



HAL
open science

A tool to convey sustainable production systems__case of the peach-brown rot couple

Abdeslam Kadrani

► **To cite this version:**

Abdeslam Kadrani. A tool to convey sustainable production systems__case of the peach-brown rot couple. [Contract] 0902-011, 2012. hal-02805946

HAL Id: hal-02805946

<https://hal.inrae.fr/hal-02805946>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Abdeslam KADRANI

Institut National de Recherche Agronomique (INRA)

Centre de recherche PACA Avignon

Avignon, France

E-Mail: Abdeslam.kadrani@avignon.inra.fr

Rapport d'activités du projet 0902-011
2010/2012

Sujet du projet

***Un outil pour concevoir des systèmes de production durable – le cas
du couple pêche/pourriture brune***

Responsables du projet

Bénédicte Quilot-Turion¹

Mohamed Mahmoud Ould Sidi²

Nadine Hilgert³

Michel Génard²

Françoise Lescourret²

¹ UR1052, Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes, INRA, 84000 Avignon,

² UR1115, Plantes et Systèmes de Culture Horticoles, 84000 Avignon, France

³ UMR 729 MISTEA, INRA SUPAGRO, 34000 Montpellier, France

Dans ce qui suit, je présenterai les travaux réalisés au cours de ces deux dernières années dans le cadre du projet porté sur la conception des systèmes de production durable pour le cas du système pêche-pourriture brune. J'ai donc traité une problématique relevant du domaine de l'agronomie en utilisant des approches de recherche opérationnelle et de l'aide à la décision. Ces travaux ont été valorisés par des publications dans des conférences et des revues internationales en agronomie et en recherche opérationnelle.

I. Contenu scientifique du projet

➤ Contexte et objectifs du projet

Les systèmes de production doivent s'adapter, dans le contexte de changement climatique, pour faire face à la croissance de la demande sociale en termes de qualités organoleptiques nutritionnelles et environnementale des produits alimentaires. En effet, l'amélioration de la qualité demeure toujours une question d'importance pour la production de fruits mais le contrôle des maladies végétales est désormais une priorité pour la santé des végétaux, la sécurité alimentaire et les caractéristiques environnementales. Par conséquent, la question cruciale pour l'avenir est de savoir comment concevoir les meilleures combinaisons des ressources génétiques et des pratiques culturelles adaptées à un environnement spécifique afin de répondre à l'exigence des consommateurs en termes de qualité.

Dans le cadre de ce projet, nous avons étudié le cas du système « pêcher-monilioses ». Les monilioses sont les principales maladies fongiques aériennes dommageables pour les arbres fruitiers à noyaux, et notamment le pêcher. Elles occasionnent des traitements chimiques à l'approche de la maturité des fruits ce qui est un problème de point de vue environnement et santé. Aucune autre alternative (lutte biologique, résistance génétique, ...) à la lutte chimique n'est disponible, d'où l'application nécessaire des fongicides jusqu'à la pré-récolte. De plus, l'utilisation massive des fongicides ne permet pas toujours de contrôler la maladie et parfois elle pourrait favoriser l'apparition de souches résistantes. Dans ce contexte, on se propose d'élaborer un outil de conception de systèmes de production durables associant idéotypes de pêcher et opérations culturales innovantes pour réduire la sensibilité à la pourriture brune (la moniliose) en verger et conserver ou améliorer la qualité des fruits.

Le projet PRIMo (Peach-Rot Ideotypes Modelling) repose sur une démarche alliant l'expérimentation et la modélisation. L'expérimentation mène à quantifier l'inoculum aérien et suivre son évolution temporelle en fonction de facteurs climatiques pour permettre d'évaluer les risques épidémiques aux différents stades de développement du fruit. Le second volet de l'expérimentation consiste en une étude de la variabilité génétique d'un ensemble de variétés de pêcher contrastées pour leur résistance aux monilioses. Les informations collectées de l'expérimentation sont utilisées pour modifier et améliorer un modèle existant de 'Fruit Virtuel' simulant la croissance et la qualité du fruit en fonction de pratiques culturales et du climat (Lescourret et Génard, 2005). Enfin, le modèle développé couplé avec les méthodes d'optimisation permettent d'identifier les stratégies de production à la fois plus durable et économiquement viables combinant des idéotypes et des pratiques novatrices.

➤ Programme du travail et Méthodologie

- Réunions régulières sur Avignon et Montpellier avec l'équipe du travail.
- Etude bibliographique: Modèle de 'Fruit Virtuel', modélisation et aide à la décision.
- Analyse du modèle de 'Fruit Virtuel'.
- Identification des paramètres et des entrées du modèle qui influencent ses sorties.
- Choix de l'approche de résolution.
- Développement et implémentation des algorithmes.
- Tests de validation

Au début du projet j'ai d'abord réalisé une étude bibliographique approfondie sur le sujet et j'ai assisté à plusieurs réunions de travail avec l'équipe de projet. Ce qui m'a permis de mieux comprendre les composantes du modèle de 'Fruit Virtuel' ainsi que son fonctionnement. Ce modèle décrit l'élaboration de la croissance et la qualité des fruits. Ses entrées sont le climat (température, humidité, rayonnement), la charge fruitière (éclaircissage), stress hydrique (irrigation) et des paramètres génétiques (génotypiques). Après l'analyse de la version originale du modèle, j'ai entrepris des modifications sur la base des données génotypiques disponibles afin d'améliorer certaines de ces composantes (équations de croissance).

Ensuite, une analyse de sensibilité du modèle est réalisé afin d'identifier les paramètres importants, c'est-à-dire ceux qui affectent significativement les différentes sorties du modèle (probabilité d'infection, qualité, rendement). Six principaux paramètres intervenant dans la croissance, le métabolisme du sucre et la sensibilité aux cracks (pourritures) ont servi pour définir les génotypes.

L'étape suivante était consacrée à la formulation du problème de la conception des idéotypes de pêche satisfaisant à l'exigence de qualité des fruits et la sensibilité à la pourriture brune en un problème d'optimisation. Les variables de décision (ou de sélection) de ce problème sont les paramètres génétiques précédemment identifiés et les critères considérés pour l'optimisation sont : le poids frais du fruit, sa teneur en sucre (qualité gustative), et la densité des cracks sur la peau (portes d'entrée pour les monilioses). Les deux premiers critères sont à maximiser, tandis que le dernier est à minimiser. Plusieurs contraintes ont été aussi prises en compte sur les critères et les paramètres.

Les problèmes de décision multicritère, leurs contextes d'application et les principales approches de résolution existantes ont été aussi abordés et étudiés en profondeur. Les méthodes exactes de résolution explorent la totalité de l'espace de recherche et elles peuvent produire une solution optimale, lorsque cet espace est de petite taille et aucune contrainte de temps n'est imposée. Cependant, le temps de calcul nécessaire pour atteindre une solution optimale peut être important. Dans ce cas, les méthodes approchées représentent une bonne alternative indispensable et complémentaire. Ces méthodes ne cherchent pas à obtenir la solution optimale du problème traité, mais elles peuvent donner une solution *proche* de l'optimum, en un temps de calcul relativement court. Cet avantage vient du fait que ces méthodes, contrairement aux méthodes exactes, examinent seulement une partie de l'espace de recherche et, qu'elles sont souvent guidées par des heuristiques dans le choix des zones visitées. Nous avons proposé deux approches pour résoudre le problème multi-objectifs construit : l'une est de type Pareto dominance (NSGA-II : Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) et l'autre est une approche agrégative et résolue par la méthode d'optimisation par essais particuliers.

Afin de valider les approches et les méthodes proposées, nous avons couplé le modèle de 'Fruit Virtuel' avec les méthodes d'optimisation (les algorithmes évolutionnaires et les algorithmes de l'optimisation par essaim particuliers) et nous avons réalisé une série de tests qui ont prouvé la qualité de nos approches. Les scénarii que nous avons simulés sont variés pour différents climats, différents niveaux de charge en fruits et différents pratiques culturelles.

➤ **Résultats**

Nous avons utilisé le modèle de 'Fruit Virtuel' pour simuler la qualité du fruit de génotypes virtuels, dans deux sites climatiques (Avignon et Bordeaux), pour des niveaux de charge en fruits et le stress hydrique contrasté. Les traits simulés par le modèle sont la masse de fruit, la teneur en sucre, et la sensibilité à la pourriture brune (densité de la peau de fissures). Les simulations ont permis de montrer des interactions entre les génotypes, les pratiques et le climat. Des antagonismes forts entre les caractères d'intérêt ont été observés. Les simulations ont également montré un comportement émergent du modèle illustrant comment des comportements inattendus des systèmes complexes peuvent être prédits et analysés par des modèles de simulation basés sur

des processus physiologiques. A partir de ces résultats, les meilleures combinaisons de génotypes, de pratiques culturales, et de climats optimisant les traits de la qualité du fruit ont été identifiés. Ce travail a permis de démontrer l'utilité de la conception assistée par des modèles pour proposer des systèmes de production combinant des pratiques culturelles et des idéotypes variétaux innovantes. Il a donné des résultats intéressants qui ont fait l'objet des publications dans des revues internationales (EJA, IJSIR) et des conférences nationales et internationales avec comité de lecture (ESA AGRO'2010, ROADEF'2011, ICSI'2011, ISMFROM'2011, META'2012).

- **Mots clés :** Modèle écophysiological, idéotypes, pêches, Optimisation multi-objectifs, NSGA-II, Optimisation par essaim de particules, Algorithme génétique, Performances de comparaison.

II. Articles

- **Articles publiés:**

1. **Kadrani A., Ould Sidi M. M., Quilot-Turion B., Génard M., Lescourret F. (2012). "Particle swarm optimization to design ideotypes for sustainable fruit production systems". *International Journal of Swarm Intelligence Research (IJSIR)* 3 (2), 1-19.**

Résumé:

Dans le travail (Quilot et al., 2011) nous avons formulé le problème de la conception des idéotypes de pêche répondant à l'exigence de qualité des fruits et d'une faible sensibilité à la pourriture brune dans un environnement donné sous forme d'un problème d'optimisation multi-objectifs. L'approche de résolution choisie pour résoudre ce problème est une méthode de Pareto. Malheureusement, cette approche se concentre sur la génération du front Pareto et mais elle ignore l'étape de la prise de décision puisque tous les critères sont considérés de même importance (Coello, Veldhuizen, & Lamont, 2007).

Dans ce travail nous avons tenu en considération le fait que le décideur varie ses préférences sur les traits du fruit suivant les marchés. Ainsi, le poids de chaque critère est déterminé en fonction de l'importance de chaque objectif et la solution finale dépend de la perspective du décideur. C'est pour cette raison que nous avons adopté l'approche d'agrégation pondérée pour transformer le problème multi-objectif de la conception des idéotypes de pêche à un problème avec un seul objectif. Nous avons par la suite utilisé la méthode d'optimisation par essaim de particules (Particle Swarm Optimization (PSO)) pour résoudre le problème obtenu. C'est une méthode d'optimisation stochastique basée sur la reproduction d'un comportement social et développée par Kennedy et Eberhart (1995). La méthode a été couplée avec le modèle de 'fruit virtuel' pour faire des simulations pour différents scénarios liés au climat, le niveau de charge en fruits et le stress hydrique.

Les résultats obtenus par l'algorithme montrent clairement l'antagonisme entre la masse de fruit et sa teneur en sucre pour les différents cas de priorité d'importance considérés pour les deux traits au cours de la croissance finale du fruit. En effet, une augmentation excessive de la masse du fruit entraîne une teneur faible en sucre ce qui peut être expliqué en partie par l'accumulation de l'eau et une grande dilution de sucres dans le fruit. Une croissance excessive de fruits se traduit également par une augmentation de la densité des cracks.

Les résultats trouvés sont considérés satisfaisants pour les systèmes de productions durables de fruits de pêches. Enfin, une petite comparaison est faite entre l'algorithme d'essaim particuliers et l'algorithme génétique (AG) et a montré que la méthode PSO permet d'obtenir des meilleures performances que l'AG.

Mots clés: Optimisation par essaim de particules, algorithme génétique, idéotypes, pêches.

2. Quilot-Turion B., Ould Sidi M. M., **Kadrani A.**, Hilgert N., Génard M., Lescourret F. (2011). **“Optimization of parameters of the ‘Virtual Fruit’ model to design peach genotype for sustainable fruit production systems”**. *European Journal of Agronomy (EJA)* 42 (2012), 34-48.

Résumé:

L’objectif de ce travail est d’illustrer comment un modèle de simulation basé sur un processus écophysio-logique pourrait être éventuellement utilisé pour concevoir des génotypes et de proposer des systèmes de production durables en appliquant une méthodologie d’optimisation. Dans ce cadre, nous avons pris le système pêche-monilioses comme cas d’étude et nous avons utilisé le modèle du ‘Fruit Virtuel’ pour simuler la qualité du fruit de génotypes virtuels pour un ensemble donné de pratiques culturelles et un environnement cible. Le challenge est de concevoir des idéotypes de pêche permettant d’optimiser le compromis entre trois critères antagonistes pour quatre différents scénarios culturels. Il s’agit donc, de maximiser deux critères liés à la qualité gustative à savoir le poids frais du fruit et sa teneur en sucre. Un troisième critère à minimiser lié à la sensibilité à la pourriture jaune, il s’agit de réduire la densité des cracks sur la peau pour limiter la contamination aux monilioses.

Le problème ainsi reformulé est un problème d’optimisation multi objectifs où les objectifs sont les trois critères (le calibre de fruit, sa teneur en sucre et la densité des cracks) et les variables d’optimisation sont les six paramètres de ‘fruit virtuel’, sélectionnés à la base d’une analyse de sensibilité. Le modèle de ‘fruit virtuel’ est par la suite couplé à un algorithme évolutionnaire multi objectifs, à savoir NSGA-II, pour résoudre le problème multi objectifs obtenu.

L’algorithme NSGA-II a fourni une grande diversité de solutions (paramètres génétiques) parmi lesquelles le décideur peut choisir le compromis le mieux adapté entre les critères suivant un objectif particulier. La plupart des solutions ont été distribuées le long de front de Pareto assurant une bonne convergence de l’algorithme. Par ailleurs, l’algorithme a fourni d’autres solutions dans des zones non encombrées qui constituent des alternatives originales pour le décideur.

Les résultats ont confirmé le fort antagonisme entre les critères considérés. Les gros fruits possèdent une faible teneur en sucre et une hausse densité de fissures et pour une masse donnée, les fruits qui ont amélioré leur taux de sucre ont une densité de fissures plus élevée. Dans un schéma de sélection actuel, la masse de fruit serait le seul critère considéré, mais d’autres schémas alternatifs pourraient être envisagés pour l’avenir, en favorisant la qualité organoleptique ou les pratiques respectueuses de l’environnement.

Mots clés: Optimisation, modèle écophysio-logique, idéotypes, pêches.

• **Article en cours de traitement :**

3. Ould Sidi M. M., **Kadrani A.**, Quilot-Turion B., Génard M., Lescourret F. **“Compromising NSGA-II performances and stopping criteria: case of virtual peach design”**.

Résumé:

Les algorithmes évolutionnaires de l’optimisation multicritères permettent d’explorer l’espace de recherche dans un temps de calcul raisonnable. Ces méthodes fournissent au décideur un ensemble de solutions diversifiées. Le décideur doit donc faire son choix final de meilleur compromis entre les critères. Cependant, une difficulté lors de l’utilisation de ces algorithmes est le temps convenable pour arrêter le calcul. Généralement, on utilise comme critère d’arrêt de l’algorithme un nombre maximum prédéfini de générations. Malheureusement, cela peut conduire à de nombreuses générations inutiles et par conséquent diminuer le taux de la qualité de la solution par rapport au temps de calcul. Les auteurs de (Roudenko & Schoenauer, 2004.) ont discuté cet aspect, et l’ont illustré par l’algorithme NSGA-II (Deb et al. 2002). Ils ont introduit un nouveau critère d’arrêt qui peut en partie remédier à cet inconvénient. Ce critère

consiste à arrêter le processus lorsque l'algorithme a effectué un nombre donné d'itérations sans améliorer la solution. Il est basé sur l'écart type de la distance de l'encombrement, une mesure de contrôle de la diversité de NSGA-II, pour un nombre donné d'itérations. Les auteurs ont testé ce critère dans le cas des problèmes bi objectifs sans contraintes et ont affirmé qu'il est difficile de l'utiliser avec NSGA-II pour des problèmes d'optimisation sous contraintes avec plus que deux critères.

La question que nous abordons ici est la possibilité d'utiliser ce critère d'arrêt afin d'améliorer le temps de calcul de NSGA-II dans le cas d'un problème d'optimisation à trois objectifs avec contraintes. Ainsi, nous comparons les résultats obtenus avec la version originale de NSGA-II à ceux obtenus lors de la modification de la version originale en incluant ce critère d'arrêt. Dans ce travail, nous avons pris comme d'étude le problème de la conception des stratégies de gestion innovantes qui optimisent les interactions génotype x environnement x pratiques pour limiter la contamination des fruits de pêcheurs par la pourriture brune tout en conservant ou en améliorant la qualité des fruits. On a donc six paramètres génétiques à combiner pour créer des génotypes et trois traits de la qualité des fruits et de la sensibilité à la pourriture brune à optimiser. Ces traits constituent les critères de du problème d'optimisation multi-objectifs à résoudre et les paramètres génétiques représentent ses variables de décision et on a six contraintes sur ces variables. Le modèle de 'Fruit Virtuel' sera couplé à ses algorithmes pour faire les simulations.

Mots clés: Optimisation multi-objectifs, NSGA-II, performances de comparaison, Modèle de 'Fruit Virtuel'.

- **Article en cours de rédaction :**

4. **Kadrani A., Ould Sidi M. M., Quilot-Turion B., Génard M., Lescourret F. "Comparison of evolutionary and particle swarm optimization in improving fruit quality".**

Résumé:

Dans le souci d'améliorer la qualité des solutions pour les systèmes de productions durables de fruits de pêches, nous nous sommes intéressés à étudier une autre famille d'algorithmes inspirés également de la biologie, il s'agit de l'optimisation par essais particuliers. Cette étude est motivée par l'application réussie de cette méthode dans le cas d'un problème avec un seul objectif (Kadrani & al. 2012).

Les algorithmes évolutionnaires sont connus comme des méthodes robustes et efficaces pour résoudre les problèmes multi-objectifs mais ils demandent un effort considérable de calcul pour effectuer des mécanismes permettant de préserver la diversité des solutions au sein de la population et nécessitent aussi beaucoup de paramètres.

Les algorithmes de l'optimisation par essaim de particules sont basés sur la métaphore biologique. Ils sont inspirés d'imiter le mouvement des oiseaux, des poissons ou d'autres organismes dans leur recherche de nourriture. Chaque particule (oiseaux, poissons ...) est guidée par sa propre expérience ainsi que par le partage social de l'information dans l'essaim. Ces algorithmes ont deux objectifs principaux: améliorer la convergence vers le vrai front de Pareto et produire un ensemble bien réparti de solutions non-dominées.

Grand nombre de versions de l'algorithme de l'optimisation par essaim de particules dans le cas multi-objectifs (MOPSO) ont été proposés dans la littérature. La version proposée, MOPSO-CD, par Raquel et Naval (2005) est l'une des meilleurs algorithmes existants de MOPSO permettant de faire face à des problèmes multi-objectifs. L'algorithme MOPSO-CD intègre certaines mécanismes des algorithmes évolutionnaires pour maintenir la diversité des solutions tels que l'élitisme, les opérateurs de la diversité, les opérateurs de mutation et la distance d'encombrement.

Nous avons choisi cette version de MOPSO pour comparer ses performances avec celles de NSGA-II, considéré comme une référence par la communauté des algorithmes évolutionnaires, dans le cadre du projet des systèmes de productions durables de fruits de pêches

Mots clés: Optimisation multi-objectifs, Optimisation par essaim de particules, MOPSO, MOPSO-CD, NSGA-II, pêches.

III. Communications et Colloques

1. MM. Ould Sidi, **A. Kadrani**, B. Quilot-Turion, M. Génard, F. Lescourret. **“Compromising NSGA-II performances and stopping criteria: case of virtual peach design”**. *International Conference on Metaheuristics and Nature Inspired Computing (META'2012). October 27th- 30 2012, Port El-Kantaoui, Sousse, Tunisie.*
2. M. Génard, B. Quilot-Turion, MM. Ould-Sidi, **A. Kadrani**, N. Hilgert, F. Lescourret. **“Heuristic value of a ‘Virtual fruit’ model of peach fruit quality and sensitivity to brown rot: impact of a single mutation and design of ideotypes”**. *IXth International Symposium on Modeling in Fruit Research and Orchard Management, June 19-23, 2011, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada.*
3. **A. Kadrani**, MM. Ould Sidi, B. Quilot-Turion, M. Génard, F. Lescourret. **“Particle swarm optimization for designing ideotypes for sustainable production systems”**. *In proceeding of the International conference on swarm intelligence ICSI'2011. June 14-15 Paris, France.*
4. MM. Ould Sidi, B. Quilot-Turion, **A. Kadrani**, N. Hilgert, M. Génard, F. Lescourret. **“Application des algorithmes génétiques pour la conception de systèmes de culture durable”**. *In proceeding of the 12th annual conference of the French Society for Operations research (ROADEF). 2-4 Mars 2011, St Etienne, France.*
5. B. Quilot-Turion, **A. Kadrani**, MM. Ould Sidi, N. Hilgert, M. Génard, F. Lescourret. **“The virtual fruit: towards a tool to design ideotypes for sustainable production systems”**. *In proceeding of the 11th conference of the European Society for Agronomy ESA AGRO'2010. August 29 to September 03, 2010. Montpellier, France.*

IV. Missions

- Déplacements à Montpellier
- Participation à des conférences

Pendant toute la durée de ce projet (2010-2012), j'ai effectué plusieurs déplacements du travail à Montpellier pour faciliter les travaux de statistique et de modélisation (les courbes de croissance). D'autres déplacements sont également faits dans d'autres villes en France pour participer à des congrès scientifiques, notamment la conférence de la société française de la recherche

opérationnelle et l'aide à la décision à Saint-Etienne en mars 2011 et la conférence internationale de l'intelligence par essaim à Paris en juin 2011.

V. Bibliographies

Nous citons ici quelques articles scientifiques et livres sur lesquels s'est appuyée la réalisation de ce projet.

- Coello, C., Veldhuizen, D. V., Lamont, G., 2002. Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. *Eds David E. Goldberg and John R. Koza, New York, Springer.*
- Deb, K., 2001. Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms. *Wiley, Chichester, UK.*
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., 2002. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE T. Evolut. Computat.* 6, 182-197.
- Eberhart, R., & Kennedy, J., 1995. A new optimizer using particle swarm theory. *Paper presented at the 6th international symposium on micro machine and human science, IEEE service center, Piscataway, NJ, Nagoya, Japan.*
- Genard, M., Bertin, N., Borel, C., Bussières, P., Gautier, H., Habib, R., et al., 2007. Towards a virtual fruit focusing on quality: modelling features and potential uses. *Journal of Experimental Botany*, 58(5), 917-928.
- Hammer, G. L., Kropff, M. J., Sinclair, T. R., & Porter, J. R., 2002. Future contributions of crop modelling - from heuristics and supporting decision making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement. *European Journal of Agronomy*, 18(1-2), 15-31.
- Kadrani A., Ould Sidi M. M., Quilot-Turion B., Génard M., Lescourret F. (2012). "Particle swarm optimization to design ideotypes for sustainable fruit production systems". *International Journal of Swarm Intelligence Research (IJSIR)* 3 (2), 1-19.
- Lescourret, F., & Genard, M., 2005. A virtual peach fruit model simulating changes in fruit quality during the final stage of fruit growth. *Tree Physiology*, 25(10), 1303-1315.
- Quilot, B., Kervella, J., Genard, M., & Lescourret, F., 2005. Analysing the genetic control of peach fruit quality through an ecophysiological model combined with a QTL approach. *Journal of Experimental Botany*, 56(422), 3083-3092.
- Quilot-Turion B., Ould Sidi M. M., Kadrani A., Hilgert N., Génard M., Lescourret F., 2011. Optimization of parameters of the 'Virtual Fruit' model to design peach genotype for sustainable fruit production systems. *European Journal of Agronomy* 42 (2012), 34-48.
- Raquel, C., & Naval, P., 2005. An effective use of crowding distance in multiobjective particle swarm optimization. *Paper presented at the Conference on genetic and evolutionary computation, Washington (DC, USA).*
- Roudenko, O., Schoenauer, M., 2004. A Steady Performance Stopping Criterion for Pareto-based Evolutionary Algorithms. *Proceedings of the Sixth international conference of Multi-objective Programming and Goal Programming, April 14-16, 2004, Hammamet, Tunisia.*