

# Analyse de l'influence des paramètres d'une chaîne de traitements d'images par un plan d'expériences

S. TREUILLET<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Vision & Robotique, UPRES EA 2078, Polytech'Orléans, BP 4567, 45067 Orléans Cedex

Sylvie.Treuillet@univ-orleans.fr

**Résumé** – A travers un exemple de contrôle industriel non destructif, cet article présente un plan d'expérience destiné à analyser l'influence du réglage des paramètres d'une chaîne de traitement sur la mesure fournie par le système de vision. Les outils statistiques associés aux plans d'expériences peuvent apporter des solutions à de nombreux problèmes de paramétrage, dans le cas d'un nombre d'essais limité sur une importante base de données ou d'un trop grand nombre de facteurs à étudier.

**Abstract** – Through an industrial non destructive control case, this paper presents an experimental design, meant for analysing the effect of parameters adjustment on the vision system measure. The statistical tools of the experimental design may bring some solutions to parameter adjustment problems, in the case of a limited number of test on a large data base or when there is too many parameters.

## 1. Introduction

Dans le foisonnement de traitements d'images développés ces dernières décennies, un petit nombre seulement d'algorithmes apportent une solution généralisable, souvent au prix d'un grand nombre de paramètres, dont le réglage délicat est fait de façon empirique. Plusieurs travaux ou livre se sont attaqués courageusement au problème du paramétrage des algorithmes. Citons l'ouvrage collectif du GDR ISIS [1] qui consacre deux chapitres à la comparaison des méthodes de segmentation et présente une synthèse des critères quantitatifs d'évaluation de la qualité de la segmentation, à laquelle on peut ajouter d'autres travaux plus récents [2-7]. Cependant, dans beaucoup d'applications industrielles, la segmentation n'est pas un but en soit mais un traitement intermédiaire en vue de mesurer des attributs sur des objets isolés dans la scène observée. Dans ce cas, l'évaluation globale de la chaîne de traitement doit porter sur cette mesure finale. Nous proposons dans cet article d'utiliser les outils statistiques des plans d'expériences pour analyser l'influence du réglage des paramètres d'une chaîne de traitement d'images, en minimisant les coûts de traitement dû à la combinatoire.

## 2. Contexte expérimental

Dans le cadre de l'automatisation des centres de réception des sucreries, le Syndicat National des Fabricants de Sucre (SNFS) et l'Association de Recherche de Techniques Betteravières (ARTB) évaluent un système d'imagerie conçu par la société CYBERNETIX, et destiné à l'estimation du taux de collet de chaque livraison de betteraves. Le *taux de collet* est un des indices utilisés dans les centres de réception des sucreries pour évaluer la qualité d'une livraison. Le collet d'une betterave est défini par la limite d'implantation des dernières insertions foliaires et correspond à une partie non marchande de faible teneur en sucre. Le principe de mesure retenu est un rapport de volumes, estimés à partir d'une

reconstruction 3D d'un vrac de betteraves par stéréovision. Le rapport de volume est équivalent au rapport de masse de la mesure traditionnelle par des masses volumiques proches de l'unité.

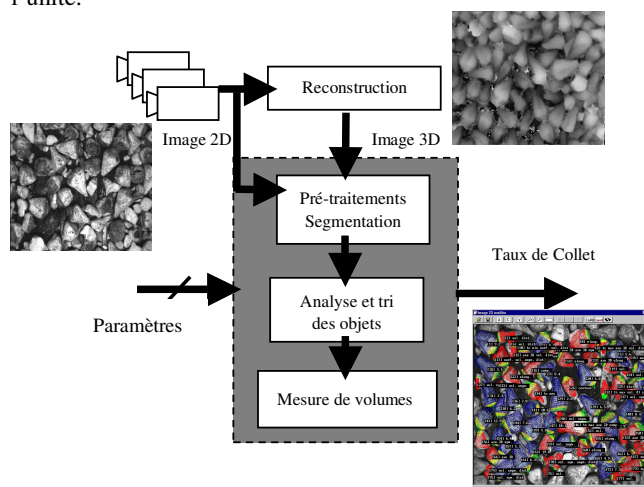


FIG. 1 : Chaîne de traitements des images

L'ensemble de la chaîne de traitement est décrite par le synoptique donné en FIG.1. Le vrac de betteraves, disposé sur le tapis de réception en une couche, est photographié par un système trinoculaire. En aval de l'étape de reconstruction, la chaîne comprend quatre étapes : pré-traitement, segmentation du vrac en betteraves individuelles, puis mesure des volumes des collets et des racines. Sans nuire à la compréhension de l'article, les traitements ne seront pas détaillés pour des raisons de confidentialité. Le système, déjà en test au cours de la campagne de production 2000, a permis la collecte d'une base de données images représentant environ 1662 lots. En parallèle, la mesure traditionnelle du taux de collet a été conservée. Le problème qui se pose à l'interprofession est de mettre en évidence une équivalence suffisante de la mesure fournie par le système  $TC_S$  relativement à la mesure traditionnelle  $TC_O$ , pour ne pas rompre l'équilibre financier

des échanges. Une première analyse statistique des résultats montre que cette équivalence est insuffisante. Afin d'améliorer les résultats, l'interprofession a commandé une expertise du système auprès du Laboratoire Vision & Robotique (LVR) de l'Université d'Orléans. Cette étude comporte une analyse préliminaire pour mettre en évidence l'influence du réglage d'un jeu de paramètres sur la mesure TC<sub>S</sub>. Avant de présenter ce plan et les résultats obtenus, la partie suivante introduit la méthodologie de recherche expérimentale.

### 3. Méthodologie de recherche expérimentale

Dans le cas qui nous préoccupe, l'ensemble de la chaîne de traitement des images peut être vue comme une boîte noire qui met en œuvre une trentaine de paramètres. La réponse du système Y peut s'exprimer comme une *fonctionnelle* :  $Y=F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , qu'on ne cherche pas à déterminer a priori, dont les variables  $X_i$  sont les paramètres du système.

Il arrive très souvent que plusieurs facteurs agissent sur une réponse donnée, on parle alors de *plan d'expériences*. Lorsque le nombre de facteurs augmente, le nombre d'essais nécessaires à la réalisation d'une expérimentation est exponentiel et devient vite trop important. Une expérimentation portant sur 10 facteurs, comportant chacun 3 niveaux, par exemple, nécessite un plan complet de  $3^{10} = 59049$  essais ! En dehors de la difficulté de réaliser une telle expérience, il faut souligner le coût élevé de ces essais.

Les recherches autour des plans d'expériences regroupent un ensemble de méthodes et d'outils destinés à aider l'expérimentateur à faire de la planification expérimentale, afin de tirer le maximum de résultats pour une dépense aussi faible que possible. La principale utilité des plans d'expériences est la réduction du nombre d'essais. Introduits dans les années 60 [8], ils rencontrent aujourd'hui un vif succès auprès des industries pharmaceutiques, automobiles, aéronautiques, agroalimentaires, [13] ..., dans le cas d'un nombre d'essais limité ou d'un trop grand nombre de facteurs à étudier, pour une optimisation de processus. Plusieurs types de plan d'expériences permettent de s'adapter à chaque situation [8-13]: plans en blocs incomplets, carrés latins orthogonaux, plans factoriels, plans  $3^k$ , plans fractionnaires  $2^{k-p}$ ... En pratique, pour qu'un plan d'expériences soit réalisable, deux questions majeures doivent être posées :

- i) Est-ce que les facteurs (ou les paramètres d'entrée) qui sont susceptibles d'agir sur la réponse sont maîtrisables ?
- ii) Est-ce que la réponse est quantifiable ?

Dans le cas de la chaîne de traitement d'images étudiée, nous avons opté pour une démarche en deux étapes. La première étape consiste à identifier les paramètres maîtrisables jouant un rôle important sur la réponse du système. La seconde étape s'attachera à trouver le jeu de paramètres optimal, afin d'ajuster au mieux la mesure issue de la machine de vision à la mesure traditionnelle, considérée

comme référence. La suite présente le plan d'expériences réalisé pour la première étape.

## 4. Plan d'analyse des facteurs maîtrisables

### 4.1 Facteurs

Le choix des facteurs est très important et nécessite une connaissance physique du problème. L'analyse préliminaire identifie une trentaine de paramètres intervenant dans la chaîne de traitement. Pour une part, ces paramètres interviennent dans des étapes très précoces (pré-traitements, reconstruction 3D) qui influencent peu la mesure délivrée par le système, d'autres ne sont pas accessibles. Par contre, on note que lors de l'étape de segmentation, le traitement écarte environ la moitié des betteraves. Le résultat est donc calculé sur un nombre réduit de betteraves sélectionnées par le système. Une partie de ces rejets s'expliquent par les conditions d'acquisition d'un vrac sur un tapis en mouvement (betteraves non entières, hors du champ de vue,...), le reste est la conséquence de paramètres réglables, appelés « critères de rejet », inhérents à la méthode. Les 5 critères apparaissant le plus fréquemment (TAB.1), responsables à eux seuls de la moitié des rejets, ont été retenus : *Compacité*, *Elongation*, *Surface\_min*, *Vol\_min*, *Taux\_max*. Pour ces facteurs, il est apparu important d'évaluer l'influence du réglage des seuils de rejets sur le taux de collet TCs calculé par le système, afin de s'assurer que l'échantillonnage est suffisant et aléatoire. D'autre part, un sixième facteur, noté *Crc*, a été isolé des 5 précédemment cités et testé dans un autre plan car il agit de façon très différente. Ce paramètre entre pour une grande part dans l'équation de détection du collet de chaque betterave. Il agit donc fortement sur le résultat mais à un stade ultime de la chaîne.

### 4.2 Modalités

C'est un problème de criblage : l'objectif est de connaître le poids de chacun des niveaux des facteurs sur la réponse, les classer et donc retenir, pour une étude ultérieure plus fine, les facteurs jouant un rôle important sur la variation de la réponse. Les 5 critères de rejet seront testés selon 3 niveaux (TAB.1). Les 3 niveaux ont été fixés à partir d'une recherche empirique des seuils discriminants sur plusieurs images. Ces seuils ont été détectés par l'apparition des premiers rejets, sur un ensemble d'images. Les deux autres niveaux sont choisis pour couvrir le demi-intervalle de variation possible. Les niveaux testés correspondent donc plutôt à des valeurs extrêmes et une valeur moyenne.

Un plan complet portant sur 5 facteurs testés chacun selon 3 niveaux, nécessiterait  $3^5=243$  essais sur chaque image. Compte-tenu des temps de lecture des données et de traitement (3 minutes par lot) et des disponibilités des systèmes (deux postes de traitement pendant trois jours), il est nécessaire d'établir un plan d'expériences afin de réduire le nombre de combinaisons testées.

Le plan choisi privilégie un grand nombre de modalités qui seront appliquées à un faible nombre d'images. Il comprend un total de 81 modalités, soit le tiers du plan complet, réparties comme suit : un test complet des critères

presentés comme plus sensibles (*Compacité*, *Elongation*), et un « carré latin » sur les 3 autres (*Surface\_min*, *Vol\_min*, *Taux\_max*), tous les autres paramètres restant fixés à leur valeur d'origine. Les grilles des combinaisons du « carré latin » appliqué sont indiquées en (FIG.2) : en respectant la présentation matricielle de la (TAB.1), une case noire correspond à la valeur appliquée.

TAB. 1 : Modalités du plan d'expériences.

Fréquence	Facteur	Modalités			
		1000	2500	4000	
7%	<i>Surface_min</i>	1000	2500	4000	Carré Latin (9 comb.)
13%	<i>Vol_min</i>	0,1	0,3	0,5	
11%	<i>Taux_max</i>	0,2	0,4	0,5	
8,50%	<i>Compacité</i>	1,5	2	2,5	Complet (9 comb.)
10%	<i>Elongation</i>	1	1,35	1,75	

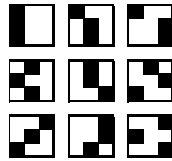


FIG. 2 : Grilles des combinaisons du « carré latin ».

Les modalités précédentes ont été appliquées à 3 lots de taux de collet très différents ( $TC_0 = 6, 10$  et  $14,4$ ), soit 243 essais. D'autre part, le sixième facteur, *Crc*, a été testé selon dix valeurs réelles réparties sur l'intervalle  $[0; 1]$ , sur dix lots différents de la gamme des taux de collet observés ; soit 100 tests supplémentaires. L'ensemble de l'expérimentation comporte donc 343 essais à réaliser dans le temps imparti.

### 4.3 Courbes d'influence et résultats

Les courbes d'influence sont construites par un ajustement d'un modèle sur les données. Le modèle d'évolution choisi pour chaque réponse, est un modèle *linéaire*, individualisé pour chaque facteur et chaque lot, du type

$$y = Ax + B \quad (1)$$

où  $x$  désigne le facteur considéré et  $y$  la réponse observée.

Soit  $M$  l'ensemble des modalités testées. Si  $x_{i=1,2,3}$  désigne un des trois niveaux testés pour le facteur  $x$ , on note  $M_i = \{m \in M / x = x_i\}$ , le sous-ensemble des modalités correspondant au niveau  $x_i$  testé. Pour chaque lot, l'ajustement du modèle linéaire est fait aux moindres carrés sur l'ensemble des données  $(x_i, y_m)_{m \in M_i}$ , où  $y_m$  est la réponse du système à la modalité  $m \in M_i$ .

L'influence du paramétrage des critères a été observée sur les réponses  $y$  suivantes : moyenne et dispersion du TCs, et nombre de betteraves traitées. Les graphiques présentés en FIG.3 montrent les courbes d'influence respectives de ces deux réponses en fonction des paramètres *Compacité* et *Elongation*, pour les trois lots considérés : a) pour la réponse TCs et b) pour le nombre de betteraves traitées.

Les estimations des modèles linéaires de la réponse TCs en fonction des paramètres *Elongation* et *Compacité* sont données dans TAB.2, avec le coefficient de corrélation  $R^2$  correspondant. Nous ne présentons pas les courbes des

paramètres *Vol\_min*, *Surface\_min* et *Taux\_max* qui ont une influence quasi négligeable (droite de pente quasi nulle).

TAB. 2 : Modèles d'évolution du TCs

TCs	Elongation	R2	Compacité	R2
Lot 235073	$y = -1,2048x + 11,989$	0,42	$y = 0,5288x + 9,3094$	0,15
Lot 235074	$y = 6,7155x + 2,4217$	0,80	$y = 1,796x + 7,5735$	0,10
Lot 235193	$y = -4,9755x + 14,248$	0,85	$y = -1,7949x + 11,388$	0,20

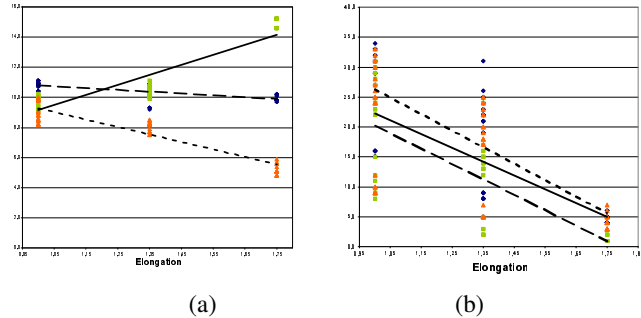


FIG. 3 : Courbes d'influence du facteur *Elongation*

Concernant le nombre de betteraves traitées, on remarque une même tendance sur les 3 lots traités (FIG.3). Les valeurs moyennes des coefficients (A, B) du modèle linéaire estimé (3), pour les trois lots réunis, sont données dans la table TAB.3, avec le coefficient de corrélation  $R^2$  correspondant.

TAB.3 : Modèles d'évolution du nombre de betteraves

Facteur	A	B	R2
<i>Surface_min</i>	-0,0003	15,5467	0,0031
<i>Vol_min</i>	-6,4583	16,7430	0,0116
<i>Taux_max</i>	-0,4762	15,1112	0,0001
<i>Compacité</i>	-25,4153	48,3220	0,5623
<i>Elongation</i>	8,3609	-2,4388	0,1119

Le graphique de la FIG.4 présente l'évolution de la réponse TCs en fonction du facteur *Crc* sur 10 lots, couvrant une gamme de taux de collet allant de 6 à 15. L'influence de ce facteur sur la réponse TCs peut être décrite par un modèle *exponentiel* à peu près stable et quasi identique sur tous les lots, de la forme :

$$y = 1,4746 e^{0,2466x} \quad (2)$$

avec un coefficient de corrélation  $R^2$  de l'ordre de 0,97. Un modèle *linéaire* plus simple à exploiter peut également convenir, avec un coefficient de corrélation  $R^2$  moindre de 0,88 :

$$y = 1,7521 x - 2,0667 \quad (3)$$

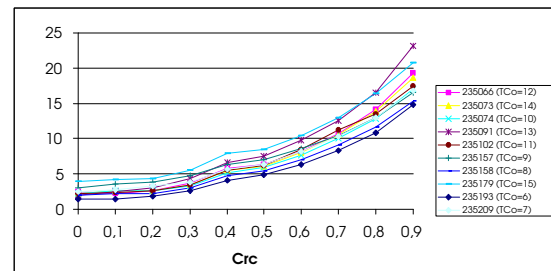


FIG. 4 : Influence du paramètre *Crc* sur la réponse TCs.

Enfin, la dispersion des réponses TCs données par le système a été étudiée sur les 81 modalités testées. L'écart type des réponses pour l'ensemble des 81 modalités est très variable selon les lots, de 0,6 à 2,25. Lorsque le système conserve au moins dix betteraves, ce qui représente une bonne moitié des essais réalisés, la dispersion des réponses fournies par le système devient inférieure à 0,5 point de taux de collet pour tous les lots.

#### 4.4 Analyse

Selon toute attente, le facteur *Crc* a confirmé sa forte influence sur la réponse TCs. Le réglage des autres facteurs (critères de rejet) a aussi une influence non négligeable sur les TCs calculé du lot. En effet, le réglage des critères *Elongation* et *Compacité* a des conséquences très contrastées selon les lots, provoquant soit une augmentation, soit une diminution du TCs, avec toujours une opposition entre les deux paramètres (FIG.4a et 5a). Le critère *Elongation* est celui qui présente l'influence la plus forte ( $R^2 \approx 0,80$ ), les autres paramètres *Vol\_min*, *Surface\_min* et *Taux\_max* ont relativement peu d'influence ( $R^2 < 0,20$ ).

Par ailleurs, on remarque, que l'influence des différents facteurs sur le nombre de betteraves traitées est la même quelques soient les lots traités (FIG.4b et 5b). Dans les résultats (TAB.3), on retrouve la nette prédominance de l'influence du critère *Elongation* sur le nombre de betteraves traitées. Ce critère est le seul à présenter un coefficient de corrélation  $R^2$  suffisant de près de 0,60. Le critère *Compacité* a une action opposée mais avec une influence beaucoup moins marquée.

En d'autres termes, le réglage du paramètre *Elongation* influence très fortement le nombre de betteraves analysées et indirectement la réponse fournie par le système sur les 3 lots observés, par une sélection des betteraves traitées. Enfin, l'étude de la dispersion des réponses TCs fournies par le système montre qu'il faut un minimum de dix à quinze betteraves pour que la réponse du système ne soit pas trop sensible, aux variations paramétriques (échantillonnage suffisant).

En tout état de cause, l'influence sur les TCs des deux facteurs *Elongation* et *Compacité* est instable et mérite une étude plus poussée des conséquences *conjuguées* de ces deux critères sur les TCs sur un plus grand nombre de lots, si l'on veut construire un modèle plus précis de leur influence. En effet, les courbes précédentes ne permettent pas d'analyser les dépendances entre les différents critères de rejet.

## 5. Conclusion

Le plan réalisé de type « carré latin » a permis de mettre en évidence l'influence du réglage des paramètres maîtrisables sur la réponse du système de vision. A la suite de ce criblage, un second plan d'expérience de type factoriel  $2^{k-p}$

est en cours d'exploitation, dans le but cette fois d'une optimisation : rechercher le réglage optimal, au sens d'un meilleur rapprochement entre la mesure fournie par la machine de vision et la mesure manuelle traditionnelle.

A travers cet exemple, on montre que les outils statistiques offerts par les plans d'expériences constituent un contexte séduisant pour l'analyse des paramétrages d'une chaîne de traitements d'image. L'efficacité d'un plan d'expérience repose sur une méthodologie rigoureuse qui respecte un ensemble d'étapes: bien appréhender le contexte expérimental, ses objectifs et ses contraintes, en déduire les réponses et les modalités pertinentes pour l'analyse recherchée, choisir les outils statistiques adéquats. Ces recommandations respectées, ils permettent alors de trouver la meilleure réponse à un problème donné à partir d'un minimum d'essais. Les nombreux problèmes de paramétrage qui se posent aux chercheurs et développeurs d'algorithmes en traitement d'images trouveraient, sans doute, dans une telle approche une source de solutions.

## Références

- [1] *Analyse d'images : filtrage et segmentation*, J.P. Cocquerez et S. Philipp, Masson, 1995.
- [2] M. Borsotti, P. Campadelli, R. Schettini. Quantitative evaluation of color image segmentation results, *Pattern Recognition Letters*, 19:741-747, 1998.
- [3] D. Demigny, T. Kamleh. A discrete expression of Canny's criteria for step edge detection performance evaluation, *PAMI*, 19(11):1199-1211, 1997.
- [4] A. Hoover, and al., An experimental comparison of range image segmentation algorithms, *PAMI*, 18(7) :673-688, 1996.
- [5] Y.J. Zhang. A survey on evaluation methods for image segmentation, *Pattern Recognition*, 29(8) :1335-1346, 1996.
- [6] Y.J. Zhang and H. Luo. Optimal selection of segmentation algorithms based on performance evaluation, *Optical Engineering*, 39(6) :1450-1455, 2000.
- [7] D.L. Wilson, A.J. Baddeley, R.A. Owens. A new metric for grey-scale image comparison, *Int. Journal of Computer Vision*, 24 :5-17, 1997.
- [8] Tagushi G., Linear Graphs for Orthogonal Arrays and their Applications to Experimental Designs with the Aids of Various Techniques, *Rep. Stat. Appl. Res. JUSE*, 6, 4 : 134-275, 1960.
- [9] Box George.E.P., Hunter W.G., Hunter J.S., *Statistics of Experimenters*, J.Wiley & Sons Ed., New-York,1978.
- [10] Box G.E.P.and N.R. Drapper , *Empirical model Building and Response Surfaces*, J.Wiley & Sons Ed., NY,1987.
- [11] Cornell J. A., *Experiments with mixtures designs: Models and the analysis of mixtures data*, J.Wiley & Sons Ed., New-York, 1990.
- [12] Tourbier,S & Tourbier.Y, *Plans d'expérience constructions et Analyse*, 1994.
- [13] P.Dagnelie, A.Kobislsky, D.Mathieu, R.Phan-Tan-Luu, J.P.Gauchy, G.Saporta, *Plans d'expériences - Applications à l'entreprise*, Fine J. et Saporta G. Ed. Technip, Paris, 1998.