le forage F4 sur le site expérimental de Marans (m= 29533 mS.cm<sup>-1</sup> ; n = 3 ;  $\sigma$  = 5562 ;  $\sigma/m$  = 18 %). Ces eaux sont légèrement acides avec des valeurs de pH qui vont de 6,7 à Marans à 6,93 à Saint Hilaire la Palud (m = 6,80 ;  $\sigma$  = 0,09 ; n = 3 ;  $\sigma/m$  = 1 %). Le potentiel d'oxydo-réduction de ces eaux varie de -351 à +138 mV sur le site expérimental de Marans (n = 3 ;  $\sigma$  = 203 ;  $\sigma/m$  = 256 %). Les éléments totaux dissous (TDS) ont des teneurs qui sont comprises entre 2940mg/L et 14000mg/L. Les teneurs en bicarbonates mesurées dans les échantillons des eaux des formations de l'Oxfordien supérieur dans le Marais Poitevin varient de 8,16még.L<sup>-1</sup> dans les eaux du site expérimental de Saint Hilaire la Palud à 16,52 még.L<sup>-1</sup> dans celles du site expérimental de Marans.

Les teneurs en calcium rencontrées dans les eaux des ouvrages de l'Oxfordien supérieur dans le Marais Poitevin fluctuent entre 26,46még.L<sup>-1</sup> et 33,78még.L<sup>-1</sup> à Marans. Les teneurs en magnésium des eaux des formations de l'Oxfordien supérieur sont comprises entre 90,93 még.L<sup>-1</sup> à Saint Hilaire la Palud et 92,90 még.L<sup>-1</sup> sur le site expérimental de Marans. Comme dans le cas des eaux des formations du Quaternaire, les eaux des formations de l'Oxfordien supérieur confinées sous le Quaternaire représentent des valeurs de sodium assez élevées avec des teneurs qui vont 103,83még.L<sup>-1</sup> à Saint Hilaire la Palud à 248,37még.L<sup>-1</sup> dans les eaux des formations de l'Oxfordien supérieur à Marans. Les teneurs en potassium les plus élevées se rencontrent dans les eaux du site expérimental de Marans avec une valeur maximum mesurée à 3,86még.L<sup>-1</sup> (Tableau 2). Les valeurs moyennes des ions majeurs permettent de déduire que l'abondance des cations et des anions dans les eaux de cette partie du Marais Poitevin est la suivante: Na<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Br<sup>-</sup>. Contrairement aux eaux précédentes, il y a plus de Mg<sup>2+</sup> que de Ca<sup>2+</sup> et de Br<sup>-</sup> que de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dont les teneurs sont en dessous du seuil de détection. Comme dans les eaux précédentes, les Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> sont les ions dominants dans les eaux souterraines de l'Oxfordien supérieur sous couverture Quaternaire.

#### Les eaux souterraines de l'Oxfordien supérieur hors Marais Poitevin:-

Les températures des eaux mesurées dans les formations de l'Oxfordien supérieur en dehors du Marais Poitevin varient de 13,6 °C à 14,8 °C (m = 14,2 °C ; n = 5 ;  $\sigma$  = 0,4 ;  $\sigma/m$  = 2 %). Cette plage de température est très proche de celle rencontrée dans les formations du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur dans le Marais Poitevin. Les mesures de conductivité obtenue montrent que ces eaux sont faiblement minéralisées par rapport aux deux groupes d'eau ci-dessus mentionnés avec des valeurs qui oscillent entre 731 mS.cm<sup>-1</sup> et 937 mS.cm<sup>-1</sup> (m = 805 mS.cm<sup>-1</sup> ; n = 5 ;  $\sigma$  = 75 ;  $\sigma/m$  = 9 %). Ces eaux sont neutres avec des valeurs de pH qui vont de 6,9 à Port Jouët à 6,96 à Anais moulin neuf (m = 6,93 ; n = 5 ;  $\sigma$  = 0,02 ;  $\sigma/m$  = 0,003 %). Le potentiel d'oxydo-réduction mesuré donne des valeurs qui vont de 80 mV à Port-Jouët à 138 mV à Anais Moulin Neuf (n = 9 ;  $\sigma$  = 54,3 ;  $\sigma/m$  = 37 %). Les valeurs en éléments totaux dissous (TDS) ont des teneurs qui sont comprises entre 470mg/L et 600mg/L. Les teneurs en bicarbonates mesurées sur les eaux des échantillons de l'Oxfordien supérieur hors marais varient de 5,20 még.L<sup>-1</sup> dans les eaux d'Épannes à 6,33 még.L<sup>-1</sup> dans celles de Saint Jean-de-Liversay. Les teneurs en calcium mesurées dans les eaux des ouvrages de l'Oxfordien supérieur en dehors du Marais Poitevin fluctuent entre 6,34még.L<sup>-1</sup> à Andilly ville et 7,79még.L<sup>-1</sup> à Saint Jean-de-Liversay. Les teneurs en magnésium des eaux des formations de l'Oxfordien supérieur hors marais sont comprises entre 0,33még.L<sup>-1</sup> à Épannes et 2,21még.L<sup>-1</sup> à Anais Moulin Neuf. Les valeurs de sodium rencontrées dans ces eaux vont 0,45még.L<sup>-1</sup> à Port-Jouët à 1,01még.L<sup>-1</sup> à Saint Jean-de-Liversay. Les teneurs en potassium les plus élevées se rencontrent dans les eaux de Andilly Ville avec une valeur maximum mesurée à 1,06még.L<sup>-1</sup> (Tableau 2). Les valeurs moyennes des ions majeurs permettent de déduire que l'abondance des cations et des anions dans les eaux de cette partie du Marais Poitevin est la suivante: Ca<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup>. Ces eaux diffèrent complètement des précédentes avec le Ca<sup>2+</sup> et les HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> qui sont les ions dominants.

Tableau 2 :Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines du Marais Poitevin et leurs teneurs en éléments chimiques

Forage	T°C	$\chi$ 25°C mS/cm	pH	Eh mV	O <sub>2</sub> mg/L	TDS g/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> méq/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/L	F <sup>-</sup> méq/L	Cl <sup>-</sup> méq/L	Br <sup>-</sup> méq/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/L	Ca <sup>2+</sup> méq/L	Sr <sup>2+</sup> méq/L	Mg <sup>2+</sup> méq/L	Na <sup>+</sup> méq/L	K <sup>+</sup> méq/L
<b>Eaux Souterraines de l'aquifère du Quaternaire dans le Marais Poitevin</b>																	
Andilly Alon	13,70	1189,00	6,94	218,00	6,50	0,80	1,02	7,12	0,01	1,67	0,01	2,66	9,43	0,01	1,60	1,25	1,24
Taugon	9,80	910,00	7,75	162,00	11,20	0,60	2,83	5,72	0,08	1,01	0,00	0,18	6,74	0,01	1,51	2,17	0,13
Mazin	10,80	1680,00	6,82	48,00	2,20	1,10	5,79	12,36	0,02	1,68	0,01	0,01	18,58	0,02	1,65	1,14	0,22
Le Vanneau	14,20	1289,00	7,43	-111,00	4,70	0,90	0,14	10,92	0,17	2,71	0,01	<	1,70	0,06	4,37	6,55	0,63
Arçais	12,50	2370,00	6,99	30,00	11,20	1,70	2,56	12,40	0,02	9,26	0,02	0,73	8,88	0,01	4,14	11,51	0,54
Marais Flandres	12,20	10780,00	7,46	-155,00	4,30	8,00	6,15	12,96	0,10	85,74	0,17	0,21	5,17	0,02	14,90	74,99	2,20
Marais F2-3	14,50	37100,00	6,76	-169,00	1,60	22,00	12,69	353,10	0,23	356,08	0,68	<	10,38	0,60	72,33	288,39	6,09
SHP F3	12,60	5850,00	6,81	-41,00	1,00	3,90	29,33	12,52	0,06	23,73	0,05	<	21,15	0,07	14,00	32,32	1,10
SHP F2	12,50	11400,00	7,71	171,00	5,20	7,95	16,75	11,12	<	84,20	0,17	<	11,78	0,07	13,03	86,26	2,60
<b>Eaux Souterraines de l'aquifère de l'Oxfordien supérieur sous couverture Quaternaire dans le Marais Poitevin</b>																	
Marais F1	14,50	30000,00	6,79	138,00	3,10	14,00	13,85	8,80	0,43	291,06	0,57	<	33,78	1,80	91,58	182,21	3,20
Marais F4	14,50	36100,00	6,70	-351,00	2,70	2,94	7,34	16,52	0,50	355,08	0,69	<	26,46	2,78	92,90	248,37	3,86
SHP F4	13,70	22500,00	6,93	-25,00	4,90	5,38	12,19	8,16	0,48	211,80	0,41	<	30,77	2,74	90,93	103,83	2,10
<b>Eaux Souterraines de l'aquifère de l'Oxfordien supérieur en dehors du Marais Poitevin</b>																	
Port Jouet	13,90	735,00	6,90	80,00	1,10	0,48	0,50	5,24	0,02	0,69	0,00	0,62	7,04	0,02	0,50	0,45	0,05
Epannes	13,60	731,00	6,92	214,00	6,10	0,47	0,46	5,20	0,01	0,80	0,00	1,12	7,38	0,01	0,33	0,47	0,06
St Jean de Liversay	14,50	937,00	6,92	90,00	7,90	0,60	0,82	6,33	0,02	1,21	0,00	1,30	7,79	0,01	0,49	1,01	0,50
Andilly Ville	14,80	811,00	6,93	197,00	4,60	0,55	0,85	5,88	0,01	0,90	0,00	0,90	6,34	0,01	0,54	0,87	1,06
Anais Moilin Neuf	14,20	809,00	6,96	138,00	10,00	0,53	0,75	6,16	0,04	0,98	0,00	0,80	6,46	0,05	2,21	0,62	0,05

n.m : non mesuré ; n.a : non analysé ; < : en dessous du seuil de détection

T : température ;  $\chi$  : conductivité électrique ; pH : potentiel d'hydrogène ; Eh : potentiel d'oxydo-réduction ; O<sub>2</sub> : oxygène dissous ; TDS : solides totaux dissous ; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> : sulfates ; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : bicarbonates ; F<sup>-</sup> : fluorures ; Cl<sup>-</sup> : chlorures ; Br<sup>-</sup> : bromures ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : nitrates ; Ca<sup>2+</sup> : calcium ; Sr<sup>2+</sup> : strontium ; Mg<sup>2+</sup> : magnésium ; Na<sup>+</sup> : sodium ; K<sup>+</sup> : potassium.

### Évaluation de la qualité des analyses effectuées sur les eaux du Marais Poitevin:-

Le contrôle de la qualité des résultats d'analyses par la balance ionique a été appliqué à toutes les analyses réalisées. Les résultats obtenus montrent que 100 % des 17 analyses réalisées présentent une balance ionique  $-5\% < \epsilon < +5\%$  (figure 3). Selon la classification, la fiabilité de ces résultats d'analyses est acceptable.

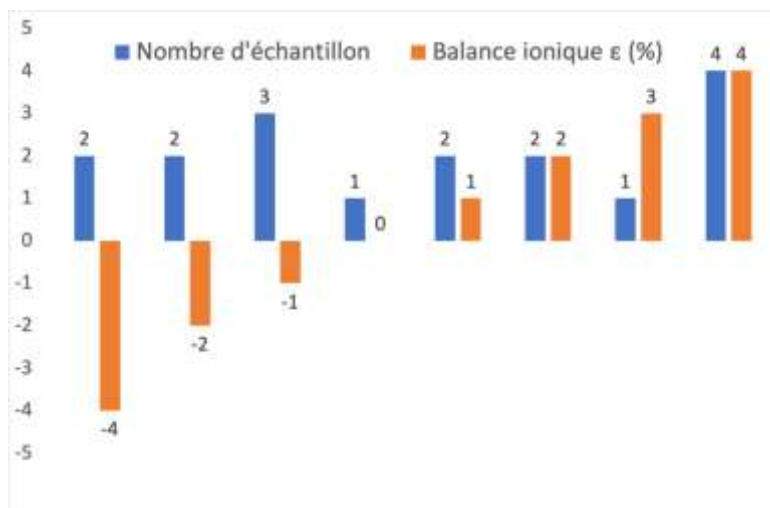


Figure 3 : Évaluation de la fiabilité des résultats d'analyses chimiques des échantillons des eaux souterraines du Marais Poitevin

### Étude des hydrofaciès des eaux souterraines du Marais Poitevin:-

Les eaux prélevées sur le site expérimental de Marans présentent un hydrofaciès  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$  indépendamment de l'aquifère (Oxfordien supérieur ou Quaternaire). Celles prélevées sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud ont, contrairement aux eaux précédentes, des hydrofaciès différents en fonction des aquifères. Ainsi, les eaux échantillonnées dans l'ouvrage SHP F2 qui capte les formations du Quaternaire présentent un hydrofaciès  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ . A l'inverse, celles prélevées dans le forage SHP F3 qui capte le même aquifère que le forage SHP F2 présentent un hydrofaciès qui est plutôt  $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-}$ . Les eaux échantillonnées dans l'ouvrage SHP F4 qui capte les formations de l'Oxfordien supérieur confinées sous le Quaternaire dans le Marais Poitevin sont de nature  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ . Les eaux prélevées dans les ouvrages du Quaternaire en dehors des sites expérimentaux présentent des hydrofaciès différents. Les eaux prélevées à Mazin, Andilly Alon et Taugon sont  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ , celles échantillonnées à Marans Flandre sont  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ , celles prélevées à Arçais et à Le Vanneau sont  $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ . Les eaux prélevées dans les formations calcaires de l'Oxfordien supérieur en dehors du Marais Poitevin présentent un hydrofaciès unique qui est  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  (figure 4).

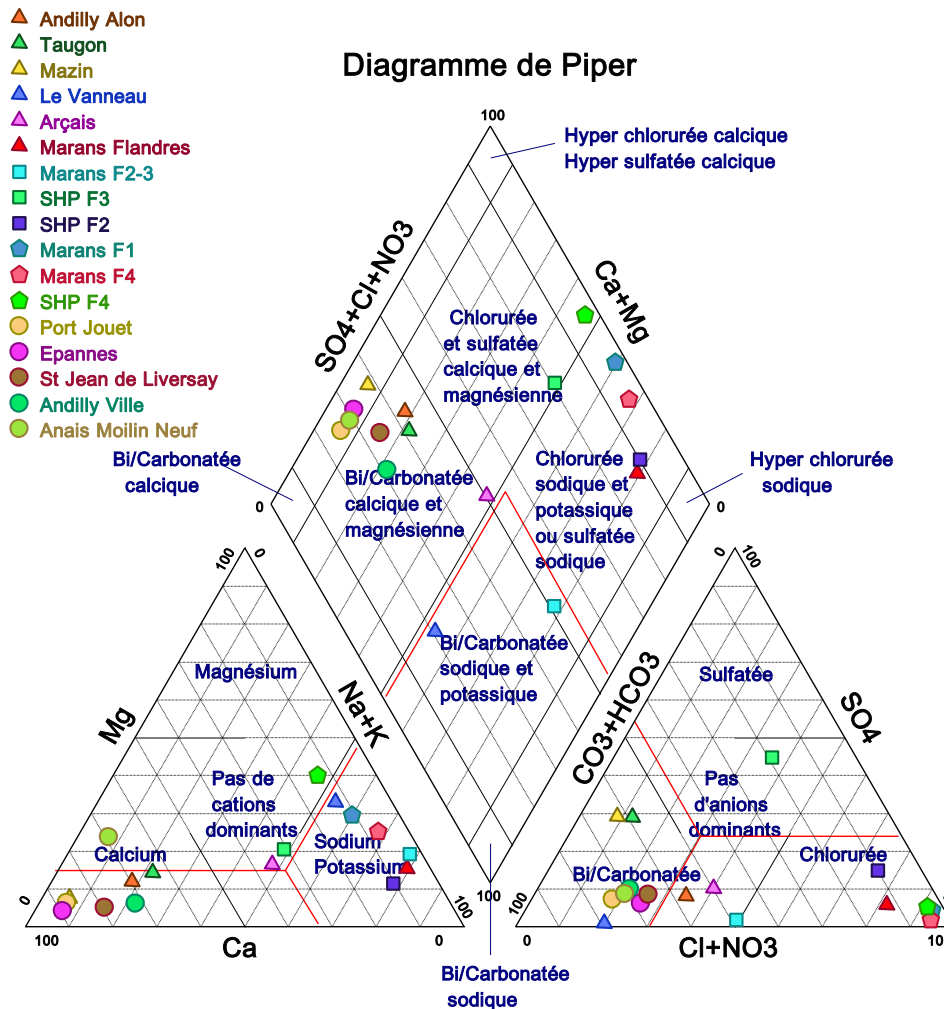


Figure 4 : Représentation sur le diagramme de Piper des résultats des analyses des eaux souterraines du Marais Poitevin et des eaux souterraines en dehors du Marais Poitevin.

### Détermination de l'aptitude à l'irrigation des eaux souterraines du Marais Poitevin:-

#### La dureté totale (DT):-

Les valeurs de dureté totale obtenues sur les eaux souterraines du Quaternaire dans le Marais Poitevin varient de 302,96 mg/L  $\text{CaCO}_3$  à Le Vanneau à 4123,90 mg/L  $\text{CaCO}_3$  sur le site expérimental de Marans. En dehors des eaux de Le vanneau qui sont à la limite entre les eaux dures et très dures, toutes les eaux souterraines rencontrées dans

cette partie du Marais peuvent être qualifiées de très dures. Les valeurs de dureté totale des eaux souterraines des formations de l'Oxfordien supérieur confinées sous celles du Quaternaire varient entre 5954,65 mg/L CaCO<sub>3</sub> et 6255,80 mg/L CaCO<sub>3</sub> sur le site expérimental de Marans. Ces eaux sont à ranger dans la catégorie des eaux très dures. Les eaux souterraines des formations de l'Oxfordien supérieur localisées en dehors du Marais Poitevin, ont des valeurs de dureté totale qui oscille entre 344,81 mg/L CaCO<sub>3</sub> à Andilly ville et 433,63 mg/L CaCO<sub>3</sub> à Anais moulin neuf. Toutes ces eaux sont très dures avec cependant des valeurs qui sont proches de la borne supérieure des eaux dures (tableau 3 et 4).

#### **b. Détermination de l'aptitude à l'irrigation des eaux du Marais Poitevin à l'aide des paramètres (SAR, SSP, MAR, KR et IP):-**

- **Eaux du Quaternaire dans le Marais Poitevin:-**

Les valeurs de SAR obtenues sur les eaux des formations du Quaternaire varient entre 0,53 à Andilly Alon et 44,85 au niveau du site expérimental de Marans. Celles de SSP obtenues vont de 6,30% à Mazin à 79,36% à Marans Flandres. Quant à celles de KR, les valeurs calculées oscillent entre 0,06 à Mazin et 3,49 sur le site expérimental de Marans. Les valeurs de MAR varient de 14,54 % à Andilly Alon à 87,45 % à Marans. Enfin, les valeurs de IP varient de 21,78 % à Mazin à 82,78 % à Marans. Dans le cas de cet aquifère, les eaux prélevées au niveau de Le Vanneau, du site expérimental de Marans, à Marans Flandre et sur le forage 2 du site expérimental de Saint Hilaire la Palud ne sont pas aptes pour l'irrigation avec des valeurs de paramètres proches ou au-dessus des seuils critiques (tableau 3 et 4). Hormis ces dernières, les autres sont utilisables pour l'irrigation. Toutefois, les valeurs élevées de conductivité électrique de ces eaux laissent entrevoir un risque très important qu'elles favorisent une salinisation des sols à long terme (tableau 2, 3 et 4).

- **Eaux de l'Oxfordien supérieur sous couverture du Quaternaire dans le Marais Poitevin:-**

Les valeurs du SAR, calculées à partir d'échantillons d'eau prélevés dans cet aquifère oscillent entre 13,31 au niveau du Site expérimental de Saint Hilaire la Palud et 32,15 au niveau de celui de Marans. Celles de SSP obtenues vont de 46,54 % à Saint Hilaire la Palud à 67,88 % à Marans. Quant à celles de KR, les valeurs calculées sont comprises entre 0,85 à Saint Hilaire la palud et 2,08 à Marans. Les valeurs de MAR oscillent entre 73,05 % et 77,83 % à Marans. Enfin, les valeurs de IP varient de 47,31 % à Saint Hilaire la Palud à 68,65 % à Marans. Les paramètres obtenus sur les eaux souterraines de cet aquifère permettent d'affirmer que seules celles du site expérimental de Saint Hilaire la Palud sont utilisables pour l'irrigation. Toutefois, la conductivité électrique excessivement élevée de ces eaux les rendent quasiment inadaptées pour l'irrigation à cause d'un risque trop élevé de possible salinisation des sols (tableau 2, 3 et 4).

- **Eaux de l'Oxfordien supérieur en dehors du Marais Poitevin:-**

Les valeurs du SAR, calculées à partir d'échantillons d'eau prélevés dans cet aquifère s'échelonnent de 0,23 à Port Jouet à 0,50 à St Jean de Liversay. Les valeurs de SSP obtenues vont de 6,27 % à Port Jouet à 21,95 % à Andilly ville. Quant à celles de KR, les valeurs calculées sont comprises entre 0,06 à Port Jouet et Épannes et 0,13 à Andilly ville. Les valeurs de MAR oscillent entre 4,34 % à Épannes et 25,44 % à Anais moulin neuf. Enfin, les valeurs de IP varient de 33,37 % à Anais moulin neuf à 42,51 % à Andilly ville. Les paramètres des eaux souterraines de cet aquifère permettent d'affirmer qu'elles sont toutes utilisables pour l'irrigation malgré des valeurs de conductivité élevées (tableau 2, 3 et 4).

**Tableau 3 : Résultats du calcul des paramètres (SAR, SSP, DT, MAR, IP et KR) des eaux souterraines du Marais Poitevin**

Forage	SAR	SSP (Na) %	DT mg/L	MAR %	IP %	KR
Eaux souterraines de l'aquifère du Quaternaire dans le Marais Poitevin						
Andilly Alon	0,53	18,41	552,45	14,54	31,90	0,11
Taugon	1,07	21,86	413,19	18,34	43,78	0,26
Mazin	0,36	6,30	1013,41	8,17	21,78	0,06
Le Vanneau	3,76	54,18	302,96	71,97	78,08	1,08
Arçais	4,51	48,07	650,98	31,80	61,28	0,88
Marans Flandres	23,67	79,36	1001,76	74,22	82,67	3,74
Marans F2-3	44,85	78,07	4123,90	87,45	82,78	3,49
SHP F3	7,71	48,74	1756,91	39,83	53,15	0,92

SHP F2	24,49	78,17	1239,44	52,53	80,66	3,48
Eaux souterraines de l'aquifère de l'Oxfordien supérieur sous couverture du Quaternaire dans le Marais Poitevin						
Marans F1	23,01	59,66	6255,80	73,05	60,20	1,45
Marans F4	32,15	67,88	5954,65	77,83	68,65	2,08
SHP F4	13,31	46,54	6071,75	74,72	47,31	0,85
Eaux souterraines de l'aquifère de l'Oxfordien supérieur en dehors du Quaternaire dans le Marais Poitevin						
Port Jouet	0,23	6,27	377,63	6,69	34,29	0,06
Épannes	0,24	6,42	386,44	4,34	33,60	0,06
St Jean de Liversay	0,50	15,48	414,98	5,93	37,95	0,12
Andilly ville	0,47	21,95	344,81	7,89	42,51	0,13
Anais Moulin Neuf	0,30	7,13	433,63	25,44	33,37	0,07

SAR : rapport d'absorption du sodium ; SSP : pourcentage de sodium soluble ; DT : dureté totale ; MAR : rapport d'absorption du magnésium ; IP : indice de perméabilité ; KR : le rapport de Kelly

**Tableau 4 : Classification des eaux souterraines du Marais Poitevin en fonction de leur aptitude à l'irrigation**

Paramètres	Plages de valeurs	Classes	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%) d'échantillons
SAR (Wilcox, 1955)	< 10	Excellente	11	64,70
	10 - 18	Bonne	1	5,88
	18 - 26	Admissible	3	17,64
	> 26	Inadaptée	2	11,76
SSP (Wilcox, 1955)	< 20	Excellente	6	35,29
	20 - 40	Bonne	2	11,76
	40 - 60	Admissible	5	29,41
	60 - 80	Douteuse	4	23,53
	> 80	Inadaptée	0	0
MAR (Paliwal, 1972)	< 50	Adaptée	10	58,82
	> 50	Inadaptée	7	41,18
IP (Doneen, 1964)	< 25	Class III (inadaptée)	1	5,88
	25 - 75	Class II (bonne)	12	70,59
	> 75	Class I (excellente)	4	23,53
KR (Kelley, 1940)	< 1	Adaptée	11	64,70
	> 1	Inadaptée	6	35,29
DT (Sawyer et Mc Carty, 1967)	< 75	Douce	0	0
	75 - 150	Modérée	0	0
	150 - 300	Dure	0	0
	> 300	Très dure	17	100
CE ou risque de salinisation des sols (Wilcox, 1955)	< 250	Faible	0	0
	250 - 750	Moyen	0	0
	750 - 2250	Élevé	0	0
	> 2250	Très élevé	17	100
TDS (Ayers and Westcot, 1985)	< 450	Meilleure	0	0
	450 - 2000	Modérée	10	58,82
	> 2000	Dangereuse	7	41,18

SAR : rapport d'absorption du sodium ; SSP : pourcentage de sodium soluble ; MAR : rapport d'absorption du magnésium ; IP : indice de perméabilité ; KR : le rapport de Kelly ; DT : dureté totale ; CE : conductivité électrique, TDS : solides totaux dissous

### Discussion:-

L'analyse hydrochimique des eaux souterraines prélevées dans la région du Marais Poitevin révèle une prédominance du faciès chimique de type  $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ , caractéristique des aquifères influencés par des apports d'origine marine. Toutefois, dans les formations quaternaires, cette typologie s'enrichit de variantes notables, à savoir des

eaux  $\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ , et  $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ , traduisant une diversité géochimique liée à l'hétérogénéité des substrats traversés. En revanche, les aquifères calcaires situés hors du Marais Poitevin présentent une homogénéité marquée avec une domination exclusive du faciès  $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ . Sur l'ensemble de la zone d'étude, quatre grands hydrofaciès ont été identifiés. Parmi ceux-ci, les types  $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$  (47 %) et  $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$  (35 %) s'imposent comme majoritaires, tandis que les faciès  $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$  (12 %) et  $\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}$  (6 %) apparaissent comme minoritaires. Cette distribution hydrochimique résulte de processus de dissolution des carbonates des formations encaissantes (Anongba et al., 2023), ainsi que d'une influence marine résiduelle (Anongba et al., 2023 ; 2024), particulièrement perceptible dans la partie marais desséché et dans les formations de l'Oxfordien supérieur sous couverture quaternaire. L'indice de dureté totale (DT), selon la classification de Sawyer et McCarty (1967), situe les eaux du Marais Poitevin dans la catégorie des eaux très dures, une caractéristique intrinsèquement liée à la lithologie calcaire dominante (Schoeller, 1962). Cette forte minéralisation peut induire des dépôts de carbonates dans les réseaux d'irrigation, compromettant leur bon fonctionnement.

Le pH, paramètre fondamental pour l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation, affiche des valeurs proches de la neutralité pour l'ensemble des échantillons, s'inscrivant dans l'intervalle optimal de solubilité des micronutriments (Couture, 2004). Bien que la plage idéale soit comprise entre 5,5 et 6,5, Ayers et Westcot (1985) admettent une extension possible jusqu'à 8,4. Cette neutralité relative s'explique par la nature calcaire des formations géologiques (Anongba, 2007). En revanche, la conductivité électrique (CE) très élevée de ces eaux traduit une salinité importante, pouvant constituer une menace sérieuse pour la durabilité des systèmes agricoles irrigués. En effet, une accumulation excessive de sels solubles dans la zone racinaire est susceptible d'induire une contrainte osmotique, restreignant l'absorption hydrique par les racines et provoquant une sécheresse physiologique (Munns & Tester, 2008 ; Hanana et al., 2011 ; Kpinkoun et al., 2019). Malgré cette contrainte saline, plusieurs paramètres d'aptitude à l'irrigation (SAR, SSP, MAR, KR, IP, TDS) indiquent que certaines eaux demeurent partiellement compatibles avec un usage agricole, selon les seuils admis par les classifications internationales. Ainsi, d'après l'indice SAR de Wilcox (1955), 64,7 % des échantillons sont jugés excellents, 5,88 % bons, et 17,64 % acceptables pour l'irrigation. Seuls 11,76 % sont considérés comme inadaptés.

Les résultats fondés sur le SSP (Wilcox, 1955 ; Todd, 1980) révèlent que 39,25 % des eaux sont excellentes, 11,76 % bonnes, 29,41 % admissibles, tandis que 23,53 % sont douteuses. Selon le MAR (Paliwal, 1972), 58,82 % des eaux sont favorables, contre 41,18 % qui ne le sont pas. L'indice de Kelly (1963) (KR) confirme cette tendance, avec 64,70 % d'eaux admissibles pour l'irrigation. Pour l'indice IP (Doneen, 1964), 23,53 % sont classées excellentes, 70,59 % bonnes et 5,88 % inadaptées. En termes de TDS, selon Ayers et Westcot (1985), aucune eau n'est jugée optimale. Toutefois, 58,82 % présentent un risque modéré, et 41,18 % un risque élevé de salinisation des sols. À la lumière de ces résultats, il apparaît que les eaux des formations quaternaires internes du Marais Poitevin à Le Vanneau, Marans, Saint-Hilaire-la-Palud ainsi que celles de l'Oxfordien supérieur confinées sous les formations quaternaires, présentent un risque sévère d'alcalinisation et de salinisation, rendant leur usage pour l'agriculture peu recommandable, conformément aux critères établis par Ayers & Westcot (1985). Leur usage pourrait favoriser la dispersion des argiles et l'imperméabilisation des horizons superficiels, induisant une asphyxie racinaire (Ayers & Westcot, 1985 ; Wilcox, 1955 ; Domenico et al., 1990).

À l'inverse, les eaux issues des formations de l'Oxfordien supérieur localisées en dehors du Marais Poitevin (Port Jouet, Andilly, Épannes, Saint Jean de Liversay, Anais), ainsi que celles des formations quaternaires de Taugon, Mazin et Arçais, présentent une aptitude relative à l'irrigation, malgré une vigilance requise en raison d'une conductivité électrique élevée, susceptible d'engendrer à long terme une accumulation saline dans les sols (Suarez, 2001). Cependant, à l'exception notable des eaux de Taugon, les valeurs très élevées de conductivité électrique de celles des formations du quaternaire ci-dessus mentionnées ( $\text{CE} > 1189 \text{ mS/cm}$ ) incitent à la prudence quant à leur utilisation. En effet, avec de telles valeurs de conductivité électrique, le risque d'une salinisation des sols est réel. Hindeya et al. (2024) estiment que de telles eaux sont susceptibles d'engendrer à long terme une accumulation de sels dans les zones racinaires, pouvant ainsi compromettre la disponibilité de l'eau pour les cultures.

Par conséquent, seules les eaux issues des formations calcaires de l'Oxfordien supérieur localisées en dehors du Marais Poitevin peuvent être considérées comme globalement satisfaisantes pour l'irrigation. Leur utilisation requiert toutefois des précautions : sélection de cultures tolérantes à la salinité et exploitation des sols bien drainés afin d'éviter les processus de sodification, responsables d'une dégradation à long terme de la structure pédologique par une salinisation irréversible. Ce phénomène a été observé par Kahlow et al. (2005) au Punjab, où des eaux hautement minéralisées, ont été utilisées pour l'irrigation, ce qui a favorisé à terme une salinisation irréversible des terres

agricoles. Enfin, les eaux de Taugon, bien que localisées dans les formations quaternaires, présentent une composition chimique favorable à l'irrigation attribuable à une alimentation directe de ces dernières par les aquifères calcaires localisés en dehors du marais (Anongba, 2007). Ce cas particulier illustre l'importance de la géohydrodynamique locale dans l'évaluation de l'aptitude à l'irrigation des eaux du Marais Poitevin.

### Conclusion:-

L'évaluation de la qualité des eaux souterraines du Marais Poitevin et de ses environs, à travers une approche hydrochimique et agronomique intégrée, met en évidence une diversité de faciès chimiques traduisant des conditions hydrogéologiques contrastées. Les eaux majoritairement de type  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$  dans les formations quaternaires et de l'Oxfordien supérieur confinées sous couverture quaternaire, et  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  dans les formations calcaires de l'Oxfordien supérieur en dehors du marais, témoignent d'influences multiples, à la fois géogéniques (dissolution des carbonates) et marines (intrusion saline). Bien que les indices de qualité (SAR, SSP, MAR, KR, IP) montrent qu'une part significative des eaux peut être utilisée pour l'irrigation, les valeurs élevées de conductivité électrique (CE) et de TDS soulignent un risque non négligeable de salinisation des sols. Ce risque, s'il n'est pas maîtrisé, peut gravement altérer la productivité agricole à long terme en compromettant l'absorption hydrique et minérale par les cultures.

Ainsi, seules les eaux issues des formations calcaires de l'Oxfordien supérieur situées hors du Marais Poitevin peuvent être considérées comme satisfaisantes pour une irrigation durable, à condition d'être utilisées sur des sols bien drainés, en tenant compte de la tolérance des cultures à la salinité. Quant aux eaux des formations quaternaires à l'intérieur du Marais Poitevin, elles nécessitent une gestion plus rigoureuse et ne devraient être mobilisées que de manière ciblée et conditionnelle en tenant compte de l'hydrodynamisme local pouvant permettre de disposer d'eau de qualité acceptable pour un usage agricole comme à Taugon. Ces eaux doivent toutefois, comme c'est le cas pour celles hors marais, être utilisées sur des sols équipés de drainages performants et pour des espèces végétales halotolérantes. Cette étude confirme la nécessité d'une approche pluridisciplinaire et territorialisée dans l'évaluation des ressources en eau à usage agricole, combinant analyses géochimiques, critères agronomiques et aménagements hydroagricoles. Elle appelle également à une surveillance régulière de la qualité des eaux souterraines dans des zones comme celle des marais, afin d'anticiper toute dynamique de dégradation des sols.

### References Bibliographiques:-

1. Ado M. N. (2017) : Évaluation in situ et en conditions contrôlées de la phyto-désalinisation des Vertisols irrigués. Cas d'étude du périmètre rizicole de Kollo (Niger) dans la vallée du fleuve Niger, Thèse de doctorat, Université Bretagne Loire, 235p.
2. Amouri A. A. (2016) : Caractérisation moléculaire et biochimique en condition de stress salin de *Medicago truncatula* Gaertner, Thèse de doctorat, Université d'Oran, 173p.
3. Anongba Braphond Rodrigue Vincent Benjamin, Traore Abou et Tohour Privat. (2024): Origine et temps de résidence des eaux souterraines de la partie sud du Marais Poitevin (Nouvelle-Aquitaine-France) et de son substratum carbonaté de l'Oxfordien Supérieur par utilisation couplée d'isotopes Stables et radioactifs. Int. J. of Adv. Res. (Jan). 231-249] (ISSN 2320-5407). <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/18113>
4. Anongba Braphond, R.V.B., Privat, T., Issa S. S. & Germain, A. M. (2023): Origine et processus de minéralisation des eaux souterraines dans la partie Sud du Marais Poitevin (Nouvelle-Aquitaine France) et de son substratum carbonaté de l'Oxfordien Supérieur. European Scientific Journal, ESJ, 19(33), 231. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n33p231>
5. Anongba B. (2007). Identification du système hydrogéologique des formations quaternaires et callovo-oxfordiennes du Marais Poitevin par approche couplée minéralogique, hydrodynamique et géochimique. Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers (France), 319 p.
6. Ayers R.S. et Westcot D.W. (1985): Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29 rev 1. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy, 174p.
7. Bernard M. (2006) : Étude des comportements des sols de marais : évolution minéralogique, structurale et hydromécanique. (Marais de Rochefort et Marais Poitevin). Thèse de doctorat. Université de Poitiers. 309 p.
8. Binet Éric., Escafre Alain., Fournié Françoise. (2009) : Évaluation à mi-parcours de la mise en Œuvre du plan d'action gouvernemental pour le Marais Poitevin 2003-2012. Rapport. Ministère de l'Écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire. Ministère de l'agriculture et de la Pêche. CGEDD/005928-02. CGAAER/1842. 124p.

9. Braphond Rodrigue Vincent Benjamin Anongba, Djémin Jacques Édoukou, Privat Tohouiri, and AdjaMiessan Germain. (2023): "Contribution to the knowledge of water transfers between the Quaternary and Upper Oxfordian (limestone) aquifers of the southern part of the Poitevin marsh (Poitou-Charentes, France)," *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 65, no. 1, pp. 15–29.
10. Camuzard J.P. (2000) : Les sols marqueurs de la dynamique des systèmes géomorphologiques continentaux. Thèse de doctorat de l'Université de Caen. Volume I pp. 53-129.
11. Challita et Moujabber.(2004): Effet de la salinité sur le rendement de la culture de poivron (*Capsicum annum*L).Extrait de : *Annales de recherche scientifique* n°5, 115-127p.
12. Chambre d'agriculture 17/79 et Coop de l'eau 79. (2018) : Projet agricole de territoire pour l'adaptation au changement climatique du bassin de la Sèvre Niortaise et pour une agriculture durable. Projet des réserves de substitution du bassin de la Sèvre Niortaise. Contribution de la chambre d'agriculture 79 et de la coopérative de l'eau 79. 36p.
13. Charles R.F. (2002): *Groundwater science*. United Kingdom: Academic Press, An imprint of Elsevier Science: London eBook ISBN: 9780080495033.
14. Collins R. et Jenkins A. (1996): The impact of agricultural land use on stream chemistry in the middle hills of the Himalayas, Nepal. *Journal of hydrology*. 185 (1-4): 71-86. DOI: 10.1016/0022-1694(95)03008-5.
15. Couture I. (2004): Analyse d'eau pour fin d'irrigation. MAPAQ Montérégie-Est/AGRI-VISION 2003-2004, 8p.
16. Domenico, P. A. and Schwartz F. W. 1990.*Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wileyand Sons, New York
17. Doneen L.D. (1964): Notes on water quality in agriculture. Published as *Water Science and engineering*. Paper 4001, Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis.
18. Dupuis J., Dutreuil J.P., et Jambu P. (1965): Observation sur quelques sols récents du littoral poitevin. *Sc. Du sol*, n°2, Pp. 173-188
19. Elango L., Kannan R. and Senthil Kumar M. (2003): Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of groundwater in a part of Kancheepuram district, Tamil Ndu, India. *Environmental geosciences*. 10(4): 157-166. DOI: 10.1306/eg100403011.
20. Fetter C.W. (2001): *Applied Hydrogeology*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
21. Fustec E., Lefeuvre J.C. (2000): *Fonctions et valeurs des zones humides*. Dunod, Paris, 426 p.
22. Grünberger O. (2015): *Dynamiques salines des sols des milieux arides et semi-arides*. HDR, École doctorale SIBAGHE, Université de Montpellier, 133p.
23. Hamdoud N. (2012):Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la fève (Vicia faba L.).Mémoire de Master en sciences Agronomique, école nationale supérieure Agronomique El-harrachalger, 59p.
24. Hanana M., Hamrouni L., Cagnac O., Blumwald E. (2011): Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Dossiers environnement* 19. 121 – 141.
25. Hantzpergue P. (1988): Notice de la carte géologique de la feuille de Marans au 1/50 000, Orléans. Xp.
26. Hem J.D. (1985): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *US Geological Survey Water-Supply Paper* 2254. <https://doi.org/10.3133/wsp2254>.
27. HindeyaGebru, TesfamichaelGebreyohannes et ErmiasHagos: (2024):Evaluation of groundwaters quality for irrigation purposes and impact of irrigation on water in Golina River Basin, Northen Ethiopia. *Momona Ethiopian journal of science (MEJS)*, Volume 16, numéro 1, pp 144-166. <http://dx.doi.org/10.4314/mejs.v16i1.8>
28. INSEE (2016): *Rapport d'activité Insee 2015*. 53p. <https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=rapport+insee+2015+pdf&ie=UTF-8&oe=UTF-8>
29. Junk, W.J., An, S., Finlayson, C.M., Gopal, B., Kvet, J., Mitchell, S. A., Mitsch, W. J., and Robarts, R. D. (2013): Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate. *Aquatic sciences*, 75(1), 151-167. <https://doi.org/10.1007/s00027-012-0278-z>
30. Kahlow, M. A., Ashraf, M., & Hussain, M. (2005): Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. *Agricultural Water Management*, 76(1), 24–35.
31. Kelly W.P. (1940): Permissible composition and concentration of irrigation water. *Proceedings of the American society of civil engineers*. 66: 607-613
32. Kpinkoun J.K., Zanklan S.A., Françoise A.K., Armel C.G., David M., Kinsou E., Christophe B.G. (2019): Évaluation de la résistance à la salinité du stade jeune plant de quelques cultivars de piment (*Capsicum* spp.) du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, pp 13561 - 13573
33. Kubiena W.L. (1953): *the soils of Europe*, Thomas Murby, London, 314 p., 26 pl., bibl.

34. Kumar M., Kumari K., Ramanathan A. and Saxena R. (2007): a comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated district of Punjab, India. In *Environmental Geology* 53(3):553-574 DOI: 10.1007/s00254-007-0672-3.
35. Lobna Z, Gharbi F, Rezgui F, Salwa R, Hassan N et Mohamed N. R. (2007). Effets du stress salin sur la croissance et sur les mécanismes de photo protection chez la tomate, *Annales de l'INRGRF*, Numérospecial11, 189-202p.
36. Marlet S., et Job J.O. (2006): Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R. *Traité d'irrigation*. Seconde Edition Tec & Doc Lavoisier, 28p. ISBN-13 : 978-2743009106.
37. Matthes G. (1982): *The property of groundwater*. Department of environmental science, John Wiley and sons Inc. New-York. 406p.
38. Mazeau M. (1979): Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Jurassique supérieur entre Courçon et Saint-Jean-d'Angély (Charente-Maritime). Thèse de Doctorat n° 1350. Université de Bordeaux I, 158p., 36pl., 4pl. h. t.
39. Mehdi J., (2008): Adaptation des plantes au stress salin: Caractérisation de transporteurs de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz, thèse de doctorat, Université Montpellier II, 127p.
40. Mitsch W.J. et Gosselink J.G., 2000: *Wetlands*, third ed. Van Nostrand Reinhold, New-York.
41. Moussa I.B. (2018): Pratiques paysannes de gestion de la salinité du sol dans le périmètre irrigué de Sébéri (Kollo). Mémoire de fin de cycle de la licence générale ès sciences agronomiques, Université Abdou Moumouni, Faculté d'agronomie, 21p.
42. Munns R. et Tester M. (2008): Mechanisms of salinity tolerance. *Annual reviews of Plant Biology* 59, 651 – 681.
43. Nijs R. (1978) : Les sols du marais Poitevin, *Ann. de la Soc. des Sc. nat. de la Charente Maritime*, vol VI, fasc. 5, Muséum histoire naturelle, La Rochelle.
44. Paliwal K.V. (1972): *Irrigation with saline water*. IARI. New Delhi Monogram N° 2 (New series): New Delhi 198.
45. Piper A.M. (1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analysis. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, n° 25, pp. 914-928.
46. Rawat K.S., Singh S.K., Gautam S.K. (2018): Assessment of groundwater quality for irrigation use: a peninsular case study. *Applied Water Science* 8:233 DOI: 10.1007/s13201-018-0866-8.
47. Richards L.A. (1954): *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA and IBH Pub. Coy Ltd, New Delhi, India. Agric. Handbook 60:98-99.
48. Safège ingénieurs conseils. (2004): Rapport état des lieux. Schéma d'Aménagement et de gestion des eaux de la Sèvre Niortaise et du Marais Poitevin. 523p.IJAR
49. Salin R. (1969) : Contribution à l'étude du climat et de l'économie de l'eau dans les sols du Marais Poitevin (marais mouillé). Thèse 3° cycle, pédologie. Université de Poitiers 144 p.
50. Sawyer C. and Mc Carty P. (1967): *Chemistry for sanitary engineers*. 2<sup>nd</sup> edition, Mc Graw-Hill: New-York.
51. Schoeller H. (1962): *Les Eaux Souterraines*. Hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources. 187 fig. Paris: Masson et Cie, Éditeurs 642p.
52. Siamak G. and Srikanthaswamy S. (2009): Analysis of agricultural impact on the Cauvery river water around KRS dam. *World Appl. Sci. J.* 6(8): 1157-1169.
53. Simler R. (2024): Logiciel DIAGRAMMES. Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Avignon. URL:<http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>.
54. Singhal B.B.S., Gupta R.P. (2010): *Applied hydrogeology of fractured rocks: second edition*. DOI:10.1007/978-90-481-8799-7
55. Srinivasamoorthy K., Gopinath M., Chidambaram S., Vasanthavigar M. et Sarma V.S. (2014): Hydrochemical Characterization and quality appraisal of groundwater from pungar sub basin. Tamilnadu, India. *Journal of King Saud University – Science* 26(1): 37-52 DOI: 10.1016/j.jksus.2013.08.001.
56. Suarez, D. L. (2001): Impact of Agriculture on Groundwater Salinity. *Transactions of the ASAE*, 44(2), 431–436.
57. Todd D.K. (1980): *Groundwater Hydrology* (second edition) John Wiley and sons. New-York p 535.
58. Vincent Benjamin, A. B. R., Germain, A. M., & Jacques, D. E. (2022). Contribution à la Caractérisation des Sédiments Superficiels Quaternaires de la Partie Sud du Marais Poitevin (PoitouCharentes-France). *European Scientific Journal*, ESJ, 18(40), 211. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n40p211>
59. Welsch J. (1916): *Le Marais Poitevin*. *Annales de Géographie*., tome XXV. Pp326- 346.
60. Wilcox L. V. (1955): Classification and use of irrigation water. *US Geological Department Agri.Circ.* 969: 19.
61. Yanis Suire.(2004): L'homme et l'environnement dans le Marais Poitevin, seconde moitié du XVIe début du XXe siècle. Thèse de doctorat. 4 vol. Université Paris 4 (Université Paris-Sorbonne). 1359 p.
62. Yassin HousseinAbdi. (2023): La côte continentale du Pertuis Breton, du début du XVIIIe siècle à la fin du second empire: évolution et aménagement du littoral depuis la Tranche-sur-Mer jusqu'au nord de la Rochelle. Thèse de doctorat Histoire et civilisation. École Doctorale Euclide, Université de la Rochelle. 435 p.