

## Éclaircissage mécanique du pommier assisté par analyse d'image, Technologie innovante pour une arboriculture productive et écologique

Vaysse P.<sup>1</sup>, Mathieu V.<sup>2</sup>, Reynier P.<sup>1</sup>, Roche L.<sup>1</sup>, Codarin S.<sup>1</sup>, Lavialle O.<sup>3</sup>, Keresztes B.<sup>3</sup>, Guizard C.<sup>4</sup>, Gobrecht A.<sup>4</sup>, Grenier G.<sup>5</sup>, Bouniol M.<sup>6</sup>, St Hilary J.F.<sup>7</sup>, Lavoisier C.<sup>8</sup>

<sup>1</sup> CTIFL, Centre de Lanxade 28, route des Nebouts 24130 Prignonrieux

<sup>2</sup> CTIFL, Centre de Balandran BP32 30127 Bellegarde

<sup>3</sup> Bordeaux Sciences Agro, 1, cours du Général de Gaulle CS 40201 33175 Gradignan

<sup>4</sup> IRSTEA– 361 rue J.P. Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5.

<sup>5</sup> IMS, 351, Cours de le Libération, Bât 4A, 33405 Talence Cedex.

<sup>6</sup> CEHM, 34590 Marsillarges

<sup>7</sup> CEFEL, 49, Chemin des rives, 82000 Montauban.

<sup>8</sup> La Morinière, 37800 Saint Epain.

Correspondance : [vaysse@ctifl.fr](mailto:vaysse@ctifl.fr)

### Résumé

L'éclaircissage chimique est apparu dans les années 1950. Il est devenu très abouti à partir des années 80 où l'augmentation progressive du coût de la main-d'œuvre et les concurrences d'un marché mondial ont réduit la rentabilité des exploitations arboricoles. Aujourd'hui, les producteurs doivent faire face à la fois à l'augmentation des coûts de production et à la baisse de leur chiffre d'affaires. La maîtrise de la charge dans son ensemble est nécessaire à la viabilité et à la durabilité économique du verger. Le retrait du carbaryl, éclaircissant le plus utilisé et le plus efficace et la volonté d'intégrer des méthodes plus respectueuses de l'environnement a suscité un vif intérêt pour l'éclaircissage mécanique. Utilisé seul avec l'éclaircissage manuel ou en complément d'un éclaircissage chimique, l'éclaircissage mécanique est une technique prometteuse, mais qui s'avère difficile à mettre en œuvre. Il est donc primordial d'associer les matériels permettant des éclaircissements mécaniques sur fleurs et sur fruits à des outils d'aide à la décision. La rapide connaissance de l'intensité de l'éclaircissage mécanique, et donc du potentiel de production restant, sera un atout important. Ces données, intégrées dans le raisonnement de la maîtrise de la charge conduiront, si nécessaire, à des actions complémentaires chimiques ou manuelles, permettant de mieux maîtriser l'éclaircissage du pommier.

La mise en évidence de l'efficacité de l'éclaircissage mécanique et sa bonne adéquation avec une intervention chimique nécessite des comptages précis et représentatifs. L'apport de l'analyse d'image dans cette détermination du nombre de fruits apparaît comme une solution innovante. Elle permet de lever les obstacles de la sujétion propre liée aux comptages et éviter les erreurs liées à l'opérateur. De plus, cette technique fournit rapidement, et avec précision, les résultats de l'efficacité des méthodes éclaircissantes utilisées et de fait fiabilise leur gestion.

**Mots-clés :** pommier, éclaircissage mécanique, éclaircissage chimique, phénologie, analyse d'image, algorithme.

### **Abstract: Mechanical thinning of apple tree assisted by image analysis, innovative technology for a productive and ecological arboriculture**

Chemical thinning appeared in the 1950s. It was perfected starting in the eighties, when the cost of labour and worldwide competition reduced the profitability of fruit-growing farms. Nowadays, growers have to cope with rising production costs and a declining turnover. Controlling the overall fruit load is necessary for an economically viable and sustainable orchard. The ban on carbaryl, the most widely used and most efficient thinning product for this use, and the will to integrate environment-friendly

methods, have sparked a keen interest in mechanical thinning. Used independently with manual thinning, or in addition to chemical thinning, mechanical thinning is a promising technique, but difficult to implement. It is therefore essential that equipment for the mechanical thinning of flowers and fruits be linked to decision support tools. The ability to quickly assess the intensity of mechanical thinning, and thereby the remaining production potential, is an important asset. The integration of those data into the overall fruit load management will lead to additional chemical or manual intervention, if necessary, and thus improve the thinning strategy in apple orchards.

The efficacy of mechanical thinning and its adequate combination with chemical intervention requires accurate and meaningful counts. The use of image analysis in determining the number of fruits represents a novel solution. It lifts the obstacles linked to the specific constraints of counting, and avoids operator-induced errors. Moreover, the speed and accuracy of this technique will show the efficiency of the thinning methods used, making thinning management more reliable.

**Keywords:** apple, mechanical thinning, chemical thinning, phenology, image analysis, algorithm.

## Introduction

Le sujet vise, dans un premier temps, à étudier des modalités mixtes d'éclaircissage mécanique du pommier d'abord sur fleurs à l'aide de l'outil Darwin (fouet rotatif) puis sur fruits (secouage et/vibrage des arbres), combinées ou non à des séquences d'éclaircissage chimique réalisées avec la palette restreinte, lors de la mise en route du projet, des « éclaircissants homologués » ou ceux pour lesquels les dérogations obtenues laissent présager un enregistrement.

Dans un deuxième temps, l'objectif est d'adapter un dispositif de prise de vues préalablement développé par IRSTEA et de développer l'interface logicielle adaptée aux spécificités de l'éclaircissage (Bordeaux Sciences Agro et IMS). A partir d'images acquises par un appareil photo, cette interface aura pour but de fournir au producteur une estimation des potentiels de floraison avant et après éclaircissage mécanique sur fleurs et des potentiels de nouaison avant et après éclaircissage mécanique sur fruits (secouage ou vibrage). Ceci est fait dans le but de déterminer *a priori* l'importance des éclaircissements complémentaires à réaliser et *a posteriori* de juger de l'efficacité de ces éclaircissements.

Dès la chute physiologique de juin, une série de prises de vues permettra d'estimer de manière objective, en suivant un protocole expérimental adapté, l'importance de l'éclaircissage manuel où les contraintes de main d'œuvre imposent un raisonnement technico-économique précis.

*In fine*, l'outil ainsi défini sera proposé dans une version logicielle conviviale adaptée aux arboriculteurs.

## 1. Partie éclaircissage mécanique et chimique

### 1.1 Utilisation de l'outil Darwin

Cet appareil (Darwin, Figure 1) à fils rotatifs est le premier équipement destiné à l'éclaircissage mécanique du pommier ; il a été créé par Hermann Gessler, arboriculteur en Allemagne.

Cet outil tracté présente une broche de 2,5 m à 3 m de hauteur. Sur la broche, plusieurs éléments appelés barrettes portent 18 fils d'une longueur de 60 cm. La sévérité de l'éclaircissage est liée à la vitesse d'avancement du tracteur et à la vitesse de rotation de la broche et des fils. Darwin s'utilise indépendamment des conditions climatiques aux stades E2-E3 (stades Fleckinger).

Les interventions proches de la pleine floraison entraînent une augmentation de l'efficacité de l'éclaircissage. Le temps d'utilisation à l'hectare est très court, de 1 à 3 h/ha. La qualité d'éclaircissage est en relation étroite avec l'épaisseur de la haie fruitière. L'intensité d'éclaircissage est généralement plus importante à l'extérieur qu'à l'intérieur de l'arbre. Depuis 2009, les nouveaux équipements Darwin

disposent de nouveaux fils plus rigides pré-moulés. Les machines plus anciennes ont la possibilité d'être mises à jour car les nouvelles barrettes sont à la même dimension que les anciennes.

Principaux réglages : vitesse d'avancement 7 à 8 km/h, vitesse de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre : 250 tr/min, utilisation au stade E2 avec 180 fils en moyenne en axe central essentiellement dans la moitié supérieure de l'arbre et 200 à 300 fils en Mur fruitier.



**Figure 1** : Outil Darwin

### 1.2 Utilisation de l'outil « Electro'flor »

L'effleureuse Electro'flor® (Figure 2), appareil électroportatif de la société Infaco SAS, peut être utilisée au stade E2 avec 5 à 8 fils de 26 cm à 1 200 tr/min. Cet appareil est utilisé localement dans le bas ou sur la totalité des arbres conduits en axe central. Cet outil permet d'intervenir à l'intérieur d'arbre en volume mais présente l'inconvénient de nécessiter 30 à 60 heures de main d'œuvre à l'ha.



**Figure 2** : Outil Electro'flor

### 1.3 Utilisation de l'outil « Vibreur »

Le vibreur « pomme » (Figure 3) est une adaptation de l'outil de vibration/secouage utilisé pour la récolte de la prune d'Ente et des pommes à cidre. Un système de pince monté sur silent blocs permet de faire vibrer l'arbre sans endommager le tronc. Cet appareil est utilisé pour remplacer ou réduire l'éclaircissage manuel réalisé dès la chute physiologique de juin.

Le Vibreur modèle Vibrapom de la Société Somaref, effectue un vibration de 2 secondes par arbre avec un régime moteur du tracteur de 2 000 tr/min. L'intervention se fait au stade (F2+60 à 70j).

Les tests sur modèles à impulsion ont montré que ce type d'outil n'était pas adapté car provoquant des

blessures sur les troncs des arbres et trop peu efficace pour éclaircir.



Figure 3 : Outil Vibreur

#### 1.4 Bilan d'éclaircissage

Les traitements combinés avec outil mécanique comme la Darwin ou l'effleureuse ont amélioré les effets éclaircissants. Leur utilisation seule ne peut encore procurer un taux d'éclaircissage économiquement compatible.

L'effleureuse est une solution intéressante d'éclaircissages mécaniques sur la fleur mais reste un outil peu adapté aux grandes surfaces de vergers (30 à 60 heures/ha). Son utilisation est sujette à l'effet « opérateur » et peut générer des niveaux d'éclaircissage différents ou hétérogènes selon la personne qui l'utilise.

L'utilisation du vibreur s'avère une alternative intéressante au passage manuel de juin, à condition d'utiliser un outil peu traumatisant pour les troncs comme l'appareil Somaref. Il est intéressant notamment sur le calibre mais reste plus hétérogène dans le résultat qu'un éclaircissage manuel. Cela reste un outil de rattrapage intéressant lorsque l'efficacité des traitements éclaircissants a été insuffisante. Moyennant quelques adaptations au niveau de la mâchoire qui enserre l'arbre, il permet de réaliser un éclaircissage d'appoint, il est d'un réel intérêt en production biologique ou pour les variétés de pommes à cidre mais il a une faible efficacité sur le retour à fleurs.

Les traitements combinés avec outilmécanique comme la Darwin et traitements chimiques avec programmes allégés ou à dose réduite ont amélioré les effets éclaircissants. L'éclaircissage mécanique avec l'outil Darwin permet de réduire le taux de floraison jusqu'à 50 % selon les formes d'arbre. Une hétérogénéité est notée avec ce mode mécanique qui supprime majoritairement des corymbes entiers contrairement aux solutions chimiques qui ont une action plus sélective sur le corymbe. On peut réduire l'hétérogénéité au niveau de l'arbre entre le haut et le bas.

Des mesures de la surface foliaire ont été réalisées. L'utilisation de Darwin entraîne, dans les conditions de l'essai, une réduction de surface foliaire de 37 %. La suppression des premières feuilles de rosette a une incidence significative sur le taux de nouaison (hypothèse de diminution de la photosynthèse et augmentation de la compétition entre feuilles, pousses et fruits). Le mode d'action de Darwin est double, mécanique et physiologique. En résumé, ses actions sont une réduction précoce de la nouaison et de la charge des arbres, une action mécanique indépendante des conditions climatiques, elle favorise le calibre des fruits et est sans incidence sur la rugosité et permet de localiser l'éclaircissage dans une partie de l'arbre.. De plus, il n'a pas été observé de propagation de maladies à ce jour (feu

bactérien

Darwin ne remplace pas totalement l'éclaircissage chimique et manuel, cela conduit à adopter des stratégies d'éclaircissage mécanique et chimique différentes selon les variétés, et elle nécessite aussi une adaptation des vergers vers des formes planes. L'utilisation de l'outil conduit à une réelle économie de substances actives soit par le remplacement des substances chimiques employées en pré-floraison ou floraison soit en limitant la dose de produits de post floraison. Elle se justifie donc économiquement.

## 2. Mise au point d'un outil d'analyse d'image

Afin d'améliorer la prise d'information sur l'opportunité et les intensités d'éclaircissages tant mécaniques que chimiques, les comptages sur inflorescences, fleurs et fruits, réalisés manuellement seront conduits par analyse d'images acquises par un appareil photo, puis traité par un logiciel dédié objet du programme décrit ci-après.

### 2.1 Détermination de la zone d'intérêt (ROI)

Il est apparu illusoire de vouloir saisir une photo du haut ou du bas de l'arbre en raison de très fortes hétérogénéités entre vergers. La prise de vue au milieu de la frondaison sur une ROI (region of interest) de 1 m<sup>2</sup> semble être le meilleur indicateur de la charge globale de l'arbre et ce, quel que soit le mode de conduite.

Les prises de vues ayant servi à la validation des résultats sont donc essentiellement des prises de vue situées en milieu de frondaison (Figure 4).



Figure 4 : Cadre de prise de vue 1mx1m

#### 2.1.1. Définition du nouvel indicateur de charge

Concernant le protocole d'échantillonnage sur la parcelle, l'objectif est bien d'obtenir un indicateur de charge estimant la charge globale des arbres. Nous proposons de remplacer le comptage manuel effectué à la branche par le comptage des fruits dans la région d'intérêt, tout en conservant le cahier des charges du protocole CEB n°119.

L'indicateur de la charge n'est donc plus le nombre de fruits comptés sur des branches sélectionnées par l'opérateur (indicateur potentiellement sujet à variabilité et à erreur) mais la densité de fruits obtenue en moyennant les comptages sur 1 m<sup>2</sup> de frondaison par arbre des parcelles élémentaires.

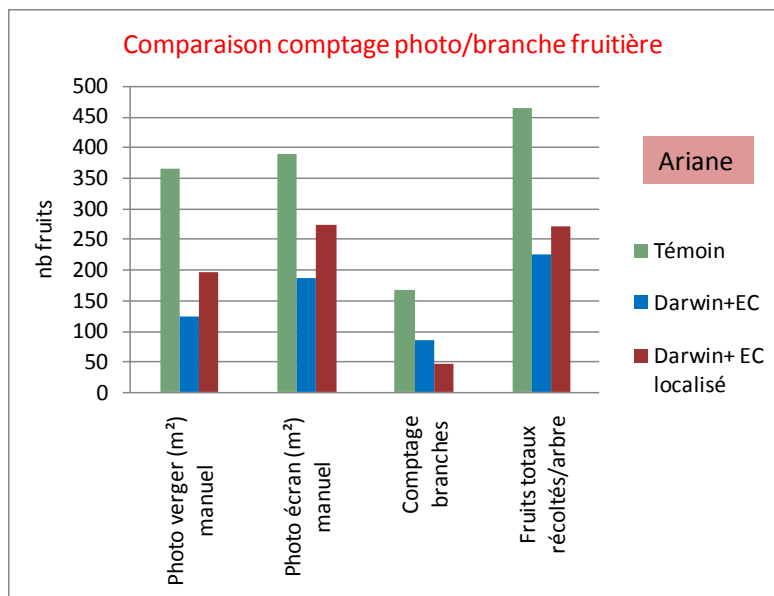
La validation de cet indicateur passe par deux étapes :

- Vérifier la pertinence de l'indicateur « densité » en le rapportant au nombre de fruits réellement récoltés sur chacune des parcelles élémentaires. Cette validation est réalisée par comptage

« manuel » des fruits directement dans le cadre de prise de vue en verger et comptage « manuel » sur photo.

- Cette densité doit être correctement estimée par analyse d'image.

Par ailleurs, nous avons montré que la nouvelle méthodologie proposée pourrait remplacer avantageusement la méthode de comptage par branche échantillon dont les résultats sont parfois en contradiction avec la réalité. Le nouvel indicateur de charge surpasse donc en performance celui classiquement utilisé (Figure 5 illustrant la bonne relation entre comptage manuel (soit au verger, soit sur écran) et le nombre de fruits récoltés).



**Figure 5** : Comparaison des différentes méthodes de comptages : au verger sur un m<sup>2</sup>, sur écran sur un m<sup>2</sup> ou par branche fruitière.

## 2.2 Définition d'un système de prise de vue

Le système de prise de vue a été développé par IRSTEA, qui en s'appuyant sur son expérience dans ce domaine a proposé un système utilisant des outils photographiques du commerce.

L'idée est de proposer un système de prise de vue indépendant des conditions d'éclairage, qui privilégie un premier plan lumineux et un arrière-plan sombre, l'image pouvant par la suite être traitée dans l'espace colorimétrique HSL. (H= teinte, hue en anglais, S=saturation, L= luminance).

Le principe étant d'avoir un réglage manuel de l'appareil photo (Canon G11 /G12) et du flash (Sigma EF350) - un adhésif sur le socle permet de neutraliser l'automatisme du flash, et ainsi de le faire fonctionner à pleine puissance. La photo est prise au 1/3200<sup>ème</sup> de seconde avec un diaphragme ouvert à F8 et un flash à pleine puissance.

Le cadrage se fait sur le cadre bleu, comme montré sur la figure 4.

## 2.3 Conception d'un algorithme d'analyse d'image

Les images à traiter sont de trois ordres :

- Inflorescences au stade E,
- Fleurs au stade F2,
- Fruits à partir du stade I-J de diamètre de plus de 20 mm.

### 2.3.1. Détection des bourgeons et des fleurs

A cette étape, on utilise une segmentation couleur de l'image soit dans l'espace de couleur HSL (HSV) ou RVB. Les résultats se présentent comme nombre des pixels segmentés et pourcentage de l'image segmentée. Pour les bourgeons (stade E), la discontinuité des pixels colorés permet de réaliser un comptage de ces bourgeons. Pour les fleurs, on donne un pourcentage de pixels blancs correspondant à une intensité de floraison.

La Figure 6 montre les corrélations ( $R^2$  voisin de 0,60) entre comptage manuel des bourgeons ou fleurs et résultats du logiciel. Après le passage de Darwin qui fait chuter les pétales, on ne retrouve plus de corrélations entre comptage des corymbes restants et le pourcentage de pixels blancs.

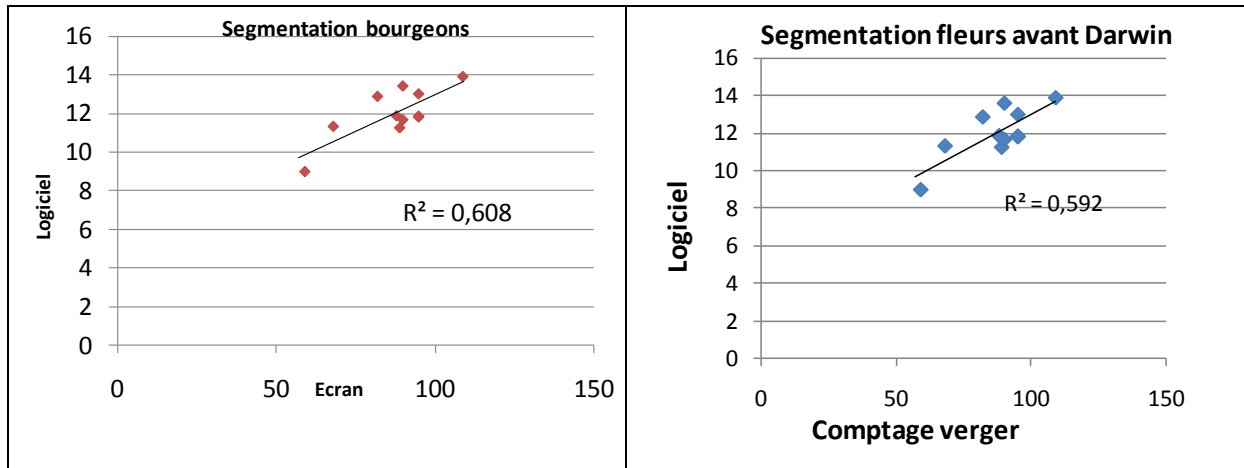


Figure 6 : Relations comptage et segmentation logiciel sur bourgeons et fleurs

### 2.3.2. Détection des pommes

#### ○ Transformée Hough radial (HR) :

C'est l'algorithme proposé pour l'implantation pratique pour la détection des pommes utilisant les champs de gradient. La méthode se base sur le fait que les gradients sont divergents et circulaires sur l'image d'une pomme.

On calcule dans un premier temps l'image gradient (intensité et direction du gradient pour chaque pixel), et on trace un segment ayant la direction inverse au gradient et une longueur fixe (supérieure au rayon du fruit).

Dans le cas d'une pomme, ces vecteurs convergent en un seul point (pic lumineux), qui sera bien marqué sur l'image. Sur les autres objets, où les gradients ne sont pas divergents, ce pic n'apparaîtra pas.

Cette approche ne nécessite pas d'apprentissage et reste insensible aux changements de lumière. Le problème du seuillage automatique de l'image résultante pour comptage des pics reste toutefois posé.

D'autre part, il est nécessaire de déterminer un critère d'arrêt pour le comptage automatisé (Figure 7).

#### ○ Champs de Markov

La méthode dite des Champs de Markov utilise le traitement de l'image dans l'espace HSL. Son principe consiste à dire que la probabilité qu'un pixel soit considéré comme « pomme » dépend de sa couleur ainsi que de son voisinage. Cette méthode nécessite ici un apprentissage.

Cette méthode fonctionne bien avec les fruits verts d'un diamètre supérieur à 20 mm, mais ne détecte pas les fruits tournant rouges. Aussi, un autre algorithme a été développé pour les fruits rouges incluant au départ une pré-segmentation couleur sur les canaux R et B, détection par la transformée de Hough puis réalisation d'attributs de formes (distributions statistiques des pixels autour des points centraux et

sélection des fruits selon ces deux méthodes.

## Principe de l'algorithme

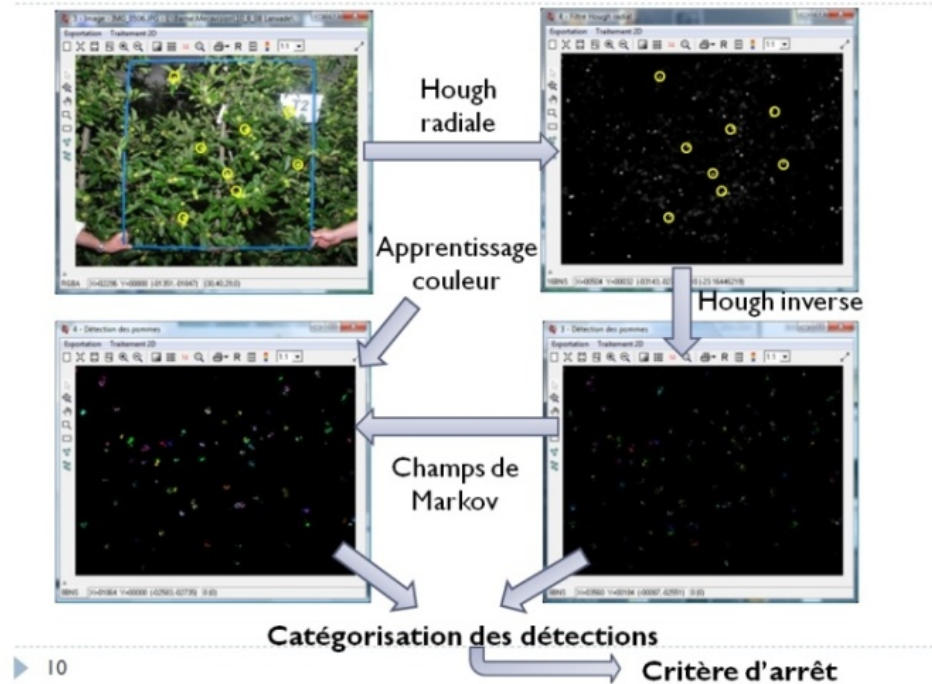


Figure 7: Principe de l'algorithme

La Figure 8 montre les corrélations entre comptage manuel sur écran des photos prises en verger par rapport au comptage réalisé par le logiciel pour les fruits verts à gauche et fruits rouges à droite

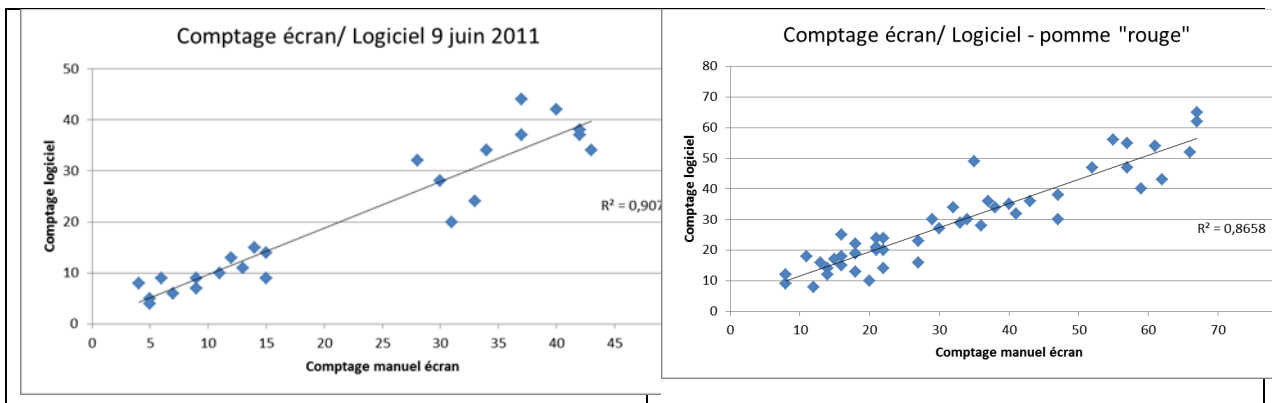


Figure 8 : Résultats de comptage sur fruits

## En conclusion

L'outil dans sa version expérimentale fonctionne sur la plateforme de traitement d'image développée au sein d'IMS. Il permet de compter le nombre d'inflorescences au stade E, l'intensité de floraison et d'estimer le nombre de fruits dès 25 mm de diamètre.

L'outil à vocation professionnelle en cours de développement offrira les mêmes fonctionnalités dans une version ergonomique et conviviale accessible à tous.



Une dernière phase de validation sur la campagne 2012 a permis de valider des résultats notamment sur des bourgeons (avec utilisation du flash) et sur des fruits de plus petit calibre entre 20 et 30 mm.

Ce nouvel outil, dénommé MécaVision®, permettra d'apprécier le potentiel floral et la charge des arbres grâce à l'utilisation de l'analyse d'image. Le pilotage des éclaircissages chimiques et/manuels, sera rendu possible ainsi que l'aide à l'estimation des récoltes. La version professionnelle de traitement des images sera validée en 2013 pour être disponible en 2014.

### Références bibliographiques

- Mathieu V., Ferré G., Lavoisier C., Dupont N., Genivet I., Guignebault P., Méry D., Reynier C., Saint Hilary J.F., 2005. Eclaircissage du pommier : Ethéphon mode d'emploi - L'Arboriculture Fruitière 591.
- Mathieu V., Ferré G., Lavoisier C., Dupont N., Genivet I., Guignebault P., Méry D., Reynier C., Saint Hilary J.F., 2005. Eclaircissage du pommier : l'Ethéphon sous toutes ses coutures - L'Arboriculture Fruitière 590, 40-46.
- Miranda C., Royo J.B., 2004. Statistical model estimates potential yields in 'Golden Delicious' and 'Royal Gala' apples before bloom. J. Am. Soc. Hort. Sci. 129, 20–25.
- Peterson D.L., Anger W.C., Bennedsen B.S., Wolford S.D., 1999. A system approach to robotic bulk harvesting of apples. Annual meeting of ASAE, 1999, Paper No. 99-1075.
- Rabatel G., Guizard C., 2007. Grape berry calibration by computer vision using elliptical model fitting, 6em European conference in precision agriculture, Skiathos (Grece), 2007.
- Regnard J.L., Kelner J.J., 1998. Eclaircissage : les bases physiologiques, Fruits et Légumes n°162, Encart éclaircissage. REV (Rendement Estimé par le Volume), Colloque L'innovation en Viticulture/Œnologie, Toulouse, 2005,
- Roche L., 2008. L'éclaircissage du pommier ; l'expérience allemande. Infos Ctifl 238, 9-10.
- Roche L., 2004. Pomme : l'éclaircissage mécanique selon Darwin. Fruits et Légumes – Réussir 27, 74-75.
- Safren O., Alchanatis V., Ostrovsky V., Levi O., 2007. Detection of green apples in hyperspectral images of apple-tree foliage using machine vision. ASABE paper 50(6), 2303-2313.
- Stajanko D., Lakotaa M., Holmagevar M., 2003. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging, Computers and Electronics in Agriculture 42, 31-42.
- Duda R.O., Hart P.E., 1972. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures. Comm. ACM, 15, 11–15
- Keresztes B., Lavielle O., Grenier G., Vaysse P., 2012. Apple yield estimation during the growth season using image analysis: International Conference on Agricultural Engineering, Valencia..
- Vaysse P., Reynier P., Jourdain J.M.J., Vayssière M., Trillot M., Osaer A., Liberman M., Lavielle O., Guérin V., Reilles G., Ardourel C., Guignebault P., Bourely A., Bouziges JP., Larrive G., Paul L., 1996. Prévision de récolte - Amélioration de l'existant et prospective. Ctifl, Paris, 54 p.
- Vaysse P., Reynier P., Lavielle O. et al, 1996. PREVAQUI, Logiciel de prévision de récolte - Ctifl.
- Winter F., 1986. Modelling the biological and economic development of an apple orchard, Acta Horticulturae 160, 353-360.
- Zhao J., Tow J., Katupitiya J., 2005. On-tree fruit recognition using texture properties and color data. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, p 3993-3998.