

Étude comparative des performances en production de quelques générations de *Solanum tuberosum* consommées au Maroc

Karima MIKOU¹, Jamal EL YAMANI¹ & Abderrahmane JARRAR OULIDI²

(Reçu le 25/07/2003 ; Accepté le 13/09/2003)

دراسة مقارنة للجودة في الإنتاج لبعض أجيال البطاطس المستهلكة في المغرب

في هذا العمل استعملت طرق احصائية متعددة لمقارنة جودة عدة أجيال من درنة البطاطس المنحدرة من صنف ديزيري الفرنسية. الإنبات مرتبط بالضوء و الحرارة ورطوبة الجو وكذلك بترطيب الدرنة. يوجد تطابق إحصائي ما بين حجم ووزن الدرنة والإنبات هذا الأخير يتقلص ابتداءً من الجيل الثالث وذلك راجع على الأرجح إلى كبر الخلايا المكونة للدرنات وفقر هذه الخلايا إلى الوحدات الطاقية. لا يوجد أي فرق بين الأجيال الثلاثة الأولى من حيث الحجم الوزن وحالة الخلايا المكونة للدرنات وحمولتها من حبيبات النشأة. ابتداءً من الجيل الرابع تقلص الإنتاج ولوحظت عدة اختلافات في الدرنة. جميع الأجيال تتأثر بالجفاف ولكن الأجيال المتقدمة في السن هي الأكثر تأثراً بالجفاف والطفيليات.

الكلمات المفتاحية : الجفاف - الإنتاج - البطاطس

Étude comparative des performances en production de quelques générations de *Solanum tuberosum* consommées au Maroc

La qualité des tubercules de différentes générations de pomme de terre issues de la variété française Désirée est étudiée par différentes méthodes statistiques. Quelque soit la génération, la germination de tubercules est contrôlée par la température, l'humidité relative et l'hydratation des tubercules. Une corrélation positive existe entre le calibre, le poids des tubercules et la formation des germes; cette dernière est réduite à partir de la 3^{ème} génération probablement à cause d'une différenciation excessive des cellules composant les tubercules et de leur manque en réserves énergétiques. Aucune différence significative n'est décelée entre les trois premières générations qui se sont montrées homogènes pour les calibres, les poids, la différenciation des cellules et leur teneur en grains d'amidon. Au-delà de la 3^{ème} génération des différences notables entre les tubercules sont observées et la production est réduite. Toutes les générations sont sensibles au stress hydrique, mais ce sont les générations âgées qui sont les plus vulnérables à un manque d'eau et à une attaque par les micro-organismes.

Mots clés : Germination - Production - *Solanum tuberosum* - Stress hydrique - Conditions climatiques - Maroc

A comparative study of in production performances of some *Solanum tuberosum* generations consumed in Morocco

The quality of tubers of different generations of potato of the French variety Desiree is studied by various statistical methods. Regard less of the generation, the formation is controlled by temperature, relative humidity and tubers' hydration. A positive correlation exists between the caliber, the weight of tubers and the production of germs; the latter is reduced starting from the 3rd generation because of an excessive cell differentiation and a lack in energy reserve. No significant difference is divulged between 3 first generations that have appeared homogeneous for calibers, weights, the differentiation of cells and their content in grains of starch. But, after the 3rd generation significant differences are observed and the production is reduced. All the generations are sensitive to hydric stress, the old generations are the most vulnerable to a lack in water and an attack by the microorganisms.

Key words: Germination - Hydric stress - Production - *Solanum tuberosum* - Climatic conditions- Morocco

¹ Laboratoire de Biotechnologie végétale. Faculté des sciences et techniques de Fès Saiss. B.P. 2202, route d'immouzer. Fès, Maroc.

² Laboratoire de Probabilités et de Statistique, Faculté des sciences Dhar-Mahraz B.P. 1796, Fès Atlas. Maroc

^o Auteure correspondante E-mail kmikou1@voila.fr

INTRODUCTION

La pomme de terre est un produit connu du grand public pour son intérêt agronomique indéniable. Elle constitue la base alimentaire d'une grande partie de la population grâce à sa teneur élevée en glucides (amidon) mais aussi à ses protides, éléments minéraux (Gravouelle, 1996) et vitamines (Grisson, 1981; Keijbeits & Ebbenhorst-Seller, 1990).

Mais, mis à part sa valeur alimentaire, la pomme de terre a un intérêt diététique voire médicinal (Bezanger-Beaukesne *et al.*, 1990).

C'est également une plante modèle pour l'application de la culture *in vitro* et de toutes les techniques qui en découlent notamment celles des manipulations du génie génétique (Garcia-Maroto *et al.*, 1993; Jackson *et al.*, 1993 & Wastie *et al.*, 1993).

Son utilisation dans de nombreuses branches de l'industrie est connue de longue date (Montigny, 1983; Poupard-Caron & Rames, 1996).

Dans la pratique courante, la production de la pomme de terre se fait par plantation de tubercules qui peuvent bourgeonner et engendrer de nouvelles plantes. Or, ce pouvoir de germer n'est pas infini, il s'estompe au bout de quelques générations.

De plus, pour le choix du tubercule de départ, qui conditionne la production ultérieure, on est confronté à l'intervention de plusieurs caractères (génération de départ, taille et poids du tubercule et conditions de germination).

Pour ces différentes raisons, dans ce travail, on s'est fixé comme objectifs:

- d'étudier les conditions climatiques ayant un impact sur la formation des germes par les tubercules issus de différentes générations du cultivar Désirée,
- de comparer, suivant des méthodes quantitatives, les performances en production des différentes générations,
- de pouvoir préciser le comportement ultérieur d'un tubercule planté.

L'espèce étudiée, *Solanum tuberosum*, appartient à la famille des Solanacées. Le cultivar Désirée utilisé est caractérisé par un tubercule oblong, assez régulier, à peau rouge et à chair jaune.

C'est une variété à évolution physiologique lente ayant une bonne aptitude à la conservation (Ellissèche, 1996). Elle est très employée dans plusieurs pays méditerranéens dont le Maroc. On appellera la génération R_0 le tubercule originel, la plante qui en était issue et ses tubercules fils, la génération suivante est la génération R_1 et ainsi de suite.

MATÉRIEL & MÉTHODES

1. Matériel végétal

L'étude est faite sur des tubercules des générations R_0 , R_1 , R_2 , R_3 et R_4 produits au Maroc, par plantation au champ, à partir du cultivar Désirée importé de France. Ces tubercules serviront aux analyses statistiques pour la comparaison de leur qualité, à l'étude de la germination et de la sensibilité des différentes générations au stress hydrique.

2. Culture

La plantation des différentes générations de pomme de terre est faite, en février 2001 dans la région de Fès, sur un sol léger, sablonneux et bien ameubli auparavant. Une fumure de fond est ajoutée avant la plantation et le sol est arrosé convenablement.

La plantation des tubercules avec germes vers le haut se fait sur un sol bien ressuyé, au fond d'un sillon de 10 cm de profondeur.

Les sillons sont distants de 60 cm et les tubercules sont espacés de 40 cm. Les tubercules sont recouverts de terre fine.

Un engrais (500 kg/ha) composé d'azote, de potassium et de phosphore est ajouté. Les plants, à l'exception du lot destiné à étudier la sensibilité des différentes générations au stress hydrique, sont arrosés, par la base, fréquemment mais légèrement jusqu'à la fin de végétation.

Le système d'irrigation fait usage d'eau sous pression par emploi de tuyaux d'arrosage.

Le stress hydrique est introduit en privant les plants d'eau par des arrosages moins fréquents. Il est mesuré par détermination de l'humidité du sol définie selon la méthode gravimétrique qui consiste à peser des échantillons de sol avant et après dessiccation à 105°C.

Les plants sont considérés comme stressés lorsque la teneur en eau de leur sol est réduite de 50 % par rapport à celle du sol à sa capacité au champ.

Trois mois après la plantation et lorsque les feuilles sont complètement fanées, les tubercules sont récoltés et conservés dans un local aéré, sec et à l'abri de la lumière. Leur qualité est aussitôt analysée et comparée à l'aide de plusieurs tests statistiques.

3. Analyse statistique

L'homogénéité des générations est recherchée par le test de χ^2 (Jafard, 1990) comparant les distributions des poids et des calibres (= diamètre) des tubercules de différentes générations. Les tubercules, au nombre de 30 à chaque fois, sont prélevés d'une façon aléatoire.

Les moyennes sont comparées suivant l'ANOVA à un seul critère.

Les résultats trouvés sont confirmés par le paramètre de dispersion $\hat{\sigma}$ et la dépendance des caractères est recherchée après ajustement linéaire (Christensen, 1996).

La normalité des générations est analysée à l'aide du logiciel S- plus (Everitt, 1995).

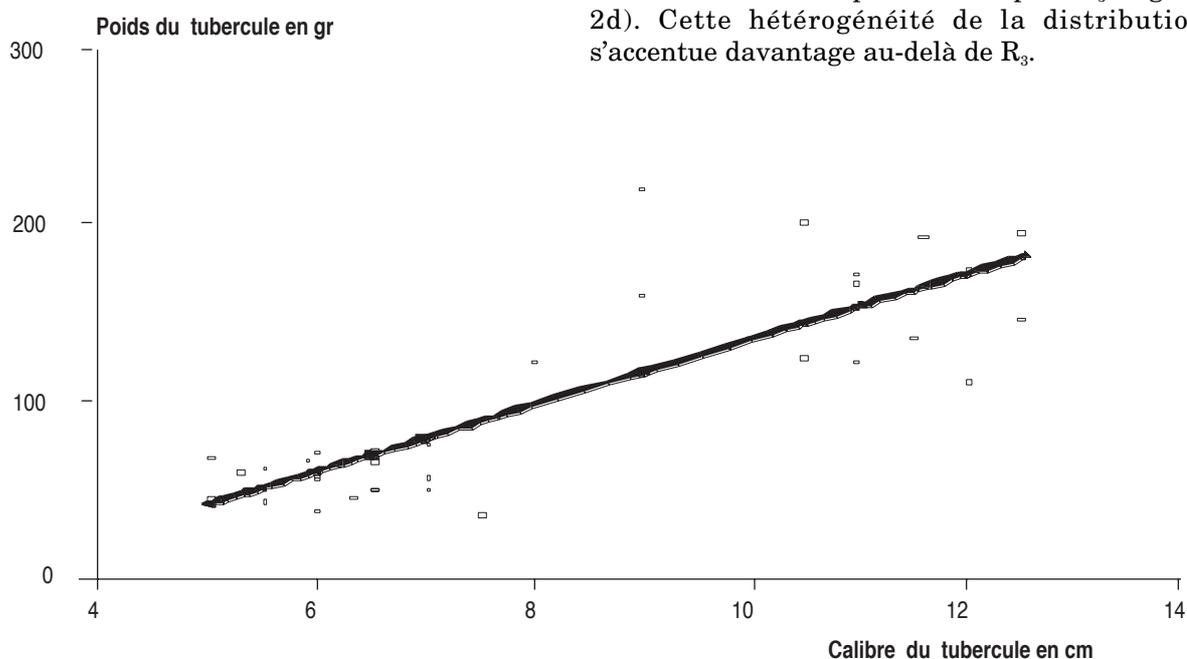


Figure 1. Corrélation entre le poids du tubercule de pomme de terre en gramme et son calibre (= diamètre) en centimètre

Corrélation positive, $r = 0,83$. Les résultats donnés sont de la génération R₀.

RÉSULTATS

1. Relation entre le poids et le diamètre des tubercules

La figure 1 montre une corrélation positive entre le calibre (= diamètre) et le poids des tubercules de la génération R₀.

Le coefficient de corrélation, $r = 0,83$ proche de 1, montre une bonne corrélation entre ces deux caractères.

Quelque soit la génération testée, cette forte corrélation positive est retrouvée.

Ces 2 caractères pourront, donc, être confondus dans la suite de notre étude.

2. Homogénéité des générations

Le test d'homogénéité, appliqué aux différentes générations, pour le calibre, montre que la distribution des calibres au sein de la population est normale avec un risque de 5% pour R₀, R₁ et R₂.

Les différentes valeurs standardisées sont situées à l'intérieur de l'enveloppe de confiance (Figures 2a, 2b, 2c).

La distribution n'est pas normale pour R₃ (Figure 2d). Cette hétérogénéité de la distribution s'accroît davantage au-delà de R₃.

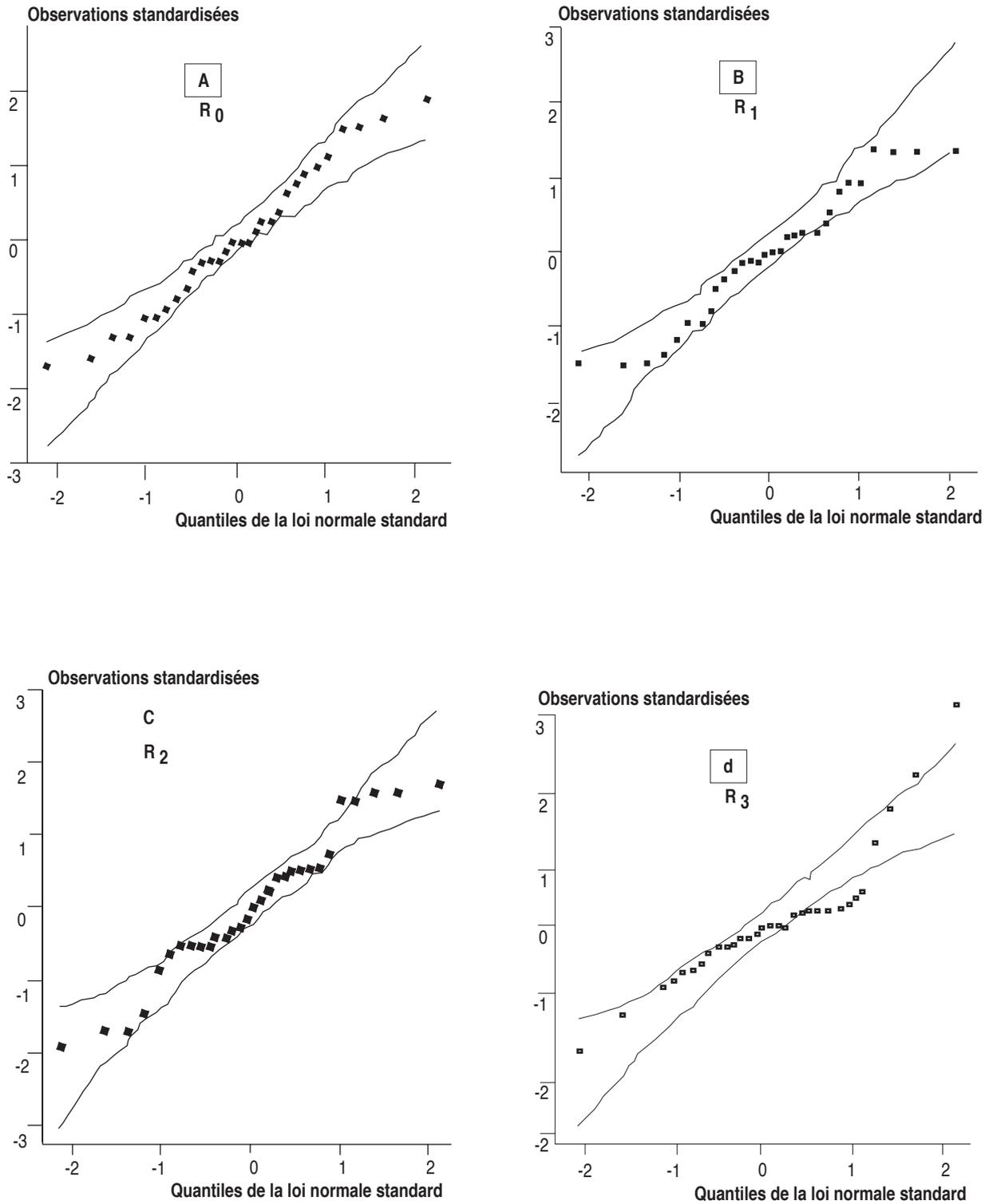


Figure 2. Enveloppe de confiance, à un risque de 5%, pour un échantillon issu d'une loi normale standard

A, B et C: normalité des générations R₀, R₁ et R₂ pour le calibre; D: distribution non normale pour R₃.

Tableau 1. Analyse de la variance à un critère (ANOVA) pour le calibre des différentes générations

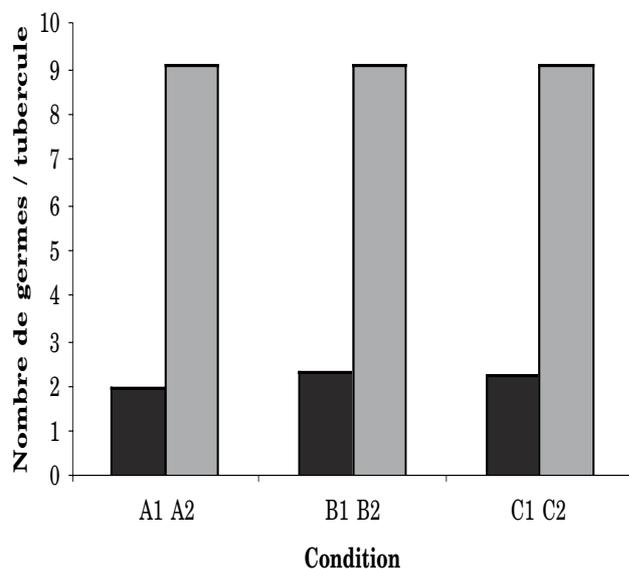
Génération	F calculé	F 0.05	
R ₀ , R ₁	13.9	253	NS
R ₀ , R ₁ , R ₂	2.059	19.5	NS
R ₀ , R ₁ , R ₂ , R ₃	50.66	8.55	HS

À un risque de 5 %, les calibres des 3 premières générations sont identiques (F calculé < F 0.05), ceux de la quatrième génération sont significativement différents (F calculé > F 0.05). HS, différence hautement significative ; NS, différence non significative

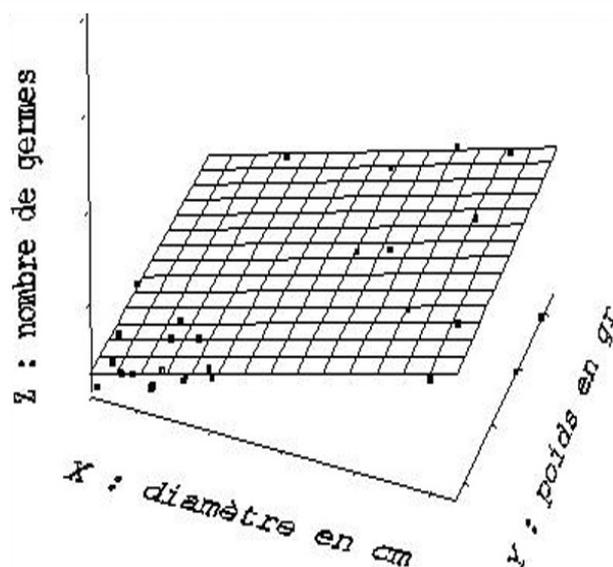
Tableau 2. Test d'homogénéité pour le calibre des différentes générations

Génération	χ^2 calculé	χ^2 0.05	
R ₀ , R ₁	3.38	5.99	NS
R ₀ , R ₁ , R ₂	4.36	9.49	NS
R ₀ , R ₁ , R ₂ , R ₃	75.82	16.92	HS

À un risque de 5 %, les calibres des 3 premières générations sont identiques (χ^2 calculé < χ^2 0.05), ceux de la quatrième génération sont significativement différents (χ^2 calculé > χ^2 0.05). HS, différence hautement significative ; NS, différence non significative

**Figure 3. Effet de la température (A), de l'humidité relative (B) et de l'hydratation du tubercule (C) sur la germination des tubercules de pomme de terre**

A1: 10°C, A2: 20°C; B1: 20%, B2: 80%; C1: tubercule lavé, C2: tubercule non lavé. Etude faite à la lumière pour la génération R₀. Pour chaque traitement seules sont représentées les valeurs maximales et minimales pour la clarté de la figure

**Figure 4. Plan de régression du nombre de germes / tubercule (Z) en fonction du diamètre (X) et du poids (Y) des tubercules de pomme de terre**

Corrélation positive, le coefficient de corrélation $r = 0,43$

Ce résultat a été confirmé lors de l'analyse de la variance à un critère, ANOVA, (Tableau 1) ou par le test de χ^2 (Tableau 2).

3. Germination

Lorsqu'un tubercule est placé dans des conditions d'environnement favorables, il commence à germer.

Les germes qui apparaissent au niveau du sommet de la couronne du tubercule sont plus nombreux et précoces lorsque les tubercules sont exposés à la lumière que lorsqu'ils sont gardés à l'obscurité.

La formation des germes par les tubercules est également favorisée par une température et une humidité relativement élevée, tandis qu'une forte hydratation des tubercules la réduit (Figure 3).

Cependant, lorsqu'un tubercule est placé dans les conditions d'environnement favorables, le nombre de germes formés est d'autant plus élevé que le calibre et le poids des tubercules sont importants (Figure 4).

De plus, pour un calibre donné, aucune différence significative n'est décelée entre le nombre de germes formés par les trois premières générations, le phénomène chute brutalement à la 4^{ème} génération pour s'estomper à la 5^{ème} génération

(Figure 5). Cette perte d'aptitude à former des germes nous a amené à effectuer des observations microscopiques des cellules composant les tubercules dans le but de trouver une éventuelle explication au niveau cellulaire.

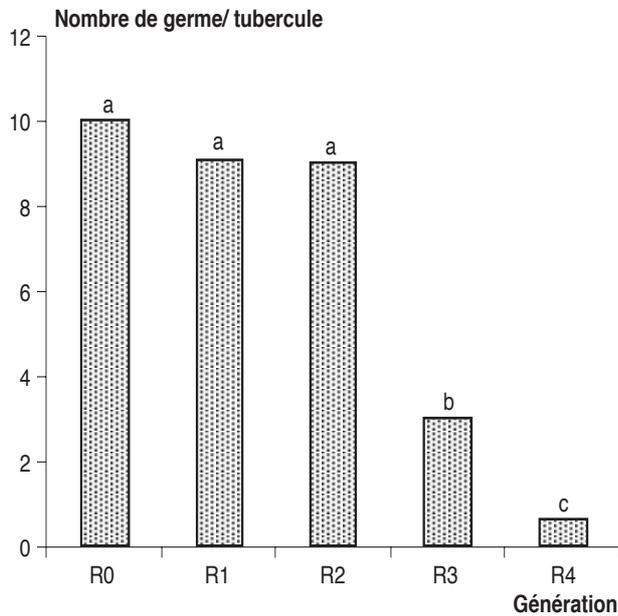


Figure 5. Formation de germes par les tubercules des différentes générations de pomme de terre

Les barres portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes

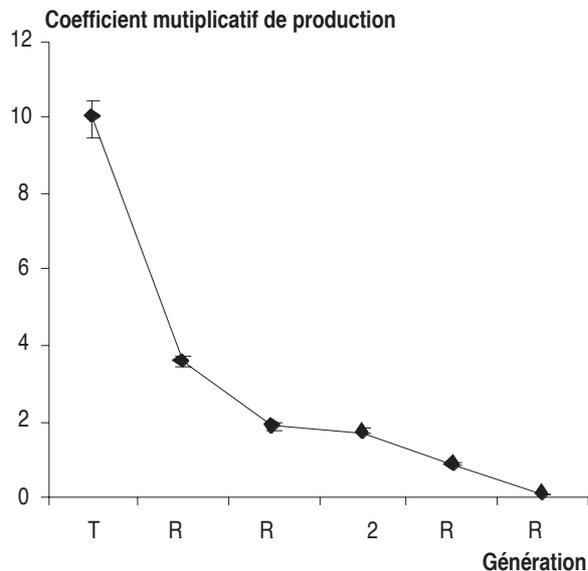


Figure 6. Effet du stress hydrique sur la production des tubercules par différentes générations de pomme de terre

T, témoin ; R₀, R₁, R₂, R₃ et R₄, 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, et 5^{ème} génération

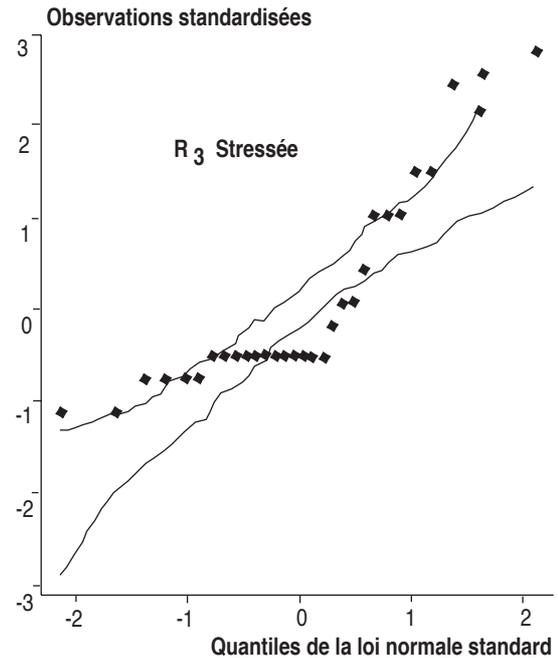


Figure 7. Effet du stress hydrique sur la normalité de la génération

Hétérogénéité importante de R₁ issue de R₀ stressée (comparer avec Figure 2b). Le paramètre de dispersion $\hat{\sigma}^2 = 0.94$, valeur très proche de 1 indiquant une forte dispersion

4. Examen microscopique

L'examen au microscope optique montre que les parenchymes des tubercules sont très différents par la taille de leurs cellules ainsi que par la quantité des grains d'amidon qu'elles renferment.

Les cellules des parenchymes composant les tubercules des 1^{ères} générations (R₀, R₁, R₂) sont petites et contiennent beaucoup de grains d'amidon par rapport aux cellules des tubercules des générations âgées (R₃ et R₄) qui sont de grande taille et ne renferment que très peu de grains d'amidon.

5. Effet du stress hydrique sur la production

Le stress hydrique provoque une chute brutale de la production (Figure 6) dont le coefficient multiplicatif passe de 10 pour le témoin non stressé à 3,2 pour la génération R₀ stressé, soit une réduction de plus de 680% au niveau de la récolte.

Cette sensibilité à la sécheresse est d'autant plus marquée qu'on avance dans les générations. Pour

la 5^{ème} génération (R₄) le rendement est presque nul à cause de nombreuses pourritures obtenues.

Le manque d'eau provoque également une hétérogénéité de la distribution des calibres et des poids au sein de la récolte (Figure 7).

DISCUSSION

La formation de germes (ou bourgeons) par les tubercules de pomme de terre dépend de facteurs de l'environnement, notamment la température et l'hygrométrie, mais aussi de l'état initial du tubercule. Ce sont les gros tubercules qui forment le plus de germes.

Cependant, à partir de la 3^{ème} génération, le phénomène est ralenti pour s'estomper à la 5^{ème} génération. Au niveau de ces dernières générations, la production est affectée aussi bien en quantité qu'en qualité alors qu'on s'est situé dans des conditions de culture identiques et non limitantes.

Le germe étant la structure qui renferme à l'état potentiel tous les organes qui vont constituer le système végétatif de la plante (Grisson 1991). Sa formation, à partir de cellules différenciées, est un phénomène d'organogenèse qui ne peut avoir lieu qu'à partir d'un groupe de cellules qui se dédifférencient jusqu'à un état ultime comparable à l'état méristématique primaire. Or, ne peuvent se dédifférencier que les cellules qui ne sont pas très différenciées dès le départ.

L'observation microscopique a montré que ce sont les tubercules des premières générations qui présentent les cellules les moins différenciées et ce sont ces cellules là qui se sont montrées capables de former des germes.

On sait déjà (Mikou, 1991) que tout facteur qui accentue la différenciation cellulaire (hyperhydricité du milieu par exemple) réduit le nombre de nodules méristématiques néoformés par les cellules qui deviennent inertes vis-à-vis de la dédifférenciation. Dans ce sens, on peut évoquer le nombre réduit de germes observés sur des tubercules lavés avant leur germination. Leur hydratation excessive a dû provoquer une différenciation cellulaire poussée empêchant ainsi leur retour à l'état méristématique.

D'ailleurs le rôle néfaste du lavage des tubercules qui peut induire, outre la diminution de la

production, des pourritures bactériennes a été déjà signalé par Van Kempen *et al.* (1996).

De plus, les mécanismes de l'organogenèse s'avèrent très mobilisateurs d'énergie (Badila *et al.*, 1991; Mikou & Badila, 1992). Dans ce cas, la disponibilité plus grande d'assimilats énergétiques au sein des tubercules expliquerait le nombre plus grand de germes par ces tubercules.

Cette hypothèse trouve d'ailleurs appui sur les résultats microscopiques quant à la teneur des cellules en grains d'amidon en rapport avec leur faculté de germer.

On peut donc lier la perte de l'aptitude à germer à un manque des tubercules en réserves et à une différenciation excessive des cellules, sans pour autant qu'il nous soit possible de donner une explication à cette différenciation cellulaire.

On peut également concevoir que cette perte de germination est inscrite dans le génome des tubercules d'origine.

Toutefois, la perte de la production, due à une diminution de la faculté de germer, peut être contournée.

La formation de germes étant maîtrisée, on a envisagé, dans le but d'améliorer le rendement, la multiplication *in vitro* des germes de pomme de terre (Mikou & El Yamani, 2002) pour la production rapide d'individus conformes génétiquement à l'organisme de départ et parfaitement sains.

On a, également, pu démontrer qu'on peut produire 3 générations sans aucune dégradation de la qualité des tubercules récoltés.

L'apport de la statistique était d'une grande importance et l'emploi de plusieurs tests nous a semblé judicieux pour déterminer avec le plus grand soin les performances des différents tubercules.

Mis à part la sensibilité à la sécheresse, tous les paramètres testés ne montraient pas de différence significative entre les 3 premières générations.

La pomme de terre est particulièrement sensible au déficit hydrique et aux irrégularités d'alimentation en eau (Van Loon & Bouma, 1978; Ellissèche & Dantec, 1993). Il n'est donc pas

étonnant de voir une réduction importante de la production à partir d'un déficit hydrique de 50 %.

Notre étude a permis de préciser que la sensibilité à la sécheresse est très importante et qu'elle est d'autant plus importante qu'on avance dans les générations.

L'effet néfaste de la sécheresse s'est manifesté, également, au niveau de la répartition des calibres et des poids au sein de la récolte.

Une hétérogénéité très importante est observée dès la première génération.

Or, l'homogénéité des récoltes est un critère très apprécié par les producteurs.

CONCLUSION

On peut dire que les mécanismes qui gouvernent la croissance et le développement de la pomme de terre sont complexes et soumis à l'influence de plusieurs facteurs.

Quelques points d'importance pratique peuvent être retenus:

- la relation entre faculté de germer et production,
- la possibilité de produire 3 générations sans aucune dégradation de la qualité du tubercule à condition de se placer dans les conditions de rendement potentiel des cultures,
- les risques importants qu'il y a à planter des tubercules âgés.

RÉFÉRENCES CITEES

- Badila P, Mikou K & Paulet P (1991) Two distinct modes of action of light on the *in vitro* development of root explants of *Cichorium intybus* L. *J Plant Physiol* (138): 370-375
- Bezanger-Beaukesne L., Pinkas M., Torck M. & Trotin F. (1990) *Solanum tuberosum* L., in *Plantes médicinales des régions tempérées*, Édition Maloine, Paris, pp. 264-265
- Christensen R (1996) One-way Analysis of variance, Multiple regression, in *Analysis of variance, design and regression applied statistical methods*, Édition Chapman & Hall, London, pp. 108-408
- Ellissèche D (1996) Aspects physiologiques de la croissance et du développement, in *La pomme de terre*, Édition INRA, Paris, pp. 71-124
- Ellissèche D & Dantec JP (1993) An attempt to screen for drought tolerance in potato using a glasshouse, *test abstract. 12 th EAPR trien. Conf.*, Paris pp. 9-10
- Everitt BS (1995) Predicting the volume of black cherry trees from measurements of their height and diameter, in *Statistical analyses using S-Plus*, Édition Chapman & Hall, London, pp. 30-45
- Garcia-Maroto F, Salamini F & Rohde W (1993) Molecular cloning and expression patterns of three alleles of the *deficiens*-homologous gene *St-deficiens* from *Solanum tuberosum*. *Plant J* 4 (5): 771-780
- Gravouelle JM (1996) Utilisation pour l'alimentation, in *La pomme de terre*, Édition INRA, Paris, pp. 451-498
- Grison C (1981) La qualité des pommes de terre de consommation—Fiche d'information n° 69 de l'ITPT.
- Grison C (1991) La germination et les relations nombre de germes-nombres de tiges. *Pomme Terre fr* (462): 7-15
- Jackson SD, Sonnewald U & Willmitzer L (1993) Characterization of a gene that is expressed in leaves at higher levels upon tuberisation in potato and upon flowering in tobacco. *Planta* 189 (4): 593-596
- Jafard P (1990) Le test de χ^2 in *Initiation aux méthodes de la statistique et du calcul des probabilités*, Édition Masson, Paris, pp. 217-242
- Keijbeits MJH, & Ebbenhorst-Seller G (1990) Loss of vitamin C during long-term cold storage of dutch table potatoes. *Potato Res* (3): 125-130
- Mikou K (1991) Induction photopériodique de l'organogenèse et de la floraison *in vitro* chez *Cichorium intybus* L.: aspects histophysiologiques. Thèse Doct. Univ. Orléans, France, 130 p.
- Mikou K & Badila P (1992) Induction photopériodique de l'organogenèse et de la floraison *in vitro* chez *Cichorium intybus* : aspects histologiques. *Can J Bot* (70): 1302-13011

- Mikou K & El Yamani J (2002) Étude comparative de quelques générations de pomme de terre en vue de reproduire des tubercules par culture *in vitro*, *Coll intern Les biotechnologies: quelles opportunités pour le Maroc*, Rabat, 3-5 juin, Actes 49
- Montigny C (1983) Adaptation de la pomme de terre aux besoins des industries alimentaires. *Pomme Terre fr* (414): 11-12
- Poupard-Caron F & Rames JF (1996) Autres utilisations: alimentation animale et débouchés industriels, *in La pomme de terre*, Édition INRA, Paris, pp. 499-511
- Van Kempen P, Le Corre P & Bedin P (1996) Phytotechnie, *in La pomme de terre*, Édition INRA, Paris, pp. 363-414
- Van Loon CD & Bouma J (1978) A case study on the effect of soil compaction on potato growth in a loamy soil. 2. potato plant responses, *Neth J agric Sci* (26): pp. 421-429
- Wastie RL, Rousselle P & Waugh R (1993) A review of techniques for acquiring pest and disease resistance. *Actes 12^{ème} conf. Trien. EAPR*, Paris, pp. 57-74