



Bulletin de l'association de géographes français

Géographies

93-3 | 2016

Climats, territoires, environnements

Hydrologie et production agricole dans le nord-ouest de l'Amazonie

Hydrology and agricultural production in northwestern Amazonia

Josyane Ronchail, Tatiana Schor, Manon Sabot, Heitor Pinheiro, Naziano Filizola, Percy Gomez, Guillaume Drapeau, Véronique Michot, Jean-Loup Guyot, Jean-Michel Martinez et Benjamin Sultan



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/bagf/1168>

DOI : 10.4000/bagf.1168

ISSN : 2275-5195

Éditeur

Association AGF

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2016

Pagination : 270-286

ISSN : 0004-5322

Référence électronique

Josyane Ronchail, Tatiana Schor, Manon Sabot, Heitor Pinheiro, Naziano Filizola, Percy Gomez, Guillaume Drapeau, Véronique Michot, Jean-Loup Guyot, Jean-Michel Martinez et Benjamin Sultan, « Hydrologie et production agricole dans le nord-ouest de l'Amazonie », *Bulletin de l'association de géographes français* [En ligne], 93-3 | 2016, mis en ligne le 22 janvier 2018, consulté le 01 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/bagf/1168> ; DOI : 10.4000/bagf.1168

Hydrologie et production agricole dans le nord-ouest de l'Amazonie

(HYDROLOGY AND AGRICULTURAL PRODUCTION IN
NORTHWESTERN AMAZONIA)

Josyane RONCHAIL^{*}, Tatiana SCHOR^{}, Jhan Carlo
ESPINOZA^{***} & al.^{****}**

RÉSUMÉ – *En « Amazonie des rivières », la période de basses eaux permet la mise en culture de vastes zones exondées et fertiles sur les berges des rivières et dans les plaines d'inondation. La variabilité des extrêmes hydrologiques et celle de la structure du cycle de décrue, facteurs réputés importants pour la qualité des récoltes sont explorés à la station fluviométrique de Tamshiyacu sur le fleuve Amazonas. Le riz, culture rentable dans cette région, est notre référence. Les résultats ne présentent pas les liens supposés entre résultats agricoles et durée de la saison de basses eaux ou vitesse de remontée des eaux. Néanmoins, ils montrent la baisse des étiages, l'allongement de la durée de décrue en relation avec un retard de la montée des eaux et une accélération de la remontée des eaux pendant la période 1985-2015.*

Mots-clés : *Amazonie – Cycle hydrologique – Décrue – Riz – Pluie – Pérou*

ABSTRACT – *In the northwestern Amazon basin, the low water period favors flood recession farming on large emerging fertile surfaces on the river banks and in the inundations plains. The variability of hydrological extremes and of the structure of the flood recession cycle are analyzed in the fluviometric Tamshiyacu station on the*

* Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité & Laboratoire d'Océanographie et du Climat (Sorbonne Universités-UPMC, CNRS, IRD, MNHN), Institut Pierre Simon Laplace, Boîte 100 - 4, place Jussieu 75252 PARIS Cedex 05, France – Courriel : josyane.ronchail@locean-ipsl.upmc.fr

** Universidade Federal do Amazonas et Núcleo de Estudos e Pesquisas das Cidades na Amazônia Brasileira Manaus, Brasil – Courriel : tatiana.schor@gmail.com

*** Instituto Geofísico del Perú, Lima, Pérou – Courriel : jhan-carlo.espinoza@igp.gob.pe

**** Manon SABOT (Université Pierre et Marie Curie, Sorbonne Universités), Heitor PINHEIRO & Naziano FILIZOLA (Universidade Federal do Amazonas et Núcleo de Estudos e Pesquisas das Cidades na Amazônia Brasileira Manaus, Brasil), Percy GOMEZ (Agencia Agraria Ramon Castilla, Caballococha, Peru), Guillaume DRAPEAU (Université Paris-Diderot, Sorbonne Paris Cité), Véronique MICHOT (Laboratoire Climat et occupation du sol par télédétection, Université de Rennes 2), Jean-Loup GUYOT & Jean-Michel MARTINEZ (IRD, Pérou), Benjamin SULTAN (Laboratoire d'Océanographie et du Climat, Sorbonne Universités-UPMC, CNRS, IRD Pérou, MNHN)

Amazonas River, as they are considered as important for the crop quality. Rice cropping which is a profitable activity in this region is neither related to the duration of low-waters, nor to the speed of the rising water. But this work show that since 1985, low water levels have decreased while the duration of the low water period has increased. Moreover, there has been an acceleration of the speed of the water rising.

Key words: *Amazon basin – Hydrological cycle – Flood recession – Rice – Rainfall – Peru*

RESUMEN – *En el noroeste de la cuenca amazónica, el periodo de estiaje de los ríos favorece el cultivo en vastas zonas fértiles que emergentes en los bancos de arena y las planicies de inundación. La variabilidad de los extremos hidrológicos y de la estructura del ciclo de recesión de las aguas son factores importantes para la calidad y cantidad de la cosecha. Estos factores hidrológicos son analizados en la estación hidrométrica de Tamshiyacu en el Río Amazonas (Perú). Como referencia se emplea el cultivo de arroz, que es rentable en esta región. Los resultados presentados no muestran relación entre la producción agrícola y la duración del periodo de aguas bajas o la velocidad de incremento de las aguas. No obstante, este estudio muestra que durante el periodo 1985-2015 el nivel de las aguas bajas ha disminuido, mientras que la duración del periodo de estiaje se ha incrementado. Además se documenta una aceleración en la velocidad en el incremento de las aguas entre el periodo de aguas bajas y aguas altas.*

Palabras clave : *Amazonía – Ciclo hidrológico – Periodo de recesión – Arroz – Lluvia – Perú*

RESUMO – *Na « Amazônia dos grandes rios » o período de águas baixas permite cultivos em vastas zonas férteis de várzeas ao longo dos rios e planícies de inundação. A variabilidade dos extremos hidrológicos e a da estrutura dos ciclos de descidas são fatores importantes para a qualidade e quantidade de colheita. Exploramos esta relação na estação hidrológica de Tamshiyacu no rio Amazonas, Peru. O arroz, cultura rentável nesta região, é referência. Os resultados apresentados mostram pouca relação entre a duração das águas baixas ou a velocidade da subida. Mas este estudo mostra que desde 1985-2015 o nível das águas baixas tem diminuído enquanto que a duração do mesmo período tem aumentado. Além do que tem havido uma aceleração da velocidade de subida das águas.*

Palavras-Chave : *Amazonia – Ciclo hidrológico – Descidas – Arroz – Chuva – Peru.*

1. Introduction

Dans les petites villes et les villages du nord-ouest du bassin de l'Amazone (autour de la triple frontière entre le Pérou, la Colombie et le Brésil, fig. 1), la sécurité alimentaire est liée à des facteurs tels qu'une production agricole locale abondante, des prix des aliments accessibles, un transport fluvial

efficace puisqu'il est le seul moyen d'approvisionnement dans l' « Amazonie des rivières », des sources d'alimentation variées, la possibilité de conserver l'agro biodiversité et les semences, les déplacements des membres d'une même famille entre différents lieux de production, etc.. [Noda & al. 2010, Eloy & Emperaire 2011, entre autres]. Dans cette région, la diète alimentaire a été longtemps constituée de produits locaux et la production agricole, la pêche et la chasse restent des activités fondamentales pour approvisionner les familles et les marchés locaux en fruits et légumes, poisson et gibier [Winklerprins & Souza 2005, Padoch & al. 2008, Martins Urizzi & al. 2013, Pinto 2015]. Même si cette diète traditionnelle tend à être substituée par une « diète de supermarché » [Schor & Camilo 2013, Schor & al. 2015] depuis l'époque du caoutchouc [Eloy & al. 2005], Noda (2007) et Noda & al. (2010) montrent que le niveau d'autosuffisance alimentaire atteint 63% dans les régions de varzea (plaines d'inondation).

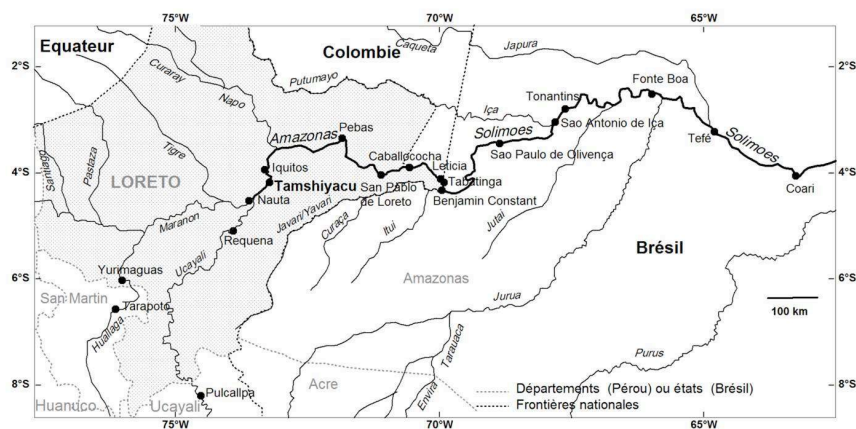


Figure 1 – Villes et rivières de la région de la triple frontière Colombie-Brésil-Pérou.

Le département de Loreto en Amazonie péruvienne est représenté en pointillé. Le cours principal de l'Amazonas (Pérou)-Solimões (Brésil) est graissé.

Tout comme la chasse et la pêche [Tomasella & al 2013, Pinho & al. 2015, Pinto 2015], les pratiques et la production agricoles locales dépendent, entre autres, des conditions hydro-climatiques saisonnières moyennes [Bahri 1993]. Les cultures, abondantes en période de décrue et à l'origine d'un coût des aliments plus bas qu'en hautes eaux [Moraes & Schor 2010], sont adaptées à la variation des hauteurs d'eau sur les berges des rivières et dans les varzeas, et dépendent également des variations saisonnières de la pluviométrie. Celle-ci se caractérise par des valeurs qui dépassent 200 mm/mois en été austral lors de la mise en place de la mousson sud-américaine et des valeurs plus faibles de juin à

septembre lors du retrait de la mousson (Fig. 2). En conséquence, le cycle hydrologique de décrue (de mai à avril de l'année suivante) de la rivière Amazonas à la station de Tamshiyacu (Fig. 1) présente un marnage moyen de 7 m entre les niveaux de crue en avril-mai et d'étiage en septembre [Espinoza & al. 2009]. Or, la variabilité climatique, forte dans cette région depuis une vingtaine d'années [Ronchail & al. 2002, Espinoza & al. 2009, 2013, Marengo & Espinoza 2015] engendre des extrêmes hydrologiques susceptibles de réduire les capacités adaptatives des populations, ce d'autant plus que les phénomènes extrêmes sont fréquents et consécutifs. Par exemple, la crue de 2009 suivie par la sécheresse extrême de 2010 a eu des impacts très négatifs sur les cultures de varzea et sur celles de terre ferme ou « restinga » [Pinho et al 2015]. S'ajoutent à l'observation des extrêmes celles qui relèvent de la structure du cycle annuel de l'hydrologie, par exemple le retard de la mise en place de la saison de décrue qui a donné lieu à un retard des semis ces dernières années.

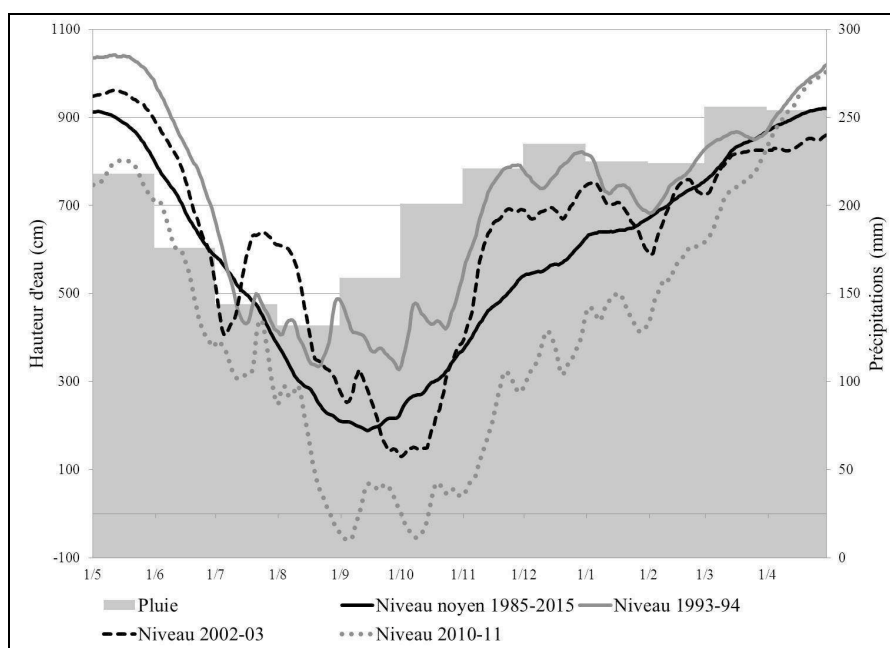


Figure 2 – Pluies moyennes mensuelles (mm) dans le département de Loreto (1985-2009)

source: Guimberteau et al. 2012.

Hauteurs d'eau (cm) de l'Amazonas à Tamshiyacu : valeurs moyennes quotidiennes (1985-2015) et des années 1993-94, 2002-2003 et 2010-2011, source des données: SO-Hybam.

C'est pourquoi ce travail a pour objectif d'examiner les liens entre hydrologie et résultats agricoles en Amazonie du nord-ouest. Nous nous intéresserons d'abord à une culture rentable en Amazonie péruvienne, celle du riz [Labarta & al. 2007]. Nous considérerons ensuite les risques hydrologiques qu'encourent les cultures de berge et de varzea tels qu'ils sont relatés par la littérature et par nos partenaires sur le terrain. Ensuite, nous nous attacherons à décrire quelques caractéristiques de la saison de décrue pendant la période 1985-2015. Enfin, avant de conclure et d'ouvrir des perspectives, nous tenterons de mettre en relation les statistiques agricoles relatives au riz et les caractéristiques hydrologiques de la rivière Amazonas.

2. La culture du riz dans le département de Loreto et son lien avec le cycle hydrologique annuel

La mise en culture des berges de rivières et des lacs d'inondation intervient quand la saison sèche est bien établie et quand le niveau de la rivière a suffisamment baissé, dégageant de larges étendues fertilisées par les formations alluviales limono-argileuses apportées par la crue annuelle [Bahri 1993, Junk 2000, Pinho & al 2015, Sherman & al 2015, entre autres]. Ainsi les berges et varzeas deviennent disponibles pour la culture entre juin et novembre (Fig. 2). Sur les berges, du fait d'une exondation plus longue en haut qu'en bas, les cultures sont étagées selon leur vitesse de croissance, la qualité des sols, etc. Donc, vers le bas, sont plantés le riz, les haricots, les arachides, les pastèques, généralement des plantes annuelles (Fig. 3a, 3b et 3c), tandis que vers le haut et dans la restinga, poussent des plantes à cycles longs ou des plantes pérennes, le manioc, le maïs et des arbres fruitiers tels que palmiers à coco, palmiers à açai, papayers, bananiers, cacaoyers (Fig. 3d et 3e).

La culture du riz dans le département de Loreto, le plus septentrional de l'Amazonie péruvienne (Fig. 1), a été retenue dans cette étude car cette céréale représente un des piliers de l'alimentation. Il est omniprésent sur les marchés péruviens et, comme il n'est pas produit commercialement en Amazonie colombienne et brésilienne, le riz péruvien est également vendu dans les pays voisins. Le riz est produit en majorité (60% des cultures de riz, Labarta & al. 2007) sur les berges très fertiles des rivières (« barrizales », Fig. 3) et secondairement dans les zones de terre ferme qui ne sont pas en principe affectées par les crues et sont moins fertiles. Les semis de riz ont lieu en général de juin à août et la récolte d'août à octobre. Les espèces plantées sont souvent « précoces » (cycle de 90 à 105 jours) pour arriver à maturation avant la remontée des eaux. Cependant, des espèces plus tardives (« capirona », au cycle de 120 jours), plus goûteuses et aux meilleurs rendements sont confinées dans les parties hautes de la berge ou sur la restinga.

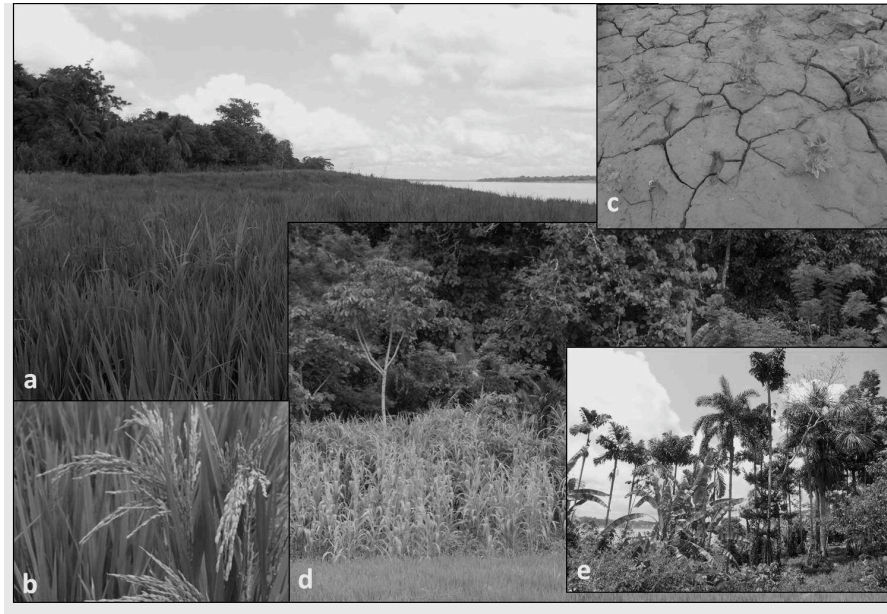


Figure 3 – Etagement de la végétation sur les berges de l'Amazonas à San Pablo de Loreto:

a) et b) riz, c) arachides en bas de berge, d) maïs et arbres fruitiers en haut de la berge, e) arbres fruitiers sur la terre ferme. Photos: NEPECAB-UFAM.

Environ 100 000 tonnes de riz sont produites chaque année dans le département de Loreto (Fig. 4), ce qui est peu à l'échelle du Pérou (presque 3 millions de tonnes) et les rendements, près de 3 tonnes par hectares sont faibles par rapport à la moyenne nationale (7,3 T/ha). Cette production, en effet, n'est pas mécanisée, et est pratiquée sans irrigation, sans intrants, et avec une aide technique limitée, les techniciens agricoles étant peu nombreux et opérant sur des territoires immenses. Le prix payé est très faible, parmi les plus bas du Pérou, car la qualité du riz est relativement médiocre. En effet, les grains sont brisés par des techniques de battage traditionnelles qui consistent à frapper le riz au sol ; par ailleurs le riz « precoz » dont la durée de maturation est courte a de moindres qualités gustatives que le riz tardif. Néanmoins, la culture du riz sur les berges des rivières est estimée comme l'une des cultures amazoniennes les plus rentables [Labarta & al. 2007], ceci malgré la variabilité interannuelle de la production attribuée à des facteurs économiques comme la chute des prix ou le coût des transports ou encore des aléas naturels. La figure 4 montre d'ailleurs l'augmentation des surfaces, productions et rendements durant la période 1985-20. Elle est accentuée vers la fin des années 1990, et suivie d'un

plateau. De plus, les irrégularités d'une année sur l'autre sont considérables, avec des productions qui oscillent entre 120 000 tonnes en 2003, 2004 et 2011 et moins de 100 000 tonnes en 2009.

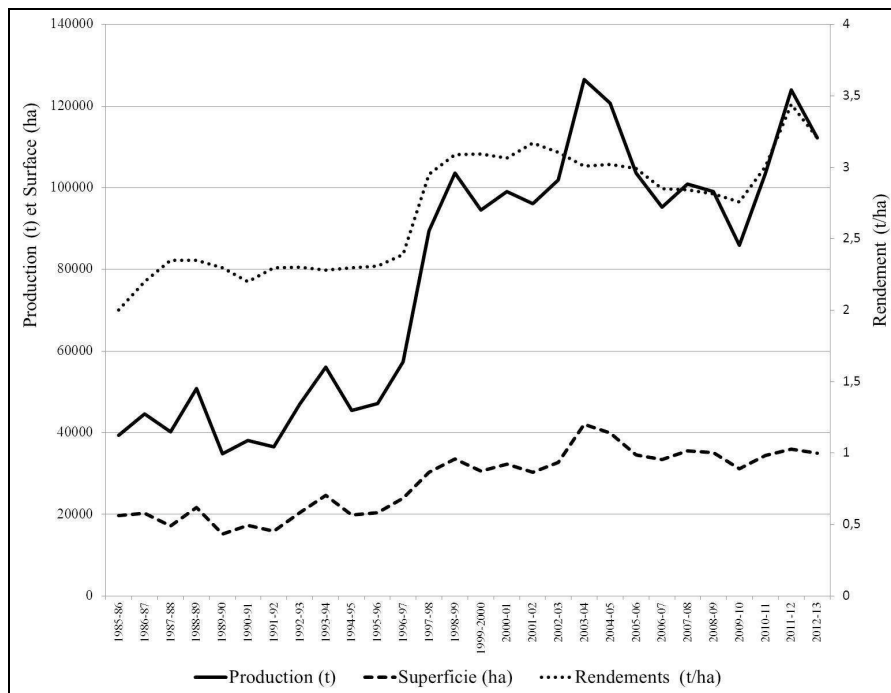


Figure 4 – Production (tonnes), superficies (hectares) et rendements (tonnes par hectare) annuelles de riz dans le département de Loreto (Pérou), source: MINAG.

La campagne agricole 1985-86 court d'août 85 à juillet 86 et inclut donc les récoltes de la saison de décrue centrée sur la période de juin à octobre 1985.

3. Aléas hydrologiques et risques pour les cultures

Cultiver sur les berges et dans les varzeas fertiles ne présente pas que des avantages compte tenu du voisinage de l'eau. Le risque de submersion des récoltes lié à une fin de saison de décrue précoce est celui qui est le plus souvent évoqué par les acteurs locaux (agriculteurs, techniciens et ingénieurs agricoles) consultés lors de missions en septembre 2014 et avril 2015 et par la littérature technique et scientifique [Kvist & al. 2001, Labarta & al. 2007, Drapeau & al. 2011, Hofmeijer & al. 2013, Pinho & al. 2015, Sherman & al. 2015, MINAG 2011 et 2013]. Lorsque l'eau monte tôt, très vite et très haut à la fin de décrue, l'activité est à son comble dans les communautés pour récolter et

éventuellement transformer les produits afin de les conserver (transformation du manioc en farinha, par exemple). De plus, une crue très forte peut submerger les cultures de restinga qui sont habituellement à l'abri de l'eau. La durée de la saison de décrue est un autre facteur important pour les cultures. Si elle est trop courte (en raison d'une descente des eaux tardives et/ou d'une remontée précoce de la rivière), les agriculteurs doivent récolter un riz qui n'est pas arrivé à maturation et qui est donc de mauvaise qualité. Autre aléa redouté : le fait que la rivière baisse peu pendant la saison de décrue, ce qui limite l'extension des surfaces cultivables. Enfin, un « faux départ » de la saison de décrue, avec une hausse inattendue des niveaux d'eau en juillet peut également nuire à la saison agricole, si le riz a déjà été semé. En effet, comme les agriculteurs ne disposent pas de beaucoup de semences, ils ne peuvent renouveler leurs semis si ceux-ci ont été submergés.

La figure 2 montre la variabilité des hauteurs d'eau lors du cycle de décrue. L'année 2002-2003 est un cas extrême puisque le niveau de l'eau a fortement baissé très tôt (3,9 m début juillet) puis est remonté de façon conséquente (6,4 m fin juillet) avant de baisser à nouveau (cas de faux départ de la saison de décrue). De plus, la décrue a duré moins longtemps que d'habitude ; l'eau est passée sous la cote des 6 m (valeur médiane de la hauteur d'eau) pendant à peine 3 mois au lieu de 6 mois en moyenne et en octobre l'eau est remontée beaucoup plus vite que d'habitude. En 1993-1994 par ailleurs (Fig. 2), les eaux ne sont pas descendues aussi bas qu'en moyenne, ce qui a amputé l'étendue des surfaces cultivables. A l'inverse, les eaux sont descendues très bas en 2010-2011 et la durée de décrue a été plus longue qu'en moyenne, mais ce fut aussi une année de forte sécheresse [Espinoza & al. 2011].

Or, si le riz a besoin de lumière (donc de peu de nuages), le manque d'eau constitue un facteur limitant et 160 mm de pluie par mois sont nécessaires pendant tout le cycle de croissance [CIRAD-GRET-MAE 2002]. Comme cette valeur n'est pas toujours atteinte pendant la période de décrue, les pluies seront aussi examinées dans la suite du travail.

4. Evolution des extrêmes hydrologiques et de la structure de la saison de décrue (1985-2015)

Compte tenu des risques évoqués dans la partie précédente, la variabilité des pluies, des extrêmes hydrologiques ainsi que celle des variables hydrologiques qui caractérisent la structure du cycle de décrue (dates de début et de fin de saison de décrue, durée de la saison de décrue, vitesse de remontée des eaux à la fin de la saison de décrue) sont examinées dans cette partie .

La figure 5 montre les pluies de juin à octobre dans le département de Loreto pendant la période 1985-2009 [Guimberteau & al. 2012]; elles varient entre 4 et 6,5 mm par jour et sont restées stables sur la période 1985-2009. La figure 5 montre aussi l'évolution des hauteurs d'eau minimales, celles de septembre,

et maximales, celles d'avril. Les valeurs maximales varient beaucoup d'une année à l'autre, entre 7 et 11 m et ne présentent pas de tendance. Les valeurs minimales, très variables elles aussi, présentent une rupture (significatives pour $p < 0,01$; Hubert & al. 1989) en 1993 avec des valeurs moyennes de 3 m avant cette date et de 1,6 m ensuite.

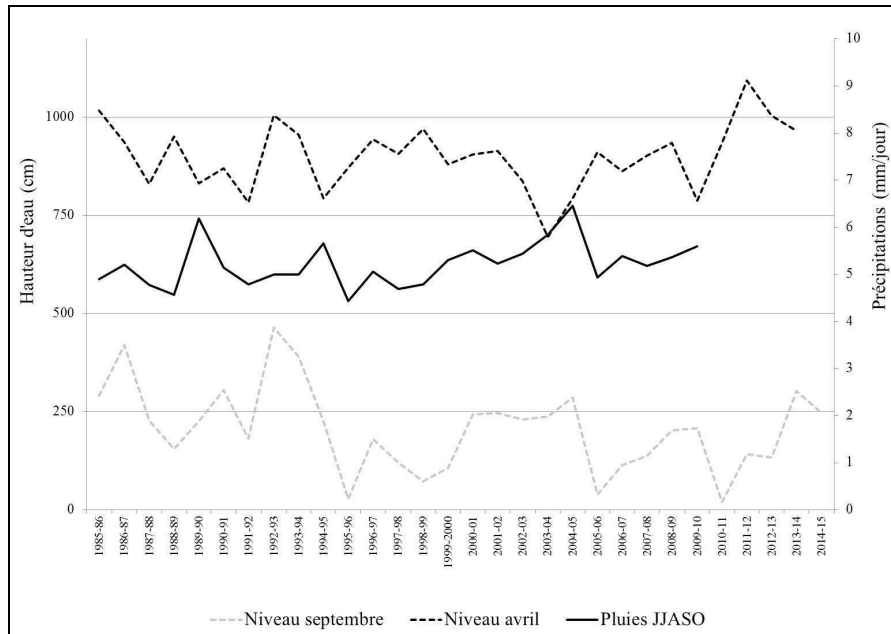


Figure 5 – Hauteur d'eau (cm) de l'Amazonas à Tamshiyacu en septembre et en avril (source des données: SO-Hybam) et pluie de juin à Octobre dans le département de Loreto (fenêtre de 2,5 à 6,5°S et de 77,5 à 70,5°W), source Guimberteau et al. 2012

La durée de la saison de décrue est considérée comme la période pendant laquelle le niveau de la rivière passe en dessous du niveau correspondant au 33^{ème} centile des valeurs quotidiennes de la période 1985-2015 (C33; 4,5 m). Par conséquent, la date de début de la saison de décrue est la première date à laquelle le niveau de l'eau passe en dessous de C33 de façon durable (plus de 10 jours) et la date de fin de la saison de décrue est définie comme la date à laquelle le niveau de l'eau passe au-dessus de C33 pendant au moins 10 jours. Par ailleurs, la vitesse de remontée des eaux est estimée par le nombre de jours séparant les dates où se produisent le deuxième C33 et le deuxième 66^{ème} centile (C66 ; 7,3 m). Des calculs identiques ont été réalisés avec les 10^{ème} (C10 ; 2,1 m) et 20^{ème} centiles (C20 ; 3,2 m).

Le début de la saison de décrue, quand on considère C33, se produit en moyenne le 20 juillet, sa fin le 10 novembre et la durée moyenne de la décrue

est de 114 jours (Tabl.1A, Fig. 6). La variation des dates est importante puisqu'on observe deux mois de battement pour la mise en place de la saison de décrue et six mois pour la date de fin. Le début de la saison de décrue est tardif (fin juillet) depuis 4 ans ce qui alerte les agriculteurs. Il a été plus précoce (fin juin, début juillet) au milieu des années 1990 et 2000, mais encore plus tardif qu'à présent au début des années 2000. La durée de la décrue peut être réduite des deux tiers (35 jours en 1992-93) ou doublée comme lors de la sécheresse de 2010 (Tab. 1B, Fig. 6). Elle présente par ailleurs une tendance à l'allongement de presque un mois entre les années 1980 et les années présentes, en lien avec un retard de la date de fin de la décrue d'un mois entre le début et la fin de la période étudiée (Fig. 6). Ces résultats se vérifient également quand on considère le 20^{ème} centile (Tabl. 1B).

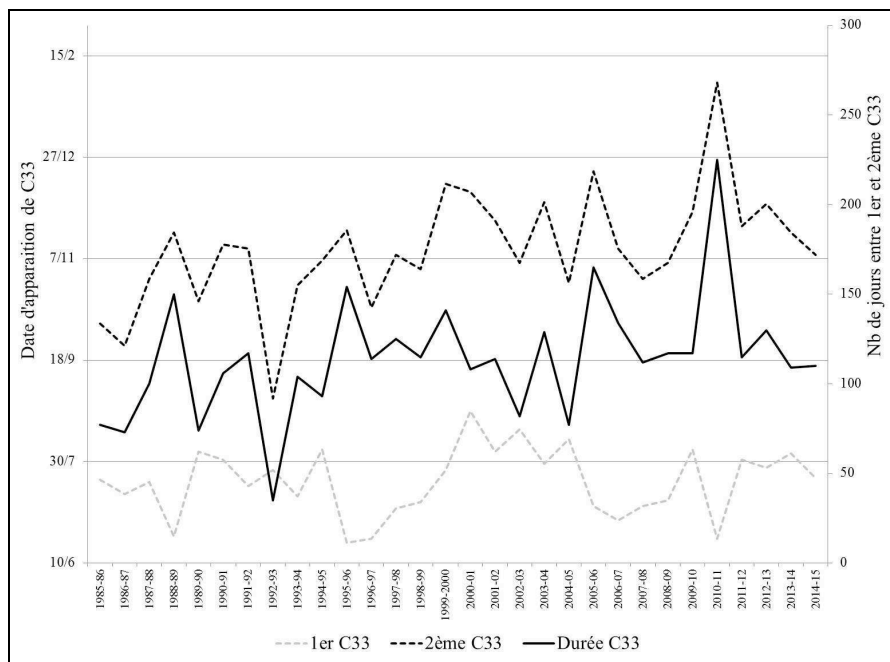


Figure 6 – Dates d'apparition des valeurs de hauteur d'eau de l'Amazonas à Tamshiyacu correspondant au 33ème centile (4,5m) de la période 1985-2015, lors de la descente des eaux (1^{er} C33) et lors de la remontée des eaux (2^{ème} C33), et durée (en jours) entre ces deux dates.

Source des données: SO-Hybam

A	Date moyenne	Date extrême précoce	Date extrême tardive	Tendance : r et probabilité
C10 début 211 cm	24 août	25 juillet	3 octobre	
C10 fin	29 septembre	19 août	14 novembre	
C20 début 322 cm	9 août	12 juillet	9 septembre	
C20 fin	17 octobre	15 août	4 décembre	0,48 (p<0,01)
C33 début 447 cm	20 juillet	20 juin	24 août	
C33 fin	10 novembre	30 août	2 février	0,53 (p<0,01)
B	Durée moyenne (jours)	Durée minimale (jours)	Durée maximale (jours)	Tendance : r et probabilité
Durée C10	33	0	91	
Durée C20	67	0	129	0,38 (p<0,05)
Durée C33	114	35	225	0,39 (p<0,05)
C	Durée moyenne (jours)	Durée minimale (jours)	Durée maximale (jours)	Tendance : r et probabilité
Passage C33-C66	70	37	150	0,56 (p<0,01)
Passage C20-C66	96	30	165	0,52 (p<0,01)
Passage C10-C66	114	47	179	0,31 (p<0,1)

Tableau 1 – Dates moyennes, minimales, maximales, et tendance (coefficients de corrélation et probabilités associées) des

- 1ère et 2ème dates d'apparition du 10^{ème} (C10), du 20^{ème} (C20) et du 33ème (C33) centile des niveaux d'eau de l'Amazonas à Tamshiyacu (1985-2015),
- b) durées (jours) des saisons de décrue correspondant aux trois centiles,
- c) durées (jours) entre les 2èmes C10, C20 et C33 et le 2ème 66ème centile (source : SO-Hybam).

Par ailleurs, la vitesse de remontée de l'eau, de 70 jours en moyenne entre C33 et C66 est très variable, de 37 à 150 jours (Tabl. 1C, Fig. 7). Elle tend par ailleurs à s'accélérer avec le temps et ce, que l'on considère C33, C20 ou C10 comme niveau de base. Lorsque l'on considère le passage entre C33 et C66, la remontée des eaux se faisait en moyenne en 3 mois jusqu'à 2001 (date d'une rupture dans la série ; p<0,01); elle ne se fait plus qu'en un mois et demi (Fig. 7). Cette durée s'est de plus particulièrement raccourcie depuis 5 ans.

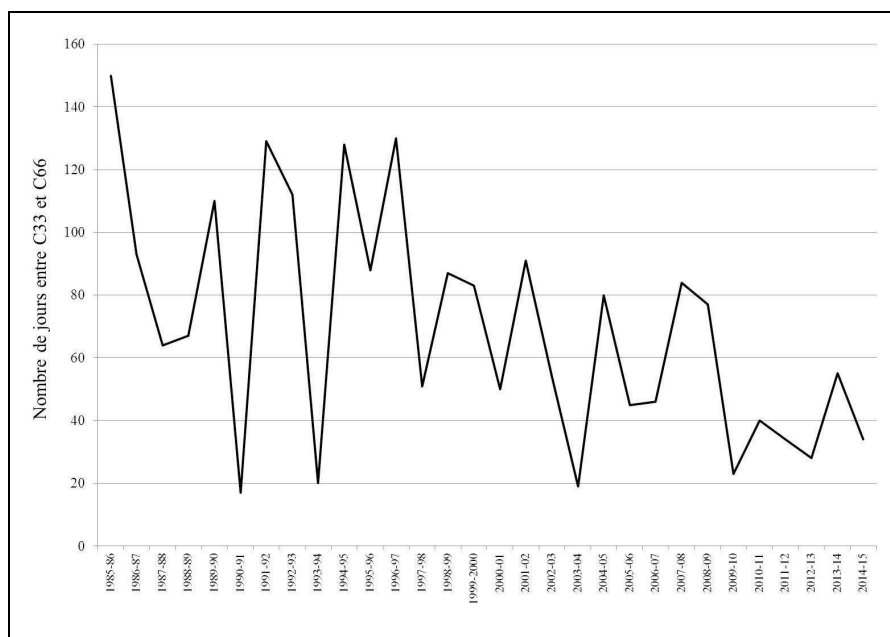


Figure 7 – Nombre de jours entre le 33ème et le 66ème centile des hauteurs d’eau de l’Amazonas à Tamshiyacu de la période 1985-2015, source des données: SO-Hybam.

5. Lien entre variabilité hydro climatique et production agricole

Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur les différents indicateurs hydrologiques mentionnés plus haut et les pluies dans le département de Loreto. Les valeurs retenues sont des écarts à la tendance linéaire quand on en observe une. Les écarts aux tendances des rendements, surfaces et productions sont également inclus dans l’analyse comme variables supplémentaires. On a enlevé la tendance des variables agricoles (selon une fonction polynomiale) car l’évolution à la hausse n’est pas supposée liée au climat ou à l’hydrologie mais plutôt à une amélioration des pratiques agricoles et de la demande, ce que suggère le fait que la très forte augmentation de la fin des années 1990 soit observée dans l’ensemble du Pérou.

Le premier axe de l’ACP (33% de la variance) montre l’opposition entre des années de fortes pluies pendant la saison de basses eaux, un niveau élevé de la rivière et une date tardive de la descente des eaux, d’une part, et une longue durée de décrue et une remontée des eaux tardive, d’autre part (Fig. 8). L’axe 2 (19% de la variance) oppose une remontée des eaux lentes, d’une part, et de fortes pluies des mois d’automne austral (mars, avril, mai), d’autre part.

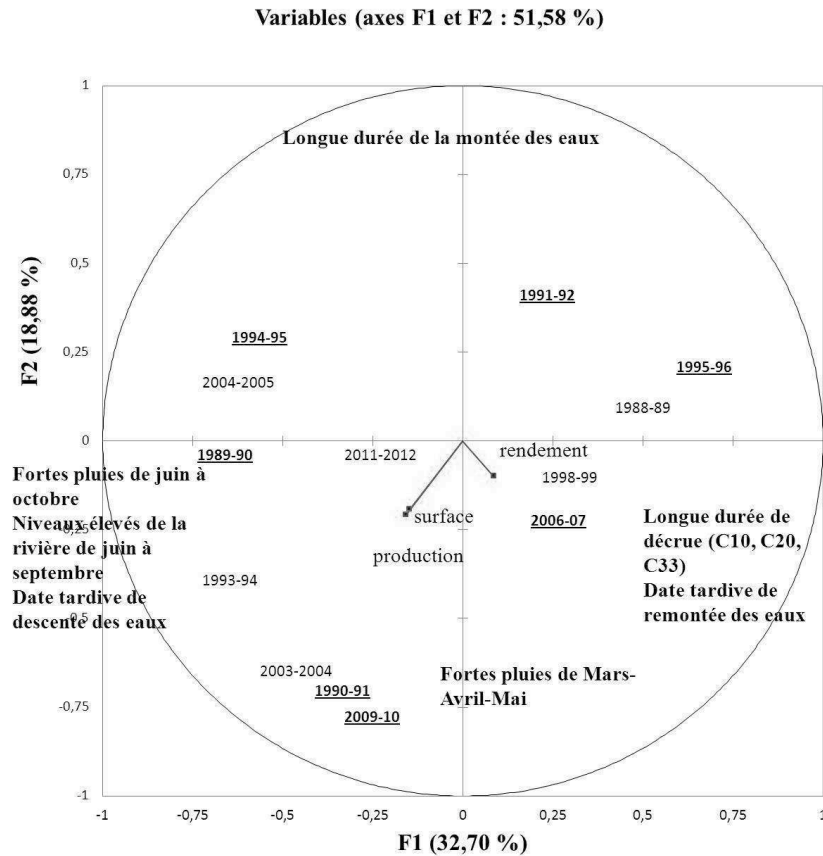


Figure 8 – Plan 1-2 des variables (simplifié) et de quelques individus (l'échelle étant différente pour ceux-ci) résultant d'une analyse en composantes principale sur un tableau dans lequel les années sont caractérisées par des variables relatives aux pluies, aux hauteurs d'eau, aux dates de début et fin de la saison de décrue, à la durée de la saison de décrue et à la vitesse de remontée des eaux. Les données agricoles sont des variables supplémentaires. Les années soulignées et en gras sont des années de production inférieure à la tendance polynomiale, les autres sont des années de production supérieure. Sources des données: MINAG et SO-Hybam.

Même si elles sont mal représentées sur ce plan principal, les larges surfaces et les fortes productions de riz ne sont pas associées, comme attendu et en première approche, à une décrue longue, ni à une remontée lente des eaux. La position des variables agricoles semble indiquer qu'elles prennent de fortes valeurs quand il y a de fortes pluies pendant la saison de croissance du riz (et aussi pendant l'automne qui précède) et corrélativement quand les niveaux de

la rivière sont élevés. Néanmoins, la dispersion des points correspondant aux années de production supérieure ou inférieure à la tendance témoigne de la faible association statistique entre résultats agricoles et hydrologie (Fig. 8).

6. Conclusion

En Amazonie péruvienne, le riz, cultivé majoritairement sur les berges des rivières en période de basses eaux, est une culture rentable et importante pour la sécurité alimentaire des villages et des petites villes autour de la triple frontière. Surfaces et production ont connu une forte progression vers la fin des années 1990 et présentent par ailleurs une importante variabilité.

Pour vérifier ce que suggèrent la littérature et nos interlocuteurs sur le rôle néfaste pour les cultures de décrues courtes et de remontées rapide des eaux, nous avons cherché à mettre en relation la variabilité de l'hydrologie et celle des résultats agricoles. Or il semble, dans cette première approche qui mérite d'être confirmée, que les résultats agricoles sont peu liés à ces facteurs hydrologiques. Le rôle des précipitations avant et pendant la croissance du riz est une piste qui mérite d'être explorée un peu plus avant. Celui des températures aussi car le riz supporte mal les fortes chaleurs avec des maxima supérieurs à 40°C. Ces résultats interrogent également le rôle de pratiques adaptatives qui permettraient aux agriculteurs de faire face aux conditions défavorables et que la production ne soit pas amputée. Enfin, d'autres facteurs seraient peut-être susceptibles d'expliquer la variabilité interannuelle de la production, comme les maladies du riz, l'apport variable de sédiments par le fleuve et donc les changements de fertilisation ; de plus, des causes politiques et économiques ne sont pas exclues.

Par ailleurs, l'analyse des niveaux d'eau du fleuve Amazone à Tamshiyacu aura permis de confirmer la tendance à la baisse des niveaux d'étiages au cours des trente dernières années et de montrer un allongement de la durée de décrue lié à une remontée plus tardive des eaux et une accélération de la remontée des eaux en fin de saison de décrue.

Nos remerciements vont au Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) du Pérou et au SO-Hybam (Service d'Observation "Contrôles géodynamique, hydrologique et biogéochimique dans le bassin de l'Amazonie", <http://www.ore-hybam.org/index.php/frel>) pour la mise à disposition des données agricoles et hydrologiques. Nous remercions le Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) et la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) du Brésil, le programme PNICP-Peru via le projet N°397-PNICP-PIAP-2014, le Programme Pilote Régional (PPR) AMAZ de l'IRD, le laboratoire LOCEAN pour avoir financé déplacements sur le terrain. Enfin, nous exprimons notre reconnaissance aux ingénieurs et techniciens agricoles, aux agents des services météorologiques et de santé et aux élus de Nauta, Iquitos, Mazan, Pebas, San Pablo de Loreto et Caballococha (Amazonie péruvienne), pour leur disponibilité et leur aide.

Références bibliographiques

- BAHRI, S. (1993) – « Les systèmes agroforestiers de l'île de Careiro », *Amazoniana*, vol. 12, n°3/4, pp. 551-563
- CIRAD-GRET-MAE (2002) – *Mémento de l'agronome*, Montpellier, CIRAD, 1691 p.
- DRAPEAU, G., MERING, C., RONCHAIL, J. & FILIZOLA, N. (2011) – « Variabilité hydrologique et vulnérabilité des populations du Lago Janauaca (Amazonas, Brésil) », *Confins [En ligne]*, vol. 11, mis en ligne le 26 mars 2011, URL : <http://confins.revues.org/6904>
- ELOY, L., LE TOURNEAU, F. M. & THÉRY, H. (2005) – « Une ville dans la forêt : São Gabriel da Cachoeira, capitale isolée du haut Rio Negro », *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne]*, Espace, Société, Territoire, document 304, mis en ligne le 24 mars 2005, URL : <http://cybergeo.revues.org/3238> ; DOI : 10.4000/cybergeo.3238
- ELOY, L. & EMPERAIRE, L., (2011) – « La circulation de l'agrobiodiversité sur les fronts pionniers d'Amazonie (région de Cruzeiro do Sul, état de l'Acre, Brésil) », *L'Espace Géographique*, vol. 40, n° 1, pp. 62-74
- ESPINOZA, J.C., GUYOT, J.L., RONCHAIL, J., COCHONNEAU, G., FILIZOLA, N., FRAIZY, P., LABAT, D., NORIEGA, L., DE OLIVEIRA, E., ORDOÑEZ, J.J. & VAUCHEL, P. (2009) – « Contrasting regional runoff evolution in the Amazon basin (1974-2004) », *Journal of Hydrology*, vol. 375, n° 3-4, pp. 297-311
- ESPINOZA, J.C., RONCHAIL, J., GUYOT, J.L., JUNQUAS, C., VAUCHEL, P., LAVADO, W., DRAPEAU, G. & POMBOSA, R. (2011) – « Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought », *Geophysical Research Letters*, vol. 38, L13406, doi:10.1029/2011GL047862.
- ESPINOZA, J.C., RONCHAIL, J., FRAPPART, F., LAVADO, W., SANTINI, W. & GUYOT J.L. (2013) – « The major floods in the Amazonas River and tributaries (Western Amazon basin) during the 1970 - 2012 period: A focus on the 2012 flood », *Journal of Hydrometeorology*, vol. 14, n° 3, pp. 1000-1008
- HOFMEIJER, I., FORD, J.D., BERRANG-FORD, L., ZAVALETA, C., CARCAMO, C., LLANOS, E., CARHUAZ, C., EDGE, V., LWASA, S. & NAMANYA, D. (2013) – « Community vulnerability to the health effects of climate change among indigenous populations in the Peruvian Amazon: a case study from Panaillo and Nuevo Progreso », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 18, n° 7, pp. 957-978
- GUIMBERTEAU, M., DRAPEAU, G., RONCHAIL, J., SULTAN, B., POLCHER, J., MARTINEZ, J.-M., PRIGENT, C., GUYOT, J.-L., COCHONNEAU, G., ESPINOZA, J. C., FILIZOLA, N., FRAIZY, P., LAVADO, W., DE OLIVEIRA, E., POMBOSA, R., NORIEGA, L., & VAUCHEL, P. (2012) – « Discharge simulation in the sub-basins of the Amazon using ORCHIDEE forced by new datasets », *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 16, n° 3, pp. 911-935
- HUBERT, P., CARBONNEL, J. & CHAUCHE, A. (1989) – « Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest », *Journal of Hydrology*, vol. 110, n° 3-4, pp. 349-367.
- JUNK, W.K. (2000) – « The Central Amazon River Floodplain: Concepts for the Sustainable Use of its Resources », in W. J. Junk, J. J. Ohly, M. T. F. Piedade, & M. G. M. Soares (dir.), *The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management*, Leiden, Backhuys Publishers, pp. 75-94

- KVIST, L. P. & NEBEL, G. (2001) – « A review of Peruvian flood plain forests: ecosystems, inhabitants and resource use », *Forest Ecology and Management*, vol. 150, n° 1-2, pp. 3-26
- LABARTA R. A., WHITE, D., LEGUIA, E., GUZMAN, W. & SOTO, J. (2007) - « La Agricultura en la Amazonia Ribereña del Río Ucayali. ¿Una Zona Productiva pero Poco Rentable? », *Acta Amazonica*, vol. 37, n° 2, pp. 177-186
- MARENGO, J.A. & ESPINOZA, J. C. (2015) – « Review Article. Extreme Seasonal Droughts and Floods in Amazonia: Causes, Trends and Impacts », *International Journal of Climatology*, vol. 36, n°3, pp. 1033–1050, doi:10.1002/joc.4420
- MARTINS URIZZI, A. L. , DO NASCIMENTO NODA, S. & NODA, H. (2013) – « Agricultura familiar tradicional no Alto Solimões: uma contribuição à discussão sobre indicadores de sustentabilidade », in H. Noda, S. Do Nascimento Noda, A. E. Lacques & P. Lena (dir.), *Dinâmicas socioambientais na agricultura familiar na Amazônia*, Manaus, Inpa/Ufam, pp. 33-50
- MINAG, Dirección General de Competitividad Agraria (2013) – *El arroz. Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva*, Lima, 36 p. <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomiaarroz3.pdf>
- MINAG, Dirección regional Agraria – Loreto (2011). *Cultivo de arroz*, boletín informativo, Iquitos, 28 p. <http://siar.regionloreto.gob.pe/public/docs/353.pdf>
- MORAES, A. & SCHOR, T. (2010) – « Mercados, tabernas e feiras: custo de vida nas cidades na calha do rio Solimões », *Mercator*, vol. 9, n° 19, pp. 101- 115
- NODA, S., NODA, H., MARTINS, A., MARTINS L., SILVA A., DACIO D., MENDONÇA, M. & BRAGA M. (2010) – « Etnoconservação e consumo nas várzeas dos rios Solimões e Amazonas », in L. Ming, M. Amoroso, M. De Mello, C. Kffuri (dir.), *Agrobiodiversidade no Brasil: experiências e caminhos de pesquisa*, Recife, Nuppea, pp. 97-119.
- NODA, S. N. (2007) - *Agricultura familiar na Amazônia das águas*. Manaus, Universidade federal do Amazonas, 208 p.
- PADOCH, C., BRONDIZIO, E., COSTA, S., PINEDO-VASQUEZ, M, SEARS, R. & SIQUEIRA, A. (2008) – « Urban forest and rural cities: multi-sited households, consumption patterns, and forest resources in Amazonia », *Ecology and Society*, vol. 13, n° 2 [en ligne] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art2/>
- PINHO, P.F., MARENGO, J.A. & STAFFORD SMITH, M. (2015) – « Complex socio-ecological dynamics driven by extreme events in the Amazon », *Regional Environmental Change*, vol. 15, n°4, pp. 643–655
- PINTO, M. A. T. (2015) - *A caça e a pesca na beira de Tabatinga: um estudo do mercado de recursos naturais na tríplice fronteira Brasil-Colômbia-Peru*. Mémoire de pós-graduação, Manaus, Ufam, 198 p.
- RONCHAIL, J., COCHONNEAU, G., MOLINIER, M., GUYOT, J.L., GORETTI DE MIRANDA CHAVES, A., GUIMARÃES V. & DE OLIVEIRA, E. (2002) – « Rainfall variability in the Amazon Basin and SSTs in the tropical Pacific and Atlantic oceans », *International Journal of Climatology*, vol. 22, n°13, pp. 1663-1686
- SCHOR, T. & CAMILO, E. A. (2013) – « Cadê o mingau de banana que estava aqui? Transformações dos hábitos alimentares no Amazonas », in J. A. de Oliveira. (dir.). *Espaço, Saúde e Ambiente na Amazônia: Ensaios de Geografia da Saúde*, São Paulo, Outras Expressões, pp. 109-125
- SCHOR, T., TAVARES-PINTO, M. A., DA COSTA AVELINO, F. C. & RIBEIRO, M. L. (2015) - « Do peixe com farinha à macarronada com frango: uma análise das

transformações na rede urbana no Alto Solimões pela perspectiva dos padrões alimentares », *Confins* [En ligne], vol. 24, mis en ligne le 21 juillet 2015, URL : <http://confins.revues.org/10254>.

- SHERMAN, M., FORD, J., LLANOS-CUENTAS, A., VALDIVIA, M.J. & BUSSALLEU, A. (2015) – « Indigenous Health Adaptation to Climate Change (IHACC) Research Group. Vulnerability and adaptive capacity of community food systems in the Peruvian Amazon: a case study from Panaillo », *Natural Hazards*, vol. 77, n° 3, pp. 2049-2079

- TOMASELLA, J., PINHO, P., BORMA, L., MARENGO, J., NOBRE, C., BITTENCOURT, O., PRADO, M., RODRIGUEZ, D. & CUARTAS, L. (2013) – « The droughts of 1997 and 2005 in Amazonia: floodplain hydrology and its potential ecological and human impacts », *Climatic Change*, vol. 116, n° 3, pp. 723-746

- WINKLERPRINS, A. & DE SOUZA, P. S. (2005) – « Surviving the city: urban home gardens and the economy of affection in the Brazilian Amazon », *Journal of Latin American Geography*, vol. 4, n° 1, pp. 107-126