



ACTION STRUCTURANTE ZONES INONDABLES CHANTIER MAROC

Auteur :
Guillaume Lacombe

Contributeurs :
Hajar Choukrani, Ali Hammani, Marcel Kuper & Abdelilah Taky

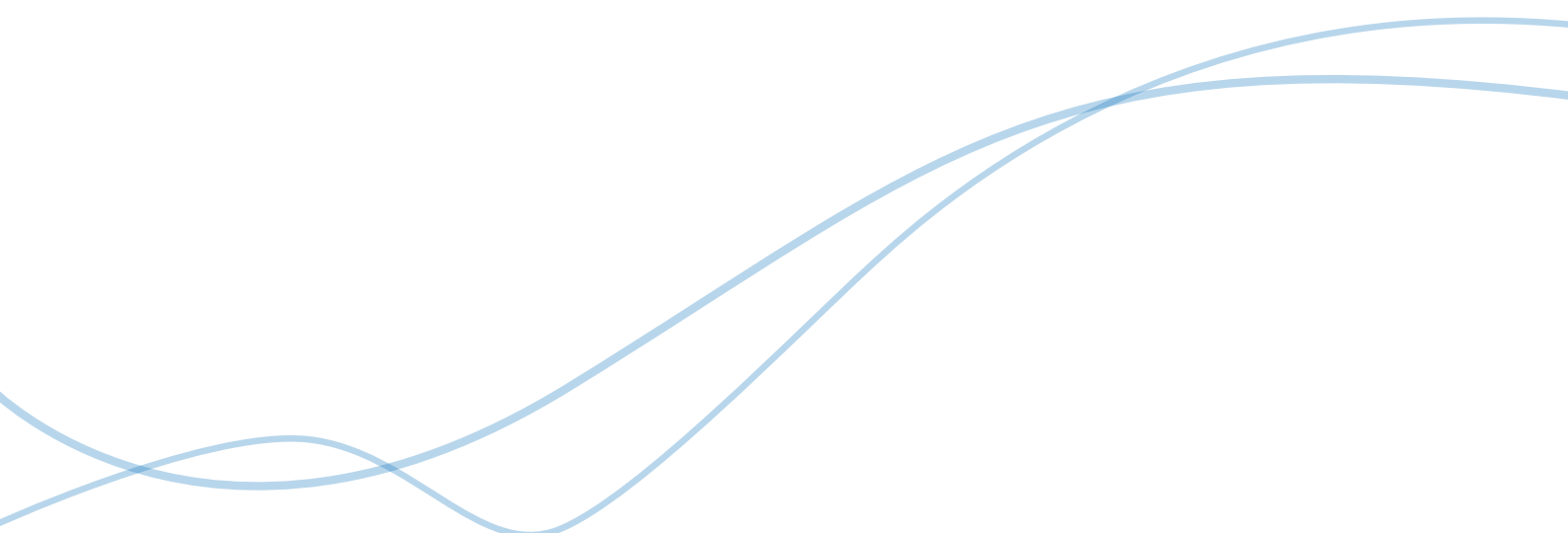
Avec le soutien de



Maître d'ouvrage



COSTEA
ENSEMBLE POUR RELEVER LES DÉFIS
DE L'AGRICULTURE IRRIGUÉE



CIRAD

Siège social
42, rue Scheffer
75116 Paris - France
Tél. : +33 1 53 70 20 00
www.cirad.fr



IAV Hassan II

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
Maroc
iav.ac.ma/fr

ACTION STRUCTURANTE ZONES INONDABLES CHANTIER MAROC

INTRODUCTION GÉNÉRALE	5
PARTIE I : ENJEUX DE LA PLAINE DU GHARB	5
1. ZONE D'ÉTUDE	5
1.1 Le bassin versant de l'oued Sebou	5
1.2 La plaine du Gharb	6
2. ENJEUX DE LA PLAINE DU GHARB	10
2.1 Inondations	10
2.2 Pollutions	11
2.3 Changement climatique et changement global	12
2.4 Les contraintes de la modélisation hydraulique et hydrologique	12
2.5 Gouvernance	13
3. CONCLUSIONS	14
PARTIE II : SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DES MERJAS	14
1. INTRODUCTION	14
2. SITE D'ÉTUDE	15
3. MÉTHODOLOGIE	16
3.1 Enquêtes auprès des agriculteurs	16
3.2 Enquêtes auprès des institutions	17
4. RÉSULTATS	17
4.1 Service de production végétale	17
4.2 Services de production animale (élevage, pâturage et apiculture)	18
4.3 Biodiversité et chasse	19
4.4 Appropriation et attachement : service culturel	19
4.5 Perceptions des acteurs sur les services écosystémiques des merjas	19
4.6 Antagonismes entre perceptions des agriculteurs et des acteurs institutionnels	20
5. DISCUSSION ET CONCLUSION	21
PARTIE III : HYDROLOGIE DE LA PLAINE DU GHARB	22
1. INTRODUCTION	22
2. MÉTHODE	22
2.1 Évaluation des surfaces inondées	22
2.2 Estimation de la variabilité pluviométrique	23
2.3 Traitement des images satellitaires dans Google Earth Engine	24
2.4 Traitement des chroniques d'indices spectraux et de pluie sous Excel	24
3. RÉSULTATS	24
3.1 Validation de la méthode	25
3.2 Influence de la marée océanique sur les inondations de l'oued Sebou	26
3.3 Influence de la pluie sur le remplissage des merjas	27
3.4 Analyse des flux hydriques en période estivale dans les zones aménagées	29
3.5 Relations entre merjas et zones aménagées	31
4. DISCUSSION ET CONCLUSION	32
CONCLUSION GÉNÉRALE	32
RÉFÉRENCES	33

LISTE DES ACRONYMES

ADA	Agence de Développement Agricole
APFA	Loi portant Accès à la propriété foncière agricole
CAPRA	Coopératives Agricoles de Production de la Révolution Agraire
CEDAW	Convention sur l'élimination de toutes les formes de discrimination à l'égard des femmes
CRA	Coopératives de Réforme Agraire
DAS	Domaines Agricoles Socialistes
EAC	Exploitations Agricoles Collectives
FNRA	Fonds National de la Révolution Agraire
FVD	Faire Valoir Direct
FVI	Faire Valoir Indirect
MEV	Mise en Valeur
ODAS	Office de Développement de l'Agriculture Saharienne
OTD	Office des Terres Domaniales
ONAGRI	Observatoire National de l'Agriculture
ONTA	Office National des Terres Agricoles
PDES	Plan de Développement Economique et Social
PIB	Produit Intérieur Brut
PMV	Plan Maroc Vert
PNDA	Plan National de Développement Agricole
PNDAR	Plan National de Développement Agricole et Rural
PPI	Périmètres Publics d'Irrigation
PIP	Périmètres d'Irrigation Privée
PPP	Partenariat Public Privé
RA	Révolution Agraire
SMVDA	Sociétés de Mise en Valeur et de Développement Agricole
SODEA	Société de Développement Agricole
TC	Terres Collectives

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les plaines côtières concentrent des populations attirées par des terres fertiles, facilement aménageables et ouvertes aux échanges commerciaux. Pourtant, elles constituent des environnements à risques (inondations et pollution), et sont menacées par un déclin de la biodiversité et la dégradation des écosystèmes naturels. Dans ce contexte, l'intensification de l'agriculture, le contrôle de ses impacts sur l'environnement et le devenir des écosystèmes naturels deviennent des enjeux majeurs.

Ce rapport final de l'action structurante COSTEA2 portant sur les zones inondables est constitué de trois parties. La première présente les enjeux de la plaine du Gharb située sur la côte Atlantique dans le nord-ouest du Maroc. Elle souligne l'importance de ses zones humides (appelées localement « merjas ») et propose d'explorer les modalités de leur mise en valeur dans la perspective d'une production agricole durable, écologique et minimisant les risques liés aux excès et déficits de la ressource hydrique. La deuxième partie apporte des réponses à cette ambition de mise en valeur en appréhendant les merjas de la plaine du Gharb sous l'angle des services écosystémiques qu'elles offrent. Enfin, la dernière partie explore par télédétection la variabilité spatio-temporelle des indices spectraux d'inondation et de végétation dans la plaine du Gharb dans le but de mettre en évidence deux services écosystémiques des merjas : l'écrêtement des crues et la production agricole irriguée.

PARTIE I : ENJEUX DE LA PLAINE DU GHARB

1. ZONE D'ÉTUDE

Cette partie présente brièvement le bassin versant de la plaine du Gharb (bassin versant de l'oued Sebou) puis décrit en détail la plaine du Gharb qui est l'objet de notre étude.

1.1 Le bassin versant de l'oued Sebou

D'une superficie de 40 000 km² (Figure 1), il était peuplé par 6.2 millions d'habitants en 2004, dont 51 % en milieu urbain. Son économie est essentiellement agricole et industrielle.

Climat

Le climat du bassin versant de l'oued Sebou est méditerranéen à influence océanique (dans sa partie occidentale) et continentale (dans sa partie orientale). Sa pluviométrie moyenne annuelle est de 640 mm et marquée par une forte variabilité spatiale (de 400 mm sur le haut Sebou à 1 000 mm sur les hauteurs du Rif). 90 % de la pluviométrie annuelle est concentrée entre octobre et mai, correspondant à la période la plus froide.

Ressources en eau

Le bassin versant de l'oued Sebou couvre moins d'un dixième de la surface du Maroc mais produit un tiers de ses ressources en eau. Source de l'oued principal (Sebou) à 2 030 m d'altitude. Longueur : 500 km. Apports moyens annuels en eau : 5.6×10⁹ m³ (équivalent à 140 mm sur la surface du BV, soit un

Figure 1. Réseau hydrographique du bassin de l'oued Sebou (carte conçue par l'ABHS)

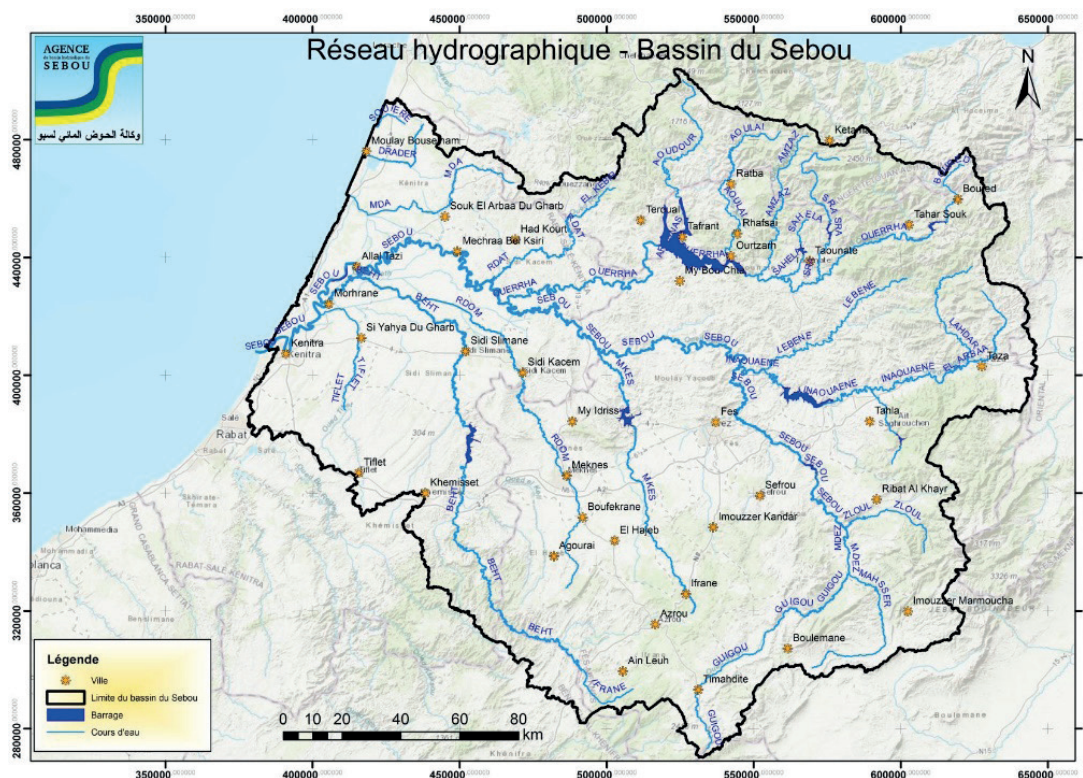
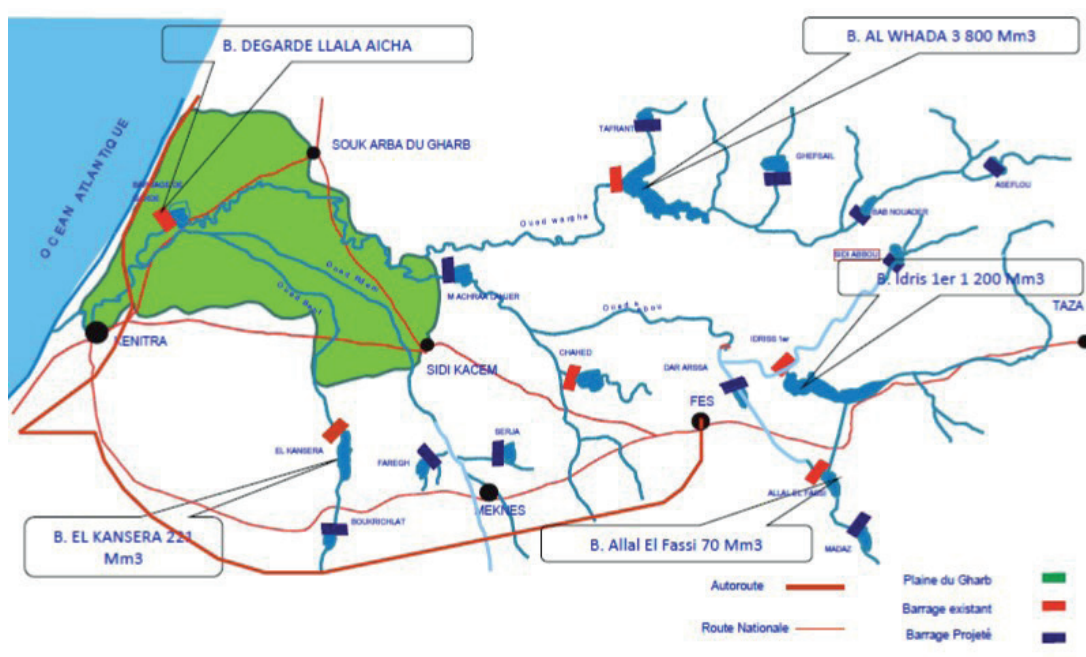


Figure 2. Principaux barrages dans le bassin versant de l’oued Sebou (D’après carte conçue par l’ABHS)



coefficient de ruissellement de $140/640 = 22\%$ (1939-2002). Une partie du ruissellement est stockée dans plusieurs barrages dont les plus importants ont les capacités de stockage suivantes : Al Wahda ($3.5 \times 10^9 \text{ m}^3$), Idriss 1er ($1.2 \times 10^9 \text{ m}^3$), Alla El Fassi ($0.06 \times 10^9 \text{ m}^3$) et El Kansara ($0.3 \times 10^9 \text{ m}^3$) (Figure 2).

La responsabilité de gestion des ressources en eau incombe à l’Agence de Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS) instituée en 1995 dans le cadre de la loi sur l’eau 10/95. Parmi les nombreuses missions de l’ABHS figurent i/ le suivi météorologique quantitatif et qualitatif des ressources en eau, ii/ l’élaboration et le suivi de la mise en œuvre du plan directeur d’aménagement intégré des ressources en eau, iii/ la gestion de la pénurie en cas de sécheresse, iv/ l’entreprise d’actions de prévention et de protection contre les inondations en partenariat avec les établissements publics et collectivités territoriales, v/ la tarification et la délivrance d’autorisations d’utilisation du domaine public hydraulique, vi/ des travaux d’entretien et de maintenance des ouvrages publics hydrauliques, vii/ la contribution aux travaux de recherche et de développement des techniques de mobilisation, d’utilisation rationnelle et de protection des ressources en eau en partenariat avec les institutions et laboratoires scientifiques.

Agriculture

Le potentiel cultivable du bassin versant de l’oued Sebou est de 1 750 000 ha et son potentiel irrigable avoisine 375 000 ha. La surface des terres irriguées est de 269 600 ha dont 114 000 ha en grande hydraulique et 155 600 ha en petite et moyenne hydraulique ou irrigation privée.

1.2 La plaine du Gharb

La plaine du Gharb, d’une superficie d’environ 6 200 km², se situe dans la partie aval du bassin versant de l’oued Sebou, au nord-ouest du Maroc, à 40 km au nord de Rabat. Elle chevauche

les provinces de Kenitra, Sidi Slimane et Sidi Kacem. La plaine du Gharb constitue le principal bassin agricole du pays grâce à ses ressources en eau, ses sols fertiles et sa proximité aux grands centres urbains. Elle héberge 1,9 millions d’habitants en 2014.

Climat

La plaine du Gharb est exposée à un climat tempéré contrasté (étés chauds et secs, hivers froids et humides). Les précipitations moyennes annuelles (1973-2010) décroissent d’ouest (556 mm à Menasra) en est (463 mm à Khenichet) et se concentrent en hiver. A Khenichet, les 6 mois de Novembre à Avril apportent 80 % du total annuel. Les variabilités interannuelles et inter-décennales des cumuls annuels sont élevées. Exemple : 827 mm en 2009 et 240 mm en 1998 (Khenichet). De forts contrastes sont observables sur des années consécutives : 298 mm en 2006 et 732 mm en 2008.

Topographie

La plaine du Gharb ressemble à une cuvette : dominée au Nord et à l’Est par les collines pré-rifaines puis par les chaînes du Rif et du Moyen Atlas et au Sud par le Glacis de la Mâamora et le plateau central. A l’Ouest, elle est séparée de l’Océan atlantique par un cordon dunaire ne laissant que deux possibilités d’exutoire vers la mer: le canal Nador qui débouche vers la Merja Zegra et l’oued Sebou dont l’estuaire est situé au niveau de la ville de Kenitra. Les lits des oueds Sebou et Beht, et leurs berges, sont surélevés de quelques mètres par rapport à la plaine du Gharb en raison du phénomène d’atterrissement (lits exhaussés). Les dépôts alluvionnaires sont particulièrement importants du fait de la réduction des vitesses des écoulements chargés de sédiments en provenance du bassin versant, lorsqu’ils parviennent dans la plaine aux pentes plus faibles. Cette configuration explique sa vulnérabilité aux inondations.

Hydrologie

Variabilité des apports dans la plaine

Les apports des différents oueds dans la plaine sont très variables :

- en qualité : charge en sédiments variable en fonction de l'occupation des sols et de la pente des versants des différents sous bassins),
- en quantité : régulation des écoulements par les barrages, et apports variables en fonction de la pluie et du coefficient de ruissellement, ainsi que de l'éventuel rehaussement des lits des oueds qui influence la manière dont les apports se déversent dans la plaine.

En traversant la plaine du Gharb, le lit de l'oued Sebou a une débitance qui diminue de l'amont vers l'aval, de 2 700 m³/s, à la confluence avec l'oued Ouergha (Mechraa Belksiri), à 800 m³/s au niveau de Briber. Ceci engendre des débordements par-dessus ses berges en période de crues (Figure 3).

Stagnation des apports dans la plaine

Les inondations de la plaine, pour les plus sévères, sont induites par les débordements hivernaux de l'oued en crue. Du fait de la position surélevée de l'oued par rapport à la plaine, ses eaux débordées ne peuvent donc directement regagner l'oued en décrue. Les eaux débordées empruntent des couloirs d'inondation pour rejoindre les zones les plus basses. Le stock d'eau accumulé dans la plaine n'est drainé qu'au niveau de deux exutoires dans l'oued Sebou : l'embouchure naturelle de l'oued Beth à Mograne située entre 7 et 8 m d'altitude et la jonction entre le canal Rofera (canal de liaison Beht-Sebou) et l'oued Sebou à environ 5m d'altitude. Ce deuxième constitue l'exutoire principal de drainage de la plaine pendant les fortes crues (Figure 4). Ces apports en eau, essentiellement hivernaux, peuvent stagner dans la plaine jusqu'à la fin du printemps les années exceptionnellement humides.

Du fait des irrégularités topographiques, il demeure de nombreuses zones humides (merjas) après la vidange des inondations par écoulement gravitaire. Cette eau rémanente finit par disparaître par infiltration et évaporation. Ce processus est long et peut durer jusqu'à l'été, en raison d'une infiltration très limitée par un substrat argileux. Cette lente évacuation contribue à écrêter les crues qui parviennent jusqu'à l'extrémité aval de l'oued Sebou près de Kenitra, protégeant ainsi la ville et les autres infrastructures de ses débordements.

Aménagements pour l'irrigation

L'agriculture s'est développée dans la plaine du Gharb à partir de 1920 grâce à l'assainissement de ses zones humides (merjas), à la construction de 13 barrages pour l'irrigation, régulateurs de crues, à l'amont de la plaine, et au développement des périmètres irrigués. L'idée véhiculée était que la plaine était sous valorisée malgré son potentiel agricole (Sonnier, 1935).

L'aménagement hydro-agricole a été subdivisé en tranches d'irrigation (Figure 5 et Figure 11) : le périmètre irrigué du Beht (à partir de 1928), la Première Tranche d'Irrigation (PTI, 1972-1979), la Seconde Tranche d'Irrigation (STI, 1984-1998) dont quelques secteurs ont fait l'objet de reconversion en irrigation localisée entre 2013 et 2015 et la Troisième Tranche d'irrigation (TTI, 1998-2005). La TTI comprend des merjas non aménagées jusqu'à présent.

La première opération entreprise par les pouvoirs publics est l'assainissement des merjas au début du 20^e siècle dans le cadre du Plan Sejourmet. Sur les 250 000 ha de terres aménageables en grande hydraulique identifiées par le projet d'aménagement Sebou (1963-1968) qui suivi, 114 000 ha sont actuellement irrigués, majoritairement par écoulements gravitaires, l'aspersion et le goutte-à-goutte représentant moins de 20 % des surfaces irriguées. Ces aménagements ont été conçus intégralement

Figure 3. Points de débordements de l'oued Sebou dans la plaine du Gharb (carte conçue par l'ORMVAG)

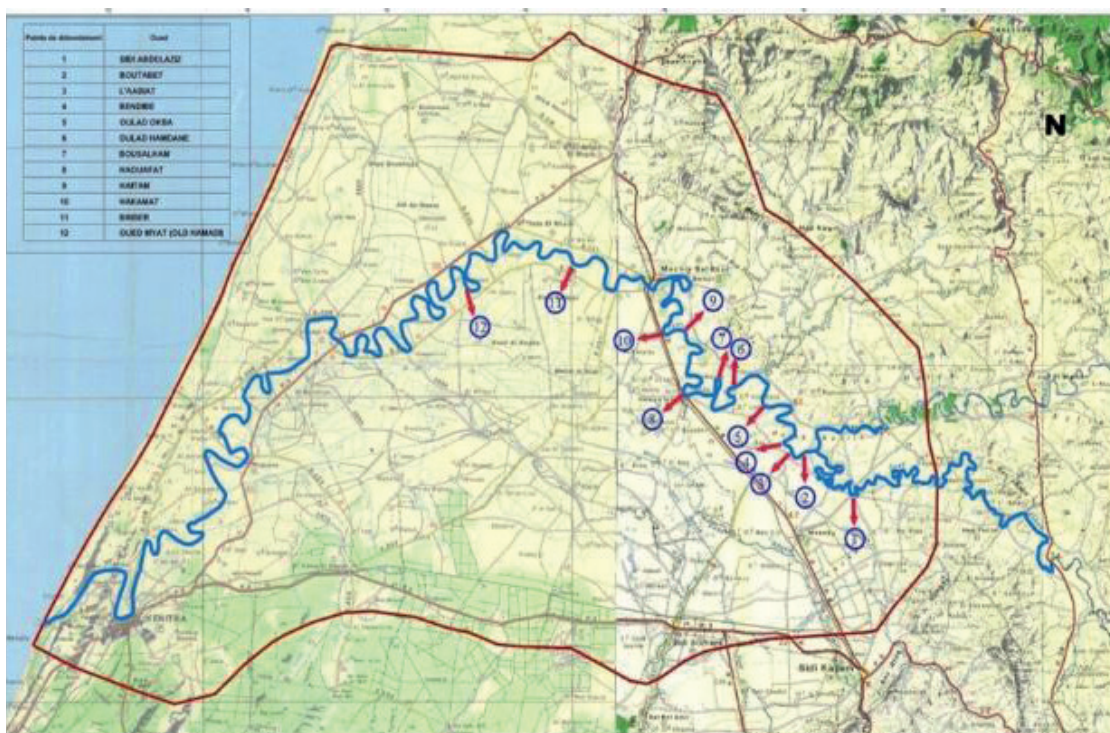
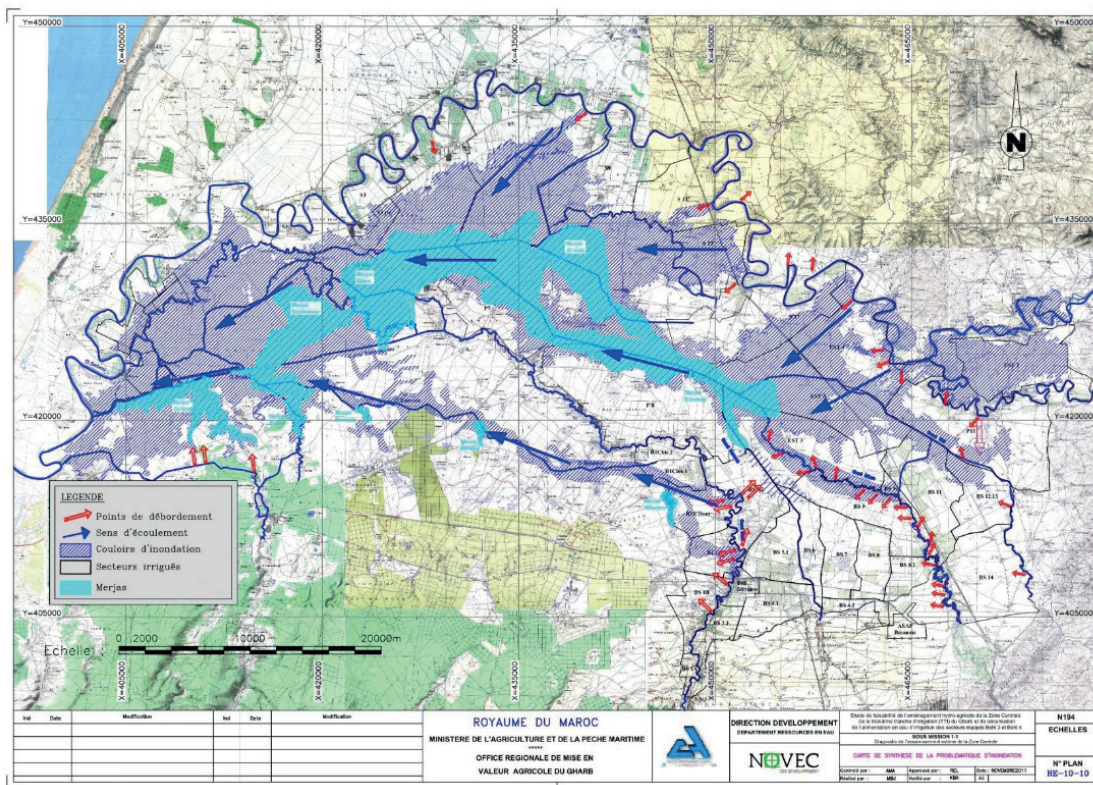


Figure 4. Cheminement des écoulements dans la zone centrale de la plaine du Gharb, des débordements de l’oued Sebou jusqu’à leur convergence à l’aval, via le réseau d’assainissement (carte conçue par l’ORMVAG/NOVEC)



par l’État : remembrement suivi de la mise en place de réseaux d’irrigation, d’assainissement, de drainage et de servitude. Dans le cadre de « la politique des barrages » des années 1960, cette stratégie axée sur le principe de l’État entrepreneur présent dans tous les maillons de la chaîne depuis la mise en place des cultures jusqu’à leur transformation en produits finis, projetait l’irrigation d’un million d’hectares à l’horizon 2000 avec comme objectif l’autosuffisance alimentaire du pays.

En 2021, les zones aménagées en périmètres irrigués et drainés correspondent aux terres les plus proches de l’oued Sebou (donc les plus facilement accessibles par les canaux d’irrigation), et les plus hautes (donc moins vulnérables aux risques d’inondation) (1^{re} et 2nd tranches d’irrigation). Les terres restant à éventuellement aménager correspondent aux merjas dont certaines sont traversées par les canaux d’assainissement qui relie les périmètres irrigués à l’oued Sebou dans sa partie aval (TTI) (Figure 5).

Face au manque d’engagement des agriculteurs, de leur insatisfaction des solutions “clef en main” proposées par l’État, et pour remédier à la sous efficacité des périmètres irrigués planifiés par l’État, celui-ci entreprend une politique d’ajustement structurel dans les années 1980. Cette politique encourage le recours aux “partenariats public-privés” afin de financer la poursuite des aménagements hydro-agricoles qui concernent les secteurs les plus vulnérables aux risques d’inondation. Malgré plusieurs consultations destinées à identifier des financeurs potentiels, ces zones vulnérables n’attirent pas les investissements car nécessitant

des travaux et un entretien trop coûteux: curage régulier des ouvrages de drainage et d’assainissement existants, extension de ce réseau et construction de nouveaux canaux d’irrigation.

La libéralisation des assolements déployée par la suite, en réponse à ce désengagement stratégique de l’État, va se traduire par une réduction drastique des superficies irriguées à partir des canaux, de 80 à 40 % de la superficie équipée. Cette diminution reflète la volonté des agriculteurs de choisir librement leurs assolements constitués majoritairement de cultures annuelles pluviales dont les cycles coïncident avec les précipitations qui s’étalent d’octobre à mai. Dans les zones les plus basses, notamment autour et dans certaines merjas, ces cultures hivernales sont rendues possibles grâce au réseau de drainage et d’assainissement qui écoule les périodes de submersion en facilitant l’évacuation gravitaire des eaux de crue accumulées dans les parties les plus basses de la plaine en hiver. En été, certaines de ces terres sont utilisées pour le maraîchage, irriguées à partir de forages ou bénéficiant des eaux de drainage des parcelles rizicoles des périmètres aménagés et situés à l’amont immédiat.

Aujourd’hui, la plaine du Gharb est dotée d’une importante infrastructure hydro-agricole composée de 54 stations de pompage, 3 000 km de réseau d’irrigation et de 16 500 km de réseau d’assainissement et de drainage (Figure 6).

Agriculture

La plaine s’étend sur 616 000 ha : 220 000 ha d’agriculture pluviale, 168 000 ha irrigués, 168 200 ha de forêts et parcours, 19 800 ha de terres incultes et 40 000 ha d’infrastructures.

Figure 5. Secteurs agricoles de la plaine du Gharb. PTI = première tranche d'irrigation. STI = seconde tranche d'irrigation. TTI = troisième tranche d'irrigation. Note : les secteurs Beht 3 et Beht 4, objets de l'étude NOVEC (2011a), se situent à proximité du secteur de Mograne (carte conçue par l'ORMVAG)

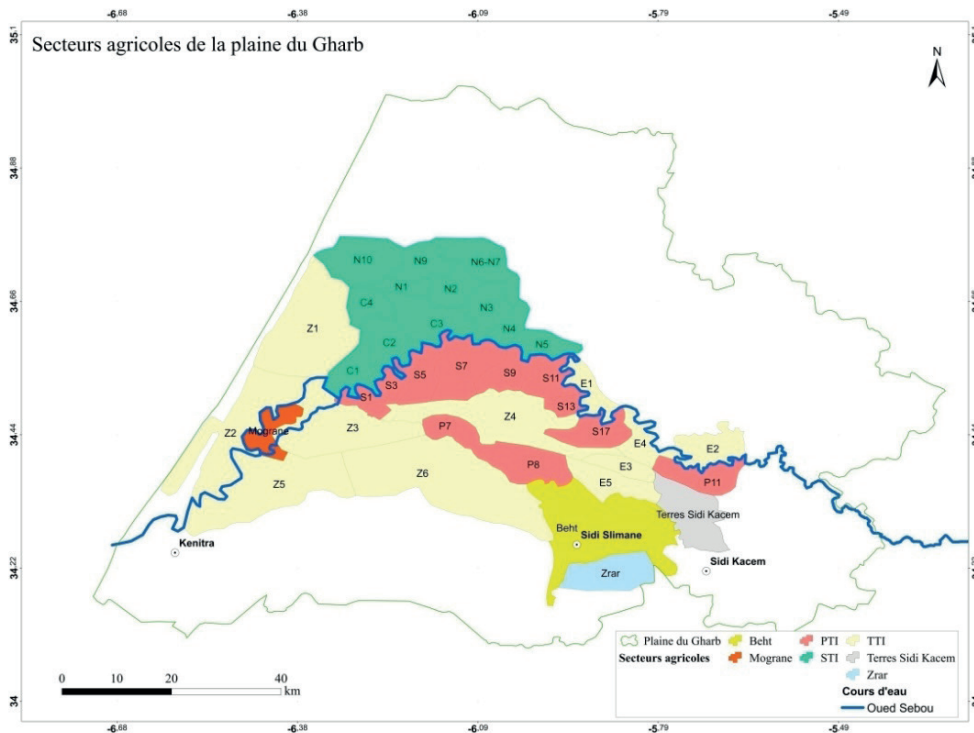
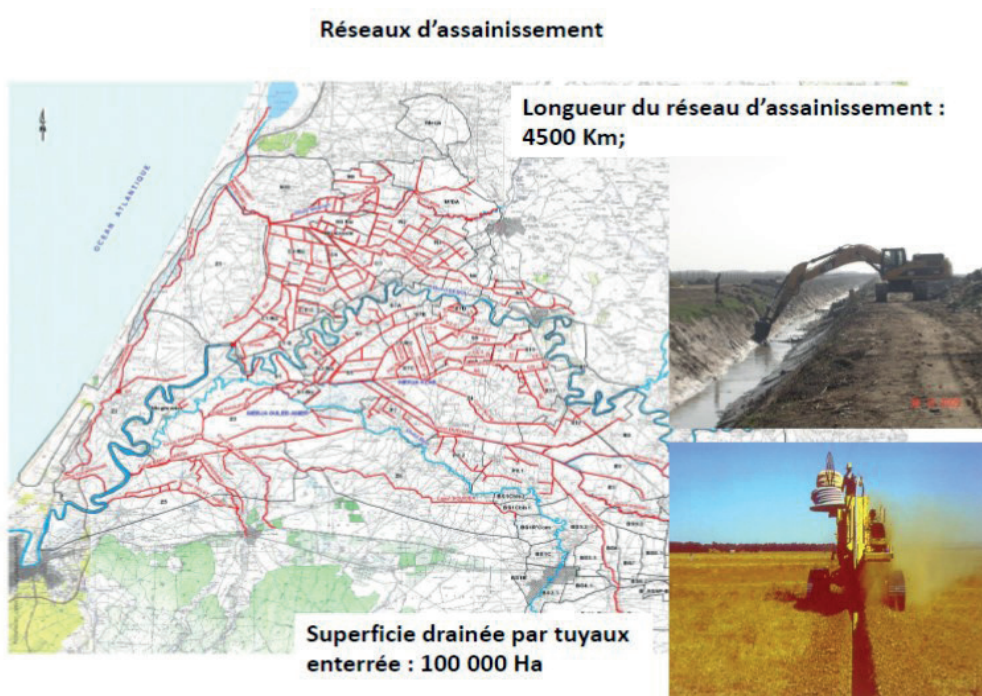


Figure 6. Réseau d'assainissement dans la plaine du Gharb (carte conçue par l'ORMVAG)



La plaine du Gharb occupe une place importante dans la production agricole du Maroc : 80% de la production nationale en riz, artichauts, tomates industrielles et tournesol, 70 % de la production nationale de canne à sucre, 40 % de la production de l'avocatier et de l'arachide; 30 % de la production de miel et de bananes; 20 % de la production des fruits rouges et 18 % de la production de la betterave à sucre et des agrumes, 15 % de la production du lait et 5 % de la production des céréales.

L'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (ORMVAG) est le principal utilisateur des ressources en eau pour l'irrigation des cultures dans la plaine du Gharb. Institué en 1966, il a pour missions i/ de décliner la stratégie nationale agricole à l'échelle de la plaine du Gharb, ii/ l'étude et la réalisation des aménagements hydro-agricoles et fonciers, iii/ la gestion des ressources en eau à usage agricole à l'intérieur de sa zone d'action, iv/ la maintenance et la gestion des équipements

hydro-agricoles et des services de l'eau rendus aux agriculteurs et v/ le développement agricole (promotion et intensification de mise en valeur agricole, encadrement et incitations).

2. ENJEUX DE LA PLAINE DU GHARB

La présentation de la plaine du Gharb dans la section précédente montre qu'il s'agit d'un territoire à fort potentiel productif du fait de son espace arable, fertile et abondamment doté en eau. Il s'agit de l'une des régions du pays ayant le plus grand potentiel de développement agricole, tendant à devenir un grand bassin d'approvisionnement du Maroc. De plus cette plaine se situe dans un bassin fortement peuplé correspondant à la région de Casablanca, Rabat, Kenitra, Tanger, et donc directement connectée à une demande alimentaire importante. Cependant cette situation présente des risques : pollution (problèmes sanitaires et environnementaux), inondations (dégâts matériels et pertes de rendements) combinés à d'autres problèmes tels que la gouvernance des ressources au niveau national. A cela s'ajoute des interdépendances au niveau du territoire (impacts hydrologiques régionaux des aménagements locaux), encore peu caractérisées, et faiblement maîtrisées qui constituent des facteurs de risques supplémentaires, éventuellement accentué par les dynamiques des changements climatiques et sociétaux. Les attentes sociales et politiques sur la question environnementale au Maroc évoluent également. Dans ce contexte, l'intensification de l'agriculture, le contrôle de ses impacts sur l'environnement et le devenir des écosystèmes naturels deviennent des enjeux majeurs.

2.1 Inondations

Malgré la mise en place d'un réseau d'assainissement drainant plus de 100 000 ha de terres agricoles et la construction de 13 barrages de régulation des crues à l'amont de la plaine, sa faible pente, ses sols argileux et la faible capacité de ses exutoires naturels rend cette plaine particulièrement vulnérable aux inondations hivernales. Ces inondations ont trois principaux types d'impacts négatifs :

En saturant et submergeant les terres cultivées les plus basses, elles induisent des chutes de rendements agricoles (100 000 ha de cultures perdues suite à la crue exceptionnelle de 2010),

Malgré des vitesses d'écoulement relativement faibles (de 0.2 à 0.5 m.s-1), les débordements de l'oued Sebou détruisent les canaux d'irrigation et de drainage, avant d'aboutir dans les merjas,

A l'aval de la jonction entre les canaux d'assainissement et l'oued Sebou, les débits sont les plus élevés, et proche de la ville Kénitra, donc avec un risque de dégât des infrastructures urbaines.

Le rôle des barrages

La capacité de stockage cumulée des barrages présents dans le bassin versant ($5,8 \times 10^9 \text{ m}^3$) offre un potentiel important pour l'atténuation des crues et des inondations dans la plaine du Gharb. Si l'action peut être totale sur les crues les plus fréquentes, elle reste partielle sur les crues majeures, comme celle de 2010 (Figure 7). Cette année là, les apports ont largement dépassé les capacités de stockage : deux fois celle du barrage Al Wahda, 1.5 fois celle du barrage Idriss 1^{er}, 3.5 fois celle du barrage Kansera, 6.8 fois celle du barrage Allal Fassi.

Figure 7. Inondations de l'année 2010 dans la plaine du Gharb (carte conçue par l'ABHS)

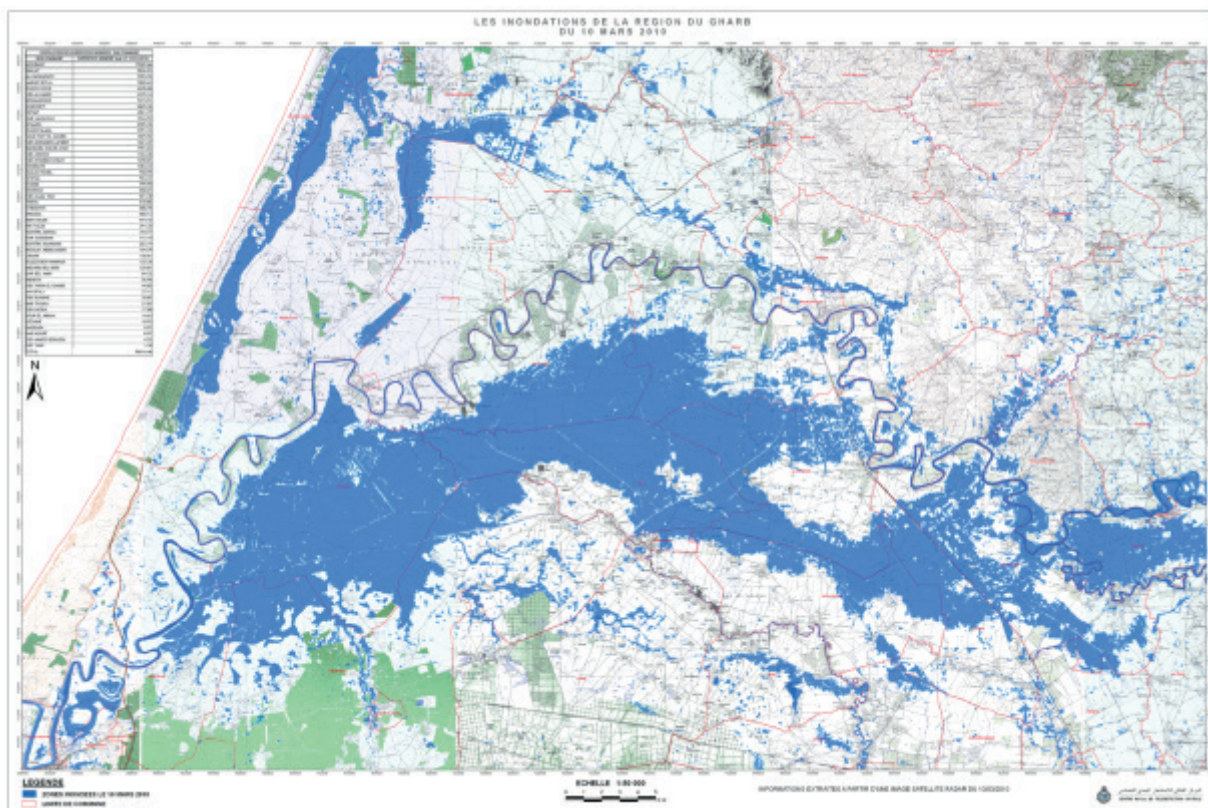
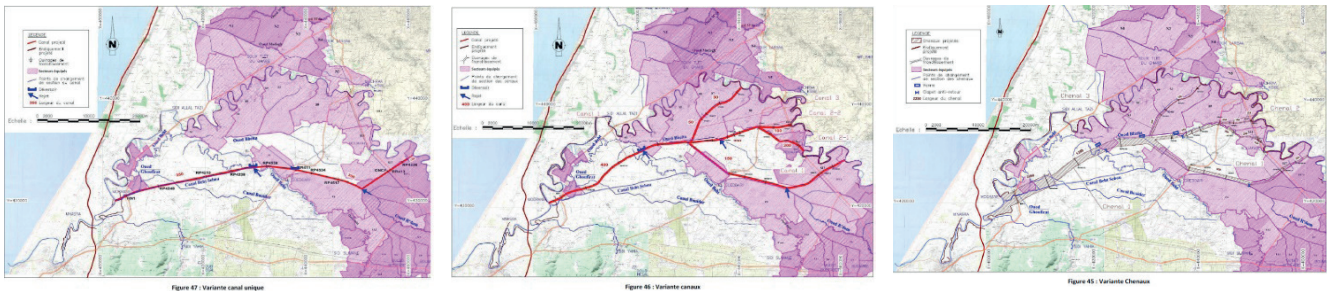


Figure 8. Les trois variantes de la proposition de l'aménagement de la plaine du Gharb selon l'étude du schéma directeur de protection de la plaine du Gharb contre les inondations (Carte conçue dans le cadre du Schéma directeur d'aménagement du territoire de NOVEC)



Les eaux de ruissellement dans le bassin versant du Sebou étant chargées en sédiments, un autre effet des barrages pourrait se traduire par une réduction de la charge en sédiments des écoulements déversés ou turbinés et parvenant dans la plaine. Une situation extrême consisterait en une transition de la dynamique sédimentaire évoluant d'une situation d'exhaussement du lit des oueds Sebou et Beth vers leur incision. Cette inversion aboutirait à une réduction progressive des débordements de ces oueds en crue et donc à une réduction de la fonction d'écrêtement de crue des merjas au niveau de l'extrémité aval de la plaine. Cependant cette inversion de la dynamique sédimentaire dans la plaine ne durerait que le temps nécessaire à l'envasement des réservoirs. A titre d'exemple, la capacité de stockage du barrage Rhamsa a déjà diminué de moitié.

Aménagements hydro-agricoles de la plaine

Etudes d'impact

Les aménagements hydro-agricoles, existants dans les zones les plus hautes de la plaine (dans et autour des merjas) ou planifiés dans les zones les plus basses sujettes aux inondations, contribuent à accélérer les vitesses de drainage via leur réseau d'assainissement (fossés et drains). Leur mise en œuvre dans les zones basses, envisagée dans le cadre des études de faisabilité commanditées par l'ORMVAG, aurait pour conséquence d'augmenter les pics de crue dans la partie aval de la plaine du Gharb où la ville de Kénitra est particulièrement vulnérable aux inondations. Une modélisation hydraulique de la plaine a été réalisée par NOVEC (2011a) et confirme cette dynamique (cf. Figure 4).

L'ORMVAG a confié au groupement ADI-NOVEC, l'étude de faisabilité de « l'aménagement hydro-agricole de la Zone Centrale de la troisième tranche d'irrigation (TTI) du Gharb et de sécurisation de l'alimentation en eau d'irrigation des secteurs équipés Beht 3 et Beht 4 ». Cette étude s'inscrivait dans le cadre du Plan Maroc Vert. Si la zone centrale est aménagée pour l'irrigation sur une surface supplémentaire de 100,000 ha, ceci va avoir plusieurs conséquences :

- La capacité de drainage de la zone nouvellement aménagée va être augmentée à travers l'extension de l'actuel réseau de drainage. Ceci devrait aboutir au doublement de la capacité actuelle de 400 m³/s. Ceci pourra se traduire par un débit de vidange des merjas dans l'oued Sebou plus élevé avec un risque accru d'inondation au niveau de Kenitra,

- En contrepartie, une accélération de cette vidange pourrait permettre de mettre en culture des terres (dans la partie nouvellement aménagée) plus tôt à la sortie de la période hivernale,
- En période d'irrigation, la zone nouvellement aménagée serait accompagnée d'une augmentation du débit d'irrigation et donc d'une diminution du débit de l'oued Sebou dans sa partie aval, même si une partie de cette eau, drainée, rejoindrait l'oued Sebou via le canal Roféra.

Propositions d'aménagements

L'étude de protection de la plaine contre les inondations, réalisée par NEDECO entre 1972 et 1978, a proposé un schéma d'aménagement incluant la construction du barrage M'jarâa (2,7 × 10⁹ m³) avec une tranche réservée au stockage des crues et l'augmentation par endiguement sur 280 km (1 m en rive droite et 1.5 m en rive gauche) de la capacité du bas Sebou, de 1 600 à 2 200 m³/s. Cet aménagement, surdimensionné par rapport au débit de l'oued, n'est plus d'actualité.

L'étude du Schéma Directeur de protection de la plaine contre les inondations (ABHS, 2010) propose trois variantes d'aménagement qui consistent à canaliser tout ou partie des débordements du Sebou via un ou plusieurs chenaux ou canaux jusqu'au point de rejet dans le Sebou à l'aval de Moghrane, et à endiguer l'oued Sebou entre la confluence des oued Sebou et Ouargha et l'exutoire de l'oued Sebou sur certains tronçons (Figure 8). Cet aménagement présente plusieurs contraintes : expropriation, modification d'infrastructures (routes, canaux d'irrigation), risques accrus d'inondation en cas de rupture des digues.

2.2 Pollutions

Caractérisé par une forte densité de population, une agriculture intensive dans la plaine du Gharb, un nombre très important d'unités industrielles et une croissance socio-économique significative, le Sebou est l'un des bassins les plus pollués du pays. Plus de 80 % des 100 millions de m³ d'eau usées urbaines produites annuellement dans le bassin sont déversées dans les cours d'eau. Ces rejets représentent le quart du total national et 40 % sont émis par la ville de Fès (pollution polymétallique, Hayzoun, 2014). La pollution industrielle génère près de 20 millions d'équivalents-habitants de pollution organique. Localisée au niveau des grands centres urbains (Fès, Meknès et Kenitra), elle provient des industries agro-alimentaires (huileries,

sucreries, laiteries, conserveries, production de vin...), des papeteries, tanneries et de la production d'alcool éthylique. Les rejets se concentrent principalement sur les mois hivernaux, période de récolte des olives pour les huileries, Janvier – Juin pour le sucre de canne, et mai - juillet pour les campagnes d'arrachage de la betterave à sucre.

La pollution d'origine agricole, l'utilisation croissante des engrais (nitrates, chlorures et sulfate de potasse) et des produits phytosanitaires (pesticides: sulfates de cuivre ou de fer utilisés comme agents fongiques) ainsi que les rejets avicoles contribuent au flux de pollution aboutissant dans la plaine du Gharb et contaminant les eaux souterraines. Les concentrations en nitrates dépassent fréquemment les seuils de potabilité et posent problème pour l'irrigation des cultures maraichères. Les décharges polluent les eaux superficielles via les lixiviats produits en période pluvieuse. Leur charge totale en DBO5 est estimée à 29 960 tonnes par an soit 1.5 millions d'équivalents habitants. Alors que le taux de raccordement des eaux usées aux stations d'épuration augmente, le traitement des pollutions diffuses agricoles est moins facilement contrôlable. S'y ajoutent les polluants naturels (sels) (Sibari et al. 2020). Ces résidus s'accumulent dans la plaine mal drainée et sujette à une forte évaporation estivale, avec une infiltration limitée par des couches d'argiles imperméables.

La dilution des charges polluantes dans le milieu naturel est faible en raison du climat sec. Les écoulements de certains oueds qui aboutissent dans la plaine peuvent être constitués entièrement par les eaux usées (oued Behts et Rdom) particulièrement en été. Le milieu marin reçoit une partie significative des charges polluantes transitant par la plaine côtière du Gharb située à l'exutoire du bassin du Sebou. Les pressions sur l'écosystème marin sont amenées à augmenter du fait de la littoralisation des concentrations humaines.

Les usages agricoles de cette ressource en eau contaminée sont élevés dans la plaine du Gharb, le plus souvent sans prétraitement, via les stations de pompage dans l'oued Sebou, avec des risques de contamination via la consommation humaine ou animale des produits de l'agriculture irriguée. Cette pollution constitue potentiellement des problèmes sanitaires supplémentaires via la consommation d'eau potable extraites des aquifères de la plaine du Gharb, partiellement rechargée par les eaux de l'oued Sebou.

2.3 Changement climatique et changement global

Le Maroc est exposé à des changements climatiques se traduisant par une irrégularité accrue des épisodes pluvieux et des apports en eau avec des répercussions négatives sur l'ensemble des ressources naturelles.

Des tendances négatives ont été observées dans les chroniques de débit au cours des dernières décennies dans le nord du Maroc (Hrou et al., 2022). Les sécheresses, plus fréquentes depuis 1980, ont induit une baisse généralisée dans la disponibilité de la ressource en eau et de la productivité agricole au Maroc (Verner et al., 2018). Les projections climatiques indiquent que ces baisses vont se poursuivre sur tout le 21^e siècle dans la région

méditerranéenne (Tramblay et al., 2020) et particulièrement au Maroc (Balhane et al., 2022; El Khalki et al., 2021; El Moçayd et al., 2020, avec des conséquences négatives sur la ressource en eau (Ayt Ougougdal et al., 2020; Lespinas et al., 2014).

Les conséquences sociales incluent l'intensification de l'exode rural et la pression sur le développement urbain qui en résulte, la disparition de petites fermes et l'augmentation de dépenses d'irrigation, ainsi que l'utilisation d'engrais et de pesticides. Le débat de société sur les changements climatiques gagne de l'ampleur. Toutefois, la sensibilisation au sujet reste insuffisante. Seules les communautés lourdement touchées par les conséquences du changement climatique mettent en œuvre des mesures pour développer leur propre résilience.

Ces problématiques vont se renforcer face au changement global : accentuation des risques de sécheresse et d'inondation, pression croissante de la demande alimentaire nationale, vulnérabilités économique et humaine accrues. D'autres facteurs contribuent à la vulnérabilité croissante des populations aux extrêmes hydrologiques et flux pollués: la perte de productivité agricole a entraîné la migration vers les villes, augmentant la pression sur les services sociaux et les infrastructures physiques urbaines. Non seulement préjudiciable aux terres agricoles, cette croissance urbaine s'effectue de façon incontrôlée, ne favorisant pas un développement durable. Le plus souvent exclusivement masculin, cet exode rural peut s'accompagner de traumatismes familiaux et culturels.

2.4 Les contraintes de la modélisation hydraulique et hydrologique

L'analyse de ces enjeux visant à identifier des solutions nécessite une compréhension des liens de causalité entre aménagements hydro-agricoles et fonction d'écêtement des crues, ainsi qu'entre mise en valeur des merjas et l'amélioration de leur fonction auto-épurative. Une façon d'appréhender la complexité de ces relations consiste à les modéliser. Cette modélisation offre un support de discussion avec les acteurs impliqués (institutions comme l'ORMVAG et l'ABHS et société civile dont les agriculteurs) et doit permettre également de simuler des scénarios d'aménagements hydro-agricoles et des merjas afin d'évaluer leur impact sur les risques liés aux inondations (essentiellement économiques) et aux pollutions (essentiellement sanitaires et environnementaux, i.e. réduction de la biodiversité et des fonctions écosystémiques associées). La difficulté principale dans cette démarche est liée aux caractéristiques intrinsèques des plaines sédimentaires, bien illustrées par la plaine du Gharb.

Topographie

L'évaluation des fonctions d'écêtement des crues et d'autoépuration des merjas nécessite de caractériser le fonctionnement hydraulique de la plaine du Gharb. Ceci requiert une connaissance précise de sa topographie afin d'évaluer la direction et le sens des écoulements dans la plaine ainsi que la capacité de stockage en eau des dépressions (merjas) ainsi que leur dynamique de remplissage et de vidange. Compte tenu des très faibles variations d'altitude, les incertitudes sur les

altitudes fournies par les modèles numériques de terrain peuvent s'avérer limitantes (Mukherjee et al. 2013) et aboutir à des erreurs importantes (Minderhoud et al. 2019 ; Kulp et Strauss 2019).

Deux alternatives se présentent : la première consiste à utiliser un modèle numérique de terrain corrigé afin de pouvoir être utilisé dans les zones côtières (Kulp et Strauss 2018). La seconde consiste à cartographier à partir d'images satellitaires les zones inondées afin d'évaluer les faibles variations topographiques. Il serait également possible d'effectuer des vols LIDAR mais ils s'avèrent onéreux, compte tenu de la surface très importante de la plaine. Une solution pourrait consister à sélectionner une seule merja donc les flux entrants et sortants seraient directement mesurés sur site à l'aide d'instruments de mesure (sonde barométrique par exemple). Cependant, le relief est tellement plat que les micro-irrégularités empêchent de mesurer précisément les flux entrants et sortants. Des mesures dans un canal d'assainissement traversant la merja pourrait s'avérer être la meilleure option.

Hydrologie

Il manque des informations importantes nécessaires à la compréhension de la dynamique des débordements : Quel est le débit du débordement en fonction de la cote de l'oued Sebou en chaque point de débordement ? S'y ajoutent les débordements des petits oueds à régime intermittent provenant du sud et débouchant directement dans la zone centrale : oued-Canal Tihli, oued R'dom, oued-Canal Hamma, oued-Canal Beht, oued Twirsa, oued Tiflet, oued Smento. Certains de ces oueds ont été canalisés à l'intérieur des merjas de manière à augmenter leur drainage mais y débordent en période de crue.

Si les inondations dans la plaine du Ghrab sont provoquées en majorité par les crues des oueds Overgha, Sebou et Beht, elles sont aussi causées par les principaux affluents non contrôlés qui ne doivent pas être négligés. En effet, l'historique des crues fait ressortir des problèmes d'inondations liés à ces oueds, qui peuvent survenir sans qu'il y ait des inondations dues aux grands oueds ; ce fut le cas par exemple de la crue de 2003. Cette double variabilité a donc des conséquences sur la répartition des ressources en eau dans la plaine et complique la modélisation de ces apports pour l'estimation de l'impact des aménagements hydro-agricoles sur les crues.

Hydraulique

Un facteur supplémentaire de complication de la modélisation, lié à la topographie, est que le sens de la pente des canaux d'assainissement est nécessairement opposé à la pente naturelle au sein des merjas puisque leur fonction est de les vidanger. Une modélisation de ce système devrait donc prendre en compte cette structure en se basant non seulement sur un MNT précis (pour les pentes naturelles), mais également sur des mesures topographiques du réseau d'assainissement, qui existent au sein de l'ORMVAG.

Ces difficultés, d'ordres topographique, hydrologique et hydraulique, ont été contournées en recourant à l'imagerie satellitaire, comme présenté dans la troisième partie de ce rapport.

2.5 Gouvernance

Echelle nationale

Les stratégies nationales actuellement mises en oeuvre par différents départements ministériels marocains ont généralement été développées indépendamment les unes des autres :

- La Stratégie Nationale de l'Eau élaborée par la Direction Générale de l'Eau (DGE) et adoptée en 2009,
- Le Plan National de l'Eau, en cours de finalisation et dont la responsabilité revient également à la DGE qui dresse les orientations stratégiques sur lesquelles se basent les Plans Directeurs d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau,
- Le Plan National d'Assainissement Mutualisé (PNAM) du ministère de l'Intérieur.

Par conséquent, il y a un risque de ne pas aboutir à un consensus dans leur mise en oeuvre pour atteindre des objectifs considérés prioritaires à la préservation de l'environnement. L'aménagement des zones inondables se trouverait alors freiné par la divergence entre les différents acteurs institutionnels.

Echelle de la plaine du Gharb

A leurs débuts, l'ABHS et l'ORMVAG s'impliquaient respectivement dans la gestion d'une offre et d'une demande en eau essentiellement axée sur sa valorisation agricole, et caractérisée par des intérêts convergents. La diversification plus récente des secteurs de l'eau (hydro-électricité, eau potable, industries, agriculture) combiné au cadre réglementaire de la loi 36-15 de l'eau plus contraignant, ont modifié cette relation bipartite en introduisant une économie de marché. Désormais, l'ABHS doit arbitrer les demandes formulées par les différents secteurs et allouer la ressource en fonction de contraintes socio-économiques: rentabilité et priorité à la production d'eau potable. D'autres impératifs réglementaires, tel celui du pollueur-payeur, impliquent des entreprises «agregateurs» comme les usines sucrières qui contractent des agriculteurs producteurs de betteraves à sucre et de canne à sucre. Ces derniers bénéficient de matériel de production, particulièrement dans les zones de merjas où les cultures betteravières et cannières sont les mieux adaptées aux excès hydriques. En contrepartie, ils s'engagent à vendre leur récolte à l'entreprise sucrière qui les a contracté. Il existe également d'autres groupes d'acteurs comme les associations des usagers de l'eau agricole, membres du conseil de l'ABHS qui font du lobbying pour l'ORMVAG. Par ailleurs, les associations d'agriculteurs façonnent le paysage agricole par le choix des cultures et des investissements à réaliser.

L'ORMVAG, l'ABHS et les départements ministériels susmentionnés sont en charge de plans régionaux qui sont des déclinaisons régionales des stratégies élaborées à l'échelle nationales. Bien que l'environnement se trouve au cœur de ces différentes stratégies, il ne les fédère pas systématiquement du fait de la relative indépendance qui existe entre les départements ministériels qui les conçoivent séparément.

Par ailleurs, les zones inondables sont actuellement exploitées par la population locale (agriculture, parcours, ...) et aucune solution ne peut être envisagée sans son implication et sa participation. L'enjeu principal est donc de faire converger

l'ensemble de ces acteurs sur des solutions de compromis. Adresser cette problématique à l'échelle de la plaine du Gharb peut s'envisager moyennant un effort de coordination pour garantir la participation de tous les acteurs concernés à toutes les phases d'élaboration du projet.

3. CONCLUSIONS

Avec la prise de conscience écologique, des rôles bénéfiques sont nouvellement reconnus aux merjas : protection des écosystèmes (réserve de biodiversité et épuration naturelle des eaux contaminées), fourniture de services aux agriculteurs, en été (pastoralisme, culture de contre-saison sur sol humide) et en hiver (stockage des eaux de crue, modérant les inondations et protégeant les périmètres irrigués et les zones urbaines). Les merjas constituent des zones de vie multi-usage assurant un lien patrimonial. Leur multifonctionnalité se décline selon leurs connexions hydrauliques avec les oueds, les périmètres irrigués/drainés et les aquifères sous-jacents. Souvent végétalisés, ces derniers contribuent aussi à fournir des services écosystémiques de régulation des inondations, d'épuration et de soutien de la biodiversité. Plusieurs facteurs influencent la multifonctionnalité des merjas et des réseaux d'assainissement : i/ la proximité des exploitations agricoles et des centres urbains, génératrice d'opportunités agro-économiques mais également responsables de pollutions, ii/ le statut foncier de ces merjas régulant leur exploitation, iii/ les orientations stratégiques nationales comme le Programme National d'Économie d'Eau en Irrigation.

Comprendre et caractériser ces interactions et leurs processus doit permettre d'identifier les rôles des merjas en tant que solutions fondées sur la nature et de penser leur renforcement via une nouvelle ingénierie écologique avec l'ambition d'identifier des interventions à moindre coût garantissant la fourniture durable de services écosystémiques.

PARTIE II : SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DES MERJAS

Cette partie restitue essentiellement le travail réalisé par Hajar Choukrani, dans le cadre de sa thèse de doctorat, et publié (Choukrani et al. 2022). Son objectif est de dévoiler la pluralité des regards sur les merjas par une lecture des services écosystémiques qu'elles fournissent.

1. INTRODUCTION

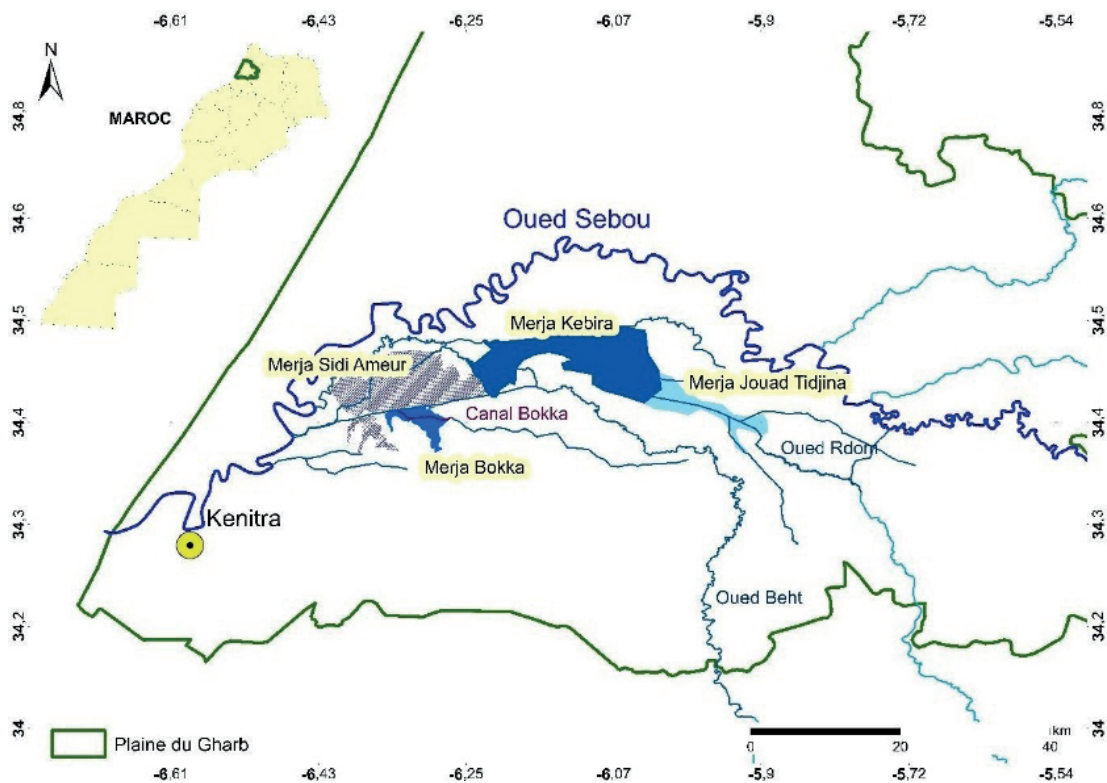
Les zones humides, de par la biodiversité qu'elles concentrent, de la ressource hydrique qu'elles constituent et de leur capacité naturelle à stocker les écoulements et de séquestrer le carbone, rendent de nombreux services aux populations. Pourtant ces fonctions ont longtemps été négligées, surtout avec le développement agricole visant une maximisation de la productivité, sans vision sur le long terme ni à l'échelle d'un territoire. Ainsi, à l'échelle mondiale, on estime que 64% des zones humides de la planète ont disparu depuis 1900 (Ramsar, 2015) notamment à cause de leur assèchement, entraînant la perte de certaines fonctions associées (MEA, 2005). Aujourd'hui, avec la prise de conscience écologique face aux dégradations environnementales liées au changement global, les services écosystémiques des zones humides sont considérés avec attention (Were et al., 2019).

« Les merjas sont des zones basses susceptibles de retenir, temporairement ou à demeure, sur une partie de leur surface, les eaux de ruissellement, d'inondation et de pluie » (Le Coz, 1964 : 99). Historiquement, ces zones humides, localement dénommées « merjas », souvent impaludées, étaient perçues par les aménageurs comme des espaces improductifs et des milieux insalubres (Sajaloli, 1996). Elles étaient pourtant exploitées par les populations locales : au début du 20^e siècle, les merjas étaient considérées par les collectivités riveraines à travers leur fonction principale d'aire de parcours, peu appréciée par l'administration coloniale y voyant un foyer de tensions foncières. La littérature (e.g. Le Coz, 1964) révèle les regards contradictoires qui ont existé entre le semi-nomade et le colonisateur à l'époque, et qui, comme on va le voir, persistent aujourd'hui entre les collectivités riveraines et l'État.

Les crues occasionnelles ont marqué les esprits des aménageurs, rappelant le risque d'inondation élevé dans la plaine du Gharb. La superficie inondée par la crue de 2010 était de 135 000 ha, causant d'énormes dégâts (FAO et MAPM, 2010). Cette crue a révélé l'importance des merjas comme zones tampon pour préserver les secteurs aménagés et la ville de Kenitra (FAO et MAPM, 2010). Il apparaît donc que les services écosystémiques ne se sont pas tous fournis au même moment et certains sont occasionnels.

Quoiqu'elles jouent plusieurs rôles, le terme de « Services écosystémiques » n'a, jusqu'à présent, jamais été attribué aux merjas, mais il a été souvent question des avantages qu'elles

Figure 9. Merjas centrales de la plaine du Gharb. Source : Choukrani et al (2022)



procuraient (Le Coz, 1964). D’une façon générale, « les services écosystémiques sont les bénéfices que les hommes obtiennent des écosystèmes » (MEA, 2005). A l’inverse, les disservices écosystémiques sont « les fonctions, processus et attributs générés par l’écosystème qui entraînent des impacts négatifs perçus ou réels sur le bien-être humain » (Shackleton et al., 2016). L’ambition de cette étude est d’explorer quels services écosystémiques sont attribuables aux merjas de la plaine du Gharb, d’identifier les acteurs concernés par ces services, et d’analyser comment ces services varient dans le temps et l’espace.

Généralement, les zones humides sont reconnues pour fournir certains services écosystémiques : régulation (climat, pollution, risques d’inondation), approvisionnement (nourriture, fibres, carburant et eau), culturel (éducation, valeurs spirituelles et loisirs), et soutien (biodiversité, fertilité des sols) nécessaire à la production des trois catégories de services précédentes (Kull et al., 2015; Neang et Méral, 2021).

2. SITE D’ÉTUDE

L’étude se focalise sur les merjas centrales de la plaine du Gharb cumulant une superficie de 9700 ha (NOVEC, 2011b). La plupart des merjas, mis à part 12 000 ha convertis en rizières irriguées pendant la première tranche d’irrigation dans les années 1970s, restent dans leur état naturel à cause des difficultés d’aménagement dues aux risques d’inondation et à leurs sols argileux hydromorphes. Elles sont cependant connectées au réseau d’assainissement. « Sidi Ameur », « Kebira », « Jouad

Tidjina » et sur la merja « Bokka » (Figure 9). Les trois premières sont des merjas exploitées par les collectivités riveraines et des locataires pour la production agricole, mais considérées non-aménagées et devant faire l’objet d’un futur aménagement par l’Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (ORMVAG). La merja Jouad-Tidjina est principalement alimentée par les débordements de l’Oued Rdom (Figure 9). C’est une merja à chenal d’écoulement, qui canalise les eaux de crues vers les merjas Kebira et Sidi Ameur. L’eau de chaque crue y séjourne généralement moins de deux jours, permettant de la mettre en culture en hiver. Les merjas Sidi Ameur et Kebira retiennent l’eau pendant de longues périodes. Cette eau provient de débordements des cours d’eau Rdom et Beht ou des précipitations locales. Après leur vidange, ces merjas sont cultivées au printemps et en été (Figure 10). La merja Bokka a une forme de cuvette plus profonde que les autres merjas et stocke plus d’eau (Le Coz, 1964).

Les étendues des merjas sont difficiles à déterminer et correspondent approximativement à la zone inondée en période de crue. Si la limite réelle des merjas est variable (Tableau 1) selon l’ampleur des inondations (Célérier, 1922; Le Coz, 1964), la délimitation utilisée dans le cadre de cette étude correspond aux limites utilisées par l’ORMVAG. Elle combine une approche hydrologique et foncière. Après les travaux d’assainissement (cf. partie I), les merjas Sidi Ameur, Kebira et Jouad Tidjina ont été classées dans le Domaine Privé de l’État, avec en principe une attribution d’un tiers de la superficie (tiers collectif) pour les collectivités riveraines et deux tiers mis à disposition de l’État pour attribution. La merja Bokka a été maintenue dans le Domaine Public de l’État.

Figure 10. Merja Kebira, (a) inondée en hiver, (b) cultivée en été



Tableau 1. Superficie des merjas centrales de la plaine du Gharb en hectares

Merjas	(Célérier, 1922)	(Le Coz, 1964)	ORMVAG (n.d.)
Sidi Ameur		3 020	6 900
Kebira	19 000	12 320	9 581
Bokka		1 600	NA
Jouad Tidjina	NA	4 730	5 300

(NA : non accessibles/not available)

3. MÉTHODOLOGIE

Des observations de terrain et des entretiens semi-directifs ont été entrepris pour identifier les acteurs concernés par les merjas, préciser quelles sont, d’après eux, les limites spatiales des merjas et le cadre réglementaire qui les régissent, comprendre leur perception des différents services écosystémiques des merjas et des usages qui leur sont associés, et analyser les discours et les pratiques des acteurs. Plusieurs catégories d’acteurs ont été ciblées : les agriculteurs, les institutions responsables de la gestion de l’eau, de l’agriculture et de l’environnement, les institutions responsables de la gestion du foncier et une ONG engagée dans la protection environnementale.

3.1 Enquêtes auprès des agriculteurs

Des entretiens menés entre février et juillet 2021 ont concerné 92 agriculteurs dont toutes ou partie des terres qu’ils cultivent se trouvent dans les 4 merjas. Un échantillonnage selon la méthode « boule de neige », pratiquée dans la recherche qualitative consistait à constituer progressivement un réseau de relations

Figure 11. Occupation des sols des merjas centrales. Source : Choukrani et al (2022)

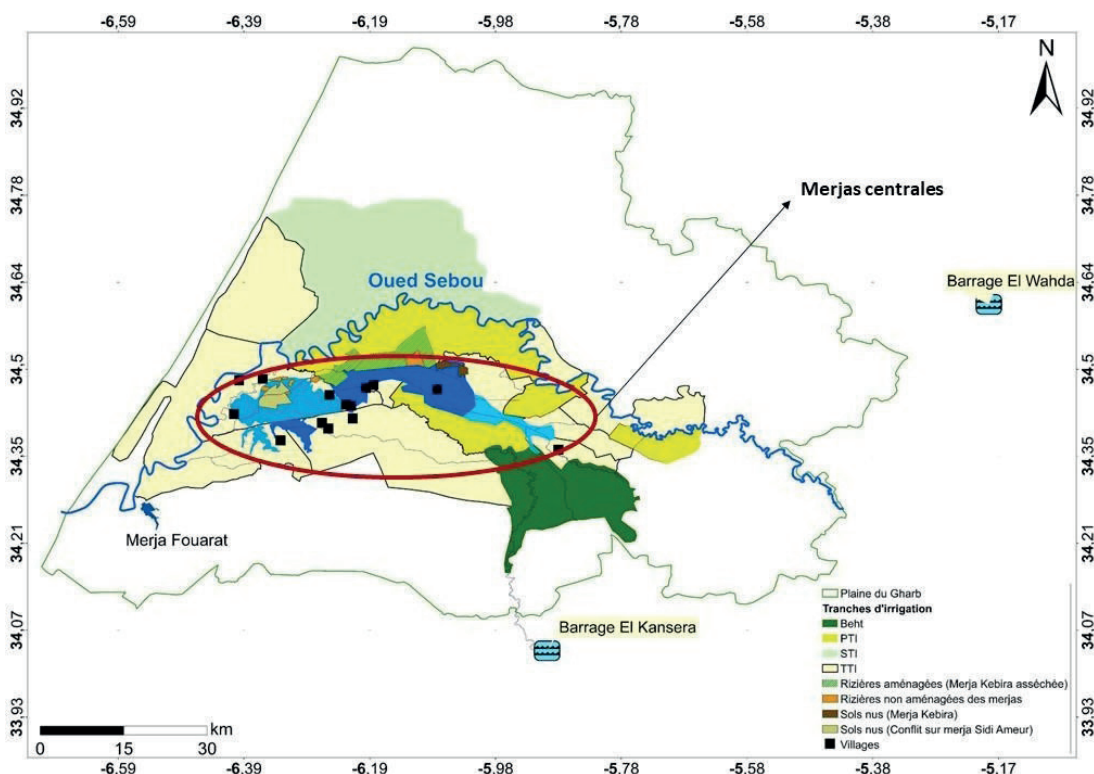


Tableau 2. Pluralité des services écosystémiques (SE) cités par les acteurs enquêtés

Catégories d'acteurs	Sous catégories d'acteurs	Nb enquêtés	SE d'approvisionnement						SE de soutien		SE de régulation	SE culturels		
			Elevage	Cultures pluviales	Cultures irriguées	Apiculture	Parcours	Revenu agricole	Fertilité des sols	Biodiversité	Ecrêtement des crues	Fantasia	Chasse	Attachement
Agriculteurs	Merja Sidi Ameur	47	0,85	0,57	0,68	0,11	0,62	0,89	0,83	0,13	0,06	0,43	0,28	0,57
	Merja Kebira	20	0,75	0,4	0,9	0,1	0,45	0,75	0,7	0,65	0,10	0,15	0,4	0,65
	Merja Jouad Tidjina	23	0,78	1	0,35	0	0,17	0,87	0,83	0	0	0	0,17	0,26
	Merja Bokka	2	0,5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0
Ministère intérieur (Caïdats des collectivités territoriales rurales)	Merja Sidi Ameur	4	0,5	0,75	0,75	0	0,75	0,75	0,75	0,25	0,25	0,75	0,25	-
	Merja Kebira	3	0,33	0,67	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	-	-
	Merja Jouad Tidjina	3	0,33	1	0,33	0	0,33	0,33	-	0	0,67	0	0	-
	Merja Bokka	2	0	0	0	0	1	0	-	1	-	0	1	0
	Direction des affaires rurales	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ministère des finances	Délégation des domaines de Kenitra	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Institutions agricoles	ORMVAG (sauf merja Bokka)	5	0,4	0,4	0,2	0	0,6	-	0,2	0	0,6	0	0	0
	FNIR	3	0,67	1	0,67	0	0,67	1	0,67	0,33	-	0,33	0,33	0,33
Institution hydraulique	Département de l'eau	2	-	0,5	0,5	-	0,5	0,5	0	-	0,5	-	-	-
Autres institutions	Direction des eaux et forêts Kenitra	2	0	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	1	-
	Association environnementale	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

sociales où les premiers enquêtés engageaient d'autres enquêtés dans l'étude. Les entretiens ont porté sur le rôle des merjas dans le fonctionnement de l'exploitation agricole, les pratiques agricoles et la caractérisation des services écosystémiques. Du fait de la non familiarité des agriculteurs au concept de service écosystémique, celui-ci leur était traduit en termes de bénéfices associés aux différents usages des merjas.

La perception des acteurs sur chaque service écosystémique a été quantifiée de la manière suivante : le nombre de fois qu'un service écosystémique était mentionné par chaque type d'acteurs a été converti en un ratio (nombre de citations divisé par le nombre d'enquêtés dans un groupe socioprofessionnel) (Tableau 2) et représenté sous forme de graphes de type radars pour comparer les perceptions des acteurs sur les services écosystémiques des merjas.

3.2 Enquêtes auprès des institutions

Des entretiens semi-structurés ont été menés avec 28 acteurs institutionnels sur leurs perceptions des services écosystémiques des merjas, les problèmes liés à leur utilisation et leur vision sur le devenir des merjas. Les institutions concernées sont : l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (ORMVAG), la Fédération Nationale Interprofessionnelle du Riz (FNIR), la Délégation des Domaines de Kenitra (Ministère des Finances), la Direction des Affaires Rurales de Kenitra et les Caïdats des

collectivités territoriales rurales (Ministère de l'Intérieur), la Direction des eaux et forêts Kenitra, le département de l'eau à Rabat, et une association environnementale, engagée dans la lutte contre la pollution urbaine de la merja Fouarat (Figure 11).

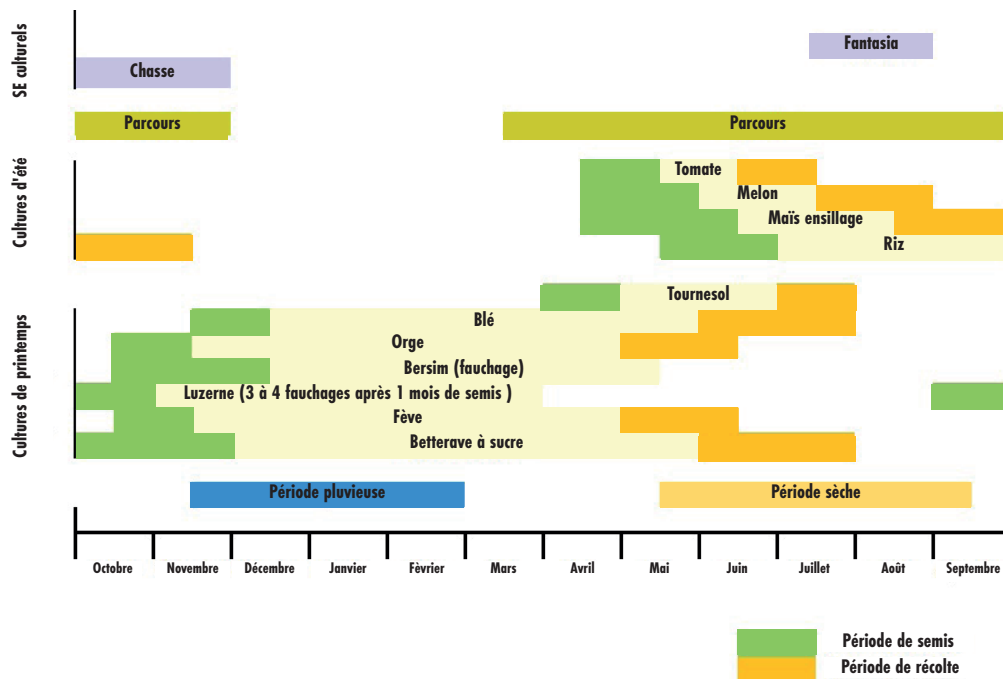
4. RÉSULTATS

4.1 Service de production végétale

Les merjas Sidi Ameur, Kebira et Jouad Tidjina ne font pas formellement partie du secteur aménagé et elles sont exploitées par les résidents des collectivités riveraines.

En hiver, des cultures pluviales (betterave à sucre, blé, orge, bersim) profitent des pluies de l'automne et du printemps mais sont exposées à l'engorgement des sols lors des épisodes pluvieux, d'une part, et à des inondations suite aux crues, d'autre part. La betterave à sucre est cultivée par les agriculteurs ayant plus de 5 ha (6% des agriculteurs enquêtés). Leur production est vendue à la sucrerie de Dar El Gueddari. Les agriculteurs dont les terres sont exposées aux excès hydriques souhaiteraient une meilleure protection de leurs parcelles contre les crues mais ont développé des pratiques permettant de gérer ce risque : en cas d'engorgement des sols, le blé n'est pas moissonné mais fauché et sert de fourrage pour le bétail, montrant la complémentarité de l'association cultures-élevage. La mise en place de cultures de

Figure 12. Calendrier cultural et autres usages des merjas centrales de la plaine du Gharb (SE culturels = Services Écosystémiques culturels).
Source : Choukrani et al (2022)



rattrapage au printemps (tournesol), en cas d'échec des cultures d'hiver, est une pratique répandue. Certaines cultures irriguées comme la luzerne sont également cultivées en régime pluvial puis remplacées par du riz ou d'autres cultures irriguées en été (Figure 12).

En été, les apports hydriques aux cultures (melon, tomate, artichaut, maïs, riz) proviennent exclusivement de l'irrigation. Ces cultures irriguées sont présentes surtout dans les merjas Sidi Ameur et Kebira où certains agriculteurs ont accès aux canaux d'assainissement qui véhiculent les eaux de vidange des rizières aménagées (Figure 11). D'autres agriculteurs, souvent des locataires apportant le capital nécessaire, ont mis en place des forages dans la nappe profonde allant jusqu'à 120 m, la nappe superficielle étant salée, pour irriguer les cultures.

Plus de 2 000 ha de la merja Kebira ont été aménagés en rizières dans les années 1970 (Figure 11). En plus, 1 000 ha de secteurs rizicoles, non-aménagés par l'ORMVAG, sont gérés par la FNIR dans une partie des merjas Sidi Ameur et Kebira. Les eaux de vidange des secteurs rizicoles aménagés, alimentés par l'ORMVAG, fournissent de l'eau aux rizières des zones non aménagées (Figure 11). Selon un membre de la FNIR, le riz nécessite théoriquement 3 à 4 vidanges par cycle (que cela soit en zone aménagée par l'ORMVAG ou non), le volume d'eau de chaque vidange étant de l'ordre de 2 000 m³/ha. Le nivellement et la mise en place du réseau d'irrigation sont à la charge des agriculteurs.

Les rizières, qu'elles soient aménagées ou pas, créent des emplois agricoles pendant plus de 6 mois/an et industriels avec une valeur ajoutée estimée à 200 millions de dirhams (≈ 18.5 millions € en oct. 2022) (Moinina et al., 2018). La location des terres rizicoles aux agriculteurs appartenant, ou pas, à la communauté (1 000 ha

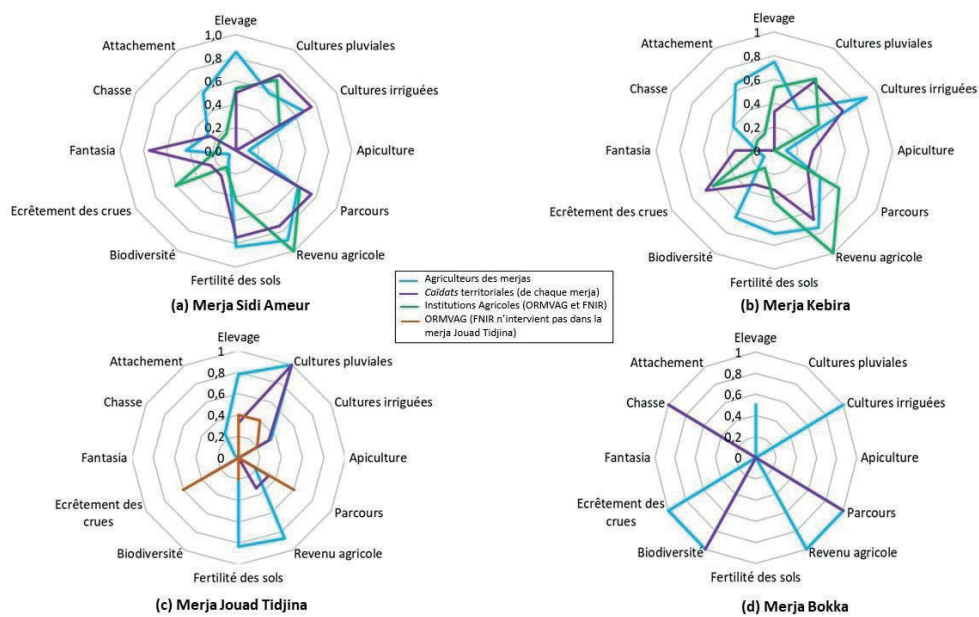
au total pour des montants de 2 500 à 3 000 dirhams/ha/an) est une source de revenus appréciable pour les agriculteurs propriétaires. De plus, les femmes de quelques douars vendent du compost des merjas (résidus culturaux) aux agriculteurs qui pratiquent des cultures à haute valeur ajoutée dans les périmètres irrigués, générant ainsi un revenu modeste.

Les enquêtes mettent en exergue un accès difficile à l'eau pour les agriculteurs des merjas, notamment en raison de leur non aménagement. C'est le cas de la merja Jouad-Tidjina. L'accès à la ressource en eau en été y est contraint car les canaux d'assainissement ne sont pas alimentés par l'ORMVAG. Les observations montrent en effet une grande superficie de sols nus en été. Une alimentation plus régulière par l'ORMVAG permettrait d'améliorer la mise en valeur agricole des merjas.

4.2 Services de production animale (élevage, pâturage et apiculture)

Selon les agriculteurs, l'élevage est leur activité essentielle dans les merjas, rentable et moins exposée aux risques d'inondation. La pratique de l'élevage ovin-bovin repose sur la culture du bersim (trèfle d'Alexandrie) après le riz et utilisé comme fourrage. L'excédent est vendu aux villages voisins. Les agriculteurs ayant un cheptel à effectif élevé se déplacent pour le pâturage sur les sols nus des merjas centrales (Figure 11), comme sur les 1 200 ha de la merja Sidi Ameur où l'État interdit de cultiver depuis 2005 à cause de problèmes fonciers non résolus. Les collectivités riveraines souhaitent réserver ces terres à leurs agriculteurs, alors que l'État souhaite louer ces terres à d'autres agriculteurs. Certains villageois installent des ruches dans les zones isolées des merjas Sidi Ameur et Kebira, profitant de la présence de la cataire (*nepeta cataria*) qui est une plante aromatique.

Figure 13. Services écosystémiques selon les collectivités riveraines et les acteurs institutionnels, (a) merja Sidi Ameur, (b) merja Kebira, (c) merja Jouad Tidjina, (d) merja Bokka. Source : Choukrani et al (2022)



4.3 Biodiversité et chasse

La biodiversité est liée au régime de l'eau (El Blidi et al., 2006), mais n'est pas mentionnée par les résidents des collectivités riveraines ni par les acteurs institutionnels (Figure 13) comme une caractéristique importante des merjas. Certains membres des collectivités riveraines ont évoqué divers oiseaux migrateurs qui s'abritent dans les merjas (en hiver et au printemps) et les rizières (en été). Ces oiseaux sont chassés, ce qui peut être présenté comme un service de loisir. On a pu observer la bécasse, la cigogne et le héron blanc, en particulier dans les rizières. Vu la nature temporelle des inondations, la régression de leur végétation hygrophile depuis leur assèchement, et leur intégration dans le projet de mise en valeur de l'ORMVAG, ni l'association environnementale enquêtée ni les Eaux et Forêts n'accordent une importance à la biodiversité des merjas.

La merja Bokka constitue un cas particulier avec sa biodiversité floristique. En 1952, une demande de classement de la merja en réserve botanique et zoologique n'a pas abouti (Sauvage, 1959). En revanche, cette merja est considérée comme un site à intérêt Biologique et Écologique (SIBE). Cependant, elle n'attire guère le regard des écologues ni des institutions environnementales. Selon le Centre d'Échange d'Information sur la Biodiversité du Maroc (CHM, 2006), la merja Bokka a perdu sa richesse floristique : « Cette merja recelait il y a peu une flore abondante et très riche tout à fait représentative de la flore aquatique du Gharb aujourd'hui disparue suite à l'assèchement systématique des merjas... ». La merja Bokka reçoit de moins en moins d'eau laissant place à des activités agricoles marquées par un usage de pesticides menaçant l'écosystème aquatique (Flower, 2001). Pourtant, les activités agricoles et la chasse y sont interdites, puisqu'elle appartient au Domaine Public de l'État. Elle est utilisée comme aire de parcours et on observe quelques parcelles agricoles informelles.

4.4 Appropriation et attachement : service culturel

Le sens de l'appartenance et de l'attachement des membres des collectivités riveraines aux merjas représente un service culturel important. Lors de la crue dévastatrice de 2009-2010, les habitants des villages inondés ont été déplacés vers de nouveaux villages situés à des endroits protégés. Toutefois, certains habitants ont décidé de se réinstaller près de leurs terres des merjas, affirmant ainsi le lien fort à leurs terres, malgré les risques encourus lors des épisodes pluvieux. Selon les enquêtes, les terres des merjas procurent un sens d'autonomie et de liberté, qui n'est pas ressenti par les agriculteurs du périmètre public qui sont redevables à l'autorité publique, souvent endettés et contraints aux tours d'eau.

Les collectivités riveraines pratiquent aussi la Fantasia, tradition équestre au Maroc, dans les merjas une fois que l'eau s'est retirée. Elles font les entraînements et organisent un festival en été. Ce n'est pas un service culturel exclusif aux zones humides mais les collectivités profitent des espaces plats et libres de cultures en été.

4.5 Perceptions des acteurs sur les services écosystémiques des merjas

Les agriculteurs ont exprimé un intérêt pour les services écosystémiques d'approvisionnement, en particulier la production agricole dans les merjas Sidi Ameur, Kebira et Jouad Tidjina (Tableau 2). Pour la merja Bokka, le faible nombre d'agriculteurs actifs s'explique par l'interdiction de sa mise en culture.

L'intérêt spécifique pour l'élevage ou l'agriculture varie en fonction des merjas comme le montre le Tableau 2 et la Figure 13. Dans la merja Jouad Tidjina, les agriculteurs s'intéressent particulièrement aux cultures pluviales et à l'élevage, alors que les cultures irriguées sont beaucoup moins mentionnées malgré

leur existence constatée mais limitée. Cela s'explique par le morcellement des terres aboutissant à une taille réduite des parcelles, jugées non propices à l'irrigation et par la difficulté d'accès à l'eau. Au contraire, dans la merja Kebira, 90 % des agriculteurs irriguent leurs cultures. A l'intérieur des groupes d'agriculteurs, on constate une dichotomie entre les grands agriculteurs qui sont intéressés par l'irrigation des cultures et les petits agriculteurs qui n'ont pas les moyens d'accéder à l'eau d'irrigation, en raison du coût prohibitif du forage d'un puits ou des redevances pour l'accès à l'eau des canaux d'irrigation, et se contentent de l'agriculture pluviale.

Concernant les institutions, l'intérêt pour les services écosystémiques d'approvisionnement diffère. Alors que l'ORMVAG considère les merjas comme peu productives, le FNIR s'y intéresse de près, particulièrement pour la riziculture dans les merjas Sidi Ameur et Kebira. Les autres institutions affichent une méconnaissance de la production agricole dans les merjas, à l'exception des Caïdats des collectivités riveraines qui ont une vision assez proche de celle des agriculteurs, pour les merjas Sidi Ameur, Kebira et Jouad Tidjina (Figure 13). La personne enquêtée au département de l'eau à Rabat considère les merjas comme une zone tampon pour les crues, mais étant originaire de la zone il est aussi au courant de sa mise en valeur agricole.

Le premier service de soutien mentionné est celui de la fertilité, en lien avec le dépôt des sédiments lors des crues. En ce qui concerne la biodiversité, 23 % des agriculteurs la perçoivent comme un service écosystémique culturel, car elle permet la chasse (Tableau 2). Les agriculteurs de la merja Bokka ont indiqué la présence de plusieurs espèces d'oiseaux lorsqu'elle est inondée en hiver. Pour les merjas Sidi Ameur et Kebira, 13 % et 65 % des agriculteurs ont respectivement mentionné la présence d'oiseaux dans les rizières en été, considérée comme un disservice car nuisible à leur production (Tableau 2). Le pourcentage élevé dans la merja Kebira s'explique par la présence de grandes rizières.

4.6 Antagonismes entre perceptions des agriculteurs et des acteurs institutionnels

Régulation des crues

Perception des agriculteurs :

L'écêtement des crues est seulement mentionné par 7 agriculteurs sur les 92 enquêtés (Tableau 2), décrivant les merjas comme « un grand réservoir » qui retient les eaux de l'oued Sebou et de ses principaux affluents : le Beht et le Rdom. Cependant, ils perçoivent cette fonction de régulation comme un dis-service qui nuit à l'agriculture quand les sols sont engorgés et qui menace leur vie en cas d'inondations catastrophiques comme celles de 1973, 1996 et 2010 ancrées dans leurs mémoires.

Les agriculteurs sont conscients de l'hydrologie des merjas : « la merja est un réservoir » ou encore « les cours d'eau se perdent dans les merjas » sont des expressions communément utilisées. Mais selon eux, les merjas sont avant tout des terres fertiles, même si marginalisées par les aménageurs. D'après eux, il faut se « débarrasser » de l'eau qui cause l'engorgement des sols (59 citations sur 92 agriculteurs), rend leurs parcelles inaccessibles, gêne leur activité agricole, entraîne des chutes de rendement et peut menacer leur vie. Ils ont affirmé que ce que l'on appelle

« zone tampon » est un dis-service et que des solutions de drainage et d'assainissement externe doivent être entreprises pour pallier ce problème. De plus, les pistes sont dans un état lamentable, ce qui empêche souvent les intermédiaires d'acheter directement au niveau des exploitations.

La production agricole prime pour les collectivités riveraines. « Ce n'est plus une merja, on peut cultiver ces terres » fut la réponse d'un agriculteur de la merja Sidi Ameur, estimant que le terme merja a une connotation péjorative de stagnation des eaux. Pour les collectivités riveraines, la merja a été rendue productive grâce à la mise en place des barrages et le réseau d'assainissement, qui, en plus de permettre l'irrigation dans les zones aménagées, contribuent à réduire les risques d'inondation dans les zones non-aménagées les moins basses, leur permettant de les cultiver et d'avoir un revenu agricole. Cependant, ces merjas demeurent impraticables si les pluies sont importantes : « Il faut qu'il pleuve un petit peu, en dessous de la normale, pour assurer notre production » selon un agriculteur de la merja Kebira.

Perception des institutions : les merjas sont des zones tampons peu productives. Les institutions de gestion de l'eau et de l'agriculture interviewées considèrent que les merjas sont des terres non-aménagées situées à l'extérieur du périmètre irrigué. Après plus d'un siècle d'aménagement, les institutions estiment que leur aménagement peut engendrer beaucoup de problèmes. Selon les interviewés, ce sont des zones agricoles peu productives et dont le statut juridique complexe est source de conflits. Pour le département de l'eau, les merjas servent surtout à retenir les eaux excédentaires en hiver. Elles pourraient être considérées comme des zones tampons pour l'écêtement des crues. Cette perception a été renforcée par les inondations de 2009-2010, quand les eaux se sont accumulées dans les merjas créant un couloir d'inondations (Figure 7). Cette vision va à l'encontre des propositions d'aménagement longtermes promues par l'ORMVAG et visant à améliorer le drainage des merjas afin d'en faciliter la mise en culture. En effet, comme l'a montré NOVEC (2012) à l'aide d'une modélisation hydraulique de la plaine, une telle intervention réduirait la capacité d'écêtement de crue des merjas.

Services culturels

Perception des agriculteurs : les services écosystémiques culturels sont mentionnés par les agriculteurs et, dans une moindre mesure, par les caïdats (Tableau 2; Figure 13). La fantasia, la chasse et le sens d'attachement sont exprimés par les agriculteurs des collectivités riveraines. Les institutions font l'impasse sur ces services écosystémiques culturels.

Perception des institutionnels : les travaux de Brichambaut dans les années 1950 ont souligné la présence de formations végétales spécifiques aux merjas (renoncules, roseaux, roseaux à scirpes, joncs (Le Coz, 1964), utilisés par les populations locales pour la construction des habitats ou la fabrication des nattes. Toutefois, les travaux d'assèchement sur ces zones ont conduit à une dégradation ou même à la disparition de cette flore (CHM, 2006). Le service de soutien de la biodiversité des merjas n'est plus considéré comme tel par les acteurs, y compris par l'association environnementale et la direction des Eaux et

Forêts de Kenitra. Ces acteurs donnent plus d'importance aux zones humides permanentes comme la merja Fouarat. Même la merja Bokka, pourtant SIBE est désormais considérée une merja asséchée ayant perdue sa richesse floristique.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'étude a montré des visions contrastées des bénéfices procurés par les merjas. Considérées par leurs riverains comme des terres agricoles lorsqu'elles sont assainies, ils ont mis en place des pratiques agricoles adaptées à un contexte édaphique spécifique. Leur souhait est d'être mieux protégé des inondations en hiver et de bénéficier de l'eau d'irrigation en été. Si officiellement les merjas sont toujours considérées comme futurs secteurs à aménager par les institutions de l'agriculture et de gestion de l'eau, en pratique cette ambition s'estompe. Ces institutions considèrent les merjas en hiver comme zones tampons potentielles pour protéger les secteurs aménagés et la ville de Kénitra des risques de crues. Alors qu'elles pensent que leur mise en valeur agricole peut être améliorée par des locataires non résidant en été, qui ont des moyens financiers supérieurs aux agriculteurs riverains, leur permettant de louer des plus grandes superficies et de les équiper en forages pour l'irrigation (pendant cette période le risque d'inondation est nul), les riverains s'opposent à la venue d'agriculteurs extérieurs à leurs collectivités, privilégiant leur communauté. Aujourd'hui, les riverains revendiquent un accès plus important à la terre des merjas, au-delà de ce qui leur avait été attribué par l'état dans le cadre de la melkisation des terres. La "melkisation" régie par la loi n° 64.17 est un processus qui vise la transformation de la propriété dans l'indivision des terres collectives situées dans les périmètres d'irrigation en propriétés privées de 5 ha (surface minimum d'exploitation).

Cette analyse sous l'angle des services écosystémiques révèle des conflits et contradictions dans la planification de l'utilisation et de la mise en valeur des merjas (Seijger et al., 2016). Ces différences d'appréciation résultent de l'histoire de ce milieu, marquée par des conflits et des polémiques. En hiver et au printemps, un *modus vivendi* a été trouvé avec un arrêt de facto de l'aménagement par l'État et une mise en culture par les riverains, qui est seulement perturbée à l'occasion des très grandes crues. En été, l'absence d'un réseau d'irrigation rend l'occupation de l'espace compliqué. La demande qui émerge est l'alimentation en eau pour permettre une mise en valeur plus intensive. Ce nouvel accès à la ressource pourrait se faire par des nouveaux forages ou par la construction de nouveaux canaux d'irrigations connectés au réseau existant. Fournier (2020), dans son analyse sur les services écosystémiques culturels, a souligné que le territoire est un prolongement des gens qui y habitent. Si les intérêts agricoles et la protection contre les inondations sont portés par les collectivités riveraines et les institutions de l'agriculture et de gestion de l'eau, les dimensions écologiques et culturelles interviennent encore très peu dans le débat sur l'avenir des merjas. Celles-ci restent invisibles pour l'ensemble des acteurs. La non prise en compte de la biodiversité des merjas par les institutions environnementales est sans doute due à leur mise en eau désormais peu fréquente. Les services écosystémiques revendiqués par certains acteurs ne sont généralement pas partagés par les autres : les institutions

agricoles sous-évaluent la mise en valeur agricole des merjas par les collectivités riveraines. D'autres services écosystémiques apparaissent sur le graphique du radar de manière conjoncturelle. Par exemple, les institutions hydrauliques ne se rappellent des merjas que quand les épisodes d'inondations fortes ont lieu et évoquent leur fonction régulatrice. Cependant, cette même fonction de régulation est considérée comme un disservice par les collectivités riveraines.

PARTIE III : HYDROLOGIE DE LA PLAINE DU GHARB

1. INTRODUCTION

La partie I de ce rapport a révélé les visions contrastées que portent les agriculteurs et les acteurs institutionnels sur les merjas, considérées par les premiers comme des terres agricoles inondables qu'il faut drainer, et par les seconds comme des zones tampons pour l'écrêtement des crues parvenant à l'exutoire de la plaine. Dans ce cadre, l'hypothèse formulée est que les merjas, en stockant temporairement les eaux débordées de l'oued Sebou, puis en les restituant à l'oued dans sa partie aval, écrètent les pics de crues et protègent ainsi la ville de Kenitra située à l'aval.

L'objectif initial de l'analyse hydrologique, présentée dans cette seconde partie, était de modéliser les fonctionnements hydraulique et hydrologique de la plaine du Gharb afin de simuler les effets de différents scénarios d'aménagement des merjas sur leur fonction d'écrêtement des crues. Cette modélisation était envisagée comme un support de discussion des différents scénarios d'aménagement avec les acteurs impliqués (ORMVAG, ABHS, société civile, agriculteurs). Cependant, cet exercice de modélisation s'est révélé très difficile à mettre en œuvre pour plusieurs raisons :

- **Topographie** : la modélisation de la plaine du Gharb requiert une connaissance précise de sa topographie afin d'évaluer la direction et le sens des écoulements, la capacité de stockage et la dynamique de remplissage et de vidange des dépressions (merjas). Les très faibles variations d'altitude (pentes < 0,1%) combinées à la précision verticale des modèles numériques de terrain supérieur au mètre, ne permettent pas ces caractérisations (Mukherjee et al. 2013) et peuvent aboutir à des erreurs importantes (Minderhoud et al. 2019 ; Kulp et Strauss, 2018, 2019).
- **Hydrologie** : nous n'avons pas pu collecter de données de débit ni de hauteur d'eau dans le bassin du Sebou, qui auraient été nécessaires notamment pour anticiper les périodes de débordement des oueds Overgha, Sebou et Beht dans la plaine. L'histoire récente montre que les inondations peuvent également être causées par les apports des petits oueds en provenance des versants sud qui aboutissent directement dans la plaine, ainsi que par les précipitations locales. La pluralité de ces apports complique la modélisation en l'absence de données.
- **Hydraulique** : le sens de la pente des canaux d'assainissement étant nécessairement opposé à la pente naturelle au sein des merjas, puisque leur fonction est de les vidanger, une modélisation de ce système devrait prendre en compte cette structure en se basant non seulement sur un modèle numérique de terrain précis (pour les pentes naturelles), mais également sur des mesures topographiques du réseau d'assainissement. Une modélisation hydraulique de ce système a été entreprise par le bureau d'étude NOVEC (2012) sous la direction de l'ORMVAG, mais il semble que cette modélisation n'ait pas été validée par une confrontation avec des mesures.

Compte-tenu de la difficulté à acquérir les données hydrométéorologiques nécessaires à cette modélisation, nous avons opté pour l'analyse d'images satellitaires. Le choix de la télédétection est justifié par les points suivants :

- La zone d'étude est vaste,
- Quantifier des surfaces inondées et leur évolution temporelle est possible grâce au calcul d'indices spectraux,
- La méconnaissance des débits d'écoulement et des volumes stockés (du fait de la difficulté à estimer les profondeurs des lames d'eau sur les images satellitaires) n'est pas rédhibitoire dans la mesure où la surface de la zone inondée d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau stagnant est liée par une fonction croissante à son débit ou volume, respectivement. Etudier la variabilité temporelle d'une surface inondée permet donc d'apprécier la variabilité temporelle du débit (cours d'eau) ou du volume (plan d'eau) correspondant.

2. MÉTHODE

2.1 Évaluation des surfaces inondées

Les surfaces inondées dans la plaine du Gharb sont estimées à partir du produit satellitaire sentinel2 qui offre une résolution spatiale de 10 mètres avec une périodicité d'environ 5 jours. L'indice spectral MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) est calculé à chaque pixel par la formule :

$$MNDWI = \frac{V - IR}{V + IR}$$

est la réflectance dans la bande spectrale correspondant à la couleur verte (bande 3 de sentinel2). IR est la réflectance dans la bande spectrale correspondant aux ondes courtes infrarouges (bande 11 de sentinel2). L'indice MNDWI est calculé pour chaque passage de satellite sur la période de disponibilité des images (depuis le 28/03/2017), puis la valeur maximale de l'indice sur chaque pixel est utilisée pour constituer une image composite. Les images satellitaires avec une couverture nuageuse supérieure à 30 % ne sont pas prises en compte, ainsi que les pixels affichant une probabilité de couverture nuageuse dépassant 5 %. Ces choix de seuils ont été déterminés empiriquement de manière à éliminer les images non exploitables tout en gardant un maximum d'information utile.

Cette image composite est utilisée pour délimiter des polygones entourant des zones affichant des valeurs de MNDWI supérieures à 0,2. Cette valeur seuil est jugée satisfaisante pour distinguer les zones inondées. Ces polygones correspondent donc aux zones qui ont été inondées au moins une fois puisqu'ils ont été tracés sur l'image composite des valeurs maximales. La superposition de cette image composite des valeurs maximales de l'indice MNDWI à une photo satellite en couleurs réelles de la zone étudiée permet d'identifier la nature de ces zones inondées (cours d'eau, merjas, zones irriguées, réservoir de barrage). Pour le suivi du débit de l'oued Sebou, plusieurs polygones distincts sont tracés sur de courts biefs en intégrant la section maximale et préférentiellement là où la largeur inondée varie le plus en fonction de la hauteur du cours d'eau. Le repérage de ces zones

n'est pas aisé et peut se faire en adoptant une démarche d'« essai-échec-succès ». La multiplicité de ces polygones sur l'oued Sebou permet d'apprécier comment la variabilité hydrologique évolue d'amont en aval.

Des chroniques de valeurs de l'indice MNDWI, calculées à chaque passage de satellite et spatialement moyennées au niveau de chaque polygone, sont produites de façon à suivre la variabilité temporelle des surfaces inondées dans ces zones. La fréquence des images sentinel2 pour un polygone donné (5 jours) permet d'identifier les périodes de croissance et de décroissance des surfaces inondées, engendrées par des événements pluvieux d'un ou deux jours. La résolution spatiale de 10 mètres permet de travailler sur de petits polygones dont les dimensions correspondent à celle des objets suivis. A titre d'exemple, la largeur de l'oued Sebou avoisine 100 mètres et une merja s'étend sur plusieurs kilomètres carrés.

La production de chroniques d'indices spectraux pour différentes zones temporairement inondées permet également d'étudier les co-variations de ces surfaces inondées à l'aide du coefficient de corrélation, et d'en déduire d'éventuels liens de cause à effet (exemples : connexions hydrauliques entre zones inondées) ou des causes communes (exemples : événement pluvieux à l'origine de l'inondation de deux merjas non connectées hydrauliquement). L'intérêt de cette approche réside dans le fait qu'elle ne nécessite pas une évaluation de la valeur exacte de la surface inondée d'un polygone donné à l'instant t (ce qui est impossible si les valeurs d'indices spectraux ne sont pas comparées à des mesures de terrain). En effet, la valeur du coefficient de corrélation est insensible aux valeurs des variables corrélées mais seulement à leurs variations relatives.

Par rapport à une analyse hydrologique classique basée sur des mesures de terrain (hauteur d'eau, courbes de tarage), cette approche présente l'avantage de ne pas être limitée spatialement pour le suivi des évolutions temporelles d'indices spectraux. Il est ainsi possible de définir autant de polygones qu'il y a de zones temporairement inondées. A l'inverse, une analyse hydrologique basée sur des mesures de terrain permet des mesures précises

nécessaire à la modélisation hydrologique ou le calcul de bilan hydrique mais demeure circonscrite aux sites de mesures initialement choisis pour l'installation des appareils de mesure.

L'introduction d'un décalage temporel d'un ou plusieurs pas de temps entre les deux séries corrélées permet d'identifier, par la présence d'un maximum dans la valeur du coefficient de corrélation, l'existence éventuel d'un effet « retard » dans les relations causales identifiées (par exemple, un décalage de quelques jours entre les pics de MNDWI au niveau de deux polygones). Cet effet retard pourrait traduire le temps nécessaire à l'écoulement entre deux zones inondables hydrauliquement connectées.

La méthode précédemment décrite et appliquée à l'indice MNDWI est similairement appliquée à l'indice spectral NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) permettant un suivi de la variabilité temporelle de la végétation et de sa corrélation avec l'indice MNDWI. L'indice NDVI est calculé comme suit :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

PIR est la réflectance dans la bande spectrale du proche infrarouge (bande 8 de sentinel2). R est la réflectance dans la bande spectrale du rouge (bande 4 de sentinel2).

2.2 Estimation de la variabilité pluviométrique

La pluviométrie et sa variabilité spatio-temporelle est évaluée à l'aide du produit CHIRPS (Funk et al. 2015) qui offre un suivi par pentade (5 jours) depuis 1981 avec une résolution de 5 km. Les pluviométries sont spatialement moyennées dans les bassins versants des Oued Sebou, Beht, Rdom et Tiflet, et au niveau de la zone centrale où sont étudiées les merjas. Les chroniques de pluie résultantes sont comparées à celle des indices spectraux de MNDWI et des coefficients de corrélation sont calculés entre ces deux variables. L'objectif est de vérifier si les variations temporelles de la surface inondée dans chaque merja et chaque zone aménagée est corrélée à la pluie locale ou celle d'un

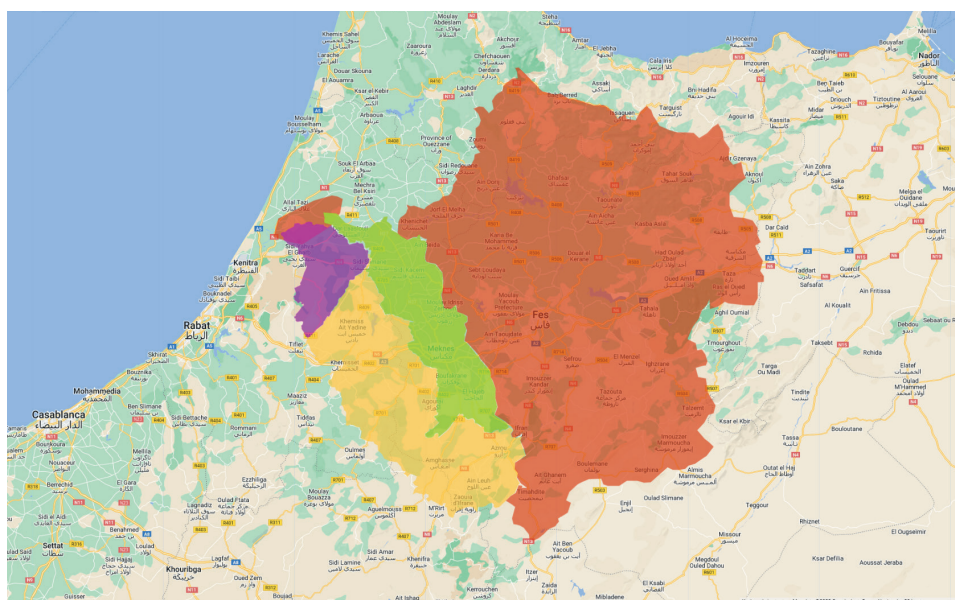


Figure 14. Délimitation des bassins versants dans Google Earth Engine. Sebou : rouge+vert+jaune+violet. Rdom : vert. Beht : jaune ; Tiflet : violet. Zone centrale : orange

bassin versant. Dans le second cas, l'inondation peut s'expliquer par un débordement de l'oued dont les variations de débits sont influencées par la pluie qui précipite sur son bassin versant.

2.3 Traitement des images satellitaires dans Google Earth Engine

Les algorithmes de création des images composites des valeurs maximales de MNDWI et d'extraction des séries temporelles d'indices spectraux et de pluie sont codés en JAVA sur la plateforme Google Earth Engine (GEE). Les polygones (aires de calcul des indices spectraux) et les bassins versants (aires de calcul de la pluie) sont délimités manuellement par observation visuelle dans GEE. Les limites des bassins versants sont identifiées à l'aide du réseau hydrographique détaillé dans le produit MERIT hydro (Yamazaki et al. 2019) et visualisable dans GEE. Figure 14.

2.4 Traitement des chroniques d'indices spectraux et de pluie sous Excel

Les dates de passage des satellites ne sont pas toujours les mêmes pour l'ensemble des polygones. Une matrice complète de (date-index) est obtenue en sélectionnant toutes les dates de passage

observées pour l'ensemble des polygones puis les lacunes sont comblées par interpolations linéaires dans chaque chronique considérée indépendamment des autres.

Afin de réduire le bruit de fond lié aux erreurs résiduelles sur les valeurs de longueurs d'onde dans les produits satellitaires, un lissage des chroniques est réalisé au moyen d'une moyenne mobile calculées sur 3 ou 5 pas de temps.

3. RÉSULTATS

Les Figure 15 et Figure 16 localisent les 48 polygones de suivi du MNDWI, définis à partir de l'image composite. Ils se répartissent comme suit :

- 2 polygones pour suivre les retenues des barrages Idriss 1^{er} et El Wahda,
- 15 polygones pour suivre des merjas,
- 4 polygones pour suivre l'oued Ouargha (à l'amont de la confluence avec le Sebou)

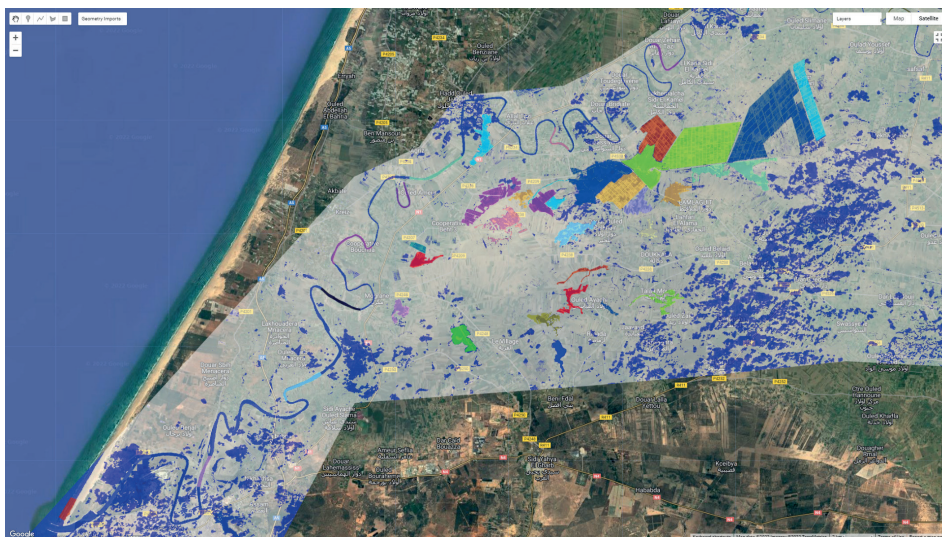


Figure 15. Image composite de la valeur maximale de l'indice MNDWI sur la période de disponibilité de sentinel2 après filtration des nuages, et délimitation des polygones d'étude représentés par différentes couleurs. Note : la filtration des nuages est imparfaite comme le montre l'image composite révélant des champs nuageux

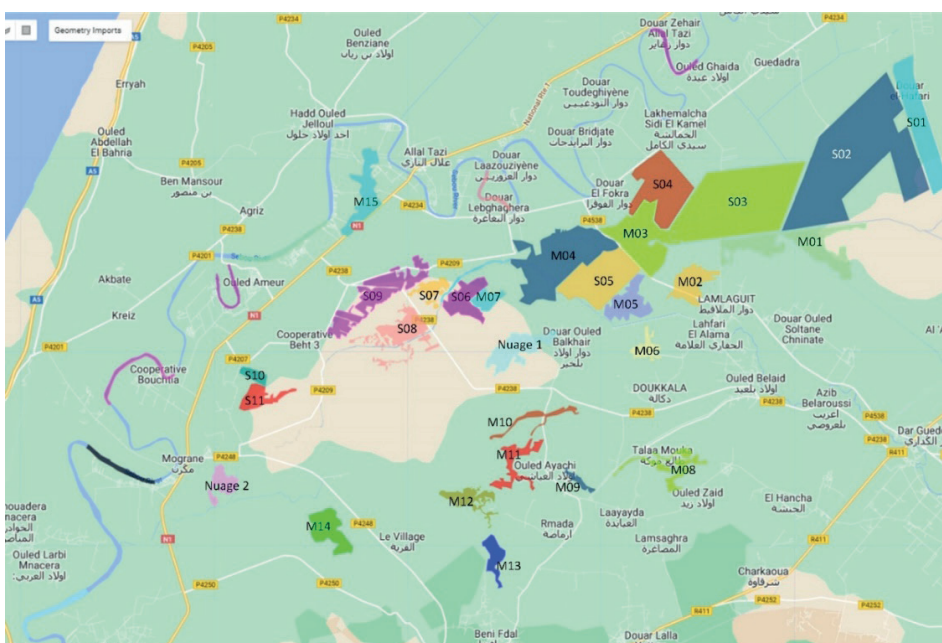


Figure 16. Identification des merjas numérotées de M01 à M15 et des zones aménagées, numérotées de S01 à S11.

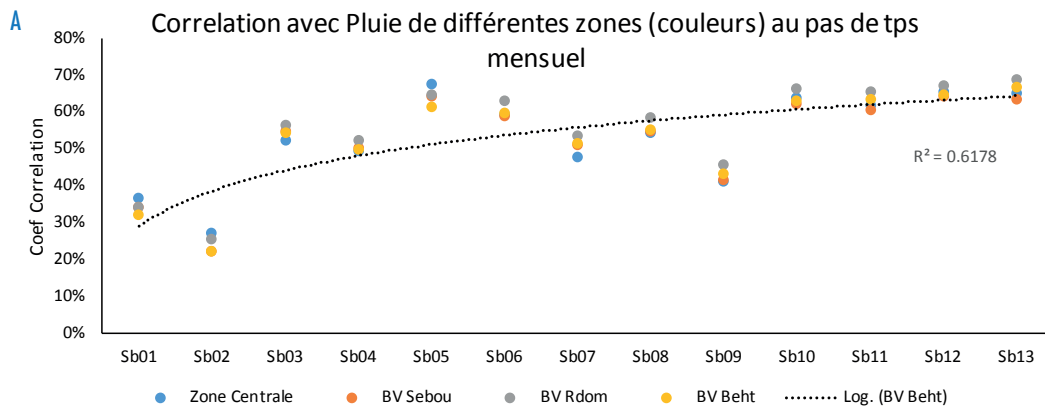
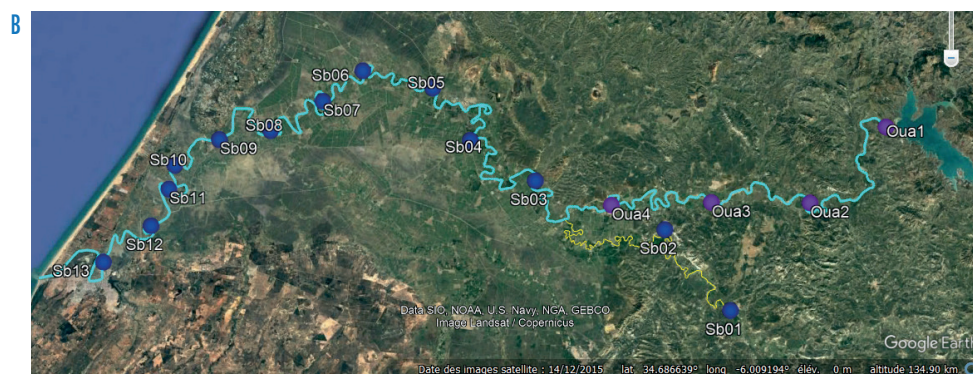


Figure 17. a : variations du coefficient de corrélation entre l'indice spectral MNDWI de l'Oued Sebou calculé à différents points d'amont en aval (Sb01 vers Sb13) et la pluie spatialement moyennée dans différentes zones (4 couleurs indiquées dans la légende) spatialement délimitées sur la Figure 14). b : localisation des points de mesure sur l'oued Sebou



- 1 polygone pour suivre l'oued Beht,
- 13 polygones pour suivre l'oued Sebou, (biefs d'environ 2,5 km de long)
- 11 polygones pour suivre des zones aménagées,
- 1 polygone pour suivre le bras mort de l'oued Sebou à proximité de son barrage de garde,
- 1 polygone pour suivre les marées de l'océan Atlantique.

L'indice NDVI est également calculé dans les 15 polygones de merja et les 11 polygones des zones aménagées.

3.1 Validation de la méthode

Avant d'analyser les séries temporelles extraites, leur fiabilité est vérifiée en les comparant de façon à mettre en évidence des cohérences ou incohérences.

La Figure 17 représente les coefficients de corrélation entre les séries temporelles de MNDWI de l'oued Sebou (calculé d'amont en aval au niveau de 13 polygones indiqués sur la carte) et la pluie. La courbe de régression indique que cette corrélation augmente d'amont en aval. Ceci peut s'expliquer par le fait que plus on se dirige vers l'aval, plus la variabilité du Sebou résulte de l'intégration des écoulements sur une grande surface. Ce résultat contribue à valider la méthode reposant sur l'hypothèse que la variabilité du débit de l'oued (dépendante de celle de la pluie) est similaire à la variabilité de son indice spectral.

La Figure 18 représente 4 années hydrologiques (de début aout de l'année n à fin juillet de l'année n+1). Les années 2018-2019 et 2021-2022 se ressemblent en terme de variabilité du MNDWI

car elles ont la particularité d'avoir une baisse en décembre et janvier. Alors que les années 2019-2020 et 2020-2021 ne montrent pas de baisse significative de débit entre septembre et avril. La pluviométrie visible sur la Figure 18 peut expliquer ce comportement (moins de pluie en décembre-janvier) pendant les années 1 et 4, mais ce n'est pas flagrant. La période d'étude (Aout 2018 – Juillet 2022), avec une pluviométrie moyenne de 461 mm/an, est plus sèche que la moyenne interannuelle depuis 1981 (554 mm/an). Les années Aout 2019 – Juillet 2020 et Aout 2021 – Juillet 2022 figurent parmi les 5 années les plus sèches sur les 40 dernières années.

Il est également intéressant et rassurant de constater que les deux événements pluvieux les plus importants enregistrés pendant la période d'étude : 128 mm en 5 jours du 26 au 30 Octobre 2018, puis 121 mm en 5 jours du 6 au 10 janvier 2021, ont induit les plus fortes valeurs de MNDWI. Cette cohérence confirme la fiabilité de ces données (CHIRPS pour la pluie et sentinel2 pour MNDWI comme proxy du débit). Il est également intéressant de noter que ces deux événements pluvieux se positionnent parmi les 4 pentades les plus humides enregistrées depuis 1981 dans la chronique CHIRPS pour cette zone. Les deux autres sont 148 mm du 21 au 25 janvier 1996 et 122 mm du 16 au 21 novembre 2002.

Il sera donc particulièrement intéressant d'observer les inondations dans les merjas et les zones aménagées pour vérifier s'il y a eu d'éventuels débordements des oueds dans les merjas pendant ces deux périodes extrêmes (octobre 2018 et janvier 2021).

D'autre part, les périodes mai-août correspondent aux débits les plus faibles (valeur faible de MNDWI) en 2019, 2020 et 2021. Par contre il semble que cette période soit beaucoup plus humide

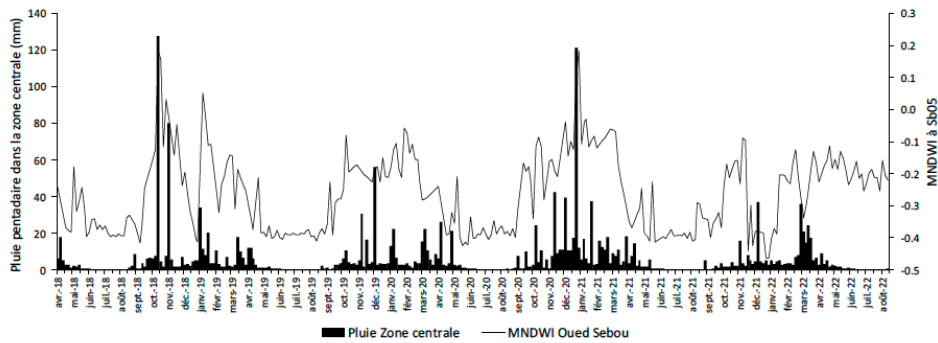


Figure 18. Relation entre indice MNDWI de l’oued Sebou (polygone Sb05 à titre d’exemple) et la pluie de la zone centrale

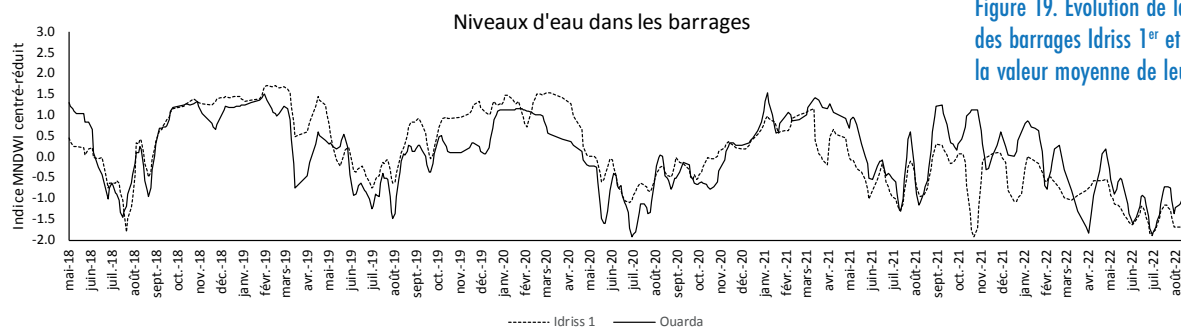


Figure 19. Evolution de la surface inondée des barrages Idriss 1^{er} et El Warda estimé par la valeur moyenne de leur indice MNDWI

en 2022. Cela ne peut pas s’expliquer par la pluie qui, comme les années précédentes, est inexistante entre mai et août 2022. Les barrages ont-ils joué un rôle ?

La Figure 19 représente l’évolution de la surface inondée à travers la variabilité de son indice MNDWI de deux des grands barrages situés sur l’oued Sebou et l’oued Ouarda qui confluent dans l’oued Sebou traversant la plaine du Gharb. Il est tout d’abord rassurant de noter que les deux courbes suivent la même tendance, ce qui indique que les niveaux d’eau co-évoluent de façon cohérente dans les deux retenues. D’autre part, les trois premières années hydrologiques affichent des comportements similaires. Par contre, la dernière (Aout 2021 – Juillet 2022) est différente : la variabilité est plus forte et le niveau baisse plus brutalement au mois de mars que les années précédentes. En juillet 2022, les deux retenues semblent atteindre leur niveau le plus faible sur la période d’étude, ce qui est cohérent avec les enregistrements communiqués par les agences de bassin du pays (Maroc Hebdo, 2022). La baisse observée entre mai et aout 2022 ne semble pas être plus marquée que sur les mêmes mois des années précédentes et ne semble donc pas pouvoir expliquer le débit soutenu observé entre mai et aout 2022 (Figure 18), comportement qui reste donc inexpliqué.

3.2 Influence de la marée océanique sur les inondations de l’oued Sebou

La Figure 20 représente la valeur du coefficient de corrélation entre le MNDWI représentatif de la marée océanique (cf. polygone de couleur rouge dans la zone intertidale à proximité de l’embouchure de l’oued Sebou sur la Figure 15) et celui de l’oued Sebou en fonction de la distance à l’embouchure. Les pointillés et la barre rouges marquent l’emplacement du barrage de garde. Ce barrage est destiné à limiter la remontée des intrusions salines jusqu’aux stations de pompage situées à l’amont. Le graphique montre que l’influence des marées sur le niveau de l’oued Sebou dépasse le

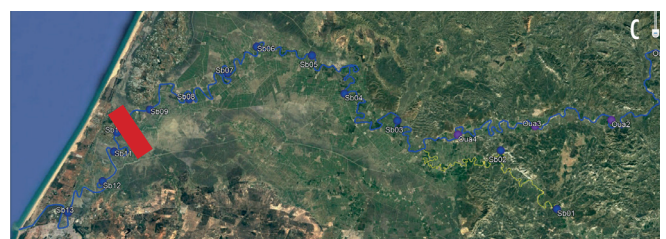
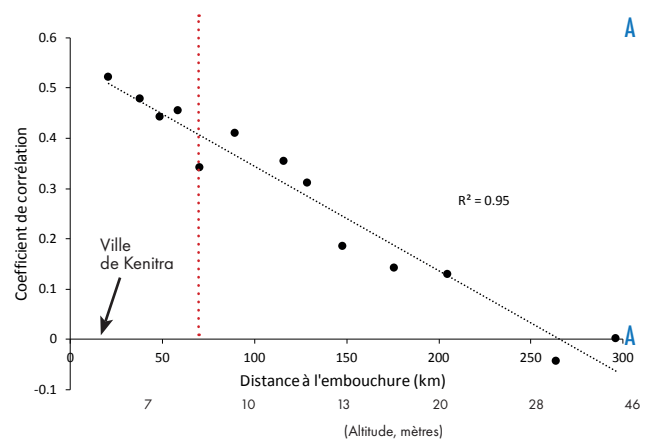


Figure 20. a : corrélation entre les niveaux de la marée océanique et de l’oued Sebou en fonction de la distance à l’embouchure où se trouve la ville de Kenitra. Pointillés rouges : emplacement du barrage de garde. b : barrage de garde. c : barre rouge : emplacement du barrage de garde sur la carte de l’oued Sebou

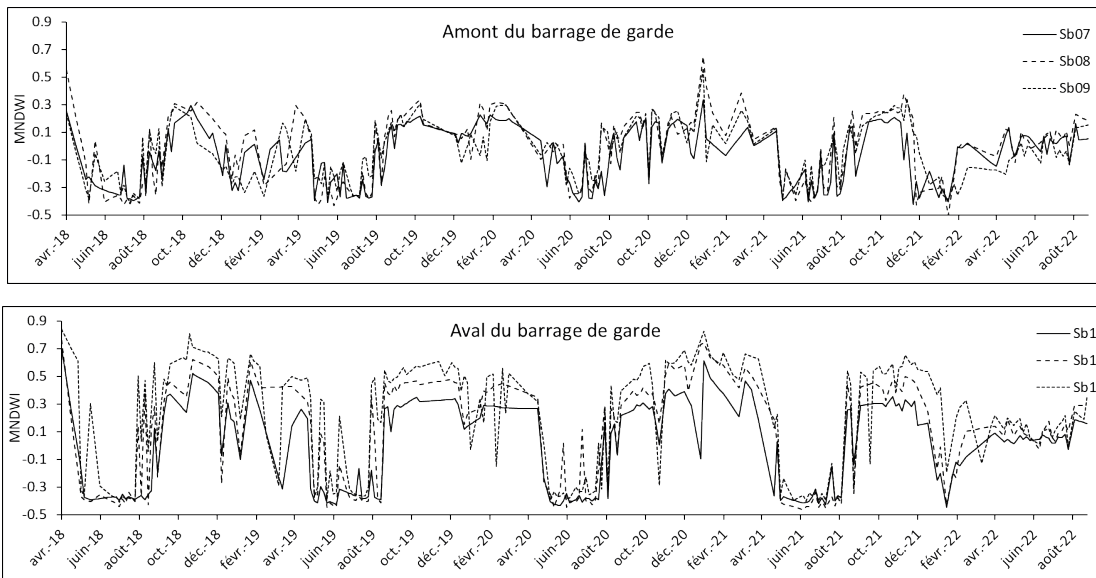


Figure 21. Influence du barrage de garde sur la saisonnalité du régime de l'oued Sebou

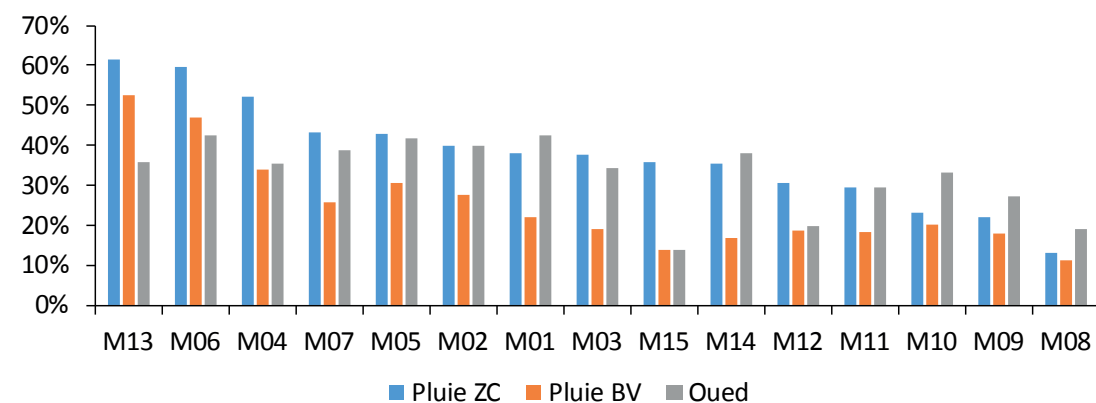


Figure 22. Corrélation (au pas de temps mensuel) entre le MNDWI des merjas et la pluie de la zone centrale (Pluie ZC) ou celle du bassin versant de l'oued Sebou (Pluie BV) ou le débit de l'oued (via son MNDWI)

barrage à l'amont. En effet, l'alignement des points sur la Figure 20a n'est pas interrompu au niveau du barrage de garde. Cela peut s'expliquer par le fait que l'écoulement de l'oued dans les vannes du barrage est influencé par son niveau d'eau aval. Compte tenu du fait que l'amplitude maximale de la marée dépasse 3 mètres à Kenitra (www.tide-forecast.com), il est prévisible que l'amplitude des inondations causées par les crues de l'oued Sebou à Kenitra soit fortement influencée par la marée. Il est probable que cette influence dépasse celle des merjas via leur hypothétique fonction d'écritement des crues de l'oued Sebou, compte tenu de leur faible capacité de stockage résultant du relief très peu marqué de la plaine.

D'autre part, il est à noter que le barrage de garde n'induit pas une rupture nette dans la baisse graduelle du coefficient de corrélation de la Figure 20. Ce résultat questionne d'une part le mode de fonctionnement du barrage de garde et d'autre part la nature de la corrélation illustrée sur la figure Figure 20 : reflète-t-elle une relation de cause à effet directe ou les deux variables sont-elles corrélées à une troisième variable explicative ?

De Sb06 à Sb13, le coefficient de corrélation entre deux stations voisines est supérieur à 0,8, sauf entre Sb09 et Sb10 car ces deux polygones se trouvent de part et d'autre du barrage de garde.

La Figure 21 montre un fort contraste saisonnier de l'indice MNDWI de l'oued Sebou : des valeurs faibles de mai à août correspondant aux conditions d'étiage de l'oued en période sèche ; des valeurs élevées de septembre à avril en raison des apports hydriques plus importants du bassin versant. Entre mai et août, les valeurs sont plus faibles à l'amont car le barrage retient les faibles débits de l'oued à l'amont pour les besoins de l'irrigation (approvisionnement des stations de pompage). Entre septembre et avril, les valeurs sont plus élevées à l'aval en raison de la plus grande largeur du lit mineur, pleinement occupé par les écoulements plus abondants en cette saison.

Ce contraste saisonnier est beaucoup moins marqué en 2022, aussi bien à l'amont qu'à l'aval du barrage. Cette atténuation n'est pas expliquée pour le moment.

3.3 Influence de la pluie sur le remplissage des merjas

La Figure 22 montre que le niveau d'inondation des merjas est généralement mieux corrélé à la pluie de la zone centrale, qu'à la pluie du bassin versant de l'oued Sebou. Les merjas affichant les coefficients de corrélation les plus élevés (M013, M06 et M04) ont les particularités suivantes :

Figure 23. Relation entre MNDWI de la Merja Bokka (M13) et la pluie (CHIRPS) dans la zone centrale

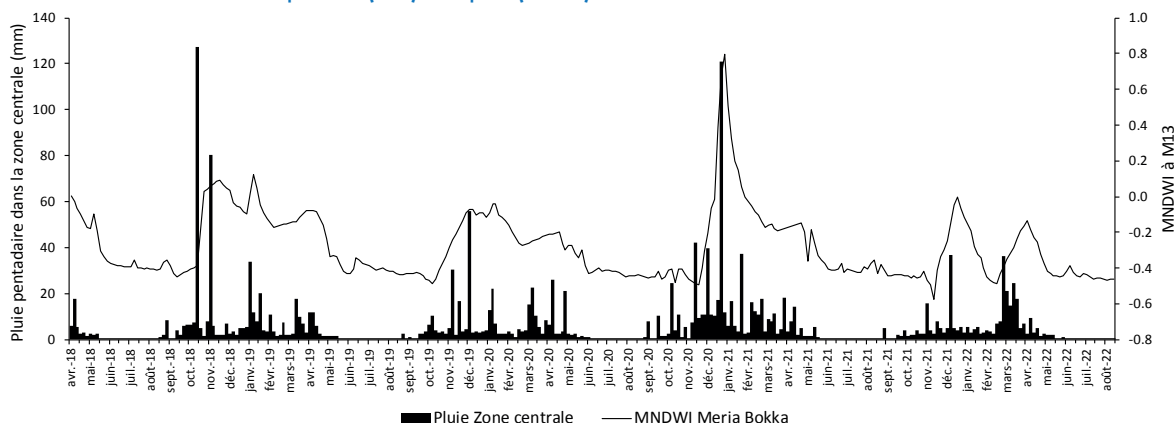
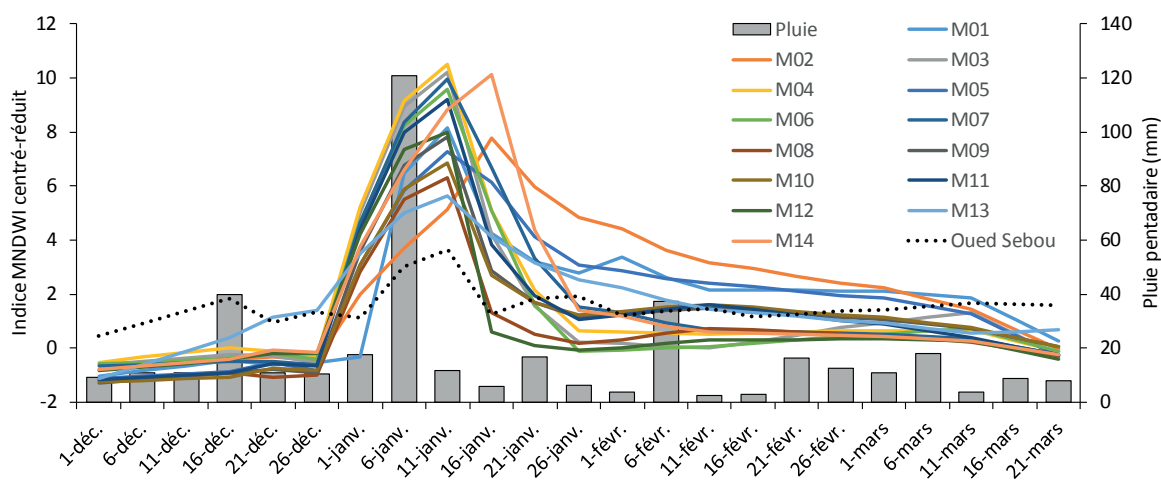


Figure 24. Inondation des merjas au cours de l'évènement du 6 janvier 2021: co-variations des indices MNDWI des merjas



M04 est l'une des plus grandes merjas située proche de l'oued Sebou et jouxtant les zones aménagées (cf. emplacement sur Figure 16). Elle correspond à la partie aval de la merja Kébira. M06 se situe légèrement au sud de M04. M13 est la merja Boka : l'une des plus distante de l'oued Sebou et profonde (cf. Figure 16).

Comment interpréter le fait que les merjas M13 et M01 à M07 sont plus corrélées à la pluie de la zone centrale et du bassin versant que les autres ? A priori, c'est parce que les autres sont situées à l'aval des zones aménagées et se remplissent d'eau d'irrigation en été (cf. Figure 28).

La Figure 23 révèle une cohérence manifeste entre la surface inondée de la merja Bokka et la pluie, confirmant la fiabilité de la méthode consistant à estimer la variabilité d'une surface inondée à l'aide de l'indice spectral MNDWI. Comparé à la Figure 18 qui illustre la variabilité du débit de l'oued Sebou, la Figure 23 montre que la phase de vidange de la merja est plus lente que la décroissance du MNDWI de l'oued après une crue, ce qui s'explique par la cinétique plus lente de baisse du niveau d'eau dans le réservoir naturel. La cohérence entre les pics de pluie et les hausses de niveau d'eau dans la merja montre que sur la période considérée, son remplissage semble essentiellement influencé par la pluie. Le premier pic de pluie (oct 2018) entraîne une hausse plus faible de MNDWI que celle de janvier 2021, probablement à cause des sols non saturés en début d'hiver.

La Figure 24 vise à comparer les variations des indices MNDWI des merjas avec celui de l'oued Sebou et la pluviométrie pendant l'évènement extrême de pluie du 6 janvier 2021, celui du 26 octobre 2018 ayant apparemment généré beaucoup moins de ruissellement car survenu en début de saison humide sur des sols plus secs. Considérant notre période d'étude (début 2018 à l'été 2022), c'est au cours de cet épisode que la probabilité de débordements des oueds de la plaine est la plus élevée. L'analyse des co-variations du MNDWI pendant cet épisode vise à vérifier si elles pourraient expliquer le remplissage des merjas.

La Figure 24 montre une cohérence entre la variabilité des indices MNDWI des merjas et de l'oued. Pour la plupart des merjas, le pic de l'indice survient 5 jours après celui de la pluie. L'existence d'un décalage temporel est intuitive (durée du processus de remplissage de la merja après l'évènement pluvieux) mais sa durée (5 jours) n'est pas informative car elle correspond au pas de temps de CHIRPS qui surestime probablement le temps de réponse.

Le plus intéressant est le pic de MNDWI des merjas M02 et M14 qui survient 10 jours après le pic de pluie et 5 jours après le pic de MNDWI des autres merjas. La merja M02 correspond à la partie sud de la merja Kebira. Le retard de son remplissage pourrait éventuellement s'expliquer par sa position en fond de cuvette très évasée avec des pentes très faibles. La lenteur de

son remplissage résulterait de la concentration très lente du ruissellement local. Il ne s'agit donc pas nécessairement d'un retard lié au temps de transfert d'un écoulement se propageant sur une longue distance et que l'on serait tenté d'attribuer à une hypothétique fonction d'écrêtement de crue des merjas. La merja M14 est comparable à la merja M02. Elle se trouve au centre d'une très grande étendue (environ 15km sur 25 km) en forme de cuvette dont le relief est très peu marqué. Elle n'est pas dans l'axe principal de drainage. Le décalage temporel de son remplissage est donc probablement dû à la lenteur des écoulements qui se concentrent au centre de cette cuvette, et non pas à une onde de crue qui se propagerait depuis la partie la plus amont de la zone centrale située plus à l'est, près des zones de débordement. Si cette onde de crue existait, les merjas situées plus proches de l'oued se seraient remplies en premier.

Une autre différence qui pourrait permettre de classer les merjas en différent groupes est la vitesse de décroissance du MNDWI. On remarque sur la Figure 24 qu'après leur remplissage au cours de l'épisode de janvier 2021, certaines merjas voient leur MNDWI diminuer plus rapidement que d'autres. Ces différences peuvent être liées à la forme de la merja mais également à leur réseau de drainage. Nous n'avons pas d'information suffisamment précise pour distinguer ces deux causes, notamment en raison de l'imprécision verticale des modèles numériques de terrain.

La dynamique de remplissage des merjas en saison hivernale est-elle d'avantage corrélée à la pluie ou aux écoulements de l'oued Sebou ?

Le MNDWI des merjas est davantage corrélé à la pluie qu'au MNDWI de l'oued (particulièrement Sb02 et Sb05). Cela pourrait s'expliquer par le fait que c'est surtout la pluie directe ou du moins très locale qui détermine le niveau de remplissage des merjas, plutôt que le débit de l'oued qui semble ne pas avoir débordé pendant la période étudiée.

3.4 Analyse des flux hydriques en période estivale dans les zones aménagées

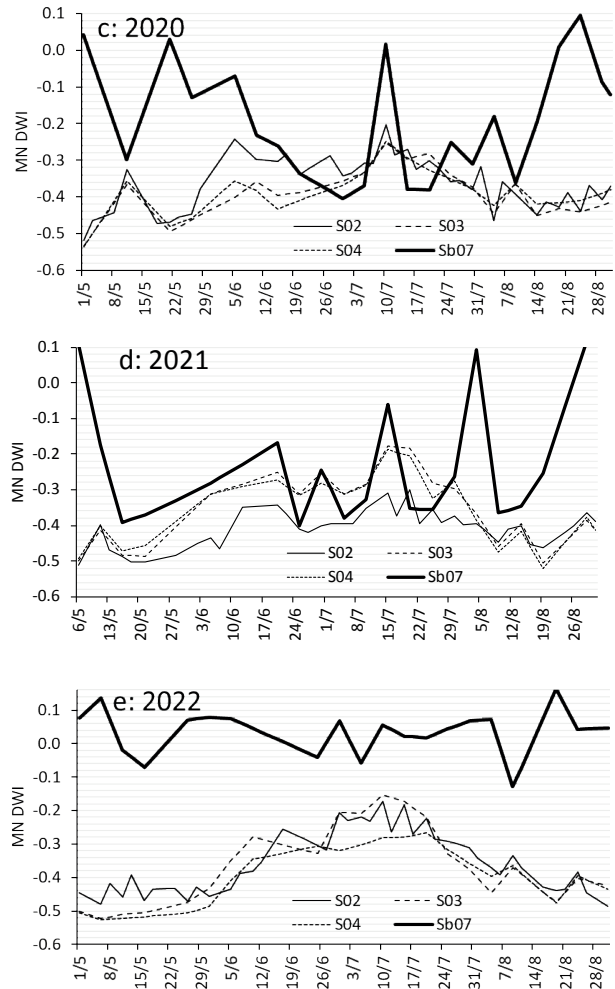
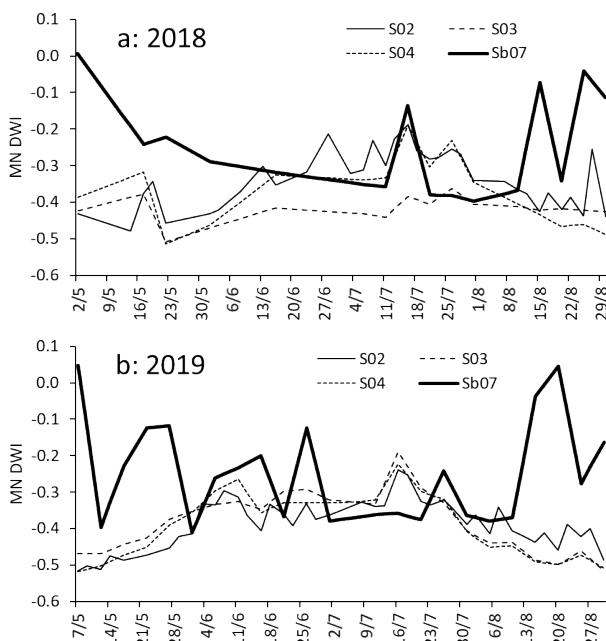


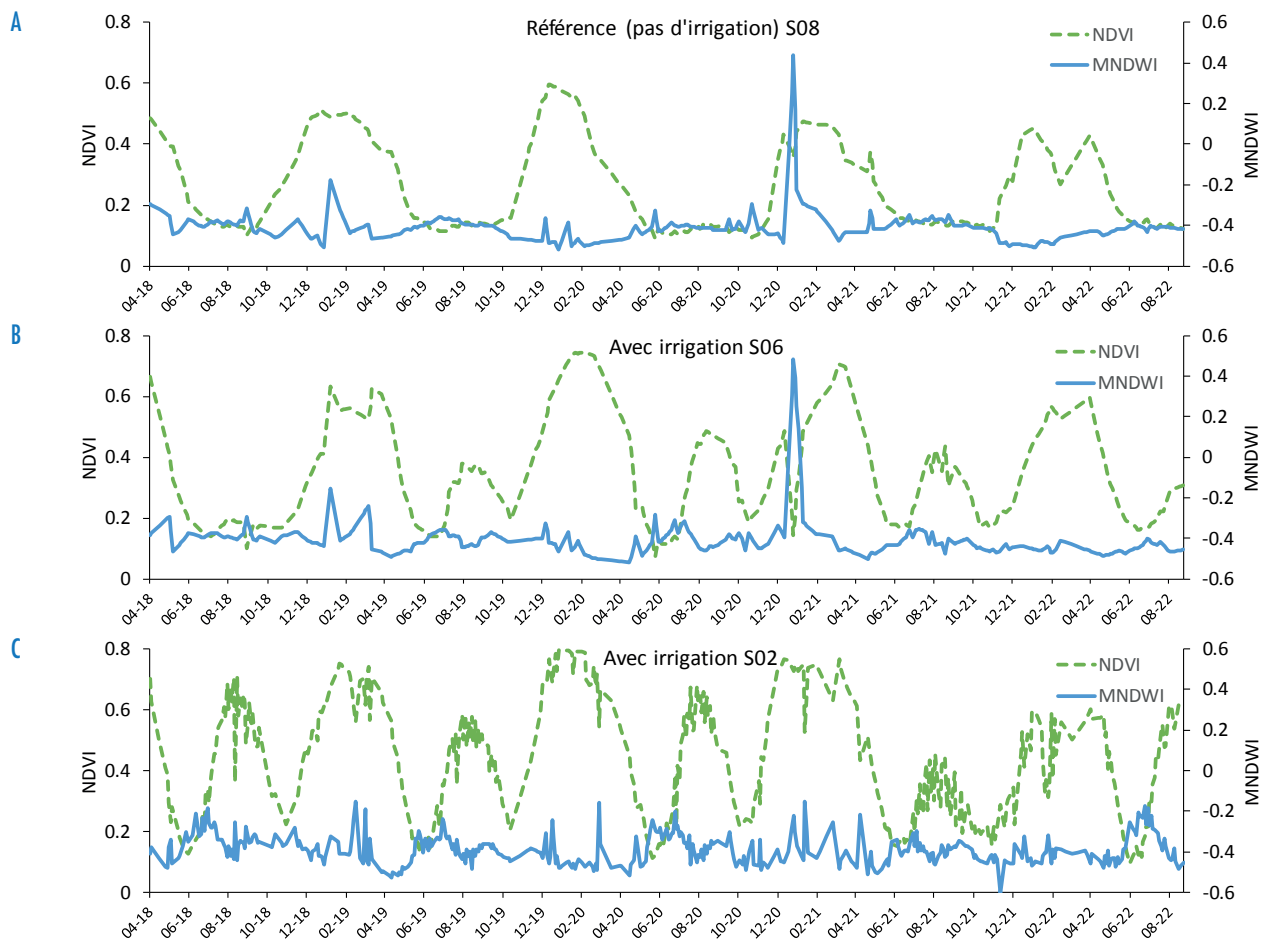
Figure 25. Evolutions estivales de l'indice MNDWI dans les périmètres aménagés S02, S03 et S04 et dans l'oued Sebou (Sb07)

La Figure 25 révèle une certaine régularité interannuelle des évolutions estivales de l'indice MNDWI dans les parcelles irriguées par l'oued Sebou. Sa valeur maximale est atteinte à la mi-juillet (16/07/2018, 18/07/2019 ; 10/07/2020 ; 17/07/2021 ; 10/07/2022). En 2018, 2020 et 2021, l'oued Sebou affiche un pic à cette même date, traduisant probablement une accumulation d'eau produite par la fermeture d'une vanne du barrage de garde. Chaque année, les mises en eau des parcelles rizicoles sont relativement bien synchronisées avec quelques différences (S03 plus faible en 2018 ; S02 plus faible en 2022), traduisant des conduites culturales variables en fonction des années. L'année 2022 est très particulière : l'indice MNDWI de l'oued Sebou reste élevé tout l'été alors qu'il s'agit de l'une des sécheresses les plus sévères de la dernière décennie. Il est probable qu'en raison d'un très faible débit de l'oued, le barrage de garde ait maintenu un niveau d'eau élevé.

A noter également un pic MNDWI dans les périmètres aménagés au début du mois de mai (sauf en 2019). Première mise en eau des casiers rizicoles ?

La Figure 26 montre les pics NDVI et MNDWI dans trois zones aménagées. Ces trois zones sont ciblées ici car elles revêtent chacune un intérêt particulier comme expliqué ci-après. S08 se situe au cœur de la merja Sidi Ameur dans une zone de conflit où l'irrigation est devenue interdite (cf. section 4.2 de la partie II).

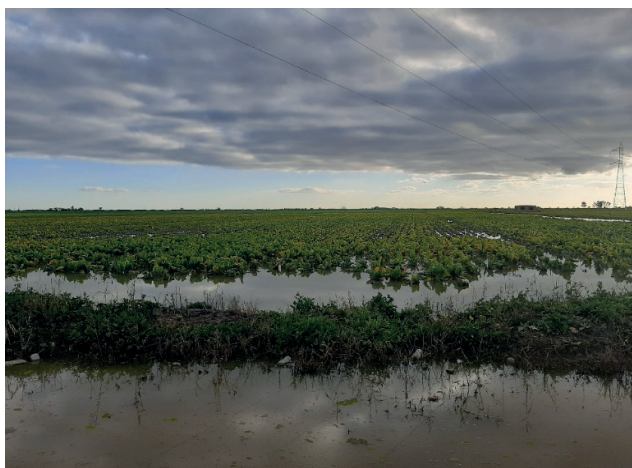
Figure 26. Variations des indices spectraux NDVI et MNDWI dans les zones aménagées. a : référence = absence d'irrigation. b : Irrigation modérée. c : Irrigation plus importante



S06 se trouve au nord-Est de la merja Sidi Hameur, au voisinage immédiat de l'oued Beht. Son MNDWI présente une très forte corrélation (74%) avec le MNDWI de l'oued Beht (non illustré dans ce rapport), résultat probable de connexions hydrauliques (drainage et/ou débordement). S02 est une grande zone aménagée rizicole située au nord de la merja Kebira.

S08 montre qu'en l'absence d'irrigation, le NDVI ne présente des pics que pendant la saison des pluies. Il s'agit d'agriculture pluviale et/ou de végétation naturelle. L'évènement de pluie extrême de janvier 2021 est bien visible et se traduit par un pic de MNDWI et une forte baisse de NDVI induite par une lame d'eau qui recouvre la végétation. S08 se situe dans une merja qui accumule le ruissellement local en cas de forte pluie.

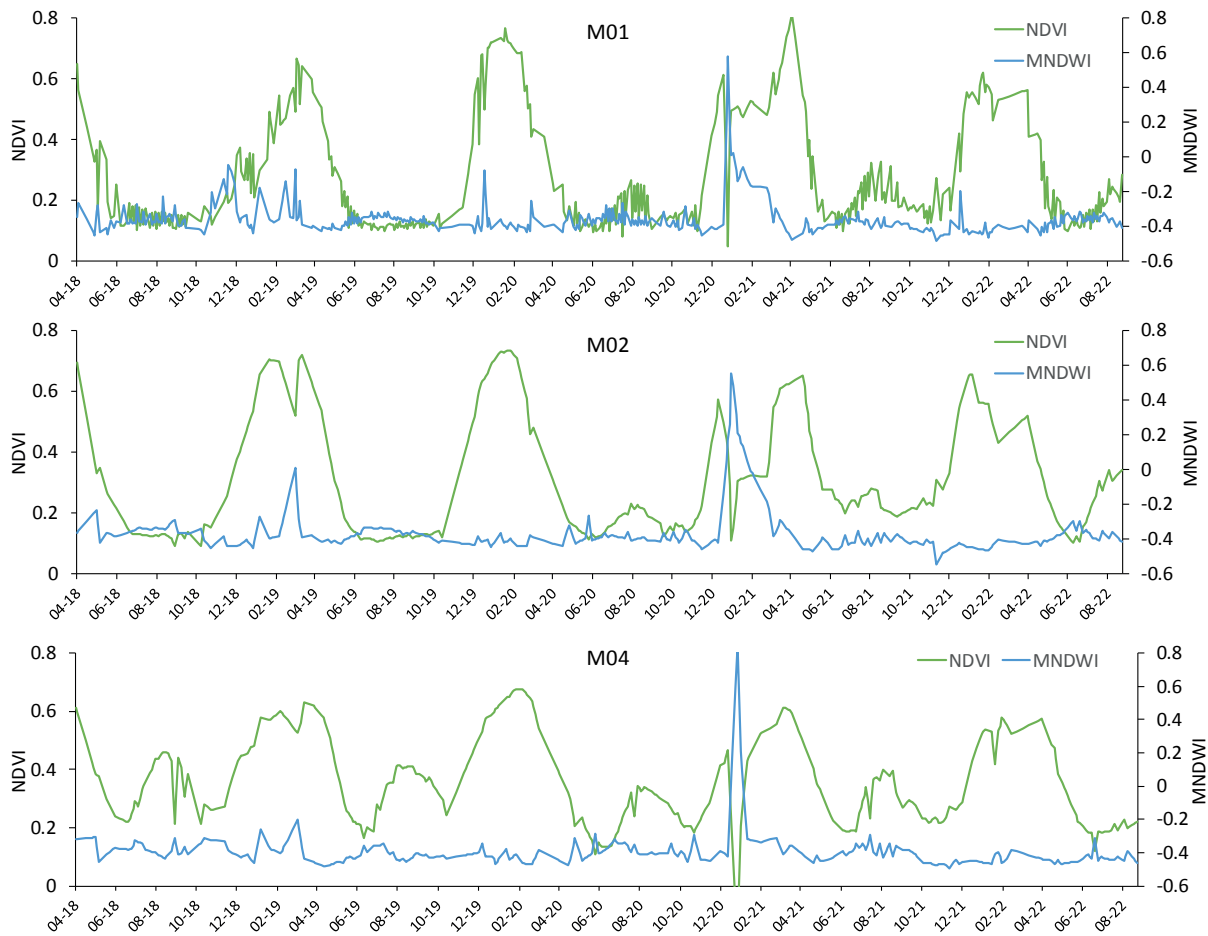
Figure 27. Champ de betterave partiellement inondé dans S06 (Janvier 2021) Hajar Choukrani



S06 révèle des pics de NDVI estivaux plus faibles que les pics hivernaux, résultat d'une irrigation qui ne survient pas toutes les années (absente pendant l'été 2018) (Figure 16). En hiver, les pics de MNDWI induisent une baisse de NDVI (submersion ou destruction de la végétation par l'eau) (Figure 27).

Dans S02, les augmentations estivales de MNDWI sont plus marquées que dans S06, surtout en 2022, et les pics estivaux de NDVI, qui surviennent juste après les pics de MNDWI (croissance végétale stimulée par l'irrigation) sont également plus marqués que dans S06 et leur maximum se rapprochent des pics hivernaux en amplitude. Au moment du pic de NDVI, il y a une baisse momentanée du MNDWI traduisant probablement un masquage de la lame d'eau des rizières par le riz. Étonnement, l'évènement extrême de pluie de janvier 2021 n'a pas provoqué de pic de MNDWI dans S02, probablement grâce au drainage performant de cette parcelle aménagée. A moins que le riz ait masqué la montée de l'eau. Il est intéressant de comparer

Figure 28. Variations des indices spectraux NDVI et MNDWI dans les merjas M01 (a), M02 (b) et M04 (c)



les effets du pic de MNDWI de janvier 2021 sur le NDVI des trois zones aménagées de la Figure 26. On voit que la baisse engendrée de NDVI est beaucoup plus forte au niveau de S06, traduisant le fait que cette parcelle est moins facilement drainable que S02, du fait de son encaissement topographique et de son réseau moins performant.

3.5 Relations entre merjas et zones aménagées

L'introduction d'un décalage temporel d'un ou deux pas de temps entre les chroniques MNDWI de merja et de zones aménagées peut, dans certains cas, augmenter la valeur du coefficient de corrélation entre ces séries. C'est le cas des merjas M01, M02 et M05 (merja Kébira) dont le remplissage est retardé par rapport aux zones aménagées S06, S07 et S08, proches de la merja Sidi Ameur (Figure 16). Les chroniques de MNDWI des merjas (M01, M02 et M05) affichent les meilleurs coefficients de corrélation avec les chroniques MNDWI des secteurs aménagés (S06, S07 et S08) moyennant un décalage temporel (retard) de 5 ou 10 jours. Cette configuration contredit la théorie d'une onde d'inondation se propageant d'est en ouest (modélisée et simulée pour la crue de 2010, cf. Figure 7. Une explication à confirmer serait que les secteurs S06, S07 et S08 se remplissent plus vite que les merjas M01, M02 et M05 du fait de l'existence d'un réseau de drainage accélérant les écoulements en période pluvieuse. Une topographie particulièrement plate (mais en

forme de cuvette) autour de M01, M02 et M05 peut contribuer à accentuer le retard de remplissage dans cette zone. La différence avec l'évènement de 2010 n'est pas contradictoire : celui-ci était dominé par des écoulements essentiellement contrôlés par les débordements très importants de l'oued Sebou pendant cet évènement extrême.

La Figure 28 représente les évolutions des indices spectraux dans trois merjas. Leur variabilité est comparable à celle des zones aménagées illustré sur la Figure 16 mais les pics de NDVI observés en été ne sont pas dû à des apports d'eau d'irrigation par des canaux car ces merjas ne sont pas aménagées. Il ne s'agit pas non plus d'irrigation par aspersion à partir de puits car ces zones en sont dépourvues. Il doit donc s'agir de pompage dans les fossés d'assainissement de l'eau issu de l'irrigation des zones aménagées situées en amont. On remarque que dans M02, l'irrigation ne survient pas systématiquement tous les étés. Ces observations confirment les informations collectées par enquêtes parmi les agriculteurs cultivant les merjas en été (cf. section 4.1, partie I).

On remarque également que dans M01 située le long de la rive sud du fossé d'assainissement qui draine un grand périmètre rizicole, l'intensité du pic estival de NDVI augmente d'années en années. La plus forte variabilité inter-journalière des indices de M01 est due au fait que la fréquence des images satellitaires est plus importante dans cette zone.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'analyse par télédétection de l'hydrologie de la plaine du Gharb a été choisie comme une alternative à une analyse plus classique, faute de données hydrométéorologiques disponibles dans cette zone. Ce choix est d'autant plus pertinent qu'il s'agit d'une région au relief très peu marqué où la plupart des modèles numériques de terrains ne permettent pas de décrire suffisamment précisément la topographie qui détermine le sens des écoulements et les volumes stockés dans les dépressions.

Cette analyse, menée sur Google Earth Engine à partir des produits sentinel2 et CHIRPS, a consisté à comparer les variations temporelles des indices spectraux (MNDWI et NDVI) dans différentes zones qui ont été inondées au moins une fois depuis 2017. Cette analyse démontre qu'il est possible de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique d'une plaine inondable sans utiliser aucune mesure de terrain. Il existe cependant des contraintes comme l'impossibilité de quantifier des débits ou des volumes stockés. Cette analyse a montré que depuis 2017, les merjas se sont remplies par accumulation de la pluie et de son ruissellement local, sans contribution des oueds. La fonction « tampon » ou « d'écrêtement des crues », mentionnée par certains acteurs institutionnels au cours des enquêtes (cf. partie I), semble donc n'être active qu'en période de crue extrême lorsqu'une partie importante du débit déborde dans la plaine et y séjourne au niveau des merjas avant de rejoindre le cours d'eau proche de Kenitra, comme ce fut le cas en 2010. Cet évènement d'inondation extrême, cartographié sur la Figure 7, montre que les étendues inondées ont largement dépassé les zones de merja, ce qui montre que ces merjas n'ont pas la capacité d'absorber tous les évènements de crue et que ce ne sont pas les seules zones exposées au risque d'inondation dans la plaine du Gharb. L'influence des marées océaniques sur le niveau de l'oued Sebou au niveau de Kenitra, révélée par sentinel2, est un résultat dont il faudra tenir compte dans toute modélisation hydraulique visant à mettre en évidence le rôle d'écrêtement de crue des merjas au cours d'un évènement extrême.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les parties II et III de ce rapport révèlent des cohérences mais aussi des contradictions entre les perceptions des acteurs et le fonctionnement hydrologique des merjas. Les complémentarités entre zones aménagées et non aménagées sont multiples.

- En hiver, la fonction de stockage et/ou d'écrêtement des crues des merjas, souvent mentionnées par les acteurs institutionnels, et destinée à protéger les zones plus vulnérables aux inondations, n'a pas pu être mise en évidence par l'analyse hydrologique du fait de l'absence de débordement de l'oued Sebou pendant la période de disponibilité des images satellitaires sentinel2, correspondant à une période plus sèche que la moyenne interannuelle des 30 dernières années.
- En été, la fourniture d'eau d'irrigation à partir des fossés d'assainissement alimentés par les eaux de drainage des casiers rizicoles illustre la complémentarité entre zones

aménagées (périmètres irrigués) et non aménagées (merjas cultivées en été). Cette fonctionnalité est révélée aussi bien par les enquêtes (partie II) que la télédétection (partie III).

L'analyse des services écosystémiques des merjas (partie II) a révélé un antagonisme entre la vision des riverains des merjas, qui souhaitent les drainer pour les cultiver, et celle des acteurs institutionnels qui les considèrent comme des réservoirs de protection contre les inondations afin d'épargner les zones plus vulnérables aux excès d'eau. Selon cette vision, les acteurs institutionnels s'opposeraient au drainage des merjas par un réseau d'assainissement. Ce formalisme bipolaire doit être nuancé, aussi bien en termes d'interventions optionnelles (drainer ou ne rien faire) qu'au niveau de la compréhension de son fonctionnement. L'antagonisme entre fonctions de production ou de protection ne dépend pas uniquement de l'échelle géographique considérée mais également de l'échelle temporelle, comme l'a révélé l'analyse par télédétection. En effet, la fonction de protection, notamment par l'écrêtement des crues, ne prend place que très rarement, lorsque les oueds débordent. Or la fréquence de ces débordements, avec le changement climatique (assèchement) et la construction de nouveaux barrages, est amenée à diminuer. Afin de concilier ces deux fonctions, il pourrait donc être envisagé, du moins théoriquement, d'équiper ces merjas de systèmes de drainage activés (i.e. vannes ouvertes) lorsqu'il est nécessaire d'évacuer l'eau pour une mise en culture, même hivernale (céréales), lorsqu'il n'y a pas de risque d'inondation à l'aval, ou désactivé (i.e. vannes fermées), lorsque le risque d'inondation est significatif, même si cette fermeture empêche la mise en culture des terres inondées. Il est à noter que la culture céréalière, aujourd'hui essentiellement pluviale dans la plaine du Gharb, donc prenant place en période hivernale (cf. Figure 12), pourrait être décalée vers le printemps moyennant une irrigation fournie dans les zones nouvellement aménagées, réduisant ainsi le risque de pertes de rendements dans ces zones basses à double vocation (production agricole ou stockage d'eau). Il demeure tout de même un risque que les infrastructures d'irrigation dans ces zones (canaux) soient dégradés par des hauteurs d'inondation trop importantes.

La poursuite de l'aménagement des merjas pour la production agricole irriguée doit être envisagée comme un moyen d'améliorer la production nationale céréalière. Les investissements financiers, souvent considérés comme trop élevés pour une mise en œuvre (infrastructures d'irrigation et de drainage particulièrement coûteuses dans les zones les plus basses), doivent être appréciés et éventuellement justifiés en considérant les bénéfices potentiels relativement élevés (théoriquement jusqu'à 80 qtx/ha). Il conviendra également de veiller à la pertinence des modes d'irrigation promus et d'éviter certaines aberrations comme la subvention de goutte à goutte par l'Etat dans les zones les moins favorables des merjas, sujettes à de fortes concentrations en sels. Les meilleurs choix d'aménagement et de gestion de ces merjas, nécessitent non seulement des négociations, qui peuvent être facilitées par une ingénierie de la participation, mais également par une meilleure compréhension des dynamiques hydrologiques qui nécessitent, in fine, la mise en place d'un réseau de mesure et sa maintenance.

Compte-tenu de la difficulté à instaurer les conditions idéales d'une mise en débat de ces options, du fait notamment du manque d'information fiables sur les processus hydrologiques, la conception de jeux de rôles, inspirés de ceux mis en œuvre au Cambodge et en Equateur dans le cadre de cette action structurante, s'avère être une option intéressante.

Pour une meilleure efficacité, ces aménagements de la plaine doivent être accompagnés de mesures à l'échelle du bassin versant de l'oued Sebou, visant à réduire les risques d'inondation. Il s'agit :

- De mieux gérer les barrages existants :
 - Prévoir un volume de stockage destiné à contenir les eaux de crue,
 - Mieux gérer les lâchers de manière à limiter l'envasement des retenues. Ceci peut s'appliquer également au niveau du barrage de garde de l'oued Sebou
- De construire de nouveaux barrages d'écêtement de crue sur les oueds issus des versants sud de la plaine (Rdom, Rdat, Mda, Tifelt, Smento),
- D'intervenir sur les versants de manière à réduire l'érosion susceptible d'envaser les barrages et donc de réduire leur efficacité :
 - Encourager les pratiques culturelles conservatives : semi-direct, agroforesterie, agroécologie,
 - Mettre en place des aménagements de conservation des eaux et des sols
- D'attribuer une fonction de réduction des risques de débordement de l'oued Sebou au nouveau projet de transfert d'eau Sebou-Bouregreg. Ce projet prévoit de transférer jusqu'à 15 m³/s d'eau depuis le barrage de garde vers le barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah sur l'oued Bouregreg, pour approvisionner en eau potable les villes de Rabat et Casablanca. Ceci doit également s'accompagner d'un renforcement des berges des oueds dans la plaine par tronçon (recalibrage).

RÉFÉRENCES

- ABHS, 2010. Etude de schéma directeur de protection de la plaine du Gharb contre les inondations. Agence de Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS)
- Ayt Ougougdal, H., Yacoubi Khebiza, M., Messouli, M., Lachir, A., 2020. Assessment of Future Water Demand and Supply under IPCC Climate Change and Socio-Economic Scenarios, Using a Combination of Models in Ourika Watershed, High Atlas, Morocco. *Water* 12, 1751. doi.org/10.3390/w12061751
- Balhane, S., Driouech, F., Chafki, O., Manzanos, R., Chehbouni, A., Moufouma-Okia, W., 2022. Changes in mean and extreme temperature and precipitation events from different weighted multi-model ensembles over the northern half of Morocco. *Clim Dyn* 58, 389–404. doi.org/10.1007/s00382-021-05910-w
- Célérier J. 1922. Les merjas de la plaine du Sebou. *Hesperis* 2: 109–138.
- CHM (Centre d'Echange d'Information sur la Biodiversité de la Région Rabat-Salé-Kénitra). [2006/11/19]. ma.chm-cbd.net/
- Choukrani H, Kuper M, Hammani A, Lacombe G, Taky A. 2022. Visions contrastées des services écosystémiques des zones humides saisonnières du Gharb, Maroc. *Cahiers Agriculture*. Vol, 220037
- El Bliidi S, Fekhaoui M, Serghini A, Abdellah &, Abidi EL. 2006. Rizières de la plaine du Gharb (Maroc): qualité des eaux superficielles et profondes. *Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Vie* (28): 55–60
- El Khalki, E.M., Trambly, Y., Hanich, L., Marchane, A., Boudhar, A., Hakkani, B., 2021. Climate change impacts on surface water resources in the Oued El Abid basin, Morocco. *Hydrological Sciences Journal* 66, 2132–2145. doi.org/10.1080/02626667.2021.1982137
- El Moçayd, N., Kang, S., Eltahir, E.A.B., 2020. Climate change impacts on the Water Highway project in Morocco. *Hydrology and Earth System Sciences* 24, 1467–1483. doi.org/10.5194/hess-24-1467-2020
- FAO, MAPM. 2010. Plan d'action d'urgence pour le drainage et l'assainissement de la plaine du Gharb.
- Flower RJ. 2001. Change, Stress, Sustainability and Aquatic Ecosystem Resilience in North African wetland lakes during the 20th century-an introduction to integrated biodiversity studies within the CASSARINA Project. *Aquatic Ecology* 35: 261–280. doi.org/10.1023/A:1011978420737
- Fournier A. 2020. The agrosystem and the bush spirits among the Sèmè of Burkina Faso. Some thoughts about the notion of cultural ecosystem services. *Cahiers Agricultures* 29: 25. doi.org/10.1051/cagri/2020024
- Funk C, Peterson P, Landsfeld M, Pedreros D, Verdin J, Shukla S, Husak G, Rowland J, Harrison L, Hoell A, Michaelsen J. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data* 2, 150066
- Hayzoun H. 2014. Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou. Thèse de doctorat. Université de Toulon. 176 pages
- Hrou, Y., Thomas, Z., Fovet, O., Sebari, K., Rousseau-Gueutin, P., 2022. Changes in precipitation and discharge in a Mediterranean catchment as a response to climate change and human activities. *Journal of Water and Climate Change* 13, 3253–3273. doi.org/10.2166/wcc.2022.074
- Inventaire du degré de pollution des ressources en eau dans le bassin du Sebou. 2015. Agence du Bassin Hydraulique du Sebou. Royaume du Maroc. 16 pages
- Kull CA, Arnauld de Sartre X, Castro-Larrañaga M. 2015. The political ecology of ecosystem services. *Geoforum* 61: 122–134. doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.03.004
- Kulp SA, Strauss BH. 2018. CoastalDEM: A global coastal digital elevation model improved from SRTM using a neural network. *Remote Sensing of Environment* 206: 231–239

- Kulp SA, Strauss BH. 2019. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature communications* 10:4844
- Le Coz J. 1964. Le Rharb Fellahs et Colons.
- Lespinas, F., Ludwig, W., Heussner, S., 2014. Hydrological and climatic uncertainties associated with modeling the impact of climate change on water resources of small Mediterranean coastal rivers. *Journal of Hydrology* 511, 403–422. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.033
- Maroc Hebdo. 2022. Le taux de remplissage des barrages atteint 29,2%, le niveau le plus bas de l'histoire du pays. Edition du 19 juillet 2022. www.maroc-hebdo.press.ma/taux-remplissage-barrages-29-niveau-plus-bas
- Minderhoud PSJ, Coumou L, Erkens G, Middelkoop H, Stouthamer E. 2019. Mekong delta much lower than previously assumed in sea-level rise impact assessments. *Nature communications* 10:3847
- Moinina A, Boulif M, Lahlali R. 2018. La culture de riz (*Oryza sativa*) et ses principaux problèmes phytosanitaires: une mise au point sur la région de Gharb. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires* 6 (4): 544-557.
- Mukherjee S, Joshi PK, Mukherjee S, Ghosh A, Garg RD, Mukhopadhyay A. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21: 205–217
- Nassali H, Ben Bouih H, Srhiri A, Dhahbi M. 2005. Influence des rejets des eaux usées sur la composition des eaux de surface et des sédiments superficiels du lac Merja Fouarate au Maroc. 2005. *Afrique SCIENCE* 01(1) : 145-165
- Neang M, Méral P. 2021. Ecosystem services and rice cropping system around tonle sap lake, cambodia. *Cahiers Agricultures* 30: 44. doi.org/10.1051/cagri/2021030.
- NOVEC. 2011a. Etude de faisabilité de l'aménagement hydro-agricole de la Zone Centrale de la troisième tranche d'irrigation du Gharb et de sécurisation de l'alimentation en eau d'irrigation des secteurs équipés Beht 3 et Beht 4. Mission 1 : Diagnostic de la situation actuelle (DSA) Sous mission 1.1 : Diagnostic de l'assainissement externe. Rapport
- NOVEC. 2011b. Etude de faisabilité de l'aménagement hydro-agricole de la Zone Centrale de la troisième tranche d'irrigation du Gharb et de sécurisation de l'alimentation en eau d'irrigation des secteurs équipés Beht 3 et Beht 4. Mission II : Projet de Mise en Valeur Agricole. Rapport principal. 95 pages
- NOVEC. 2012. Etude de faisabilité de l'aménagement de la zone centrale de la TTI du Gharb et sécurisation de l'alimentation en eau d'irrigation des secteurs Beht 3 et Beht 4. Mission 3 : Avant-Projet Sommaire. Mission 3-1 : Assainissement externe de la rive gauche de l'oued Sebou. ORMVAG (Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb). 145 pages
- Ramsar. 2015. État des zones humides du monde et des services qu'elles fournissent à l'humanité: compilation d'analyses récentes. www.ramsar.org
- Sajaloli B. 1996. Les zones humides : une nouvelle vitrine pour l'environnement (Wetlands : a new showcase for environment). *Bulletin de l'Association de géographes français* 73(2): 132–144.
- Sauvage Ch. 1959. Au sujet de quelques plantes rares et menacées de la flore du Maroc.
- Seijger C, Douven W, van Halsema G, Hermans L, Evers J, Phi HL, et al. 2016. An analytical framework for strategic delta planning: negotiating consent for long-term sustainable delta development. *Journal of Environmental Planning and Management* 60(8): 1485–1509. doi.org/10.1080/09640568.2016.1231667.
- Shackleton CM, Ruwanza S, Sinasson Sanni GK, Bennett S, de Lacy P, Modipa R, et al. 2016. Unpacking Pandora's Box: Understanding and Categorising Ecosystem Disservices for Environmental Management and Human Wellbeing. *Ecosystems* 19 (4): 587–600. doi.org/10.1007/s10021-015-9952-z.
- Sibari M, Hamdaoui F, Lakhlifi M, Elatmani A, Achhar A, EL Kharrim K, Belghyti D. 2020. Modeling physical and chemical pollution of Sebou river waters Kenitra, Morocco. *International Journal of Environmental Science*
- Sonnier A. 1935. Les merjas de la plaine du Rharb. *Bulletin économique et social du Maroc* 8.
- Taky A. 2020. Témoignage - Assainissement et drainage sur la plaine du Gharb au Maroc. *Revue Science Eaux & Territoires, Drainage agricole : enjeux, connaissances, perspectives* (32): 19–19. doi.org/10.14758/SET-REVUE.2020.2.04.
- Tramblay, Y., Somot, S., 2018. Future evolution of extreme precipitation in the Mediterranean. *Climatic Change* 151, 289–302. doi.org/10.1007/s10584-018-2300-5
- Verner, D., Treguer, D., Redwood, J., Christensen, J., McDonnell, R., Elbert, C., Konishi, Y., Belghazi, S., 2018. Climate Variability, Drought, and Drought Management in Morocco's Agricultural Sector (Working Paper). World Bank, Washington, DC. doi.org/10.1596/30603
- Were D, Kansiiime F, Fetahi T, Cooper A, Jjuuko C. 2019. Carbon Sequestration by Wetlands: A Critical Review of Enhancement Measures for Climate Change Mitigation. *Earth Systems and Environment* 3 (2): 327–340. doi.org/10.1007/s41748-019-00094-0.
- Yamazaki D, Ikeshima D, Sosa J, Bates PD, Allen GH, Pavelsky TM. 2019 MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography datasets. *Water Resources Research*. 55:5053-5073