Etude de faisabilité d'un système d'acquisition d'images de végétaux pour la détection précoce de pathologies

Céline HUDELOT

Juin 2002

1 Contexte général

Ces travaux de recherche se situent dans le cadre d'une coopération entre l'équipe ORION de l'INRIA Sophia Antipolis et l'INRA Sophia (URIH) sur le thème de la protection intégrée des cultures. Cette étude a pour objectif de répondre à la demande du public pour une agriculture durable de bonne qualité pour le consommateur, moins nocive pour les agents et moins polluante pour l'environnement. La protection intégrée des cultures consiste à intégrer différents moyens naturels de protection comme la lutte biologique, l'action sur les facteurs climatiques sous serre et les techniques culturales. Pour la mise en oeuvre efficace de cette dernière, il est nécessaire de détecter les pathologies le plus tôt possible.

Plus précisemment, il s'agit de mettre au point un système automatique d'interprétation d'images de végétaux in situ pour la détection précoce (apparition des premiers symptômes) et le suivi des pathologies. Ce travail comporte deux grands aspects :

- un aspect système physique : la mise au point d'un système automatique ou semi-automatique d'acquisition d'images de vegétaux non destructif dans une serre.
- un aspect interprétation automatique d'images : faire des avancées dans le domaine de la vision cognitive pour résoudre le problème complexe du diagnostic automatique des pathologies.

Ce rapport vise à présenter les différents travaux effectués[1] concernant le système d'acquisition et à formuler les conclusions sous la forme d'un ensemble de spécifications sur ce dernier pour le bon déroulement de l'interprétation d'images.

2 Système d'acquisition d'images in situ

Cette étude a été réalisée dans le cas d'une détection précoce de l'oïdium du rosier de serre : un des problèmes majeurs en production horticole ornementale.

[1]Ces différents travaux ont été réalisés avec l'aide de Guy PEREZ et Paul BOISSARD de l'URIH (Unités de Recherches Intégrées en Horticulture)

2.1 Cahier des charges

Dans les conditions réelles d'utilisation, c'est à dire dans une serre, le système d'acquisition d'images doit répondre aux cahiers des charges suivant :

1. Il doit permettre de détecter les apparitions précoces de la maladies qui sont souvent non visibles à l'oeil nu mais à une échelle microscopique. Dans le cas de l'oïdium, ces signes peuvent prendre l'allure de filaments blancs d'épaisseur environ 5 microns.
2. Il doit permettre une détection non destructive : les acquisitions doivent donc se faire sur organe vivant et non sur organe détaché.
3. Une conséquence de la condition précédente est qu'il doit être portable : il doit permettre de se deplacer dans la végetation mais aussi de balayer l'organe observé
4. De plus, le travail de reconnaissance de phénomènes biologiques étant un travail relativement complexe, le système d'acquisition doit fournir des images de qualité et les conditions d'acquisition doivent, dans la mesure du possible, être rigoureusement identiques d'une acquisition à l'autre.

2.2 Le vidéomicroscope

Une première action de recherche (Action HORTICOL) réalisée au sein du partenariat INRIA/INRA[2] a permis de définir le système d'acquisition suivant :

- Un vidéomicroscope (Chroma modèle 7310), manipulable à l'aide d'une poignée, de grossissement 100, constitué d'une matrice de cellules CCD couleur et munie d'une sortie analogique. Il est également équipé d'une couronne de 6 LED blanches permettant l'éclairage de la cible. Ses principales caractéristiques sont fournies ci-dessous.

Optique	**Valeur**
Grandissement	100x
Profondeur de champ	>0.5 mm
Distance de travail	4 mm
Zone visible	2.8 mm(H)*2.2 mm
Electronique	**Valeur**
Capteurs CCD	795(H)*596(V)
SNR (en dB)	46 dB
Température	5 à 40 degrés
Hygrométrie	35 à 80 % d'humidité relative

Pour permettre l'utilisation dans des conditions réelles, un ordinateur transportable de type PC possédant une carte d'acquisition, ainsi qu'un chariot pour permettre la mobilité de l'ensemble à l'intérieur de la serre ont éte ajoutés au système.

Un travail de stage de DEA [1] a permis de montrer qu'il est possible de détecter à l'aide de ce capteur, dans des conditions non réelles (travail hors serre sur végétal détaché), les filaments d'oïdium.

[2]Participants : Monique THONNAT et Alain BOUCHER (INRIA équipe ORION), Paul BOISSARD et Pierre PYRRHA (URIH)

FIG. 1 – Le vidéomicroscope en serre

Cependant, le vidéomicroscope est avant tout un outil d'observation visuelle (utilisation dans l'industrie électronique pour la vérification des cartes) et des travaux récents sur l'utilisation réelle de ce capteur en serre ont permis de mettre en évidence ses limites.

2.2.1 La manipulation et maniabilité du capteur

Une des grandes originalités du vidéomicroscope est sa maniabilité (poignée). Cette originalité permet une observation fortement grossie non destructive des organes de la plante. Cependant ici, il ne s'agit pas de voir mais d'acquérir des images pour une interprétation. Le vidéomicroscope offre deux possibilités : une acquisition avec mise en contact avec l'organe ou une acquisition sans contact. La mise en contact avec la plante s'est révélée relativement destructive pour les cellules de la plante. L'acquisition sans contact est une opération relativement impossible pour un opérateur humain (problème de la stabilisation du capteur). De plus, il est impossible de garantir des conditions d'acquisition identiques d'une acquisition à l'autre. Une solution a donc été de fixer le capteur sur un support de microscope. Cette solution avait été pensée dans le cas de manipulations avec l'unité de l'INRA Fréjus[3] dont le but était l'observation d'une attaque d'oïdium provoquée par inoculum primaire sur foliole cultivée dans des boites de Pétri à partir de l'instant zéro. Ce dernier système nous permet un balayement horizontal de la feuille et une mise au point plus fine mais l'acquisition d'images sur organe vivant devient alors un défi mécanique voire robotique (amener le dispositif de vision à l'organe).

[3]Travaux réalisés avec Nicole Ballino et Géraldine Guiguon

2.2.2 L'éclairage

Pour permettre une bonne visualisation sur un moniteur, l'objet est éclairé par la couronne de 6 LED entourant le système d'agrandissement. On observe alors une saturation de couleur blanche et une forte diminution de la dynamique chromatique. De plus, dans le cas des feuilles qui ont une refexion brillante (certaines variétés), on observe de nombreux reflets qui cachent l'information cherchée.

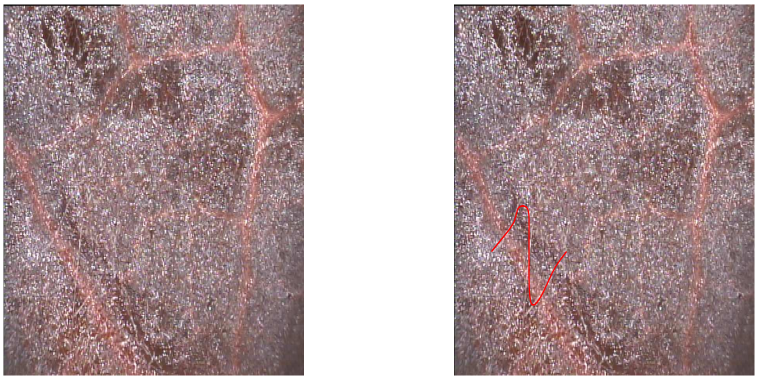

Fig. 2 – Les reflets dus à l'éclairage cachent l'information utile. A gauche, l'image éclairée ; à droite, l'information recherchée (filament en Z dessiné).

Pour remédier à cet inconvénient, la couronne de LED a été demontée et des essais avec d'autres systèmes d'éclairage ont été réalisés dans un premier temps en laboratoire.
Les premiers essais ont été faits avec un éclairage à deux fibres optiques indépendantes et à guidage semi-rigide. Ce dernier permet de bien faire ressortir l'objet d'intérêt (dans notre cas l'oïdium) mais il est nécessaire de régler cet éclairage pour chaque acquisition. C'est donc assez contradictoire avec le point 4 du cahier des charges. Un autre essai a été d'utiliser une couronne de fibre optique (éclairage de loupe binoculaire par fibre optique annulaire SCHOTT KL 1500) et de la fixer sur le vidéomicrocope. Les resultats obtenus avec la couronne de fibre optique étant les plus satisfaisants, le dispositif a été déplacé en serre pour quelques manipulations.

FIG. 3 – Avec les deux fibres optiques en laboratoires. Les résultats semblent bons mais il faut régler l'éclairage pour chaque acquisition

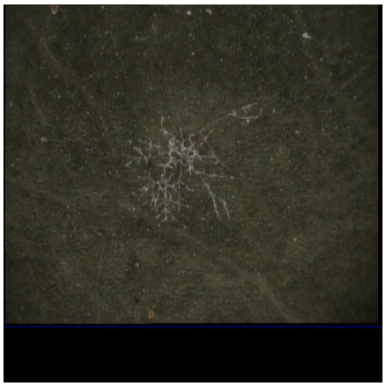

FIG. 4 – Avec la couronne de fibre optique en serre. Les détails fins restent cependant difficilement détectables

FIG. 5 – Avec la fibre optique annulaire en laboratoire. Les details fins restent cependant difficilement détectables

FIG. 6 – Le dispositif amélioré en serre

2.2.3 L'optique du capteur

D'un point de vue optique, le vidéomicroscope possède aussi certaines limites. D'une part, il ne permet pas une mise au point très fine. D'autre part, le vidéomicroscope est actuellement limité à un seul objectif : l'objectif de grossissement 100. Cet objectif permet de détecter les filaments d'oïdium (stade précoce de l'attaque) sous certaines conditions d'acquisition (éclairage amélioré, organe détaché et fixé sur une table de déplacement de microscope, capteur fixé) mais il ne convient pas forcément à d'autres pathologies (botrytis, ravageurs) ou même à une analyse plus fine de l'attaque d'oidïum (détection des conidiophores et conidies, état du champignon...). De plus, il semble intéressant d'avoir une information multi-echelle sur l'état phytosanitaire de l'organe observé (état à l'echelle de l'oeil humain, état echelle i, état échelle j...). Il est possible de se procurer toute une gamme d'objectifs compatibles avec ce vidéomicroscope (20x, 40x, 100x, 200x, 400x, 650x, 1000x, 5x/10x, 35x) mais le changement d'objectif est une opération manuelle peu compatible avec l'exigence de conditions d'acquisitions stables. Enfin, un dernier point concernant le vidéomicroscope est qu'il a un champ de vue assez limité.

2.2.4 Des conditions limites d'utilisation qui peuvent être contradictoires avec les conditions de serre

Les conditions d'hygrométrie et de température spécifiées par le constructeur sont très frequemment dépassées en serre, surtout pendant l'été (se référer au tableau des caractéristiques du capteur).

2.3 Conclusion

Aux vues des difficultés rencontrées pour l'acquisition d'images de pathologies in situ, il a été décidé de séparer l'objectif biologique de détection précoce de pathologies en 2 volets indépendants :

- Le premier volet concerne les recherches sur les capteurs et la mise en condition réelle d'utilisation c'est à dire en serre pour une détection non destructive. Ces recherches, menées par l'INRA, pourront s'inspirer des conclusions de ce rapport.
- Le deuxième volet concerne les recherches en informatique pour la conception de techniques d'interprétation automatique d'images. L'interprétation se fera à partir d'images macroscopiques et microscopiques d'organes détachés. Les spécifications pour l'acquisition de ces images sont détaillées dans le chapitre suivant.

3 Système d'acquisition d'images hors serre

3.1 Cahier des charges

Dans le cas d'acquisition d'images pour une interprétation, le système doit répondre aux conditions suivantes :

1. Il doit permettre une analyse de l'état phytosanitaire de l'organe observé à différentes échelles. Il s'agit non seulement de détecter les apparitions précoces des pathologies (objets microscopiques) mais il faut aussi pouvoir disposer d'une information macroscopique pour faciliter le raisonnement.
2. Les conditions d'acquisition doivent être stables.
3. Le système doit permettre au capteur de balayer l'organe.

3.2 Expérimentations

En plus des expérimentations avec le vidéomicroscope, des expérimentations sur la détection précoce de l'oïdium ou sur l'analyse fine de l'état de l'oïdium ont éte menées à l'aide de deux appareils optiques différents permettant plusieurs grossissements : une loupe binoculaire et un microscope à transmission.

3.2.1 La loupe binoculaire

Il s'agit d'une loupe binoculaire Olympus SZH (objectif DP PLAN 1x). Elle permet un grossissement de 7.5 à 64. Pour les acquisitions, elle a été équipée du système d'acquisition d'images numérique Olympus DP10 (matrice CCD 1280*1024 pix, couleurs 3*8 bits). Ce dispositif possède plusieurs avantages par rapport au vidéomicrocope dans le cas d'une acquisition sur organe détaché :
- Il posséde un grossissement variable en continu et permet donc une observation de l'organe à plusieurs échelles sans devoir changer d'objectif.
- La résolution du capteur est bien meilleure que celle du vidéomicroscope (cf figure 6 et figure 7).
- Enfin, l'éclairage est stable.

Par contre, pour pouvoir effectuer un balayage précis de la feuille, il est nécessaire de munir la loupe binoculaire d'une table de déplacement en x et y de microscope comme celle utilisée pour le vidéomicroscope.
De plus, un inconvénient du système actuel est que la mise au point pour l'observation au travers des oculaires n'est pas la même que pour l'acquisition. Pour avoir une image nette, il est donc nécéssaire de faire plusieurs acquisitions pour une même image en jouant sur la mise au point et de selectionner la meilleure.

Une autre solution serait d'équiper le dispositif d'un moniteur. Les images suivantes montrent quelques démarrages d'oïdium.

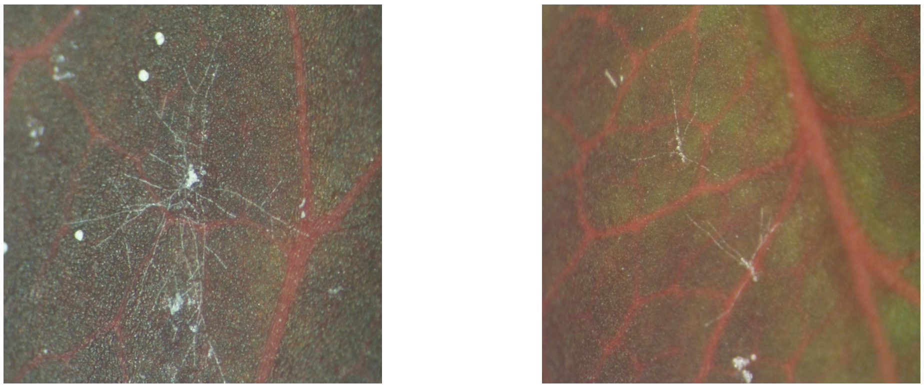

FIG. 7 – Début d'attaque d'oïdium à l'aide de la loupe binoculaire

3.2.2 Le microscope à transmission

Il s'agit d'un microscope à transmission Olympus possèdant plusieurs objectifs (x40, x100, x200). Il peut être équipé du même système d'acquisition que la loupe binoculaire. Tout comme cette dernière, il présente les avantages suivants :

- Il possède plusieurs objectifs et il permet donc une analyse multi-echelle de l'organe observé. Il permet une analyse très fine car il permet d'avoir des grossissements de 200.
- La capteur, identique à celui de la loupe binoculaire, a une très bonne résolution.
- L'éclairage est stable mais l'organe est éclairé par dessous de qui donne lieu à une importante information parasite (structure interne du végétal).

Le microscope à transmission permet une analyse fine de l'oïdium et un suivi de l'évolution de celui-ci (cloisonnement du mycélium, état des cellules végétales, présence de conidiophores et conidies, croissance des filaments) [4].

3.3 Conclusion

Au regard des différents résultats obtenus au cours de ces essais, deux systèmes d'acquisition respectant le cahier des charges semblent possibles pour l'acquisition d'images de végétaux détachés :

- Une première solution serait d'utiliser un appareil photo numérique sur support pour l'acquisition des images macroscopiques et le vidéomicroscope sur support fixe à déplacement micrométrique avec éclairage amélioré pour les images microscopiques. Cette solution nécessite d'améliorer la stabilité du système actuel et n' est enviseagable que si des échelles intermédiaires entre l'échelle 1 et l'échelle 100 ne sont pas nécéssaires.
- Une deuxième solution est d'utiliser la loupe binoculaire munie d'une table de déplacement en x et y et d'un système pour faciliter la mise au point. Cette solution semble de loin la meilleure tant pour la qualité de l'image

[4] Communication de Alain MORISOT (URIH)

(cf figure 7) que pour la stabilité du dispositif (Pour cette stabilité, tout composant du dispositif doit rester en place : capteur, table de déplacement, éclairage).

Quelque soit la solution choisie, il faudra respecter au maximum des conditions d'acquisition fixées au préalable (choix et réglage des capteurs, éclairage et prise en compte de son vieillissement, choix des échelles d'observation).

Un autre point très important concerne le contenu des images à acquérir. Elles doivent être représentatives des différents cas possibles et pour une analyse statistique il est nécessaire d'avoir un grand nombre d'images représentant ces différents cas. Il convient d'acquérir les différentes données selon des procédures précises d'échantillonage mises au point par les experts biologistes et les physiciens.

Enfin, il est important de définir de manière très précise une procédure d'acquisition à respecter pour chaque série d'acquisition.

Procédure d'acquisition

- Etape1 : Image macroscopique d'une feuille dont il n'est pas possible de diagnostiquer l'état phytosanitaire à l'oeil nu. Pour chaque image, il est nécéssaire de préciser le contexte biologique et le contexte d'acquisition de l'organe observé :
  - **Le contexte biologique**
    - La date
    - Les conditions climatiques au moment de la collecte dans la serre ou dans le phytotron : température, humidité relative...
    - L'espèce
    - La variété
    - La position de la plante dans la serre
    - La position de l'organe sur la plante.
    - ...
  - **Le contexte d'acquisition**
    - Le capteur utilisé
    - L'éclairage
    - ...
- Etape2 : Acquisition d'un ensemble de n images microscopiques à l'échelle i de l'organe observé. Il est nécéssaire de pouvoir localiser la position de chaque image microscopique dans les images moins grossies. Cette localisation peut se faire en balayant l'organe observé avec des pas constants en x et y (ex : 4mm en 4mm).

Pour le format de stockage des images, les formats *png* ou *tiff non compressé* sont à privilégier par rapport à *jpeg* format de compression avec pertes ou à *gif*, format privé.

Références

[1] Vincent Leclercq. *Analyse et interprétation d'images pour la détection des pathologies du rosier.* Stage de dea informatique, Université Louis Pasteur I, Strasbourg, juin 2001.