HAL
open science

Les disparités de consommation en eau au sein d'un périmètre rizicole irrigué (PC15-vallée Marianina. Région Alaotra-Mangoro. Madagascar)

Kenji Fujiki, Michel Mietton, Andrianalanoro Désiré, Andrianatsitohaina Tsito

To cite this version:

Kenji Fujiki, Michel Mietton, Andrianalanoro Désiré, Andrianatsitohaina Tsito. Les disparités de consommation en eau au sein d'un périmètre rizicole irrigué (PC15-vallée Marianina. Région Alaotra-Mangoro. Madagascar). Dynamiques Environnementales - Journal international des géosciences et de l'environnement, 2013, Chemins et territoires de l'eau dans les pays de la ceinture tropicale. Ressources et patrimoines, 32, pp.76-101. halshs-01721377v2

HAL Id: halshs-01721377

https://hal.science/halshs-01721377v2

Submitted on 26 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Les disparités de consommation en eau au sein d'un périmètre rizicole irrigué (PC15-vallée Marianina. Région Alaotra-Mangoro. Madagascar.)

Kenji Fujiki*, Michel Mietton*, Désiré Andrianalinoro**, Andrianatsitohaina Rakotoarimanana***

*Université Lyon 3 J. Moulin CRGA – UMR 5600 EVS CNRS ; ** BRL Madagascar ; *** Projet BVLac Ambatondrazaka

Résumé.

Au sein de la cuvette du lac Alaotra, le plus grand « grenier à riz » de Madagascar, le périmètre rizicole irrigué PC15-Vallée Marianina connaît sur 4000 ha parmi les plus forts rendements de l'île (4 tonnes de paddy par hectare en moyenne). La problématique de recherche vise à expliciter, au sein de ce périmètre, les disparités spatiales en termes de consommation en eau entre les associations des usagers de l'eau (AUE), et les évolutions temporelles de ces disparités, dans un contexte de pression sur les terres, d'extension du périmètre en aval et de pénurie en eau lors des années de précipitations faibles ou irrégulières. Elle s'appuie sur les données hydrauliques pluri-hebdomadaires recueillies par les techniciens du périmètre depuis la saison de culture 2007-2008 jusqu'à la saison 2011-2012. Plusieurs tendances se dégagent. D'une part, les disparités entre AUE sont importantes, du simple au double de consommation interannuelle, entre la vallée Marianina et le PC15, ainsi qu'entre les AUE amonts et les AUE avals au sein de chacun des deux ensembles, vallée Marianina et PC15. D'autre part, ces disparités sont exacerbées par des pénuries d'eau en début de saison et une surconsommation relative du périmètre en fin de saison culturale. Enfin, ces disparités de consommation recouvrent des caractéristiques d'un autre ordre, physico-technique ou socio-économique, variables selon les associations.

Mots clés : périmètre aménagé, irrigation, riziculture, disparités hydriques, association des usagers de l'eau, fédération des associations des usagers du réseau, Alaotra, Madagascar.

Sommaire.

1. Introduction. 2
2. Contexte historique, géographique, climatique du périmètre PC15-vallée Marianina.. 3
3. Méthode – le recueil des données de consommation en eau. 10
4. Résultats – la gestion de l'eau sur le périmètre PC15-vallée Marianina : disparités entre associations, pénuries, surconsommation. 12
5. Discussion – les facteurs explicatifs des différences de consommation en eau entre associations. 23
6. Conclusion. 31
7. Bibliographie. 32

1. Introduction.

L'irrigation demeure aujourd'hui indispensable pour assurer l'alimentation des populations : l'agriculture irriguée assure ainsi 40% de la production alimentaire dans le monde, alors qu'elle occupe moins de 20% de la Surface Agricole Utile (FAO, 2003). Au sein des pays en développement, la gestion des terres irriguées, et en premier lieu des grands périmètres hydro-agricoles, longtemps fers de lance de la souveraineté alimentaire, a connu une évolution similaire : dans un premier temps, a lieu la constitution de grands périmètres et de sociétés d'aménagement par l'Etat après l'indépendance, comme l'Office National des Aménagements Hydro-Agricoles (ONAHA) au Niger ou la Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du Fleuve Sénégal (Devèze *et al.*, 2003 ; Baron *et al.*, 2010 ; Barbier *et al*., 2011); dans un second temps, à partir de la deuxième moitié des années 1980, l'Etat se retire sous la pression des institutions financières internationales (Turral *et al*., 2010), avec un transfert de responsabilités vers des associations des usagers de l'eau ou des organisations paysannes locales, par exemple au Sénégal entre 1987 et 1990 (Le Roy *et al.*, 2004 ; Jamin *et al*., 2011 ; Kuper, 2011). Or, ces organisations locales peinent à gérer de façon autonome les périmètres, par manque de moyens humains, techniques et surtout financiers. Outre les problèmes d'entretien du réseau liés au non-recouvrement des redevances, cela se traduit par des problèmes de répartition en eau (non-respect des tours d'eau, du calendrier agricole, détournement d'eau par obstruction des canaux ou branchements clandestins) et, *in fine*, une distribution inégale de l'eau, qui recoupe parfois certains clivages sociaux (Baron *et al*., 2010).

Ces problèmes se cumulent au sein de la région du lac Alaotra, considérée comme le grand grenier à riz de Madagascar (Raunet, 1984). D'un intérêt stratégique dans la production rizicole nationale, les périmètres hydro-agricoles de la région du lac Alaotra se caractérisent ainsi par une répartition de l'eau inégale entre amont et aval, associée à une maitrise de l'eau spatialement hétérogène (Droy, 1998 ; JICA, 2008). Ces disparités, vite assimilées à des inégalités, peuvent remettre en cause la solidarité technique et financière entre les différents usagers du réseau d'irrigation. Ces problèmes de gestion de l'eau, reconnus à l'échelle internationale et à l'échelle régionale, se retrouvent au sein du périmètre PC15-vallée Marianina, situé dans le sud-est de la région du lac et objet de cette étude. Ils mettent en jeu la viabilité du périmètre à long terme, alors même que ce dernier est considéré comme le périmètre le plus efficace de Madagascar, par ses rendements élevés notamment, supérieurs parfois à 4 tonnes de paddy par hectare (Devèze *et al*., 2003 ; Vallois, 2006 ; Penot et Rakotoarimanana, 2011).

L'article qui suit rend compte du travail de recherche mené au sein du projet BVLac (mise en valeur des bassins versants du lac Alaotra – 2003-2013) à Ambatondrazaka (Alaotra-Mangoro, Madagascar) – un projet qui assiste techniquement et financièrement le périmètre PC15-vallée Marianina. L'étude vise ainsi à expliciter les disparités spatiales dans la répartition de l'eau du système d'irrigation du périmètre PC15-vallée Marianina, en particulier entre Associations des Usagers de l'Eau (AUE) (résultats), et à les expliquer (discussion). L'hypothèse de recherche est que, d'une part, les disparités hydriques sont particulièrement fortes entre l'amont et l'aval du périmètre, comme pressenti par les acteurs du réseau ; d'autre part, que ces disparités hydriques forment un système d'interdépendance avec d'autres types de disparités, physico-techniques et socio-économiques.

2. Contexte historique, géographique, climatique du périmètre PC15-vallée Marianina.

2.1. La création et l'évolution des grands périmètres irrigués dans la région du lac Alaotra.

Au sein des Hautes Terres malgaches, la région du lac Alaotra, et en particulier la cuvette du lac ou «cuvette Sihanaka», du nom de l'ethnie locale, est devenue le grand grenier à riz de Madagascar au cours du XXe siècle – cette cuvette est occupée par le lac Alaotra, de 456 km² (à la cote moyenne 751,20 m du plan d'eau), des zones marécageuses (320 km²) et une savane, elle-même marécageuse, adjacentes (210 km²), et enfin des plaines périphériques (820 km²), qui accueillent des grands périmètres irrigués de riziculture (Ferry *et al*., 2009)(*Figure 1*).

Ces périmètres irrigués se sont constitués en deux temps. Dans un premier temps, au cours de la période coloniale française (1896-1960), la région du lac Alaotra est déclarée zone de colonisation (1897), avec la constitution de Périmètres de Colonisation (PC) pendant l'entre-deux-guerres ; de grands aménagements hydrauliques sont réalisés principalement après 1945, à la suite de « l'opération lac Alaotra » : creusement de drains et de canaux primaires, création de barrages de retenue (à Bevava pour le PC15, inauguré le jour de l'indépendance, le 26 juin 1960) ou de dérivation, sur l'Anony par exemple (*Figure 1*)(Garin, 1998). Dans un second temps, sous la 1ère République (1960-1975), le nouvel Etat malgache crée une société d'aménagement, la Société Malgache d'Aménagement du Lac Alaotra (SOMALAC), chargée de gérer les grands périmètres irrigués du lac Alaotra (les « Périmètres de Colonisation », qui deviennent « Périmètres de Culture »), avec trois missions principales : l'intensification agricole, l'aménagement hydro-agricole, la restructuration foncière (remembrement des terres).

Néanmoins, sous la 2nde République (1975-1991), dans un contexte de désorganisation sociopolitique et de révolution socialiste, la SOMALAC accumule les problèmes de gestion et peine à entretenir correctement les périmètres, jusqu'à sa dissolution en 1992 (Rakoto Ramiarantsoa, 1985 ; Droy, 1998 ; Garin, 1998 ; BRL-Ingénierie, 2002). A partir du milieu des années 1980, l'autorité de l'Etat fait place à une libéralisation de la filière rizicole et à une décentralisation de la gestion des grands périmètres irrigués : des AUE voient alors le jour. Celles-ci assurent difficilement, aujourd'hui encore, leurs missions d'entretien des ouvrages hydrauliques, de fourniture régulière et équitable de l'eau et d'intensification agricole (les rendements stagnent sous la barre des 3 t/ha pour le PC23 par exemple), malgré le soutien des bailleurs de fonds internationaux depuis les années 1980 (JICA, 2008 ; Belle, 2010 ; Kakuta, 2011).

Le périmètre PC15-vallée Marianina est cependant un cas à part, avec une gestion politique et hydraulique relativement satisfaisante, en voie d'autonomisation, avec des montants et des taux de recouvrement des redevances d'eau également significatifs, grâce au soutien financier et technique régulier des bailleurs de fonds depuis plus de vingt ans : le projet « Vallées du Sud-Est » en 1990 a permis en effet l'extension du périmètre en amont du PC15, sur la rive gauche de la vallée Marianina, le renforcement de l'alimentation en eau du PC15 et, *in fine*, la création d'une Fédération des Usagers du Réseau (FAUR) regroupant les AUE du périmètre ; par ailleurs, des conventions de cofinancement existent entre l'Agence Française de Développement (AFD) et la FAUR depuis 1997 ; enfin, le projet BVLac (2003-2013) a assuré le financement de l'encadrement technique et les travaux de

réhabilitation sur le périmètre puis, à partir de 2008, l'autonomisation technique et financière de la FAUR (Penot, 2009 ; Broutin *et al.*, 2011).

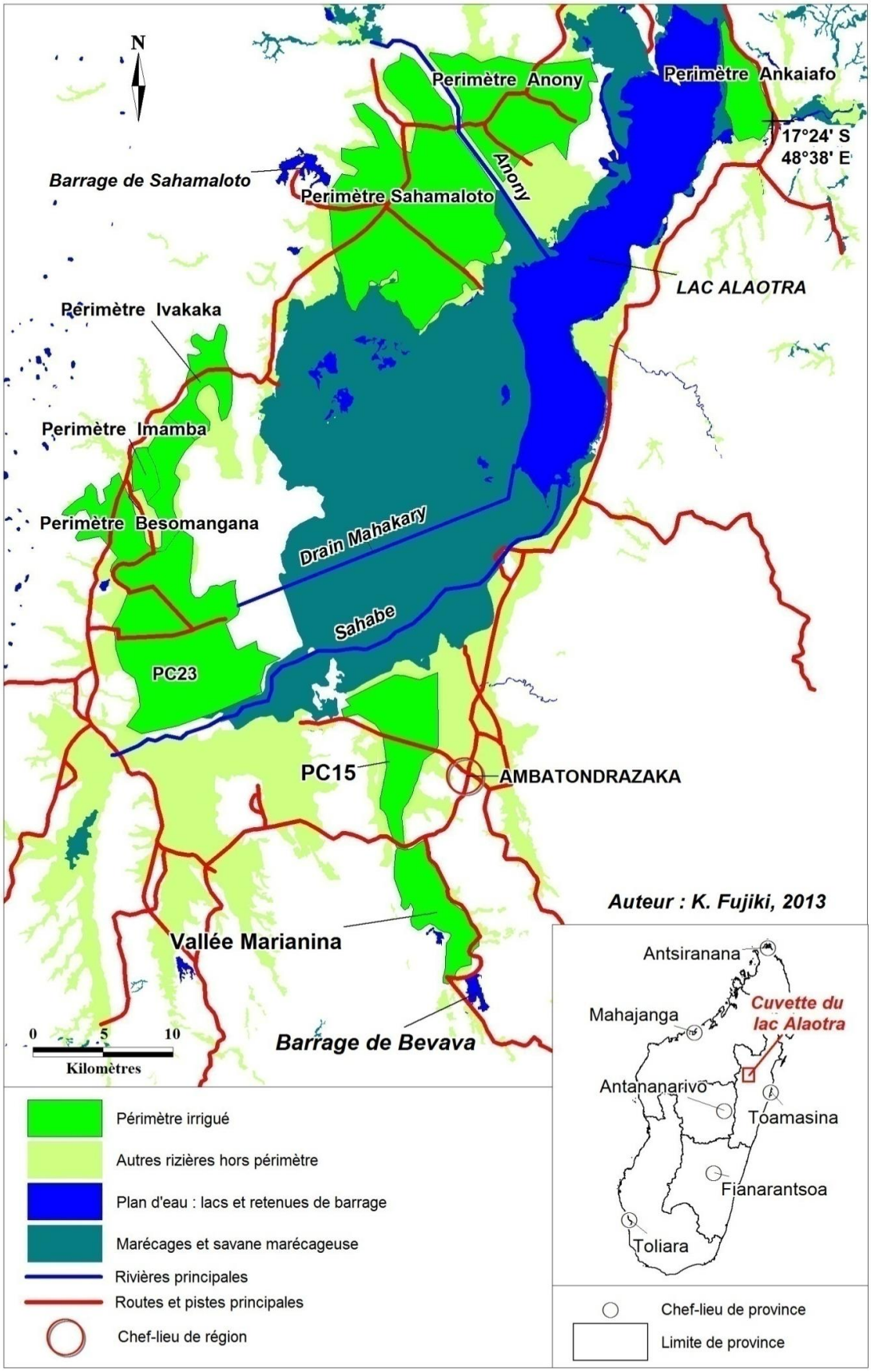


Figure 1 – La région du lac Alaotra, grenier à riz de Madagascar (Données : Projet BVLac, 2012).

2.2. Fonctionnement et gestion du périmètre PC15-vallée Marianina.

Sur un plan hydraulique (*Figure 2*), le périmètre de riziculture PC15-vallée Marianina s'étend sur environ 4000 hectares (plus de 1100 hectares pour la partie en vallée Marianina, près de 3000 hectares pour le PC15). Il forme un réseau d'irrigation hiérarchisé, avec des canaux primaires, secondaires et tertiaires : il est desservi par trois canaux d'irrigation primaires – le Canal Principal de Rive Gauche (CPRG), le canal I2 et le canal I8 (BRL-Madagascar, 2008). Sur le PC15, qui a fait l'objet des travaux d'aménagement de la SOMALAC et qui bénéficie de ce fait d'une desserte en eau régulière, chaque canal secondaire alimente une maille hydraulique, chaque canal tertiaire un lot. Au remembrement des terres, un lot avait été attribué à chaque exploitant, de sorte que chaque lot était directement irrigué par un canal tertiaire ; depuis lors, la plupart des lots ont été morcelés et la circulation de l'eau au sein d'un lot, entre différentes parcelles, se fait par le biais d'une irrigation en cascade. Au réseau de canaux d'irrigation se superpose un réseau de drainage pour évacuer l'eau des parcelles vers l'aval du périmètre.

Le périmètre compte diverses sources d'alimentation en eau, des sources régulières et d'autres aléatoires. Concernant les sources régulières, la principale est le barrage en terre de Bevava, dont la capacité maximale est de 27 215 000 m^3 (GERSAR et BRL-Ingénierie, 1988) et le réservoir utilisable de 25 000 000 m^3 (Ferry, 1989). Les lâchers d'eau du barrage alimentent, par l'intermédiaire du CPRG, l'ensemble du périmètre irrigué, jusqu'à 4,5 m^3/s. Une source secondaire est la retenue du barrage de Madioambany, située 3 km à l'aval du barrage de Bevava, avec un réservoir de 750 000 m^3. Concernant les sources aléatoires, l'eau de pluie alimente évidemment directement les parcelles mais aussi localement le ruissellement des collines périphériques par le biais d'ouvrages de captage (dalots et radiers) vers les canaux d'irrigation, en particulier vers le CPRG. Enfin, l'eau captée au niveau du seuil d'Ambohiboromanga est également essentielle à l'alimentation du PC15 : situé à la jonction entre vallée Marianina et PC15, le seuil permet la dérivation de l'eau de l'Harave, dirigée par un canal de tête morte vers les canaux I2 et I8 (*Figures 2, 3 et 4*). A cette eau de l'Harave peut s'ajouter l'eau du principal canal de drainage des AUE de la vallée Marianina.

Concernant sa gestion, le périmètre est géré par une fédération des associations des usagers du réseau (FAUR) et 16 associations des usagers de l'eau (AUE). La FAUR est chargée d'entretenir et de protéger les principaux ouvrages hydrauliques et le réseau primaire d'irrigation ; elle décide en assemblée générale des dates d'ouverture et de fermeture du barrage. Les AUE entretiennent le réseau secondaire d'irrigation et les usagers eux-mêmes le réseau tertiaire. L'autonomie financière des AUE et de la FAUR est assurée par des redevances d'eau, collectées en nature (en paddy) par les AUE auprès des usagers et reversées en partie (environ la moitié) et en numéraire à la FAUR. Pour la grande majorité des AUE, la redevance était fixée à 200 kg de paddy par hectare pour la campagne 2011-2012. L'encadrement du périmètre est assuré par une équipe de techniciens payée par la FAUR : des techniciens agricoles, les Agents Vulgarisateurs de Base (AVB) pour l'intensification agricole ; des techniciens hydrauliques, les chefs de secteur[1], pour la gestion et la répartition de l'eau.

[1] Chaque association regroupe, sur le PC15, plusieurs mailles hydrauliques ; et chaque secteur regroupe, sur l'ensemble du périmètre, plusieurs associations : CPRG Amont (regroupant les AUE Ambolotara et Bemanjato), CPRG Aval (Ambohimasina, Andranomangatsiaka et Ambohibary), I2 Amont (mailles 5-6, mailles 10-13 et mailles 11-12), I8 Amont (mailles 1-2-3 et mailles 4-7-8), I2 Aval (mailles 17-18, mailles 19-20 et mailles 22-23), I8 Aval (mailles 9-14, mailles 15-16 et maille 21).

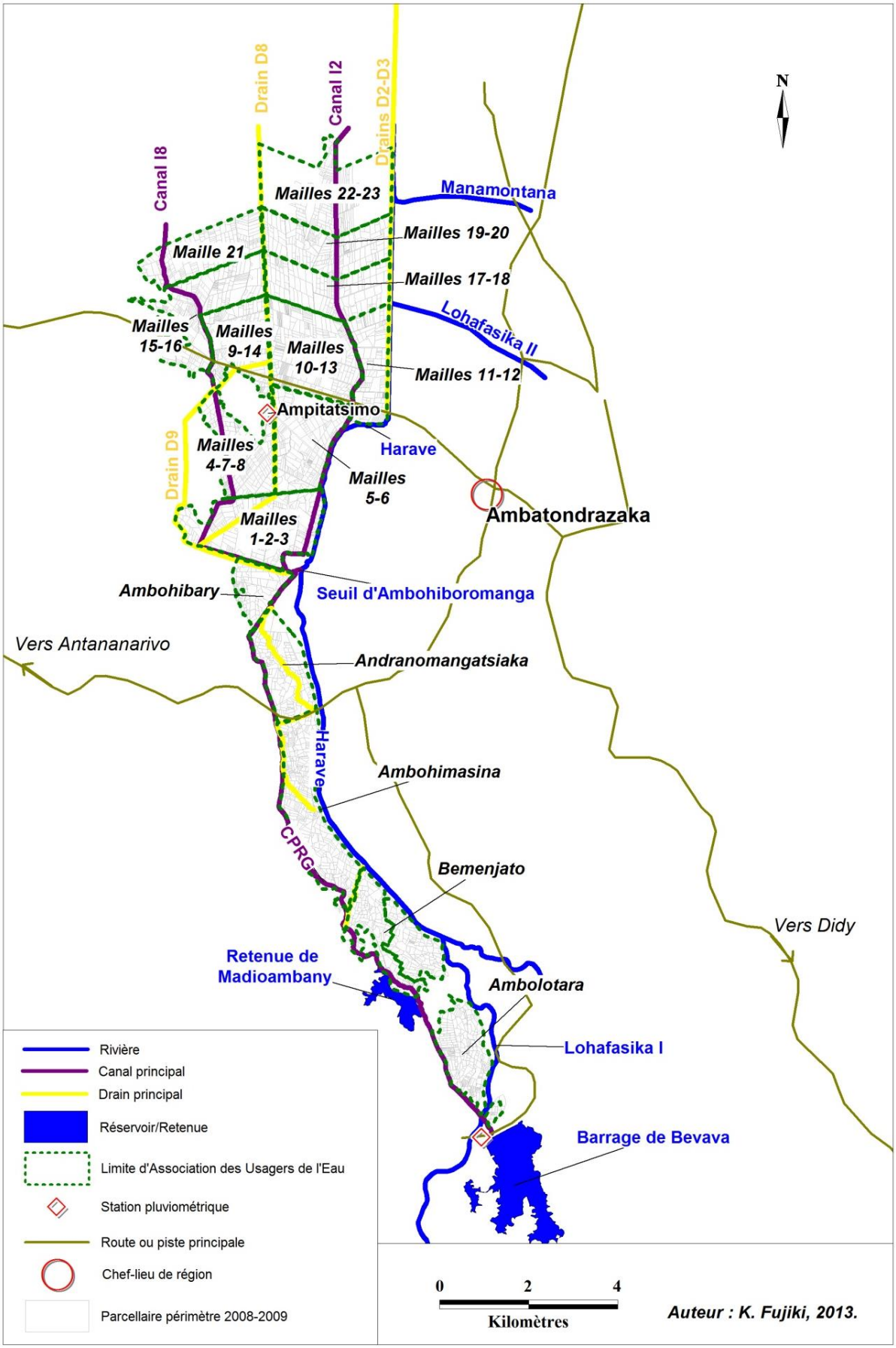


Figure 2 – Les réseaux hydrologique et hydraulique du périmètre PC15-Vallée Marianina et les associations d'usagers (Données : BRL-Madagascar, 2012 ; Projet BVLac, 2012).

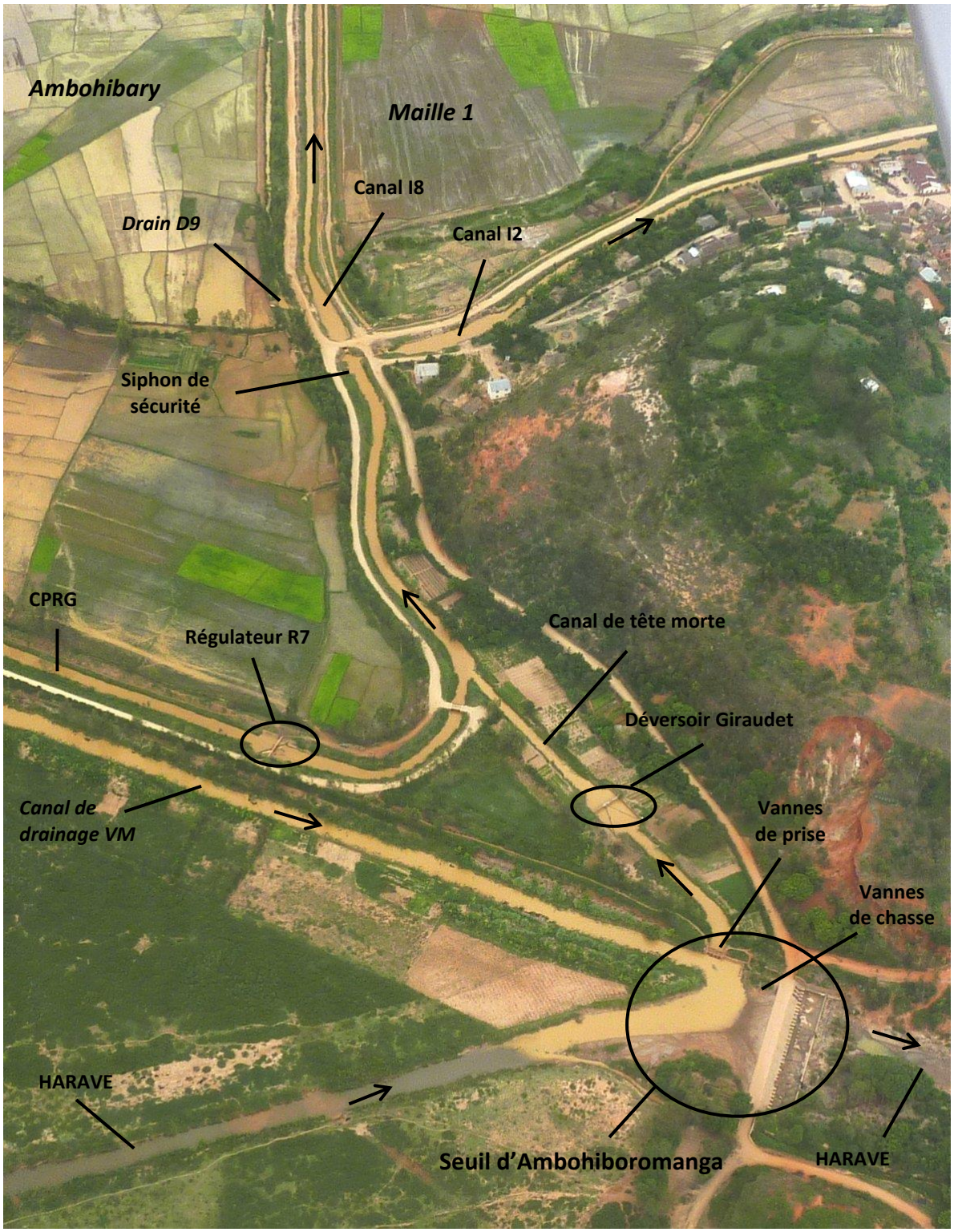


Figure 3 – Le seuil d'Ambohiboromanga (Photo : P. Grandjean).

Figure 4 – Le déversoir Giraudet sur le canal de tête morte (Photo: M. Mietton).

2.3. Le contexte climatique de l'étude : de 2007 à 2012.

Pour appréhender les différences entre AUE de consommation d'eau d'irrigation et leur évolution, il est essentiel de connaitre les grands traits du contexte climatique et de la disponibilité en eau, en particulier les variations de la cote du barrage de Bevava, dépendante de la pluviosité sur le bassin amont de la Sasomangana (76 km^2) ; la station pluviométrique de Bevava étant considérée comme représentative. Le climat dans le sud-est de la cuvette du lac est de type tropical tempéré par l'altitude (supérieure à 750 mètres d'altitude), à deux saisons contrastées avec une saison humide entre novembre et avril (Garin, 1998 ; Ferry *et al*., 2009). C'est la saison de culture avec les principales pratiques suivantes : préparation du sol et semis en novembre et décembre, repiquage en décembre et janvier, sarclage en janvier et février, récolte à la mi-mai. La moyenne pluviométrique interannuelle se situe à 905 mm à la station pluviométrique d'Ampitatsimo entre 1988 et 2008 (Andri-Ko, 2008), à 1036 mm à la station de Bevava entre 1962 et 2005 (Mietton, 2006)Figure **2**(*Figure 2*Figure **2**), mais les variations interannuelles peuvent être très importantes (Garin, 1998). Chaque saison culturale de la période d'étude est évaluée en fonction de la disponibilité en eau pour les riziculteurs. Cette dernière varie selon les précipitations et le stock d'eau de la retenue du barrage de Bevava (*Figure 5***Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- La saison 2007-2008 est une saison culturale relativement pluvieuse, avec 1112 mm de pluie tombés à Ampitatsimo entre octobre 2007 et mai 2008, 1116 mm à

Bevava au cours de la même période. Le réservoir du barrage est plein (cote : 820,02 m) à son ouverture dès le 16 novembre.

- La saison 2008-2009 donne lieu à d'abondantes précipitations (1065 mm entre octobre et mai à Bevava) réparties équitablement à l'échelle mensuelle. Le barrage ouvre à pleine charge le 21 novembre.
- La saison 2009-2010 connait une pluviométrie à peine moyenne, avec 900 mm à Ampitatsimo et 866 mm à Bevava entre octobre et mai, concentrée principalement au cours des mois de janvier et de mars (3/4 des précipitations). Le barrage ouvre à pleine charge le 20 novembre mais ferme fin avril à moitié vide (cote NGM de 816,6 m en mai).
- La saison 2010-2011 est une année très sèche, avec 593 mm tombés sur Ampitatsimo et 514 mm sur Bevava entre octobre et mai. A la fin de la saison, le niveau de l'eau dans la retenue de Bevava tombe à une cote dangereusement basse (cote inférieure à 810 m, la retenue est vide sous la barre des 809 m), l'irrigation s'arrête prématurément au 15 avril.
- La saison 2011-2012 est une année relativement sèche (877 mm à Ampitatsimo, 895 mm à Bevava), mais avec des pluies bien réparties entre décembre et mars. Le barrage ouvre le 9 décembre, à une cote très basse (sous la cote 813 m) et referme fin avril à une cote plus basse encore (inférieure à 812 m).

En résumé, les deux dernières campagnes se traduisent par des conditions d'irrigation difficiles. Elles sont particulièrement intéressantes pour analyser les disparités de consommation entre AUE ; celles-ci sont en effet exacerbées par la pénurie en eau.

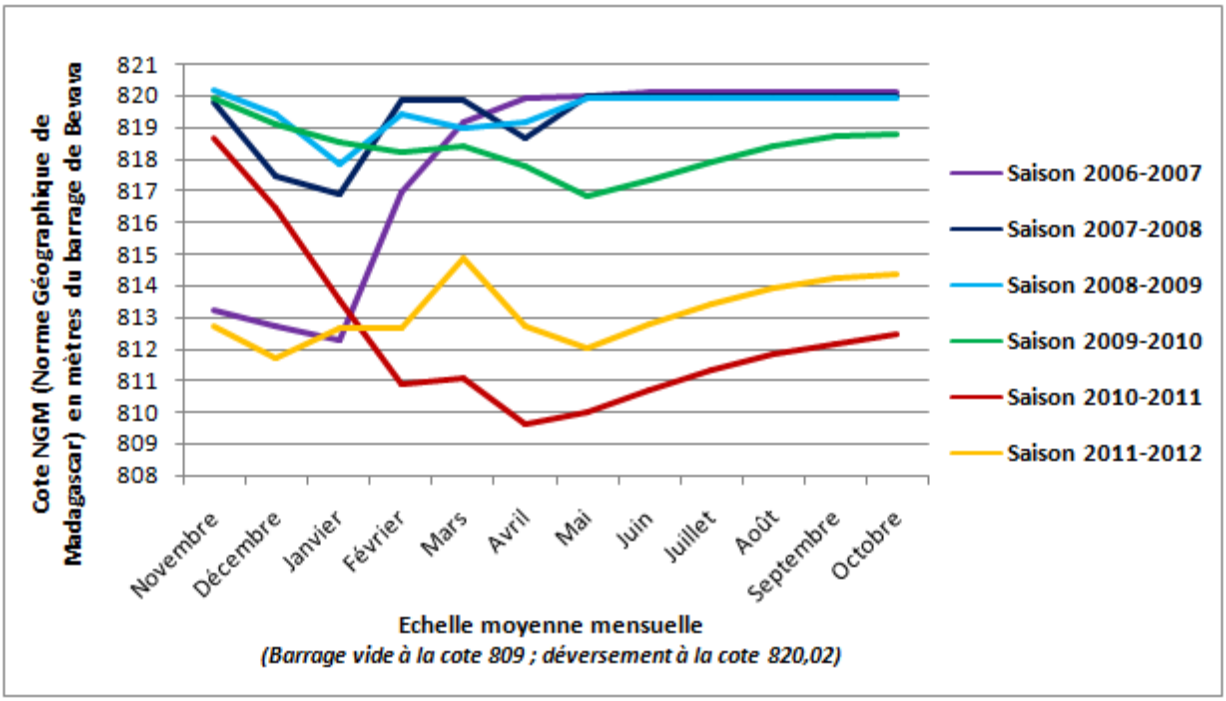


Figure 5 – Evolution de la cote du barrage de Bevava entre la saison 2006-2007 et la saison 2011-2012 (Données : BRL-Madagascar, 2012 ; J. Erismann (thèse en cours)).

3. Méthode – le recueil des données de consommation en eau.

L'analyse des disparités de consommation entre associations s'appuie sur le traitement de données hydrauliques d'une part, permettant de caractériser ces différences, puis sur des entretiens libres et des inventaires d'autre part, qui en donnent des clés d'explication.

3.1. Traitement des données hydrauliques.

Les données hydrauliques permettent de connaitre, d'une part les volumes d'eau tirés des canaux d'irrigation, d'autre part les volumes d'eau récupérés à partir des drains.

Les volumes tirés des canaux d'irrigation sont connus directement, grâce à des relevés de hauteurs d'eau effectués par les chefs de secteur de la FAUR, trois fois par semaine, à partir d'échelles limnimétriques placées au niveau des régulateurs des canaux principaux et des prises secondaires. Ces relevés, initiés de façon très judicieuse en 2007 par D. Andrianalinoro et poursuivis depuis lors de façon systématique, constituent la base fondamentale du travail de recherche : ils ont été repris dans un premier temps par M. Mietton (2011) pour la campagne 2010-2011 puis plus généralement par K. Fujiki (2012). Les hauteurs d'eau sont converties en débits instantanés (abaques) puis en volumes d'eau journaliers, pour chaque association – chacune comprenant une ou plusieurs prises secondaires. En divisant les volumes obtenus par les superficies des associations sont calculées des consommations moyennes en eau (consommations à partir du système d'irrigation) en mètres cube par hectare, à l'échelle mensuelle, annuelle et interannuelle. A ces volumes en m^3/ha, se rajoute une analyse en débits instantanés moyens sur l'ensemble de la saison culturale, en litres par seconde et par hectare. Alors que l'analyse en m^3/ha est tributaire du nombre de jours d'irrigation, variable selon les associations, l'analyse en l/s/ha ne l'est pas : cette dernière se calque en effet sur des dates d'ouverture et de fermeture des prises d'irrigation pour chaque association. Elle permet donc d'appréhender, sans le biais que représente la durée saisonnière de l'irrigation, la capacité technique du réseau à alimenter en eau les parcelles. Ces données de consommation à l'hectare servent de socle pour identifier les disparités d'accès à l'eau d'irrigation entre les AUE. La principale incertitude quant à l'exactitude de ces données concerne la superficie irrigable des AUE (qui diffère parfois de la superficie recensée dans les inventaires fonciers) : la superficie irrigable est notamment difficilement évaluable pour l'association la plus en aval du réseau, l'AUE des mailles 22 et 23 – de la même manière qu'il est difficile de déterminer la limite aval réelle du périmètre. Pour cette association, c'est l'estimation la plus haute (448 ha) qui a été retenue : en conséquence, pour celle-ci, les consommations à l'hectare peuvent être sous-estimées.

Outre les canaux d'irrigation *stricto sensu*, les associations font aussi appel à la récupération sur drain pour l'irrigation de certaines de leurs parcelles : 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 sont connus directement, il n'en est pas de même pour les volumes récupérés sur drain. Ceux-ci sont estimés indirectement en m^3/ha par association, selon l'équation suivante : IR*RD, où IR est

égal à la consommation en eau tirée du réseau d'irrigation (en m^3/ha), et où RD est égal à la proportion de la superficie de chaque AUE qui fait appel à la récupération sur drain.

Ces données hydrauliques sont mises en relation avec les données journalières relatives à la pluviométrie, relevées à partir des stations d'Ampitatsimo et de Bevava par BRL-Madagascar, et aux lâchers d'eau du barrage de Bevava. Elles sont enfin complétées par les données recueillies par la FAUR et traitées par l'ingénieur N. Raboara (de BRL-Madagascar), portant sur le seuil d'Ambohiboromanga et le déversoir Giraudet du canal de tête morte, et exploitables à partir de la campagne culturale 2011-2012. C'est en effet en 2011 qu'a été installé par nos soins un limnigraphe permettant de connaitre les hauteurs d'eau et donc les débits dans ce canal (*Figure 4*Figure **4**).

3.2. Les clés d'interprétation : entretiens et inventaires.

Concernant la méthodologie suivie pour expliquer les disparités de consommation constatées, outre les acquis de la recherche bibliographique, des entretiens libres auprès des agents de la FAUR et de BRL-Madagascar et divers inventaires, mis au point par ces mêmes agents, ont servi de socle à l'analyse spatiale. Toutefois, tandis que les données hydrauliques sont relativement fiables et soumises à une vérification systématique, les inventaires, fonciers et culturaux, recensant les caractéristiques de chaque parcelle du périmètre (superficie, noms du propriétaire et de l'exploitant, variété de riz exploitée), doivent être considérés avec beaucoup de recul : la fiabilité des données recueillies est invérifiable par des sources complémentaires, l'inventaire ne peut être exhaustif compte tenu de l'absentéisme de certains propriétaires et exploitants lors des recensements. Spécifiquement, pour les inventaires culturaux, la qualité du recueil des données est très hétérogène selon les AUE considérées.

4. Résultats – la gestion de l'eau sur le périmètre PC15-vallée Marianina : disparités entre associations, pénuries, surconsommation.

Les résultats sont ici présentés en trois temps : les disparités de consommation en eau en premier lieu, entre vallée Marianina et PC15, entre amont et entre aval ; le rôle central du seuil d'Ambohiboromanga dans l'alimentation du PC15 en second lieu ; la surconsommation d'eau en dernier lieu, en certains secteurs du périmètre, en fin de saison culturale.

4.1. Des disparités de consommation en eau entre la vallée Marianina et le PC15, entre les associations amont et les associations aval, à l'échelle annuelle et interannuelle.

Une première approche des volumes de consommation met en évidence d'importantes disparités entre les associations : il faut cependant distinguer la consommation en eau tirée des seuls canaux d'irrigation, soit la grande majorité des apports, de la consommation liée à la récupération sur drain.

4.1.1. Les volumes de consommation en eau tirée des canaux d'irrigation.

Le *tableau 1* met en évidence deux faits quant à la consommation liée au seul réseau d'irrigation : à l'échelle du périmètre, une consommation peu élevée par rapport au débit nominal et à d'autres périmètres ; à l'échelle des associations, de fortes disparités.

D'une part, à l'échelle interannuelle (entre 2007 et 2012), le périmètre se caractérise par une consommation assez moyenne, de l'ordre de 0,74 l/s/ha sur environ 150 jours d'irrigation par saison culturale sur l'ensemble de sa superficie, de 0,70 sur le seul PC15, de 0,84 en vallée Marianina[2]. C'est largement inférieur au débit nominal institué lors de la réhabilitation de 1990 : 1,00 l/s/ha pour le PC15 et 1,20 l/s/ha pour la vallée Marianina. C'est aussi inférieur à ce qui est constaté sur d'autres périmètres. A titre d'exemple, en Indonésie, durant une période de culture qui s'étale de 6 à 8 mois, les besoins en irrigation s'élèvent, sur des sols argileux moyens (comme ceux du PC15) à 0,985 l/s/ha à Pemali, sur des sols argileux très lourds à 0,785 l/s/ha à Demak, sur des sols sableux (comme en amont de la vallée Marianina) entre 1,09 et 1,16 l/s/ha à Bengawak (Angladette, 1966).

[2] En prenant en compte les estimations de la récupération sur drain abordée en *§ 4.1.2*, la consommation est légèrement réévaluée à la hausse : 0,82 l/s/ha sur l'ensemble du périmètre, 0,78 l/s/ha sur le PC15, 0,93 l/s/ha en vallée Marianina.

	Consommation (réseau d'irrigation uniquement) en m3/ha								Consommation en l/s/ha	
	SAISONS CULTURALES					INDICE VARIATION	MOYENNE	RANG	MOYENNE	RANG
ASSOCIATIONS (superficie en ha en 2011-2012)	**2007-2008**	**2008-2009**	**2009-2010**	**2010-2011**	**2011-2012**					
Bemenjato (160ha)	17725	13585	15595	11512	13376	1,54	14358	1	1,11	1
Ambohibary (97ha)	12747	14300	13767	11695	9065	1,58	12315	2	0,94	2
Ambolotara (333ha)	11545	12067	13798	10373	10868	1,33	11730	3	0,90	3
Mailles 11-12 (170ha)	11192	12085	12915	9987	8019	1,61	10840	4	0,81	5
Mailles 5-6 (252ha)	10711	10869	11880	8570	10519	1,39	10510	5	0,81	4
Mailles 4-7-8 (206ha)	10358	8690	8806	10548	12116	1,39	10104	6	0,79	7
Mailles 10-13 (333ha)	9484	10244	12064	8860	8517	1,42	9834	7	0,74	9
Mailles 15-16 (287ha)	8644	9343	12059	10163	8455	1,43	9733	8	0,79	6
Mailles 1-2-3 (334ha)	8549	7165	9494	10299	11315	1,58	9364	9	0,73	10
Maille 21 (234ha)	10434	9406	9552	6007	9445	1,74	8969	10	0,78	8
Andranomangatsiaka (213ha)	6858	9170	10031	10556	7191	1,54	8761	11	0,72	11
Mailles 17-18 (242ha)	9820	8555	10577	7684	6440	1,64	8615	12	0,68	13
Ambohimasina (329ha)	11077	7527	7113	9318	7675	1,56	8542	13	0,68	14
Mailles 9-14 (197ha)	10061	7739	10161	6071	8288	1,67	8464	14	0,71	12
Mailles 19-20 (249ha)	9674	6674	8360	6062	6066	1,60	7367	15	0,60	15
Mailles 22-23 (448ha)	6767	5326	4955	5842	4163	1,63	5411	16	0,43	16
Moyenne V. Marianina	*11527*	*10621*	*11400*	*10376*	*9449*	*1,22*	*10675*		*0,84*	
Moyenne PC15	*9305*	*8442*	*9739*	*8105*	*8242*	*1,20*	*8767*		*0,70*	
Moyenne périmètre	*9918*	*9044*	*10200*	*8734*	*8576*	*1,19*	*9294*		*0,74*	

Tableau 1 – La consommation en eau tirée des canaux d'irrigation par AUE en m³/ha et en l/s/ha, entre la saison 2007-2008 et la saison 2011-2012 (Données : FAUR, 2012).

D'autre part, le périmètre PC15-vallée Marianina est marqué en son sein par des contrastes forts. Le *Tableau 1* confirme un clivage entre la vallée Marianina et le PC15, entre les associations du CPRG Amont et du CPRG Aval, entre les associations du PC15 Amont et celles du PC15 Aval. Entre vallée Marianina et PC15, l'opposition est patente : 10675 m^3/ha en vallée Marianina, 8767 m^3/ha sur le PC15 en moyenne interannuelle (22% d'écart). Au sein de ces deux ensembles, vallée Marianina et PC15, les disparités sont cependant plus marquées encore. En vallée Marianina, les associations amont et Ambohibary connaissent les plus fortes consommations du périmètre : 14358 m^3/ha pour Bemanjato, 12315 m^{3}ha pour Ambohibary (en diminution sur la période 2007-2012 cependant), 11730 m^3/ha pour Ambolotara (marquée également par une consommation interannuelle régulière, avec le plus faible indice de variation du périmètre, à 1,33). Inversement, l'aval de la vallée (hors Ambohibary, en situation géographique particulière) se caractérise par ses très faibles volumes de consommation (8761 m^3/ha pour Andranomangatsiaka, 8542 m^3/ha pour Ambohimasina). Sur le PC15, le contraste amont-aval est également significatif : les associations de l'I2 Amont et de l'I8 Amont ont des consommations à l'hectare plus élevées que les associations aval. Ainsi, l'association aval ayant la consommation interannuelle la plus forte, à savoir l'AUE des mailles 15-16 (9733 m^3/ha), dépasse à peine l'association amont dont la consommation est la plus faible, l'AUE des mailles 1-2-3 (9364 m^3/ha). Deux remarques peuvent être faites ici : concernant les AUE de l'I2 Aval, leur consommation a été particulièrement basse au cours des deux dernières campagnes (~6000 m^3/ha pour l'AUE des mailles 19-20). Concernant les AUE de l'I8 Aval (mailles 15-16 exceptés), la moyenne interannuelle de leur consommation, située dans le gros du peloton (8969 m^3/ha pour la

maille 21, 8464 m^3/ha pour les mailles 9-14 contre 8767 m^3/ha pour l'ensemble des associations du PC15) occulte en fait la réalité d'une pénurie en eau très prégnante en début de saison culturale : les disparités mensuelles sont en effet très fortes pour ces associations, avec des consommations extrêmement faibles en début de saison et beaucoup plus élevées à la fin (cf. *§ 4.3*).

4.1.2. La récupération sur drain et les volumes de consommation globale.

Il serait cependant insuffisant de s'en tenir aux seuls volumes d'eau tirés des canaux d'irrigation : il est nécessaire de prendre en compte également la récupération sur drain. Celle-ci ne peut cependant pas être mise sur le même plan que le réseau de canaux d'irrigation, car elle demeure beaucoup moins fiable. La récupération est en effet très aléatoire, et les parcelles qui en dépendent sont soumises aux variations des précipitations pour leur irrigation : une sécheresse de début de saison prive ces parcelles de tout apport en eau (il faut plus de 100 mm en début de saison pour que l'eau commence à s'écouler dans les drains[3]) ; en milieu de saison, des pluies cycloniques et rapprochées entrainent inversement un débordement des drains et l'inondation des parcelles.

Le *tableau 2* donne une estimation des volumes consommés à partir de la récupération sur drain ; la *figure 6* illustre quant à elle les parcelles qui font appel (généralement de façon exclusive) à la récupération sur drain pour l'irrigation. Ici aussi, des contrastes forts apparaissent. En vallée Marianina, Bemanjato, Ambohimasina et Andranomangatsiaka font appel à la récupération sur drain : en particulier, Andranomangatsiaka dépend pour une part non négligeable de la récupération sur drain (29% de sa superficie). Sur le PC15, toutes les associations peuvent faire appel à la récupération sur drain pour au moins 10% de leur superficie, à l'exception de l'I8 Amont, des mailles 11-12 et des mailles 15-16 : le drain central du PC15, le drain D8, est ici la principale ressource de l'alimentation par la récupération.

[3] En début de saison des pluies, les premières pluies, jusqu'à hauteur de 100 mm, servent essentiellement à reconstituer la réserve en eau utilisable du sol et à remplir les rizières (pluie utile). Au-delà des 100 mm, une partie de la pluie tombée se met à ruisseler superficiellement sans alimenter les rizières et les sols (GERSAR et BRL-Ingénierie, 1988).

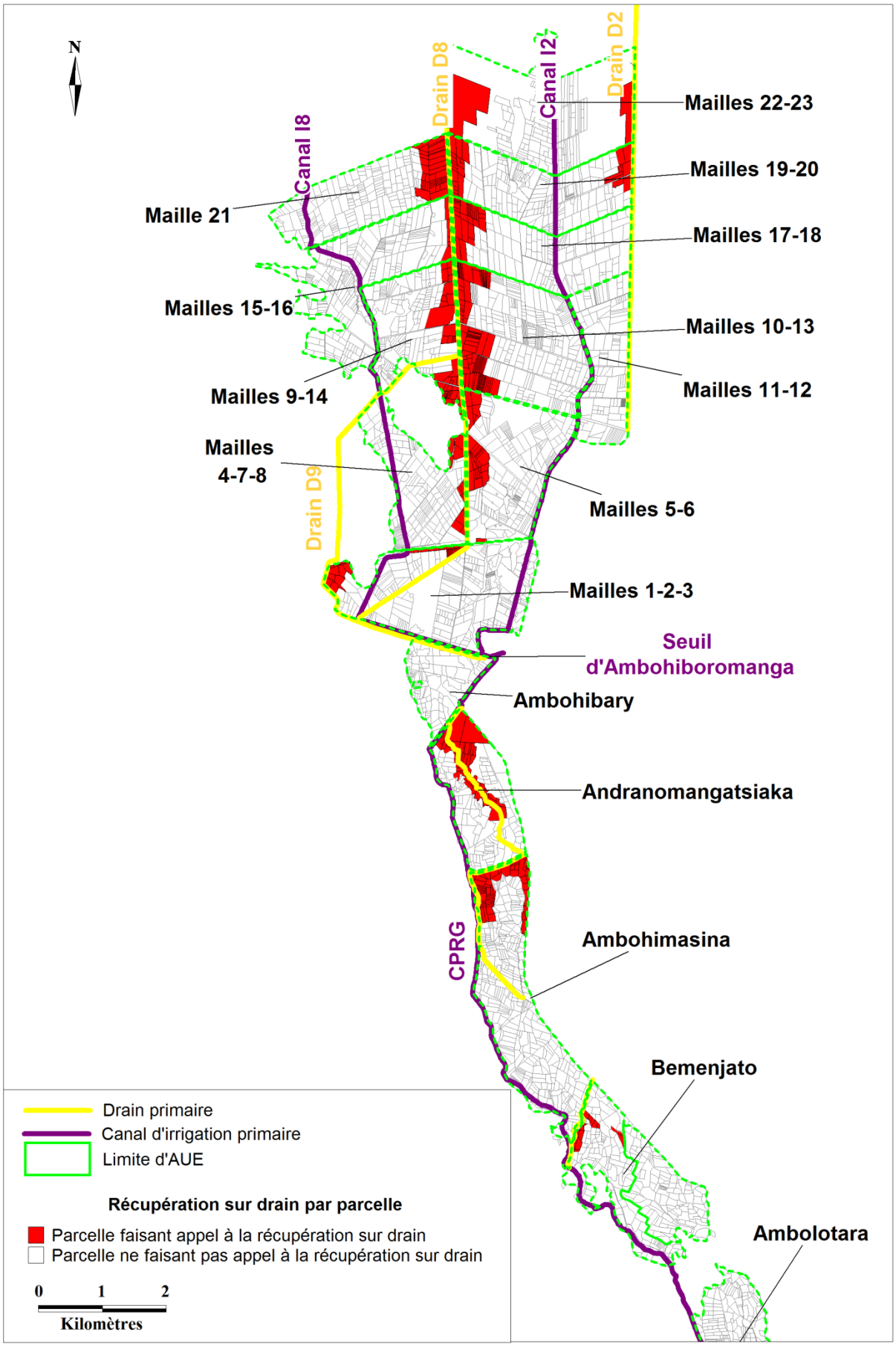


Figure 6. Parcelles du périmètre faisant appel à la récupération sur drain (Données : FAUR, 2013).

Récupération sur drain en m3/ha entre 2007-2008 et 2011-2012								
ASSOCIATIONS (superficie en ha en 2011-2012)	Proportion en superficie faisant appel à la récupération sur drain	SAISONS CULTURALES					MOYENNE	RANG
		2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012		
Ambolotara (333ha)	0,0%	0	0	0	0	0	0	13
Bemenjato (160ha)	6,7%	1190	912	1047	773	898	964	9
Ambohimasina (329ha)	12,6%	1396	948	896	1174	967	1076	8
Andranomangatsiaka (213ha)	29,4%	2016	2696	2949	3103	2114	2576	1
Ambohibary (97ha)	0,0%	0	0	0	0	0	0	13
Mailles 1-2-3 (334ha)	5,6%	479	401	532	577	634	524	11
Mailles 4-7-8 (206ha)	8,7%	901	756	766	918	1054	879	10
Mailles 9-14 (197ha)	23,4%	2354	1811	2378	1421	1939	1981	3
Mailles 15-16 (287ha)	3,0%	259	280	362	305	254	292	12
Maille 21 (234ha)	17,3%	1805	1627	1653	1039	1634	1552	4
Mailles 5-6 (252ha)	12,9%	1382	1402	1532	1105	1357	1356	5
Mailles 10-13 (333ha)	21,2%	2011	2172	2558	1878	1806	2085	2
Mailles 11-12 (170ha)	0,0%	0	0	0	0	0	0	13
Mailles 17-18 (242ha)	13,5%	1326	1155	1428	1037	869	1163	6
Mailles 19-20 (249ha)	15,6%	1509	1041	1304	946	946	1149	7
Mailles 22-23 (448ha)	?	-	-	-	-	-	-	?
Moyenne V. Marianina		*785*	*783*	*815*	*925*	*679*	*797*	
Moyenne PC15		*1023*	*922*	*1085*	*807*	*899*	*947*	

Tableau 2. Estimation des volumes d'eau consommés par le biais de la récupération sur drain en m^3/ha, entre 2007 et 2012 (Données : FAUR, 2012).

A partir, d'une part des volumes connus de consommation à partir des canaux d'irrigation, d'autre part des volumes estimés tirés de la récupération sur drain, le *tableau 3* établit les apports globaux de l'irrigation en m^3/ha. Avec la prise en compte de la récupération sur drain, il est certain que les disparités d'accès aux seuls canaux d'irrigation sont en partie gommées, du moins à l'échelle interannuelle : en omettant les deux valeurs extrêmes (mailles 19-20 et Bemanjato), à peine plus de 2500 m^3/ha séparent les AUE les plus consommatrices et celles les moins consommatrices (soit moins de 30% de variation inter-AUE). En revanche, lors des années très déficitaires en eau, telle la campagne 2010-2011, les disparités restent très marquées, surtout entre les amonts et les avals du PC15.

Consommation globale (réseau d'irrigation et récupération sur drain) en m3/ha entre 2007-2008 et 2011-2012							
ASSOCIATIONS (superficie en ha en 2011-2012)	SAISONS CULTURALES					MOYENNE	RANG
	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012		
Ambolotara (333ha)	11545	12067	13798	10373	10868	11730	5
Bemenjato (160ha)	18914	14497	16642	12284	14274	15322	1
Ambohimasina (329ha)	12473	8475	8009	10492	8642	9618	14
Andranomangatsiaka (213ha)	8874	11867	12980	13659	9305	11337	6
Ambohibary (97ha)	12747	14300	13767	11695	9065	12315	2
Mailles 1-2-3 (334ha)	9028	7566	10025	10875	11949	9889	12
Mailles 4-7-8 (206ha)	11259	9446	9572	11466	13170	10983	7
Mailles 9-14 (197ha)	12416	9550	12539	7491	10228	10445	10
Mailles 15-16 (287ha)	8903	9623	12421	10468	8709	10025	11
Maille 21 (234ha)	12239	11034	11205	7046	11079	10520	9
Mailles 5-6 (252ha)	12093	12271	13412	9675	11876	11865	4
Mailles 10-13 (333ha)	11495	12416	14622	10738	10323	11919	3
Mailles 11-12 (170ha)	11192	12085	12915	9987	8019	10840	8
Mailles 17-18 (242ha)	11145	9710	12005	8721	7309	9778	13
Mailles 19-20 (249ha)	11183	7716	9664	7008	7013	8517	15
Mailles 22-23 (448ha)	-	-	-	-	-	-	?
Moyenne V. Marianina	*12457*	*11520*	*12361*	*11409*	*10254*	*11600*	
Moyenne PC15	*9302*	*8554*	*10072*	*8025*	*8509*	*8892*	

Tableau 3. Volumes d'eau consommés à partir des canaux d'irrigation et de la récupération sur drain en m3/ha, entre 2007 et 2012 (Données : FAUR, 2012).

4.2. L'interface d'Ambohiboromanga et l'alimentation en eau du PC15.

Les disparités de consommation d'eau au sein du PC15 sont exacerbées par la configuration du réseau à l'entrée du PC15. Le PC15 dépend en effet, à hauteur de 62% de ses volumes d'eau entrants pour la campagne 2011-2012, du seuil d'Ambohiboromanga (*Figure 3*) : or, le seuil représente une ressource en eau sensiblement aléatoire et irrégulière, à toutes échelles de temps (du journalier au saisonnier), car alimenté par une rivière et donc soumis aux variations de la pluviosité, au contraire du CPRG (qui est alimenté par le réservoir de Bevava et qui représente, de ce fait, une ressource peu marquée par l'aléa, du moins à l'échelle journalière).

4.2.1. Le bilan hydrologique à l'entrée du PC15 : apports en eau et débits entrants pour la campagne 2011-2012.

La *figure 7* établit le bilan hydrologique journalier à l'entrée du PC15 pour la campagne 2011-2012. Sur cette figure sont mises en relation les différentes arrivées d'eau vers le PC15 et la consommation des associations – apports et consommation effective ne correspondent pas forcément.

Concernant les arrivées d'eau, il faut distinguer :

- L'eau captée à partir du seuil d'Ambohiboromanga (courbe orange), qui permet de dévier l'eau de la rivière Harave et du principal canal de drainage de la vallée Marianina vers un canal de tête morte (*Figure 3*). Ces apports sont relevés, sur le canal de tête morte, au niveau du déversoir Giraudet, qui consiste en un déversoir *stricto sensu*, couplé à un pertuis central, dont l'ouverture est commandée par une vanne à crémaillère (*Figure 4*).
- L'eau captée à partir du CPRG (courbe verte), qui conflue avec le canal de tête morte à l'entrée du PC15, et dont le débit est calculé à hauteur du régulateur R7 (*Figure 3*)
- Ces apports doivent être mis en relation avec les lâchers d'eau à partir du barrage de Bevava (courbe rouge).

Concernant la consommation effective, celle-ci consiste en l'addition des débits enregistrés sur les canaux primaires I2 et I8 à l'entrée du PC15 (courbe bleue). La différence entre les arrivées d'eau et la consommation effective est synthétisée par la courbe violette. Ce solde se révèle généralement positif (les arrivées d'eau sont supérieures aux débits enregistrés dans les canaux I2 et I8) : la différence correspond alors à l'action du siphon de sécurité situé à l'entrée du PC15, qui évacue 2 m^3/s vers le drain D9 quand le canal de tête morte est en surcharge (*Figure 3*). Inversement, si le solde se retrouve négatif, il faut l'attribuer à des écoulements de vidange, différés dans le temps, du canal de tête morte.

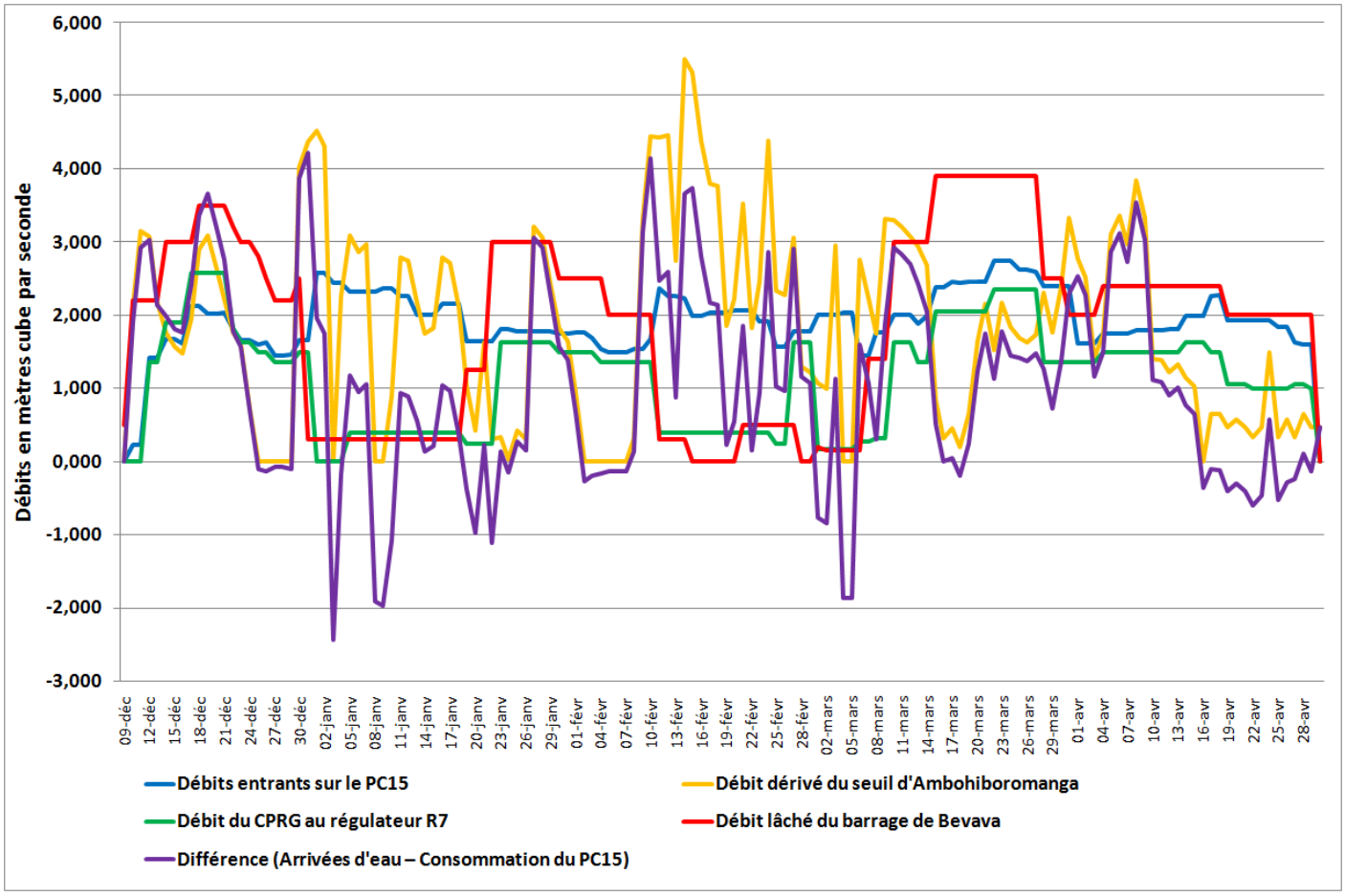


Figure 7 – Bilan hydrologique à l'entrée du PC15. (Données : M. Mietton, 2011 ; BRL-Madagascar, 2012).

L'étude du bilan hydrologique, couplé à l'analyse de données pluviométriques sur la station d'Ampitatsimo, met en évidence une bonne gestion du barrage de Bevava au regard de la consommation du PC15, en milieu de saison, de la fin-décembre jusqu'à la mi-mars ; et, inversement, une gestion semble-t-il plus hasardeuse en tout début de saison (pendant les deux premières semaines suivant l'ouverture du barrage, le 9 décembre) et surtout en fin de saison (après le 20 mars et jusqu'à la fermeture du barrage, le 30 avril).

4.2.2. Une gestion raisonnée du barrage de Bevava pendant la majeure partie de la saison.

Compte tenu des contraintes hydriques et climatiques, la gestion du barrage de Bevava est irréprochable entre fin-décembre et mi-mars : le gestionnaire adapte les lâchers du barrage de Bevava (et donc les apports du CPRG) aux variations de la pluviosité et à la quantité d'eau dérivée du seuil d'Ambohiboromanga. Les éventuels déficits en eau pour certaines AUE, sensibles en début de saison, ne pourraient en aucun cas être comblés par des lâchers de Bevava plus conséquents du fait du gabarit limité du canal de tête morte : en témoigne la mise en action fréquente du siphon de sécurité, qui apparait à l'aune des soubresauts de la courbe violette, lors des périodes de crues.

Pendant la 1ère moitié de janvier, les débits entrants sur le PC15 sont essentiellement liés aux fortes pluies de fin décembre-début janvier (106,6 mm tombés à Ampitatsimo lors de la 3ème décade de décembre, 155,2 mm tombés lors de la 1ère décade de janvier) et des crues de l'Harave, qui permettent de dériver beaucoup d'eau du seuil d'Ambohiboromanga

(souvent plus de 3 m^3/s). Le gestionnaire du barrage de Bevava limite alors les lâchers à 0,3 m^3/s, de quoi alimenter en eau l'AUE Ambolotara, tandis que les autres associations de la vallée Marianina sont ravitaillées en eau par le biais des ouvrages de captage de l'eau de ruissellement vers le CPRG, et que le PC15 est strictement alimenté par le seuil d'Ambohiboromanga. A la fin janvier et au début du mois de février, l'alimentation par le seuil d'Ambohiboromanga faiblit, en lien avec des pluies plus éparses après le 9 janvier (17,2 mm de pluie lors de la 2e décade de janvier, 22 mm lors de la 3e décade) et donc un abaissement du niveau de l'Harave : consécutivement, les lâchers de Bevava (et les apports du CPRG) s'accroissent pour compenser le déficit pluviométrique, mais à un rythme modéré – le niveau du barrage étant encore très bas, avec une cote NGM à 812 m au 1er février (*Figure 5*). Enfin, de la mi-février jusqu'à début mars, la majeure partie de la consommation du PC15 est à mettre en relation avec des arrivées fréquentes et périodiques d'eau au seuil d'Ambohiboromanga, alors que la saison des pluies bat son plein et que le niveau de l'Harave est haut : ici aussi, le gestionnaire du barrage tient compte de ces données, de telle sorte que les apports du CPRG et de Bevava sont presque nuls.

4.2.3. Des lâchers de Bevava inappropriées à l'ouverture du barrage et en fin de saison.

Inversement, en début et fin de saison, des dysfonctionnements se font jour : les apports du CPRG et du seuil d'Ambohiboromanga se cumulent, au-delà des capacités du canal de tête morte, de sorte que le siphon de sécurité entre en action de façon répétée pour évacuer l'eau en surplus.

Au cours des deux semaines qui suivent l'ouverture du barrage, les vannes du réservoir de Bevava sont ouvertes en grand (les lâchers de Bevava sont alors supérieurs à 3 m^3/s), de telle sorte que les apports du CPRG à l'entrée du PC15 sont conséquent (2 m^3/s), alors même que la saison des pluies démarre également (75 mm de pluie tombés pendant la 1ère décade de décembre), permettant de dériver des quantités importantes d'eau depuis le seuil d'Ambohiboromanga. Ce double apport (CPRG et Ambohiboromanga) ne peut être pleinement absorbé par le réseau d'irrigation : le siphon de sécurité se met alors en marche en continu. Ici, les lâchers de Bevava auraient pu être limités à la seule alimentation de la vallée Marianina. A partir de la mi-mars, les lâchers de Bevava frôlent le débit maximal, soit 4 m^3/s, alimentant ainsi à la fois la vallée Marianina et le PC15, alors même que, sous l'effet combiné des crues de l'Harave et du drainage des AUE de la vallée Marianina, le débit dérivé du seuil d'Ambohiboromanga s'accroît. De sorte que, du 20 mars jusqu'au 12 avril, le siphon entre en action de façon quasi-continue.

Néanmoins, les lâchers excessifs de début de saison et ceux de fin de saison n'ont pas les mêmes implications. En début de saison, les lâchers trop importants ne témoignent que d'un manque de coordination entre la gestion du barrage de Bevava et les dérivations à partir du seuil d'Ambohiboromanga, et s'expliquent aisément par la volonté légitime des gestionnaires de répondre aux forts besoins en eau des parcelles en début de saison (mise en eau des rizières). Inversement, en fin de saison, alors que les besoins en eau des rizières se font plus faibles, les lâchers de Bevava se traduisent par un gaspillage d'eau prégnant : d'une part, une partie est évacuée par le siphon de sécurité à l'entrée du PC15 ; d'autre part, le reliquat d'eau disponible contribue à encourager des appels d'eau néfastes au sein des parcelles, à favoriser une consommation excessive chez les exploitants.

4.3. Gaspillages et surconsommation en fin de saison culturale.

Le périmètre est ainsi caractérisé par une consommation excessive en eau en fin de saison culturale, sans justification agronomique. Les conséquences de ce gaspillage sont particulièrement néfastes.

4.3.1. Caractérisation et causes de la consommation excessive du périmètre en fin de saison.

A l'échelle des associations et des parcelles, un phénomène de surconsommation relative se fait jour, déjà souligné auparavant (Mietton, 2006). Quoique généralisé à l'ensemble du périmètre, il concerne en premier lieu les associations de l'I8 Aval : les exploitants de ces AUE, pénalisés par des pénuries en eau en début de saison, « compensent » cette pénurie par une consommation excessive en fin de saison, quand l'eau est disponible en abondance. Ainsi, lors de la campagne 2007-2008, l'AUE de la maille 21 consomme presque 4000 m^3/ha au cours du seul mois d'avril, soit plus d'un tiers de sa consommation annuelle (10434 m^3/ha) ! Cette caractéristique particulière des AUE de l'I8 Aval explique d'ailleurs la faiblesse de leur consommation pendant la campagne 2010-2011 (*Tableau 1*) : lors de celle-ci, l'irrigation s'est en effet arrêtée dès mi-avril (pas de « compensation » possible).

Plus largement, sur l'ensemble du périmètre, si une consommation élevée reste justifiée jusqu'au début du mois d'avril pour maintenir une lame d'eau suffisante pour la floraison du riz, elle apparait bien excessive après le 15 avril – les *figures 8 et 9*, qui s'attardent sur la consommation en avril (pour les seuls canaux d'irrigation), témoignent pourtant d'excès sensibles. Sur le PC15, en avril 2008 et en avril 2010 en particulier, les consommations dépassent les 1000 m^3/ha sur la seule 2nde quinzaine d'avril, à un niveau presque équivalent à la 1ère quinzaine, notamment sur les AUE de l'I8 Aval ; la maille 21 connait même des « dérapages » en 2008 et en 2012, avec une consommation moyenne qui dépasse 2000 m^3/ha au cours des deux dernières semaines d'avril ! La vallée Marianina n'est pas en reste, puisque la consommation de la 2nde quinzaine égale, voire dépasse celle de la 1ère quinzaine en 2008, 2009 et 2010. Bemanjato et Ambohibary, les deux AUE les plus consommatrices du périmètre, sont les premières concernées.

Cette consommation excessive de fin de saison, favorisée par l'aléa de la ressource en eau, a ses racines dans certaines représentations culturelles : pour les paysans malgaches, l'eau représente la nourriture du riz (Blanc-Pamard, 1985 ; Laulanié, 2003), de sorte qu'ils ont tendance à noyer le riz dès que l'eau est disponible en abondance. Plus spécifiquement, les riziculteurs du lac Alaotra redoutent le stress hydrique auquel la plante serait, selon eux, plus sensible durant les 60 jours de la phase de reproduction (avant maturité début mai) que dans la phase de développement[4].

[4] Communication d'E. Ravanomanana (SD Mad).

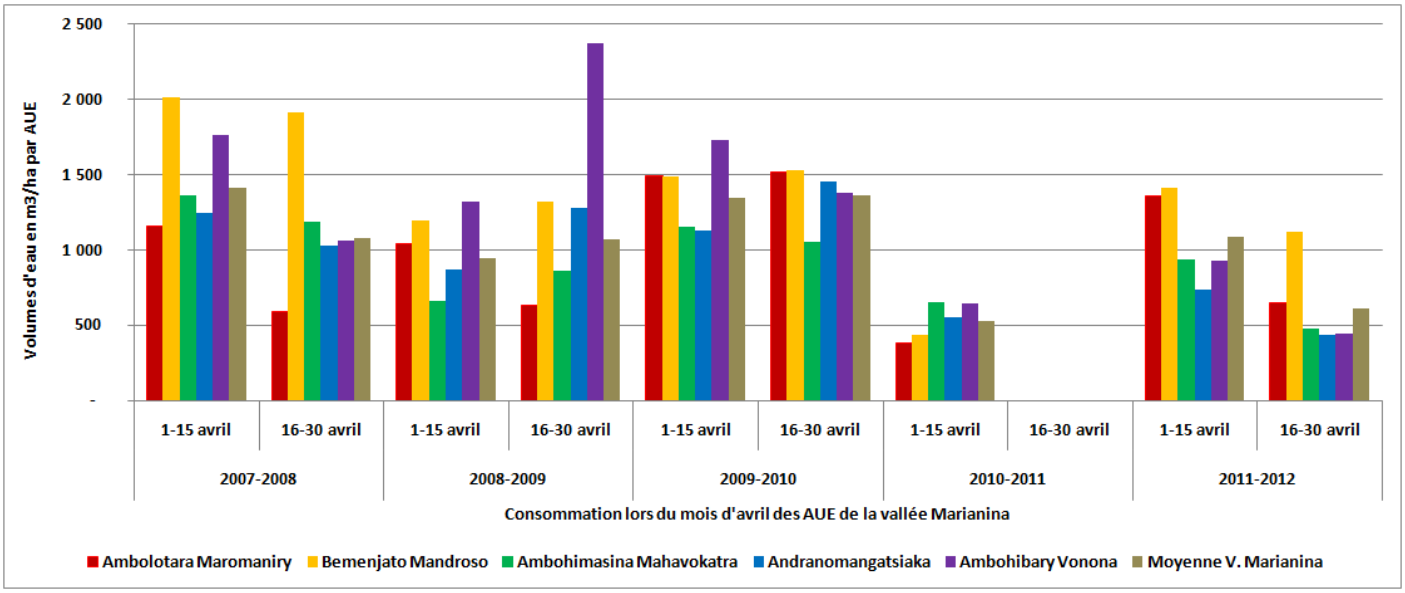


Figure 8 – Consommation moyenne en eau tirée des canaux d'irrigation pendant le mois d'avril en vallée Marianina, en m³/ha (Données : FAUR, 2012).

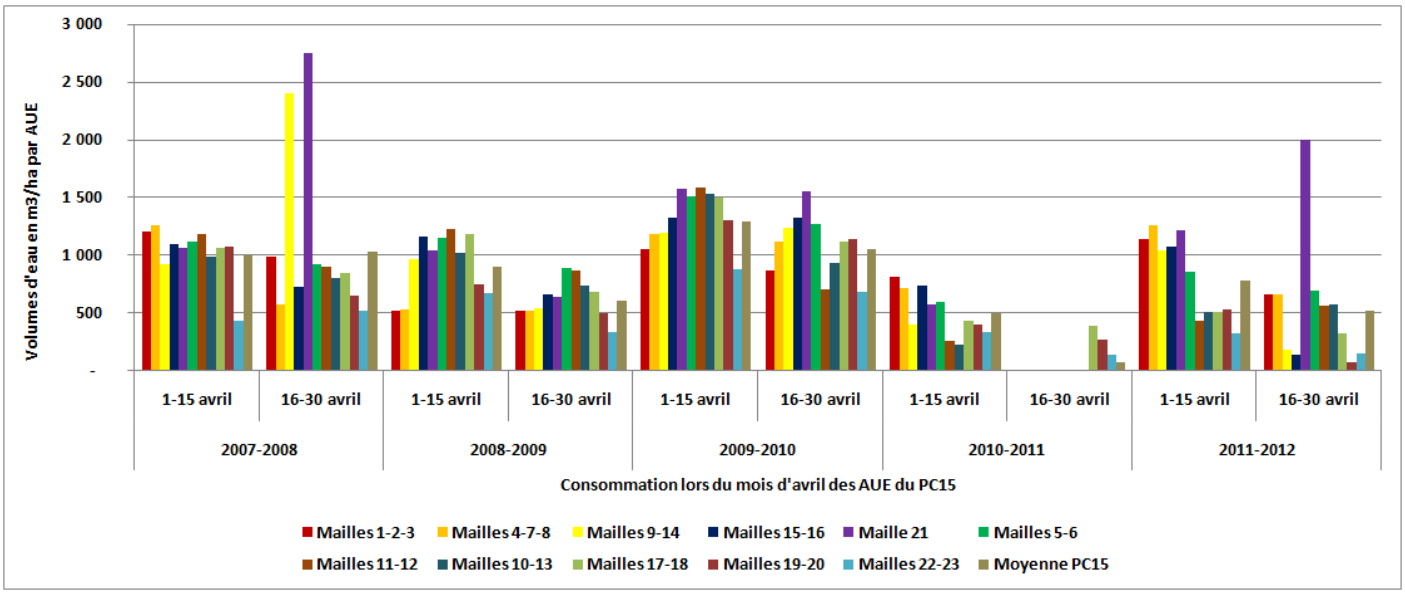


Figure 9 – Consommation moyenne en eau tirée des canaux d'irrigation pendant le mois d'avril sur le PC15, en m³/ha (Données : FAUR, 2012).

4.3.2. Les conséquences des gaspillages d'eau.

Cette surconsommation en eau ponctuelle, parfois dès février-mars mais surtout en fin de saison, a des implications particulièrement néfastes pour des raisons hydrologiques et agronomiques (Mietton et Fujiki, 2013).

Sur le plan hydrologique, les gaspillages de fin de saison, qui alimentent une vidange inutile du réservoir de Bevava, contribuent à réduire le niveau de la retenue du barrage dans la perspective de la saison suivante. Si le début de cette saison des pluies est déficitaire, il peut y avoir un manque préjudiciable dans la retenue lors de la période de mise en eau des rizières et un retard dans le calendrier cultural. Ainsi, avec une retenue vide mi-avril 2011, le

barrage de Bevava n'a pu ouvrir pour la campagne 2011-2012 qu'au 9 décembre, soit deux à trois semaines de retard par rapport aux années précédentes.

Sur le plan agronomique, les rendements en paddy souffrent des apports excessifs en eau de fin de saison, car ceux-ci se traduisent par l'ennoiement et l'asphyxie du riz et des microorganismes du sol. En conséquence, les rendements du périmètre PC15-vallée Marianina (4 t/ha de paddy), certes plus élevés comparés aux autres grands périmètres malgaches, demeurent relativement faibles par rapport au potentiel de la principale variété cultivée, le Makalioka 34 – un potentiel estimé à 9t/ha, selon la JICA (2008). La campagne 2010-2011 confirme d'ailleurs cette projection agronomique : lors de cette campagne, l'irrigation doit s'arrêter dès la mi-avril et les rendements sont de l'ordre de 0,5 t/ha plus élevés que lors des années précédentes, en lien avec un fort ensoleillement et un léger stress hydrique en avril (Andri-Ko, 2011).

En conclusion, les disparités entre les associations sont certes marquées à l'échelle interannuelle ; elles le sont cependant bien plus encore à l'échelle mensuelle et annuelle, avec des dynamiques de sous-consommation en eau en début de saison et de surconsommation en fin de saison, qui touchent en premier lieu les associations les plus vulnérables.

5. Discussion – les facteurs explicatifs des différences de consommation en eau entre associations.

Divers facteurs explicatifs des disparités spatiales de la consommation en eau provenant du système d'irrigation, entre associations, peuvent être identifiés. Il serait cependant illusoire de les classer selon leur poids respectif – d'une part, parce que, en fonction des associations considérées, leur prépondérance et leur validité quant à une surconsommation ou une sous-consommation relative varient beaucoup ; d'autre part, parce que ces facteurs sont difficiles à quantifier. De ce fait, ils sont listés en fonction de la relative objectivité des données disponibles, autrement dit, des plus évidents aux moins évidents – les facteurs d'ordre physico-technique seront d'abord abordés, puis les facteurs d'ordre socio-économique.

5.1. Les facteurs physico-techniques.

Parmi les facteurs physico-techniques sont distingués : la géographie et l'aménagement du réseau, les considérations morphologiques et pédologiques, enfin la vulnérabilité des associations face aux aléas climatiques et hydrologiques.

5.1.1. Géographie et aménagement du réseau.

En premier lieu, la position géographique de chaque association par rapport aux autres et par rapport aux sources d'approvisionnement joue beaucoup dans l'inégale répartition de la ressource hydrique (*Tableaux 1 et 2 ; Figure 3*). En début de saison en particulier, même si l'eau est disponible dans le réservoir du barrage, toutes les associations ne peuvent être satisfaites de la même façon du fait de contraintes hydrauliques. S'il y a bien des méthodes pour réguler l'eau (des tours d'eau entre différentes associations), elles sont rarement appliquées dans les faits – notamment sur le PC15 où le principe reste mal compris (Belloncle *et al*., 2002). Cette pénurie en eau est aggravée par le fait que les paysans cherchent à tirer un maximum d'eau des canaux d'irrigation quand celle-ci est disponible (il n'y a pas d'autorégulation) ; mais aussi par l'insuffisance de moyens au sein de la fédération : on ne compte que six chefs de secteur hydraulique et un technicien en chef pour réguler les débits dans les canaux primaires, secondaires et tertiaires sur un périmètre de 4000 hectares, tandis que, du temps de la SOMALAC, le PC15 comptait un technicien hydraulique par maille, soit 21 techniciens au total. Cette pénurie en eau favorise les associations les plus proches des sources d'approvisionnement : le barrage de Bevava et le seuil d'Ambohiboromanga. Autrement dit, ce sont les associations amont de la vallée Marianina et les associations amont du PC15 qui reçoivent le plus d'eau du fait de leur position géographique. Inversement, les associations aval du PC15 souffrent régulièrement de pénurie, particulièrement en début de saison et lors des campagnes très sèches (*Tableaux 1 et 3*).

Intimement lié à la géographie du réseau, l'aménagement technique de ce dernier conditionne la répartition spatiale de l'eau : le périmètre est de la sorte marqué par des clivages d'ordre technique, à deux échelles différentes. En premier lieu, il existe de fortes disparités entre les associations de la vallée Marianina, entrée tardivement dans le périmètre hydro-agricole et encore marquée par une faible empreinte de l'aménagement

hydraulique moderne (au profit d'aménagements « paysans »), et les associations du PC15, qui ont bénéficié des aménagements de la SOMALAC. Le réseau de canaux secondaires et tertiaires est moins bien structuré en vallée Marianina, de sorte que les pertes en eau par infiltration dans les canaux sont très élevées. Pour compenser ces pertes, les chefs de secteur préfèrent laisser passer un maximum d'eau dans les associations de la vallée Marianina. En second lieu, en aval du PC15, il existe un fort clivage entre les associations de l'I8 et celles de l'I2 : les débits instantanés à l'hectare sont plus faibles sur le canal I2 (inférieurs à 0,70 en aval) que sur celui de l'I8 (supérieurs à 0,70), en raison d'un gabarit plus limité (Fujiki, 2013).

5.1.2. Morpho-pédologie du périmètre.

L'opposition entre PC15 et vallée Marianina se retrouve dans la texture du sol et le nivellement des rizières. Concernant la texture des sols, ceux-ci sont plus sableux en vallée Marianina et plus argileux, voire tourbeux, sur le PC15, comme l'indique la carte tirée de l'ouvrage de M. Raunet (1984)(*Figure 10*). Concernant le planage des rizières, s'il est bien assuré sur le PC15, qui fait partie des grandes plaines hydromorphes planes du pourtour de la cuvette du lac Alaotra, il est médiocre et très variable en vallée Marianina. Ce défaut de planage est lié, d'une part, au relief accidenté de la vallée, sur les territoires d'Ambolotara et de Bemanjato en particulier, d'autre part, au fait que la vallée Marianina est un ancien périmètre traditionnel, n'ayant pas bénéficié des travaux lourds de planage de la SOMALAC. Ce planage médiocre se traduit par des pertes en eau substantielles.

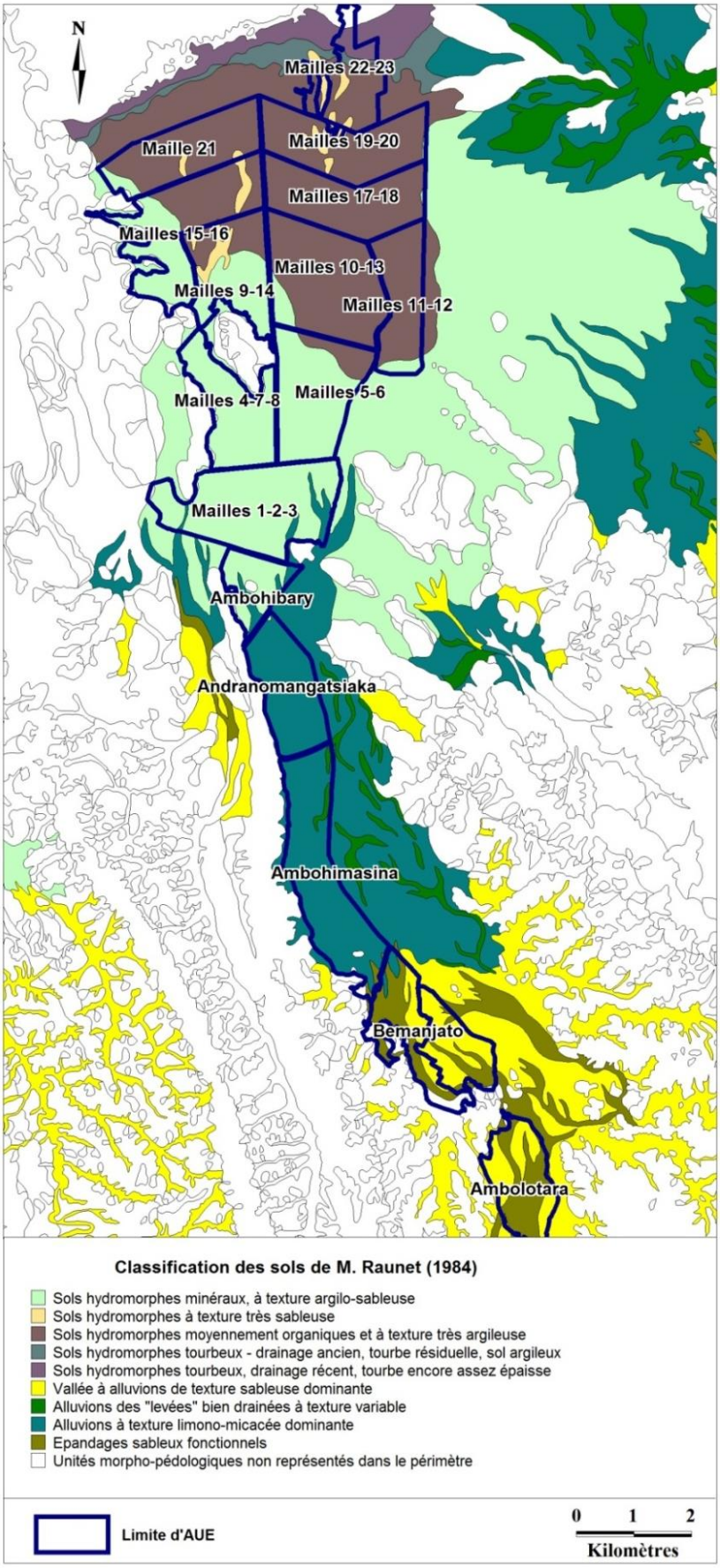


Figure 10 – Texture des sols sur le périmètre PC15-vallée Marianina (Données : M. Raunet, 1984).

5.1.3. La vulnérabilité des AUE aux aléas climatiques.

Certaines associations sont plus vulnérables que d'autres aux inondations ou à l'ensablement par des ruptures de digues ou par une accumulation d'eau mal drainée. Cette vulnérabilité aux aléas se traduit par des consommations plus aléatoires et généralement plus faibles que la moyenne du périmètre. Les associations les plus vulnérables sont celles du secteur CPRG Aval (à l'exception d'Ambohibary) et du secteur I2 Aval. On peut préciser différents facteurs de vulnérabilité :

- En premier, la proximité aux cours d'eau : pour l'I2 Aval, il s'agit en particulier de la Manamontana qui conflue avec le drain D3[5] (*Figure 11*)(Belloncle *et al.*, 2002 ; Mietton, 2011) ; pour le CPRG Aval, c'est l'Harave qui rompt la digue de rive gauche et s'épanche sur les associations aval de la vallée en cas de fortes crues, lors de la campagne 2007-2008 par exemple au passage des cyclones Indlala puis Fame et Ivan.
- En second, l'importance du réseau de drainage : plus le réseau de drainage est imposant, plus la récupération sur drains par batardeaux ou par barrage est prégnante ; or, ces derniers représentent de fait des obstacles à l'écoulement, et accroissent donc le risque d'inondation à proximité des drains.
- Enfin, spécifiques au CPRG Aval, les déversoirs latéraux de sécurité (BRL-Madagascar, 2008), placés sur le CPRG et qui permettent d'évacuer en urgence les débits excédentaires en cas de fortes crues, afin de protéger le canal et le PC15. Le déversoir d'Amparihitody, qui évacue l'eau vers le drain du même nom, provoque le plus de risques à proximité (AUE d'Ambohimasina).

[5] Le drain D3 évacue les eaux de l'Harave non récupérées au seuil d'Ambohiboromanga vers la rivière Sahabe. Le drain D3 est parallèle et contigu au drain D2.

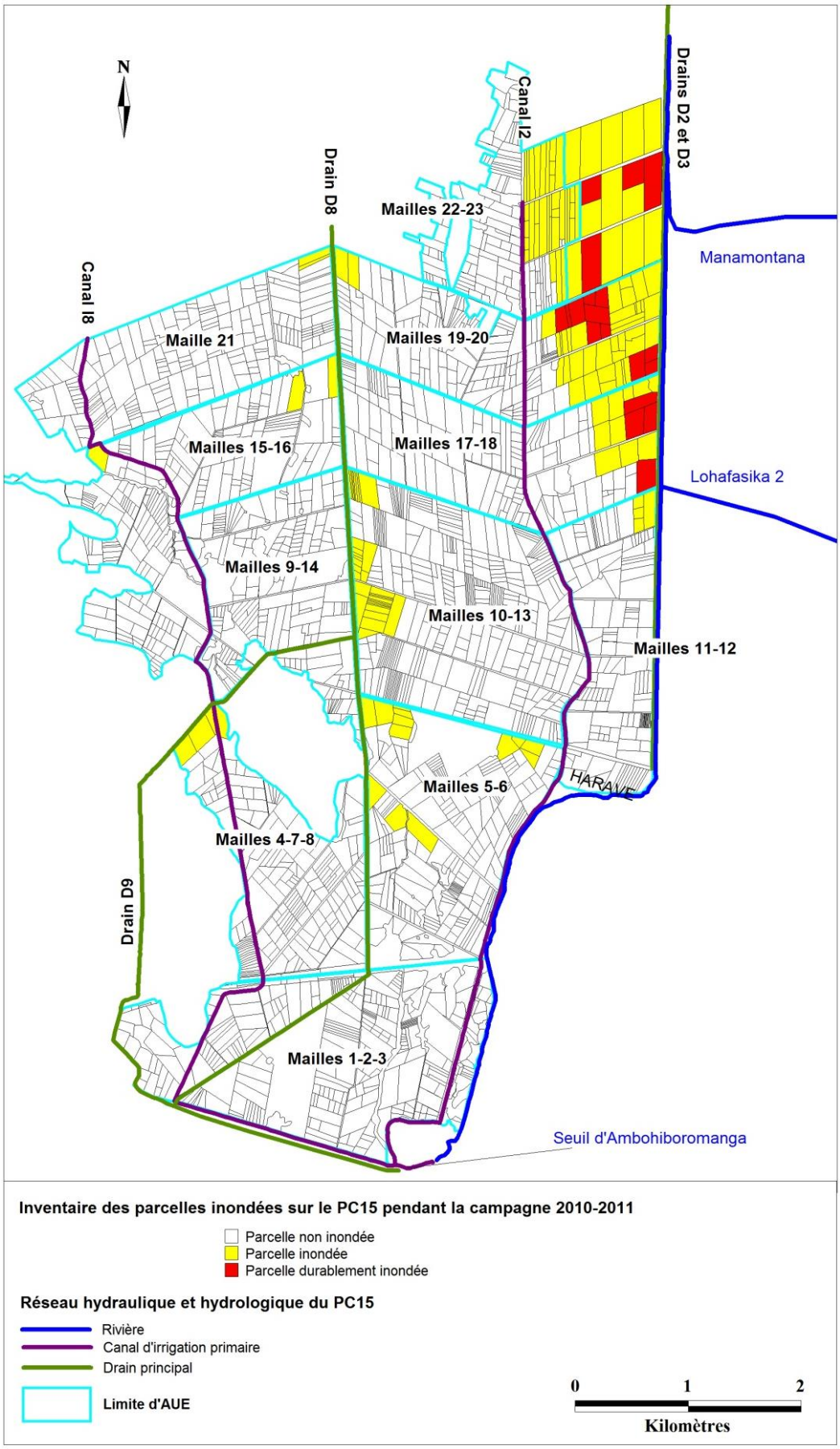


Figure 11 – La vulnérabilité du PC15 aux inondations pendant la campagne 2010-2011 (Données : FAUR, 2012).

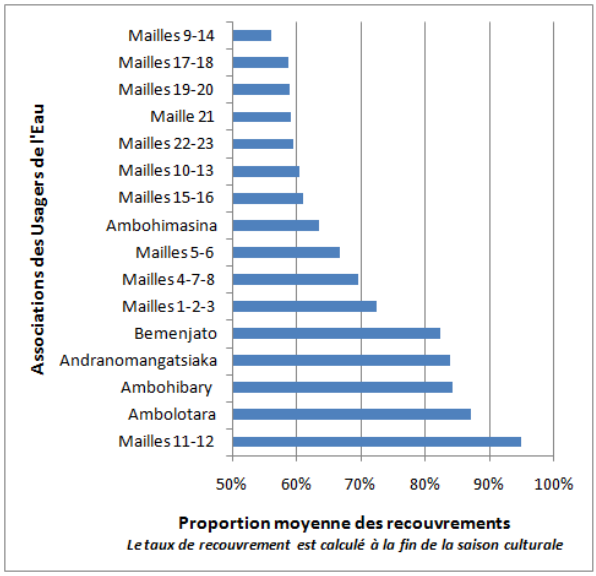
5.2. Les facteurs socio-économiques.

Parmi les facteurs socio-économiques, moins évidents à apprécier, peuvent être identifiés : un facteur sociologique, le morcellement foncier et les choix culturaux.

5.2.1. Les disparités sociologiques au sein du réseau.

En premier lieu, les représentations des usagers quant au fonctionnement du réseau d'une part, et leurs rapports avec la fédération et leur association d'autre part, ont pour catalyseur la question des recouvrements de la redevance d'eau, clé de voûte du bon fonctionnement du périmètre. La *figure 12* présente le taux moyen de recouvrement des redevances par AUE entre 2007 et 2012 et l'indice de variation interannuelle de ce taux de recouvrement. Une typologie des différences sociologiques entre associations peut être ainsi dressée :

- Les associations avec un fort taux de recouvrement et un faible indice de variation. Ces associations se caractérisent en apparence par une pleine adhésion de leurs usagers au fonctionnement de la fédération. Il s'agit des AUE du CPRG Amont et de l'association des mailles 11-12, avec des taux de recouvrement supérieurs à 80% et un indice de variation très faible, inférieur à 1,25.
- Les associations avec un taux moyen ou élevé de recouvrement et un indice élevé de variation. Ce sont généralement des associations en voie d'amélioration dans leurs recouvrements. Il s'agit, entre autres, des AUE de l'I8 Amont et d'Andranomangatsiaka. Pour cette dernière, l'évolution est particulièrement flagrante et est liée à un changement de comportement de la part des grands propriétaires, entrés au sein du bureau exécutif de l'AUE après 2008 et désormais pleinement intégrés au système.
- Les associations avec un faible taux de recouvrement. Ce sont les associations les plus vulnérables, à l'instar d'Ambohimasina, des mailles 22-23, ou encore des associations dont une partie des usagers est en position de rejet vis-à-vis de la fédération et des aménagements hydrauliques (AUE des mailles 9-14). L'AUE de la maille 21 cumule les deux problèmes.



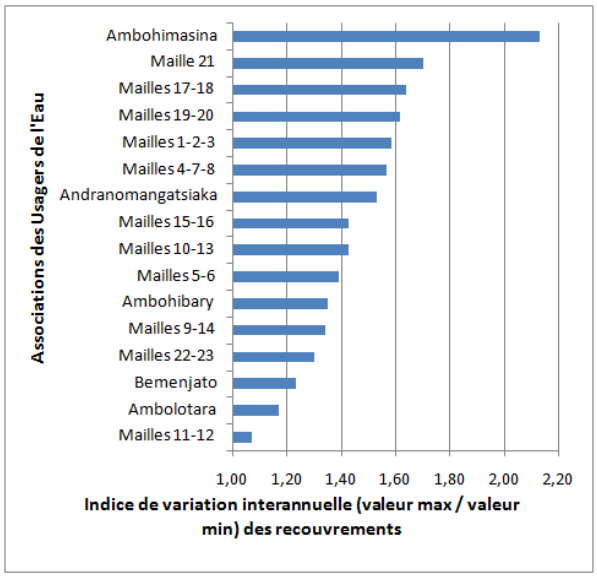


Figure 12 – Moyenne et variation interannuelles des recouvrements de redevance par AUE entre 2007 et 2012 (Données : BERELAC, 2012 ; FAUR, 2012).

Si les différences sociologiques, qui se traduisent par des situations de recouvrement très variées, ont des causes multiples et parfois contradictoires, deux explications peuvent néanmoins être clairement identifiées : l'organisation interne des associations et la question des «remembrés». L'organisation interne des AUE est nettement différenciée entre la vallée Marianina et le PC15. Tandis que les associations du CPRG s'inspirent des formes traditionnelles des organisations paysannes et sont mieux intégrées au fonctionnement de la société locale, en revanche sur le PC15, les associations, qui ont pris le relais de l'Etat à la fin des années 1980, n'étaient pas préparées à assurer par elles-mêmes la gestion du réseau. Elles se sont retrouvées désorganisées et coupées des attentes des usagers, qui avaient pris l'habitude d'un contrôle bureaucratique et d'un encadrement serré de la part de la SOMALAC. Ainsi, parmi les cinq associations qui ont les meilleurs recouvrements sur le périmètre, quatre font partie de la vallée Marianina. Spécifique au PC15, la question des «remembrés» marque, aujourd'hui encore, les comportements des usagers : les «remembrés» sont les paysans et leurs descendants qui avaient des rizières sur le PC15 avant les aménagements de la SOMALAC, et qui ont vu leurs terres remembrées, leurs propriétés réduites, par les opérations de redistribution des terres effectuées par la société d'Etat. Ces «remembrés» en ont gardé une grande défiance vis-à-vis du gestionnaire du périmètre – hier l'Etat, aujourd'hui la fédération – et rechignent à payer la redevance d'eau. Les propriétaires «remembrés» se concentrent en particulier sur le secteur de l'I8 Aval (Ratsimba, 2007).

Cette différenciation sociologique a de multiples implications en termes de gestion de l'eau. En particulier, les AUE qui peinent à recouvrer les redevances de leurs usagers ont également des difficultés à payer leur quote-part à la fédération à temps pour l'ouverture du barrage de Bevava. Or, la politique de la fédération vise à conditionner l'ouverture des prises secondaires d'irrigation au paiement intégral de cette quote-part ; celles qui ont du retard dans leur paiement reçoivent donc de l'eau plus tardivement (43 jours ! après l'ouverture du barrage sur Andranomangatsiaka en décembre 2007, 24 jours pour les associations des mailles 9-14, 21 et 19-20 en décembre 2010), ce qui explique largement la faiblesse de la consommation en eau en m^3/ha des associations défaillantes, en début de campagne culturale. Des recouvrements déficients ont aussi pour conséquence un manque d'entretien du réseau secondaire : les associations qui peinent à recouvrer la redevance d'eau ont des difficultés à assurer leurs propres travaux, qui ont lieu en deux temps, avant l'ouverture du barrage, en novembre, et après les pluies cycloniques, entre février et avril. Logiquement, l'AUE de la maille 21 a le réseau secondaire le plus dégradé.

5.2.2. Le morcellement foncier.

Le morcellement foncier, lié à la division de la terre entre tous les héritiers de chaque propriétaire, exacerbé par la croissance démographique et les dynamiques migratoires (Ratsimba, 2007 ; Brochoire, 2009), est également à prendre en considération. C'est cependant un facteur de différenciation des consommations en eau difficile à appréhender. Les implications du morcellement sont à la fois directes et indirectes.

Directement, le morcellement influe sur la quantité d'eau consommée. Plus les terres sont morcelées (sont concernées en premier lieu les parcelles de moins de 0,25 ou 0,5 ha), plus les appels d'eau sur les prises tertiaires et secondaires sont intenses et répétés dans le temps, ce afin d'assurer l'irrigation en cascade au sein d'un même lot, et plus les « prises pirates » se multiplient pour tirer de l'eau directement du canal tertiaire plutôt que

d'attendre l'irrigation en cascade. Plus généralement, l'augmentation du nombre des acteurs multiplie les risques de conflits locaux autour de la ressource et complique d'autant toute gestion collective de la répartition en eau par les chefs de secteur.

Indirectement, le morcellement rend plus difficile le recouvrement des redevances : plus le nombre d'usagers est important, plus le travail des collecteurs de redevance se complique pour retrouver tous les usagers. Inversement, la prégnance des grands propriétaires peut également avoir une grande influence dans la gestion de l'association : les AUE dominées par quelques grands propriétaires (l'AUE Andranomangatsiaka en premier lieu) sont très dépendantes du comportement de ces dits propriétaires.

5.2.3. Les choix culturaux.

Enfin, un dernier facteur explicatif peut être identifié : ce sont les choix culturaux différenciés selon les associations, et en particulier les choix de variété de riz cultivé. Trois variétés principales sont cultivées sur le périmètre : le Makalioka 34 (nom générique : ADK2), le Tsemaka (ADK10) et le Botamena (ADK17) (SDMAD, 2007). Il apparaît que le Makalioka 34 est cultivé de préférence sur les périmètres irrigués, car c'est une variété très appréciée des Malgaches, qui donne de bons rendements mais qui demande une bonne maitrise de l'eau et des repiquages avant le 15 janvier (c'est une variété très photopériodique). Le Tsemaka et le Botamena sont plus adaptés quand la maîtrise de l'eau n'est pas assurée, en cas de risque de pénurie connu, ou quand le repiquage doit avoir lieu tardivement. Ainsi, durant la campagne 2011-2012, l'ouverture très tardive du barrage a incité nombre d'exploitants à préférer le Tsemaka ou le Botamena au Makalioka, en prévision d'un repiquage tardif : à titre d'exemple, en mailles 11-12, on compte seulement 60% de parcelles occupées par du Makalioka pour la campagne 2011-2012 contre 92% pour la campagne 2010-2011.

Pour conclure, si divers facteurs à la fois d'ordre physico-technique et d'ordre socio-économique peuvent être distinctement identifiés, il faut toutefois souligner que ces facteurs sont étroitement liés entre eux : la gestion de l'eau au sein du périmètre forme en effet un système complexe d'interdépendances ; il faut donc se garder de tout jugement à l'emporte-pièce quant à la gestion de ce réseau.

6. Conclusion.

Certes, le périmètre PC15-vallée Marianina demeure un périmètre relativement exemplaire à Madagascar, cité comme modèle par l'Etat et les agences de développement pour sa gestion institutionnelle, son autonomie budgétaire et la bonne tenue de son réseau d'irrigation. La fourniture d'eau est étonnamment stable sur les cinq campagnes considérées : la consommation globale du périmètre varie peu (indice de variation de 1,19) (*Tableau 1*), malgré deux années marquées par une pénurie relative (une saison 2010-2011 très sèche, une saison 2011-2012 marquée par l'ouverture exceptionnellement tardive du barrage).

Ceci étant dit, c'est aussi un périmètre marqué par de fortes disparités, en termes de consommation en eau, entre le PC15 et la vallée Marianina, entre les associations amont et aval, entre celles desservies par le canal I8 et celles par le canal I2. Ces disparités sont exacerbées par l'aléa de la ressource hydrique. C'est un aléa à différents pas de temps. L'eau dérivée du seuil d'Ambohiboromanga et celle récupérée à partir des drains sont directement tributaires de la pluviosité : autrement dit, c'est un aléa quasi-instantané, d'échelle journalière ou hebdomadaire. Inversement, les canaux d'irrigation *stricto sensu* et, en particulier le CPRG, se caractérisent par un aléa de plus long terme, d'échelle saisonnière ou inter-saisonnière, fonction de l'évolution de la cote du réservoir de Bevava.

Consécutivement, les associations les plus soumises à l'aléa journalier, celles en aval du PC15 en particulier, mais aussi les associations Andranomangatsiaka et Ambohimasina de vallée Marianina, constituent aussi les associations les plus vulnérables à la pénurie d'eau de début de saison ou, inversement, aux inondations cycloniques de milieu de saison. Elles sont, de ce fait, les moins propices à l'intensification rizicole – qui constitue un investissement en temps et en travail, et donc une prise de risque, telle la mise en place du repiquage en ligne (Barker *et al*., 2003).

Les pénuries sont d'autant plus problématiques que le périmètre consomme relativement peu en débit moyen interannuel, comparé au débit nominal théorique et à d'autres grands périmètres. Dans ces conditions, les phénomènes de surconsommation, constatés en fin de saison, ne le sont que relativement : touchant d'abord les mêmes associations concernées par l'aléa journalier, la surconsommation témoigne en fait d'une alimentation irrégulière et de fait assez peu maîtrisable. Elle témoigne d'une vulnérabilité des exploitations, avant de représenter un comportement dépensier.

En conclusion, à ces disparités de consommation se superposent des disparités physiques, techniques, sociologiques – et, *in fine*, des inégalités sociales, en termes d'accès à la terre, de rendements de paddy. Dans un contexte de retrait des bailleurs de fonds (fin du projet BVLac en juin 2013), de pression démographique et foncière, les disparités de consommation en eau, catalysant les inégalités socio-spatiales entre exploitations, entre associations, entre amonts et avals, se retrouvent au cœur de la viabilité du périmètre sur le long terme.

7. Bibliographie.

Andri-Ko, 2008. Evaluation de la production agricole par le sondage de rendement pour la campagne 2007-2008, dans la région du lac Alaotra. Lot 1 : Evaluation de la production rizicole sur les périmètres irrigués PC15-vallée Marianina (3600ha). Ambatondrazaka, 69p.

Andri-Ko, 2011. Evaluation de la production agricole par le sondage de rendement, pour la campagne 2010-2011 dans la région du lac Alaotra. Lot 1 : évaluation de la production rizicole sur les périmètres irrigués PC15-vallée Marianina. Ambatondrazaka, 70p.

Angladette, A., 1966. Le riz. G.-P. Maisonneuve et Larose, Limoges, 931p.

Barbier, B., Ouedraogo, H., Dembélé, Y., Yacouba, H., Barry, B., Jamin, J.-Y., 2011. L'agriculture irriguée dans le Sahel ouest-africain. Diversité des pratiques et des performances. Cahiers de l'Agriculture, 20, 1-2, pp.24-33.

Barker, R., Dawe, D., Inocencio, A., 2003. Economics of Water Productivity in Managing Water for Agriculture. *In* Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement, Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series, 1. International Water Management Institute, Colombo, 352p.

Baron, C., Bonnassieux, A., Mossi Maïga, I., Nguyen, G., 2010. Gouvernance hybride et viabilité des grands périmètres irrigués au Niger. Mondes En Développement, 2010-3, 151, pp.51-66.

Belle, M., 2010. Vallée Marianina, Commune Rurale d'Ilafy, Ambatondrazaka : d'une gestion de l'eau à une gestion de territoire. Région Alaotra - Mangoro, Madagascar. Mémoire de master en géographie et aménagement. Université Jean Moulin Lyon III, Lyon, 83p.

Belloncle, G., Randriamananjara, D., Ratsimba, J., 2002. Une fédération des associations des usagers du réseau peut-elle gérer un grand réseau hydroagricole ? Une étude de cas : la fédération PC15-vallée Marianina au lac Alaotra. BERELAC, Ambatondrazaka, 63p.

Blanc-Pamard, C., 1985. Communautés rurales des hautes terres malgaches et gestion de l'eau. *In* Les politiques de l'eau en Afrique : développement agricole et participation paysanne. Economica, Paris, pp.421-442.

BRL-Ingénierie, 2002. Etude pour l'amélioration des textes concernant le transfert de gérance de grands périmètres ou de périmètres présentant des difficultés. Etude des périmètres PC15 et vallée Marianina du lac Alaotra. 52p.

BRL-Madagascar, 2008. Appui à la gestion et l'entretien de réseau Vallée Marianina et PC15. Fédération des Association des Usagers de Réseau - Périmètres irrigués de la vallée Marianina et du PC15, Ambatondrazaka, 29p.

Brochoire, C., 2009. La sécurisation foncière dans un espace de fortes contraintes : l'exemple du périmètre irrigué PC15 au lac Alaotra, région Alaotra Mangoro, Madagascar. Mémoire de master en sciences politiques. Université Paris I - Panthéon - Sorbonne, Paris, 99p.

Broutin, C., Vogel, A., Rabarijaona, T., Rasamilala, A., 2011. Evaluation rétrospective du Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants du lac Alaotra (BV LAC 1), Madagascar. Rapport provisoire. GRET, Paris, 30p.

Devèze, J.-C., Jullien, J.-F., Papazian, V., 2003. Grands aménagements hydro-agricoles d'Afrique subsaharienne : poursuivre les évolutions institutionnelles. Afrique Contemporaine, 2003/1, 205, pp.193-203.

Droy, I., 1994. Madagascar, de la gestion étatique à la gestion paysanne : le projet de réhabilitation des petits périmètres irrigués. Série de petits rapports sur le transfert de gérance des périmètres irrigués. International Irrigation Management Institute, Colombo, 27p.

FAO, 2003. World Agriculture Towards 2015/2030: an FAO Perspective. FAO, Rome et Earthscan, Londres, 432p.

Ferry, L., 1989. Etudes hydrologiques dans la région du lac Alaotra. Rapport final. Tome I. ORSTOM, Antananarivo, 315p.

Ferry, L., Mietton, M., Robinson, L., Erismann, J., 2009. Le lac Alaotra à Madagascar - Passé, Présent et Futur. Zeitschrift für Geomorphologie (main volume, sept. 2009), 53, 3, pp.299-318.

Fujiki, K., 2012. Les disparités spatiales vis-à-vis de l'eau dans une zone stratégique de riziculture à Madagascar : PC15 et Vallée Marianina. Région Alaotra-Mangoro. Mémoire de master en géographie et aménagement. Université Jean Moulin Lyon III, Lyon, 151p.

Fujiki, K., 2013. Performance et viabilité d'un Grand Périmètre Irrigué : l'exemple du périmètre PC15-vallée Marianina (Région Alaotra-Mangoro, Madagascar). Contexte régional et national. Mémoire de master en géographie et aménagement. Université Jean Moulin Lyon III, Lyon, 111p.

Garin, P., 1998. Dynamiques agraires autour de grands périmètres irrigués : le cas du lac Alaotra à Madagascar. Thèse de Géographie. Université Paris X - Nanterre, Paris, 380p.

GERSAR, BRL-Ingénierie, 1988. Etude pour l'aménagement des vallées du sud-est du lac Alaotra. Rapport d'avancement. SOMALAC, 37p.

Jamin, J.-Y., Bouarfa, S., Poussin, J.-C., Garin, P., 2011. Les agricultures irriguées face à de nouveaux défis. Cahiers de l'Agriculture, 20, 1-2, pp.10-15.

JICA, 2008. Etude du développement rural et de l'aménagement des bassins versants dans le sud-ouest de la région d'Alaotra. République de Madagascar. Rapport final. Project for Rice Productivity Improvement in Central Highland in Madagascar, Tokyo.

Kakuta, I., 2011. Workshop on Water Users' Association in PC23. For the Project for Rice Productivity Improvement in Central Highland in Madagascar. Asia University, 10p.

Kuper, M., 2011. Des destins croisés : regards sur 30 ans de recherche en grande hydraulique. Cahiers de l'Agriculture, 20, 1-2, pp.16-23.

Laulanié, H., 2003. Le riz à Madagascar. Un développement en dialogue avec les paysans. Editions Karthala, Paris, 288p.

Le Roy, X., Kane, M., Marcellin, C., Sy, M., Ball, O., Diallo, O., Crochet, G., Herbreteau, J., Ba, A., 2004. Agriculture irriguée et inégalités sociales dans la vallée du fleuve Sénégal. Présenté au colloque "Coordinations hydrauliques et justices sociales", CIRAD, Montpellier.

Mietton, M., 2006. Rapport de consultance à Ambatondrazaka (Madagascar) au sein du "Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants du lac Alaotra". Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, CIRAD, 23p.

Mietton, M., 2011. Rapport de consultance à Ambatondrazaka (Madagascar) au sein du "Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants du lac Alaotra". Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, CIRAD, 16p.

Mietton, M., Fujiki, K., 2013. Rapport de consultance à Ambatondrazaka au sein du "Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants du lac Alaotra", Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, CIRAD, 28p.

Penot, E., 2009. Des savoirs aux savoirs faire : l'innovation alimente un front pionnier : le lac Alaotra de 1897 à nos jours. Document de travail BV lac, 27. Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants au lac Alaotra (BV ALAOTRA), Ambatondrazaka, 37p.

Penot, E., Rakotoarimanana, A., 2011. Savoirs, pratiques, innovations et changement de paradigme de l'agriculture dans la région du lac Alaotra (Madagascar). Géoconfluences, Afrique subsaharienne, territoires et conflits, 23 juin 2011.

Rakoto Ramiarantsoa, H., 1985. Développement à contre-sens : un aménagement hydro-agricole qui n'a pas donné les résultats escomptés. *In* Les politiques de l'eau en Afrique : développement agricole et participation paysanne. Economica, Paris, pp. 409–420.

Ratsimba, J., 2007. Etude monographique et analyse des débiteurs de la redevance d'eau, campagne 2006-2007, périmètre PC15. BERELAC, Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants au lac Alaotra (BV ALAOTRA), Ambatondrazaka, 7p.

Raunet, M., 1984. Le milieu physique : aptitudes à la mise en valeur agricole. Système et structure. Région du lac Alaotra, Madagascar. Institut de Recherches Agronomiques Tropicales, Montpellier, 226p.

SDMAD, 2007. Mise en place de collections généalogiques et de collections testées. Rapport final. Catalogue de variétés. Projet d'appui à la diffusion des techniques agro-écologiques à Madagascar, 111p.

Turral, H., 1995. Devolution of management in public irrigation systems: cost shedding, empowerment and performance. A review. Working Paper, 80. Overseas Development Institute, London, 98p.

Turral, H., Svendsen, M., Faures, J.-M., 2010. Investing in irrigation: Reviewing the past and looking to the future. Agricultural Water Management, 97, pp.551-560.

Vallois, P., 2006. La riziculture du PC15-VM d'Ambatondrazaka en 2005-2006. Analyse statistique du sondage d'ANDRI-KO et monographie des pratiques culturales. Andri-Ko, Ambatondrazaka, 32p.

Liste des figures.

Figure 1 – La région du lac Alaotra, grenier à riz de Madagascar (Données : Projet BVLac, 2012)..... 4
Figure 2 – Les réseaux hydrologique et hydraulique du périmètre PC15-Vallée Marianina et les associations d'usagers (Données : BRL-Madagascar, 2012 ; Projet BVLac, 2012)..... 6
Figure 3 – Le seuil d'Ambohiboromanga (Photo : P. Grandjean)..... 7
Figure 4 – Le déversoir Giraudet sur le canal de tête morte (Photo: M. Mietton)..... 8
Figure 5 – Evolution de la cote du barrage de Bevava entre la saison 2006-2007 et la saison 2011-2012 (Données : BRL-Madagascar, 2012 ; J. Erismann (thèse en cours))..... 9
Figure 6. Parcelles du périmètre faisant appel à la récupération sur drain (Données : FAUR, 2013)..... 15
Figure 7 – Bilan hydrologique à l'entrée du PC15. (Données : M. Mietton, 2011 ; BRL-Madagascar, 2012)..... 18
Figure 8 – Consommation moyenne en eau tirée des canaux d'irrigation pendant le mois d'avril en vallée Marianina, en m^3/ha (Données : FAUR, 2012)..... 21
Figure 9 – Consommation moyenne en eau tirée des canaux d'irrigation pendant le mois d'avril sur le PC15, en m^3/ha (Données : FAUR, 2012)..... 21
Figure 10 – Texture des sols sur le périmètre PC15-vallée Marianina (Données : M. Raunet, 1984)..... 25
Figure 11 – La vulnérabilité du PC15 aux inondations pendant la campagne 2010-2011 (Données : FAUR, 2012)..... 27
Figure 12 – Moyenne et variation interannuelles des recouvrements de redevance par AUE entre 2007 et 2012 (Données : BERELAC, 2012 ; FAUR, 2012)..... 28

Liste des tableaux.

Tableau 1 – La consommation en eau tirée des canaux d'irrigation par AUE en m^3/ha et en l/s/ha, entre la saison 2007-2008 et la saison 2011-2012 (Données : FAUR, 2012)..... 13
Tableau 2. Estimation des volumes d'eau consommés par le biais de la récupération sur drain en m^3/ha, entre 2007 et 2012 (Données : FAUR, 2012)..... 16
Tableau 3. Volumes d'eau consommés à partir des canaux d'irrigation et de la récupération sur drain en m3/ha, entre 2007 et 2012 (Données : FAUR, 2012)..... 16

Table des matières.

1. Introduction. 2

2. Contexte historique, géographique, climatique du périmètre PC15-vallée Marianina.. 3

2.1. La création et l'évolution des grands périmètres irrigués dans la région du lac Alaotra……. 3

2.2. Fonctionnement et gestion du périmètre PC15-vallée Marianina. 5

2.3. Le contexte climatique de l'étude : de 2007 à 2012. 8

3. Méthode – le recueil des données de consommation en eau. 10

3.1. Traitement des données hydrauliques. 10

3.2. Les clés d'interprétation : entretiens et inventaires. 11

4. Résultats – la gestion de l'eau sur le périmètre PC15-vallée Marianina : disparités entre associations, pénuries, surconsommation. 12

4.1. Des disparités de consommation en eau entre la vallée Marianina et le PC15, entre les associations amont et les associations aval, à l'échelle annuelle et interannuelle…. 12

4.1.1. Les volumes de consommation en eau tirée des canaux d'irrigation. 12

4.1.2. La récupération sur drain et les volumes de consommation globale. 14

4.2. L'interface d'Ambohiboromanga et l'alimentation en eau du PC15. 17

4.2.1. Le bilan hydrologique à l'entrée du PC15 : apports en eau et débits entrants pour la campagne 2011-2012. 17

4.2.2. Une gestion raisonnée du barrage de Bevava pendant la majeure partie de la saison. 18

4.2.3. Des lâchers de Bevava inappropriées à l'ouverture du barrage et en fin de saison. 19

4.3. Gaspillages et surconsommation en fin de saison culturale. 20

4.3.1. Caractérisation et causes de la consommation excessive du périmètre en fin de saison. 20

4.3.2. Les conséquences des gaspillages d'eau. 21

5. Discussion – les facteurs explicatifs des différences de consommation en eau entre associations. 23

5.1. Les facteurs physico-techniques. 23

5.1.1. Géographie et aménagement du réseau. 23

5.1.2. Morpho-pédologie du périmètre. 24

5.1.3. La vulnérabilité des AUE aux aléas climatiques. 26

5.2. Les facteurs socio-économiques. 28

5.2.1. Les disparités sociologiques au sein du réseau. 28

5.2.2. Le morcellement foncier. 29

5.2.3. Les choix culturaux. 30

6. Conclusion. 31

7. Bibliographie. 32