



# OPTIONS GÉNÉTIQUES D'ADAPTATION DU BLÉ TENDRE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Variétés à résistance multiple :  
sécheresse, cécidomyie, septoriose,  
rouilles brune et jaune

*1<sup>er</sup> Prix du  
Grand Prix Hassan II pour l'invention et la  
recherche dans le domaine agricole, édition 2009*

**Mohammed JLIBENE**





# Dédicace

Ce document est dédié à mon épouse Rajae et nos deux enfants, Inass et Réda.

## Remerciements

Le travail présenté dans ce document a été réalisé grâce à la contribution des chercheurs, cadres et techniciens, de grande qualité et de dévouement, de l'Institut National de la Recherche Agronomique et, plus particulièrement, les techniciens des Domaines Expérimentaux de Marchouch, Annoeur, Douyet, Sidi Allal Tazi, Jemâa Shaim et Tassaout.

Je voudrai remercier mon collègue Dr Riad BALAGHI pour les échanges d'idées et de travail commun sur la problématique du changement climatique et, pour avoir bien voulu relire ce document et contribuer à son édition et à sa publication.

# Préambule

De grands défis se sont posés à la sécurité alimentaire du pays à cause du changement climatique qui a débuté au début des années 80, avec comme manifestation première, des sécheresses répétées qui ont réduit la production des céréales en général, y compris celle du blé tendre. Le blé tendre étant la première source de pain au Maroc, les efforts de sélection variétale à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) ont donc porté, depuis cette période, sur la sélection de variétés de plus en plus résistantes à la sécheresse, capables de produire des rendements appréciables même en conditions sèches, tout en étant résistantes aux principaux parasites (maladies et ravageurs) connus dans le pays. Les de résistance à la sécheresse et à la cécidomyie, qui est l'insecte le plus redoutable, ainsi qu'aux maladies foliaires (septoriose et rouilles), ont été combinées et incorporées dans les variétés nouvellement créées. Les efforts de sélection variétale n'ont pas négligé non plus les aspects liés à la qualité boulangère puisque ces variétés sont appréciées par le consommateur marocain. Grâce à la sélection variétale entreprise à l'INRA, un gain supplémentaire de 18 millions de quintaux par an, en moyenne, est possible à l'échelle nationale en conduite technique optimale, dont six millions sont réalisables dans les conditions actuelles de production. L'objectif de ce document est de faire le bilan des réalisations en matière de sélection variétale de blé tendre au Maroc, durant les quatre dernières décennies, dans le contexte du changement climatique. Ce document, qui retrace les travaux de l'auteur en matière de sélection variétale du blé tendre, a eu le prestige d'obtenir le premier prix du Grand Prix Hassan II pour l'invention et la recherche dans le domaine agricole, dans son édition 2009.

# RÉSUMÉ

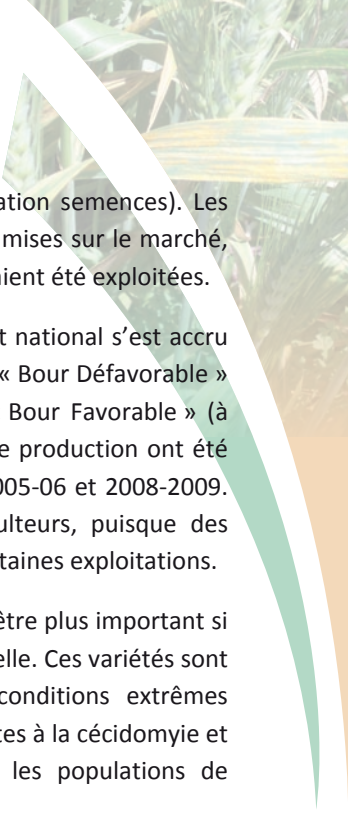
Le blé tendre est la première source d'alimentation des marocains. Il est consommé sous forme de pain par toutes les catégories sociales et tous les âges. La consommation nationale de blé tendre a atteint son maximum au début des années 80, 144 kg/personne et par an, en raison de la pression de la démographie et du changement des habitudes alimentaires. Cependant, l'offre nationale en blé tendre a été freinée par les sécheresses qui se sont succédées sur la même période en raison du changement climatique. Pour pallier au déficit de production céréalière, l'INRA en tant qu'organisme public de recherche pour le développement, a focalisé ses efforts sur des programmes d'amélioration génétique qui ont porté leur fruit.

Le progrès génétique annuel en matière de productivité à l'hectare (ha), entre 1973 et 2006, a été de l'ordre de 57 kg/ha en moyenne, en dépit des sécheresses résultant du changement climatique au Maroc. Les variétés créées durant les années 80 se caractérisent par des qualités de précocité, de semi nanisme et de résistance aux rouilles. Les variétés créées par la suite, durant les années 90, ont incorporé en plus des qualités précédentes, la résistance à la septoriose et à la cécidomyie et, à partir de 2005, la résistance à la rouille jaune et à la sécheresse.

La résistance à la sécheresse a été améliorée puisque dans les environnements secs grâce à la sélection variétale. Sur la période 1980-2005, le gain annuel de rendement réalisé a atteint 78 kg/an en moyenne, soit 50% de plus sur l'ensemble des environnements. L'économie d'eau résultante, par rapport à la variété témoin Nasma, a été de 115 mm/an grâce à 33 années de recherches en amélioration génétique. La stabilité des rendements a été améliorée, grâce à l'augmentation de la productivité en conditions sèches et à la résistance aux parasites. L'efficacité d'Utilisation de l'Eau (EUE) potentielle des nouvelles variétés dans la zone agro-écologique « Bour Défavorable », a été estimée à  $22 \text{ kg.mm}^{-1}$ , permettant une économie d'eau de 0,77 mm par an et par hectare ( $17 \text{ kg} / 22 \text{ kg.mm}^{-1}$ ) par rapport à la variété Nasma. Actuellement, les variétés utilisées par les agriculteurs permettent d'économiser 25 mm d'eau à l'hectare dans les environnements défavorables. Le manque à gagner par rapport à l'utilisation des nouvelles variétés améliorées est énorme puisque que l'EUE peut être quintuplé à  $115 \text{ mm.an}^{-1}$ .

L'utilisation des variétés améliorées comme « Marchouch » et « Achtar », a eu un impact manifeste aussi sur les superficies emblavées que sur le niveau et la stabilité du rendement grain. Les superficies ont quadruplé entre 1980 et 1996, permettant la réussite de l'opération de promotion de blé tendre engagée depuis 1985. L'objectif de cette opération a été doublement dépassé alors que les superficies avaient stagné autour de 500.000 hectares pendant les trois décennies 50, 60 et 70, en dépit des grandes opérations de développement lancées par le





Ministère de l'agriculture (Opération labour, Opération engrais, et Opération semences). Les superficies auraient pu augmenter d'avantage si les variétés actuellement mises sur le marché, « Arrehane » et de « Nouvelles variétés » (appelées ci-après Nouvelles), avaient été exploitées.

Grâce à la contribution des nouvelles variétés sélectionnées, le rendement national s'est accru en moyenne de 17 kg/ha et par an, mais pouvant aller de 13 kg/ha dans le « Bour Défavorable » (à pluviométrie annuelle inférieure à 400 mm<sup>1</sup>/an) à 22 kg/ha dans le « Bour Favorable » (à pluviométrie annuelle supérieure à 400 mm/an). Des records successifs de production ont été enregistrés durant les campagnes agricoles 1985-86, 1987-88, 1990-91, 2005-06 et 2008-2009. Les gains de rendement varient aussi selon la performance des agriculteurs, puisque des rendements record, dépassant les 80 quintaux/ha, ont été réalisés dans certaines exploitations.

L'impact sur la production et sur la stabilité du rendement du blé pourrait être plus important si les variétés récentes (Arrehane et Nouvelles) sont utilisées à plus large échelle. Ces variétés sont plus tolérantes à la sécheresse, permettant de produire dans des conditions extrêmes contrairement aux variétés actuellement cultivées. Elles sont aussi résistantes à la cécidomyie et aux maladies foliaires, permettant par la même occasion de réduire les populations de parasites.

**Mots clés :** Blé tendre, Changement climatique, Progrès génétique, Résistance à la sécheresse.

---

<sup>1</sup> Millimètre. Un millimètre correspond à 1 litre par mètre au carré de pluie.

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CONTEXTE NATIONAL DE PRODUCTION .....	5
1. Contexte socio-économique .....	5
2. Contexte climatique.....	6
Pluviométrie annuelle.....	6
Variation spatiale et interannuelle.....	7
Répartition intra annuelle.....	8
Projections climatiques futures .....	10
Parasites du blé tendre .....	11
OBJECTIFS DE SÉLECTION.....	16
1. Objectifs .....	16
2. Stratégies de sélection variétale adoptées .....	18
Environnements de test.....	21
Environnement de sélection .....	22
Méthode d'analyse .....	23
VARIÉTÉS DÉVELOPPÉES ET IMPACT RÉALISÉ .....	25
1. Variétés développées.....	25
Premier témoin de référence : la variété Nasma .....	25
Résultats des stratégies de sélection variétale .....	26
Progrès génétique .....	36
2. Impact réalisé.....	44
Impact sur la superficie.....	44
Impact sur le rendement national .....	45
Impact sur la stabilité des rendements .....	45
Impact sur l'économie de l'eau.....	46
CONCLUSION .....	47
RÉFÉRENCES CITÉES .....	48

## INTRODUCTION

Le blé tendre est une espèce traditionnelle des oasis sahariennes, cultivée depuis l'antiquité (Miège, 1924) sous une forme de glume velue. Le blé tendre a évolué dans ces environnements arides et secs, sous la pression des sélections naturelle et artificielle. Il tolère la salinité et les hautes températures, mais ne réussissait pas à l'intérieur du pays à cause de sa vulnérabilité aux champignons qui apparaissent lorsque la chaleur et l'aridité du climat diminuent. À l'intérieur du pays, on consommait essentiellement de l'orge et du blé dur mais aussi d'autres céréales, comme le sorgho ou le maïs.

Le blé tendre n'a réellement pris de l'essor qu'à partir de 1912, lors de son introduction dans les grandes plaines côtières et centrales du pays. Les variétés utilisées à l'époque étaient d'origine européenne, de type tardif, à tige longue, et non adaptées aux conditions locales. Elles étaient particulièrement sensibles à la sécheresse, au Chergui (vent du Sirocco) et aux attaques de la rouille noire. Les rendements de ces variétés étaient très faibles, atteignant à peine les 7 quintaux/ha (Qx/ha) (Grillot, 1942). Ces variétés, qui n'étaient pas adaptées aux conditions locales, offraient donc peu de perspectives au développement de la culture du blé tendre au Maroc.

Pour cette raison, un programme officiel de sélection variétale du blé tendre a été mis en place en 1921. La rusticité et la précocité étaient alors les principaux critères retenus pour la sélection variétale. Les rouilles noire et brune (Grillot, 1942) ainsi que la cécidomyie (Mesnil, 1934 ; Jourdan, 1937 et 1938) étaient déjà identifiées comme parasites importants. Cependant, seule la rouille noire était maîtrisable à l'époque, en l'occurrence grâce au raccourcissement du cycle de la culture, car cette maladie survenait tard sur les variétés tardives.

Grâce à ce programme de sélection, les rendements ont progressé, au niveau des stations de recherche, durant la période 1921-1949. Les rendements sont passés de 7 à 19 Qx/ha, selon un rythme moyen de 0,35 Qx/ha et par année, soit plus de 3,25% (Jlibene, 2008a). Au niveau national, chez les agriculteurs, le rendement a progressé au cours de cette période de 6 à 8 Qx/ha (DAE, 1951). La plus-value réalisée par la sélection variétale a été donc de 12 Qx/ha en stations expérimentales et 2 Qx/ha chez les agriculteurs. La précocité de la variété dominante durant cette période, « Florence x Aurore », et des variétés successives, « Pinyte » en particulier, a permis d'éviter les attaques de la rouille noire et d'atténuer les effets du Chergui. Deux variétés nord africaines, « Florence x Aurore 588 » et « Mentana », ont été utilisées comme géniteurs par Borlaug (Deghaïs, 1996) pour la production des variétés mexicaines qui étaient à l'origine de la révolution verte. Mentana a été utilisée comme source de semi nanisme et d'insensibilité à la photopériode.



La récolte de blé tendre a été au départ destinée à l'export vers les pays belligérants de l'Europe, jusqu'en 1945, puis s'est ancrée dans les habitudes alimentaires des marocains. À l'arrêt des hostilités et suite la reprise de la production de blé en Europe, la demande sur cette denrée n'a cessé d'augmenter au Maroc. C'est surtout dans les milieux urbains que des unités de boulangerie se sont développées pour la confection de la fameuse « baguette française » ainsi que d'autres produits comme les petits pains, les chaussons et d'autres pâtisseries. En utilisant la farine de blé tendre, les marocains découvraient un pain blanc aéré et croustillant. Les aides alimentaires des Nations Unies ont aussi joué un rôle dans l'introduction du blé tendre en ville et en campagne.

La population marocaine qui était de 4,9 millions d'habitants en 1921, de 6,3 millions en 1938 et de 8,5 millions en 1948<sup>2</sup>, a grimpé à plus de 19 millions vers la fin des années 70. La part de la population urbaine, qui consomme le plus de blé tendre, est passée de 10% en 1912 à 25% en 1950 (Ecochard, 1951) puis à 40% vers la fin des années 70, exerçant ainsi une forte pression sur la terre. D'une superficie négligeable, confinée aux oasis avant 1912, le blé tendre va connaître donc une évolution rapide, passant à un demi-million d'hectares vers la fin des années 40. La superficie se stabilisera ensuite autour de ce chiffre pendant les décennies 50, 60 et 70. Cependant, avec la stagnation des superficies cultivées et la demande interne croissante, l'écart entre la production et les besoins en consommation s'est creusé de sorte que, durant la deuxième moitié des années 60, environ six millions de quintaux de blé tendre ont dû être importés chaque année (Sbihi, 1972).

De grandes « Opérations » de développement agricole ont été déclenchées durant les années 60 et 70, mais sans impact significatif sur les rendements. Les Opérations « Labour » et « Engrais » ont concerné toute la céréaliculture y compris le blé tendre. Cependant, les variétés utilisées, qui étaient de haute taille, versaient à la moindre application d'engrais azotés à cause des conditions de la forte pluviométrie de l'époque. Ajouté à cela, les rouilles brune et noire sont apparues, favorisées en cela par la pluviométrie abondante ainsi que la maturité tardive de ces variétés.

Aux États Unis d'Amérique (USA), le problème de la verse a été résolu grâce à la création de variétés semi naines et l'introduction d'un gène de nanisme qui a été identifié dans un blé d'origine japonaise (Norin-10). C'est au Mexique que le caractère de semi nanisme de ces variétés créées aux USA a été combiné par Borlaug, Prix Nobel de la paix en 1970, au caractère d'insensibilité à la photopériode. Dans plusieurs pays à travers le monde, l'emploi de ces variétés, à tige courte et rigide, a permis de valoriser la fertilisation azotée, permettant ainsi de doubler la productivité du blé. Ce succès a été connu dans le monde sous le nom « Révolution

<sup>2</sup> Bulletin Économique et Social du Maroc N°38. Volume XI. Juillet 1948.

Verte ». Ces variétés qui apparaissaient miraculeuses offraient donc une opportunité pour résoudre les problèmes de sécurité alimentaire du Maroc. À la fin des années 60, la Révolution Verte a séduit les autorités marocaines, qui ont importé une quantité importante de semences de variétés mexicaines, en les multipliant et en les distribuant aux agriculteurs, à travers une opération d'envergure du ministère de l'agriculture, dite « Opération Semences ».

Malheureusement, l'introduction de ces variétés en grande culture, s'est accompagnée d'un développement spontané de la septoriose, une maladie foliaire qui était jusque-là sans effet sur les variétés hautes (Rosella, 1929), car elle limitait uniquement aux feuilles de base. Sur les variétés semi naines, la maladie progressait facilement le long de la plante, en raison de la distance réduite entre les étages foliaires, mais aussi grâce au temps d'exposition plus long des feuilles, chez les variétés courtes et précoces (Jlibene et al. 1991). Les spores infectieuses de la septoriose se retrouvent propulsées à chaque averse vers le sommet de la plante par la pluie, lorsque les gouttes de pluies éclaboussent sur les surfaces infectées du blé. Or, il est généralement admis que les feuilles du sommet, les trois dernières en particulier, contribuent à l'essentiel du rendement du blé tendre. Les pertes sur les champs de multiplication de ces variétés étaient énormes, dépassant les 80% (Santiago, 1970), provoquant ainsi l'échec de « l'Opération Semences ».

Pour résoudre le problème de la septoriose, un programme de sélection variétale, pour la résistance génétique a été initié, au début des années 70, en collaboration avec le centre mexicain de recherche sur le blé (CIMMYT<sup>3</sup>). Une variété d'origine italienne (BT908), résistante à cette maladie, a été identifiée mais a connu peu de succès auprès des agriculteurs probablement en raison de la couleur rousse de son grain. En 1973, la sélection de la variété « Nasma » (Tegyey, 1973) s'est révélée intéressante en raison de sa rusticité, de sa précocité, et de sa résistance à la verse et à la rouille brune. Bien que sensible à la septoriose, cette variété va dominer les superficies céréalières vers la fin des années 70 ainsi que le début des années 80.

En termes de productivité, le gain génétique annuel apporté par les variétés « Pinyte », « BT908 » et Nasma, a été l'un des plus élevés, de 100 kg, avec un rendement qui est passé de 19 à 42 Qx/ha en stations expérimentales (Jlibene 2008a). Cependant, le gain réalisé au niveau national chez les agriculteurs est resté très bas, ne représentant que 4% du potentiel génétique. Le rendement national n'a évolué que d'un quintal, au cours de toute la période des décennies 50, 60 et 70. Ce gain était plutôt le fait de la variété Nasma, très rustique, précoce, semi naine et donc résistante à la verse, résistante à la rouille brune, mais sensible à la septoriose. Le faible impact sur la production nationale est aussi probablement dû au fait que la variété Nasma est apparue tardivement en fin de cette période.

<sup>3</sup> International Maize and Wheat Improvement Center (<http://www.cimmyt.org/>).

Au début des années 80, les problèmes posés par la rouille brune, la septoriose, et la cécidomyie, persistaient encore. L'aridité du climat s'est mise à augmenter, en raison de la chute drastique de la pluviométrie, de 25% à 30%, comparativement aux trois décennies précédentes (40, 50 et 60), de l'augmentation de la fréquence et de la sévérité des sécheresses (Balaghi, 2006).

L'objectif de ce document parcourt les réalisations de l'auteur, en matière de progrès génétique du blé tendre, réalisé au Maroc au cours de la période 1980-2008, ayant permis la création de variétés de blé tendre performantes et résistantes à la sécheresse et aux principales maladies connues au Maroc.

## CONCLUSION

Au cours des trois dernières décennies (1980-2006), huit années avaient une pluviométrie bonne et bien répartie (1986, 1988, 1991, 1994, 1996, 1998, 2003, 2006), soit une fréquence de 30%, la sécheresse a marqué les 19 autres années de la même période. Les bonnes années ont été valorisées par l'utilisation, par les agriculteurs, des variétés améliorées de blé tendre, conduisant ainsi à des records de rendement et de production. Même les années de sécheresse ont été valorisées, puisque des rendements très élevés ont été obtenus dans ces conditions, alors que cela était impensable quelques décennies auparavant. Les variétés récentes, nouvellement améliorées, peuvent ainsi valoriser aussi bien les conditions humides que de sécheresse.

Le potentiel du progrès génétique, de  $57 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  en moyenne et de  $78 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  en conditions de sécheresse, est encore loin d'être exploité complètement. À l'échelle nationale, le progrès technologique a été de  $17 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ , en moyenne, variable entre  $13 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  pour le Bour défavorable à  $22 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  dans le Bour favorable. Cela veut dire que le potentiel génétique des nouvelles variétés n'a été valorisé au niveau des champs d'agriculteurs qu'à 30% en moyenne dans tous les écosystèmes du pays, et à seulement 17% dans les environnements défavorables. Grâce à l'emploi des variétés récentes, qui sont plus résistantes à la sécheresse, il est possible d'atteindre une amélioration du progrès technologique dans les environnements défavorables de  $13 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ .

Au niveau de l'économie de l'eau, le manque à gagner est phénoménal. Sur les  $3,55 \text{ mm.an}^{-1}$  pouvant être potentiellement économisés annuellement, seulement  $0,77 \text{ mm.an}^{-1}$  a été économisé en milieu réel, soit une exploitation de seulement 21% du potentiel génétique. Les prévisions sur le changement climatique au Maroc estiment un déclin de la pluviométrie de 1,7 mm par an jusque la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. Bien que le progrès génétique soit deux fois plus élevé que la diminution prévue de la pluviométrie, le rythme actuel du progrès technologique reste toujours insuffisant pour contrecarrer l'effet du changement climatique à l'horizon 2050.

# OPTIONS GÉNÉTIQUES D'ADAPTATION DU BLÉ TENDRE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Variétés à résistance multiple : sécheresse, cécidomyie,  
septoriose, rouilles brune et jaune



Natif de Taza, le 11 mai 1952, **Dr Mohammed JLIBENE** est père de deux enfants. Il est lauréat de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II avec le diplôme d'Ingénieur d'État en Agronomie, obtenu en 1979. Il a aussi obtenu le doctorat es-sciences en génétique et amélioration des plantes, en 1990 à l'Université de Missouri aux USA.

Dr Mohammed JLIBENE a travaillé durant toute sa carrière à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), depuis 1979. Il a été responsable de la sélection variétale du blé tendre à l'INRA. Dr Mohammed JLIBENE est un scientifique reconnu, aussi bien au Maroc qu'à l'étranger. Il a mis en place et géré des équipes de recherche multidisciplinaires, des laboratoires scientifiques et des programmes de recherche, à l'INRA de Rabat, Settat et Meknès. Il a publié plus de cent publications internationales et nationales. Il a aussi créé plus vingt variétés de blé tendre, très prisées par les agriculteurs marocains, en raison de leur productivité ainsi que de leur résistance aux maladies et ravageurs. Parmi les variétés qui ont connu le plus de succès, on citera "Marchouch", "Achtar", "Amal", "Rajae", "Mahdia" et "Arrehane". Ces variétés sont actuellement largement cultivées au Maroc. Elles ont contribué à la sécurité alimentaire du pays, à lutter contre la sécheresse, à augmenter le revenu des agriculteurs et à réduire les importations céréalières.

