

« Arroser », un premier pas... pour sortir de l'insécurité alimentaire

Jean-Baptiste Anténord, Etienne Billette de Villemeur et Justin Leroux

Résumé : Arroser permet de pallier l'absence prolongée de précipitations et donc d'améliorer la productivité d'une exploitation agricole. Cependant, en cas d'inondation et de destruction des récoltes, les pertes sont plus importantes à cause des coûts associés à l'arrosage. Nous établissons ici des critères pour aider les exploitants à faire face au mieux à la variabilité des conditions climatiques. La mise en place d'un coûteux système d'arrosage n'est pas toujours rentable. Par contre, arroser – même manuellement – une partie des parcelles plantées constitue toujours une bonne assurance contre le risque de sécheresse. Dans certaines conditions, l'arrosage permet non seulement d'augmenter le rendement espéré, mais également de diminuer la variabilité des revenus.



Rezimè : Lè nou wouze yon jaden, sa pèmèt nou korije pwoblèm sechrès la kreye, paske lè lapli pa tonbe pandan lontan, wouze yon tè pèmèt li amilyore rannman li nan domèn agrikilti. Sepandan, si ta vin genyen inondasyon ki gate rekòt yo, nou ap pèdi pi plis, paske sa koute lajan pou moun wouze yon tè. Nan atik sa a, nou tabli kèk prensip ki pou pèmèt moun ki ap plante yo kòlte pi byen ak pwoblèm chanjman kondisyon klimatik yo. Li pa toujou rantab pou nou enstale yon sistèm awozay ki koute chè. Sepandan, si nou wouze tè a - menm si se alamen- se yon bon garanti kont posiblite sechrès. Genyen kèk sikonstans kote aksyon wouze tè a, nonsèlman, pèmèt tè a bay pi bon rannman, men tou li diminye nan chanjman ki kab genyen nan rantre lajan.

1. INTRODUCTION

Si la pauvreté du monde rural en Haïti n'est pas contestable, les explications avancées pour expliquer cet état de fait résistent souvent assez mal à l'analyse. Elles se cantonnent la plupart du temps à des arguments macro-économiques qui, par nature, ignorent la grande disparité des situations à l'intérieur du pays. Les remèdes invoqués s'en trouvent difficilement crédibles puisqu'on ne fait même pas la différence entre un petit agriculteur engagé dans une agriculture de subsistance dans les mornes et une grande plantation « industrielle » dans la plaine. Et surtout, ces analyses invoquent des états de fait difficilement modifiables pour la plupart des acteurs.

Il n'est donc pas étonnant de constater qu'au-delà des grands discours, la plupart des solutions proposées semblent surtout justifier que rien de bien sérieux ne soit envisagé pour vraiment changer les choses. Critiquer, cependant, est chose facile : surtout que la complexité du problème ne fait aucun doute. Il n'est pas simple de trouver des pistes réalistes pour sortir de l'insécurité alimentaire !

Dans cet article, nous adoptons une approche résolument micro-économique. Il ne s'agit pas tant de poser un diagnostic général que de proposer une méthode d'analyse et d'établir des critères de décision qui permettent de déterminer les mesures qu'une exploitation donnée devrait prendre. Plus précisément, nous nous attachons à déterminer ce qu'un exploitant devrait faire pour se protéger contre le risque de sécheresse et à définir les situations dans lesquelles l'investissement dans une installation d'irrigation peut s'avérer rentable – mais aussi, quand

ce n'est pas le cas, ce qu'il est souhaitable de faire en matière d'arrosage manuel pour améliorer les rendements. Car il ne faut pas se voiler la face : au-delà des facteurs extérieurs qui peuvent aggraver les difficultés que rencontre le pays, le secteur agricole en Haïti témoigne d'une grande faiblesse.

1.1 Quand l'arbre cache parfois la forêt

Eu égard à l'importance du riz dans l'alimentation locale, on ne peut aborder la question de la sécurité alimentaire sans s'interroger sur la production de cette céréale. Le recours croissant aux importations observé depuis le milieu des années 1980 est certainement très préoccupant. Mais, contrairement à ce qui est souvent avancé, les dons en nature et les importations à faible prix n'ont probablement pas grand-chose à voir avec la faiblesse de la production nationale – même si nous ne remettons pas en cause leurs indéniables effets pervers.

C'est un fait que les producteurs de riz des États-Unis, d'où provient l'essentiel du riz importé (au point que l'on surnomme le riz importé « *diri Miami* »), bénéficient d'importantes subventions. Il n'y a pas non plus de doute sur le fait que la faiblesse des droits de douane rend les producteurs haïtiens particulièrement vulnérables. Le terme de « dumping », souvent invoqué pour qualifier les importations de riz américain, semble donc justifié à bien des égards. La quasi totale absence de droits de douane est soutenue par certains au motif qu'elle tend à réduire le coût de la vie. Avec Josiane Georges [3], nous faisons observer cependant que les importations ont avant tout un impact sur le prix du riz dans les villes, où la

population est relativement plus aisée. Nous n'entendons donc pas apporter une quelconque caution aux politiques commerciales actuellement mises en œuvre.

Toutefois, pour ce qui a trait à l'impact des importations de riz sur la production nationale, nous observons que 1) les zones rurales sont peu ou prou isolées des marchés internationaux, de par la quasi totale absence d'infrastructures, et que 2) le « riz-pays » peut pratiquement être regardé comme un bien différent tant il est en général considéré comme étant de qualité supérieure au riz importé. À preuve, il se vend bien *plus cher* que ce dernier. Ceux qui peuvent se le permettre choisissent donc de préférence de consommer la production nationale. Et si cette dernière était plus importante qu'elle ne l'est actuellement, elle n'aurait aucun problème à trouver preneur.

Le problème réside donc plutôt dans la faiblesse de la production, qui trouverait son origine non pas tant dans la concurrence frontale de l'étranger que dans les faiblesses du commerce *intérieur*. La production des zones rurales peine à atteindre la ville. Faute de débouchés, les petits agriculteurs n'ont pas d'incitation à aller au-delà d'une agriculture de subsistance.

Pourtant, la consommation de riz a plus que quintuplé au cours des 30 dernières années en Haïti. Et la croissance de la population, qui a augmenté de presque 68 % de 1985 à 2015, ne peut expliquer à elle seule cette augmentation de la consommation. D'après nos calculs, sur la base des chiffres de la division *Population* des Nations Unies et des données de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la consommation *per capita* à la veille du tremblement de terre de 2010 était trois fois plus élevée que vers la fin du régime Duvalier fils, 25 ans plus tôt¹. En dépit de tous les discours pessimistes, les données montrent indéniablement qu'il y a eu une amélioration générale du niveau de vie en Haïti.

Cependant, la production nationale est restée pratiquement inchangée depuis la fin du régime Duvalier : environ 80 millions de tonnes de riz blanchi ou semi-blanchi par an². De pra-

tiquement autosuffisant au début des années 1980, le pays est devenu complètement dépendant des importations qui représentent, à la veille du tremblement de terre de 2010, plus de 80 % de la consommation nationale³. Encore une fois, et sans pour autant les approuver, à force d'utiliser les politiques en matière de commerce international comme « bouc émissaire », on a fini par ignorer qu'il y a un réel problème du côté du secteur productif. Avec Carlos Furche et l'OXFAM, nous notons que les rendements de la surface plantée restent très faibles [2]. Nous observons par contre que la chute radicale des droits de douane de 1995 (année où la taxe *ad valorem* est passée de 50 % à 3 %) que, comme d'autres, ils invoquent pour expliquer la faiblesse de la production nationale ne semble pas avoir eu d'effet marquant sur cette dernière.

Au contraire, d'après les données de la FAO, les années 1990-1994 font état d'une production moyenne annuelle de riz en paille de 118 millions de tonnes, alors que, même si cette différence n'est pas nécessairement significative, ce chiffre s'élève à 127 millions pour les années 1996-2000. C'est un fait que l'année 1995 a eu un impact brutal sur les importations de riz. Elles s'élevaient en moyenne à 131 millions de tonnes pour la période 1990-1994 et ont brusquement bondi d'environ 100 millions de tonnes pour s'établir en moyenne à 230 millions de tonnes pour la période 1996-2000. Mais qu'est-ce qui explique que les importations continuent à croître après 1995, l'année fatidique ? Dix ans après, elles ont encore augmenté de plus de 100 millions⁴.

Si la quasi-disparition des droits de douane est certainement pour beaucoup dans le déferlement de produits importés en Haïti – comme en témoigne la brutale augmentation du déficit de la balance commerciale, qui a été instantanément multiplié par plus de 2,5, passant de 177 876 000 \$US en moyenne pour la période 1990-1994 à 480 146 000 \$US pour les années 1996-2000 –, elle ne semble ni expliquer la faiblesse de la production rizicole en Haïti ni même l'envolée de la consommation nationale, qui augmente *de façon presque constante* de quasiment 16 millions de tonnes chaque année depuis bientôt 30 ans.

La vraie question, c'est bien sûr de trouver l'origine – ou les origines – de la faiblesse du problème productif afin de proposer des solutions. Si, comme l'indique le *Plan d'investissement agricole* du Ministère de l'Agriculture, des Ressources naturelles et du Développement rural (MARNDR), « les terrains dont les modes de tenure relèvent du domaine de l'informel [...] représentent près de 75 % des parcelles exploitées⁵ », la question de l'accès à la terre ne peut justifier la stagnation de la

1. Pour nous affranchir des effets liés au tremblement de terre de l'année 2010, nous faisons uniquement référence aux années qui précèdent. Plus précisément, nous comparons ici la consommation moyenne des années 2007 à 2009 à celle des années 1983-1985. L'année 2010 ne constitue cependant pas une année de rupture. La consommation continue d'augmenter et, comme nous le verrons plus bas, la production de stagner.

2. Calculs effectués à partir des données de la FAO. Pour les 25 années qui ont précédé le tremblement de terre, c'est-à-dire les années 1985 à 2009, la production moyenne s'élève à environ 79 million de tonnes de riz blanchi ou semi-blanchi par an. Sur cette même période, la production atteint son maximum en 1997 où elle dépasse les 106 million de tonnes. Elle descend aux alentours de 67-68 millions de tonnes en 1995, 1998 et 2001. Pour toutes les autres années elle oscille entre 70 et 90 millions de tonnes.

3. 82,37 % sur la base des données de la FAO.

4. Plus précisément pour la période 2005-2009, elles s'élèvent en moyenne à 341 millions de tonnes.

5. MARNDR (2010), *Plan d'investissement agricole*, p. 5.

production. Comment expliquer alors que 77 % des personnes affirmant ne pas pouvoir satisfaire leurs besoins alimentaires se trouvent justement en milieu rural – où l’agriculture constitue la principale activité?⁶ Naturellement, on pourrait invoquer la question de l’insécurité foncière, qui est effectivement un problème réel, comme cause de la réticence à investir, donc de la faible productivité et *in fine* de la faiblesse de l’offre d’origine nationale. Quant à nous, nous observons que l’absence quasi totale d’infrastructures, notamment en matière de transport, rend l’accès au marché extrêmement limité pour les petits agriculteurs des zones rurales. Comme nous l’avons déjà mentionné, cette absence de débouchés pourrait, à notre humble avis, expliquer en bonne part la faiblesse de la production agricole, qui, de fait, est presque toujours consommée dans la zone où elle a été produite.

1.2 Le problème des aléas climatiques

Nous ne procéderons pas dans cet article à une analyse systématique du secteur agricole en Haïti. Nous renvoyons à ce sujet le lecteur au remarquable ouvrage collectif publié en 2016 sous la direction de Van Vliet, Pressoir, Marzin et Giordano [5]. Pour notre part, nous avançons que, plutôt que de chercher à mettre en place des projets relevant de l’agriculture industrielle, il serait important de soutenir le développement de la grande majorité des familles en zone rurale, engagées pour l’heure dans la seule agriculture de subsistance.

Dans cette perspective, nous considérons volontairement un problème simple, avec l’espoir d’avoir ainsi plus de chances de déboucher sur des recommandations aptes à la mise en œuvre. Nous adoptons également une approche résolument micro-économique, en prenant le contexte économique et institutionnel comme une donnée, afin de nous placer du point de vue du petit exploitant et d’explorer les mesures qui relèvent de sa seule personne. Plus précisément, nous essayons d’analyser les risques auxquels les petits agriculteurs sont soumis en raison des aléas climatiques et de définir les stratégies qu’ils peuvent adopter pour essayer, au mieux, d’y faire face. En pratique, nous posons donc une question très concrète : faut-il arroser en cas de sécheresse ?

Risques et pauvreté sont intrinsèquement liés [1]. Face à la difficulté de la mise en œuvre de marchés d’assurance qui soient effectivement fonctionnels, un premier pas pour aider les petits exploitants consiste à réduire leur *exposition* aux risques. En ce sens, accorder un soin particulier à une petite parcelle de terrain, notamment en l’arrosant en période de sécheresse, peut aider à améliorer de façon substantielle la situation des cultivateurs. Naturellement, cet effort accru représente aussi une prise de risque, étant donné la possibilité

qu’un cyclone vienne réduire à néant tout le travail accompli. Nous proposons un modèle formalisé qui prend en compte ces deux composantes du risque climatique, pour mieux comprendre dans quelles circonstances il est opportun d’arroser. Malgré sa simplicité, ce modèle nous permet de mieux saisir quel peut être l’apport de l’arrosage – et de dégager quelques stratégies pour essayer d’améliorer, en partant de la situation actuelle, le sort des petits agriculteurs des zones rurales.

2. REVENUS AGRICOLES ET ALÉAS CLIMATIQUES

Les personnes engagées dans une agriculture de subsistance font face à essentiellement deux risques d’ordre climatique : la sécheresse et son contraire, une surabondance de pluie menant à une inondation et à la destruction totale des récoltes. Contrairement aux pluies torrentielles et aux cyclones, contre lesquels il est difficile de se prémunir, il est possible de lutter contre la sécheresse en arrosant.

Arroser ne requiert pas nécessairement de coûteuses installations, ni en investissement ni, surtout, en utilisation. Comme nous le montrerons, il est de toute façon probable que, dans de nombreux cas, la mise en place d’un arrosage goutte-à-goutte fonctionnant avec une motopompe *ne serait pas* rentable : un tel investissement ne se justifie que si on y a suffisamment recours, c’est-à-dire dans les zones arides (ce qui n’est pas le cas d’Haïti) ; et, même une fois l’investissement payé, le fonctionnement d’un tel système reste fort dispendieux en raison de l’énergie qu’il consomme. Par contre, il est toujours possible de procéder manuellement (ou par irrigation gravitaire), quitte à se limiter à une partie de la surface plantée. Et il existe aussi des machines élévatrices⁷ comme la noria ou encore le bélier hydraulique, dont le fonctionnement repose sur l’énergie hydraulique et qui ont donc un coût nul pour les agriculteurs ayant des parcelles situées à proximité immédiate d’un petit cours d’eau.

Nous esquissons ici les grandes lignes d’un modèle simple pour analyser l’impact des aléas climatiques sur les rendements agricoles.

2.1 Revenu espéré d’un exploitant agricole : un modèle probabiliste

Notons T la surface cultivée et $t \leq T$ la surface que l’exploitant prend le temps d’arroser en cas de sécheresse. Le rendement par unité de surface d’une exploitation où les cultures reçoivent leur besoin en eau est noté R . Si, au contraire, il y a sécheresse, le rendement se réduit à $r < R$. Les coûts d’exploitation

6. *Ibidem*, p. 3.

7. Sur les machines élévatrices – aux fins d’irrigation – on pourra consulter le *Bulletin FAO d’irrigation et de drainage* auquel le numéro 43 est entièrement consacré.

(labourage, semence, etc.) et d'arrosage par unité de surface sont notés respectivement C_E et C_A .

On suppose que s'il y a inondation, il y a destruction totale des récoltes. Qui envisage de procéder à des plantations doit savoir qu'il fait face à quatre éventualités.

1. Si le temps est clément et qu'il n'y a ni sécheresse ni inondation, ses profits s'élèveront à :

$$\pi_1 = (R - C_E)T \quad (1)$$

2. S'il ne pleut pas assez, mais qu'on procède à un arrosage régulier de la surface t , les profits s'élèveront à :

$$\pi_2 = Rt + r(T - t) - C_E T - C_A t \quad (2)$$

3. Si les pluies sont trop abondantes, détruisant alors les récoltes, les pertes seront égales aux montants engagés pour planter sa parcelle. On aura donc :

$$\pi_3 = -C_E T \quad (3)$$

4. Enfin, si les inondations surviennent après une période de sécheresse contre laquelle on s'est efforcé de lutter, les pertes seront plus importantes encore. On aura :

$$\pi_4 = -C_E T - C_A t \quad (4)$$

Si l'on note p la probabilité d'avoir une sécheresse et q celle d'avoir une inondation – et si ces dernières peuvent être considérées comme indépendantes, ce qu'on supposera dans cette étude pour garder les choses simples –, on obtient assez aisément le revenu net espéré⁸ d'un exploitant.

Les probabilités d'occurrence du premier et du deuxième cas susmentionnés s'écrivent en effet, respectivement, $(1 - p)(1 - q)$ et $p(1 - q)$; le dernier cas n'a lieu que quand une inondation vient détruire les récoltes après qu'une période de sécheresse a été traversée : on ne procède évidemment pas à l'arrosage quand les récoltes ont déjà été détruites ! Par suite, sa probabilité d'occurrence s'écrit $(1/2)pq$. La probabilité d'occurrence du cas 3, enfin, est complémentaire des trois autres et s'écrit donc $(1 - (p/2))q$.

Au total, le revenu (net) espéré s'écrit :

$$E_{p,q}[\pi_A(T,t)] = (1 - q)[(1 - p)RT + p[Rt + r(T - t)]] - p(1 - (q/2))C_A t - C_E T \\ = (1 - q)[RT - p(R - r)(T - t)] - p(1 - (q/2))C_A t - C_E T \quad (5)$$

2.2 Effet de l'arrosage

Si l'on renonce à tout arrosage ($t = 0$), le revenu net espéré s'écrit :

8. C'est-à-dire ce qu'on peut espérer gagner, « en moyenne », en sus des coûts d'exploitation.

$$E_{p,q}[\pi_{A=\emptyset}(T)] = \{(1 - q)[(1 - p)R + pr] - C_E\}T \quad (6)$$

La différence entre les expressions (5) et (6) donne le gain net espéré qui découle du fait d'arroser la surface t en cas de sécheresse (et bien évidemment quand une inondation n'est pas survenue auparavant) :

$$[(1 - q)(R - r) - (1 - (q/2))C_A]pt \quad (7)$$

2.2.1 Dans quelles zones l'arrosage est-il profitable ?

L'arrosage est profitable dès que l'expression (7) est positive, c'est-à-dire dès que :

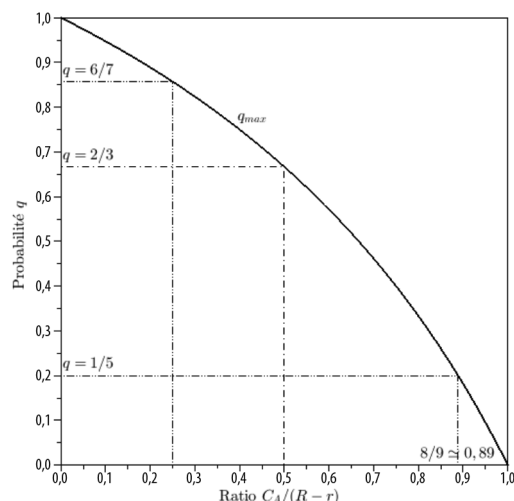
$$q < \frac{(R - r) - C_A}{(R - r) - C_A/2} = 1 - \frac{(1/2)[C_A / (R - r)]}{1 - (1/2)[C_A / (R - r)]} \quad (8)$$

Autrement dit, tant que la probabilité q d'avoir des pluies torrentielles qui viendraient détruire les récoltes est suffisamment faible pour que le gain espéré apporté par l'arrosage soit plus grand que son coût, il convient que tout exploitant agricole essaie de lutter contre la sécheresse en arrosant une surface t la plus grande possible.⁹

L'examen de la formule (8) va nous permettre de montrer que, à moins d'être dans une zone où les récoltes sont quasi systématiquement détruites par les inondations, le recours à l'arrosage en cas de sécheresse est toujours une bonne stratégie.

Considérons, pour différentes valeurs du ratio $C_A / (R - r)$, la valeur que q ne doit pas dépasser afin que l'arrosage reste rentable (voir Figure 1). Si les coûts de l'arrosage atteignent la moitié du montant des gains qu'il engendre (c'est-à-dire si $C_A = (R - r)/2$), alors la probabilité que survienne un cyclone qui détruit les récoltes doit être supérieure à $2/3 \approx 0,67$ pour qu'il ne soit pas rentable d'arroser en cas de sécheresse. Autrement dit, s'il y a au moins une chance sur trois ($1/3 \approx 0,33$) qu'il n'y ait pas d'inondation pendant la période de culture, il est bon de recourir à l'arrosage en cas de sécheresse. Si les coûts de l'arrosage sont plus faibles, il faut que la probabilité d'inondation soit plus forte encore pour que l'arrosage ne constitue pas une bonne stratégie. Par exemple, si $C_A = (R - r)/4$, alors la condition (8) s'écrit $q < 6/7 \approx 0,86$. Autrement dit, il suffit maintenant qu'il y ait une chance sur sept ($1/7 \approx 0,14$) qu'il n'y ait pas de cyclone pour qu'il soit profitable de recourir à l'arrosage...

9. Le gain espéré de l'arrosage est de $[(1 - q)/(1 - q/2)](R - r)$, car la probabilité de l'absence de pluie torrentielle doit être ajustée à la hausse pour prendre en compte le fait qu'avec probabilité $q/2$, une inondation a détruit la récolte avant que ne se déclare la sécheresse – et donc que l'arrosage ne ferait pas de sens.

Figure 1 Probabilité q maximum pour que l'arrosage soit profitable


2.2.2 Quand les coûts de l'arrosage le rendent-ils trop cher ?

Dans la pratique, les parcelles sont plus ou moins accessibles et leur arrosage, plus ou moins « coûteux ». Il est donc intéressant de considérer la limite des coûts à ne pas dépasser pour que l'arrosage reste rentable.

La condition (8) peut se récrire sous la forme suivante :

$$\frac{C_A}{R-r} < \frac{1-q}{1-q/2} = 1 - \frac{q/2}{1-q/2} \quad (9)$$

Cette inégalité définit une borne supérieure que le ratio « coût d'arrosage » (C_A) sur « gain de rendement » ($R-r$) ne doit pas dépasser pour que l'arrosage reste rentable. Cette valeur maximale dépend de la probabilité q qu'un cyclone survienne. Elle est d'autant plus élevée que la valeur de q est faible.

Si, par exemple, dans la zone considérée, les récoltes sont détruites une année sur cinq pendant la saison cyclonique ($q = 1/5$), alors il ne faut pas que le ratio $C_A/(R-r)$ dépasse $8/9 \approx 0,89$. Autrement dit, tant que les coûts de l'arrosage C_A sont inférieurs aux gains $R-r$ d'au moins $1/9$ (soit environ 11 %), ce dernier s'avère profitable (voir Figure 1). C'est dire qu'il faudrait vraiment que l'arrosage soit extrêmement onéreux pour ne pas l'envisager.

S'il est probablement irréaliste de prétendre à l'arrosage de l'ensemble des parcelles plantées, la plupart des exploitants agricoles gagneraient à s'assurer un minimum de revenu en procédant à un arrosage régulier d'une partie de leurs terres.

2.2.3 Quel niveau de sécheresse justifie l'arrosage ?

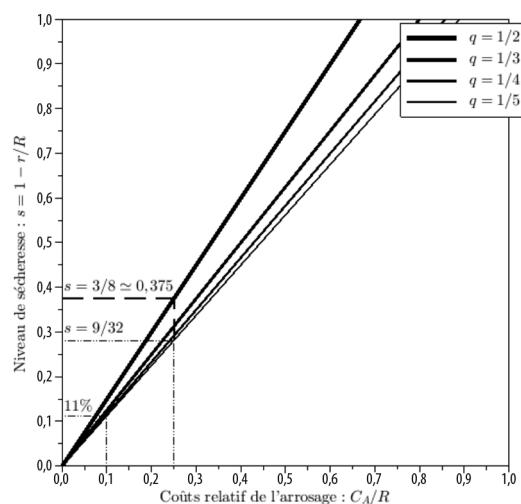
Une sécheresse peut être plus ou moins sévère. Et l'importance de l'arrosage n'est pas la même s'il n'a pas plu depuis trois jours ou depuis trois semaines. À partir de quand celui-ci est-il réellement justifié ?

La condition (8) (ou encore (9) puisque les deux sont équivalentes) peut également s'exprimer en fonction du ratio r/R . On établit aisément que, pour que l'arrosage soit profitable, il faut que le niveau de sécheresse $s = 1 - r/R$ (ou encore le taux de destruction des récoltes¹⁰) soit tel que :

$$s = 1 - \frac{r}{R} > \left(\frac{1-q/2}{1-q} \right) \frac{C_A}{R} \quad (10)$$

En d'autres termes, l'absence de pluie doit menacer de réduire suffisamment les rendements pour justifier le déclenchement d'une opération d'arrosage.

Ce résultat n'est pas surprenant. Ce qui l'est davantage, c'est la valeur des seuils (en matière d'impact), qui justifient de ne pas se reposer sur le « *Bondye bon* »¹¹ (voir Figure 2). Toujours avec $q = 1/5$ et si les coûts d'arrosage représentent un dixième de la recette dans les conditions optimales ($C_A = R/10$), alors il faut procéder à l'arrosage dès que $s > 9/80 \approx 0,11$, autrement dit, dès que la sécheresse pourrait faire baisser les rendements de plus de 11 % seulement. Si, par contre, $C_A/R = 1/4$, il faut procéder à l'arrosage quand $s > 9/32 \approx 0,28$, c'est-à-dire quand les rendements menacent de baisser de plus de 28 %. En revanche, si les inondations détruisent les récoltes une année sur deux ($q = 1/2$), avec ce même niveau de coût ($C_A = R/4$), il faut intervenir seulement quand $s > 3/8 \approx 0,375$.

Figure 2 Conditions de rentabilité de l'arrosage pour différentes valeurs de q


10. L'indice s varie dans l'intervalle $[0; 1]$. Il vaut 0 en l'absence de toute sécheresse ($r=R$) et 1 quand celle-ci est « maximale » dans le sens qu'elle conduit à une perte totale des récoltes ($r=0$).

11. Expression de confiance en Dieu, indiquant ici l'absence de toute mesure préventive.

En d'autres termes, dès que le coût d'arrosage n'est pas trop onéreux – par exemple, pour les jardins qui sont à proximité immédiate de l'habitation, lieu qu'il faudra de toute façon approvisionner en eau –, il est souhaitable de procéder à un suivi régulier de l'état des sols et d'arroser assez régulièrement, sans attendre.

2.3 Des effets de l'arrosage sur la rentabilité

Notre « modèle » – pour autant qu'on puisse le qualifier ainsi vu que nous n'avons fait que donner une expression probabiliste aux revenus d'exploitation – permet de faire bien plus que de recommander l'arrosage. Il permet également de déterminer les zones dans lesquelles il sera plus particulièrement rentable ou encore de déterminer les seuils de rentabilité de certains équipements en fonction à nouveau de la zone et du type de culture. Nous illustrons aussi ci-après comment il est possible d'aller plus loin dans l'analyse, en considérant non seulement l'impact de l'arrosage sur le revenu espéré (= en moyenne) des petits agriculteurs, mais également son impact sur les risques que ces derniers encourent, c'est-à-dire sur sa variabilité.

2.3.1 Seuils de profitabilité et rendement des exploitations agricoles

2.3.1.1 Extension de la surface cultivable

Lorsqu'on cultive sur le *Bondye bon*, c'est-à-dire en s'en remettant complètement à la clémence des conditions climatiques, c'est que le gain espéré sans arrosage, $(1 - q)[(1 - p)R + pr]$, est au moins égal au coût de la plantation et de la culture C_E . On peut donc faire l'hypothèse que

$$q \leq 1 - \frac{C_E / R}{1 - p(1 - r / R)} \quad (11)$$

partout où il y a culture. Si l'on néglige le rôle du risque, on pourra même supposer la quasi-égalité dans les zones où une partie des terres reste inexploitée.¹²

Une parcelle arrosée en cas de sécheresse est rentable tant que son revenu espéré, $(1 - q)R$, est plus grand que le coût d'exploitation espéré, $C_E + p(1 - q/2)C_A$, maintenant plus élevé du fait de l'arrosage. Cette condition se récrit :

$$q \leq 1 - \frac{C_E / R + (p / 2)(C_A / R)}{1 - (p / 2)(C_A / R)} \quad (12)$$

12. Il y a égalité si l'on peut considérer qu'il n'y a pas d'aversion au risque, c'est-à-dire que les décisions sont prises sur la seule base du revenu espéré - comme si ce qui arrive « en moyenne » était certain. Dans ce cas, le fait qu'une partie des terres ne soit pas exploitée indique que le revenu marginal espéré de la surface plantée est nul. Formellement : $(1 - q)[(1 - p)R + pr] - C_E = 0$

La comparaison des expressions (11) et (12) permet de déterminer les zones où l'agriculture n'est pas pour l'heure rentable, mais où elle peut le devenir si les parcelles sont arrosées. En d'autres termes, elle permet de déterminer l'extension de la surface cultivable qui résulterait de l'introduction de l'arrosage. (voir Figure 3)

Si $r < C_E$, il n'est alors pas rentable de cultiver sans arroser si la sécheresse est trop fréquente. Dans ce cas, tant que $q < 1 - C_E/R$, l'arrosage peut aider certaines exploitations à atteindre le seuil de rentabilité. Plus précisément, si $q \leq 1 - [C_E/R + C_A/(2R)]/[1 - C_A/(2R)]$, toute parcelle arrosée est rentable, alors que celles qui ne le sont pas n'atteignent le seuil de rentabilité que quand

$$p \leq \frac{1 - C_E / R - q}{(1 - q)(1 - r / R)} \quad (13)$$

c'est-à-dire que la sécheresse est suffisamment rare. Dans le cas où

$$1 - \frac{C_E / R + C_A / 2R}{1 - C_A / 2R} < q < 1 - C_E / R$$

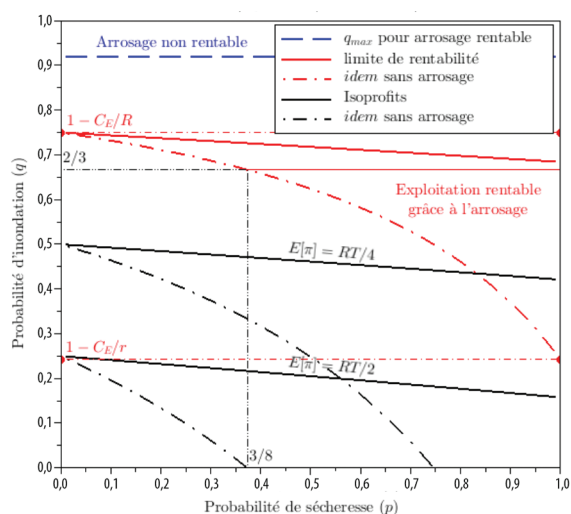
on peut montrer que les parcelles arrosées ne sont pas toujours rentables (notamment en cas de sécheresse systématique), mais que l'arrosage augmente substantiellement les circonstances où elles le sont.

Si $r \geq C_E$, c'est-à-dire si le rendement en cas de sécheresse reste supérieur aux coûts d'exploitation, il peut être rentable de cultiver sans arroser même en cas de sécheresse systématique. Il suffit que les inondations ne soient pas trop fréquentes et, plus précisément, que $q \leq 1 - C_E/r$. Si, au contraire, les cyclones sont trop fréquents, de sorte que $q > 1 - C_E/R$, alors une activité agricole est nécessairement déficitaire, même s'il n'y a jamais de sécheresse. Si q se situe dans l'intervalle mentionné ci-dessus, le seuil de rentabilité de l'activité agricole dépend de la fréquence d'occurrence des sécheresses – et donc aussi du fait que l'on arrose ou pas. Là encore, on peut montrer que l'arrosage permet d'étendre substantiellement les circonstances où l'agriculture reste profitable.

Par exemple, si les coûts d'exploitation s'élèvent à un quart des revenus espérés ($C_E = R/4$), si la sécheresse divise en moyenne les rendements par trois ($r = R/3$) et s'il y a des cyclones destructeurs deux années sur trois ($q = 2/3$), alors une exploitation qui n'est pas arrosée n'est rentable que si $p \leq 3/8 = 0,375$. Si elle est arrosée, elle est rentable même si la sécheresse est systématique ($p = 1$) (voir Figure 3).

D'une manière générale, on peut donc dire que la mise en place de bonnes pratiques en matière d'irrigation permet *a priori* d'augmenter la surface cultivée.

Figure 3 Zones de rentabilité et revenus espérés avec $r = R/3$; $C_A = R/10$ et $C_E = R/4$



2.3.1.2 Augmentation du rendement des exploitations agricoles

D'une manière générale, s'il n'est fait que quand il est profitable, l'arrosage va évidemment augmenter le niveau de profitabilité espéré. La formule du revenu espéré (5) ainsi que son expression dans le cas particulier où il n'y a pas d'arrosage (6) permettent donc *a priori* de calculer l'augmentation moyenne des rendements là où les terres sont déjà exploitées.

Si, comme on l'a déjà vu, il est presque toujours rentable de procéder à l'arrosage en cas de sécheresse, les gains G apportés par la mise en place de bonnes pratiques en la matière dépendent évidemment de la fréquence des périodes de sécheresse, p ; et puisqu'un arrosage régulier n'empêche pas une possible destruction des récoltes pendant la période des cyclones, il dépend également de q . Rapportés aux recettes auxquelles peuvent prétendre les exploitants dans des conditions optimales, RT , ces gains s'écrivent :

$$\frac{G}{RT} = p \left[(1-q) \left(1 - \frac{r}{R} \right) - \left(1 - \frac{q}{2} \right) \frac{C_A}{R} \right]$$

Les gains de l'arrosage croissent évidemment avec la fréquence p à laquelle on arrose. Ils sont donc plus importants dans les zones arides, où une agriculture sans arrosage est très peu rentable. Ils sont, au contraire, très faibles dans les zones qui bénéficient d'une pluviométrie régulière, suffisamment abondante sans être destructrice – qui sont les zones où l'agriculture, même sur le *Bondye bon*, est traditionnellement rentable (Figure 4). La profitabilité de l'agriculture dans une région ne constitue donc pas un bon indicateur de l'augmentation des

rendements qui peut résulter de la mise en place d'un arrosage régulier.

2.3.2 Rentabilité des équipements

Comme nous l'indiquons plus haut, l'arrosage n'est pas nécessairement synonyme d'installations coûteuses. D'ailleurs, le type d'arrosage dont il est question dans cet article est l'arrosage manuel ou par irrigation gravitaire des exploitations.

La première raison en est un motif de réalisme : la situation financière de la majorité des exploitants agricoles, engagés pour la plupart dans une agriculture de subsistance, ne leur permet pas d'envisager l'acquisition de coûteux systèmes d'irrigation comme le goutte-à-goutte.

Mais surtout, et c'est la deuxième raison, il est important de se rendre compte que, bien que leur absence soit souvent invoquée pour expliquer les faibles performances agricoles, l'utilisation en Haïti de systèmes d'irrigation onéreux serait probablement *non rentable* dans de nombreuses circonstances. En effet, les coûts afférents à un système d'irrigation demeurent à charge même si ce dernier ne se révèle d'aucun usage.

2.3.2.1 Supériorité de l'arrosage manuel

Pour qu'un système d'irrigation s'avère rentable, même si son utilisation s'avère sans coûts, il est nécessaire que son coût d'installation (par unité de surface), que nous notons ici C_I , soit inférieur au coût *espéré* de procéder à un arrosage manuel – ou par irrigation gravitaire. En d'autres termes, on doit au moins avoir :

$$\frac{C_I}{N} \leq p \left(1 - \frac{q}{2} \right) C_A \quad (14)$$

où N est la durée de vie de l'installation exprimée en années.¹³ Même si l'on suppose que l'installation peut durer 10 ans, par exemple, à moins d'être dans une zone où la sécheresse est systématique et l'arrosage manuel fort coûteux, l'inégalité (14) est très improbable (voir Figure 4).

En récrivant cette inégalité, on obtient une condition nécessaire pour qu'une installation fixe d'irrigation soit moins coûteuse que l'arrosage manuel :

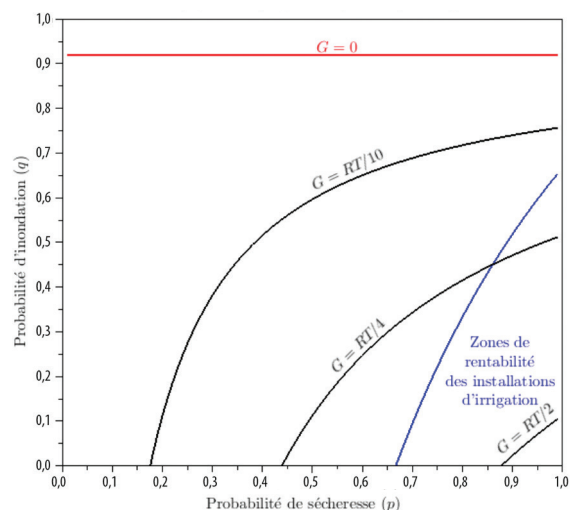
$$q \leq 2 \left(1 - \frac{C_I / N}{p C_A} \right) \quad (15)$$

Cela n'est pas possible quand $C_I / N > p C_A$ et donc en particulier quand $C_I / N > C_A$. En d'autres termes, si, lorsqu'on tient

13. Pour faire simple, nous ignorons ici le calcul d'actualisation des coûts d'investissement.

compte de sa durée de vie, les coûts d'installation d'un système d'arrosage dépassent les coûts de l'arrosage manuel, ce dernier est préférable quelle que soit la probabilité p qu'une sécheresse survienne.

Figure 4 Gain de l'arrosage et rentabilité des équipements avec $r = R/3$; $C_A = R/10$; $C_E = R/4$ et $CI/N = R/15$



Si les coûts d'installation du système d'arrosage sont moins élevés, ce dernier peut s'avérer rentable, mais seulement si la sécheresse est suffisamment fréquente. Ainsi, quand les coûts d'installation du système – étant donné sa durée de vie – sont deux fois moins élevés que les coûts d'arrosage, c'est-à-dire $C_I/N = (1/2)C_A$, alors il faut qu'il y ait sécheresse au moins une année sur deux ($p \geq 1/2$) pour que l'arrosage manuel soit moins avantageux. Et encore, si $p = 1/2$, alors il faut qu'il n'y ait jamais d'inondation, soit $q = 0$, pour que ce soit le cas.

2.3.2.2 Rentabilité d'un système d'arrosage

D'une manière plus générale, il faut évaluer la rentabilité d'un équipement en comparant le montant de l'investissement aux profits espérés qui peuvent être dégagés. En particulier, il faut comparer les coûts d'installation du système d'irrigation aux gains de l'arrosage, tels que donnés par l'équation (7). Un équipement sera donc rentable si

$$\frac{C_I}{N} \leq p \left[(1-q)(R-r) - \left(1 - \frac{q}{2} \right) C_A^I \right] \quad (16)$$

où C_A^I est le coût d'arrosage avec le système d'irrigation.

Comme déjà indiqué, même avec un coût d'utilisation nul ($C_A^I = 0$), une telle inégalité est assez improbable si C_I est élevé.

Notons également que si, au contraire, l'installation a fait l'objet d'un don¹⁴ – par une organisation non gouvernementale (ONG) par exemple –, mais que son coût d'utilisation C_A^I est trop élevé, il ne sera pas non plus profitable de l'utiliser. La condition (9) donnée plus haut reste donc toujours valable.

2.4 REVENU ESPÉRÉ ET RISQUE

2.4.1 De la prise en compte des risques

Les considérations qui précèdent sont toutes basées sur la formule du revenu espéré. Ce type de raisonnement ne doit pas faire perdre de vue un aspect important : le fait qu'une plantation soit profitable en moyenne ne signifie pas qu'elle le soit toujours.

Cela, bien sûr, n'est pas sans conséquences.

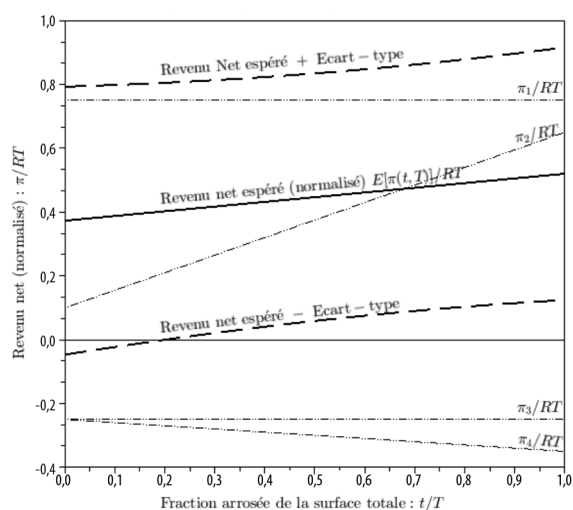
Ainsi, si le fait de planter une surface T plus grande conduit à un revenu espéré plus élevé, cela conduit également à une augmentation des pertes en cas de mauvais temps, et donc des risques encourus. C'est sans doute cette exposition au risque qui explique que de nombreuses parcelles de terre ne sont actuellement pas exploitées – et que la production agricole domestique reste somme toute assez limitée.

De même, si l'arrosage est en général profitable, il engendre quand même des coûts et donc un risque supplémentaire. Et il ne faut pas oublier que le fait d'exercer un suivi plus serré de ses parcelles de terre signifie souvent pour l'exploitant de renoncer à d'autres sources de revenu et de « mettre tous ses œufs dans le même panier ». Le gain engendré par l'arrosage doit donc être mesuré à l'aune des risques encourus.

Plus généralement, analyser les comportements et mettre en place des politiques agricoles sans prendre en compte la variabilité des revenus et la notion de risque relève tout simplement du non-sens. Sans prétendre en faire ici une étude exhaustive, nous nous appliquons dans ce qui suit à esquisser les conséquences de la prise en compte de ces facteurs.

14. Si bien que, du point de vue de l'utilisateur, on peut considérer que $C_I = 0$.

Figure 5 Revenu net (normalisé) en fonction de la surface arrosée avec $r = R/3; C_A = R/10; C_E = R/4; p = 0,33$ et $q = 0,20$



2.4.1.1 Variabilité du revenu

C'est un exercice fastidieux mais facile que d'écrire la variance du revenu net. On obtient :

$$\begin{aligned}
 V[\pi_A(T,t)] &= q(1-q)(RT)^2 + p\left(1 - \frac{q}{2}\right)\left[1 - p\left(1 - \frac{q}{2}\right)\right](C_A t)^2 \\
 &\quad + p(1-q)[1 - p(1-q)](R-r)^2(T-t)^2 \\
 &\quad - 2pq(1-q)(RT)\left[(R-r)(T-t) + \frac{1}{2}(C_A t)\right] \\
 &\quad + 2p(1-q)\left[1 - p\left(1 - \frac{q}{2}\right)\right](R-r)(T-t)(C_A t) \quad (17)
 \end{aligned}$$

Cette mesure du « risque-revenu » présente de nombreuses limites, en particulier parce qu'elle ne prend pas réellement en compte le coût de cette variabilité des revenus pour les agriculteurs. Cependant, cette simple mesure statistique est suffisante pour mettre en lumière l'impact de l'arrosage sur les risques encourus.

2.4.1.2 Impact de l'arrosage sur le « risque-revenu »

Sans aucun arrosage, la variance du revenu net s'écrit :

$$\begin{aligned}
 V[\pi_{A=\emptyset}(T)] &= q(1-q)(RT)^2 - 2pq(1-q)(RT)(R-r)T \\
 &\quad + p(1-q)\left[1 - p(1-q)\right](R-r)^2 T^2 \quad (18)
 \end{aligned}$$

L'impact de l'arrosage sur le « risque-revenu » peut donc s'écrire comme suit :

$$\begin{aligned}
 V[\pi_A(T,t)] - V[\pi_{A=\emptyset}(T)] &= p\left(1 - \frac{q}{2}\right)\left[1 - p\left(1 - \frac{q}{2}\right)\right](C_A t)^2 \\
 &\quad - p(1-q)[1 - p(1-q)](R-r)^2\left[T^2 - (T-t)^2\right] \\
 &\quad + 2pq(1-q)(RT)\left[(R-r)t - \frac{1}{2}C_A t\right] \\
 &\quad + 2p(1-q)\left[1 - p\left(1 - \frac{q}{2}\right)\right]\left[(R-r)(T-t)(C_A t)\right] \quad (19)
 \end{aligned}$$

Arroser a donc au moins deux effets :

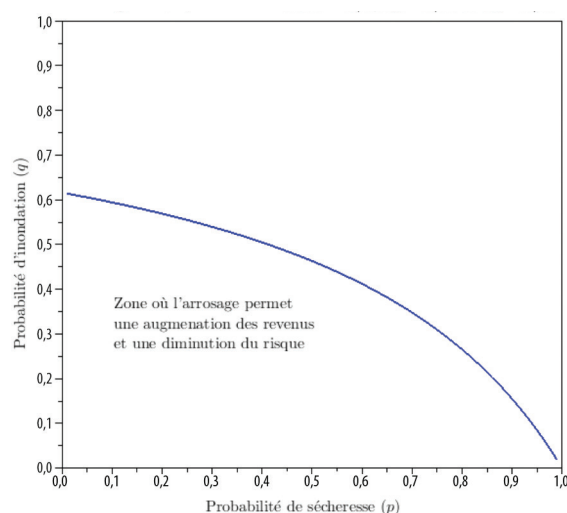
1. diminuer l'impact négatif en cas de sécheresse (sa « raison d'être »), ce qui tend à réduire le coût du risque climatique ;
2. augmenter les sommes mises en jeu (par les coûts associés à l'arrosage), ce qui tend au contraire à augmenter l'exposition au risque.

Nous montrons en annexe qu'au premier ordre, c'est-à-dire quand la surface arrosée t/T est faible, le premier effet est dominant dès que :

$$q < \left(1 - \frac{r}{R}\right) \frac{\left[(1-r/R) - (C_A/R)\right]}{\left[(1-r/R) - (1/2)(C_A/R)\right]} \left[\frac{(1-p)}{1-p(1-r/R)}\right] \quad (20)$$

En d'autres termes, quand cette condition est remplie, l'arrosage d'une petite surface t/T donne lieu à un double dividende. Non seulement le revenu net espéré augmente-t-il, mais en plus, la variance du revenu net espéré diminue (Figure 6). Dans le cas contraire, l'arrosage contribue à augmenter les revenus, mais relève d'une stratégie plus risquée de par l'engagement supplémentaire que représente l'opération d'arrosage.

Figure 6 Arrosage et « Risque - revenu » avec $r = R/3; C_A = R/10$ et $C_E = R/4$.



5. CONCLUSION

Notre étude ne présente qu'un modèle très simple, destiné à analyser l'impact de l'arrosage sur les revenus espérés des petits agriculteurs et sur les risques qu'ils encourent. Malgré sa simplicité, il permet de dégager une première recommandation : Arrosez !

Alors que, au vu des conditions climatiques, de coûteuses installations d'irrigation ne sont sans doute pas rentables en Haïti (ce n'est pas une zone aride), procéder à un arrosage manuel, même sur seulement une petite partie des surfaces cultivées, constitue sans doute une stratégie gagnante pour améliorer le revenu des ménages engagés dans une agriculture de subsistance.

Nous avons esquissé également les grandes lignes d'une étude plus approfondie des politiques d'irrigation. En particulier, nous avons expliqué comment déterminer les zones où la culture est rentable, l'impact de l'irrigation sur les rendements et la rentabilité des investissements.

Nous avons aussi montré comment dépasser la considération des « rendements moyens » (plus précisément les rendements « espérés », au sens statistique du terme) pour prendre en compte la variabilité des revenus. Ce sont d'ailleurs des considérations sur le risque qui nous font recommander avec confiance de procéder à l'arrosage. Celui-ci peut en effet non seulement augmenter les rendements, mais également atténuer

les dommages résultant des variations climatiques et, en l'occurrence, de l'absence de pluie. Quand on sait que la variabilité des revenus est un des grands facteurs de persistance de la pauvreté, toute stratégie visant à la réduire devient prioritaire.

Naturellement, vu sa simplicité, ce modèle présente de nombreuses limites. Pour notre part, nous préférons considérer qu'il présente de nombreuses possibilités d'extension. En particulier, il serait intéressant d'introduire d'autres risques que ceux liés aux variations climatiques, comme le risque d'une attaque de parasites. Il serait également souhaitable de pouvoir relier la probabilité de sécheresse et la probabilité d'inondation dans un « modèle climatique », calibré sur les données historiques de pluviométrie. Nous réservons cette avenue pour nos futurs travaux.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 DERCON, Stefan (dir.) (2004). *Insurance Against Poverty*, Oxford University Press.
- 2 FURCHE, Carlos (2013). *The Rice Value Chain in Haiti: Policy Proposal*, Oxfam America Research Background Series.
- 3 GEORGES, Josiane (2004). « Trade and the Disappearance of Haitian Rice », *TED Case Studies*, n° 725.
- 4 MARNDR (2010). *Plan national d'investissement agricole*, Port-au-Prince, Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural.
- 5 VAN VLIET, Geert, PRESSOIR, Gaël, MARZIN, Jacques et GIORDANO Thierry (dir.) (2016). *Une étude exhaustive et stratégique du secteur agricole/rural haïtien et des investissements publics requis pour son développement*, Montpellier, CIRAD, 624 p.

Jean-Baptiste Anténord, M.Sc. est doctorant en sciences économiques à l'Université Quisqueya, en cotutelle internationale de thèse avec l'Université de Lille 1 (France). Il est également titulaire d'une maîtrise (M. Sc.) en gestion et politiques publiques (Universidad de Chile, 1996) et d'un diplôme d'études supérieures en économie quantitative appliquée (CTPEA, 1991). Il enseigne actuellement l'économétrie, la théorie et le calcul des probabilités, la statistique mathématique, l'économétrie de base et l'économétrie des séries temporelles (CTPEA, École Normale Supérieure, Université Quisqueya). jbantenord@hotmail.com

Etienne Billette de Villemeur, Ph.D. est professeur des universités à l'Université de Lille, France, et titulaire de la chaire d'économie Toussaint Louverture. Ancien élève de l'École Polytechnique, il est également diplômé de l'École nationale de la statistique et de l'administration économique (ENSAE) et titulaire d'un doctorat en économie du European University Institute, à Florence. Il a été pendant plus de 10 ans membre de l'École d'économie de Toulouse (TSE), comme maître de conférences, et de son prestigieux centre de recherche, l'IDEI. Au cours de sa carrière, il a mené plusieurs études pour le gouvernement français et a travaillé comme consultant auprès d'entreprises publiques ou privées, en France comme à l'étranger. Auteur de plusieurs publications dans des revues internationales, son activité de recherche l'a amené à donner des conférences dans le monde entier. Au cours de ces dernières années, il s'est beaucoup investi en Haïti pour le développement d'un enseignement de qualité en économie. chaire.eco.TL@gmail.com

Justin Leroux, Ph.D. est professeur agrégé à l'Institut d'économie appliquée du HEC Montréal. Il détient un Ph. D. de la Rice University, un master en mathématiques appliquées de l'Université de la Sorbonne, et un diplôme d'ingénieur de l'École nationale supérieure de techniques avancées (ENSTA). Ses intérêts de recherche concernent les questions de partage de coûts, de justice distributive, et leurs applications à l'élaboration de règles de gestion. Il est régulièrement appelé à conseiller des firmes privées et des organismes publics sur la tarification de leurs services. Il est le récipiendaire de plusieurs allocations de recherche provenant de différents organismes, comme le SSHRC (Canada), le FQRSC (Québec), le FNS (Suisse) et l'ANR (France). justin.leroux@hec.ca

ANNEXE A

Effet au premier ordre de l'arrosage sur la variabilité du revenu net

L'impact de l'arrosage sur le « risque-revenu » est donné par la différence entre les expressions 17 et 18. Il prend donc la forme suivante :

$$\begin{aligned} V[\pi_A(T,t)] - V[\pi_{A=\emptyset}(T,t)] &= p(1-q/2) \left[(1-p(1-q/2)) \right] (C_A t)^2 \\ &\quad - p(1-q) \left[(1-p(1-q)) \right] (R-r)^2 \left[T^2 - (T-t)^2 \right] \\ &\quad + 2pq(1-q)(RT) \left[(R-r)t - (C_A t/2) \right] \\ &\quad + 2p(1-q) \left[(1-p(1-q/2)) \right] (R-r)(T-t)(C_A t) \end{aligned}$$

Il est évidemment proportionnel à la surface arrosée, t . Il est donc intéressant de considérer la grandeur

$$\begin{aligned} \frac{1}{t/T} \left\{ V[\pi_A(T,t)] - V[\pi_{A=\emptyset}(T,t)] / (RT)^2 \right\} &= p(1-q/2) \left[(1-p(1-q/2)) \right] (C_A/R)^2 (t/T) \\ &\quad - p(1-q) \left[(1-p(1-q)) \right] (1-r/R)^2 (2-t/T) \\ &\quad + 2pq(1-q) \left[(1-r/R) - (1/2)(C_A/R) \right] \\ &\quad + 2p(1-q) \left[(1-p(1-q/2)) \right] (1-r/R)(1-t/T)(C_A/R) \end{aligned}$$

qui fournit l'impact de l'arrosage sur le « risque-revenu normalisé¹⁵ », par unité de surface arrosée.

Cette expression est linéaire en t . Sa partie constante, e_R^0 , qui détermine l'impact de l'arrosage quand la surface arrosée est relativement faible¹⁶, est telle que :

$$\begin{aligned} (e_R^0 / (2p(1-q))) &= -[1-p(1-q)](1-r/R)^2 + q \left[(1-r/R) - (1/2)(C_A/R) \right] \\ &\quad + [1-p(1-q/2)] \left[(1-r/R)(C_A/R) \right] \\ &= -(1-p)(1-r/R) \left[(1-r/R) - (C_A/R) \right] \\ &\quad + q \left[-p(1-r/R)^2 + p(1-r/R)(1/2)(C_A/R) + (1-r/R) - (1/2)(C_A/R) \right] \\ &= -(1-p)(1-r/R) \left[(1-r/R) - (C_A/R) \right] \\ &\quad + q \left[1-p(1-r/R) \right] \left[(1-r/R) - (1/2)(C_A/R) \right] \end{aligned}$$

L'arrosage entraîne une *diminution* de la variabilité du revenu net dès que $e_R^0 < 0$, c'est-à-dire que :

$$q < \left\{ (1-p)(1-r/R) \left[(1-r/R) - (C_A/R) \right] \right\} / \left\{ \left[(1-p(1-r/R)) \right] \left[(1-r/R) - (1/2)(C_A/R) \right] \right\}$$

Ceci se récrit :

$$q < (1-r/R) \left[\left((1-r/R) - (C_A/R) \right) / \left((1-r/R) - (1/2)(C_A/R) \right) \right] \left[(1-p) / (1-p(1-r/R)) \right] \quad (21)$$

15. On parlera de revenu net normalisé quand celui-ci est mesuré à l'aune de la recette maximale RT de la surface totale plantée.

16. Il s'agit de l'effet du premier ordre, qui domine quand $t=T \ll 1$.