

ADAPTATION DE STICS AU QUINOA ET À SES CONDITIONS DE CULTURE SUR L'ALTIPLANO BOLIVIEN

S. Lebonvallet^{1*}, N. Brisson¹, JP. Raffailac²

¹ INRA, AgroClim, Domaine St Paul, Site AgroParc, 84914 Avignon Cedex, France

² IRD, CLIFA / INRA, Agroclim

*Auteur correspondant : sophie.lebonvallet@avignon.inra.fr

Introduction

Le quinoa est une espèce native d'Amérique du Sud, cultivé essentiellement sur les hauts plateaux andins. Jusque là culture locale, il a émergé dans le commerce international depuis une vingtaine d'années, grâce à une valeur nutritive élevée d'une part, une production labellisée en agriculture biologique d'autre part. La Bolivie en est aujourd'hui le premier exportateur mondial (Laguna, 2002).

Les risques climatiques pour l'agriculture sur l'Altiplano bolivien sont très élevés : précipitations faibles et très variables, amplitudes thermiques fortes, gel fréquent en particulier pendant les dernières phases de développement de la culture (jusqu'à plus de 250 jours de gel par an),... ; de plus, les sols sont pour la plupart sableux, peu fertiles, certains présentant une salinité importante. Ces conditions difficiles maintiennent les rendements du quinoa relativement bas, de 0,6 à 1 t/ha en moyenne.

Le quinoa (parfois quasi unique culture possible dans certaines régions de l'Altiplano) est néanmoins une plante relativement adaptée à cet environnement, avec différents mécanismes de résistance à la sécheresse, au gel et à la salinité. Les pratiques culturales employées participent également à cette adaptation, avec par exemple des temps de jachère très longs, des labours précoces pour mieux gérer le stock d'eau du sol (Vacher *et al.*, 1994), ou encore des semis profonds en poquet. L'implantation de la culture, en tout début de saison des pluies, reste toujours la phase déterminante, dans une fenêtre temporelle assez limitée : elle ne doit pas être trop tardive afin d'éviter que la plante soit soumise à des gelées en fin de cycle (Bois *et al.*, 2005), mais ne peut pas être trop précoce sinon la jeune plantule sera soumise à une sécheresse trop importante ou à des gelées tardives.

Toutefois, l'ouverture au marché mondial a entraîné une forte expansion de la culture de quinoa, avec une accentuation de la pression sur les (faibles) ressources naturelles qui remet en cause les bases de la durabilité écologique du système ; la mécanisation et la modernisation des systèmes de culture s'accompagnent en outre d'une homogénéisation des pratiques et d'une disparition des techniques traditionnelles. Ces bouleversements se traduisent ainsi déjà depuis quelques années par une diminution, progressive mais notable, des rendements de quinoa.

Ce travail vise donc à adapter le modèle STICS au quinoa sur l'Altiplano bolivien, et à utiliser le modèle pour comprendre les pratiques culturales, les enjeux de l'implantation et les raisons des baisses observées de rendement.

Adaptation de STICS au quinoa

Des formalismes ont dû être ajoutés ou modifiés dans STICS, afin de représenter au mieux les conditions de l'Altiplano bolivien et les techniques de culture du quinoa. Ils concernent en particulier la prise en compte de l'altitude dans les données climatiques, l'effet de la sécheresse, du froid et de la battance sur la germination de la graine et l'implantation de la culture, l'intégration de l'effet du travail du sol, ou encore le mode de semis traditionnel en poquet (Figure 1) avec une modification des paramètres d'élongation.

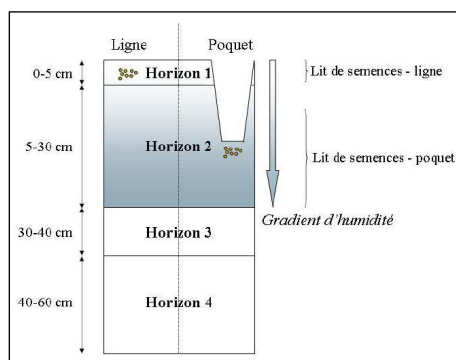


Figure 1 : Caractéristiques du semis en poquet

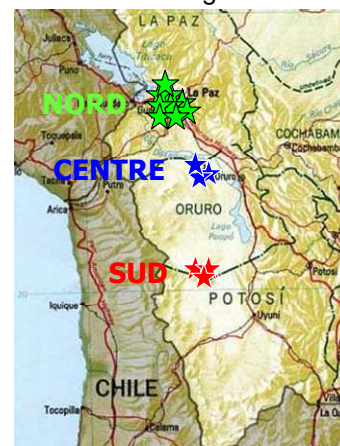


Figure 2 : Localisation des parcelles expérimentales

Le modèle a été paramétré pour le quinoa grâce aux données issues du réseau de parcelles expérimentales mis en place par l'IRD entre 2001 et 2006 du nord au sud de l'Altiplano (Raffailac *et al.*, 2007) (Figure 2).

Au final, STICS s'est avéré capable de simuler le cycle de culture du quinoa avec une efficacité de 60 à 80%, ce qui est relativement satisfaisant (Figure 3).

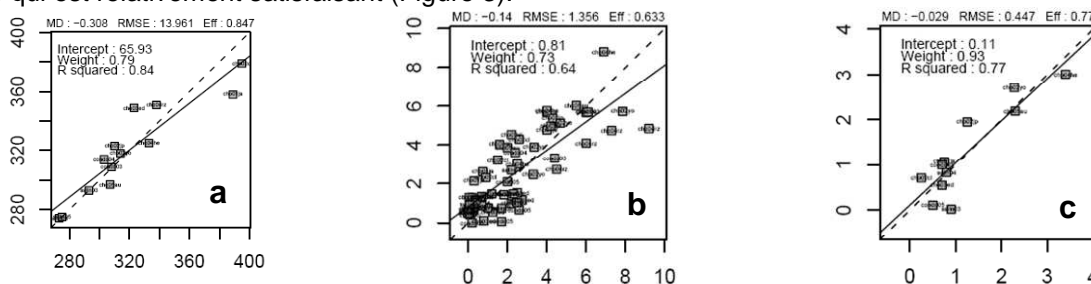


Figure 3 : Qualité de simulation (a- date de levée ; b-biomasse sèche ; c-rendement)

Utilisation du modèle pour comprendre les pratiques culturales

Dans un premier temps, le modèle a été utilisé pour étudier uniquement l'effet des pratiques culturales sur l'implantation du quinoa. Ces pratiques diffèrent du nord au sud de l'Altiplano, en termes de date, profondeur et type de semis, de date de labour, ainsi que de sensibilité du sol à la croûte de battance. Tous ces effets ont été croisés, pour les différents sites, années et types de sol, aboutissant à la simulation de plus de 11000 cas. Ces résultats illustrent tout d'abord la variabilité des profondeurs et dates de semis optimales, qui explique les difficultés rencontrées par les agriculteurs et les rendements moyens bas. Ils permettent également de mieux comprendre le rôle du semis traditionnel en poquet (humidité du sol plus élevée, durée de germination et de levée réduite), ils soulignent l'intérêt du semis manuel hétérogène sur plusieurs profondeurs (moyen de lutte contre la sécheresse et le gel grâce aux vagues de levée successives) et expliquent l'intérêt du labour précoce, au cœur de la saison des pluies précédente plus de six mois avant le semis, dans les régions les plus sèches (stock d'eau dans le sol plus grand au moment du semis).

Dans un second temps, le modèle a été utilisé pour étudier l'impact des pratiques culturales sur le cycle cultural dans son ensemble, et donc sur le rendement. Les résultats obtenus, en particulier sur l'effet de la date de semis, illustrent parfaitement la difficulté de la gestion des risques climatiques sur l'Altiplano, qui est un véritable compromis entre un rendement moyen sûr, et un rendement plus élevé mais incertain. De plus, paradoxalement, cela montre comment un semis hétérogène sur plusieurs profondeurs atténue la variabilité du rendement et aboutit à des rendements bien plus homogènes qu'en cas de semis à une seule profondeur.

Enfin, dans un troisième temps, différentes rotations ont été étudiées pour voir l'effet de la durée de la jachère, traditionnellement de 10 à 50 ans (régénération de la fertilité des sols grâce à l'enfouissement de la végétation naturelle, Hervé *et al.*, 2003), parfois réduite désormais à seulement deux années. Les simulations effectuées permettent de constater que cette diminution de la durée de la jachère entraîne une diminution de la réserve en eau et en azote du sol, ce qui se traduit effectivement par des rendements plus faibles, en particulier dans la région Sud de l'Altiplano, où les conditions sont beaucoup plus difficiles.

Conclusion

Au final, l'utilisation du modèle, orientée par ces questions, a permis de mieux comprendre le fonctionnement du système, les enjeux de l'implantation et les problèmes de durabilité dans cet environnement contraignant et soumis à une forte variabilité. Ce travail présente quelques limites, en termes de processus simulés trop simplement par rapport à la réalité, en raison du manque de données liées aux conditions expérimentales difficiles, ou de processus non pris en compte ; mais dans un contexte où le quinoa commence à être de plus en plus étudié, il ouvre néanmoins la voie à de nouvelles recherches plus poussées, à la fois pour améliorer l'outil créé ici, mais aussi pour utiliser cet outil dans d'autres travaux, de durabilité, d'impacts du changement climatique, de spatialisation, d'aide à la décision,...

Références bibliographiques

- Bois J.F., Winkel T., Lhomme J.P., Raffaillac J.P. et Rocheteau A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*. 25:299-308.
- Herve D., Paz Betancourt B., Migueis J. et Treuil J.P. (2003). Introduction de la modélisation dans une recherche interdisciplinaire : état et gestion des jachères dans les Andes. *Nature Sciences Societes*. 11:243-254.
- Laguna P. (2002). Competitividad, externalidades e internalidades: un reto para las organizaciones economicas campesinas. In : *Debate Agrario, Analisis y Alternativas*. Lima, Pérou. 34:95-169.
- Raffaillac J.P., Barrientos E., Mamani F. et Rodríguez J.P. (2007). Una red agronómica quinua en el altiplano boliviano. In : *Congreso Internacional de la Quinoa*. CIHDE & Univ. A Prat ed., 23-26 octobre de 2007, Iquique, Chili. Ponencia n° 25.
- Vacher J.J., Erugioni I. et Fellman T. (1994). Evolucion del balance hidrico invernal en diferentes parcelas de descanso en el altiplano boliviano. In : *Dinamicas del descanso de la tierra en los Andes*. Eds. Herve, Génin & Rivière, IBTA-ORSTOM, La Paz, pp. 127-139.