



Wealth Accounting and the
Valuation of Ecosystem Services

Programme WAVES



REPUBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana - Tanindrazana - Fandrosoana

Repoblikan'i Madagasikara



LA BANQUE MONDIALE
BIRD • IDA

Banque Mondiale

WAVES - PREPARATION DES COMPTES PHYSIQUES DE STOCK ET DE FLUX DES RESSOURCES EN EAU A MADAGASCAR



Rapport final - Juin 2016



A00012_PG_VDEF

BRL
Ingénierie



	BRL ingénierie 1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5
	BRL Madagascar Nanisana Lot II A 128 SGA . BP 87 . Antananarivo 101

Date de création du document	Mai 2016
Contact	Sébastien Chazot

Titre du document	WAVES - PREPARATION DES COMPTES PHYSIQUES DE STOCK ET DE FLUX DES RESSOURCES EN EAU A MADAGASCAR
Référence du document :	A00012_WavesMada_Rapport
Indice :	VDEF

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
Mai 2016	V1		Mathilde Chauveau, Sébastien Chazot, Béatrice de Abreu Narivony Raboara, Anjara Randrianatoandro Mamy	Sébastien Chazot
Juin 2016	VDEF	Prise en compte des remarques formulées par l'équipe WAVES	Mathilde Chauveau, Sébastien Chazot, Béatrice de Abreu Narivony Raboara, Anjara Randrianatoandro Mamy	Sébastien Chazot

WAVES - PREPARATION DES COMPTES PHYSIQUES DE STOCK ET DE FLUX DES RESSOURCES EN EAU A MADAGASCAR

CADRE ET OBJECTIFS 1

A – COMPTE DES FLUX ET STOCKS PHYSIQUES DE L'EAU 5

1. Estimation des flux naturels – Ressource en eau	5
2. Estimation des flux d'eau liés à l'irrigation	8
2.1 Démarche générale	8
2.2 Conditions climatiques	11
2.2.1 Pluviométrie	12
2.2.2 Evapotranspiration	15
2.2.3 Délimitation de grandes zones climatiques	17
2.3 Calcul du besoin unitaire du riz en eau d'irrigation	21
2.3.1 Calendrier culturaux	21
2.3.2 Modèle de calcul du besoin en eau d'irrigation du riz	22
2.3.3 Besoins techniques de la rizière	23
2.3.4 Résultats : Besoins unitaires pour les rizières par zone climatique	23
2.4 Calcul des surfaces irriguées du riz par saison	24
2.5 Résultats : Calcul des besoins en eau d'irrigation et des prélèvements bruts pour le riz à Madagascar	26
2.5.1 Les volumes en jeu	26
2.5.2 Résultats par zone hydrologique	28
2.6 Flux d'irrigation	30
2.7 Enquêtes sur les rizières de Marovoay et Lac Alaotra	32
2.7.1 Présentation des périmètres irrigués	33
2.7.2 Les enquêtes de terrain	40
2.7.3 Estimation des prélèvements en eau d'irrigation	41
3. Estimation des flux d'eau liés à l'eau potable	48
3.1 Estimation à l'échelle nationale	48
3.2 Estimation à l'échelle des grandes zones hydrologiques	50
4. Estimation des flux d'eau liés à l'élevage	52
5. Estimation des flux d'eau liés à l'hydroélectricité	53
6. Etablissement des comptes physiques de l'eau	54
6.1 Comptabilité de l'eau	54
6.2 Le bilan ressources / demandes en eau pour la riziculture	62

B – COMPTES MONETAIRES LIES A L'EAU	67
1. Approche détaillée sur deux grandes zones d'irrigation	67
1.1 Définition des indicateurs	67
1.2 Résultats des enquêtes de terrain	68
1.3 L'estimation de la valeur ajoutée brute des périmètres irrigués	70
1.4 Comparaison avec d'autres pays : rizières au Mali	77
 ANNEXES	 79
Annexe 1. Notice pour l'utilisation de la plateforme Excel	81
Annexe 2. Compléments d'informations issues des enquêtes de terrain sur Marovoay et le Lac Alaotra	95

Cadre et objectifs

OBJECTIF GENERAL

La présente étude s'inscrit dans le cadre du **programme WAVES** (*Wealth Accounting and Valuation of Ecosystem Services*) porté par la Banque Mondiale. Cette étude a pour objectif de **construire une plateforme sur les comptes physiques et économiques liés à l'eau** :

- à l'échelle de Madagascar,
- et à l'échelle d'un découpage en grandes zones géographiques du pays.

Les comptes physiques et économiques de l'eau incluent :

- Le calcul des **stocks et flux d'eau**, associés aux ressources naturelles et aux activités économiques utilisatrices ;
- Le calcul d'indicateurs économiques relatifs aux activités utilisatrices d'eau, et notamment la **valeur ajoutée**.

Cette étude vise à proposer et à transmettre aux membres du programme WAVES et aux ministères de l'Administration Malagasy un outil de calcul (la plateforme) qui pourra être utilisé, complété, et actualisé au cours du temps, en fonction de l'acquisition de nouvelles données sur l'eau.

L'objet de cette plateforme est de proposer des éléments quantitatifs susceptibles d'orienter des politiques de l'eau à l'échelle nationale. En particulier, la quantification des ressources en eau et des demandes en eau à grande échelle peuvent être des indicateurs utiles pour la gestion intégrée de la ressource en eau.

LES COMPTES PHYSIQUES DE L'EAU

La notion de comptes physiques et monétaires de l'eau est définie et décrite dans les documents du programme WAVES et en particulier dans le rapport de l'UNSD : « Guidelines for the Compilation of Water Accounts and Statistics ».

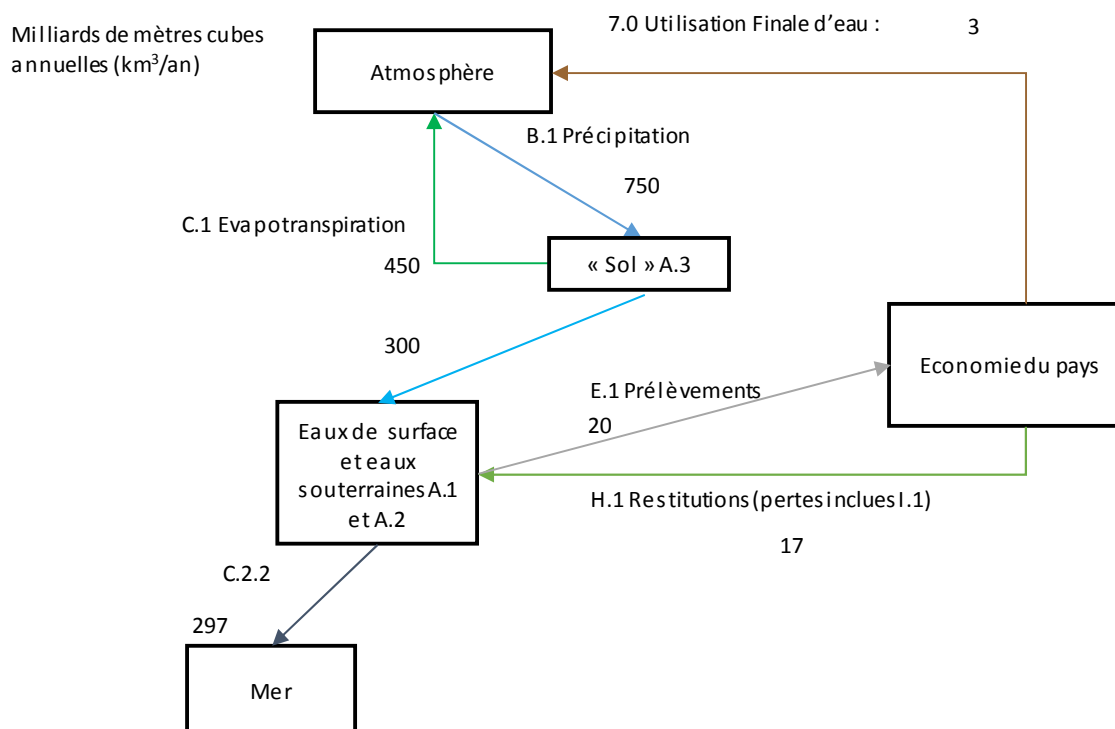
La comptabilité physique **est l'évaluation des stocks et flux d'eau, dans l'économie, les activités humaines et l'environnement, avec le point de vue « cycle de l'eau », à grande échelle (souvent nationale).**

Cela inclut :

- La quantification des ressources en eau, l'évaluation des grands flux d'eau « naturels » dans l'environnement (précipitations, évapotranspiration, écoulements de surface et souterrains) ;
- La quantification des usages de l'eau (volumes utilisés et prélevés par les activités humaines) et, pour ces usages, l'évaluation des flux avec l'environnement et les autres usages : « d'où vient l'eau ? » et « où va l'eau ? » ;

Afin de proposer une vision globale des flux d'eau sur un territoire. Cela peut prendre la forme du schéma ci-dessous. Les différents flux d'eau sont codés, à partir de la nomenclature IRWS (International Recommendations for Water Statistics).

Figure 1 : Cycle de l'eau global annuel de Madagascar - Moyenne annuelle



Attention : les valeurs des flux naturels sont PROVISOIRES, dans l'attente de correction des calculs de l'étude Waves d'Artelia.

Il faut noter que ces chiffres, dont l'estimation est explicitée dans la suite du rapport, reposent sur des hypothèses fortes, car leur quantification fine nécessiterait d'importantes données bancarisées non disponibles à ce jour. Ces estimations sont donc associées à des incertitudes.

Il s'agit, dans la présente étude, de **poser un premier cadre « Comptabilité de l'eau », et un premier jeu d'hypothèses, afin d'initier la démarche.** Des études complémentaires pourront venir affiner ou ajuster les valeurs proposées.

LES COMPTES MONETAIRES DE L'EAU

Cette comptabilité vise à mettre en lien les flux physiques de l'eau avec les flux économiques associés.

La comptabilité monétaire de l'eau s'intéresse en particulier au calcul de la valeur ajoutée brute des activités économiques fortement utilisatrices d'eau, et au ratio valeur ajoutée / volume d'eau utilisé.

ECHELLES SPATIALES ET TEMPORELLES

Echelles temporelles

Pour la présente étude, il a été choisi de travailler aux **échelles de temps mensuelle et annuelle**. L'échelle de temps mensuelle permet de prendre en compte la **variabilité saisonnière de la ressource en eau et des usages de l'eau (irrigation en particulier)**, et donc de mieux appréhender les équilibres usages/ressources, et les éventuelles tensions sur l'eau en saison sèche. Cette étude considère uniquement les flux d'eau moyens sur une **année moyenne**. En particulier, les valeurs de précipitations et ruissellements sont calculées en année moyenne sur la période 2001-2013.

Echelles spatiales

En outre, nous considérons plusieurs échelles spatiales pour les analyses :

- **L'échelle nationale ;**
- **Un découpage du pays en 6 grandes zones hydrologiques ;**
- **Deux « zooms » locaux sur deux territoires agricoles : Marovoay et le Lac Alaotra :** des enquêtes de terrains ont été menées sur ces territoires dans le cadre de la présente étude, et permettent d'apporter une connaissance plus précise (cf. Figure 3).

Les 6 grandes zones hydrologiques

Le découpage de l'île en grandes zones hydrologiques permet de prendre en compte la **diversité des contextes hydro-climatiques du pays**. Le découpage retenu est le découpage des **six Agences de Bassins** proposé par l'ANDEA. Ce découpage présente plusieurs intérêts :

- Il correspond à la délimitation institutionnelle des Agences de Bassins, en charge de la gestion intégrée des ressources en eau ;
- Ces zones sont des groupements de bassins versants. Ce sont donc des territoires adaptés pour comparer les ressources en eau et les demandes en eau ; et donc étudier les bilans des stocks et des flux d'eau.
- Ces zones prennent en compte l'hétérogénéité hydro-climatique du pays (cela est détaillé dans la suite du rapport).

La figure page suivante présente :

- La délimitation des Agences de bassin proposée dans le rapport ANDEA (2008) ;
- **La délimitation des 6 grandes zones hydrologiques retenues pour la présente étude WAVES.** Ce découpage a été construit à partir :
 - De la connaissance du périmètre des Agences de bassins ;
 - Des sous-bassins versants de l'étude WAVES, issus de la première étude Waves Madagascar [Artelia – 2014]. Les calculs de ressources en eau ont été menés à l'échelle de ces sous-bassins par la première étude Waves, et sont réutilisés dans la présente étude pour le bilan des stocks et flux d'eau. Ces sous-bassins représentent 93% du territoire. Les volumes calculés dans l'étude sont ensuite extrapolés à la totalité du territoire.

Construction de la plateforme

La plateforme est conçue sur la base de ces échelles spatio-temporelles. Cependant, **il faut noter que les données existantes ne permettent pas nécessairement d'estimer l'ensemble des variables étudiées (flux physiques et économiques) à toutes ces échelles spatio-temporelles.** Ce point est précisé dans la suite du rapport.

La plateforme est construite de manière à pouvoir être complétée et actualisée à l'avenir, avec l'acquisition de nouvelles données.

Figure 2 : A / Proposition de délimitation des Agences de Bassins – Rapport ANDEA 2008 ; B/ Zones hydrologiques de l'étude Waves

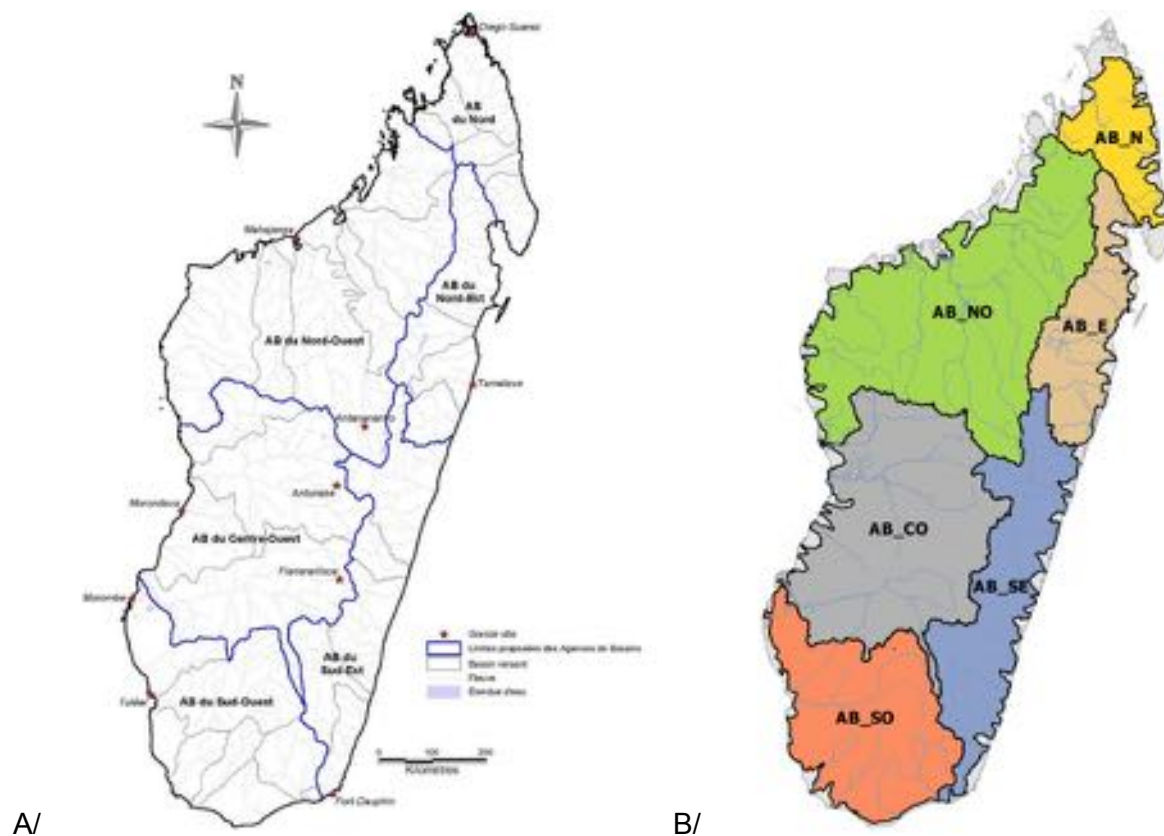
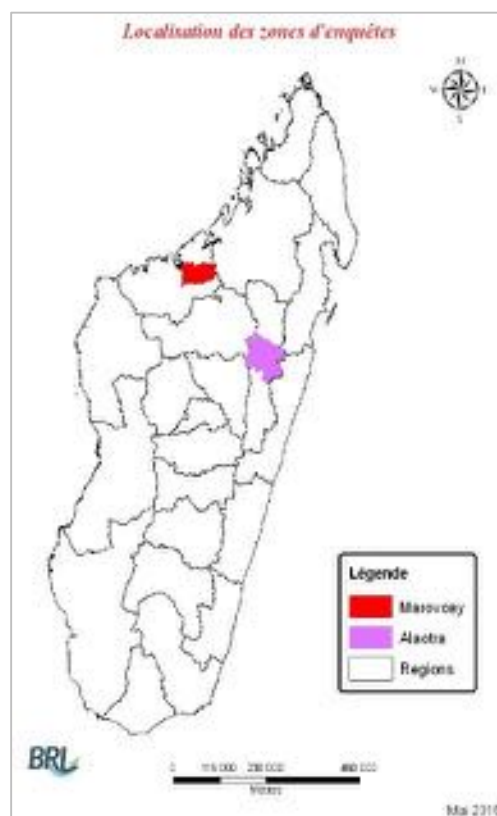


Figure 3 : Localisation des zones d'enquêtes : Marovoay et le Lac Alaotra



A – Compte des flux et stocks physiques de l'eau

Cette partie présente les méthodes et résultats pour l'établissement du compte des flux et stocks physiques de l'eau de Madagascar.

- Le premier chapitre présente l'évaluation des flux et stocks « naturels » (précipitations, évapotranspiration, ruissellement naturel, etc.). Il se base sur la première étude WAVES (Artelia – 2014).
- Les chapitres A-2 à A-5 présentent l'évaluation des demandes en eau pour l'irrigation, l'eau potable, l'élevage, l'énergie ; c'est-à-dire les flux d'eau liés aux activités humaines.
- Le dernier chapitre présente le bilan des flux et stocks d'eau, sous les différentes formes proposées par la démarche « WAVES ».

NB : De manière générale, il faut noter qu'une **part importante des données idéalement nécessaires pour le compte des flux et stocks physiques de l'eau à Madagascar sont partielles ou manquantes**. En conséquence, des hypothèses fortes sont posées pour aboutir aux calculs finaux ; les volumes calculés peuvent donc être sujets à des incertitudes élevées. La plateforme de calcul permet aux utilisateurs de modifier les hypothèses ou les données d'entrée, afin d'affiner les calculs à l'avenir.

1. ESTIMATION DES FLUX NATURELS – RESSOURCE EN EAU

SOURCE DES DONNEES

L'estimation des flux d'eau naturels exposée ici repose sur **la première étude Waves (Artelia ; 2014)**.

Cette étude a mis en place une modélisation hydrologique spatialisée sur l'ensemble de Madagascar, à l'échelle de 533 sous-bassins versants, à l'aide du modèle GeoSFM (Geospatial Stream Flow Model).

Cette modélisation utilise :

- Comme données d'entrée :
 - Des données de précipitations sur la période 2001-2013 (données issues du produit RFE 2.0 et corrigées par Artelia afin de s'ajuster aux données pluviométriques de la Direction Générale de la Météorologie) ;
 - Des données d'évapotranspiration potentielle sur la période 2001-2013 (données issues du produit EROS USGS).
- Comme informations pour paramétrer le modèle :
 - Quelques données hydrométriques (5 stations hydrométriques disposant de 2 à 11 ans de mesures) ;
 - Des cartographies de la topographie, des sols et de l'occupation du sol.

Ce modèle calcule, en sortie, des chroniques sur la période 2001-2013 :

- De ruissellements ;
- De l'évapotranspiration réelle ;
- Du stock d'eau dans le sol disponible pour les plantes.

L'étude précise que : « Les estimations données par le modèle ajusté peuvent être considérées comme globalement valables sauf pour les bassins présentant des spécificités ou singularités marquées (forte perméabilité, importance des phénomènes karstiques, existence de vastes plaines inondables). Pour ces derniers, les estimations du modèle ont une valeur indicative et peuvent toujours être affinées ultérieurement sur la base de écoulements.»

En effet, cette modélisation se base sur des données limitées :

- Données de pluies et d'ETP issues d'informations satellites : niveau de précision limité ;
- Données hydrométriques très limitées (5 stations, dont 4 disposent de moins de 3 ans de mesures).

En conséquence, on peut s'attendre à un niveau d'incertitude élevé sur les volumes calculés par la modélisation hydrologique.

LES FLUX D'EAU NATURELS A MADAGASCAR

Les composantes du bilan hydrique (Précipitations, Evapotranspiration réelle ; Eaux de surface, eaux souterraines) calculées dans le cadre de cette étude ont été reprises, et intégrées dans la plateforme des comptes de l'eau :

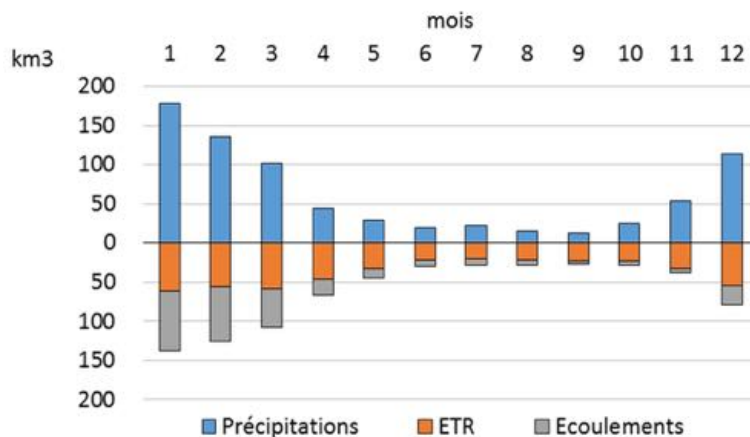
- à l'échelle moyenne mensuelle interannuelle (pour l'année moyenne calculée sur 2001-2013) ;
- à l'échelle des 6 grandes zones hydrologiques (Agence de bassin) déjà présentées plus haut dans ce rapport.

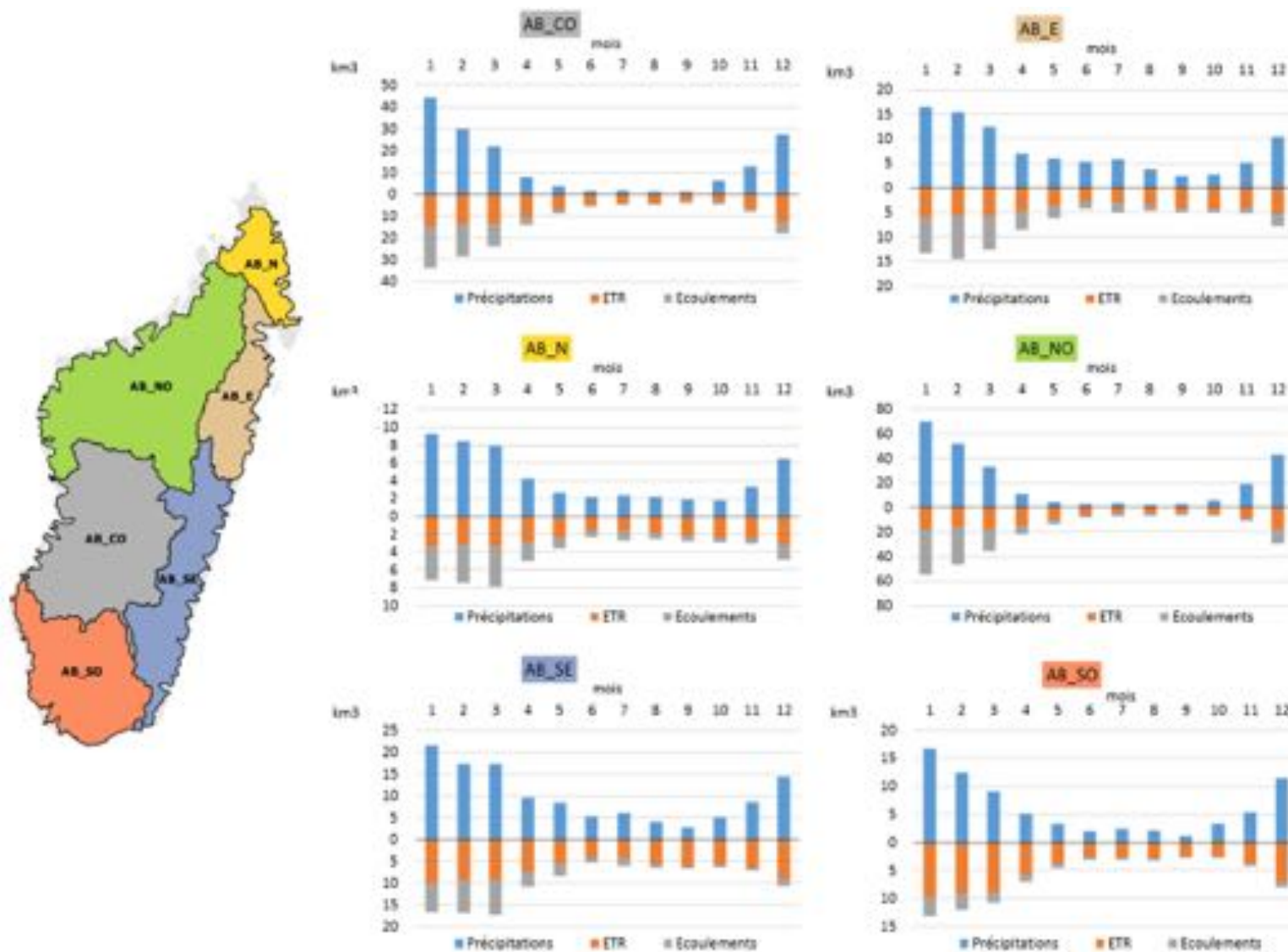
Les graphiques et tableaux suivants fournissent une vision d'ensemble de ces flux. Ils sont donnés en hm^3/mois .

ATTENTION : RESULTATS NON DEFINITIFS

Attention : Ces valeurs sont directement issues de calculs de la première étude Waves mis en œuvre par le consultant Artelia. Ces calculs sont dans l'attente de correction. Les résultats présentés ne sont donc pas définitifs et sont susceptibles de modifications. En particulier, ils ne permettent pas, en l'état, de distinguer les flux infiltrés et les flux écoulés. Ces flux sont ainsi présentés sous le label unique « écoulements » dans nos schémas ci-dessous.

Figure 4 : Moyennes mensuelles interannuelles des flux d'eau naturels à Madagascar – km^3/mois (moyenne 2001-2013).





2. ESTIMATION DES FLUX D'EAU LIES A L'IRRIGATION

2.1 DEMARCHE GENERALE

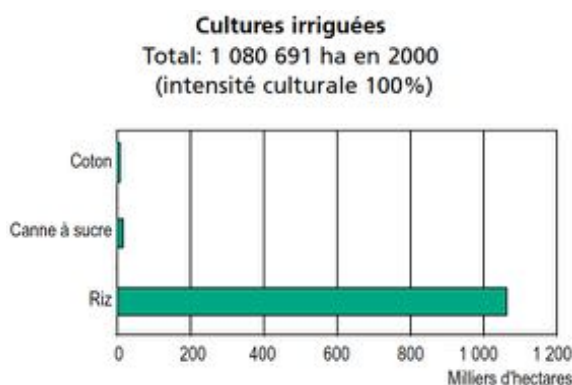
L'objectif de ce chapitre est d'estimer à grands traits, les volumes d'eau moyens utilisés pour l'irrigation à Madagascar, et à l'échelle des six grandes zones hydrologiques (Agences de Bassins).

La très large majorité des cultures irriguées à Madagascar sont les rizières : le riz représenterait environ 98% des superficies de cultures irriguées d'après les données Aquastat de la FAO (2000). Le graphique ci-après, extrait des données Aquastat, présente les principales surfaces irriguées à Madagascar.

Ce chapitre se concentre sur les volumes pour l'irrigation, dont une partie est consommée par les plantes (évapotranspirée), une partie sert à la mise en eau de la rizière, et s'infiltre ou ruisselle au cours du temps.

Au-delà des cultures irriguées, très majoritairement les rizières, il existe des surfaces très importantes de cultures pluviales à Madagascar : ces surfaces consomment des volumes d'eau (évapotranspiration), qui sont incluses dans le volume d'évapotranspiration réelle calculé par la première étude Waves.

Figure 5 : Surfaces de cultures irriguées à Madagascar – 2000 – D'après Aquastat (FAO).



En conséquence, les prélèvements en eau pour l'irrigation à Madagascar sont estimés pour le riz uniquement, dans le cadre de cette étude. En effet, les autres cultures irriguées représentent une part minime des volumes d'eau prélevés pour l'irrigation à Madagascar¹, et sont concentrées sur des périmètres bien déterminés. A l'échelle de cette étude, ces surfaces sont minimales – par contre à l'échelle d'un périmètre déterminé, ou bassin spécifique, elles peuvent être significatives et pratiquées en contre saison sur rizière.

La démarche globale du calcul est illustrée sur le schéma page suivante, et expliquée ci-après. Les détails associés sont présentés dans les sous-chapitres suivants.

Le calcul se base sur 3 données d'entrée principales :

1. Les conditions climatiques (précipitations, évapotranspiration potentielle) ;
2. Les calendriers culturels du riz (incluant plusieurs saisons / cycles culturels) ;
3. Les surfaces cultivées et irriguées par saison.

¹ De plus, les autres cultures potentiellement irriguées (principalement coton et canne à sucre) ne sont pas systématiquement irriguées : il serait nécessaire, pour calculer les volumes, de connaître la part des surfaces cultivées effectivement irriguées : cette donnée n'est pas disponible à une échelle adaptée à l'étude (districts ou région).

La démarche suit les grandes étapes suivantes, présentées sur le schéma :

A Les deux premières informations permettent, pour un territoire donné, de calculer les **besoins unitaires en eau d'irrigation du riz**, à l'aide d'un **modèle de besoin des plantes**.

Le modèle calcule, pour des conditions climatiques données, les besoins mensuels en eau d'irrigation du riz sur un hectare ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{mois}$). Ce calcul doit être réalisé sur un territoire qui présente des conditions climatiques relativement homogènes, et les mêmes calendriers culturels.

Nous avons réalisé ce calcul à l'échelle de **8 grandes zones climatiques** (présentées au sous-chapitre 2.2) : **pour chaque grande zone climatique, des besoins unitaires mensuels en eau d'irrigation du riz sont calculés par saison d'irrigation.** Ce calcul est présenté au chapitre A-2.3.

Pour obtenir les besoins totaux en eau d'irrigation pour le riz à Madagascar, il faut ensuite multiplier les besoins unitaires en eau ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{mois}$) avec les surfaces de rizières cultivées par saison (ha).

B La connaissance des surfaces de rizières est disponible à l'échelle des **districts**. **Pour chaque district, on propose un calcul des surfaces de rizières cultivées par saison.** (chapitre A-2.4)

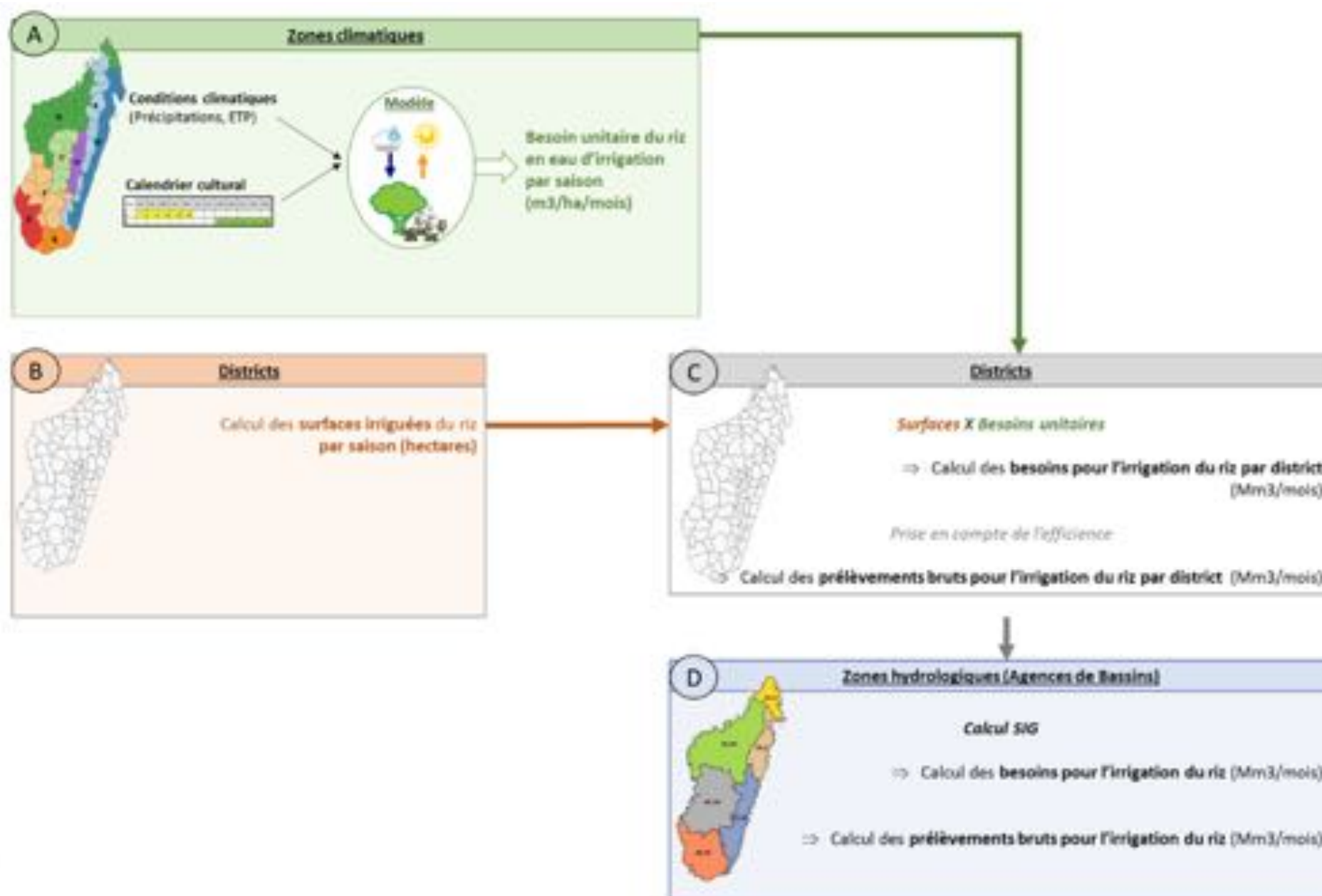
C Ainsi, pour chaque district, et par saison, on multiplie :

- les surfaces de rizières cultivées du district ;
- les besoins unitaires en eau d'irrigation du riz, de la zone climatique associée,

afin d'estimer les besoins totaux d'irrigation du riz par district. (chapitre A-2.5)

D La dernière étape consiste à calculer les volumes nécessaires à l'irrigation **à l'échelle des 6 grandes zones hydrologiques de l'étude.** (chapitre A-2.5).

Des hypothèses sur l'efficacité des réseaux (et donc des pertes) sont intégrées pour calculer les prélèvements bruts pour l'irrigation du riz.



La démarche de calcul est conçue de manière à tirer le meilleur parti des informations disponibles à l'échelle nationale pour l'estimation des consommations en eau d'irrigation du riz.

Cependant, il faut noter que **certaines informations importantes pour l'estimation de ces volumes sont manquantes** ; il a donc été nécessaire de poser des hypothèses fortes pour mener le calcul complètement.

Ces manques de connaissance conduisent à des **incertitudes élevées sur les résultats finaux** (estimations des volumes).

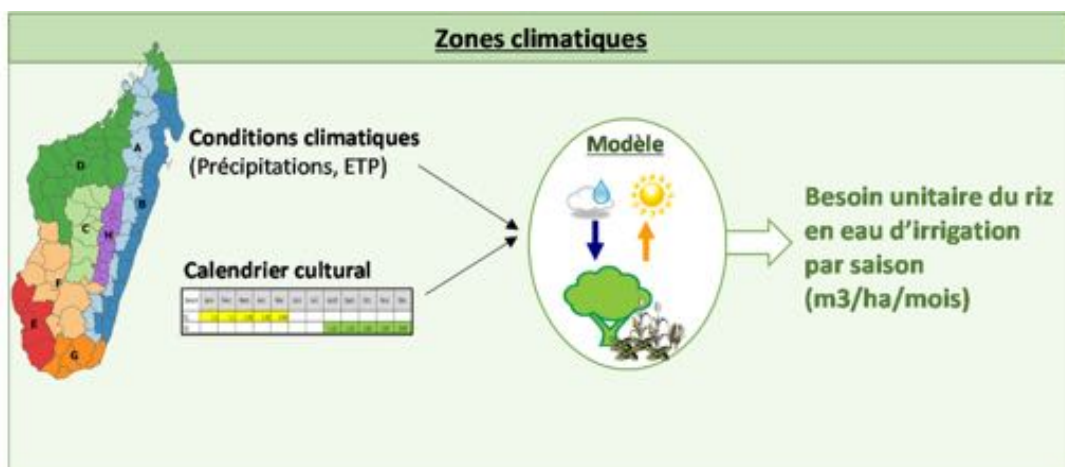
Les hypothèses considérées sont présentées dans la suite du chapitre. **La plateforme (outil de calcul) a été conçue de manière à permettre à l'utilisateur de pouvoir modifier les hypothèses considérées, et de recalculer aisément les volumes résultants.**

2.2 CONDITIONS CLIMATIQUES

Pour le calcul des besoins en eau d'irrigation des plantes, deux variables climatiques sont nécessaires : **les précipitations et l'évapotranspiration potentielle.**

L'objectif de cette partie est :

- **De définir un découpage de Madagascar en grandes zones climatiques**, présentant des conditions climatiques similaires et des calendriers culturels similaires. C'est à cette échelle spatiale que sera utilisé le modèle de besoin des plantes.
- De calculer, pour chaque zone, **des précipitations et ETP moyennes mensuelles.**



2.2.1 Pluviométrie

Afin de **conserver la cohérence avec la première étude WAVES (Artelia, 2014)** dédiée à l'étude des flux et stocks d'eau naturels (ressource en eau), il a été décidé de conserver **les mêmes données de précipitations**. Ces données sont issues de la base RFE 2.0, base de données mondiales construite à partir de données satellites et de postes au sol. Elles sont disponibles sur la période 2001-2013.

L'étude Artelia a permis de comparer ces données à plusieurs postes pluviométriques de Madagascar et aux données de la DGM, en moyenne mensuelle interannuelle. Cette analyse a conclu sur une assez bonne concordance globale, à l'exception de la frange Est du pays, pour laquelle de forts écarts sur les cumuls de pluies sont observés. En conséquence, le consultant Artelia a opéré une correction de ces données de précipitations, afin que les cumuls décennaux coïncident avec les données de la DGM.

Après correction, ces données ont été agrégées par Artelia à l'échelle des 533 sous-bassins versants du découpage utilisés dans leur étude. **Ce sont ces données – RFE 2.0 corrigées sur 533 sous-bassins sur la période 2001-2013 – qui sont utilisées dans le cadre de la présente étude.**

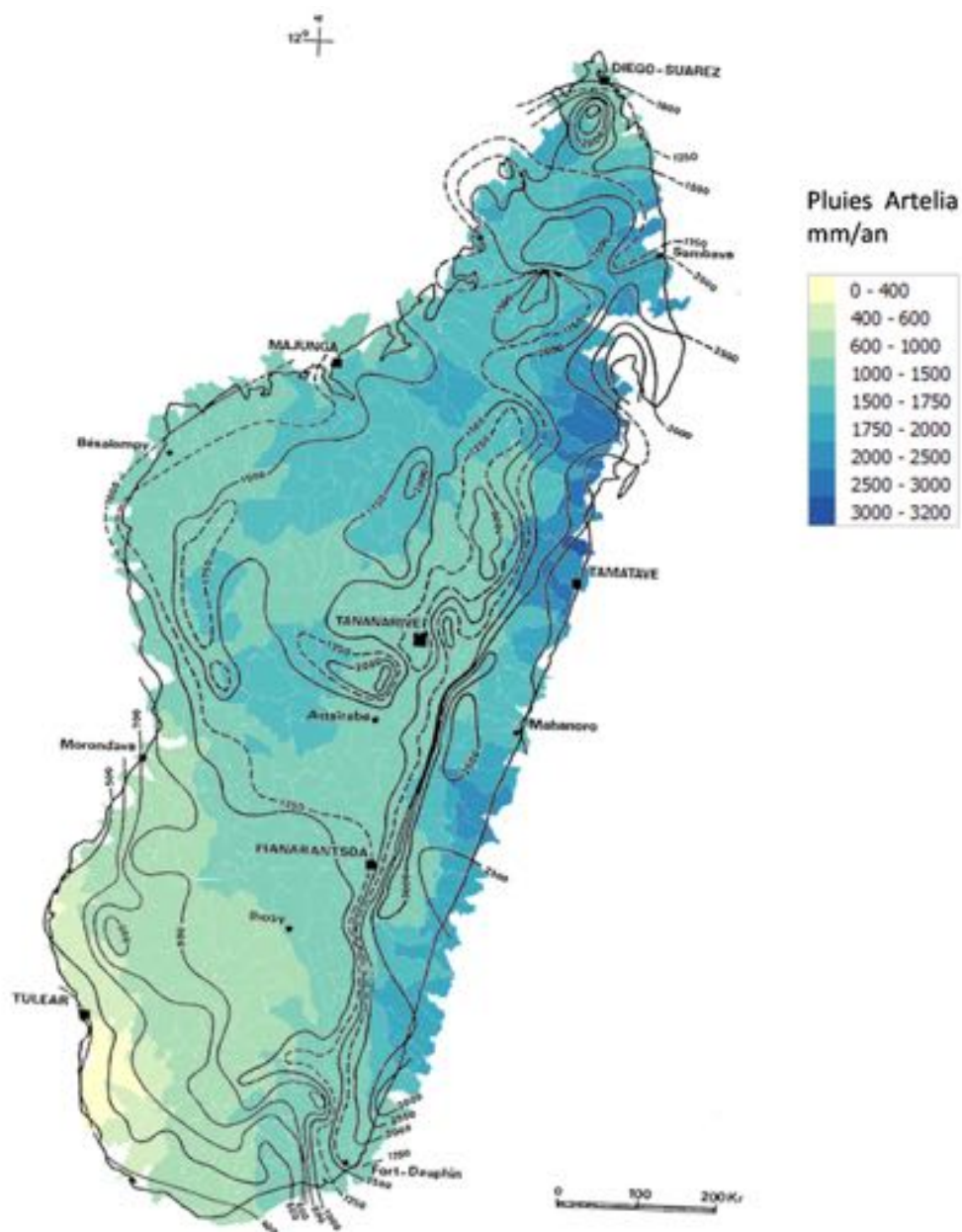
La figure de la page suivante présente les cumuls moyens mensuels et annuels de précipitations pour ces 533 sous-bassins, et rend compte des régimes pluviométriques (saisons pluvieuses et sèches) dans le pays.

Dans le cadre de la présente étude, ces valeurs ont été comparées avec la carte des isohyètes produites par l'ORSTOM (désormais IRD) pour la monographie « Fleuves et rivières de Madagascar » (1993) sur la base de 285 stations sur la période 1941-1974. Les périodes de mesure sont très différentes et ne permettent donc pas une comparaison précise des deux jeux de données : il s'agit uniquement de comparer les grands ordres de grandeur.

Le résultat est donné par la figure ci-dessous : les couleurs indiquent les valeurs issues de la première étude WAVES ; les lignes (isohyètes) sont issues du travail de l'ORSTOM. **On peut conclure que les cumuls moyens annuels des précipitations sont globalement cohérents entre les deux sources de données, en ordres de grandeur et à large échelle.** On observe toutefois **des écarts sur la répartition spatiale**, notamment sur le relief.

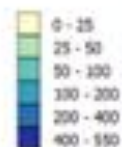
Compte tenu de ces résultats, il a été décidé d'utiliser directement ces données pluviométriques pour la présente étude. L'année moyenne calculée sur 2001-2013 sera considérée dans la suite de l'étude.

Figure 6 : Précipitations moyennes annuelles à Madagascar : Comparaison des données issues de la première étude WAVES (Artelia 2014 – données source RFE 2.0) et de la carte d'isohyètes de l'ORSTOM (1993) – Cartographie BRLi

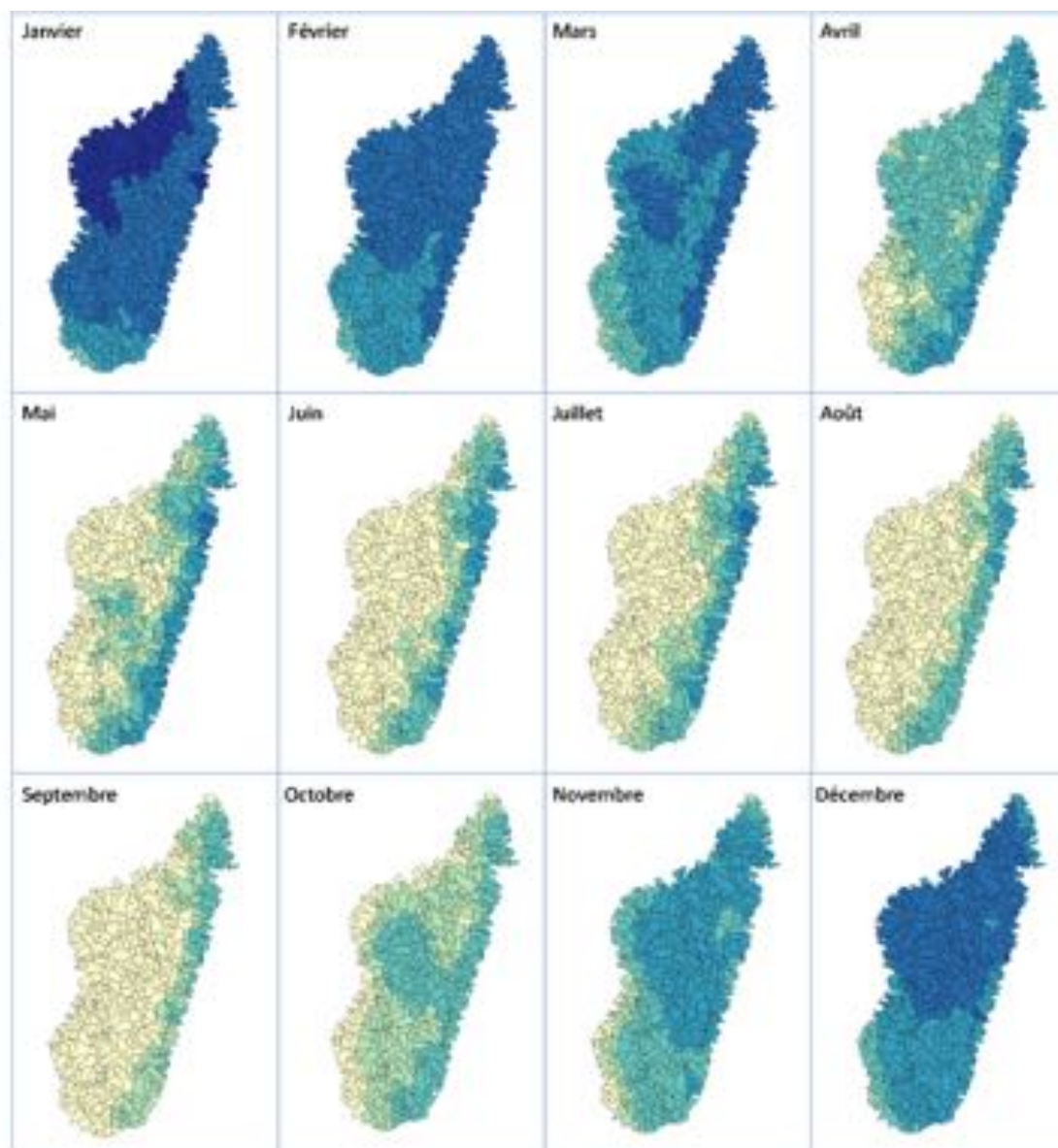
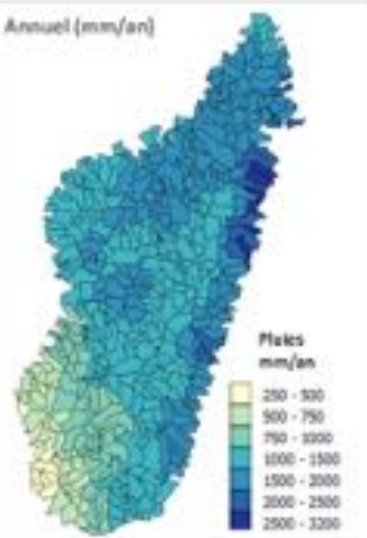


Précipitations moyennes mensuelles
Données RFE corrigées – Etude
WAVES 2014 (Artelia) –
moyennes 2001-2013

Précipitations moyennes mensuelles (mm/mois)



Annuel (mm/an)



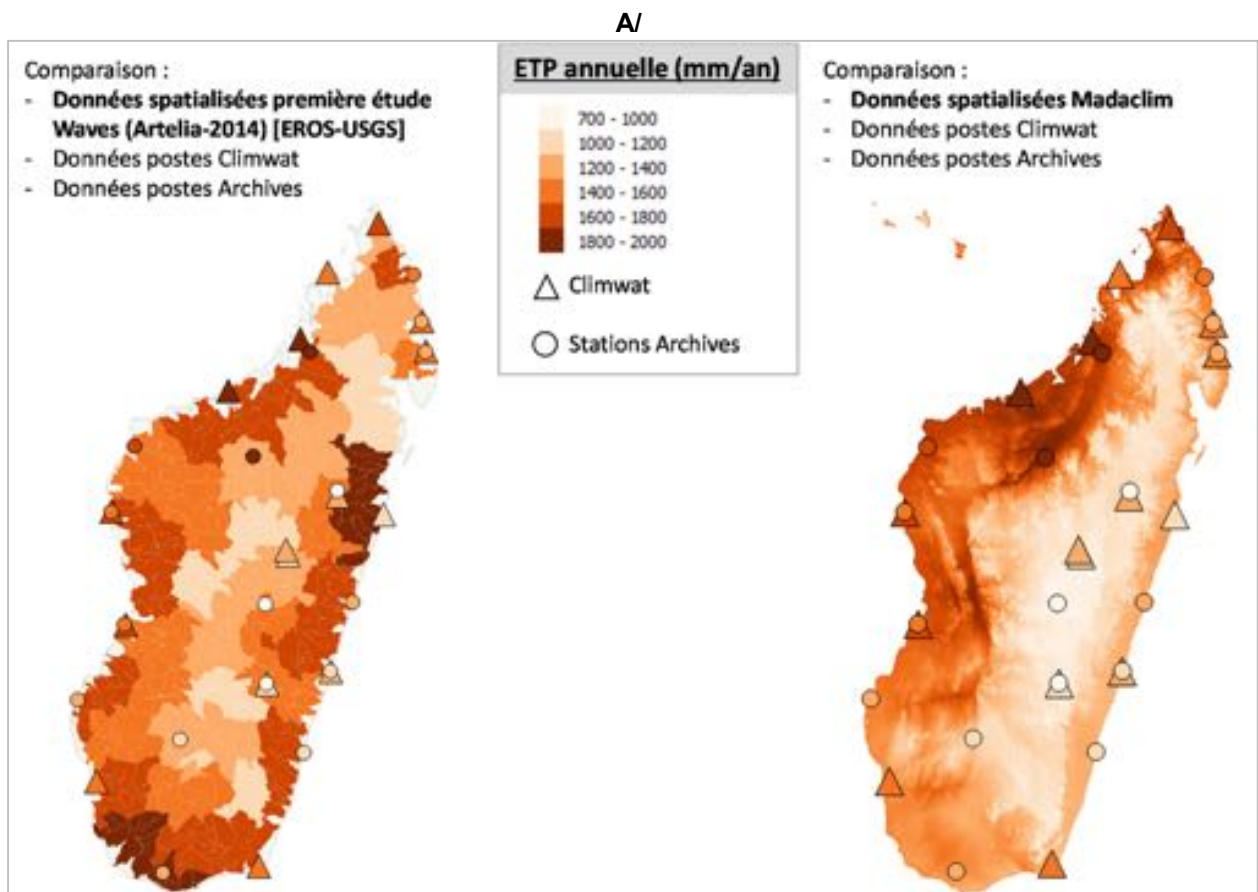
2.2.2 Evapotranspiration

Plusieurs sources de données ont été comparées pour l'évapotranspiration mensuelle :

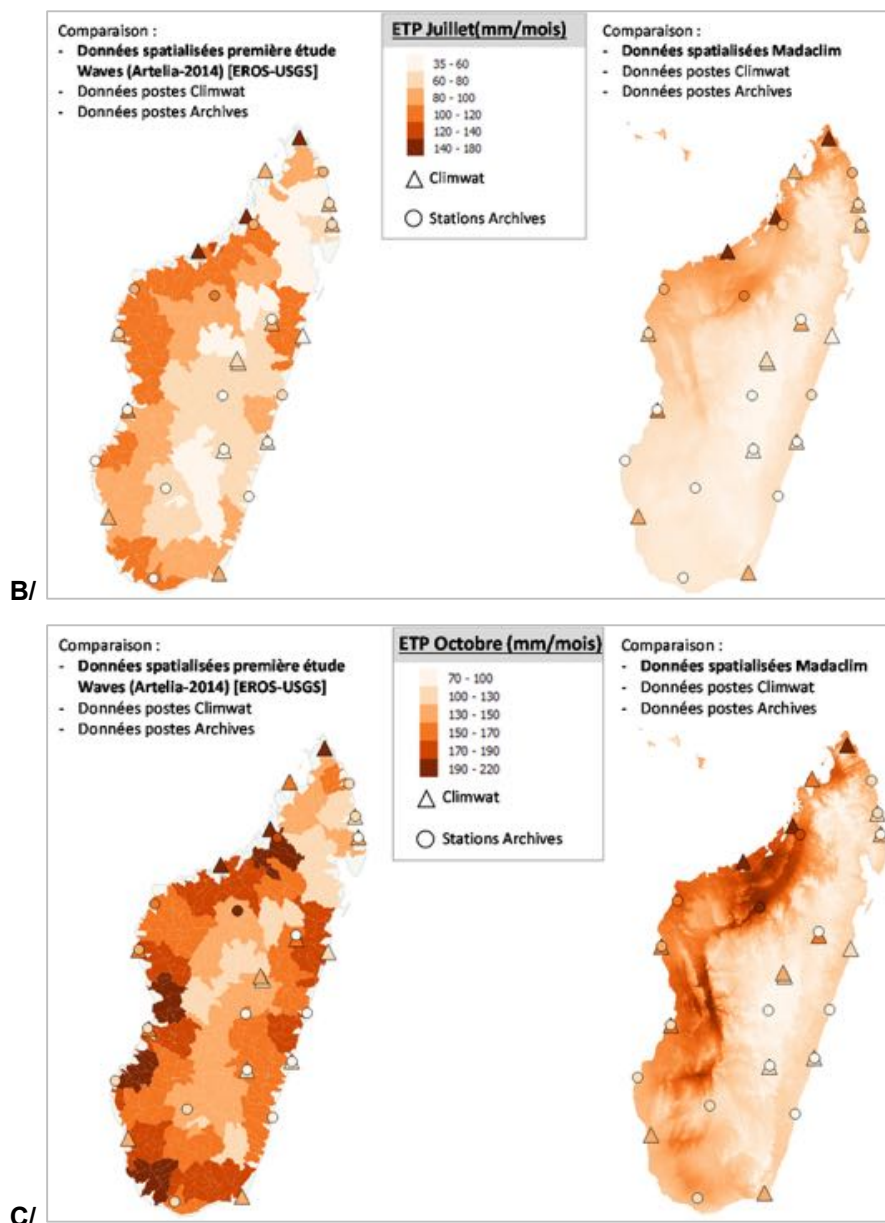
- Les données spatialisées de la première étude WAVES, issues du produit EROS USGS ;
- Des données calculées (formule de Penman-Monteith) à partir de paramètres climatiques mesurés à des postes au sol, données issues d'archives ;
- Des données calculées (formule de Penman-Monteith) à partir de paramètres climatiques mesurés à des postes au sol, données issues de la base Climwat de la FAO.
- Les données spatialisées du produit MADACLIM issues d'un travail du CIRAD et d'autres partenaires (<http://www.madaclim.org/>)². Ces données d'ETP sont calculées avec la formule de Thornwaite, à la différence des autres sources de donnée qui utilisent la formule de Penman-Monteith. Ce sont des valeurs moyennes mensuelles interannuelles.

Les figures ci-dessous illustrent ces comparaisons pour la moyenne annuelle, et pour les mois d'octobre et de juillet. A nouveau, il faut noter que les périodes de calcul des ETP ne sont pas les mêmes, et ne permettent donc pas une comparaison précise.

Figure 7 : Comparaison des 4 sources de données d'ETP, pour les cumuls annuels (A), et pour les mois de juillet (B) et d'octobre (C) – Production BRLi



² Ce produit est issu des données WORDCLIM (<http://www.worldclim.org/>) produites par un travail de recherche basé sur l'interpolation de données de poste au sol, prenant en compte le relief (Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.)



En outre, les données ont également été comparées aux ordres de grandeurs de l'ETP présentés dans la monographie de l'ORSTOM « Fleuves et rivières de Madagascar » (1993) déjà citée. La comparaison des différents jeux de données amène aux commentaires suivants :

- **Les données spatialisées EROS USGS (première étude WAVES) présentent des écarts importants**, en ordres de grandeurs et en répartition spatiale, avec les autres sources de données (postes aux sols, valeurs ORSTOM). Cela pose question quant à la fiabilité de ces estimations d'ETP sur Madagascar.
- **Les données spatialisées Madaclim présentent une assez bonne cohérence globale avec les autres sources de données (postes au sol)**. Pour certains postes, on observe des écarts à l'échelle mensuelle entre les trois sources de données (Les postes Climwat sur la côte Nord-Ouest présentent des ETP élevées de juin à octobre).

Afin de calculer les besoins en eau d'irrigation à l'échelle de Madagascar, il est préférable de considérer des données spatialisées sur l'ensemble de l'île. **En conséquence, pour la suite de l'étude, nous proposons de considérer les deux jeux de données EROS USGS et Madaclim**, et de calculer les consommations en eau d'irrigation pour ces deux jeux de données.

En effet :

- L'utilisation des données EROS USGS permet d'assurer la cohérence globale avec les calculs de la première étude WAVES (calcul de la ressource en eau – flux naturels) ;
- Les données MADACLIM semblent plus proches des calculs établis à partir des observations climatiques passées, et donc de meilleure fiabilité.

2.2.3 Délimitation de grandes zones climatiques

Compte tenu de la difficulté associée à l'estimation de l'ETP à Madagascar, le découpage de l'île en grandes zones climatiques a été principalement élaboré à partir :

- De l'analyse des précipitations ;
- De la connaissance du terrain et des pratiques agricoles.

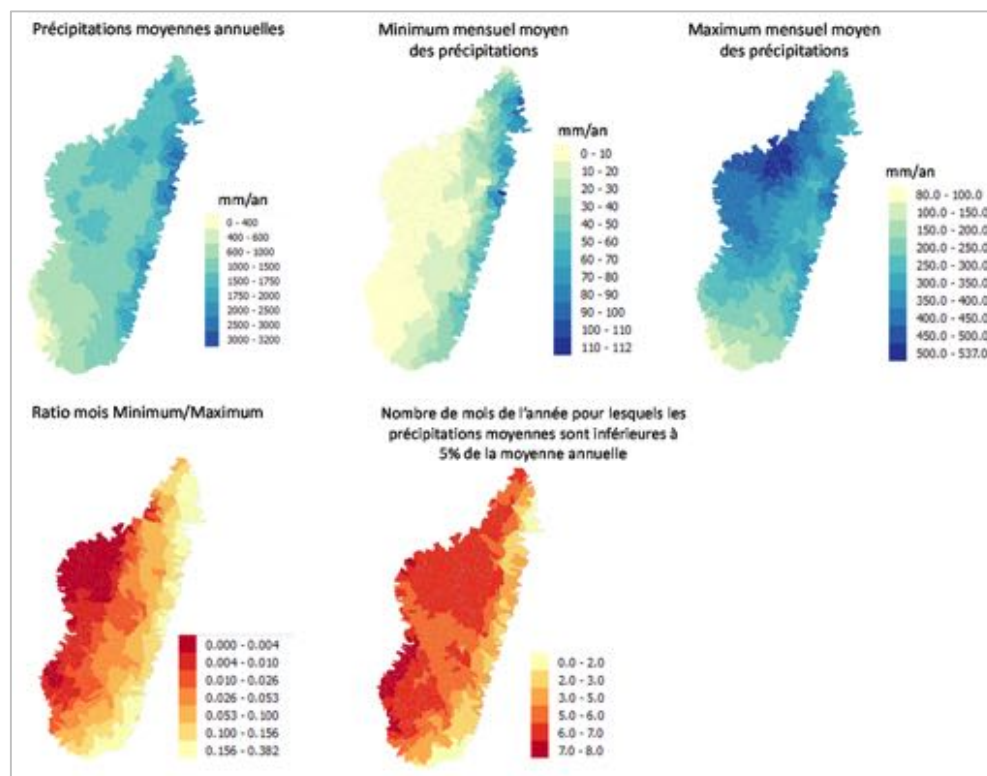
La méthode est expliquée ci-après.

1- Analyse des régimes pluviométriques

Comme déjà évoqué, les données de pluie utilisées sont des précipitations moyennes (période 2001-2013) sur 533 sous-bassins versants (voir chapitre A- 2.2.1). Il s'agit donc de regrouper ces 533 sous-bassins en prenant en compte :

- **Les cumuls moyens annuels de précipitations ;**
- **Les régimes pluviométriques (variations mensuelles des précipitations).** Pour cela, plusieurs indicateurs simples ont été calculés afin d'appréhender des caractéristiques climatiques telles que : la sévérité de la saison sèche ; la durée de la période sèche ; l'intensité de la saison des pluies, etc. La cartographie de ces indicateurs est utile pour appréhender la répartition spatiale des régimes pluviométriques, quelques exemples sont donnés par la figure ci-dessous.

Figure 8 : Cartographie de quelques indicateurs associés à la pluviométrie mensuelle de Madagascar (calculés sur l'année moyenne 2001-2013)

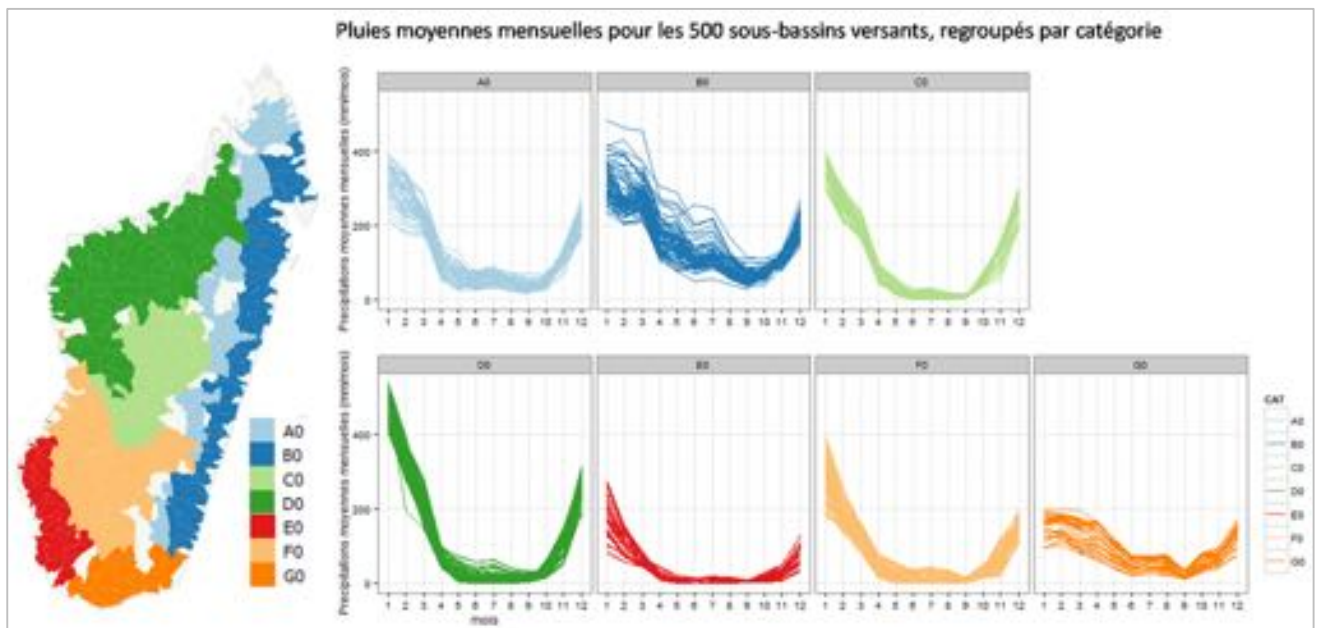


2- Regroupement des 533 sous-bassins en grands ensemble

A partir de ce travail, nous avons cherché à regrouper **les 533 sous-bassins d'étude** en grands ensembles présentant **des régimes pluviométriques similaires**, en moyenne interannuelle.

La figure ci-dessous présente le travail de regroupement des 533 sous-bassins en 7 grands ensembles. Pour tous les sous-bassins regroupés dans un même ensemble, nous avons tracé les courbes des précipitations moyennes mensuelles superposées sur un même graphique. Autrement dit, par exemple, les précipitations moyennes mensuelles des 47 sous-bassins de la catégorie D0 (vert foncé) sont toutes représentées sur le graphique D0 (en bas à gauche de la figure). Cela permet de s'assurer que **les régimes pluviométriques d'un même ensemble sont similaires.**

Figure 9 : Premier regroupement des 533 sous-bassins en grands ensembles – Précipitations moyennes mensuelles (mm/mois).

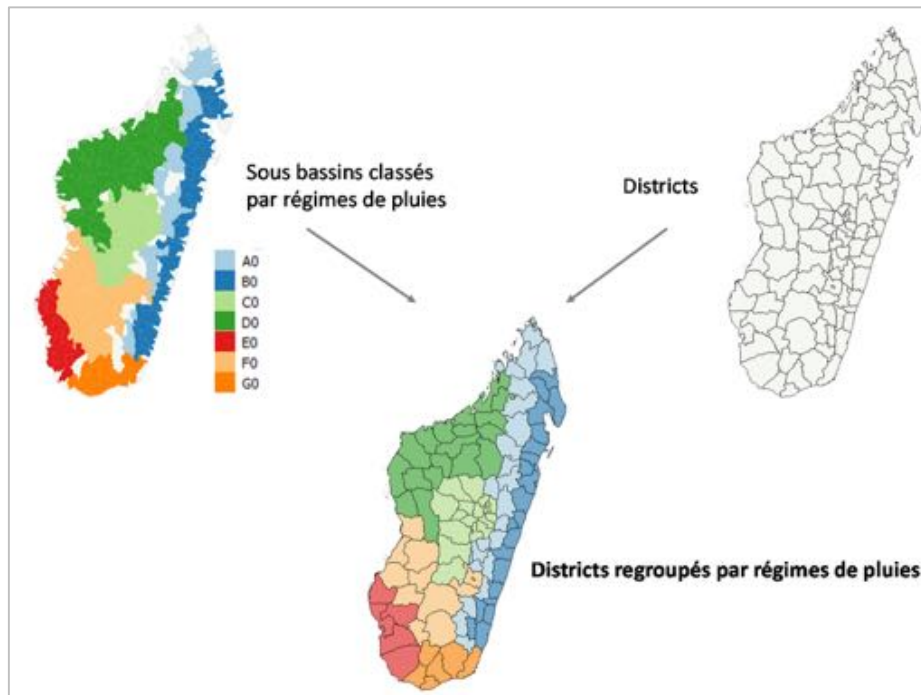


NB : Ce travail est une étape intermédiaire de calcul, réalisée de façon semi-automatique. A ce stade, certains sous-bassins ne sont pas encore attribués à une entité donnée, car ils sont en limite des critères d'attribution.

3- Délimitation de zones climatiques à partir des districts

La démarche générale pour le calcul des besoins en eau d'irrigation (présentée au chapitre 2.1) demande de croiser les zones climatiques (calcul des besoins unitaires des plantes) et les districts (connaissances des surfaces cultivées). Ainsi, afin de simplifier ce croisement dans la suite de l'étude, **il a été choisi de délimiter les grandes zones climatiques en se basant sur les limites des districts de Madagascar. Cela aboutit à la cartographie ci-dessous.**

Figure 10 : Regroupement des districts de Madagascar par régimes de pluie



En outre, comme évoqué précédemment, les zones climatiques doivent également présenter **des calendriers culturels similaires**.

En conséquence, **la zone des hauts plateaux**, dans le Centre du pays, marquée par des températures plus basses et une seule saison de riz par an a été distinguée.

On aboutit ainsi à la définition en 8 grandes zones climatiques représentées sur la figure ci-contre.

Figure 11 : Délimitation des 8 grandes zones climatiques définies pour l'étude

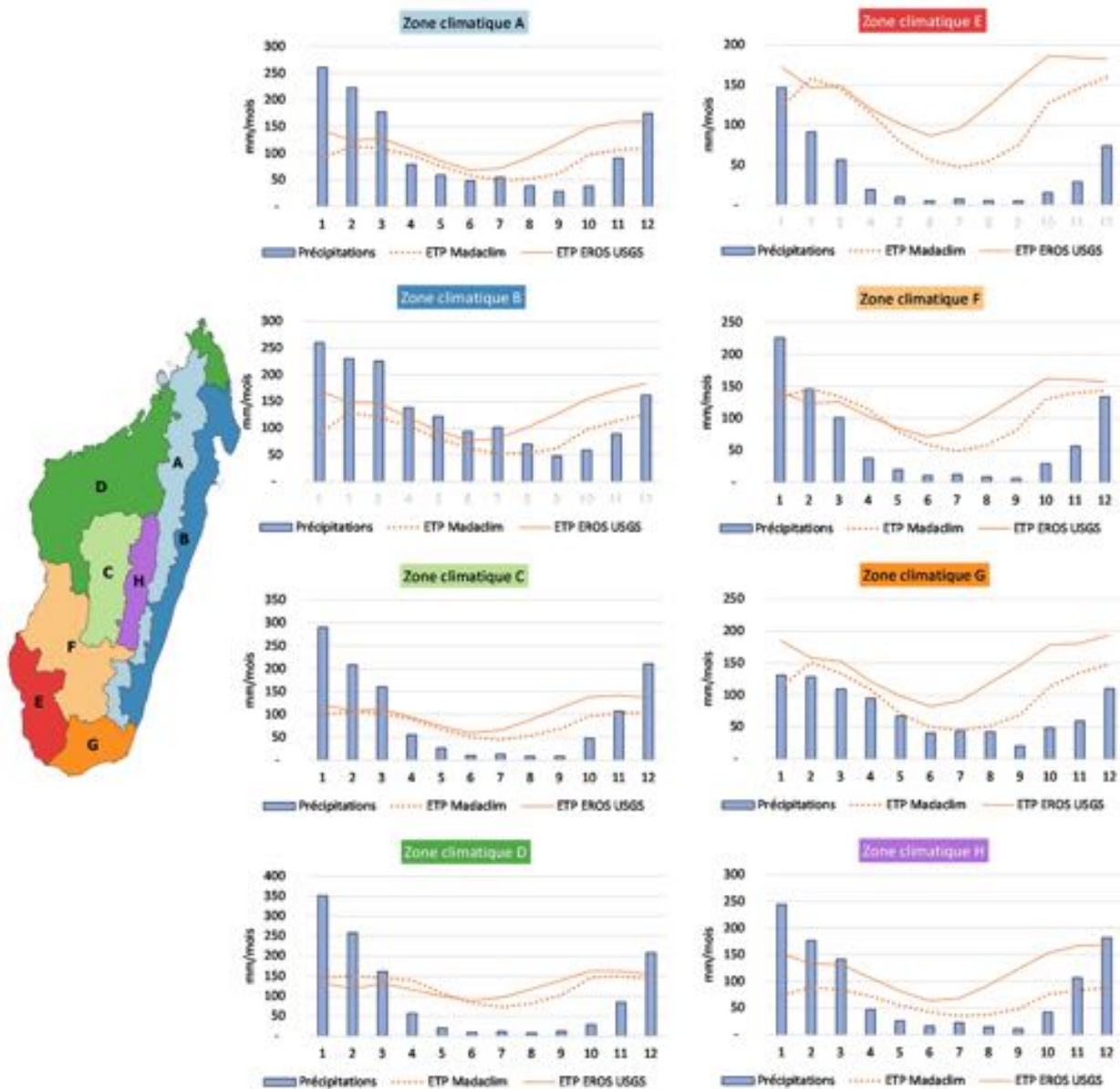


4- Calcul des moyennes de précipitations et ETP sur les 8 zones climatiques

Les moyennes mensuelles interannuelles de précipitations et d'ETP ont ensuite été calculées sur ces 8 grandes zones climatiques, sur la base des sources de données présentées plus hauts.

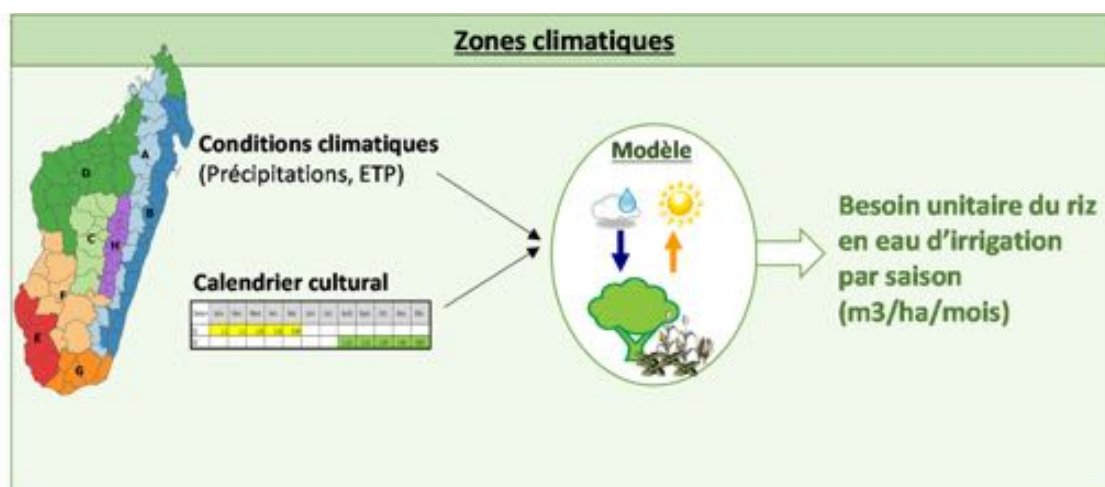
Pour le calcul des besoins des plantes, on considère des précipitations utiles équivalentes à 80% des précipitations totales (FAO). Les graphiques ci-dessous présentent les moyennes climatiques ainsi estimées sur les 8 zones climatiques.

Figure 12 : Précipitations utiles et ETP moyennes mensuelles calculées sur les zones climatiques A et F



2.3 CALCUL DU BESOIN UNITAIRE DU RIZ EN EAU D'IRRIGATION

Il s'agit ensuite de calculer, **pour chaque grande zone climatique**, les besoins unitaires du riz en eau d'irrigation à l'aide d'un **modèle de besoin des plantes** élaboré à l'échelle mensuelle.



Ce modèle prend en compte :

- **Le besoin net théorique du riz**, correspondant au strict **besoin de la plante** dans l'hypothèse où l'on maximise son développement. Dans la réalité, ces quantités d'eau réellement prélevées peuvent être inférieures ou supérieures suivant les choix et contraintes des irrigants (matériel et temps disponible, objectifs de rendement, restriction sur les prélèvements, etc.). Ce besoin est calculé en fonction des conditions climatiques (pluies, ETP) et du calendrier cultural.
- **Les besoins additionnels des rizières** pour les mises en eau, l'entretien. On appellera par la suite ce besoin : « **besoin technique** »

2.3.1 Calendrier culturaux

Afin d'affecter **un calendrier cultural type à chacune des zones climatiques**, des recherches documentaires ont été effectuées et synthétisées. Pour chaque grande zone climatique, **des études ou projets d'irrigation représentatifs de la zone ont servi de référence** (cités plus bas dans le Tableau 2).

Les différents calendriers culturaux définis sont **des calendriers moyens pour deux saisons distinctes** sur une même parcelle. La mise en place d'une troisième saison peut avoir lieu dans les zones climatiques favorables et ne connaissant pas de saison froide ou fraîche, avec l'utilisation de variété de riz de cycle court. Cependant, cela peut entraîner une baisse considérable des différents rendements (« terre fatiguée »).

Les coefficients culturaux considérés pour le riz, par phase végétatif, sont les suivants :

Tableau 1 : Coefficients culturaux pour les différentes phases de croissance du riz

Kc	Phase initiale	Croissance	Mi-saison	Arrière-saison
	1,1	1,1	1,05	0,95

Ces coefficients culturaux sont les valeurs utilisées usuellement dans les projets d'irrigation à Madagascar. Ces valeurs ne tiennent pas compte des étalements de repiquage. Il s'agit de cumuls mensuels pour une surface délimitée repiquée et irriguée en même temps.

Pour chacune des 8 grandes zones climatiques, et sur la base de ces hypothèses, nous construisons le calendrier cultural pour le riz, présenté dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Calendrier culturaux par grandes zones climatiques et coefficients culturaux par mois.

	Référence	Saison	Janv	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
A	PAIR_AB / Minagri	S1	1.1	1.1	1.05	1.05	0.95							
		S2								1.10	1.10	1.05	1.05	0.95
B	BVPI Sehp / Minagri	S1	1.1	1.05	1.05	0.95								1.1
		S2							1.10	1.10	1.05	1.05	0.95	
C	Projerma / Minagri	S1	1.1	1.05	0.95									1.1
		S2						1.10	1.10	1.05	0.95			
D	Projerma / Minagri / PI Ankavandra	S1	1.05	0.95									1.1	1.1
		S2					1.10	1.10	1.05	0.95				
E	PPI Sud / Minagri	S1		1.10	1.10	1.05	1.05	0.95						
		S2								1.1	1.1	1.05	0.95	
F	PAIR sud / Minagri	S1	1.10	1.10	1.05	0.95								
		S2							1.1	1.1	1.05	1.05	0.95	
G	PPI Sud / Minagri	S1		1.10	1.10	1.05	1.05	0.95						
		S2								1.1	1.1	1.05	0.95	
H	PIRD / Minagri et autres, connaissance personnelle	S1	1.05	1.05	1.05	0.95							1.10	1.10
		S2								1.1	1.1	1.05	1.05	0.95

2.3.2 Modèle de calcul du besoin en eau d'irrigation du riz

A l'échelle de chaque zone climatique, le besoin unitaire net des plantes est calculé par le modèle comme précisé ci-dessous :

Besoin théorique unitaire en irrigation de la plante i sur la zone climatique k (mm) =

$$\sum_j \max [0, (Kc_{i,j} \times ETP_{k,j} - P_{k,j}) - RU_{j-1}]$$

avec

- RU_{j-1} : réserve utile du sol à la fin du mois j-1 (mm),
- $ETP_{k,j}$: évapotranspiration pendant le mois j, sur la zone climatique k (mm),
- $P_{k,j}$: précipitation efficace³ pendant le mois j, sur la zone climatique k (mm),
- $Kc_{i,j}$: coefficient cultural de la culture i pendant le mois j (fonction du stade de développement de la plante).

A chaque pas de temps, la valeur de RU (mm) en fin de mois est mise à jour :

$$RU_j = \min [\max [0 ; RU_{j-1} + P_j - Kc_{i,j} \times ETP_j] ; RU_{\max}]$$

La réserve utile RU est systématiquement majorée par une valeur RU_{\max} .

PRINCIPALES HYPOTHESES CONSIDEREES

- Ce calcul est réalisé avec les **deux jeux de données d'ETP**, présentés plus haut. L'utilisateur de la plateforme peut facilement choisir le jeu de données qu'il souhaite utiliser.
- **La valeur de la réserve utile maximale (RU_{max}) est donnée à 50 mm pour le riz.** Cette valeur peut être aisément modifiée par l'utilisateur dans la plateforme.
- **Les valeurs de la réserve utile sont initialisées en début de saison :** Elle est fixée à 50 mm en saison des pluies, et à 0 mm en saison sèche pour la plupart des zones climatiques. Ces valeurs peuvent également être modifiées par l'utilisateur.

³ En première approximation, on prendra la précipitation efficace égale à 80% des pluies.

2.3.3 Besoins techniques de la rizière

Comme présenté plus haut, les besoins en eau des rizières comprennent :

- Les besoins en eau de la plante « riz » pour son développement (dont le calcul est présenté au paragraphe précédent) ;
- et les besoins en eau relatifs aux pratiques culturales : mise en boue, remplissage des clos, assec, entretien.

Ces besoins en eau associés aux pratiques culturales peuvent varier fortement selon la pédologie du périmètre d'irrigation. Pour la présente étude à l'échelle de l'île, nous considérons des valeurs moyennes, usuellement utilisées pour les projets d'irrigation de rizières à Madagascar :

- **mise en boue de la parcelle** (150 mm d'eau) : 100 mm d'eau pour le premier mois, c'est-à-dire 2/3 de 150 mm d'eau ; les 50 mm d'eau restant pour le deuxième mois du cycle.
- **remplissage de clos après le repiquage** (100 mm d'eau) : 67 mm d'eau pour le premier mois, c'est-à-dire 2/3 de 100 mm d'eau ; le 33 mm d'eau restant pour le deuxième mois du cycle.
- **assec** (Apport d'eau après le sarclage : 100 mm d'eau) : 67 mm d'eau après la mise à sec de clos, c'est-à-dire 2/3 de 100 mm d'eau ; le 33 mm d'eau restant pour le mois suivant.
- **entretien** (50 mm d'eau) : 33 mm pendant le premier mois de l'entretien, le reste pour le mois suivant.

Ces volumes d'eau sont donc à apporter à la période correspondante à chaque opération selon le calendrier cultural, comme présenté dans le tableau ci-dessous.

Ces grands volumes d'eau doivent souvent être apportés sur des périodes courtes (quelques jours), et sont donc majoritairement fournis par l'eau d'irrigation.

Tableau 3 : Besoins additionnels de la rizière au cours du cycle cultural (mm/mois)

		Saison				
		Mois 1	Mois 2	Mois 3	Mois 4	Mois 5
		Repiquage				Récolte
Mise en boue	mm	100	50			
Remplissage des clos	mm	67	33			
Remplissage après la mise à sec clos	mm				67	33
Entretien	mm				33	17

2.3.4 Résultats : Besoins unitaires pour les rizières par zone climatique

Ainsi, pour chaque cycle cultural, les besoins unitaires mensuels du riz sont calculés comme la somme des besoins unitaires nets de la plante et des besoins techniques des cultures. Ces besoins sont calculés en mm et en m³/ha/mois.

Le tableau ci-après présente les besoins unitaires du riz ainsi estimés sur les 8 zones climatiques de l'étude : selon les saisons d'irrigation, et selon les conditions climatiques, ces besoins estimés varient de 4 000 m³/ha à plus de 8 000 m³/ha par cycle.

Tableau 4 : Besoins unitaires du riz pour l'irrigation en m³/ha, par zone climatique et par cycle cultural. Hypothèse d'ETP : données Madaclim.

Zone climatique	Saison	Janv	Févr	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Cycle
A	S1	1 700	800	-	1 000	500	-	-	-	-	-	-	-	4 000
A	S2	-	-	-	-	-	-	-	1 900	1 200	600	1 200	500	5 400
B	S1	800	-	1 000	500	-	-	-	-	-	-	-	1 700	4 000
B	S2	-	-	-	-	-	-	1 700	800	-	1 100	700	-	4 300
C	S1	800	1 000	500	-	-	-	-	-	-	-	-	1 700	4 000
C	S2	-	-	-	-	-	2 100	1 200	1 500	1 100	-	-	-	5 900
D	S1	1 000	500	-	-	-	-	-	-	-	-	2 500	800	4 800
D	S2	-	-	-	-	2 200	1 600	1 600	1 200	-	-	-	-	6 600
E	S1	-	2 000	1 900	1 000	1 700	1 000	-	-	-	-	-	-	7 600
E	S2	-	-	-	-	-	-	-	-	2 400	2 100	2 200	1 300	8 000
F	S1	1 700	1 000	1 400	1 200	-	-	-	-	-	-	-	-	5 300
F	S2	-	-	-	-	-	-	2 100	1 400	800	2 100	1 300	-	7 700
G	S1	-	2 000	1 200	200	1 100	600	-	-	-	-	-	-	5 100
G	S2	-	-	-	-	-	-	-	-	2 200	1 600	1 800	800	6 400
H	S1	-	-	1 000	500	-	-	-	-	-	-	1 700	800	4 000
H	S2	-	-	-	-	-	-	-	1 900	1 200	400	1 000	500	5 000

2.4 CALCUL DES SURFACES IRRIGUEES DU RIZ PAR SAISON

La collecte des données de surfaces irriguées a permis d'obtenir :

- Des surfaces de rizières par districts pour l'année 2011 (statistiques agricoles nationales) ;
- Des surfaces de rizières par région pour l'année 2013-214 issues de l'ONE (Office National de l'Environnement).

Cependant, on note que ces deux sources de données présentent des écarts importants : le tableau ci-après compare les surfaces de rizières issues de deux sources, à l'échelle des régions.

Tableau 5 : Surfaces de rizières par région : Données ONE 2013-2014 et données des statistiques agricoles nationales 2011.

Région	Données ONE surfaces 2013- 2014 - Riz - ha	Données Statistiques agricoles nationales- Surface 2011 Riz - ha
VATOVAVY-FITOVINANY	13 588	104 313
ANDROY	1 331	6 966
SAVA	14 530	66 026
ANALANJIROFO	15 188	67 354
ATSIMO-ATSINANANA	12 798	53 644
ATSINANANA	26 520	76 036
SOFIA	38 446	109 438
BONGOLAVA	30 152	68 022
DIANA	25 922	51 721
BETSIBOKA	24 231	31 727
ANOSY	34 736	40 763
MENABE	63 248	72 911
IHOROMBE	19 170	18 647
AMORON'I MANIA	38 773	37 663
MELAKY	32 624	30 750
ITASY	54 229	46 714
HAUTE MATSIATRA	69 493	54 074
BOENY	99 964	77 757
ATSIMO-ANDREFANA	69 365	46 543
VAKINANKARATRA	100 171	66 165
ALAOTRA-MANGORO	139 334	76 906
ANALAMANGA	127 143	61 993
Total	1 050 953	1 266 131

En outre, on ne dispose pas des données de surfaces cultivées par cycle cultural (ou saison), information essentielle pour estimer les consommations en eau des rizières.

En effet, selon les zones géographiques, les surfaces cultivées par saisons sont variables, et les doubles cultures ne sont pas toujours possibles. Cela influence directement l'estimation des besoins en eau d'irrigation.

Par ailleurs, il est important de savoir si les surfaces considérées sont des surfaces « physiques » (surfaces réelles) ou des surfaces « économiques » (cumuls des surfaces pour chaque saison d'irrigation). Concernant les données des statistiques agricoles nationales, cette information n'est pas indiquée. La comparaison des valeurs de production de riz (tonnes/an) et des surfaces de rizières conduit à des calculs de rendements moyens compris entre 0.6 et 12 tonnes/hectare selon les districts. Ce résultat conduit à penser qu'il s'agit donc de surfaces physiques.

En conséquence, pour la présente étude, **les choix méthodologiques suivants sont considérés :**

- **Utilisation des données des statistiques agricoles nationales pour les surfaces totales de rizières par districts.** En effet, il est nécessaire de disposer des surfaces cultivées à une échelle assez précise (les districts, et non les régions, afin de rattacher les surfaces irriguées à une zone climatique et d'estimer ensuite les surfaces à l'échelle des zones hydrologiques [Agences de bassins]). Cela est présenté au paragraphe suivant.
- **Utilisation d'hypothèses moyennes pour la répartition de ces surfaces entre :**
 - **Les surfaces cultivées en saison 1** (voir paragraphe A 2.3.1 sur le calendrier cultural) ;
 - **Les surfaces cultivées en saison 2.**

La plateforme de calcul permet à l'utilisateur de choisir la répartition des surfaces de riz par saison d'irrigation, à l'aide de ratios X1 et X2 tels que :

$$[\text{Surfaces cultivées en saison 1}] = X1 * [\text{Surface totale}]$$

$$[\text{Surfaces cultivées en saison 2}] = X2 * [\text{Surface totale}]$$

Il faut noter qu'il est difficile, en l'absence de connaissance disponible et bancarisée, d'estimer ces répartitions à grande échelle.

Pour la suite du rapport, nous proposons de tester deux jeux d'hypothèses :

- Hypothèse 1 : (Cette hypothèse suppose que les données de surfaces sont des surfaces physiques.)
 - $X1 = 90\%$ et $X2 = 70\%$ dans les zones B, C, D. (permettant un riz de contre-saison important associé à une pluviométrie suffisante) ;
 - $X1 = 60\%$ et $X2 = 40\%$ dans les zones A et H. (même répartition, mais sans double-culture sur une même parcelle pour ces zones).
 - $X1 = 90\%$ et $X2 = 40\%$ dans les zones F, G et E : le riz de contre-saison est plus limité compte tenu de la faible pluviométrie en saison sèche ; et possible le long des cours d'eau principalement. La zone E est très sèche et ne permet quasiment pas de riziculture irriguée.
- Hypothèse 2 : Cette hypothèse suppose que les données de surfaces sont des surfaces économiques : $X1 = 70\%$ et $X2 = 30\%$.

Ce calcul permet d'obtenir des surfaces de rizières par saison et par district.

A l'échelle de Madagascar, les surfaces totales de rizières sont de 1 270 000 hectares, d'après les données des statistiques agricoles nationales.

Avec l'hypothèse 1 d'utilisation des terres par saison, on estime à :

- **1 020 000 hectares de rizières cultivés en saison 1 ;**
- **720 000 hectares de rizières cultivés en saison 2.**

En outre, on fait ici l'hypothèse que l'ensemble des surfaces de riz sont du riz irrigué, bien qu'il existe des cultures de riz pluvial. Cela constitue une approximation supplémentaire dans l'estimation des surfaces et donc des besoins en eau.

2.5 RESULTATS : CALCUL DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION ET DES PRELEVEMENTS BRUTS POUR LE RIZ A MADAGASCAR

2.5.1 Les volumes en jeu

2.5.1.1 Le besoin en eau d'irrigation

A ce stade, on dispose pour chaque district de Madagascar :

- **D'une estimation des surfaces de rizières cultivées en saison 1 et 2 ;**
- **D'une estimation des besoins unitaires mensuels en eau d'irrigation du riz, calculés sur la zone climatique associée.**

Ces deux variables sont multipliées afin d'obtenir une estimation **des besoins totaux en eau d'irrigation pour le riz sur chaque district à l'échelle mensuelle. On rappelle que ce volume inclut deux composantes :**

- **Le besoin en eau d'irrigation de la plante « riz » pour son développement ;**
- **Le besoin technique des rizières (mises en eau, entretien, etc.)**

A l'échelle de Madagascar, ce besoin en eau pour les rizières est estimé aux alentours de 8 - 9 milliard de m³/an. Selon les jeux d'hypothèses proposées, cette estimation varie de :

- 6 km³/an pour l'hypothèses 2 sur la répartition des surfaces, et l'hypothèse d'ETP « Madaclim » ;
- à
- 10 km³/an pour l'hypothèse 1 sur la répartition des surfaces, et l'hypothèses d'ETP « Eros USGS ».

2.5.1.2 Le prélèvement brut de la parcelle

Dans la pratique, il **existe des pertes en eau** :

- **Par les canaux d'irrigation (adduction) ;**
- **Au niveau des parcelles.**

Compte tenu de ces pertes, le **volume prélevé total** nécessaire est supérieur au besoin en eau de la parcelle. Le volume de ces pertes dépend :

- Des réseaux d'irrigation (type de canaux, etc.) ;
- Des techniques d'irrigation pratiquées.

En l'absence de donnée disponible, on propose dans un premier temps l'hypothèse que ces pertes représentent 40% du volume prélevé total. Cela correspond donc à **une efficacité globale de 60% du mode d'irrigation et d'adduction.**

On calcule ainsi :

Prélèvement en eau brut = Besoin en eau d'irrigation / Coefficient d'efficacité ; où le prélèvement en eau brut est le volume total prélevé pour l'irrigation des rizières.

Nous proposons donc de fixer ce coefficient à 60% pour la suite de l'étude, **mais c'est un paramètre aisément modifiable par l'utilisateur de la plateforme de calcul.**

A l'échelle de Madagascar, ce besoin en eau pour les rizières est ainsi estimé aux alentours de 14 milliard de m³/an. Selon les jeux d'hypothèses proposées, cette estimation varie de :

- 10 km³/an pour l'hypothèses 2 sur la répartition des surfaces, et l'hypothèse d'ETP « Madaclim » ;
- à
- 16 km³/an pour l'hypothèse 1 sur la répartition des surfaces, et l'hypothèses d'ETP « Eros USGS ».

En pratique, et on y revient plus bas dans le rapport, une part de l'eau prélevée non consommée par l'irrigation, est « recyclée » : elle retourne dans une nappe et/ou un cours d'eau et est réutilisable, en tout ou partie, par des irrigants situés plus à l'aval.

2.5.2 Résultats par zone hydrologique

Nous avons pu calculer les **besoins en eau d'irrigation et les prélèvements bruts pour chaque district**, à partir des surfaces de rizières par district, et des besoins unitaires associés. **Il s'agit ensuite de synthétiser ces calculs pour estimer, à l'échelle des grandes zones hydrologiques (Agences de bassin), ces volumes d'irrigation.**

Un traitement SIG permet ensuite d'agréger ces résultats à l'échelle des grandes zones hydrologiques de l'étude.

La somme des volumes par districts, pondérée par leur surface d'intersection avec les zones hydrologiques, est calculée. En effet, certains districts se superposent avec plusieurs zones hydrologiques : pour réaliser ce calcul, on pose donc l'hypothèse que les surfaces de rizières sont réparties de façon homogène sur les territoires des districts.

On obtient ainsi **une estimation des besoins en eau d'irrigation et des prélèvements en eau pour le riz par zones hydrologiques.**

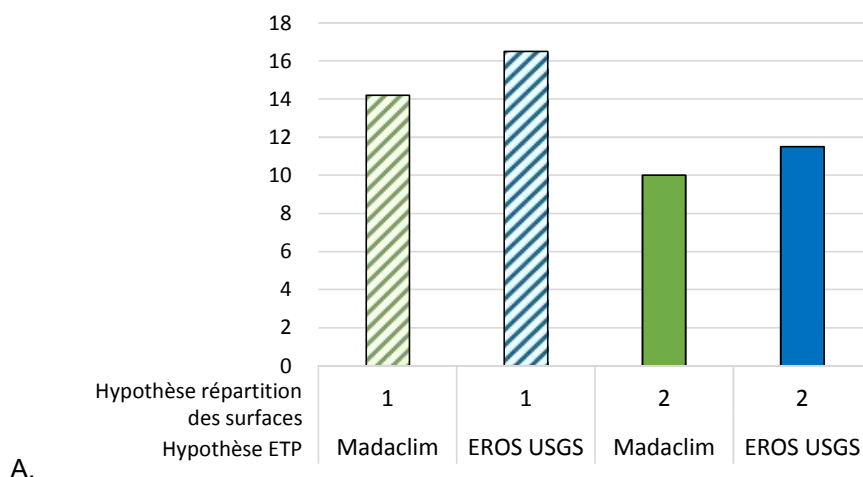
Ces résultats sont présentés ci-après :

- A. Le calcul des prélèvements bruts en eau totaux annuels, à l'échelle de Madagascar, pour 4 jeux d'hypothèses sur l'ETP et les surfaces de rizières.
- B. Les prélèvements bruts en eau mensuels pour l'irrigation du riz en hm³ par zone hydrologique pour un jeu d'hypothèses.

Figure 13 : Districts de Madagascar (contours noirs) et zones hydrologique d'étude (Agence de Bassins) (en couleurs).

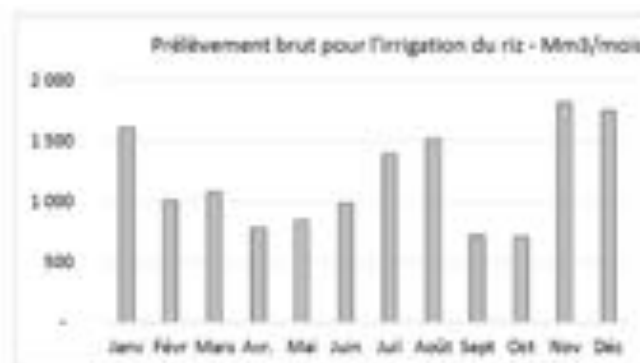


Figure 14 : Estimations des prélèvements bruts en eau pour l'irrigation du riz à Madagascar (km³/an) pour 4 jeux d'hypothèses (sur la répartition des surfaces ; et sur l'ETP).



B. Estimation des prélèvements bruts mensuels pour l'irrigation du riz en hm³ par zone hydrologiques pour un jeu d'hypothèses (ETP Madaclim ; hypothèse 1 pour les surfaces).

Hypothèse ETP	Madaclim
Hypothèse Surface	1
Coefficient d'efficience	60%



Zone hydrologique	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuel
AR_N	110	40	60	60	60	90	110	100	20	60	120	190	930
AR_SE	290	100	250	200	50	30	340	280	120	220	280	390	2 440
AR_NO	600	240	90	70	470	460	410	660	140	30	830	420	4 020
AR_E	210	60	130	130	40	-	180	170	60	340	120	230	1 460
AR_CO	990	330	310	170	50	360	330	380	340	130	240	400	3 320
AR_SO	60	140	170	80	100	50	30	20	80	80	80	30	920
Total	1 490	950	990	710	770	910	1 290	1 410	640	650	1 670	1 690	13 090
Total du territoire Madagascar	1 610	1 010	1 080	780	840	990	1 390	1 520	720	710	1 820	1 750	14 220



Selon les hypothèses d'ETP et de répartition des surfaces considérées, les prélèvements bruts pour la riziculture à Madagascar sont estimés de 10 milliards de m³ à 16 milliards de m³ par an.

L'hypothèse d'ETP Madaclim, et l'hypothèse 1 sur la répartition des surfaces conduisent à une estimation de 14 milliards de m³ par an.

Les plus grands volumes se situent sur la zone hydrologique AB_NO, sur laquelle on estime environ 460 000 hectares irrigués (surfaces économiques) et 4 milliards de m³/an de consommation en eau.

Tableau 6 : Estimation des consommations nettes annuelles pour l'irrigation du riz en hm³ par zone hydrologiques pour un jeu d'hypothèses (ETP Madaclim ; hypothèse 1 pour les surfaces).

Zone hydrologique	Estimation des surfaces économiques de rizière (ha)	Prélèvement brut (Mm ³ /an)
AB_N	122 000	930
AB_SE	336 600	2 440
AB_NO	460 800	4 020
AB_E	204 200	1 460
AB_CO	385 100	3 320
AB_SO	84 800	920
Total	1 593 500	13 090
Totalité du territoire Madagascar	1 732 065	14 228



2.6 FLUX D'IRRIGATION

L'ensemble des calculs proposés jusque-là permettent d'estimer les volumes prélevés pour l'irrigation du riz, à l'échelle globale de Madagascar et de grandes zones hydrologiques.

La démarche de la comptabilité de l'eau vise également à estimer :

- « D'où vient l'eau ? » : l'eau d'irrigation est-elle prélevée dans les eaux souterraines, superficielles, etc ?
- « Où va l'eau ? » : vers où les eaux d'irrigation sont-elles ensuite dirigées : eaux souterraines, eaux superficielles, atmosphère (via évaporation et évapotranspiration).

L'évaluation de ces flux d'eau n'est pas aisée et nécessite des analyses et des données de terrain. Nous initions cette discussion ci-après.

D'OU VIENT L'EAU ?

Les prélèvements à Madagascar sont très généralement issus des eaux de surface. Nous faisons l'hypothèse que 100% des volumes d'irrigation proviennent des eaux de surface.

OU VA L'EAU ?

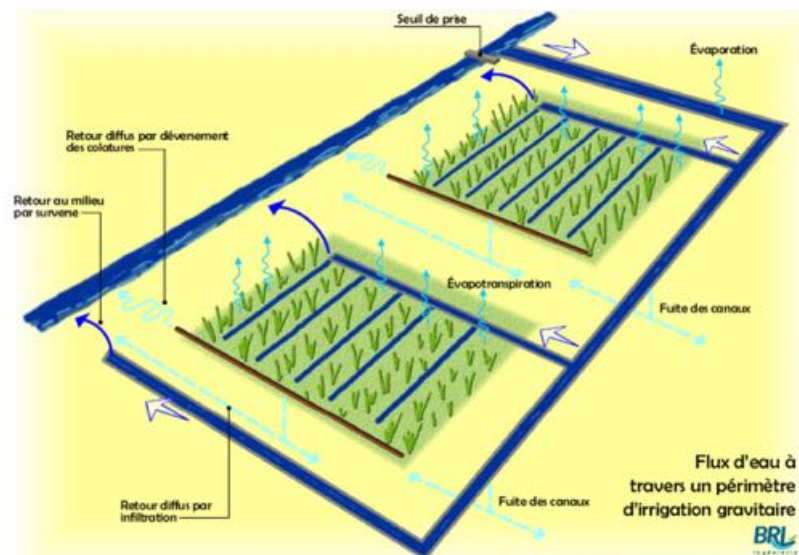
Comme déjà dit plus haut, pour un volume prélevé brut en rivière de 100 m³, on suppose que :

- 40 m³ retournent directement au milieu naturel (par infiltration, ou par ruissellement) : ce sont les pertes du réseau d'adduction et à la parcelle ;
- 60 m³ sont utilisés pour le besoin en eau de la rizière :
 - Pour le développement de la plante (évapotranspiration) ;
 - Pour les besoins techniques de la rizière : mise en eau, entretien, etc. Ces volumes vont ensuite pour partie s'infiltrer, pour partie s'évaporer, pour partie ruisseler.

La difficulté est donc d'estimer, pour les pertes, et pour le volume technique, quelles parts s'infiltrent, ruissellent, et s'évaporent.

En outre, il faut noter que, dans la pratique, une part importante des volumes qui ruissellent d'une parcelle seront utilisés directement par d'autres parcelles de riziculture plus en aval. Souvent, la grande majorité des volumes sont réutilisés par les parcelles d'irrigations proches.

Figure 15 : Schéma des flux d'eau sur un périmètre d'irrigation gravitaire



La répartition ces volumes vers les eaux souterraines, les eaux de surfaces, qui s'évaporent, dépend fortement des conditions climatiques (pluies, évapotranspiration), et donc des zones géographiques et des saisons d'irrigation.

Dans un premier temps, nous proposons un premier jeu d'hypothèses sur ces répartitions afin d'initier la démarche, qui pourra être ajusté ou corrigé par des études ou données complémentaires. Ces hypothèses sont des paramètres de la plateforme, facilement modifiables par l'utilisateur. Nous faisons les hypothèses suivantes :

- Pour le volume technique des rizières :
 - 20% est évaporé ;
 - 20% s'infiltré ;
 - 60% rejoint les eaux de surfaces.
- Pour le volume de perte des réseaux d'adduction et à la parcelle :
 - 75% rejoint les eaux souterraines ;
 - 25% rejoint les eaux de surfaces.

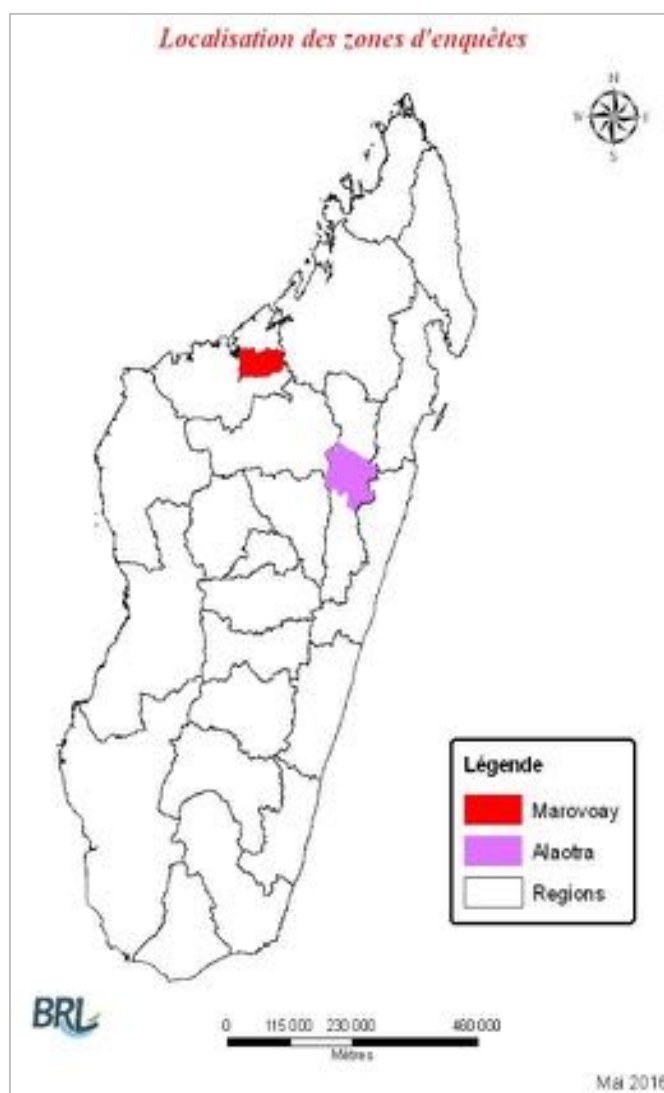
2.7 ENQUETES SUR LES RIZIERES DE MAROVOAY ET LAC ALAOTRA

Deux zones d'irrigation ont fait l'objet d'enquêtes approfondies dans le cadre de l'étude, afin de disposer de connaissances de terrain sur :

- Les usages de l'eau agricoles (volumes utilisés, pratiques d'irrigation) ;
- Le coût de l'eau et les paramètres déterminant la valeur ajoutée du riz irrigué.

Il s'agit des zones de Marovoay et du Lac Alaotra, localisées sur la carte ci-dessous. Dans ce chapitre, nous donnons une présentation des pratiques agricoles de ces territoires, et des résultats d'enquêtes sur le volet « flux physique de l'eau – usages de l'eau ». Le volet économique est traité au chapitre B-2.

Figure 16 : Localisation des zones d'enquêtes



L'objectif de cette partie est de disposer d'une connaissance sur le terrain des pratiques d'irrigation et des volumes d'eau en jeu, sur ces deux grandes zones rizicoles de Marovoay et Lac Alaotra.

Dans la suite du chapitre, nous présentons successivement :

- **Les spécificités de chaque territoire : les conditions hydroclimatiques, les calendriers culturels et pratiques agricoles ; les aménagements hydrauliques (chapitre A- 2.7.1) ;**

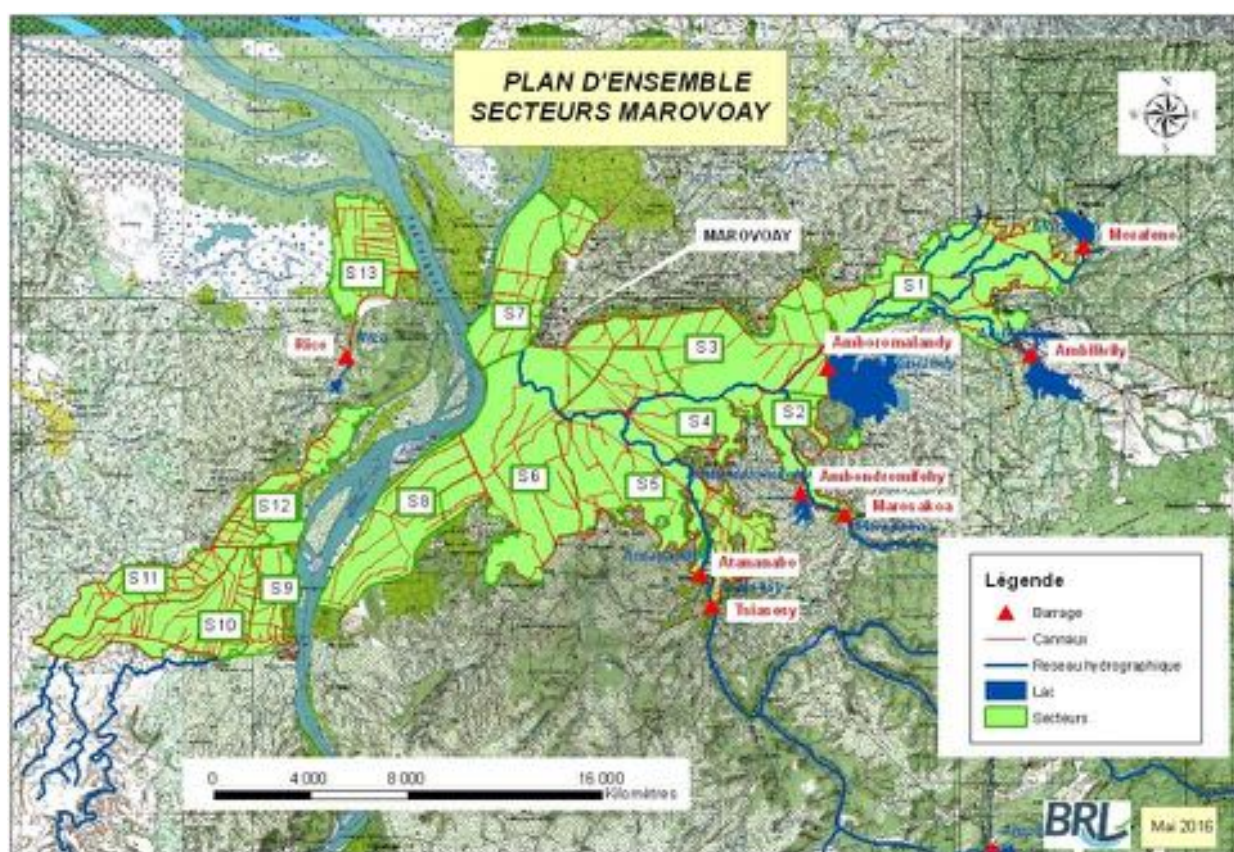
- **Le bilan des enquêtes réalisées** : informations recueillies et lacunes de connaissance sur les territoires (chapitre A- 2.7.2) ;
- **L'estimation des consommations nettes en eau d'irrigation à partir des données collectées.** Comme expliqué plus bas, **les volumes pour l'irrigation sont très mal connus**, du fait du manque de mesures sur ces territoires. En conséquence, dans ce chapitre, **la méthode de modélisation théorique des besoins des rizières proposée à l'échelle nationale (chapitres précédents) est appliquée sur ces territoires, en intégrant les spécificités des périmètres agricoles enquêtés.** Les résultats sont présentés au chapitre A-2.7.3.

2.7.1 Présentation des périmètres irrigués

2.7.1.1 Marovoay

La zone rizicole de Marovoay, l'un des greniers rizières du pays, est entièrement comprise dans les limites administratives du District de Marovoay, dans la région de Boeny. Le site est situé à 92 km de Mahajanga par la RN 4. Marovoay est une petite ville nichée à l'extrémité de l'estuaire de la Betsiboka, à environ 60 kilomètres de la mer et sous influence du niveau de marée et l'importance du volume d'inondation apporté par le fleuve Betsiboka en saison des pluies. Le plan ci-dessous permet de localiser les secteurs irrigués, le réseau de canaux d'irrigation et les barrages de la zone de Marovoay.

Figure 17 : Plan d'ensemble des secteurs irrigués de Marovoay



La riziculture était déjà pratiquée bien avant la période coloniale. Des travaux d'assainissement systématiques des marécages sont entrepris au début du 20^{ème} siècle, pour la mise en valeur rizicole et pour éradiquer le paludisme et les crocodiles.

Compte tenu des caractéristiques topographiques et hydrauliques de la zone, les calendriers culturels sont assez complexes et dictés par les topo séquences, le calendrier du retrait des eaux et la disponibilité en eau pour l'irrigation pendant la saison sèche. En effet, la période d'irrigation et de prélèvement d'eau se fait généralement pendant l'installation et tout au long de la saison sèche.

Calendrier culturel

Sur Marovoay, il n'y a pas de contrainte climatique pour la riziculture (absence de saison fraîche sanctionnant le développement du riz). On observe deux saisons principales, et deux sous-saisons.

Les deux saisons principales, répondant aux calendriers culturels mis en place sur la plaine pendant les premiers aménagements, sont :

- **Varyasara (riz de saison)** : pratiqué sur les terres hautes ou les parcelles profitant d'une bonne condition de drainage, à l'abri des inondations qui frappe la majeure partie de la plaine de Marovoay ;
- **VaryJeby (riz de contre saison)** : installé sur les parcelles profitant théoriquement des bonnes conditions d'irrigation. Constitue la saison la plus favorisée sur l'ensemble de la plaine. Installation du riz après retrait des eaux de submersion.

Compte tenu des mauvaises conditions de maîtrise d'eau (état actuel des infrastructures d'irrigation et de drainage), deux sous-saisons ont vu le jour depuis les années 90 jusqu'à présent :

- **VaryAtriatry** : il s'agit initialement d'une riziculture de décrue, pratiquée à l'amorce du retrait des eaux stagnantes dans chaque poche des secteurs et à la fin de la saison des pluies. Dans les circonstances actuelles, la pratique du varyatriatry ne se limite plus à ces zones basses mais s'étend surtout sur les zones hautes à mauvaise maîtrise de l'eau et où la possibilité de rétention d'eau s'avère possible.
- **Varydimbyhalotra** : il s'agit d'une sous saison pratiquée pendant la saison sèche, profitant de la fin de la saison d'irrigation du varyjeby et du début de la saison des pluies. Généralement, elle est réalisée comme une deuxième culture sur une même parcelle après le varyasara, atriatry ou le varyjeby. Sur certaines parties des secteurs victimes du dysfonctionnement du réseau d'irrigation, il se peut que le dimbyhalotra reste la seule campagne pratiquée.

La mise en place de ces calendriers peut varier d'un secteur à l'autre avec un décalage de quelques semaines. La récolte de paddy s'étale ainsi de mai à février, permettant à de nombreux collecteurs et transformateurs venus de toute la région et même d'Antananarivo d'exercer une occupation lucrative.

Ressources en eau et cadre physique

Les sources d'eau pour l'irrigation sont nombreuses. Au-delà des zones aménagées situées le long du **fleuve Betsiboka et ses zones d'influences**, des périmètres de type traditionnels existent et sont irrigués gravitairement à partir **des prises au fil de l'eau ou des ouvrages de dérivation traditionnels** qui cassent pendant la saison des pluies. Des petites stations de pompage individuelles existent aussi bien dans la plaine de la basse Betsiboka que sur les périmètres irrigués aux alentours.

Dans le cadre de la présente étude, des enquêtes et comptabilités ont été réalisées sur **les périmètres de la plaine de la basse Betsiboka en rive droite**. Les secteurs situés en rive gauche n'étaient pas accessibles pendant la période de visite. A l'avenir, des enquêtes complémentaires sur les périmètres de type traditionnels pourraient faire l'objet d'études supplémentaires afin d'enrichir les données propres pour ces types d'aménagement.

Plusieurs projets de développement gravitent dans et autour de la plaine de Marovoay ces dernières années. Les plus importants sont financés par la Banque Mondiale via le projet BVPI pour la réhabilitation des réseaux d'irrigation et la continuité des actions pour l'augmentation de la productivité en zone irriguée pour garantir la maintenance des infrastructures, la promotion de la riziculture améliorée et/ou intensive.

La surface totale de la plaine de la basse Betsiboka dépasse 20 000 ha (surface physique estimée à 21 730 ha), dont 80 % irrigués gravitairement et 20 % auparavant irrigués par des stations de pompage : l'utilisation de ces stations de pompage a été abandonnée depuis les années 2000.

Tableau 7 : Stations de pompage sur Marovoay

Localisation	Station de pompage	Secteur	Surface estimée (ha)
Rive droite du fleuve Betsiboka	Non fonctionnelle	Secteur 6 bis	484
	Non fonctionnelle	Secteur 7	1 780
	Non fonctionnelle	Secteur 8	1 748
Rive gauche du fleuve Betsiboka	Non fonctionnelle	Secteur 9	571
	Non fonctionnelle	Secteur 12	962

Barrages de retenue et barrage des dérivation

Les barrages de la zone agricole sont présentés dans les tableaux ci-après, et localisés sur la carte précédente.

Il a été signalé lors des enquêtes que les barrages de retenue sont actuellement victimes de la dégradation des bassins versants, avec comme conséquence un envasement et **la réduction considérable de la capacité de retenue de ces barrages**.

A noter pour le secteur 2 : le canal principal en rive gauche est alimenté par la retenue d'Ambondromifehy, ce dernier alimenté par le transfert d'une partie des ressources en eau de la rivière Karambo à partir du barrage de dérivation de Marosakoa qui alimente directement le canal principal en rive droite.

Tableau 8 : Barrages de retenue sur Marovoay

Localisation	Alimentation			Secteur	Surface physique (ha)	Surface économique (ha)
	Barrage de retenue	Capacité (m³)	Dérivation			
Rive droite du fleuve Betsiboka	Morafeno	13 000 000	Néant	Secteur 1	2 760	2 545
	Ambilivily	13 000 000				
	Ambondromifehy - Alimentation principale canal RG, transfert de ressource en eau via le barrage de dérivation de Marosakoa	2 000 000	Barrage de dérivation de Marosakoa (alimentation principale Canal RD)	Secteur 2	731	802
	Retenue Amboromalandy	21 000 000	Néant	Secteur 3	2 673	3 800
Rive gauche du fleuve Betsiboka	Lac Rico	2 500 000	Néant	Secteur 13	892	Non déterminée

Tableau 9 : Barrages de dérivation sur Marovoay

Localisation	Alimentation			Source	Secteur	Surface estimée (ha)	Surface économique (ha)
	Barrage de retenue	Capacité (m³)	Dérivation				
Rive droite du fleuve Betsiboka	Ampijoroanala (utilisé comme réalimentation de la rivière Marovoay)	2 000 000	Barrage de dérivation de Tsiasesy (alimentation principale sur rivière Marovoay)	Néant	Secteur 4	2 181	2 600
					Secteur 5	1 833	2 359
					Secteur 6	2 354	2 393
					Secteur 8 gravitaire	457	457
Rive gauche du fleuve Betsiboka	Néant	Néant	Néant	Antsakoamanera	Secteur 10	1 549	Non déterminée
					Secteur 11	1 212	Non déterminée

La riziculture était pratiquée depuis l'installation des migrants (venant du haut plateau) et surtout pendant la période coloniale pendant laquelle les infrastructures d'irrigation et de drainage ont été installées.

Calendrier cultural

La période d'irrigation se situe pendant les périodes pluvieuses, la riziculture de contre saison étant sanctionnée par les conditions climatiques (présence de saison fraîche et problème de ressource en eau).

Le calendrier cultural est unique, avec un étalement de repiquage très important (mois de novembre jusqu'au mois de février) dicté par :

- la situation d'aménagement des périmètres (traditionnels ou aménagés) ;
- le type de mobilisation des ressources en eau : gravitaire issue de barrage de dérivation ; prise au fil de l'eau ; ou gravitaire issue de barrage de retenue ;
- la localisation des zones à irriguer (in maille ou hors maille mais dans les zones aménagées, ou zone située dans le bassin versant des zones aménagées).

On distingue ainsi les cas de figure suivants, résumés sur la figure ci-dessous :

- Les périmètres traditionnels** à l'intérieur du bassin versant ciblent un repiquage au mois de **novembre**, profitant des premières pluies d'octobre et début novembre ;
- Les parties aménagées et équipées d'infrastructures d'irrigation** ne peuvent profiter des ressources en eau qu'à partir du mois de **décembre** et tout au long du mois de **janvier** pour le repiquage (dans la majeure partie des cas, les batardeaux traditionnels au niveau des périmètres traditionnels en amont cassent dès la première grosse crue) ;
- Les parties hors mailles** profitent de l'existence des infrastructures hydroagricoles (drains et canaux), elles utilisent parfois des batardeaux installés sur le réseau d'irrigation pour soutenir l'irrigation. Ces zones procèdent, dans la majeure partie des cas, au repiquage dit tardif au mois de **février**.
- On note par ailleurs, l'existence des parcelles où l'on ne pratique **qu'une culture de deuxième saison** «Vary Ririnina» (repiquage au mois de juillet, récolte au mois de décembre) sur le périmètre de Lovoka. Cette spécificité s'explique par l'existence d'une zone inondable en saison de pluie sur la partie aval du périmètre (Ankeniheny Nord et Sud).

Figure 19 : Calendriers culturaux sur la zone rizicole de lac Alaotra

		Calendriers culturaux											
		Janv	Févr	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Périmètres traditionnels	Riz de saison - Repiquage novembre				Fin irrigation	Récolte						Repiquage	
	Riz de saison - Repiquage décembre				Fin irrigation	Récolte							Repiquage
Périmètres aménagés	Riz de saison - Repiquage janvier	Repiquage			Fin irrigation	Récolte							
	Riz de saison - Repiquage février		Repiquage		Fin irrigation	Récolte							
Périmètre hors maille	Riz de contre-saison - Repiquage Juillet						Repiquage						Récolte

Les variétés utilisées sont photopériodiques : la floraison, quel que soit la période de repiquage, a lieu pendant la première décade du mois d'avril pour une récolte obligatoire au mois de mai. En conséquence, sur ce secteur, les surfaces physiques sont les surfaces économiques (**pas de double culture sur une même parcelle**).

On peut noter également que certains périmètres pratiquent l'irrigation de prélabour qui peut constituer un prélèvement très important. Cette pratique n'a pas été intégrée dans le modèle compte tenu de la faible étendue du périmètre concerné et le peu de riziculteurs y ayant recours.

Ressources en eau

Les pratiques d'irrigation et la consommation en eau au cours de l'année sont fortement dépendantes des conditions de précipitations et de l'état des stocks d'eau des retenues.

Sur la zone du Lac Alaotra :

- la période d'irrigation coïncide avec la saison des pluies.
- Le remplissage des retenues s'effectue à partir de la fin de la saison des pluies et durant la saison sèche, car il est impossible de mettre en place les batardeaux (forts courants ou crues fréquente) et surtout afin d'éviter l'envasement des retenues (bassin versant dégradé et très forte concentration de sable et de boue pendant la saison des pluies).
- Durant la saison sèche, les grandes rivières pérennes tarissent mais avec un débit soutenu qui permet l'installation de saison d'irrigation à partir du mois de novembre (Anony, Ivakaka, Sahabe, Ilakana, Lovoka) vers le lac Alaotra ; tandis que les ruisseaux sont en général secs à partir du mois de Septembre.

Les sources de prélèvement utilisées sont formées par **des barrages de dérivation** (ouvrage en dur ou batardeau traditionnel, barrage de retenue, prise au fil de l'eau, récupération d'eau sur drain). On peut noter que certaines retenues sont remplies par un système de transfert des ressources en eau, telles que :

- La retenue de Bevava, alimentée principalement par la rivière Sasomangana, et, en complément, par la rivière Lohafasika II (via l'installation de batardeau au mois de juin) ;
- La retenue d'Andilanatoby, dont le bassin versant principal est celui de la rivière Ranofotsy ; mais l'essentiel du remplissage du barrage vient d'une réalimentation par la rivière Maningoro – ranofotsy) ;

Plusieurs zones sur **la rive Est sont cultivées sous pluies, ou à la limite profitent de l'irrigation intermittente**. Certains paysans de ces zones utilisent des **stations de pompage individuelles** (pompage d'eau de surface). Ces stations de pompage n'ont pu être enquêtées dans le détail au cours de la présente étude. Des enquêtes complémentaires pourraient être conduites dans l'avenir afin d'enrichir les données propres à ces types d'aménagement.

Sur les surfaces hors maille, en complément des canaux d'irrigation stricto sensu, les associations font également appel à la **récupération sur drain**⁴ pour l'irrigation de certaines de leurs parcelles.

Recensement des périmètres irrigués et des ouvrages hydrauliques

L'ensemble des bas fond de l'Alaotra sont tous aménagés en rizières, sauf les zones humides appelées « zetra ».

Les périmètres sillonnés ont été choisis à partir de la liste des périmètres mis à la disposition du DRDA Alaotra Mangoro. Les périmètres situés dans les communes difficiles d'accès ou assez éloignés des deux Chefs lieu de District ont été écartés du programme.

Les surfaces ont été estimées sur la base des données (surfaces et pratiques d'irrigation) mises à disposition par la DRDA, et corrigées ou affinées à partir des résultats des prospections et enquêtes effectuées sur le terrain. Les limites aval des périmètres restent difficiles à identifier mais sont concernées par les prélèvements d'eau malgré le repiquage tardif en février :

- 36 périmètres ont été répertoriés dans le district Ambatondrazaka : 3 alimentés à partir de barrage de retenue et 33 périmètres utilisant une dérivation, prise au fil de l'eau et périmètres traditionnels ;

⁴ Celle-ci consiste, par le biais de batardeaux traditionnels ou de barrages adéquats, à faire monter le niveau de l'eau s'écoulant dans les drains et à faire dériver cette eau vers les parcelles adjacentes. Certaines parcelles dépendent, majoritairement sinon exclusivement, de la récupération sur drain pour leur irrigation. Si les volumes d'eau tirés des canaux d'irrigation peuvent être connus directement, il n'en est pas de même pour les volumes récupérés sur drain.

- 20 périmètres ont été répertoriés dans le District Amparafaravola : 3 alimentés à partir de barrages de retenue et 17 périmètres utilisant une dérivation, prise au fil de l'eau et périmètres traditionnels.

La répartition des surfaces est présentée dans le tableau ci-après :

Zone	Surface irrigable (ha)	Surface irriguée (ha)
District Ambatondrazaka	14 443	4 587
District Amparafaravola	54 408	27 596
Total	68 851	32 183

Sur la zone du Lac Alaotra, on recense **six barrages de retenues**, listés ci-après. Les périmètres alimentés par les barrages de Ranofotsy, Ambatoharanana, PC 15 Vallée Marianina et Sahamaloto ont été visités lors des enquêtes.

Tableau 10 : Barrages de retenue sur la zone rizicole du Lac Alaotra

District	Périmètre	Type d'ouvrages	Capacité (m3)	Superficie		Communes
				Irrigable	Irrigué	
Ambatondrazaka	Ranofotsy	Barrage de retenue	2 000 000	2 639	1 283	Andilanatoby
	Ambatoharanana	Barrage de retenue	2 000 000	120	20	Andilanatoby
	PC 15 Vallée Marianina	Barrage de retenue	25 000 000	5 431	3 600	Ilafy et Ampitatsimo
Amparafaravola	Sahamamy	Barrage de retenue	2 000 000	634	300	Sahamamy
	Sahamaloto	Barrage de retenue	30 000 000 m3 initial, réduit à 12 000 000 m3 actuel	6 500	6 000	Ambohijanahary, Anororo, Ambohitrarivo
	Andranobe	Barrage de retenue	2 500 000	1 400	500	Amboavory

Cinquante périmètres utilisant des dérivations sont répertoriés dans la cuvette du lac Alaotra, et listés en Annexe. Lors des enquêtes, 15 périmètres alimentés par ce type d'ouvrage ont pu être visités :

- 5 Périmètres pour le District d'Ambatondrazaka:
 - Périmètre d'Andingadingana
 - Périmètre d'Ilakana
 - Périmètre de Lovoka
 - Périmètre de Manamontana (RG et RD)
 - Périmètre de Mangalaza
- 10 Périmètres pour le District d'Amparafaravola :
 - Périmètre d'Anony
 - Périmètre de Behengitra
 - Périmètre de Besomangana
 - Périmètre d'Imamba
 - Périmètre d'Ivakaka
 - Périmètre de PC 23 NORD
 - Périmètre de PC 23 SUD
 - Périmètre de Sahamena
 - Périmètre de Sahamilahy
 - Périmètre de Tsamora MAFI

2.7.2 Les enquêtes de terrain

Ces enquêtes se sont déroulées pendant les mois de mars et avril 2016.

LISTE DES PERIMETRES ENQUETES

Marovoay

37 enquêtes ont été menées sur les six secteurs qui se situent sur la rive droite de la Rivière de Betsiboka. La répartition des enquêtes selon les secteurs est la suivante :

Secteurs	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4	Secteur 5	Secteur 6	Secteur 7	Total
Nombre d'enquêtes	6	8	5	7	6	5	0	37

Les parcelles enquêtées ont été choisies pour couvrir, dans la mesure du possible, l'amont et l'aval de chaque secteur enquêté.

Lac Alaotra

Le nombre d'enquêtes effectuées sur Lac Alaotra est de 45 sur 18 périmètres dans les deux districts concernés, comme présenté dans les tableaux ci-dessous.

District d'Ambatondrazaka

District d'Ambatondrazaka				
N°	Districts	Périmètres Irrigués	Communes concernées	Nombre d'enquêtes
1	Ambatondrazaka	Andingadingana	Ambatondrazaka	3
2		Andranofotsy / Ambatoharanana	Andilanatoby	5
3		Ilakana	Manakambahiny Ouest	2
			Ampitatsimo	
			Antsangasanga	
4		Lovoka	Imerimandroso	2
5		Manamontana (RG et RD)	Ambandrika	2
			Ambohitsilaozana	
6	Mangalaza	Feramanga Nord	2	
7	PC 15 Vallée Marianina	Ilafy et Ampitatsimo	5	
Nombre d'enquêtes total				21

District d'Amparafaravola

N°	Districts	Périmètres Irrigués	Communes concernées	Nombre d'enquêtes
1	Amparafaravola	Anony	Ambohijanahary	4
			Antanambe	
2		Behengitra	Morarano chrome	2
3		Besomangana	Ambatomainty	1
			Ampasikely	
4		Imamba	Ambohimandroso	2
5		Ivakaka	Amparafaravola	3
6		PC23 Nord	Ranomainty	2
			Ampasikely	
7		PC 23 Sud	Morarano chrome	2
			Ranomainty	
8	Sahamaloto	Ambohijanahary	3	
		Anororo		
		Ambohitrarivo		
9	Sahamena	Morarano chrome	2	
10	Sahamilahy	Ambodirano	2	
11	Tsaramora MAFI	Bejofo	1	
Nombre d'enquêtes total				24

BILAN DE LA COLLECTE DES DONNEES

Les principales informations collectées lors des enquêtes sont les suivantes :

- Les calendriers d'irrigation (identification des périodes de repiquage et récolte) ;
- Les situations d'irrigation et les différentes hypothèses recoupées pour l'anticipation des surfaces d'application (surface physique et surface économique) ;
- Le budget de travail ; le budget d'exploitation (cf. chapitre B-2) ;
- Les différents coûts du paddy et répartition pendant toute l'année.

La principale lacune d'information pour l'étude sur les secteurs enquêtés réside en **l'absence de données sur les volumes d'eau prélevés** : aucun dispositif de mesure n'existe sur les périmètres enquêtés, ou, si ces dispositifs existent, les lectures et prises de données ne sont effectuées que très rarement. **Il n'a donc pas été possible de connaître les volumes réellement prélevés.**

En conséquence, compte tenu de ce manque de connaissance, les volumes d'eau ont été estimés à partir des calculs théoriques de consommation d'eau des plantes et des estimations des pertes et/ou efficience du système d'irrigation, pour la présente étude.

Sur les périmètres de Marovoay, les calendriers d'irrigation liés à une surface d'application restent difficiles à préciser. Pour les calculs de l'étude, l'estimation des surfaces totales se base sur les surfaces et ratio déclarés par les usagers et les AUR.

Sur les périmètres du lac Alaotra, la saison est unique mais avec un étalement de repiquage très important et dicté par la disponibilité des ressources en eau. Dans la majeure partie des cas pour les périmètres aménagés, les usagers, les AUR et les Fédérations ont pu préciser d'une façon plus fiable les contraintes au niveau de chaque maille, ce qui a facilité la compilation et l'interprétation des résultats.

2.7.3 Estimation des prélèvements en eau d'irrigation

Nous proposons une estimation **des prélèvements en eau d'irrigation sur les secteurs d'étude à partir d'un modèle de besoin des plantes**. Ce calcul reprend la méthodologie présentée plus haut à l'échelle nationale et **reste théorique (absence de mesure sur le terrain)**.

Il se base sur les informations collectées lors des enquêtes :

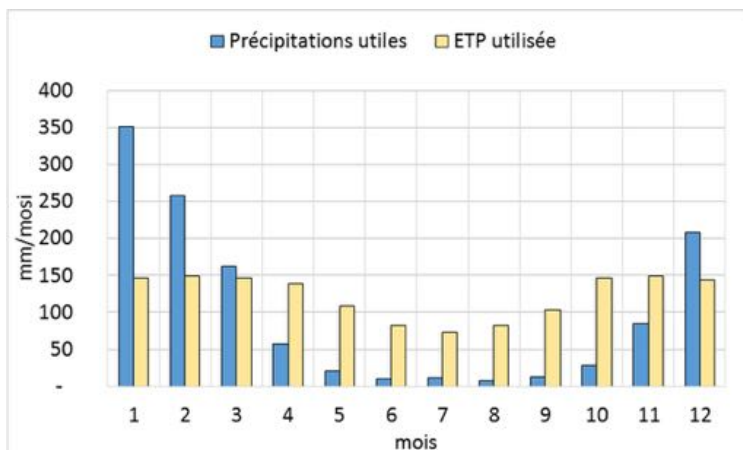
- Le fonctionnement hydraulique du système d'irrigation ;
- Les surfaces irriguées sur les secteurs enquêtés ;
- Les calendriers culturels et étalement de repiquage.

2.7.3.1 Marovoay

Les hypothèses climatiques

La zone de Marovoay est située dans la zone climatique D, dont les moyennes climatiques sont rappelées ci-après.

Figure 20 : Précipitations utiles et ETP moyennes de la zone climatique D (mm/mois)



Les calendriers culturels et surfaces associées

Comme déjà évoqué, on observe 4 saisons possibles sur Marovoay, dont les calendriers peuvent varier d'un secteur à l'autre avec un décalage de quelques semaines. En résumé, sur les secteurs d'étude, les différents calendriers suivants sont considérés.

Tableau 11 : Calendriers culturels possibles sur Marovoay

Saison	Janv	Févr	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Vary Asara												Repiquage
Vary atriatri			Repiquage									
Vary atriatri				Repiquage								
Vary dimby halotra 1								Repiquage				
Vary dimby halotra 1								Repiquage				
Vary dimby halotra 2										Repiquage		
Vary Jeby							Repiquage					
Vary Jeby					Repiquage							

Pour chaque secteur, les surfaces par saison sont estimées à l'aide des déclarations des usages et AUR. Le tableau ci-dessus présente les secteurs enquêtés, la répartition des surfaces mises en valeur pendant les 5 saisons de cultures. La **saison Jeby** est majoritaire sur les secteurs enquêtés. La surface économique totale sur les secteurs enquêtés représente environ **15 000 hectares**.

Tableau 12 : Estimation des surfaces d'application des saisons culturelles sur les secteur enquêtés (hectares).

	Secteur S 1	Secteur S 2	Secteur S 3	Secteur S 4	Secteur S 5	Secteur S 6	Secteur S 8 grav	Synthèse
Surface physique totale	2 760	731	2 673	2 181	1 833	2 354	457	12 989
Surface d'application saison 1 (Asara)	534	190	1 698	254	94	311	-	3 082
Surface d'application saison 2 (Atriatri)	458	541	743	520	792	960	229	4 242
Surface d'application saison 3 (Jeby)	1 400	29	1 359	1 279	1 021	1 051	229	6 366
Surface d'application saison 4 (Dimby halotra 1)	153	42	-	-	273	-	-	468
Surface d'application saison 5 (Dimby halotra 2)	-	-	-	801	273	383	-	1 457
Surface économique totale	2 545	802	3 800	2 854	2 453	2 704	457	15 614

Le calcul des besoins en eau d'irrigation du riz

A partir de ces données, et du modèle déjà présenté (chapitre A-2.3), les besoins en eau d'irrigation sont calculés. Le tableau ci-dessous présente, pour la plupart des cycles culturels, le calcul théorique des besoins unitaires d'irrigation du riz. **Les besoins unitaires totaux sont estimés entre 4 000 m³/ha et 9 000 m³/ha selon les cycles culturels.**

Tableau 13 : Estimation des besoins unitaires en eau d'irrigation du riz sur Marovoay, par saison (m³/ha)

	Janv	Févr	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Besoin unitaire annuel (m ³ /ha)
Vary Asara	800	-	1 000	500	-	-	-	-	-	-	-	1 700	4 000
Vary atriary (repiq. Mars)	-	-	1 700	1 300	1 600	1 000	-	-	-	-	-	-	5 600
Vary atriary (repiq. Avril)	-	-	-	2 100	1 800	1 800	1 100	-	-	-	-	-	6 800
Vary dimby halotra 1 (repiq. Sept)	-	-	-	-	-	-	-	-	2 700	2 200	1 700	500	7 000
Vary dimby halotra 1 (repiq. août)	-	-	-	-	-	-	-	2 500	1 800	2 200	1 100	-	7 600
Vary dimby halotra 2	1 000	500	-	-	-	-	-	-	-	-	2 500	800	4 800
Vary Jeby (repiq. Juil.)	-	-	-	-	-	-	2 300	1 700	2 000	1 600	-	-	7 600
Vary Jeby (repiq. Mai)	-	-	-	-	2 700	1 600	1 600	1 200	1 900	-	-	-	9 000

En croisant ces valeurs et les surfaces d'applications, on estime les besoins nets totaux des rizières étudiées. **Sur les 15 000 ha cultivés, on estime ainsi un besoin en eau de l'ordre de 110 hm³/an.**

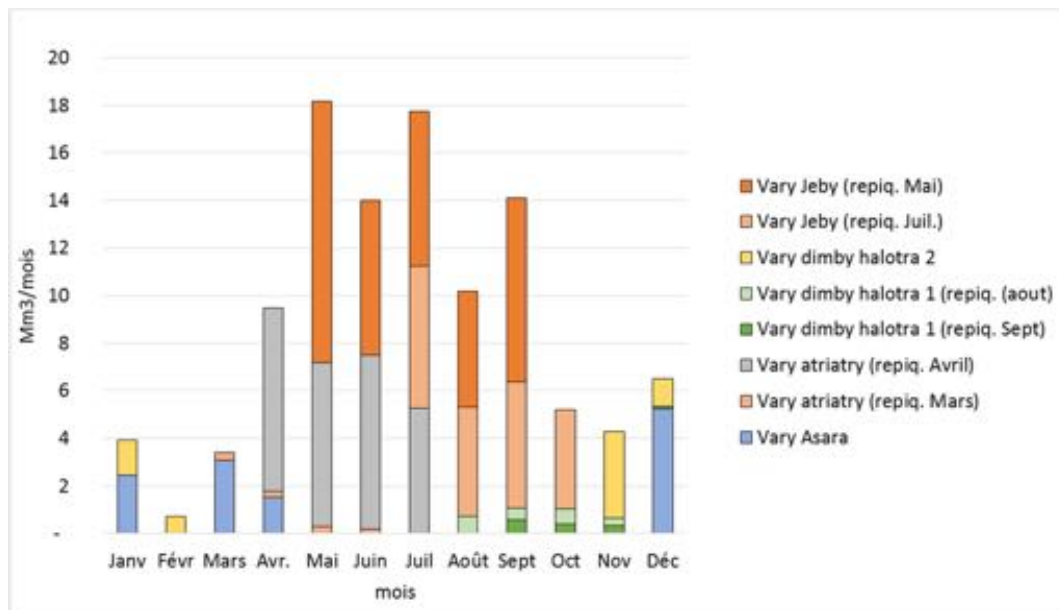
Tableau 14 : Estimation des besoins unitaires, surfaces d'application et besoins totaux par saison d'irrigation, sur les secteurs enquêtés de Marovoay, à l'échelle annuelle.

Saison	Besoin unitaire annuel (m ³ /ha)	Surfaces d'application (ha)	Besoin total (Mm ³ /an)
Vary Asara	4 300	3 082	13
Vary atriary (repiq. Mars)	5 600	190	1
Vary atriary (repiq. Avril)	6 800	4 052	28
Vary dimby halotra 1 (repiq. Sept)	7 000	182	1
Vary dimby halotra 1 (repiq. août)	7 600	286	2
Vary dimby halotra 2	4 800	1 457	7
Vary Jeby (repiq. Juil.)	7 600	2 300	17
Vary Jeby (repiq. Mai)	9 000	4 066	37
Total		15 614	106

On peut noter que les surfaces cultivées en saison « Vary Jeby » sont majoritaires (plus de 6 000 ha), et représentent également les plus fortes demande en eau unitaires (saison centrée sur mai-août ou juillet-septembre – besoins de l'ordre de 9 000 m³/ha). Ces cultures représentent un besoin en eau d'irrigation théorique de l'ordre de 57 hm³/an sur les secteurs enquêtés.

La figure ci-dessous donne une vision mensuelle des besoins nets totaux calculés sur les secteurs enquêtés, en fonction des saisons. Ces volumes sont fonction des surfaces associées. **On estime ainsi que sur les secteurs enquêtés, les besoins théoriques en eau d'irrigation se concentrent sur mai-septembre, où ils atteignent 10 hm³/mois (août) à 18 hm³/mois (mai).**

Figure 21 : Estimation des besoins nets mensuels en eau d'irrigation, par saison (hm^3/mois) sur les secteurs enquêtés de Marovoay.



A partir de ces besoins, il est possible d'estimer les consommations nettes totales en eau d'irrigation, en **prenant en compte les pertes des réseaux**.

Dans la pratique, ces pertes varient d'un périmètre à l'autre. Les prélèvements en eau sont plus importants pour le cas des périmètres alimentés par des barrages de dérivation, comparativement aux prélèvements d'eau des périmètres alimentés par des barrages de retenue.

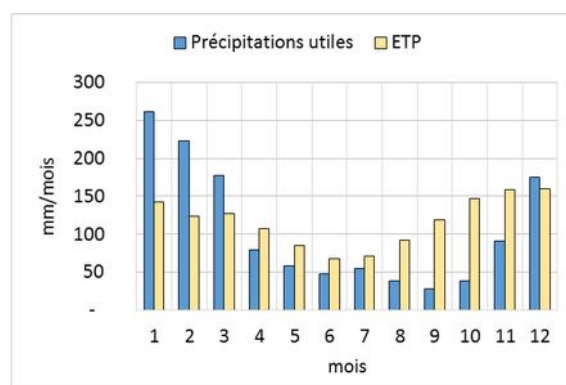
En appliquant une hypothèse théorique d'efficacité de 60%, le prélèvement total pour l'irrigation sur les 15 000 hectares de rizières enquêtées de Marovoay est estimé à 180 hm^3/an . Les prélèvements totaux ainsi estimés pour le mois de mai atteignent 30 hm^3/mois .

2.7.3.2 Lac Alaotra

LAC ALAOTRA

La zone du Lac Alaotra est située dans la zone climatique A, dont les moyennes climatiques sont rappelées ci-après.

Figure 22 : Précipitations utiles et ETP moyennes de la zone climatique A (mm/mois)



Les calendriers culturels et surfaces associées

Pour les 18 secteurs enquêtés du Lac Alaotra, on distingue 5 calendriers culturels pratiqués :

Figure 23 : Calendriers culturels sur la zone rizicole de lac Alaotra

		Calendriers culturels											
		Janv	Févr	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Périmètres traditionnels	Riz de saison - Repiquage novembre				Fin irrigation	Récolte						Repiquage	
	Riz de saison - Repiquage décembre				Fin irrigation	Récolte							Repiquage
Périmètres aménagés	Riz de saison - Repiquage janvier	Repiquage			Fin irrigation	Récolte							
	Riz de saison - Repiquage février		Repiquage		Fin irrigation	Récolte							
Périmètre hors maille	Riz de contre-saison - Repiquage Juillet							Repiquage					Récolte

Pour le cas d'Alaotra, les données sur les superficies fournies par la DRDA sont basées sur les superficies irrigables et irriguées des périmètres inventoriés. **Des séances d'entretiens individuels ou focus groupe constitués par les représentants des paysans et les membres de bureau de l'association des usagers de l'eau ont été tenues dans le cadre de l'étude afin d'évaluer ces superficies irriguées par saison.** Les données obtenues à l'issue de ces entretiens avec le focus group ont été complétées par les données de la DRDA pour estimer les superficies irriguées pour chaque saison dans la zone d'Alaotra.

Le tableau ci-dessous présente les périmètres enquêtés, la répartition des surfaces mises en valeur pendant la saison « Vary taona » avec l'étalement de repiquage et la saison de « Vary Ririnina » pour le cas du périmètre de Lovoka.

Tableau 15 : Estimation des surfaces d'application par saison d'irrigation et pour chaque périmètre enquêté sur la zone du Lac Alaotra (hectares)

Périmètre Irrigué	Surface physique totale (ha)	Surface d'application 1 (repiquage nov)	Surface d'application 2 (repiquage déc)	Surface d'application 3 (repiquage janv)	Surface d'application 4 (repiquage fév)	Surface d'application 5 (repiquage Juillet - Saison 2)	Surface économique totale (ha)
PI Andingadingana	511	256	256				511
PI Andranofotsy / Ambatoharanana	349	175	175				349
PI Anony	10 185	363	1 605	6 543	1 674		10 185
PI Behengitra	316	79	237				316
PI Besomangana	911	46	683	182			911
PI Ilakana	4 363	3 054	1 091	218			4 363
PI Imamba	1 305	112	349	651	193		1 305
PI Ivakaka	1 988	231	1 196	748	242		2 417
PI Lovoka	622		311	311		514	1 136
PI Manamontana	900	113	675	113			900
PI Mangalaza	178	45	134				178
PI PC15/Vallée Marianina	3 852	2 008	1 845				3 852
PI PC 23 NORD	5 163	1 033	3 614	516			5 163
PI PC 23 SUD	5 328	1 598	3 197	533			5 328
PI SAHAMALOTO	6 400	1 920	3 200	1 280			6 400
PI SAHAMENA	806	201	564	40			806
PI SAHAMILAHY	1 910	191	1 528	191			1 910
PI Tsaramora MAFI	1 025	513	513				1 025
Synthèse	46 113	11 935	21 171	11 326	2 109	514	47 055

Pour ces 5 calendriers culturels, les besoins en eau et prélèvements en eau d'irrigation du riz ont été calculés.

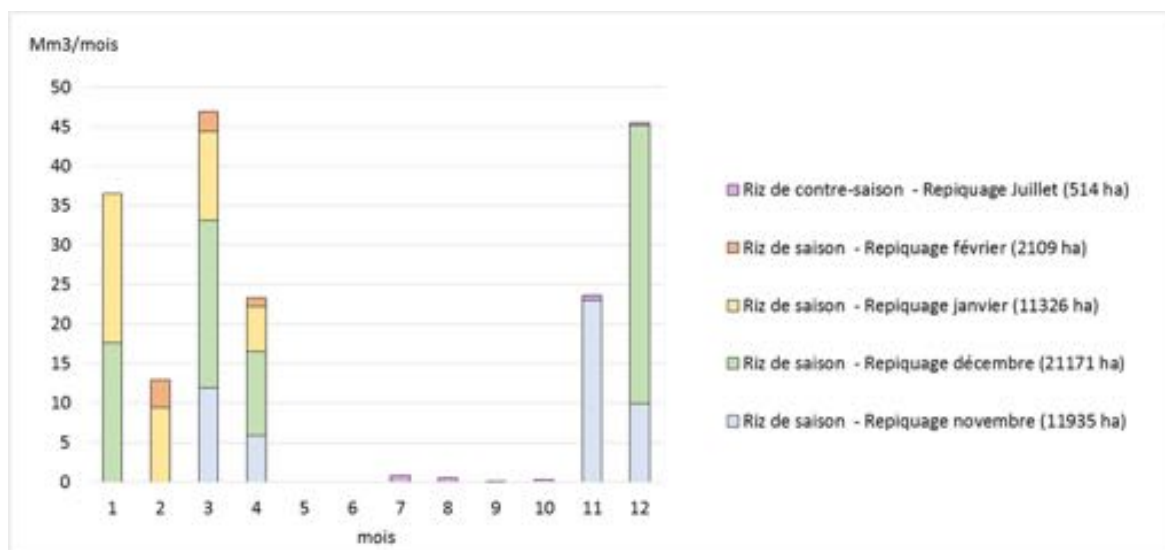
La surface physique totale des rizières étudiées est de **46 100 ha**, et la surface économique correspondante est de **47 000 ha**. **Sur ces surfaces, les besoins totaux en eau d'irrigation pour le riz sont estimés à environ 190 hm³/an**. Le tableau ci-dessous présente ces résultats par cycle cultural pratiqué.

La saison majoritairement pratiquée sur les secteurs enquêtés est la saison Vary taona avec un repiquage en décembre (21 000 ha). On note que les saisons Vary taona exigent des volumes d'eau d'irrigation assez limités (environ 4 000 m³/ha), car elles sont centrées sur la période humide, pour laquelle les pluies surpassent l'évapotranspiration.

Tableau 16 : Estimation des besoins unitaires, surfaces d'application et besoins totaux par saison d'irrigation, sur les secteurs enquêtés du Lac Alaotra, à l'échelle annuelle.

Saison	Besoin unitaire annuel (m ³ /ha/an)	Surfaces d'application (ha)	Besoin total annuel (Mm ³ /an)
Riz de saison - Repiquage novembre	4 260	11 935	51
Riz de saison - Repiquage décembre	4 000	21 171	85
Riz de saison - Repiquage janvier	4 000	11 326	45
Riz de saison - Repiquage février	3 330	2 109	7
Riz de contre-saison - Repiquage Juillet	5 327	514	3
Total		47 055	191

La figure ci-dessous donne une vision mensuelle des besoins nets totaux calculés sur les secteurs enquêtés, en fonction des saisons. Ces volumes sont fonction des surfaces associées.

Figure 24 : Estimation des besoins en eau d'irrigation du riz sur les périmètres du lac Alaotra (milliers de m³/mois)

A partir de ces besoins, il est possible d'estimer les prélèvements totaux en eau d'irrigation, en **prenant en compte les pertes des réseaux**. En appliquant une hypothèse d'efficacité de 60%, le **prélèvement brut total** pour l'irrigation sur les 47 000 hectares de rizières enquêtées sur la zone du Lac Alaotra est estimé à 315 hm³/an.

3. ESTIMATION DES FLUX D'EAU LIES A L'EAU POTABLE

Pour l'estimation des flux d'eau associés à l'eau potable, nous disposons de plusieurs sources d'information :

- Les données de la **Jirama**, distributeur d'eau de Madagascar. Nous disposons notamment des volumes d'eau vendus par la Jirama à Madagascar par année. **Ce volume vendu représente de l'ordre de 65 hm³/an (année 2011).**
- Les données issues de **l'Annuaire du secteur eau potable et assainissement (2012) du Ministère de l'eau**. Ces données indiquent notamment, par région :
 - Les taux de population desservie, sur la population totale. **A l'échelle de Madagascar, le taux de desserte de la population en eau est estimé à 43%.**
 - Le nombre de bornes fontaines publiques, forages et puits. Ce nombre s'élève à environ 150 000 à l'échelle de Madagascar.
- Les données de l'Instat, qui indiquent **la population totale par district (2009). La population totale de Madagascar est estimée à environ 22 millions d'habitants.**

La démarche pour le calcul des prélèvements pour l'eau domestique à l'échelle de Madagascar et des 6 grandes zones hydrologiques. Elle se base sur ces 3 grandes sources de données et sur les estimations menées et transmises par le GTT Eau. Elle est présentée ci-dessous. Elle conduit à des ordres de grandeurs. Il n'existe pas de données suffisantes à ce jour pour obtenir des chiffres plus précis.

Remarque : le volume prélevé pour l'eau potable de Madagascar est de l'ordre de 200 à 300 hm³/an. Cela est à comparer aux volumes prélevés pour l'irrigation, estimés à environ 12 milliards de m³/an. Ainsi, dans la comptabilité de l'eau de Madagascar, ces volumes d'eau potable sont relativement faibles, face aux volumes d'irrigation.

3.1 ESTIMATION A L'ECHELLE NATIONALE

Dans un premier temps, l'évaluation est conduite à l'échelle nationale.

CALCUL DU VOLUME CONSOMME PAR LES USAGERS

D'après l'annuaire du Ministère de l'eau 2011, la population desservie s'élève à environ 9,3 millions d'habitants. Les estimations du GTT eau basées sur les données 2012 conduisent à une estimation de la population desservie à 10 millions d'habitants.

Cette population est alimentée pour partie :

- **Par les volumes Jirama : 65 hm³/an** (volumes vendus).
- Par les volumes des branchements et bornes fontaines non gérées par la Jirama. La comparaison des statistiques du Ministère de l'eau et de la Jirama permet d'estimer ces effectifs. Les branchements hors Jirama sont très négligeables à l'échelle de l'île. Les bornes fontaines hors Jirama sont estimées à environ 27 000.

D'après les estimations du GTT Eau, le volume distribué par les prestataires privés et communautaires hors Jirama est estimé à 81 hm³/an.

Cela représente un volume moyen fourni par une borne fontaine d'environ 3 000 m³/an. (Pour les bornes fontaines JIRAMA, les données JIRAMA indiquent : un prélèvement d'eau moyen de 1 500 m³/an pour les bornes privées ; et 3 500 m³/an pour les bornes publiques.).

Ainsi, le volume d'eau consommé par la population desservie est estimé à 146 hm³/an.

La population non desservie représente environ 12,5 millions d'habitants à Madagascar d'après l'Annuaire 2011 du Ministère de l'eau. Les estimations du GTT eau basées sur les données 2012 conduisent à une estimation de la population desservie à 11,7 millions d'habitants.

D'après les estimations du GTT Eau, le volume consommé par les ménages non desservis est de l'ordre de 64 hm³/an. Cela représente une hypothèse de consommation de 15 l/jour/habitant.

La consommation totale en eau domestique est ainsi évaluée à environ 210 hm³/an à Madagascar.

CALCUL DU VOLUME BRUT PRELEVE

Pour estimer le prélèvement brut, il faut considérer les pertes, en particulier les pertes du réseau de distribution d'eau potable. Les données Jirama indique un prélèvement brut annuel de 100 hm³ (2011), soit un taux de perte de l'ordre 35% ($64/100 = 35\%$).

Sur la base des calculs du GTT eau, on considère un taux de perte de 38% pour l'ensemble de la distribution d'eau, via le réseau Jirama et les bornes fontaines.

Pour la population non desservie, on considère les pertes négligeables.

En conséquence, sur la base de ces hypothèses, on estime un prélèvement brut total de l'ordre de 265 hm³/an à Madagascar.

EMPLOI-RESSOURCE DES VOLUMES D'EAU POTABLE

Origine de l'eau [Emploi physique]

Les travaux du GTT eau proposent une répartition suivante pour les volumes d'eau potable :

- **Provenance estimée à 80% des eaux de surfaces ;**
- **Provenance estimée à 20% des eaux souterraines.**

Retours d'une partie du prélèvement brut au milieu naturel [Ressource physique]

Nous proposons d'adopter les hypothèses suivantes, pour l'évaluation des retours vers le milieu naturel. **Les hypothèses proposées pourront être corrigées sur la base de données complémentaire.**

Comme déjà évoqué, nous estimons :

- Une consommation en eau potable à environ 220 hm³/an. Sur ce volume, on fait les hypothèses suivantes :
 - 20% évaporés (« utilisation finale de l'eau ») ;
 - 60% vers les eaux souterraines ;
 - 20% vers les eaux de surfaces.
- Des volumes perdus via les réseaux de distribution de l'ordre de 75 hm³/an. On fait l'hypothèse que la totalité de ces volumes rejoignent les eaux souterraines.

3.2 ESTIMATION A L'ECHELLE DES GRANDES ZONES HYDROLOGIQUES

Afin de proposer une évaluation par grandes zones climatiques, nous considérons une approche basée sur :

- L'estimation des populations desservies et non desservies par grandes zones hydrologiques, sur la base des statistiques par districts et par régions (données INSTAT et Ministère de l'eau) ;
- La prise en compte d'hypothèses de consommation, en cohérence avec l'analyse nationale présentée ci-dessus.

Estimation des populations

Les données de l'INSTAT fournissent une estimation de la population par district pour 2009.

Les données de l'Annuaire du Ministère de l'Eau fournissent des taux de desserte de la population par régions, que nous appliquons aux districts correspondants, afin d'estimer des populations desservies et non desservies par districts. Pour cela, on fait donc l'hypothèse que les taux de desserte sont répartis de manière homogène sur les régions.

Un croisement cartographique entre les districts et les grandes zones hydrologiques nous permet ensuite d'estimer, à l'échelle des zones hydrologiques, les populations desservies et non desservies.

Le tableau ci-dessous présente ces estimations.

Figure 25 : Taux de desserte en eau potable par région (2011) – Annuaire du secteur eau potable et assainissement du Ministère de l'Eau

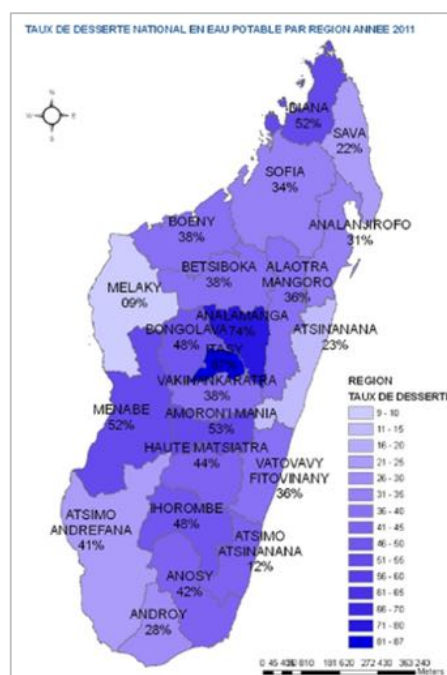


Tableau 17 : Estimation des populations desservies et non desservies par zones hydrologiques (nombre d'habitants)

Zone hydrologique	Population desservie	Population non desservie	Population totale
AB_N	520 000	1 080 000	1 600 000
AB_SE	1 920 000	3 310 000	5 230 000
AB_NO	3 480 000	2 630 000	6 110 000
AB_E	730 000	1 940 000	2 670 000
AB_CO	1 840 000	1 910 000	3 750 000
AB_SO	700 000	1 810 000	2 510 000
Total	9 190 000	12 680 000	21 870 000

NB : les écarts avec la population nationale totale estimée par le GTT eau et citée plus haut proviennent de sources de données différentes.

Estimation des volumes consommés

Les estimations faites à l'échelle nationale plus haut amènent à une consommation moyenne par habitant de 40 l/j/hab, sur les secteurs desservis. Nous proposons d'appliquer cette hypothèse de consommation journalière à chaque zone hydrologique.

Pour les secteurs non desservis, l'hypothèse proposée par le GTT eau est appliquée, soit une consommation moyenne de 15 l/j/hab.

On en déduit ainsi des volumes de consommations en eau par zones hydrologique, présentés ci-après.

Tableau 18 : Estimation des consommations en eau pour les populations desservies et non desservies, par zones hydrologique (hm³/an)

Consommation en eau estimée - hm ³ /an			
Zone hydrologique	Consommation en eau de la population desservie	Consommation en eau de la population non desservie	Consommation en eau de la population totale
AB_N	8	6	14
AB_SE	28	18	46
AB_NO	51	14	65
AB_E	11	11	21
AB_CO	27	10	37
AB_SO	10	10	20
Total (Estimation population 2009)	134	69	204
Total (Estimation population 2012 – Calculs GTT eau)	146	64	210

4. ESTIMATION DES FLUX D'EAU LIES A L'ELEVAGE

Pour l'estimation des prélèvements en eau pour l'élevage, nous considérons :

- **Les effectifs des principaux animaux d'élevage, par région**, recensés auprès des Directions Régionales de l'Elevage pour 2015. Les effectifs totaux sur Madagascar pour l'année 2015 sont donnés ci-dessous :

BOVINS	OVINS et CAPRINS	PORCINS	VOLAILLE
10 740 000	1 630 000	2 430 000	37 120 000

- **Des hypothèses de consommations journalières en eau** des principaux animaux d'élevage.

Ces hypothèses de consommation en eau journalières seront paramétrables dans la plateforme par l'utilisateur du modèle. Dans la suite du rapport, nous considérons les hypothèses suivantes :

BOVINS	OVINS et CAPRINS	PORCINS	VOLAILLE ⁵
25 l/jour	5 l/jour	5 l/jour	1 l/jour

Ces deux variables permettent ensuite d'estimer **un volume total en eau prélevé pour l'élevage**, par région. Nous supposons les prélèvements en eau pour l'élevage constant sur l'année.

A l'échelle de Madagascar, l'estimation des volumes prélevés pour l'élevage s'élève à 110 hm³/an :

BOVINS	OVINS et CAPRINS	PORCINS	VOLAILLE
98 hm ³ /an	3 hm ³ /an	4 hm ³ /an	14 hm ³ /an

Il faut noter que les recensements de cheptel disponibles collectés dans le cadre de cette étude sont à l'échelle régionale, et non à l'échelle des districts. Ainsi, **pour estimer les volumes d'eau prélevés à l'échelle des grandes zones hydrologiques** (Agence de Bassin), il est nécessaire de :

- Faire l'hypothèse que les cheptels sont répartis de manière homogène sur les territoires des régions ;
- Faire un croisement cartographique entre régions et zones hydrologiques ; afin de calculer, par région, la somme pondérée des prélèvements en eau en fonction des surfaces d'intersection avec les régions.

A l'issue de ce travail, on obtient une estimation des prélèvements en eau pour l'élevage par grande zone hydrologique, donnée dans le tableau ci-après.

Figure 26 : Régions de Madagascar (contours noirs) et zones hydrologique d'étude (Agence de Bassins) (en couleurs).



⁵ On inclut dans ce volume : les consommations en eau des animaux (de l'ordre de 0.3 l/j) et les volumes nécessaires à l'entretien des élevages.

Tableau 19 : Estimation des prélèvements en eau annuels pour l'élevage par grandes zones hydrologique (hm³/an)

Zone hydrologique	Bovins	Ovins et caprins	Porcins	Volaille	Total
AB_CO	21	1.1	0.7	2	25
AB_E	5	0.1	0.1	2	8
AB_N	8	0.3	0.1	2	10
AB_NO	35	0.8	0.4	3	39
AB_SE	11	0.6	0.1	3	14
AB_SO	18	0.1	3.1	1	23
Total	98	3	4	14	119

Il faut noter qu'il est difficile de connaître avec précision les effectifs d'élevage à Madagascar, et que ces estimations peuvent représenter une limite basse des volumes totaux effectifs.

5. ESTIMATION DES FLUX D'EAU LIES A L'HYDROELECTRICITE

La JIRAMA a mise à disposition les données de volumes totaux turbinés pour l'hydroélectricité par ses ouvrages, de 2011 à 2014. Le volume total turbiné est ainsi évalué à 2.3 à 2.9 km³/an ; il dépend des conditions hydrologiques de chaque année.

Le GTT eau a estimé le volume total turbiné à Madagascar, en incluant les centrales hydroélectriques de la Jirama et des autres opérateurs. Cette estimation aboutit à un volume de 5,47 km³/an.

Nous utilisons cette estimation dans la suite du rapport.

6. ETABLISSEMENT DES COMPTES PHYSIQUES DE L'EAU

6.1 COMPTABILITE DE L'EAU

Comme déjà dit en introduction, la notion de comptes physiques et monétaires de l'eau est définie et décrite dans les documents du programme WAVES et en particulier dans le rapport de l'UNSD : « *Guidelines for the Compilation of Water Accounts and Statistics* ».

La comptabilité physique **est l'évaluation des stocks et flux d'eau, dans l'économie, les activités humaines et l'environnement à grande échelle (souvent nationale)**. Cela inclut :

- La quantification des ressources en eau, l'évaluation des grands flux d'eau « naturels » dans l'environnement (précipitations, évapotranspiration, écoulements de surface et souterrains) ;
- La quantification des usages de l'eau (volumes utilisés et prélevés par les activités humaines) et, pour ces usages, l'évaluation des flux avec l'environnement et les autres usages : « d'où vient l'eau ? » et « où va l'eau ? » ;

La démarche « *Comptabilité physique de l'eau* » propose plusieurs formes de représentation de ces flux et stocks d'eau, sous la forme de schémas et de tableaux, présentés ci-après.

Ces représentations utilisent deux nomenclatures :

- La nomenclature IRWS, qui permet de coder les stocks et flux d'eau. Cette nomenclature inclut plusieurs centaines de codes. Le tableau ci-après présente les principaux, utilisés dans ce rapport.

Tableau 20 : codes IRWS utilisés dans ce rapport

Code IRWS	Élément de données
B.	Entrées d'eau vers les eaux intérieures d'un territoire
B.1....	Précipitations
C.	Sorties d'eau provenant des eaux intérieures d'un territoire
C.1....	Évapotranspiration d'eaux intérieures
C.2....	Sorties d'eau vers des territoires voisins et la mer
C.2.2...	Vers la mer
E.	Prélèvement (soustraction) d'eau
E.1....	En provenance des eaux intérieures
E.1.1...	En provenance des eaux de surface
E.1.2...	En provenance d'eaux souterraines
F.	Eau fournie à d'autres unités économiques
F.1....	Eau fournie par des unités économiques résidentes à d'autres unités économiques résidentes
H.	Restitutions d'eau par des unités économiques à l'environnement
H.1....	Aux eaux intérieures
H.1.1...	Aux eaux de surface
H.1.2...	Aux eaux souterraines
H.2....	À la mer
I.	Pertes d'eau
I.1....	Pertes d'eau (CPC Ver. 2 18000) en cours de distribution

- La nomenclature « CITI », qui permet de coder les activités économiques.

REMARQUES PREALABLES

Il faut noter que ces chiffres reposent sur des hypothèses fortes, car leur quantification fine nécessiterait d'importantes données non disponibles à ce jour. Ces estimations sont donc associées à des incertitudes élevées.

Il s'agit, dans la présente étude ici de **poser un premier cadre « Comptabilité de l'eau » et un premier jeu d'hypothèses, afin d'initier la démarche. Des études complémentaires pourraient venir affiner ou corriger les valeurs proposées.**

En conséquence, ces chiffres doivent être considérés avec grande prudence, et ne doivent pas être utilisés sans compréhension des hypothèses et incertitudes associées.

En outre, on peut noter que la présente étude s'est attachée en grande partie à évaluer les prélèvements d'eau majoritaires sur Madagascar : **les prélèvements pour la riziculture**. L'étude a proposé une évaluation de ces flux dans le temps (valeurs mensuelles) et dans l'espace (par grandes zones), en fonction des conditions hydroclimatiques.

En revanche, plusieurs flux représentés dans les schémas utilisés classiquement pour la comptabilité de l'eau n'ont pas été re-calculés par la présente étude :

- L'étude des flux naturels (Précipitations, Evapotranspiration, Ecoulements, Infiltrations) a fait l'objet d'une étude antérieure (Artelia-2014). Les chiffres présentés ci-après sont issus de cette étude mais sont provisaires à ce jour, en l'attente de correction des calculs de l'étude [Artelia-2014].
- Les flux pour l'industrie et l'hydroélectricité, ainsi que certains détails des flux pour l'eau potable, ont été estimés par l'équipe Waves-Madagascar parallèlement à la présente étude. Ces chiffres sont directement repris ci-dessous. La présente étude n'a pas conduit à re-travailler ces chiffres, en raison de l'insuffisance des données disponibles.

Par ailleurs, il faut noter que ce type de schéma donne une **vision globale** ; à l'échelle moyenne annuelle et nationale. **Dans la pratique, les flux d'eau, leurs valeurs, et leur répartition dans le cycle de l'eau, dépendent fortement de la période de l'année (saison sèche/humide ; saison d'irrigation/saison froide...), de l'année considérée (année sèche/humide...) ; des régions géographiques.**

Ainsi, par exemple (comme expliqué plus bas) :

- **En moyenne annuelle, sur Madagascar**, les prélèvements d'eau nets pour la riziculture peuvent représenter de l'ordre de **2% des ressources en eau** ;
- **Mais au mois d'août, dans la zone de Centre Ouest du pays**, les prélèvements d'eau nets pour la riziculture peuvent représenter de l'ordre de **40 ou 50% des ressources en eau**.

Sur ce sujet, nous proposons une esquisse de bilan usage-ressource en eau au chapitre 6.2.

Il faut également noter que la distinction eaux souterraines / eaux de surfaces dans le calcul des flux et stock n'est pas aisée à l'échelle globale, car il est difficile d'estimer les volumes d'eau souterrains, et qu'il existe des échanges entre nappes et rivières. Ces deux termes (volumes d'eau souterrains ; échanges nappes-rivières) nécessitent des données et une étude hydrogéologique.

Il faut aussi noter que le l'évapotranspiration réelle englobe plusieurs termes. Elle peut s'écrire sous la forme suivante :

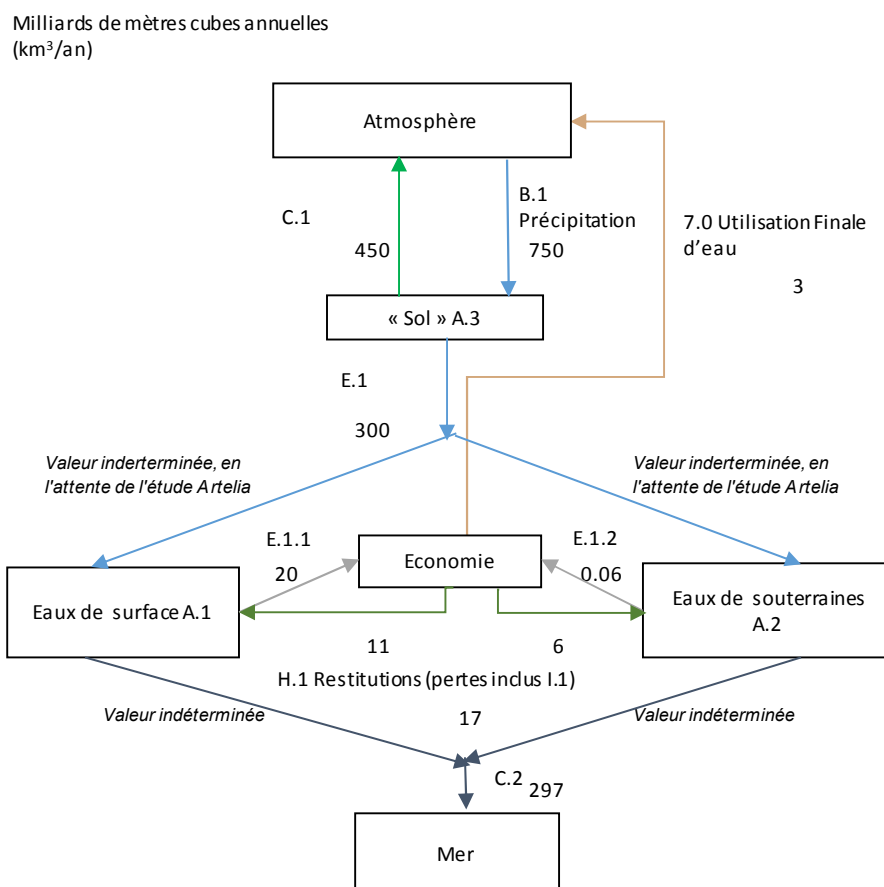
ETR totale = ETR environnement + ETR cultures pluviales + ETR cultures irriguées (riz) + ETR autre usages.

CYCLE DE L'EAU ET COMPTE D'ACTIFS PHYSIQUES D'EAU INTERIEURES*Tableau 21 : Compte d'actifs physiques d'eaux intérieures (en milliards de mètres cubes). Données hydroclimatiques moyennes sur 2001-2013 ; usages économiques actuels*

Compte d'actifs physiques d'eaux intérieures (en milliards de mètres cubes). Données hydroclimatiques <u>moyennes sur 2001-2013</u> ; usages économiques actuels			
	Type de ressources en eau		
	Eaux		Eau du sol
	Eaux de surface	souterraines	
	A.1	A.2	A.3
Restitutions d'eau par des unités économiques (H.1)	11	6	
Précipitations (B.1)			750
Fux en provenance d'autres territoires			
Flux en provenance d'autres ressources en eau intérieures	Valeur indéterminée, en l'attente de l'étude Artelia	Valeur indéterminée, en l'attente de l'étude Artelia	
Prélèvements (E.1)			
aux fins de la production d'hydroélectricité	5		
aux fins de l'irrigation	14		
pour autres usages	1	0.06	
Évaporation et évapotranspiration effective (C.1)			450
Flux vers la mer (C.2.2)	Valeur indéterminée	Valeur indéterminée	
Flux vers d'autres ressources en eau intérieures			Valeur indéterminée, en l'attente de l'étude Artelia

*Nota Bene :**Les chiffres associés à l'industrie et la production d'hydroélectricité sont directement issus des estimations de l'équipe Waves.*

Figure 27 : Cycle de l'eau global annuel de Madagascar (Moyenne 2001-2013 pour les flux naturels ; Estimations actuelles pour les flux économiques)



TABLEAUX DES RESSOURCES ET DES EMPLOIS PHYSIQUES POUR L'EAU

Le tableau emploi-ressource montre les différents flux d'eau dans l'économie. En colonne sont donnés les types d'activité économiques, en ligne les types de flux.

A noter que les volumes associés à l'hydroélectricité, les industries et les services et ménages ont été menés par l'équipe Waves en parallèle de cette étude, et nous intégrons ici directement les valeurs proposées par ce travail. La présente étude n'a pas re-calculé ou modifié ces calculs, en l'absence de données suffisantes. Pour affiner ces estimations, de nouvelles données seraient nécessaires.

Ces valeurs, produites par l'équipe Waves, sont surlignées en orangé dans le tableau et les schémas suivants.

Tableau 22 : Première évaluation des emplois-ressources physiques de l’eau à Madagascar

Principales hypothèses sur la répartition des flux			
Prélèvement brut irrigation		Prélèvement brut AEP	
Besoin de la plante évapotranspiré		Consommation en eau	
Vers l'atmosphère	100%	Vers l'atmosphère	20%
Besoin technique des rizières		Prélèvement brut AEP	
Vers l'atmosphère	20%	Depuis les eaux de surfaces	80%
Pertes par les réseaux et sur les parcelles		Depuis les eaux souterraines	20%
Vers l'atmosphère	0%		

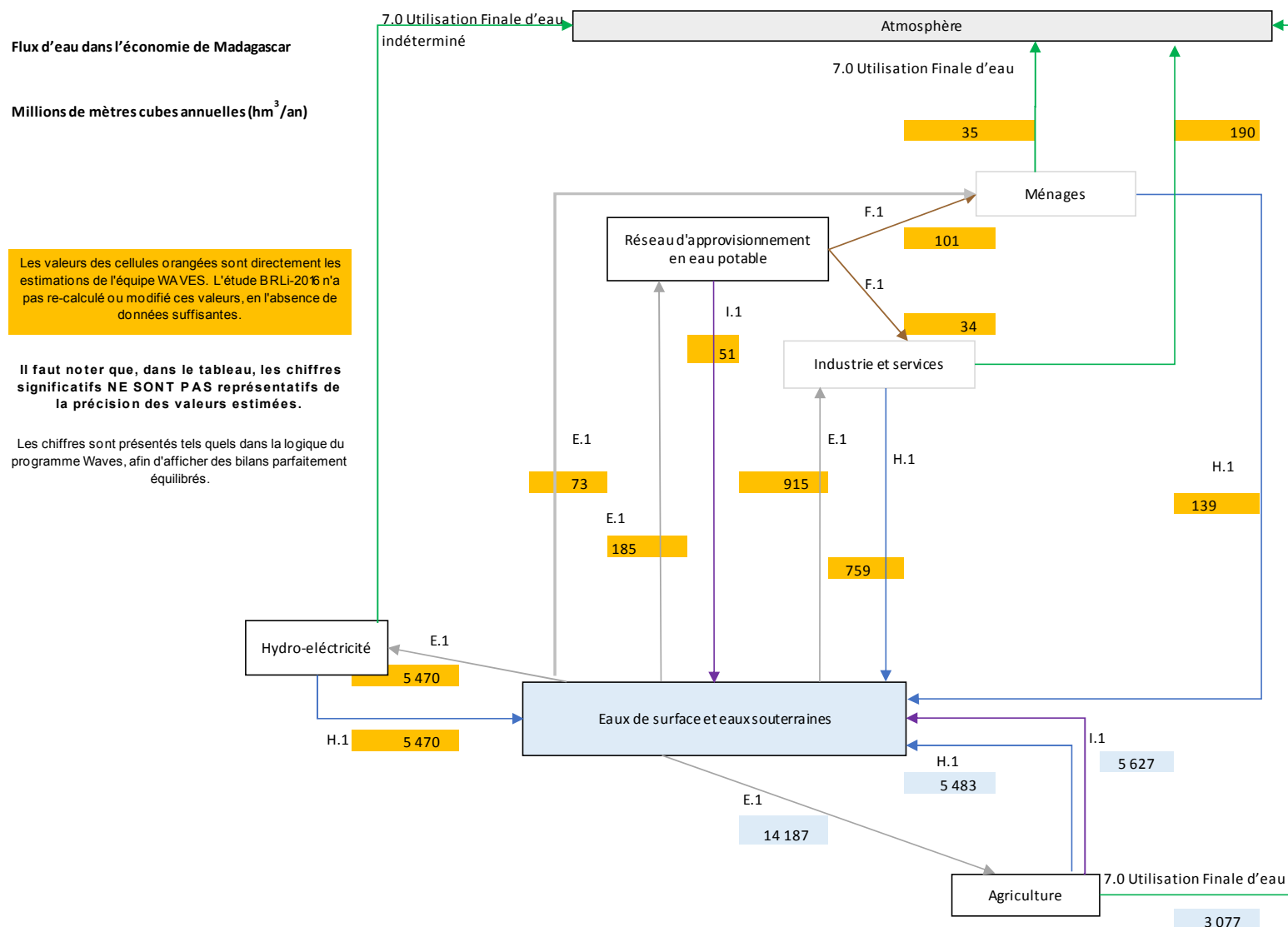
Les valeurs des cellules orangées sont directement les estimations de l'équipe WAVES. L'étude BRLI-2016 n'a pas re-calculé ou modifié ces valeurs, en l'absence de données suffisantes.

Il faut noter que, dans le tableau, les chiffres significatifs NE SONT PAS représentatifs de la précision des valeurs estimées.

Les chiffres sont présentés tels quels dans la logique du programme Waves, afin d'afficher des bilans parfaitement équilibrés.

Tableau des ressources physiques							
code CITI V4	01-03	3600-1	014	3510	05-33,33, 38,39,41-96	3700	
	Agriculture	Approvisionnement d'eau potable (population desservie)	Elevage	Hydroélectricité	Industries et Services	Service d'assainissement	Ménages
Eau potable		134					
Eaux de surfaces							
Eaux souterraines							
Pertes	5 627	51					
Restitutions d’eau	5 483			5 470	759	285	139
Utilisation finale d'eau	2 958		119		190		35
Total	14 068	185	119	5 470	949	285	173

Tableau des emplois physiques							
code CITI V4	01-03	3600-1	014	3510	05-33,33, 38,39,41-96	3700	
	Agriculture	Approvisionnement d'eau potable (population desservie)	Elevage	Hydroélectricité	Industries et Services	Service d'assainissement	Ménages
Eau potable					34		101
Eaux de surfaces	14 068	148	119	5 470	914		
Eaux souterraines		37			1		73
Pertes							
Restitutions d’eau						285	
Utilisation finale d'eau							
Total	14 068	185	119	5 470	949	285	173

Figure 28 : Première représentation des flux d'eau dans l'économie de Madagascar. Millions de m³/an.

6.2 LE BILAN RESSOURCES / DEMANDES EN EAU POUR LA RIZICULTURE

La quantification et la comparaison des demandes en eau et des ressources en eau, à l'échelle mensuelle et par bassins versants, constitue un outil clé pour la gestion intégrée des ressources en eau.

Ce type d'analyse permet d'identifier les périodes de l'année, et les zones géographiques, susceptibles de connaître des déséquilibres quantitatifs (demande en eau proche de la ressource disponible). Cela peut aussi permettre d'identifier les secteurs pour lesquels les ressources en eau sont abondantes, comparativement aux usages existants sur ces territoires, et où il existe donc « de la marge ».

Dans le cadre de la présente étude, nous pouvons **esquisser ce type d'analyse ressources/usages** à très grands traits, mais il n'est pas possible de proposer des conclusions fiables et fines directement applicables pour la gestion intégrée des ressources en eau sur les territoires. En effet :

- Les **incertitudes** sur les données climatiques et hydrologiques, et sur la répartition des surfaces de riz par saison, déjà pointées plus haut dans le rapport, **sont très élevées et pèsent sur les résultats**.
- Cette première esquisse est faite pour des moyennes mensuelles interannuelles et par grandes zones hydrologiques, ce qui est une première approche. Pour une analyse appliquée à la gestion intégrée des ressources en eau sur les territoires, il serait pertinent de considérer la variabilité hydrologique (prise en compte des années sèches et humides) ; et des territoires plus limités (bassins versants, sous-bassins versants).

En outre, pour établir un bilan usage/ressource, il est nécessaire de considérer le « prélèvement net » mensuel : il s'agit du volume d'eau prélevé au mois m par l'utilisateur (les irrigants) et qui ne revient pas au milieu naturel pour le mois m . C'est le volume mobilisé pendant le mois pour les usages (l'irrigation), et qui ne retourne pas directement au milieu.

En calculant ce volume mobilisé, et en le comparant à l'eau disponible dans les cours d'eau, on établit un bilan besoin-ressources, permettant d'évaluer quelle part de la ressource en eau disponible à un mois donnée est utilisée.

A grande échelle, sur les rizières de Madagascar, cette estimation est complexe. En effet, nous avons estimé jusque-là :

- Le besoin pour le développement des plantes (évapotranspiration) ;
- Le besoin technique des rizières (mise en eau, entretien, etc.) ;
- Les volumes perdus sur les réseaux d'adduction et à la parcelle.

La somme de ces trois termes représente le volume brut prélevé : c'est le volume total qui doit être pris dans le milieu naturel pour irriguer une parcelle. Une part de ce volume brut s'évapore ou s'évapotranspire, et une part de ces volumes alimente les autres rizières plus aval (directement ou indirectement) ou rejoint les cours d'eau ou les nappes.

Il s'agit d'estimer la part du prélèvement brut qui est mobilisé par l'irrigation et ne retourne pas au milieu naturel rapidement (au mois m). Cela demanderait de prendre en compte la dynamique des flux d'eau au cours de l'année.

On propose une première approximation de ce volume sur la base des chiffres déjà calculés, comme suit :

$$\text{Prélèvement net} \sim \frac{\text{Evapotranspiration} + \frac{1}{2} \text{volume technique}}{\text{Efficacité } 70\%}$$

Il s'agit d'une première évaluation proposée afin d'esquisser une première démarche besoin-ressource.

Afin de développer une approche plus juste des équilibres besoins-ressources à des échelles plus locales, il serait nécessaire d'approfondir les connaissances sur les flux d'irrigations sur les territoires, accompagné de mesures des débits au droit des rizières.

La comparaison des prélèvements nets à un mois donné avec la ressource disponible ce mois-ci permet de définir l'empreinte des prélèvements sur la ressource. C'est le ratio mensuel [prélèvement net/ressource].

Les figures ci-après présentent, pour les deux hypothèses d'ETP, l'estimation :

- de la ressource en eau ;
- des prélèvements nets pour l'irrigation ;
- de l'empreinte ;

à l'échelle mensuelle et par zone hydrologique.

Ce ratio est difficile à évaluer avec justesse compte tenu des fortes incertitudes déjà évoquées. Cependant, il permet de comparer les zones hydrologiques entre elles.

On estime ainsi des empreintes qui plus élevées sur :

- Les secteurs AB_CO et AB_SE, sur lesquels on estime de grandes surfaces de rizières irriguées ;
- Le secteur AB_SO, marqué par de faibles ressources.

Les secteurs Nord (AB_E, AB_N, AB_NE) présentent des empreintes plus limitées, ce qui peut s'expliquer en partie par des ressources en eau plus élevées.

Figure 29 : Esquisse de bilan
besoin-ressource en eau
mensuel par zone
hydrologique

hypothèse d'ETP
Madaclim ; hypothèse de
surface 1

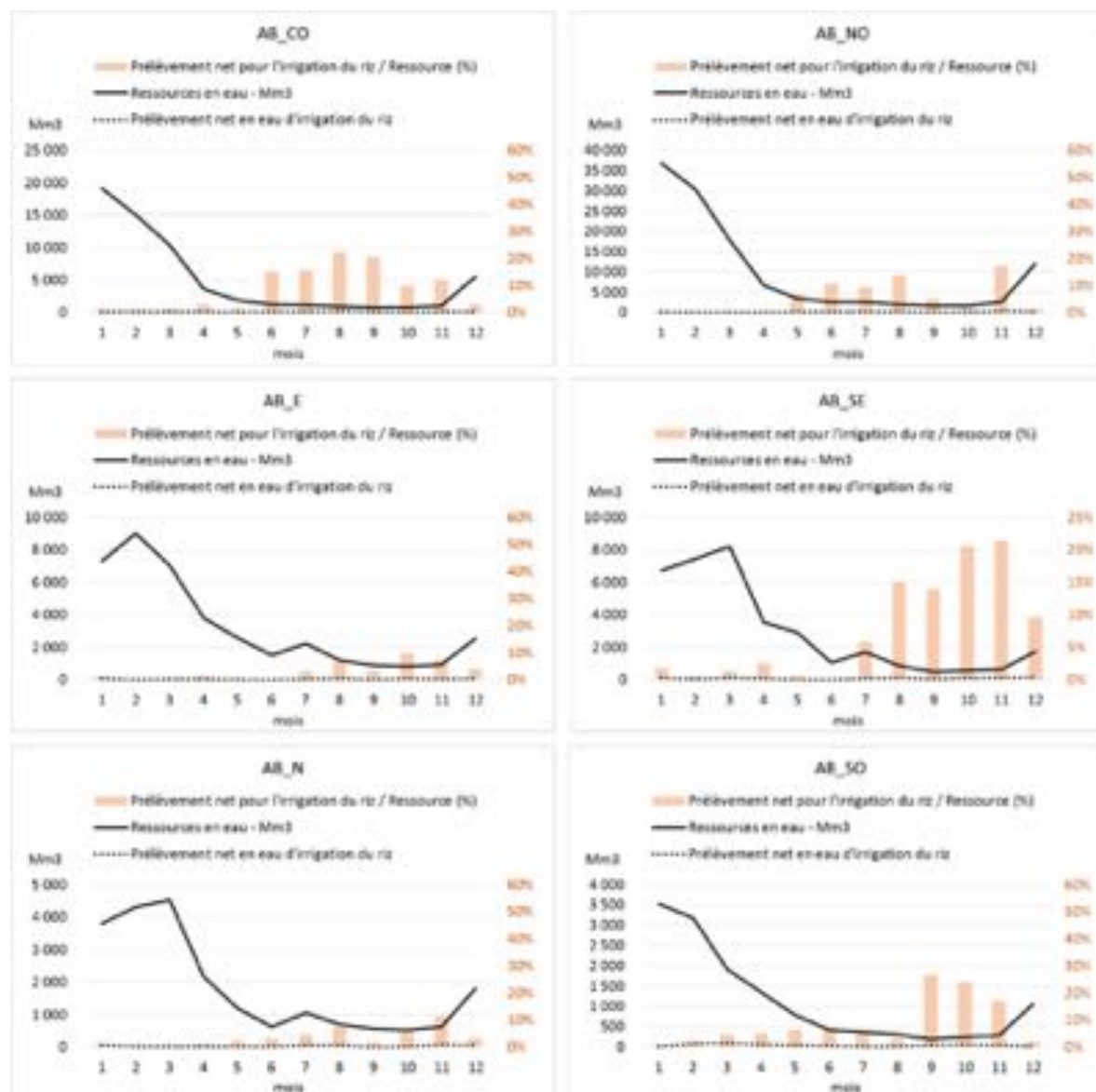
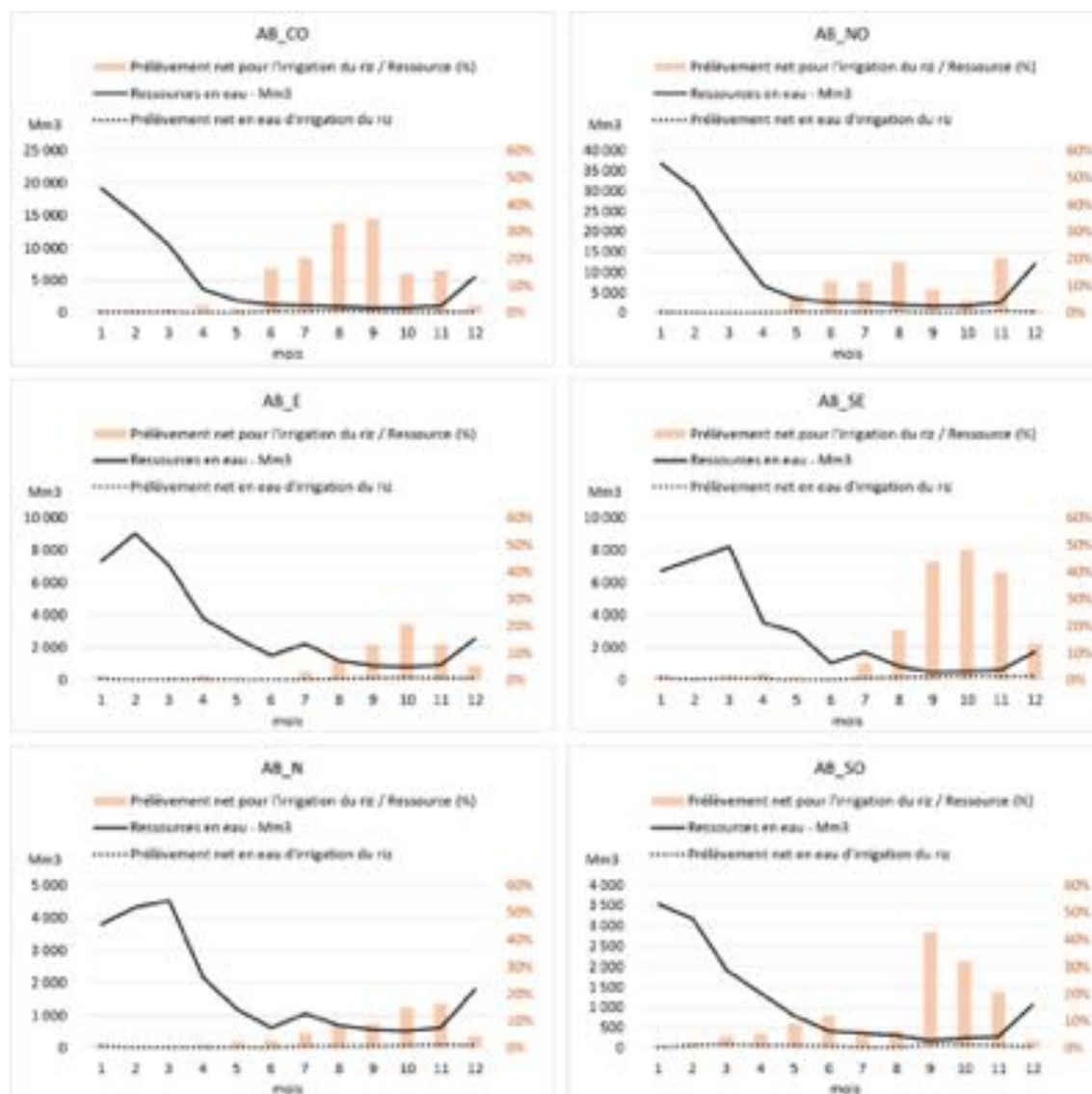


Figure 30 : Esquisse de bilan
besoin-ressource en eau
mensuel par zone
hydrologique

Hypothèse d'ETP EROS
USGS ; hypothèse de
surface 1



B – Comptes monétaires liés à l'eau

1. APPROCHE DETAILLEE SUR DEUX GRANDES ZONES D'IRRIGATION

Les enquêtes de terrains sur les zones rizicoles de Marovoay et du Lac Alaotra, présentées au chapitre A-2.6 ont également porté sur une approche de la valeur ajoutée liée à la culture du riz, afin d'estimer des indicateurs de la « *Comptabilité économique de l'eau* ».

1.1 DEFINITION DES INDICATEURS

Dans le cadre de la comptabilité de l'eau, l'objectif principal est d'évaluer :

- la « valeur ajoutée » de la culture du riz sur ces zones rizicoles,
- la « productivité » de ces activités.

Ce sont les deux indicateurs clés de la méthodologie Waves.

L'encadré ci-après rappelle la définition de ces indicateurs, proposée par la démarche de Comptabilité environnementale et économique de l'eau (« *Guidelines for the Compilation of Water Accounts and Statistics* » – *UNSD, 2014*).

« *Valeur ajoutée (brute) : La valeur de la production moins la valeur de la consommation intermédiaire. (SCN 6.8). La valeur ajoutée est le solde du compte de production (SCN 6.8).*

Consommation intermédiaire : Correspond à la valeur des biens et des services consommés en entrée d'un processus de production, à l'exclusion des actifs fixes dont la consommation est enregistrée comme une consommation de capital fixe (SCN 6.213).

Production : La production se définit comme les biens et services produits par un établissement : a) à l'exclusion de la valeur des biens et services utilisés dans le cadre d'une activité pour laquelle l'établissement n'assume pas le risque d'utilisation des produits dans la production; et b) à l'exclusion de la valeur des biens et services consommés par le même établissement, sauf pour les biens et services utilisés pour la formation de capital (capital fixe ou variations de stocks) ou la consommation finale propre. (SCN 6.89).

Productivité de l'eau : Ratio de la valeur ajoutée brute par les prélèvements en eau ou utilisation de l'eau, pour chaque activité économique. »

Source : Guidelines for the Compilation of Water Accounts and Statistics (SCEE-Eau), UNSD, 2014

Sur cette base, nous pouvons reformuler et préciser ces termes comme suit :

La consommation intermédiaire se définit comme le coût de l'ensemble des intrants (matériels et services) d'une activité économique : engrais, semences, eau, électricité, etc... pour une activité agricole par exemple. Il s'agit des intrants annuels, cela n'inclut pas les investissements de long terme (foncier, machines agricoles, bâtiments...).

La « valeur ajoutée brute » économique se définit comme la différence entre le chiffre d'affaire (ou « production ») et la consommation intermédiaire. (Elle est dite brute car l'usure du capital fixe n'en est pas déduite).

La valeur ajoutée est le concept que l'on utilise pour mesurer la production d'un agent économique (c'est-à-dire d'une firme, d'une administration publique, d'une organisation non-gouvernementale ou d'un ménage) pendant une période donnée (généralement le trimestre ou l'année). On définit la valeur ajoutée comme étant la différence entre la production et la consommation intermédiaire.

La valeur ajoutée brute qui ne tient pas compte de la dépréciation en valeur du capital due à l'usure ou l'obsolescence de ce capital au cours du processus de production, est l'indicateur le plus utilisé par les Comptes Nationaux des Etats ou des Organisations internationales.

Le terme de « **productivité de l'eau** », également nommé « **valeur ajoutée par m³** » peut avoir plusieurs significations, selon les volumes d'eau considérés :

- **La valeur ajoutée par volume prélevé brut total** : On considère le volume prélevé brut total, qui inclut le volume d'eau réellement utilisé par le process et le volume prélevé mais non directement utilisé. Pour l'irrigation des rizières, le volume brut total inclut :
 - le volume d'eau évapotranspiré par la plante ;
 - les volumes d'eau pour les mises en eau et entretien des rizières ;
 - les volumes d'eau perdus par les réseaux d'irrigation.
- **La valeur ajoutée par volume d'eau utilisé, hors perte** : On considère uniquement le volume utilisé, et non les pertes d'eau associées. Ce volume utilisé inclut :
 - le volume d'eau évapotranspiré par les plantes ;
 - les volumes d'eau pour les mises en eau et entretien des rizières.

Les données nécessaires à l'estimation de ces indicateurs économiques ont donc été collectées auprès des agriculteurs des zones rizicoles de Marovoay et du Lac Alaotra. Le travail d'enquêtes et les résultats associés sont présentés dans la suite du chapitre.

1.2 RESULTATS DES ENQUETES DE TERRAIN

Les enquêtes de terrains sur Marovoay et le Lac Alaotra ont permis de dresser les analyses suivantes.

LES CONSOMMATIONS INTERMEDIAIRES

Les données collectées liées au **budget d'exploitation** englobent :

- **les intrants et les différents traitements apportés à la plante pendant sa phase végétative** : il a été remarqué que l'utilisation d'intrants est très limitée à Marovoay et réservée pour les pépinières. Par contre, pour le cas d'Alaotra, l'utilisation d'intrants a été adoptée par les cultivateurs depuis des années (sur pépinière et sur rizière) ;
- **les redevances de frais d'entretien et les différents coûts liés à la maîtrise ou mobilisation des ressources en eau**. Pour le cas de Marovoay, les redevances de frais d'entretien sont variables d'un périmètre à l'autre : valeur très limitée pour les secteurs où aucun projet n'intervient puisque les usagers, valeur plus importante dans le cas où des projets interviennent (paiement d'autre somme à titre de contribution au financement des travaux de réhabilitation) ;
- **les frais liés à la maintenance des bassins** n'ont pas été appréciés et nécessitent une investigation plus ciblée si on veut avoir des valeurs et rapprochement significatif aux périmètres.

Les coûts des intrants, traitements des plantes, et coûts de mobilisation des ressources en eau **constituent les consommations intermédiaires des exploitations**.

En ce qui concerne les budgets d'exploitation, les données recueillies sont assez homogènes et facile à contrôler lors des traitements des données : les enquêtes jugées non fiables n'ont pas été intégrées dans le système de comptage.

Concernant l'utilisation des stations de pompes individuelles, il a été très difficile de valider les données fournies par les concernés, ces derniers n'ont pas en mémoire l'essentiel des données liées directement au coût de mobilisation des ressources en eau.

LE COUT DU TRAVAIL

En complément de ces chiffres, les enquêtes ont également permis de collecter les données liées au budget de travail : bien que ce budget ne soit pas intégré dans le système de comptabilité de l'eau (le coût du travail ne rentre pas dans les consommations intermédiaires), la connaissance de ce budget permettra de réfléchir sur la portée de cette initiative sur les conditions réelles de mise en valeur de ces périmètres :

- les budgets réservés pour la préparation des pépinières, des rizières ;
- les budgets liés à la mise en culture des parcelles jusqu'à la récolte ;

Le mode de mise en valeur agricole a un impact considérable dans la comptabilité financière d'une exploitation :

- pour le cas de Marovoay, le contrat habituel adopte le fait que la moitié de la production appartiendra au propriétaire du terrain ;
- pour le cas d'Alaotra, le coût de métayage est fixé entre 1 tonne et 1,5 tonne de paddy par hectare.

L'ESTIMATION DE LA PRODUCTION ET SA VALEUR ECONOMIQUE

La valeur des productions agricoles des exploitations enquêtées ont été estimées à partir de la connaissance des surfaces, rendement, et prix du paddy.

La connaissance des surfaces est évaluée sur la base des données de déclarations et d'entretien, cela est présenté au chapitre A-2.6.2.

Les rendements avancés sont des valeurs déclarées par les cultivateurs enquêtés. La connaissance de ces rendements permet d'estimer la production brute valorisée utilisée dans la comptabilité.

- Pour le cas de Marovoay, les rendements sont de l'ordre de 2 tonnes à 2,5 tonnes dans la majorité des cas ;
- Pour le cas d'Alaotra : les rendements sont plus importants et peuvent atteindre 4 tonnes par hectare en moyenne.

La fluctuation du prix du paddy pendant toute l'année : la connaissance de cette variable permettra de calculer les équivalents monétaires des paiements effectués en nature dans le cadre du budget de travail. Pendant la période de récolte, les cultivateurs peuvent prendre le choix de vendre les paddy immédiatement après la récolte, ou d'attendre les périodes favorables pour la vente des produits.

1.3 L'ESTIMATION DE LA VALEUR AJOUTÉE BRUTE DES PERIMETRES IRRIGUES

La valeur ajoutée brute est la valeur obtenue par soustraction de la consommation intermédiaire de la production valorisée. On considère **la valeur ajoutée brute des rizières enquêtées**. Elle est calculée directement à partir des résultats des enquêtes, et présentée sous forme monétaire.

Pour le calcul de la valeur ajoutée des rizières rapporté au m³ d'eau, on utilise l'estimation des volumes d'eau prélevés et utilisés par des rizières, présentée au chapitre A-2.6.3. Deux indicateurs sont calculés :

- **La valeur ajoutée brute des rizières rapportée au volume brut total d'eau prélevé** (incluant les pertes des réseaux d'irrigation) ;
- **La valeur ajoutée brute des rizières rapportée au volume utilisé** (sans inclure les pertes des réseaux d'irrigation).

On rappelle que l'estimation de ces volumes prélevés reste théorique (calculée sur la base d'hypothèses et d'un modèle de besoin des plantes), en l'absence de mesures de ces volumes. En conséquence, le calcul de la valeur ajoutée par m³ comporte des incertitudes notables.

Les tableaux ci-dessous synthétisent les résultats sur les secteurs enquêtés de Marovoay et du Lac Alaotra.

Marovoay

Les valeurs ajoutées et valeurs ajoutées par m³ sont calculées pour chaque secteur enquêté de Marovoay. **Les valeurs ajoutées, rapportées aux prélèvements en eau totaux, représentent 75 Ar/m³ à 115 Ar/m³ selon les secteurs.**

A l'échelle de la zone étudiée de Marovoay, on estime :

- Une valeur ajoutée de 1,5 millions d'Ariary par hectare physique ;
- Une valeur ajoutée moyenne de 190 Ariary par m³ d'eau utilisé (utilisé pour les besoins des plantes et les besoins de mise en eau des rizières).
- Une valeur ajoutée moyenne de 110 Ariary par m³ d'eau prélevé total (incluant les pertes du réseau d'irrigation).

Lac Alaotra

Les valeurs ajoutées, rapportées aux prélèvements en eau totaux, représentent 200 Ar/m³ à 360 Ar/m³ selon les secteurs enquêtés du Lac Alaotra.

A l'échelle de la zone étudiée du Lac Alaotra, on estime :

- Une valeur ajoutée de 2 millions d'Ariary par hectare ;
- Une valeur ajoutée moyenne de 490 Ariary par m³ d'eau utilisé (volume utilisé pour les besoins des plantes et les besoins de mise en eau des rizières).
- Une valeur ajoutée moyenne de 300 Ariary par m³ d'eau prélevé total (incluant les pertes du réseau d'irrigation).

Analyse

Le tableau ci-après permet de comparer, pour l'ensemble des secteurs enquêtés :

- la consommation intermédiaire (hors redevances AUE) par hectare économique ;
- les redevances AUE par hectare physique ;
- la valeur ajoutée brute par hectare économique ;
- la valeur ajoutée brute par m³ d'eau prélevé et utilisé.

Pour analyser ces chiffres, il faut rappeler les points suivants :

- **Pour tous les secteurs, les volumes d'eau utilisés et prélevés sont calculés de manière théorique par un même modèle de besoin en eau des plantes**, faute de mesures existantes. Cela conduit à une approximation des volumes d'eau réels. Ce calcul :
 - Permet de différencier les volumes d'eau consommés par secteurs selon les conditions climatiques et les saisons d'irrigation pratiquées ;
 - Mais ne permet pas de différencier les volumes d'eau consommés par secteurs selon les pratiques d'irrigation.

Ainsi, pour une saison d'irrigation donnée, dans des conditions climatiques données, les volumes d'eau calculés sont équivalents. Les volumes perdus sont également équivalents, calculés à partir d'une hypothèse de 40% de perte.

- **En revanche, les données économiques sont basées sur les données de terrain.** Ainsi, ce qui diffère par secteurs selon les pratiques sont :
 - La production rizicole par hectare ;
 - Les coûts (consommations intermédiaires) par hectare.
- Par ailleurs, on rappelle que :
 - Sur le Lac Alaotra, il n'y a pas de double-culture sur un même périmètre.
 - Sur Marovoay, on constate de la double culture sur certain périmètre. Cela est pris en compte dans l'analyse des chiffres, et la distinction surfaces physique/économique. Cela explique les volumes prélevés par hectare physique nettement plus élevés sur Marovoay.

L'analyse du tableau amène aux commentaires suivants :

- **Les volumes d'eau prélevés par hectare économique sont nettement plus faibles sur le Lac Alaotra** (environ 7 000 m³/ha/an) que sur Marovoay (environ 11 000 m³/ha/an).

En effet, le riz est principalement cultivé en saison des pluies sur le Lac Alaotra, contrairement à la zone de Marovoay sur laquelle du riz est pratiqué en saison Vary Atriatry et Vary Jeby (saison sèche).

- **La valeur ajoutée brute par hectare économique varie entre 900 000 Ar/ha et 2 500 000 Ar/ha. Globalement, elle est plus élevée sur les secteurs du Lac Alaotra.**

Cette différence ne s'explique pas par les consommations intermédiaires (plus élevées sur le Lac Alaotra), mais **s'explique par des rendements nettement plus élevés sur cette zone rizicole :**

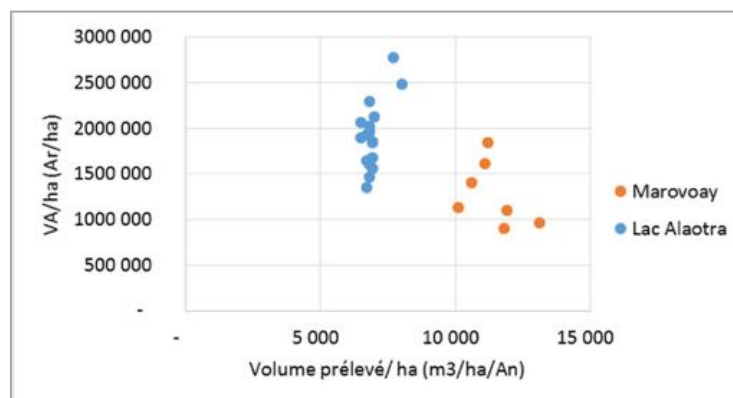
- Adoption de la riziculture améliorée en termes d'itinéraire technique ;
- Utilisation de fertilisation ;
- Adoption d'une demi-jachère des parcelles (durée minimale de 5 mois) compte tenu du fait qu'il n'y a qu'une saison ;
- Etc.
- **En conséquence de ces deux facteurs, on observe que la valeur ajoutée par m³ est nettement plus élevée sur les secteurs du Lac Alaotra que sur Marovoay.**

La valeur ajoutée par m³ prélevée brute est comprise entre 70 et 180 Ar/m³ sur Marovoay. Elle est comprise entre 200 et 360 Ar/m³ sur le Lac Alaotra.

Autrement dit, **la productivité de l'eau est plus forte sur le Lac Alaotra**, associée à une irrigation en saison des pluies d'une part, et des rendements élevés sur ce secteur d'autre part, comparativement à Marovoay.

Le graphique ci-dessous représente, par secteur, les valeurs ajoutées brutes en fonction des volumes d'eau utilisés.

Figure 31 : Valeur ajoutée brute par hectare, en fonction des volumes d'eau prélevés estimés par hectare, sur les secteurs enquêtés.



Il est également possible d'analyser le ratio inverse, « volume d'eau utilisé / valeur ajoutée brute ». Ce ratio peut être interprété comme le **volume d'eau nécessaire pour produire 1000 Ariary de valeur ajoutée brute**. Sur le Lac Alaotra, on estime ainsi que 2 à 3 m³ d'eau utilisés permettent de produire 1000 Ariary de valeur ajoutée. Sur Marovoay, il faut 4 à 8 m³ d'eau pour produire 1000 Ariary de valeur ajoutée.

Ces analyses sur la productivité de l'eau posent la question de la **marge possible d'amélioration de cette productivité de l'eau des périmètres rizicoles**, via l'amélioration des **rendements**, l'accès à l'eau, ou l'optimisation des volumes d'eau utilisés. Sur la base de la connaissance des périmètres rizicoles étudiés, on peut apporter les commentaires suivants :

- Pour Marovoay :
 - **Le rendement moyen sur Marovoay est de 2,5 t/ha ;**
 - Les rendements pourraient être améliorés par le retour aux calendriers culturels initiaux (adoption du vary jeby) - mais à condition que l'accès à l'eau soit assuré - et l'amélioration des techniques culturales, la mise en repos (demi-jachère – dans les circonstances actuelles les parcelles sont toujours imbibées d'eau du fait de l'absence de calendrier culturel fixe pour tout le monde) ;
- Pour Alaotra :
 - **Le rendement moyen sur Alaotra est de 4 t/ha ;**
 - Les rendements pourraient être améliorés par l'accès à l'eau, la durée du cycle culturel (repiquage tardif en février moins productif) et les itinéraires techniques.

Tableau 23 : Evaluation, par secteur enquêté de : la consommation intermédiaire, les redevances AUE, les volumes d'eau prélevés, la valeur ajoutée brute par hectare, la valeur ajoutée brute par m³ d'eau prélevé.

		Consommations intermédiaires (hors redevances)	Redevances AUE	Volume utilisé estimé par ha économique	Volume prélevé estimé par ha économique	Valeur ajoutée brute par ha économique	Valeur ajoutée par m3 d'eau utilisé (hors perte)	Valeur ajoutée par m3 d'eau prélevé (incluant pertes)	m3 d'eau utilisé pour obtenir une VA de 1000 Ar (m3/VA)
Zone	Périmètre Irrigué	Ar/ha économique	Ar/ha physique	m3/ha/an	m3/ha/an	Ar/ha	Ar/m3	Ar/m3	m3 / 1000 Ar
Lac Alaotra	PI Lovoka	150 000	25 000	4 620	7 700	2 780 000	605	363	2
Lac Alaotra	PI PC 23 NORD	450 000	30 000	4 080	6 800	2 300 000	568	341	2
Lac Alaotra	PI Anony	410 000	29 000	3 900	6 500	2 070 000	530	318	2
Lac Alaotra	PI Ivakaka	230 000	7 000	4 800	8 000	2 480 000	515	309	2
Lac Alaotra	PI Ilakana	430 000	15 000	4 200	7 000	2 130 000	509	306	2
Lac Alaotra	PI SAHAMALOTO	450 000	30 000	4 080	6 800	2 020 000	496	298	2
Lac Alaotra	PI Imamba	130 000	7 000	3 900	6 500	1 900 000	484	290	2
Lac Alaotra	PI PC 23 SUD	460 000	60 000	4 080	6 800	1 960 000	479	288	2
Lac Alaotra	PI SAHAMILAHY	450 000	30 000	4 020	6 700	1 930 000	479	287	2
Lac Alaotra	PI Andranofotsy / Ambatoharanana	270 000	15 000	4 140	6 900	1 860 000	452	271	2
Lac Alaotra	PI Andingadingana	220 000	35 000	4 140	6 900	1 850 000	448	269	2
Lac Alaotra	PI Manamontana	320 000	14 000	4 020	6 700	1 650 000	409	246	2
Lac Alaotra	PI Tsaramora MAFI	160 000	10 000	4 140	6 900	1 680 000	406	244	2
Lac Alaotra	PI SAHAMENA	430 000	30 000	4 080	6 800	1 610 000	396	238	3
Lac Alaotra	PI Mangalaza	260 000	4 000	4 080	6 800	1 600 000	394	237	3
Lac Alaotra	PI PC15/Vallée Marianina	330 000	60 000	4 140	6 900	1 560 000	377	226	3
Lac Alaotra	PI Behengitra	140 000	10 000	4 080	6 800	1 470 000	361	217	3
Lac Alaotra	PI Besomangana	390 000	5 000	4 020	6 700	1 350 000	336	201	3
Marovoay	Secteur S 2	60 000	33 000	6 060	10 100	1 130 000	306	102	5
Marovoay	Secteur S 1	40 000	20 000	6 360	10 600	1 400 000	254	125	5
Marovoay	Secteur S 5	80 000	14 000	6 720	11 200	1 850 000	209	183	4
Marovoay	Secteur S 4	70 000	24 000	6 660	11 100	1 610 000	171	152	4
Marovoay	Secteur S 3	110 000	12 000	7 140	11 900	1 100 000	154	92	6
Marovoay	Secteur S 6	140 000	12 000	7 080	11 800	900 000	126	76	8
Marovoay	Secteur S 8 grav	140 000	12 000	7 860	13 100	960 000	121	73	8
Moyenne des secteurs		252 800	21 720	4 896	8 160	1 726 000	383	230	3

Tableau 24 : Evaluation des valeurs ajoutées par secteur rizicole enquêtés sur Marovoay, et détails des calculs

		Secteur S 1	Secteur S 2	Secteur S 3	Secteur S 4	Secteur S 5	Secteur S 6	Secteur S 8 grav	Synthèse
Surface physique totale (ha)		2 760	731	2 673	2 181	1 833	2 354	457	12 989
Surface d'application saison 1 (Asara)		534	190	1 698	254	94	311	-	3 082
Surface d'application saison 2 (Atriatry)		458	541	743	520	792	960	229	4 242
Surface d'application saison 3 (Jeby)		1 400	29	1 359	1 279	1 021	1 051	229	6 366
Surface d'application saison 4 (Dimby halotra 1)		153	42	-	-	273	-	-	468
Surface d'application saison 5 (Dimby halotra 2)		-	-		801	273	383	-	1 457
Surface économique totale		2 545	802	3 800	2 854	2 453	2 704	457	15 614
Rubriques	unité	Secteur S 1	Secteur S 2	Secteur S 3	Secteur S 4	Secteur S 5	Secteur S 6	Secteur S 8 grav	Synthèse
Besoin net en eau total (eau utilisée)	Mm3	17	5	27	18	15	19	4	105
Consommation nette d'eau totale (incluant pertes)	Mm3	28	9	45	30	25	32	6	176
Volume prélevé estimé par ha économique	m3/ha/an	11 160	11 100	11 947	10 582	10 070	11 797	13 129	11 240
Production totale	t	7 121	1 854	8 078	8 358	8 646	4 963	918	39 937
Production valorisée totale	Millions Ar	3 723	982	4 631	4 835	4 764	2 820	505	22 259
Consommations intermédiaires									
Semence	Ar/ha	39 508	44 750	76 500	58 101	64 400	55 023	55 023	
Engrais sur pépinière	Ar/ha	2 800	15 333	15 120	5 802	14 000	66 000	66 000	
Fumier de parc sur pépinière	Ar/ha	750	-	-	-	3 200	15 000	15 000	
Engrais sur rizière	Ar/ha	-	-	-	-	-	-	-	
Traitement phytosanitaire	Ar/ha	8 667	-	18 000	2 800	1 960	-	-	
Consommations intermédiaires	Ar/ha économique	42 308	60 083	109 620	66 702	83 560	136 023	136 023	
Redevances AUE	Ar/ha physique	20 000	33 000	12 400	23 625	14 333	12 000	12 000	
Autres frais ? : bassins versants ?	Ar/ha	-	-	-	-	-	-	-	
Consommations intermédiaires totales	Millions Ar	163	72	450	242	231	396	68	1 622
Valeur ajoutée									
Valeur ajoutée brute	Millions Ar	3 560	909	4 182	4 593	4 532	2 424	437	20 637
Valeur ajoutée brute par ha physique	Ar/ha	1 289 896	1 243 921	1 564 436	2 105 836	2 472 678	1 029 636	956 810	1 588 845
Valeur ajoutée brute par ha économique	Ar/ha	1 398 877	1 134 081	1 100 408	1 609 373	1 847 765	896 362	956 810	1 321 668
Valeur ajoutée par m3 d'eau utilisé (Besoin net)	Ar/m3	209	171	154	254	306	126	121	196
m3 d'eau utilisé par valeur ajoutée	m3/1000 Ar	5	6	7	4	3	8	8	5
Valeur ajoutée par m3 d'eau prélevé (incluant pertes)	Ar/m3	125	102	92	152	183	76	73	118

Tableau 25 : Evaluation des valeurs ajoutées par secteur rizicole enquêtés sur le Lac Alaotra, et détails des calculs

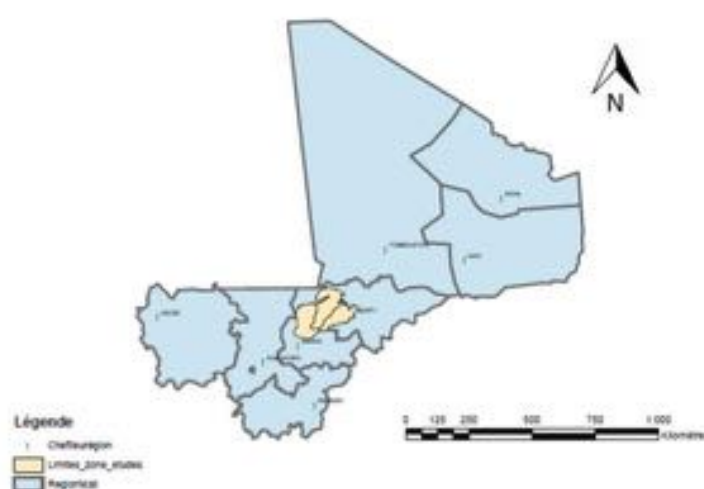
Périmètre Irrigué		PI Andingadingana	PI Andranofotsy / Ambatoharanana	PI Anony	PI Behengitra	PI Besomangana	PI Ilakana	PI Imamba	PI Ivakaka	PI Lovoka	PI Manamontana	PI Mangalaza	PI PC15/Vallée Marianina	PI PC 23 NORD	PI PC 23 SUD	PI SAHAMALOTO	PI SAHAMENA	PI SAHAMILAHY	PI Tsaramora MAFI	Synthèse
Surface physique totale (ha)		511	349	10 185	316	911	4 363	1 305	1 988	1 136	900	178	3 852	5 163	5 328	6 400	806	1 910	1 025	46 113
Surface d'application 1 (repiquage nov)		255,5	174,58	363	79	46	3 054	112	231	-	113	45	2 008	1 033	1 598	1 920	201	191	513	11 935
Surface d'application 2 (repiquage déc)		255,5	174,58	1 605	237	683	1 091	349	1 196	311	675	134	1 845	3 614	3 197	3 200	564	1 528	513	21 171
Surface d'application 3 (repiquage janv)				6 543		182	218	651	748	311	113			516	533	1 280	40	191	-	11 326
Surface d'application 4 (repiquage fév)				1 674		-	-	193	242	-	-			-	-		-	-	-	2 109
Surface d'application 5 (repiquage Juillet - Saison 2)										514										514
Surface économique totale (ha)		511	349	10 185	316	911	4 363	1 305	2 417	1 136	900	178	3 852	5 163	5 328	6 400	806	1 910	1 025	46 113
Besoin net en eau total (eau utilisée)	Mm3	2	1	40	1	4	18	5	10	5	4	1	16	21	22	26	3	8	4	191
Consommation nette d'eau totale (incluant pertes)	Mm3	4	2	66	2	6	30	9	16	9	6	1	27	35	36	43	5	13	7	318
Volume prélevé estimé par ha économique	m3/ha/an	6 883	6 883	6 499	6 775	6 688	6 970	6 539	6 596	7 667	6 721	6 775	6 892	6 753	6 797	6 797	6 775	6 710	6 883	6 889
Production valorisée totale	Millions Ar	1 075	752	25 475	512	1 582	11 228	2 651	5 488	3 361	1 783	332	7 514	14 358	13 203	16 045	1 672	4 593	1 891	113 516
Consommations intermédiaires																				
Semences	Ar/ha	191 333	150 200	88 000	85 500	48 000	129 500	17 000	113 333	60 000	231 000	205 000	128 840	137 000	140 000	56 000	109 000	228 000	88 000	
Engrais sur pépinière (urée)	Ar/ha	-	1 600	39 600	10 800	-	21 500	11 000	42 000	-	-	-	11 500	5 500	10 800	19 733	24 000	-	-	12 000
Engrais sur rizière (NPK)	Ar/ha	-	-	118 750	-	-	-	-	-	-	-	-	81 800	270 000	-	183 333	260 000	165 000	-	-
Engrais sur rizière (urée)	Ar/ha	-	-	49 500	-	-	-	-	-	-	-	-	20 000	-	270 000	102 667	-	-	-	-
Fumier sur pépinière	Ar/ha	9 167	20 400	45 000	27 000	45 000	28 000	40 000	26 667	10 000	10 000	10 000	25 800	12 000	24 000	13 333	25 000	30 000	36 000	
Fumier de parc sur rizière	Ar/ha	-	67 400	45 000	-	270 000	135 000	-	-	45 000	45 000	-	-	-	-	-	-	-	-	
Traitement desherbage 1	Ar/ha	13 000	3 000	16 667	12 000	12 000	23 000	11 000	22 000	17 000	-	16 500	13 400	11 000	9 625	29 333	10 500	8 250	12 000	
Traitement desherbage 2	Ar/ha	-	-	-	-	-	-	2 000	10 000	-	-	-	-	-	-	10 000	-	-	-	-
Traitement phytosanitaire	Ar/ha	3 750	25 950	2 667	6 600	10 400	40 900	24 000	8 000	16 000	31 000	28 500	10 450	12 500	8 250	3 667	6 000	15 000	8 800	
Vitamine	Ar/ha	-	-	-	-	-	-	-	-	3 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coût de suivi irrigation	Ar/ha	-	4 000	-	-	-	50 000	20 000	5 000	-	-	-	38 400	-	-	35 500	-	-	-	-
Consommations intermédiaires totales	Ar/ha économique	217 250	272 550	405 183	141 900	385 400	427 900	125 000	227 000	151 000	317 000	260 000	330 190	448 000	462 675	453 567	434 500	446 250	156 800	
Redevances AUE	Ar/ha physique	35 000	15 000	28 750	10 000	5 000	15 400	7 000	7 000	25 000	14 000	4 000	60 000	30 000	60 000	30 000	30 000	30 000	10 000	
Autres frais ? : bassins versants ?	Ar/ha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Consommations intermédiaires totales	Millions Ar	129	100	4 420	48	356	1 934	172	562	200	298	47	1 503	2 468	2 785	3 095	374	910	171	19 572
Valeur ajoutée																				
Valeur ajoutée brute	Millions Ar	946	651	21 056	464	1 227	9 294	2 479	4 926	3 161	1 485	285	6 011	11 890	10 418	12 950	1 297	3 683	1 720	93 944
Valeur ajoutée brute par ha physique	Ar/ha	1 851 500	1 864 950	2 067 317	1 466 850	1 347 100	2 130 113	1 899 401	2 477 616	2 782 136	1 650 250	1 603 500	1 560 417	2 303 000	1 955 325	2 023 433	1 610 500	1 928 550	1 678 200	2 037 277
Valeur ajoutée brute par ha économique	Ar/ha	1 851 500	1 864 950	2 067 317	1 466 850	1 347 100	2 130 113	1 899 401	2 038 138	2 782 136	1 650 250	1 603 500	1 560 417	2 303 000	1 955 325	2 023 433	1 610 500	1 928 550	1 678 200	2 037 277
Valeur ajoutée par m3 d'eau utilisé (Besoin net)	Ar/m3	448	452	530	361	336	509	484	515	605	409	394	377	568	479	496	396	479	406	493
m3 d'eau utilisé par valeur ajoutée	m3/Ar	0.0022	0.0022	0.0019	0.0028	0.0030	0.0020	0.0021	0.0019	0.0017	0.0024	0.0025	0.0027	0.0018	0.0021	0.0020	0.0025	0.0021	0.0025	0.0020
Valeur ajoutée par m3 d'eau prélevé (incluant pertes)	Ar/m3	269	271	318	217	201	306	290	309	363	246	237	226	341	288	298	238	287	244	296

1.4 COMPARAISON AVEC D'AUTRES PAYS : RIZIERES AU MALI

Il s'agit ici de comparer les indicateurs calculés dans le cadre de la présente étude avec d'autre pays. L'analyse ci-dessous compare :

- Les indicateurs calculés sur les **rizières du Lac Alaotra et de Marovoay (Madagascar)** ;
- Les indicateurs calculés sur **des rizières au Mali**, dans le cadre du *projet d'accroissement de la Productivité agricole au Mali (PAPAM) - Étude du Programme d'Aménagement Hydro-Agricole (PAHA) de la zone Office du Niger (ON)*⁶. projet conduit récemment par BRLi. La figure ci-dessous permet de localiser la zone d'étude de ce projet.

Figure 32 : Zone Office du Niger, considérée pour l'étude PAHA au Mali.



Remarques préalables sur la comparaison entre pays et entre études

Comme déjà expliqué tout au long du rapport, le calcul des indicateurs repose sur un ensemble d'hypothèses qui peuvent peser sur les résultats, et varier d'une étude à l'autre. Aussi, il faut être prudent dans la comparaison des chiffres entre études, qui ne sont pas toujours exactement comparables.

Dans le cas présent, on note que le calcul du besoin en eau (volume utilisé) pour les rizières :

- Est basé sur une année climatique moyenne calculée sur 10 ans pour la présente étude ;
- Est basé sur une année climatique « quinquennale sèche » dans l'étude du programme d'Aménagement Hydro-Agricole (PAHA) de la zone Office du Niger.

Ainsi, les volumes d'eau utilisés dépendent des statistiques considérées, lesquelles dépendent également des périodes considérées (prise en compte de la sécheresse des années 1970, etc.).

⁶ BRLi, 2015, pour le compte du Ministère du développement rural

Comparaison des indicateurs

Nous avons ramenés les chiffres de l'étude PAHA-Mali en Ariary malgaches. Nous utilisons le taux de change : 1 F CFA = 5.485 Ar (valable à la date du 25/05/2016).

On observe sur les deux territoires (à Madagascar et au Mali) étudiés des gammes de rendement proches, avec des écarts davantage liées aux saisons et méthodes agricoles à l'intérieur de chaque pays.

De même, on observe que les **valeurs ajoutées brute par hectare**, pour les deux secteurs, sont dans des plages proches, avec des écarts observés à l'intérieur des pays :

- **1,5 à 2 millions d'Ariary/ha sur Marovoay et Lac Alaotra (Madagascar) ;**
- **0.7 à 3.4 millions d'Ariary/ha sur la zone office du Niger du Mali, selon les saisons et pratiques culturelles.**

Sur le Mali, on observe à la fois :

- une production valorisée plus élevée, associée à un prix unitaire du riz plus fort ;
- et des consommations intermédiaires plus élevées.

On observe des **besoins en eau nettement plus importants au Mali, ce qui s'explique par des conditions climatiques très différentes**⁷ :

- Sur la zone Office du Niger, la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 450 mm/an (et 240 mm/an en année quinquennale sèche).
- Sur le Lac Alaotra et Marovoay, la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1 500 mm/an.

In fine, la valeur ajoutée brute par m³ d'eau utilisée est de :

- 200 à 490 Ar/m³ utilisé sur le Lac Alaotra et Marovoay ;
- 75 à 370 Ar/m³ utilisé sur la zone Office du Niger au Mali, selon les saisons et pratiques culturelles.

	Rendement (t/ha)	Prix unitaire (Ar/t)	Production valorisée totale (Ar/ha)	Consommation intermédiaire (Ar/ha)	Valeur ajoutée brute (Ar/ha)	Besoin en eau (m3/ha/an)	Valeur ajoutée par m3 utilisé (Ar/m3)
Lac Alaotra	4.0	575 000	2 462 000	424 000	2 037 000	4 100	493
Marovoay	2.5	560 000	1 714 000	125 000	1 589 000	8 100	196
Mali - ON - Riz hivernage - maîtrise totale	5.9	861 000	5 081 000	1 650 000	3 431 000	9 200	374
Mali - ON - Riz contre saison - maîtrise totale	4.5	861 000	3 875 000	1 387 000	2 488 000	11 900	209
Mali - ON - Riz hivernage - submersion contrôlée	2.0	861 000	1 750 000	1 057 000	693 000	9 200	75
Attention : - besoin en eau pour les années quinquennales sèches, dans l'étude Mali. - besoin en eau pour les années moyennes dans l'étude Madagascar							

⁷ On rappelle que le calcul de ces volumes diffèrent pour les deux études.

ANNEXES

Annexe 1. Notice pour l'utilisation de la plateforme Excel

VUE D'ENSEMBLE

Organisation des fichiers

La plateforme mise en place au cours de la présente étude comporte 4 fichiers sous tableur Excel.

- **Les volets « AEP-Elevage » et « Irrigation »** déroulent les calculs permettant l'estimation des consommations en eau et des prélèvements bruts pour l'eau potable, l'élevage, et l'irrigation, tels que présentés aux chapitres 2, 3 et 4 du rapport.
- **Le volet « Comptes de l'eau »** permet la construction des tableaux et figures associées à la démarche « Comptabilité de l'eau ». Il prend comme données d'entrée :
 - Les résultats des volets « AEP-Elevage » et « Irrigation », à copier-coller dans des cadres prévus ;
 - Des résultats produits par l'équipe WAVES concernant les flux pour l'industrie, l'hydroélectricité, et certains détails des flux pour l'eau potable, à renseigner directement ;
 - Les résultats provisoires de l'étude Waves-Artelia-2014 concernant les flux naturels, et en l'attente de correction par le bureau d'étude.
- **Le volet « Bilan_besoin_ressource »** permet une première estimation des prélèvements nets mensuels pour la riziculture, et une première esquisse de bilan besoins-ressources en eau par grandes zones hydrologiques sur Madagascar. Ce volet déroule l'ensemble des calculs qui alimentent le chapitre « 3.2 - bilan ressources/usages de l'eau » du rapport.

Leur contenu est détaillé plus bas.

Code couleur

Pour l'ensemble de feuilles Excel, un code couleur est proposé (dans la mesure du possible) :

- Les cellules **jaunes** sont des données ou hypothèses, aisément modifiables par l'utilisateur.
- Les cellules **grises** correspondent à la structure du fichier et aux calculs (formules Excel) : elles ne sont pas modifiables par l'utilisateur a priori. Il est nécessaire de bien maîtriser l'outil et les formules pour intervenir sur ces cellules.
- Dans les « Comptes de l'eau », les valeurs estimées par l'équipe WAVES et reportées dans les tableaux sont en **orangé**.

VOLET « AEP - ELEVAGE »

Ce volet comporte trois onglets pour l'estimation des prélèvements d'eau de l'élevage :

- **« Elevage_1_Données »** : A partir des estimations de cheptel par région (modifiables par l'utilisateur) et des hypothèses de consommations en eau des animaux (modifiables par l'utilisateur), une estimation des prélèvements en eau par région est faite.
- **« Elevage_2_Calcul »** : Un croisement SIG a été réalisé entre les régions et les zones hydrologiques de l'étude. Cet onglet calcule les prélèvements en eau pour chaque zone d'intersection des régions et zones hydrologiques, au prorata des surfaces. Ce calcul va permettre de passer de l'échelle des régions à l'échelle des zones hydrologiques. Il est assuré par les formules Excel (pas d'intervention prévue de l'utilisateur).
- **« Elevage_3_Résultats »** : A partir de l'onglet précédent, cet onglet calcule les prélèvements en eau pour l'élevage pour les 6 grandes zones hydrologiques. Ce calcul est assuré par les formules Excel (pas d'intervention prévue de l'utilisateur).

Le volet comporte également trois onglets pour l'estimation des prélèvements pour l'eau potable, selon une logique similaire.

- « **AEP_1_Données** » : A partir :
 - des estimations de population totale par district (modifiables par l'utilisateur),
 - et des estimations de taux de raccordement aux réseaux de distributions par région (modifiables par l'utilisateur),

la feuille estime, pour chaque district, la population desservie et non desservie.

- « **AEP_2_Calcul** » : Un croisement SIG a été réalisé entre les districts et les zones hydrologiques de l'étude. Cet onglet estime les populations desservies et non desservies pour chaque zone d'intersection des régions et zones hydrologiques, au prorata des surfaces. Ce calcul va permettre de passer de l'échelle des districts à l'échelle des zones hydrologiques. Il est assuré par les formules Excel (pas d'intervention prévue de l'utilisateur).
- « **AEP_3_Résultats** » :
 1. A partir de l'onglet précédent, cet onglet estime les populations desservies et non desservies pour les 6 grandes zones hydrologiques. Ce calcul est assuré par les formules Excel (pas d'intervention prévue de l'utilisateur).
 2. A partir de ces populations et d'hypothèses sur les consommations en eau (modifiables par l'utilisateur, et discutées au chapitre 3) ; l'onglet calcul les consommations totales en eau potable par zone hydrologique.
 3. A prenant en compte des taux de perte sur les réseaux de distribution, l'onglet estime les prélèvements bruts pour l'eau potable par zone hydrologique.
 4. Les volumes totaux à l'échelle de Madagascar sont estimés en prenant en compte les deux jeux de données sur les populations :
 - Les populations calculées par zone hydrologiques ;
 - Les données du GTT eau à l'échelle nationale.

Dans les onglets « Résultats », **l'encadré Vert correspond à la partie à copier-coller dans le fichier Excel « Comptes_eau » de la plateforme. Il est préférable de copier les valeurs en dur (et non pas les formules)** pour éviter les connexions entre fichiers Excel, qui peuvent provoquer des problèmes.

VOLET « IRRIGATION »

Le volet irrigation comporte un ensemble d'onglets, qui sont listés et présentés dans le tableau ci-après. Le schéma plus bas permet de comprendre le rôle de chaque onglet dans la chaîne de calcul.

La structure générale est la suivante :

- **Les onglets « Hypothèses »** contiennent la majorité des hypothèses et données d'entrée modifiables par l'utilisateur. **L'intervention de l'utilisateur se fait majoritairement dans ces onglets :**
 - Choix des données de surfaces de riziculture ;
 - Choix des données climatiques ;
 - Autres hypothèses de calcul.
- L'onglet « **Résultats ZoneHydro** » fournit les résultats : les estimations de consommations en eau et prélèvements bruts pour l'irrigation, à l'échelle mensuelle, et par zone hydrologique. Ces volumes sont calculés automatiquement par des formules à partir des autres onglets. L'utilisateur peut lire les résultats, mais n'intervient pas *a priori*.

- **Les onglets « A », « B », « C », ... « H » sont le cœur du modèle de besoin des plantes.** Chaque onglet correspond à une zone climatique. Pour chaque zone climatique, un calendrier cultural présentant 2 saisons de culture est pris en compte. Cet onglet calcule :
 - Les besoins en eau pour la croissance des plantes, en fonction des données climatiques, selon le calcul expliqué au chapitre 2.3.2.
L'utilisateur peut modifier la valeur de la réserve utile initiale et les valeurs de coefficients culturaux K_c .
En revanche, il n'est pas prévu a priori que l'utilisateur modifie les dates du calendrier cultural : cela est possible mais nécessite la modification de plusieurs formules, et donc une bonne maîtrise des calculs proposés.
 - Les volumes techniques (mise en eau, entretien, etc) pour les rizières.

La somme de ces deux termes représente **les besoins en eau totaux unitaires des rizières**.

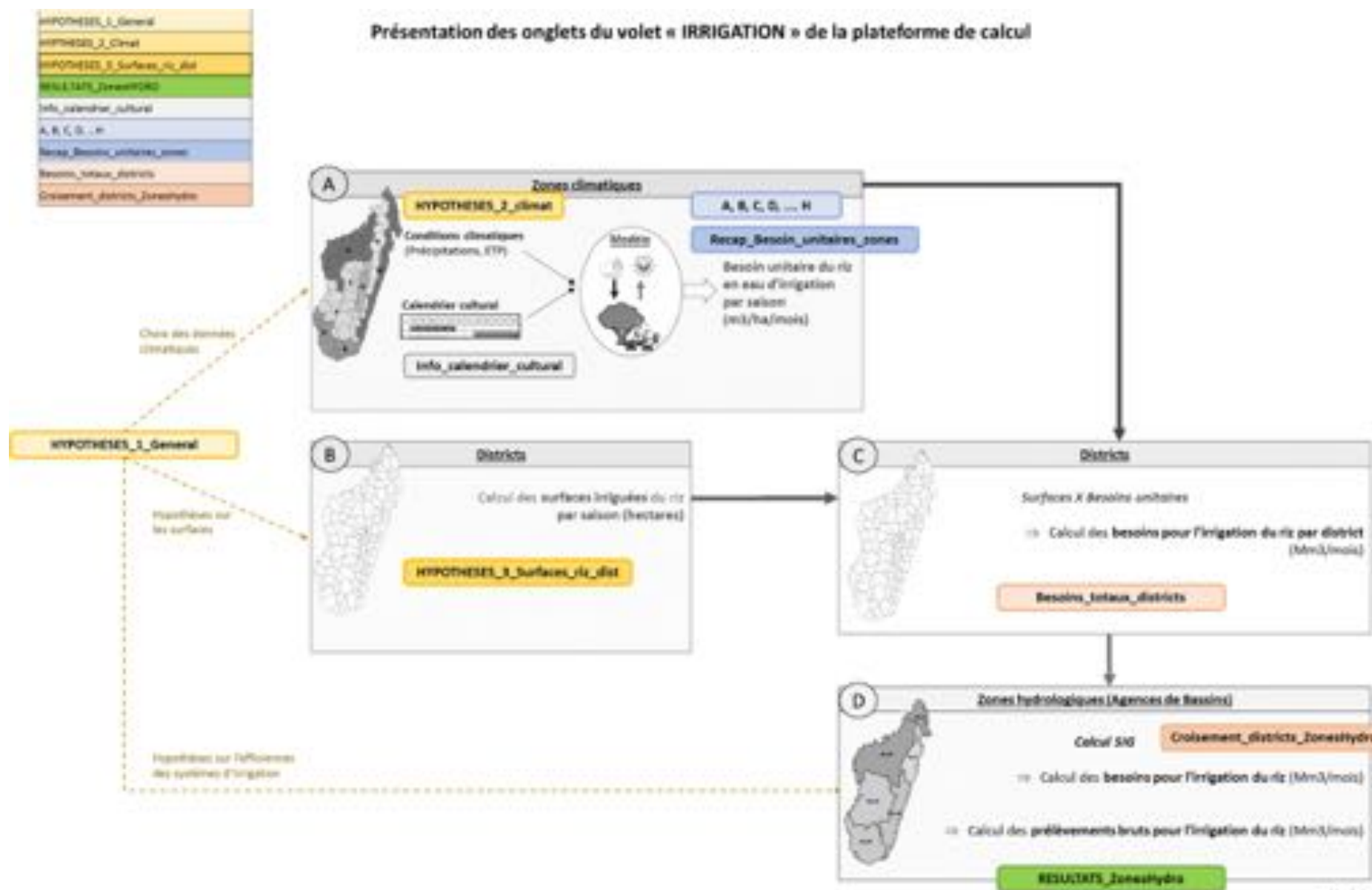
L'onglet « Recap_Besoin_unitaires_zone » récapitule les résultats des 8 onglets sous la forme d'un tableau de synthèse.

- Les onglets suivants permettent de passer de ces besoins en eau unitaires par zone climatique, aux résultats finaux sur les zones hydrologiques.
 - **« Besoins_totaux_districts »** : A partir des calculs des besoins en eau des rizières pour chaque zone climatique, sont déduits les besoins en eau par districts, en prenant en compte les surfaces irriguées sur chaque saison.
 - **« Croisement_districts_ZonesHydro »** : A l'issue d'un croisement SIG avec les zones hydrologiques, les besoins en eau d'irrigation par zone hydrologiques sont estimés.

Les résultats finaux sont donnés dans l'onglet « Résultats_ZoneHydro ».

Tableau 26 : Organisation du volet « Irrigation » de la plateforme

Onglet	Contenu
DONNEES ET HYPOTHESES	
HYPOTHESES_1_General	<p>Dans cet onglet, l'utilisateur peut choisir les hypothèses de calcul :</p> <ul style="list-style-type: none">- hypothèse sur le choix des données d'évapotranspiration ;- hypothèse sur les surfaces de rizières irriguées en saison 1 et 2.- hypothèse sur le coefficient d'efficience du mode d'irrigation et d'adduction. <p>Ces hypothèses sont automatiquement utilisées dans les onglets suivants pour le calcul des prélèvements en eau.</p>
HYPOTHESES_2_Climat	<p>Cet onglet renseigne les moyennes climatiques pour les précipitations et l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculées sur la période 2001-2013 et sur chaque grande zone climatique, à partir de différentes sources de données.</p> <p>Les données climatiques (Précipitations et ETP moyennes) par zone climatique peuvent être modifiées par l'utilisateur.</p> <p>Ces valeurs sont utilisées dans les onglets A, B, C, D, ..., H pour le calcul des besoins en eau d'irrigation du riz.</p>
HYPOTHESES_3_Surfaces_riz_dist	<p>Les données de statistiques nationales fournissent des surfaces de rizières par districts. Ces valeurs peuvent être modifiées par l'utilisateur.</p> <p>Ces surfaces sont en partie cultivées en saison 1, en partie cultivées en saison 2, mais cette répartition n'est pas connue.</p> <p>A partir des hypothèses posées dans l'onglet "HYPOTHESES_1_General", on estime les surfaces de rizières cultivées en saison 1 et 2 pour chaque district. Cela peut également être modifié par l'utilisateur.</p>
NB : les onglets A, B, C, D, ... H (voir plus bas) contiennent également des hypothèses modifiables par l'utilisateur.	
RESULTATS	
RESULTATS_ZonesHYDRO	<p>Cet onglet donne les résultats des calculs : Il estime, pour chaque zone hydrologique, le besoin en eau total des rizières et le prélèvement brut estimé.</p>
Information	
Info_calendrier_cultural	<p>Cet onglet est donné à titre informatif. renseigne le calendrier cultural utilisé pour chaque saison d'irrigation (1 et 2) et pour chaque zone climatique (A, B, C, D ...H). Le même calendrier est pris en compte dans les onglets A, B, C, D, ... H pour le calcul des besoins en eau d'irrigation des rizières. Cet onglet n'alimente par les autres onglets par des formules excel, il est donné pour information.</p>
CALCULS	
Calcul des besoins en eau unitaire par zone climatique (m3/ha)	
A, B, C, D, ...H	<p>Chaque onglet A, B, C, D, ... H présente la même structure. Ces onglets font le calcul, pour chaque zone climatique, des besoins unitaires en eau d'irrigation pour 1 hectare de rizière.</p> <p>Il prend en compte le calendrier cultural et les conditions climatique de chaque zone.</p>
Recap_Besoins_unitaires_zones	<p>Cet onglet fait la synthèse des résultats des onglets A, B, C, D, ...H. Il résume, par zone climatique, le besoin unitaire en eau d'irrigation. On a, par zone climatique, un besoin en m3/ha/mois.</p>
Calcul des besoins en eau des rizières par zone hydrologique (m3)	
<p>On souhaite ensuite estimer les besoins en eau totaux : il faut multiplier les besoins unitaires par les surfaces irriguées, pour chaque saison.</p> <p>On va donc travailler à <u>l'échelle des districts</u>, pour lesquels on dispose de données de surface.</p> <p>In fine, on souhaite disposer d'une estimation à <u>l'échelle des zones hydrologiques</u>. On va donc croiser les districts avec ces zones hydrologiques.</p> <p>Les étapes sont donc :</p> <ul style="list-style-type: none">- calcul des surfaces par districts- calcul des besoins en eau par district- croisement des districts et des zones hydrologiques- résultats : besoins en eau par zone hydrologique	
Besoins_totaux_districts	<p>Pour chaque district, on estime le besoin en eau total des rizières à partir :</p> <ul style="list-style-type: none">- des surfaces irriguées dans le district (issues de l'onglet "HYPOTHESES_3_Surfaces_riz_dist") ;- des besoins en eau unitaires de la zone climatique correspondante (issus de l'onglet "Recap_Besoins_unitaires_zones").
Croisement_districts_ZonesHydro	<p>Cet onglet fait le croisement entre les districts et les zones hydrologique, à partir d'un travail SIG.</p>



VOLET « COMPTES DE L'EAU »

L'organisation des onglets « Comptes de l'eau » est la suivante :

- Dans les 4 premiers onglets, l'utilisateur doit renseigner les résultats issus des étapes précédentes pour le calcul des flux :
 - **Onglet « Flux naturels »** : Il s'agit ici de renseigner les résultats issus de l'étude Waves-Artelia-2014 pour les variables : Précipitations, Evapotranspiration réelle, Eaux de surface, Eaux souterraines. A ce jour (juillet 2016), les valeurs renseignées sont provisoires, en l'attente de correction des calculs d'Artelia. La distinction eaux de surface/eaux souterraines n'est pas renseignée à ce stade, car en l'attente des résultats de l'étude.
 - **Onglets « Irrigation », « AEP », « Elevage »** : Les valeurs de ces onglets proviennent directement des volets « AEP-Elevage » et « Irrigation » de la plateforme, présentés plus haut. L'utilisateur doit copier-coller les tableaux de résultats (encadrés en vert) depuis ces volets vers le fichier « Comptes_eau ». **Il est fortement recommandé de copier uniquement les valeurs (en dur), et non pas les formules, afin d'éviter tout problème Excel.**

A noter que l'information contenue dans ces 4 onglets est plus riche que l'information nécessaire dans la suite du fichier Excel : classiquement, la démarche de la comptabilité de l'eau ne prend en compte que les valeurs nationales et moyennes annuelles.

Cependant, il peut être intéressant de disposer, au besoin, des valeurs déclinées à l'échelle mensuelle (pour l'irrigation et les flux naturels) ou à l'échelle géographique (par grandes zones hydrologiques).

- L'onglet « **Calcul_intermédiaire** » propose une vision globale des flux d'eaux économiques (sur Madagascar et moyenne annuelle). Il tente de proposer une vision de flux d'eau d'entrée : « d'où vient l'eau ? » en fonction des milieux de prélèvement ; et des flux d'eau de sortie « où va l'eau ? » pour les grands secteurs usagers de l'eau. Cela appelle les onglets précédents, et repose sur un ensemble d'hypothèses. Les hypothèses sont présentées en bas de la feuille Excel et modifiables par l'utilisateur. Les cellules orangées correspondent à des valeurs non calculées par la présente étude mais estimée par l'équipe Waves et intégrées à la plateforme. Elles sont également modifiables par l'utilisateur.
- Les onglets « **Schema_cycle_1** » et « **Schema_cycle_2** » donne une vision d'ensemble du cycle de l'eau à Madagascar. Les valeurs sont calculées par des formules, qui appellent directement les onglets précédents.
- L'onglet « **Compte_actifs** » correspond au Tableau 21 du présent rapport. Les valeurs sont calculées à partir des onglets précédents.
- L'onglet « **Emploi_Ressource** » fournit le tableau emploi-ressource. Les valeurs proviennent pour partie des onglets précédents, et pour partie de l'intégration des calculs de l'équipe Waves. Les cellules orangées correspondent à des valeurs non calculées par la présente étude mais estimée par l'équipe Waves et intégrées à la plateforme. Elles sont modifiables par l'utilisateur.
- L'onglet « **Schéma_flux_éco** » fournit un schéma des flux à travers les secteurs économiques. Les valeurs sont calculées par des formules appelant l'onglet « Emploi_Ressource ».

VOLET « BILAN_BESOIN_RESSOURCE »

Le volet « **Bilan_besoin_ressource** » est indépendant des autres volets. Ce volet correspond au travail proposé au chapitre 6.2 « Bilan ressources / demandes en eau pour la riziculture ».

Ce fichier propose une première estimation des prélèvements nets pour la riziculture sur Madagascar, et une esquisse de bilan besoins/ressources en eau mensuel à l'échelle des grands bassins hydrographiques.

1 - Prélèvements nets pour la riziculture

Pour établir un bilan usage/ressource, il est nécessaire de considérer le « prélèvement net » mensuel : il s'agit du volume d'eau prélevé au mois m par l'utilisateur (les irrigants) et qui ne revient pas au milieu naturel pour le mois m . C'est le volume mobilisé pendant le mois pour les usages (l'irrigation), et qui ne retourne pas directement au milieu.

Ce volume inclut :

- le volume évapotranspiré par les rizières au mois m ,
- et les volumes d'eau complémentaires nécessaires au mois m et qui n'auraient pas encore été pourvus par les restitutions des rizières amont au mois m .

Autrement dit, Il s'agit d'estimer la part du prélèvement brut qui est mobilisé par l'irrigation et ne retourne pas au milieu naturel rapidement (au mois m). Une estimation fine de cette grandeur demanderait de prendre en compte la dynamique des flux d'eau au cours de l'année. On propose ici une **première approximation** de ce volume sur la base des chiffres déjà calculés, comme suit :

$$\text{Prélèvement net} \sim \frac{\text{Evapotranspiration du riz} + \frac{1}{2} \text{volume technique}}{\text{Efficience 70\%}}$$

Le fichier Excel décline l'ensemble de la chaîne de calcul permettant d'aboutir à ce calcul. Dans la pratique, l'organisation du fichier Excel est très similaire au volet « IRRIGATION » déjà présenté plus haut. **L'organisation des onglets est similaire, mais les calculs sont différents :**

- Dans les onglets « **A** », « **B** », « **C** », etc. , le modèle calcule pour chaque zone climatique le volume :
« **Evapotranspiration du riz + 1/2 volume technique des rizières** » (le numérateur, dans la formule ci-dessus).
- Le **coefficient d'efficience** pris en compte n'a pas la même signification et valeur (paramétrable par l'utilisateur dans l'onglet « **HYPOTHESES_1_Général** »).
- In fine, l'onglet « **RESULTATS_ZonesHydro** » calcule les **prélèvements nets mensuels** pour les rizières selon la formule citée :

$$\text{Prélèvement net} \sim (\text{Evapotranspiration du riz} + 1/2 \text{ volume technique}) / (\text{Efficience 70\%})$$

Le prélèvement net est différent du prélèvement brut, calculé par le volet « Irrigation ». Le prélèvement net représente **la part du prélèvement brut qui est mobilisée par l'irrigation et ne retourne pas au milieu naturel rapidement (au mois m)**.

Le schéma ci-après donne une vision d'ensemble de la logique de l'outil de calcul.

2 - Bilan besoin-ressource

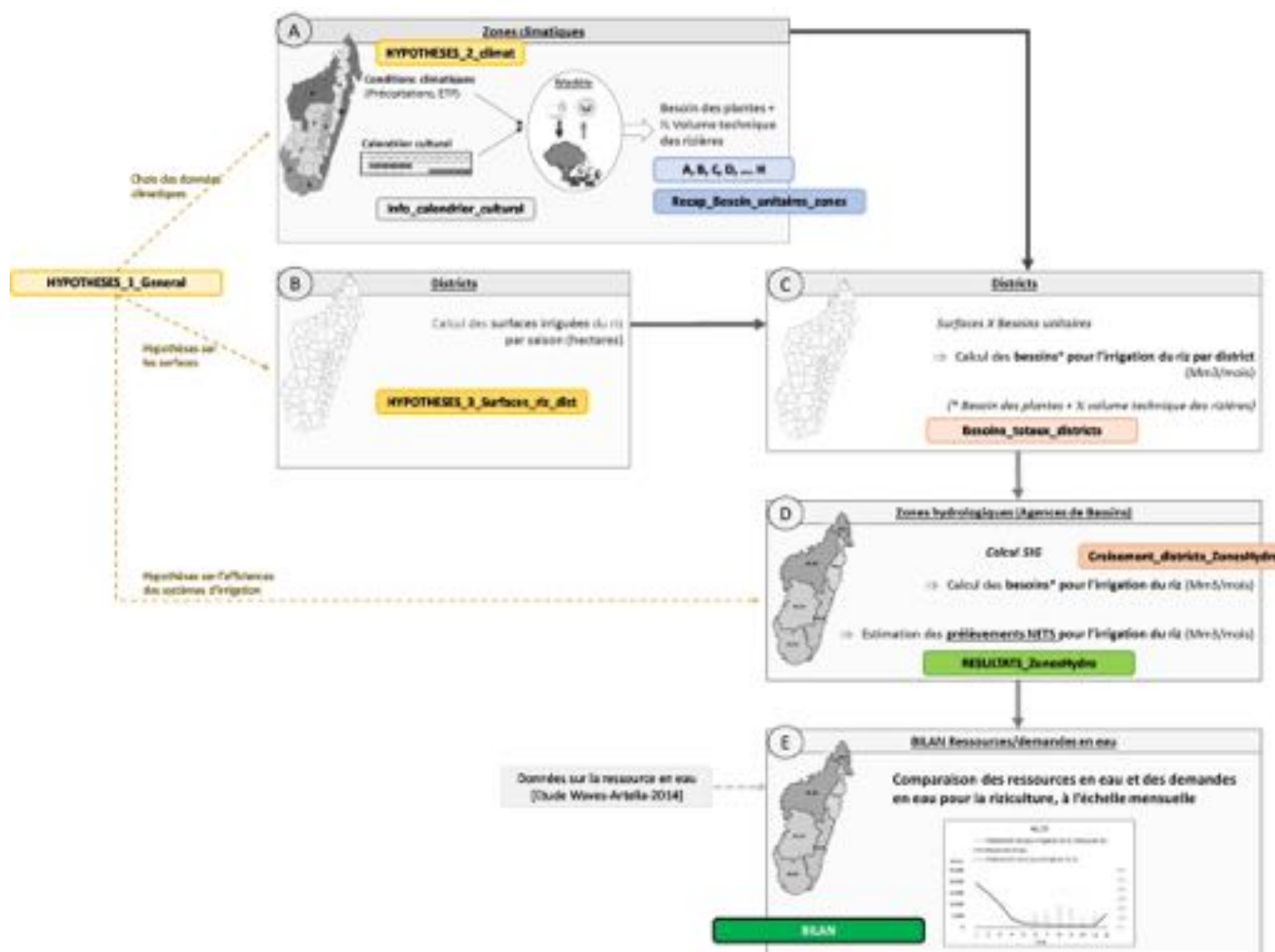
Ce bilan permet de comparer :

- Les prélèvements nets à un mois donné pour la riziculture,
- la ressource disponible ce mois-ci : A noter que cette estimation est issue de l'étude Waves-Artelia (2014) : les valeurs sont **provisoires**, en l'attente de correction par Artelia.

Ce bilan est réalisé dans l'onglet "**BILAN**".

Il s'agit d'une première esquisse, compte tenu des **fortes incertitudes** sur les valeurs à ce jour. La comparaison des prélèvements nets à un mois donné avec la ressource disponible ce mois-ci permet de définir l'empreinte des prélèvements sur la ressource. C'est le ratio mensuel [prélèvement net/ressource].

Figure 33 : Organisation du volet « Bilan besoin-ressource » de la plateforme



Annexe 2. Compléments d'informations issues des enquêtes de terrain sur Marovoay et le Lac Alaotra

BARRAGES DE DERIVATION SUR LA ZONE RIZICOLE DU LAC ALAOTRA

District Ambatondrazaka :

Périmètre	Type d'ouvrages	Superficie		Communes
		Irrigable	Irrigué	
TanambaoBesakay	Barrage dérivation	3150	2834	TanambaoBesakay
Soalazaina	Barrage dérivation	1150	50	Soalazaina
Ambatateza	Néant	305	5	Bejofo
Maharivana	Prises individuelles	3 000	0	BejofoRanomainty
Mahalavadia	Récupération	286	146	Suburbaine
Andingadingana	Barrage de dérivation	511	0	Ambatondrazaka
Lohafasika II	Néant	246	0	Suburbaine
Ambodikininina	Néant	20	0	Suburbaine
Ampasambazimba	Barrage de dérivation	268	30	AmbatondrazakaUrb
Mangalaza	Barrage de dérivation	178	28	Feramanga Nord
Plaine Ambato	Néant	1 380	0	Feramanga Nord et Ambatondrazaka Suburbaine
Manamontana RD	Barrage de dérivation	1 044	600	Ambohitsilaozana
Manamontana RG	Barrage de dérivation	1 011	0	Ambandrika
Andrangorona	Barrage de dérivation	900	100	Ambatosoratra
Lohafasika	Néant	428	428	
Andranomena	Barrage de retenue	300	300	Amparihitsokatra
Madiorano	Néant	200	0	
Antsahambary	Néant	198	175	Amparihitsokatra
Lovoka	Barrage de dérivation	1 673	563	Imerimandroso, Andromba, Antanandava
Andemademaka	Inconnu	50	50	Manak'Est
Anosivola	Inconnu	200	200	Manak'Est
Andranomalaza	Inconnu	87	87	Manak'Est
Sahamalaza	Inconnu	30	30	Manak'Est
Analavory	Inconnu	200	200	Manak'Est
Antokazo	Inconnu	150	150	Manak'Est
Plaine de Makak'Est	Inconnu	583	100	Manak'Est
Sahabevary	Inconnu	500	0	Manak'Est
Ranomena	Barrage dérivation	1 400	1 400	Manak'Est
Ankaiafo	Inconnu	1 000	0	DIDY
Ambodifano	Inconnu	1 000	0	DIDY
Amboarabe	Inconnu	600	0	DIDY

District Amparafaravola :

Périmètres	Type d'ouvrages	Superficie (ha)		Communes
		Irrigable	Irrigué	
PC 23 Aval	Barrage de dérivation	17 576	6 500	Morarano Chrome-Ranomainty
PC 23 Amont	Récupération vallée latérale	7 100	3 530	Ranomainty, Ampasikely
Besomangana	Barrage de dérivation	870	870	Ambatomainty, Ampasikely
Imamba	Barrage de dérivation	1 788	788	Ambohimandroso
Ivakaka	Barrage de dérivation	7 000	1 880	Amparafaravola
Sahavina	Inconnu	50	50	Vohimena
Vohitraivo	Inconnu	400		Vohimena
Ankaiafo	Barrage de dérivation	1 140	186	Andrebakely Nord
Andrebakely	Inconnu	100	100	Andrebakely Nord
Befody	Inconnu	200	200	Andrebakely Nord
Ambodisakoana	Inconnu	300	300	Vohimena
Ankarongana	Inconnu	50	50	Vohimena
Ranomainty	Barrage de dérivation	200	100	Ranomainty
Ampasika	Inconnu	300	0	Andilana Nord
Bedidy	Inconnu	500	0	Bedidy

Les calendriers culturels et surfaces associées - Lac Alaotra

Périmètre Irrigué	Surface physique totale (ha)	Surface d'application 1 (repiquage nov)	Surface d'application 2 (repiquage déc)	Surface d'application 3 (repiquage janv)	Surface d'application 4 (repiquage fév)	Surface d'application 5 (repiquage Juillet - Saison 2)	Surface économique totale (ha)
PI Andingadingana	511	256	256				511
PI Andranofotsy / Ambatoharanana	349	175	175				349
PI Anony	10185	363	1605	6543	1674		10185
PI Behengitra	316	79	237				316
PI Besomangana	911	46	683	182			911
PI Ilakana	4363	3054	1091	218			4363
PI Imamba	1305	112	349	651	193		1305
PI Ivakaka	1988	231	1196	748	242		2417
PI Lovoka	622		311	311		514	1136
PI Manamontana	900	113	675	113			900
PI Mangalaza	178	45	134				178
PI PC15/Vallée Marianina	3852	2008	1845				3852
PI PC 23 NORD	5163	1033	3614	516			5163
PI PC 23 SUD	5328	1598	3197	533			5328
PI SAHAMALOTO	6400	1920	3200	1280			6400
PI SAHAMENA	806	201	564	40			806
PI SAHAMILAHY	1910	191	1528	191			1910
PI Tsaramora MAFI	1025	513	513				1025
Synthèse	46113	11935	21171	11326	2109	514	47055