

---

# UNE PREMIÈRE APPROCHE DE LA DÉTECTION ET DE LA CORRECTION DES ZONES À L'OMBRES EN MILIEUX MONTAGNEUX

---



Par Lâ mân LELÉGARD  
Numéro de post : 74 13

*Juin 2008*

## TABLE DES MATIÈRES

---

INTRODUCTION.....	- 3 -
QUELQUES NOTATIONS MATHÉMATIQUES .....	- 3 -
1. DÉTECTION RADIOMÉTRIQUE DES PARTIES À L'OMBRE .....	- 4 -
1.1. Détermination par seuillage .....	- 4 -
1.2. Détermination colorimétrique. ....	- 6 -
1.3. Pourquoi faire simple quand on peut compliquer ?.....	- 7 -
1.4. Un peu de morphologie mathématique. ....	- 9 -
2. CORRECTION DES PIXELS À L'OMBRE PAR FILTRAGE DE WALLIS.....	- 10 -
2.1. Définition et exemples de filtrage de Wallis.....	- 10 -
2.2. L'art de transformer les chameaux en dromadaires. ....	- 13 -
3. ET LA PHYSIQUE DANS TOUT ÇA ? .....	- 15 -
BIBLIOGRAPHIE (TRÈS) SUCCINTE .....	- 16 -
ANNEXE 1 : AUTRES EXEMPLES DE ZONES TESTÉES .....	- 17 -
ANNEXE 2 : LES CONFESSIONS D'UN HÉRÉTIQUE (CODES MATLAB) .....	- 21 -

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

<i>Figure 1 : Histogramme en dos de chameau .....</i>	<i>- 4 -</i>
<i>Figure 2 : Histogramme de la photo test de Brusquet en niveau de gris.....</i>	<i>- 5 -</i>
<i>Figure 3 : Photo originale de la zone avec sa grande zone à l'ombre. ....</i>	<i>- 5 -</i>
<i>Figure 4 : Masque d'ombre obtenu après seuillage à la valeur 90. ....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>Figure 5 : Coupe sur une ligne particulière de l'image. ....</i>	<i>- 7 -</i>
<i>Figure 6 : Comparaisons des couches RVB et <math>c_1c_2c_3</math>.....</i>	<i>- 8 -</i>
<i>Figure 7 : La transformation permettant de « généraliser » les zones noires, effectuée avec des fenêtres de taille (de gauche à droite) 0x0, 3x3, 5x5, 11x11 pixels. ....</i>	<i>- 9 -</i>
<i>Figure 8 : Élimination des ombres superflues dues aux arbres.....</i>	<i>- 9 -</i>
<i>Figure 9 : Image G corrigée par rapport à D par filtrage de Wallis. ....</i>	<i>- 10 -</i>
<i>Figure 10 : Tests de filtrages de Wallis sur l'avenue Jean Moulin. ....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>Figure 11 : Une interprétation simple du filtre de Wallis.....</i>	<i>- 12 -</i>
<i>Figure 12 : Une mise en pratique de notre méthode sur la zone de Brusquet. ....</i>	<i>- 13 -</i>
<i>Figure 13 : Alléluia !.....</i>	<i>- 14 -</i>
<i>Figure 14 : Détail de l'effet de lissage de la frontière par filtrage de Wallis. ....</i>	<i>- 14 -</i>

*Illustration en couverture : « L'Appel des cimes » de René Magritte (1943)*

## INTRODUCTION

---

Le problème de la suppression des ombres occupe une place non négligeable en télédétection et en infographie cette dernière décennie. En effet les opérations de classification automatique et l'ajout de textures sur un modèle 3D nécessitent une information sur le matériel représenté sur le pixel, et ce indépendamment du fait qu'il soit à l'ombre ou bien au soleil.

Ce petit rapport informel expose une méthode de détection et de correction des ombres dans les images aériennes fondée sur des considérations purement radiométriques. Comme le titre l'indique bien, l'opération se fera en deux parties : d'abord une détermination des zones considérées à l'ombre par divers méthodes faisant intervenir les valeurs des pixels puis une correction fondée sur un filtrage de Wallis. Une troisième partie, dans laquelle seront introduites des notions de physiques, laissera entrevoir les améliorations possibles, notamment en remettant en cause certains choix extrêmement simplistes fait dans les parties précédentes.

## QUELQUES NOTATIONS MATHÉMATIQUES

---

Ces quelques ligne vont tenter de résumer les principaux choix de notation de ce rapport. Par exemple on définira la fonction *signe* de la manière suivante :

$$\forall x \in \mathfrak{R}, \quad \text{signe}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

De même on définira la partie entière inférieure et supérieure respectivement par :

$$\forall x \in \mathfrak{R}, \quad \lfloor x \rfloor = \{n \in \mathbb{Z} / x - 1 < n \leq x\} \quad \text{et} \quad \lceil x \rceil = \{n \in \mathbb{Z} / x \leq n < x + 1\}$$

Considérons un ensemble fini et ordonné de réels noté  $X$  (typiquement une image). On notera sa moyenne et son écart type respectivement :

$$\forall X \in \mathfrak{R}^n, \quad X = (x_1 \cdots x_n) \quad \bar{X} = m_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \sigma_X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2}$$

Le produit de convolution sera représenté par un astérisque. Dans le cas discret d'une image (2D) cela se traduira par une double boucle FOR sur les lignes et les colonnes. Ici on utilisera cela pour effectuer un flou moyen avec une fenêtre glissante  $(2n+1) \times (2n+1)$ . Par exemple en notant  $I(x,y)$  un pixel de l'image  $I$  et  $J$  l'image floutée :

$$J = F_n * I \quad \text{où pour tous pixels de l'image} \quad J(x, y) = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{j=-n}^{+n} \sum_{i=-n}^{+n} I(x+i, y+j)$$

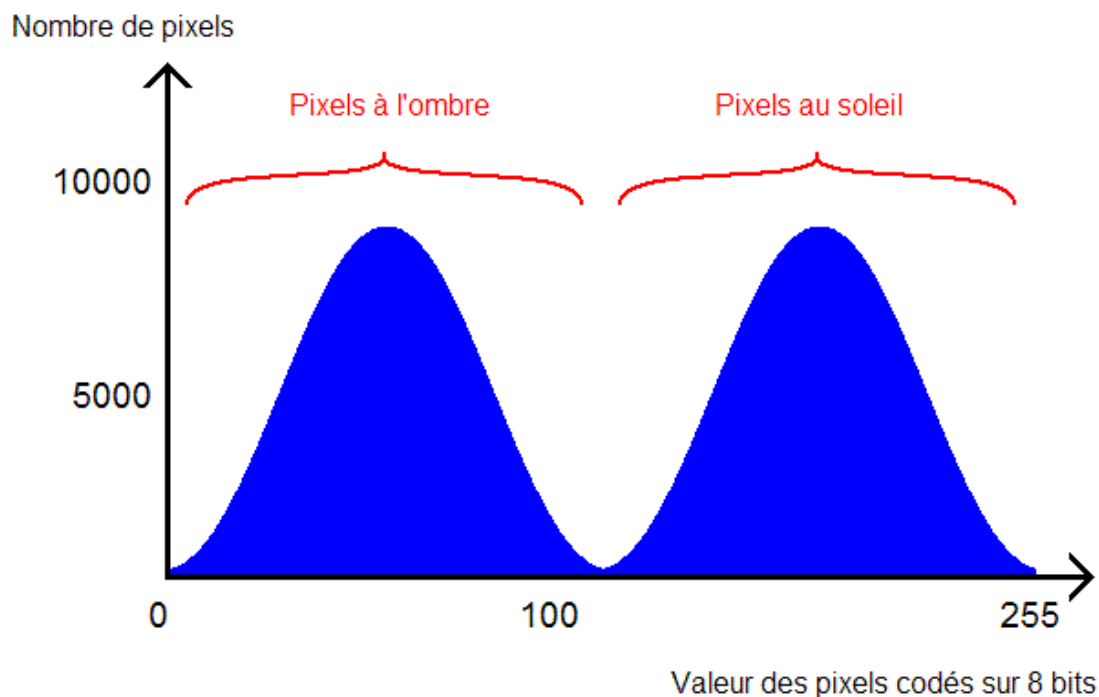
# 1. DÉTECTION RADIOMÉTRIQUE DES PARTIES À L'OMBRE

---

Durant ces deux premières parties, il ne sera fait aucune référence aux méthodes faisant intervenir un modèle numérique d'élévation ou toute autre représentation 3D de la réalité.

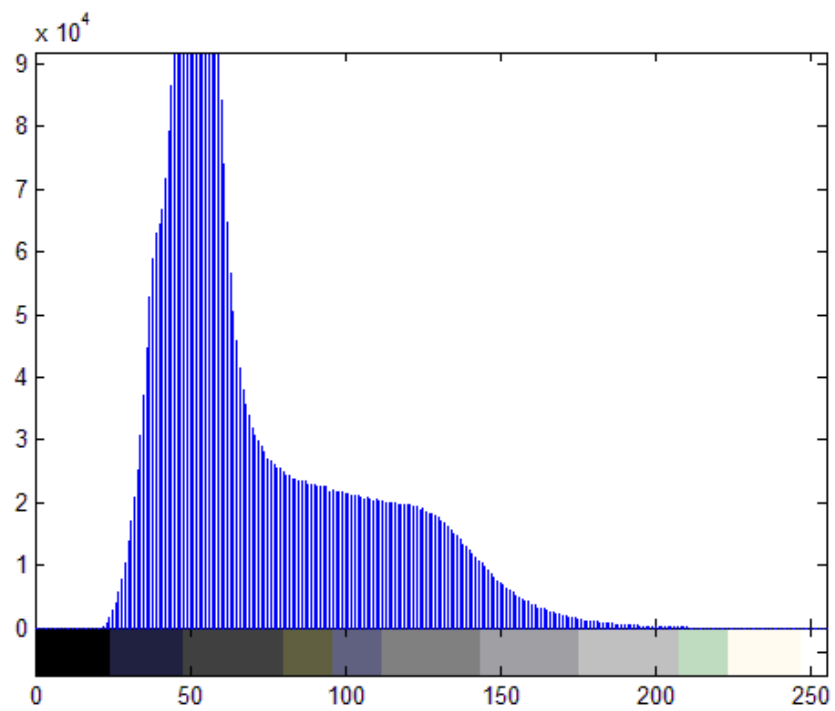
## 1.1. Détermination par seuillage

Cela reste la méthode la plus simple et la plus intuitive. On retient une couche (parmi les couches RVB de l'image) ou bien on passe l'image en niveaux de gris puis on effectue un seuillage sur la valeur des pixels (par exemple codés sur 8 bits). Cette discrimination en zone à l'ombre et zone au soleil se justifie par le fait que l'on se retrouve souvent avec deux maxima sur l'histogramme. La première bosse (valeurs basses) de cet histogramme en dos de chameau représente souvent les pixels à l'ombre tandis que la deuxième bosse (valeurs élevées) correspond aux pixels au soleil.



*Figure 1 : Histogramme en dos de chameau*

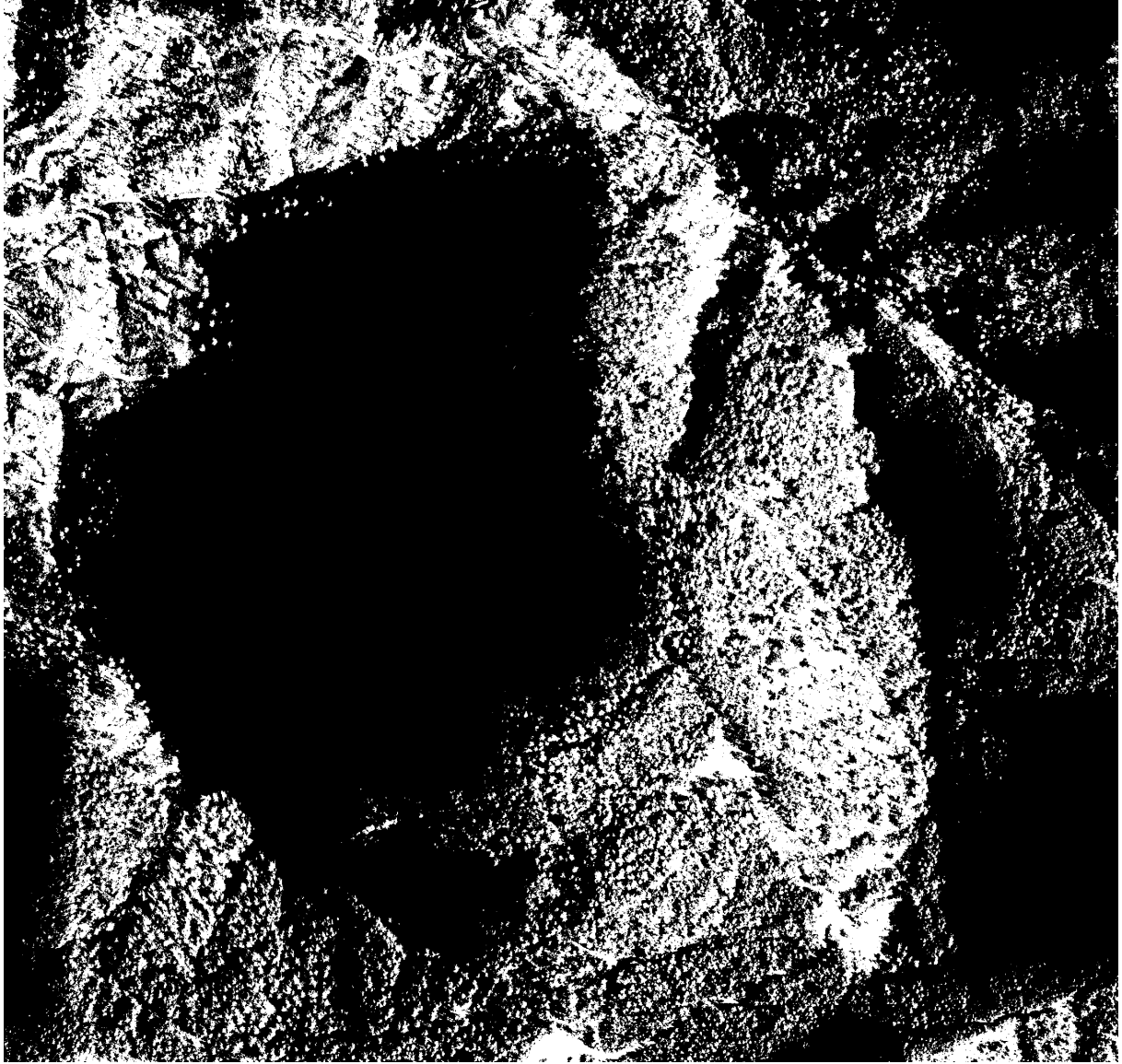
Bien sûr, dans le cas des images haute résolution en milieu urbain ce choix peut être peu judicieux en présence d'asphalte sombre et de toits en ardoise. Pour la montagne cela ne semble pas trop irraisonnable. En prenant la zone test de Brusquet (qui sera LA zone teste de ce rapport) et en considérant son histogramme, on peut dire qu'un seuillage à 90 (les valeurs de pixels variant de 0 noir à 255 blanc) semble acceptable. Le résultat est fourni ci-après, à la figure 4.



*Figure 2 : Histogramme de la photo test de Brusquet en niveau de gris.*



*Figure 3 : Photo originale de la zone avec sa grande zone à l'ombre.*



*Figure 4 : Masque d'ombre obtenu après seuillage à la valeur 90.*

On constate que ce seuillage prend en compte les ombres projetées par les arbres, cela donne cet aspect bruité au niveau de l'adret. A-t-on vraiment besoin de cette information ? Les zones situées au niveau de l'ubac ne seraient-elles pas suffisantes ? Cet aspect sera traité en 1.4. Mais avant cela, voyons une autre méthode qui prend en compte la couleur des pixels.

## **1.2. Détermination colorimétrique**

Une alternative plus intéressante se trouve exposée dans la thèse de Sophie Lachérade (soutenue en 2006) : en effectuant la différence de la bande verte ( $V$ ) et de la bleue ( $B$ ) on peut obtenir un masque d'ombre que l'on notera  $M$  :

$$M = \left\lfloor \frac{1 + \text{signe}(V - B)}{2} \right\rfloor \quad (1)$$

Cette formule qui semble un peu moins intuitive trouve son explication dans la couleur du ciel. En effet, les zones à l'ombre ne sont pas dans l'obscurité mais éclairées par le ciel, c'est-à-dire par une source lumineuse moins intense que le Soleil et de couleur plutôt bleue. Pour



mieux comprendre effectuons une coupe colorimétrique dans une zone stratégique de la photo :

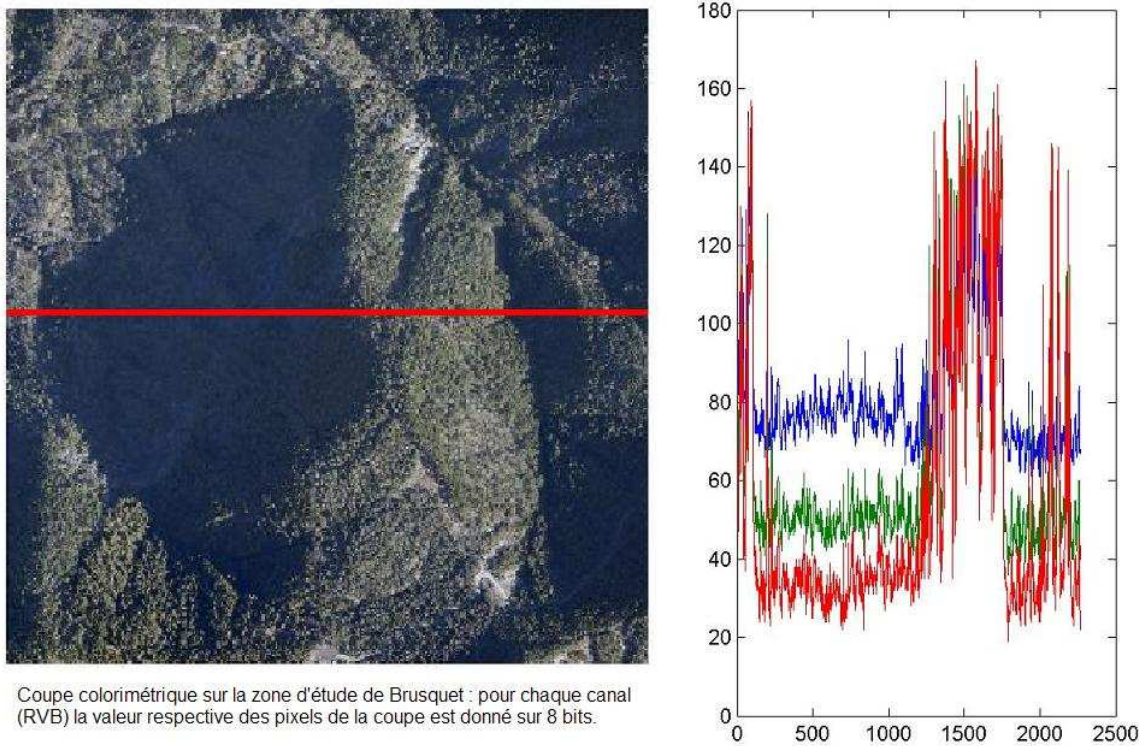


Figure 5 : Coupe sur une ligne particulière de l'image.

Typiquement, on voit que l'ombre est plutôt bleue (ce qui est rassurant). Mais comme dit le célèbre proverbe, tout ce qui est bleu n'est pas ombre. Cette méthode a ses limites et ne sera pas utilisée par la suite. A titre culturel, cette méthode dite radiométrique fut présentée dans une thèse où les canaux RVB étaient obtenus par des filtres en bande spectrale fine, ce qui n'est pas le cas des caméras aéroportées classiques (notamment celles de l'IGN) où la bande bleue déborde un peu sur le vert et vis versa...

### 1.3. Pourquoi faire simple quand on peut compliquer ?

Il y a moyen de ruser un peu en changeant d'espace de couleur. C'est ce qu'ont fait des chercheurs de l'Université de Malaga en Espagne. Ils ont pris pour cela l'espace de couleur  $c_1c_2c_3$  défini de la manière suivant à partir de l'espace RVB :

$$\left\{ c_1 = \arctan\left(\frac{R}{\max\{V, B\}}\right) \quad c_2 = \arctan\left(\frac{V}{\max\{R, B\}}\right) \quad c_3 = \arctan\left(\frac{B}{\max\{R, V\}}\right) \right\} \quad (2)$$

Notons que le passage de  $c_1c_2c_3$  à RVB ne peut pas être vraiment défini car il n'y a pas de bijection entre les deux espaces, mais cela n'a guère d'importance pour l'usage qui va en être fait. Pour avoir une meilleure idée de ce que ce changement d'espace signifie, faisons cette transformation sur notre zone de Brusquet :

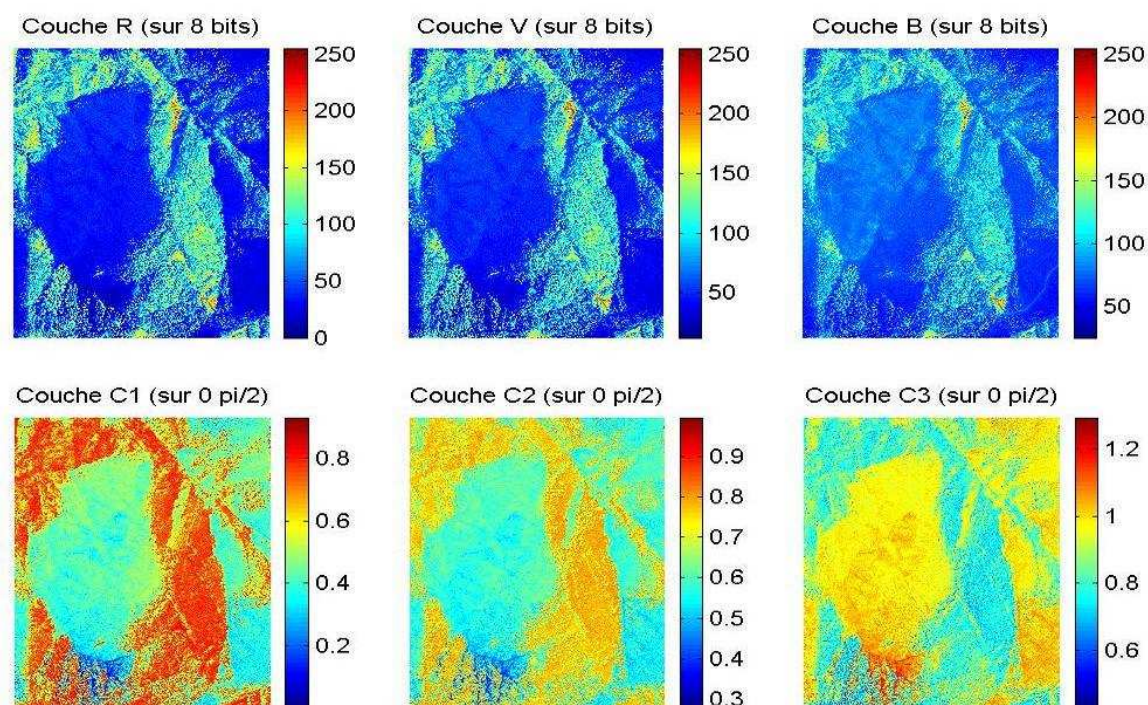


Figure 6 : Comparaisons des couches RVB et  $c_1c_2c_3$ .

On peut pour ainsi dire que ce nouvel espace de couleur n'est autre chose que du RVB relatif... En s'intéressant un peu plus aux couches B et  $c_3$  on peut dire que la bande bleue est moins sensible à l'ombre que le rouge et le vert. On peut aussi dire que les pics maximums de la couche  $c_3$  correspondent le plus souvent à de zones d'ombres. C'est ainsi qu'Arévalo et son équipe ont proposé une méthode de détection des ombres en milieu urbain sur des images Quickbird en l'absence de connaissance a priori sur la forme du terrain et la position du Soleil. Elle pourrait se résumer de la manière suivante :

- Calcul de  $c_3$ , de la saturation, de l'intensité ainsi que du module de son gradient à partir des couches RVB de l'image Quickbird
- Recherche des maxima locaux de la couche  $c_3$  vérifiant les trois conditions suivantes : les valeurs des pixels du voisinage 5x5 de ce pic doivent être supérieures à un certain seuil dans la couche  $c_3$  (typiquement la moitié du  $\max\{c_3\}$ ), elles doivent être inférieures à un certain seuil dans la couche d'intensité (cf. l'hypothèse de l'ombre sombre qui a été développée dans le 1.1) et doivent être supérieures à un certain seuil dans la couche de saturation. On obtient donc ce que l'on pourrait appeler des « graines » (*seeds* dans l'article original).
- Propagation de l'ombre à partir des « graines » vers les pixels voisins en vérifiant certaines conditions proches de celles exposées dans le point précédant et en tenant compte du module du gradient d'intensité (typiquement, le bord d'ombre). La propagation cesse dès qu'aucun pixel ne vérifie plus ces conditions.
- Fermeture (cf. morpho math évoquée au 1.4) sur la zone classée à l'ombre pour éliminer les points à l'ombre oubliés (*true negative* dans l'article).

Cette méthode, dont j'ai pris connaissance récemment, n'a pas encore été testée sur la montagne... mais cela ne saurait tarder. En effet, l'influence de la diffusion atmosphérique n'est pas du tout la même en montagne et en ville (mais je ne m'étendrais pas sur de la physique ici).



## 1.4. Un peu de morphologie mathématique

Comme cela a été évoqué dans la partie 1.1 on voudrait éliminer les ombres des arbres. On effectuera pour cela une opération d'ouverture/fermeture sur l'ensemble binaire ombre/soleil représenté par le masque d'ombre (figure 4).

Notons  $M$  le masque d'ombre, qui n'est autre chose qu'une matrice binaire composée de 0 (ombre) et de 1 (soleil), et floutons la par une fenêtre de taille  $(2n+1) \times (2n+1)$  noté  $F_n$ . En prenant la partie entière inférieure du masque flouté on obtient une érosion de l'ensemble à l'ombre (c'est-à-dire une dilatation de l'ensemble au soleil), et typiquement, en prenant une fenêtre assez grande on peut faire disparaître l'ombre des arbres. En prenant par contre la partie entière supérieure du masque flouté on obtient une dilatation de l'ensemble à l'ombre. La composée d'une érosion par une dilatation est une ouverture, c'est d'ailleurs ce que l'on fera subir à l'ombre. La composée d'une dilatation par une érosion est une fermeture, c'est ce que subira la partie au soleil. Cela s'écrit :

$$M' = \lceil F_n * \lfloor F_n * M \rfloor \rceil \quad (3)$$

Cette explication fera très sûrement bondir les puristes de la morpho math, mais c'est une interprétation comme une autre du problème. Une petite illustration serait peut-être souhaitable.

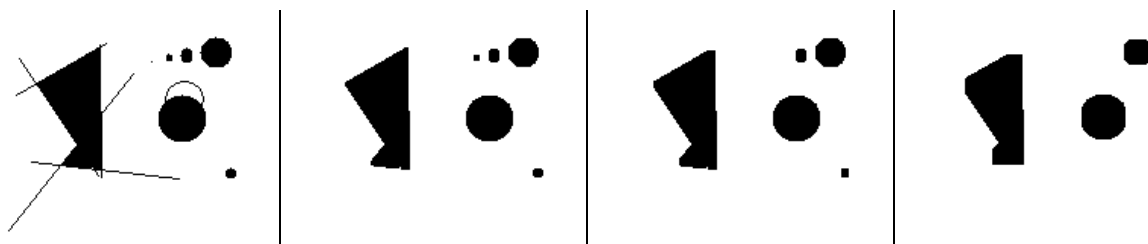


Figure 7 : La transformation permettant de « généraliser » les zones noires, effectuée avec des fenêtres de taille (de gauche à droite) 0x0, 3x3, 5x5, 11x11 pixels.

On voit mieux l'influence de la taille de la fenêtre sur le niveau des détails. Pour en revenir à notre zone test de Brusquet, voici donc le résultat de cette transformation sur le masque d'ombre de la figure 4 :



Figure 8 : Élimination des ombres superflues dues aux arbres.

Dans cette première partie ont été présentées quelques méthodes de détection des ombres reposant sur des considérations purement radiométriques. Bien sûr, cela n'a rien d'exhaustif et de nombreux algorithmes, souvent très futés font leurs apparitions chaque jour (comme celui publié il y a deux mois par Alévaro et al.). La partie suivante présentera une méthode très simple et intuitive pour corriger les ombres, c'est-à-dire pour attribuer à chaque pixel à l'ombre la valeur qu'il aurait s'il était au soleil.

## 2. CORRECTION DES PIXELS À L'OMBRE PAR FILTRAGE DE WALLIS

### 2.1. Définition et exemples de filtrage de Wallis

Considérons d'abord les deux photos ci-dessous, prises à Amiens par la première version du véhicule Stéréopolis. On peut remarquer une forte différence de radiométrie entre l'image gauche et l'image droite. Appelons ces deux images respectivement  $G$  et  $D$ . Ce sont des matrices d'entiers codés sur 8 bits. Notre but ici est de faire ressembler la première image à la seconde. Pour cela on va effectuer l'opération suivante sur la matrice  $G$  pour obtenir  $G'$  :

$$D' = (D - \bar{D}) \cdot \frac{\sigma_G}{\sigma_D} + \bar{G} \quad (4)$$

Il s'agit d'une simple transformation affine faisant intervenir les moyennes et écarts types respectifs des deux images. Le résultat est le suivant :

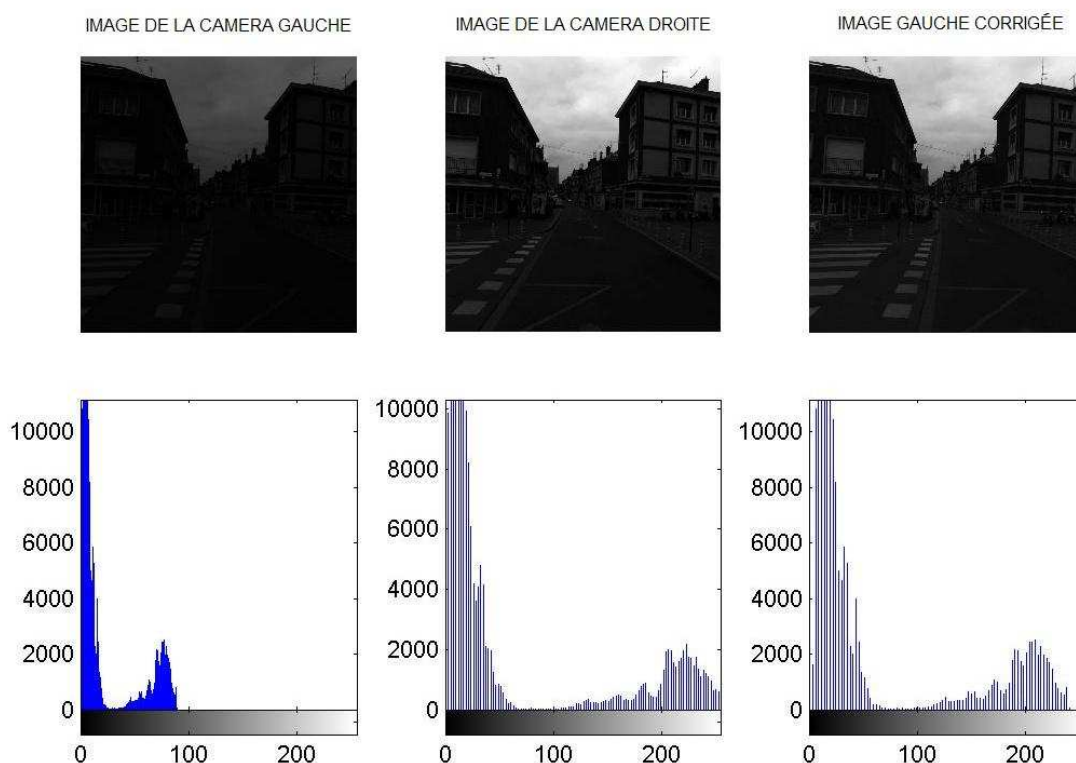


Figure 9 : Image  $G$  corrigée par rapport à  $D$  par filtrage de Wallis.

On peut aussi effectuer cette opération sur des images en couleurs (le filtrage se fera alors couche par couche). On va prendre par exemple les deux photos suivantes représentant l'immeuble situé en face de ma chambre prises respectivement de jour et de nuit. En les comparant bien, on constate des différences assez forte aussi bien au niveau du contraste que de la luminosité, même si, en fin de compte, il s'agit bien du même sujet. Une correction par la formule (4) est illustrée à la page suivante à la figure 10.

Photo originale de l'immeuble,  
de jour non corrigée.

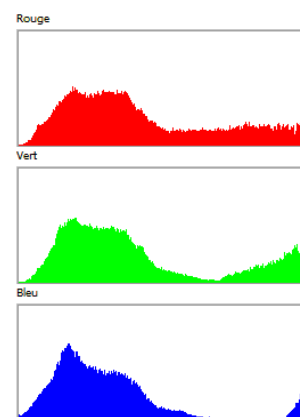


Photo originale de l'immeuble,  
de nuit non corrigée.

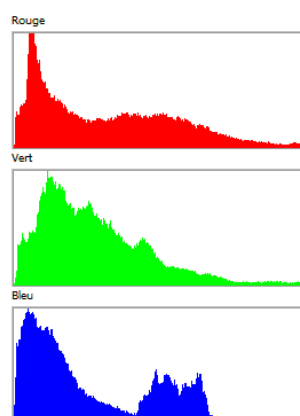


Photo prise de jour corrigée par  
rapport à celle de nuit.

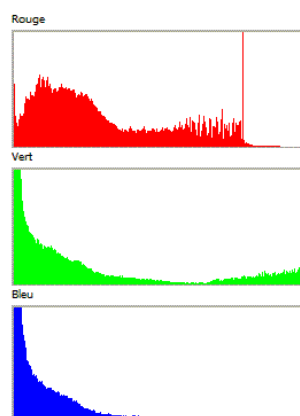


Photo prise de nuit corrigée par  
rapport à celle de jour.

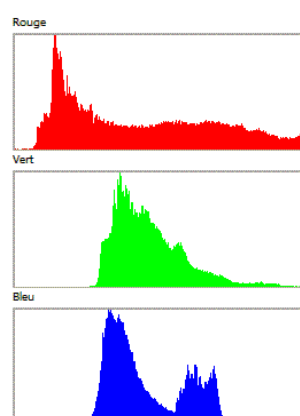
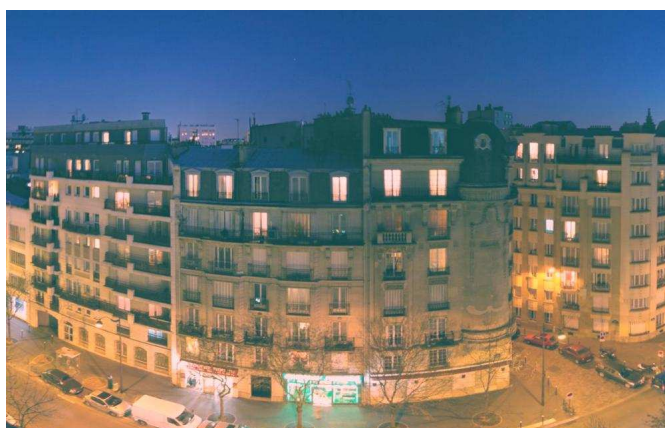


Figure 10 : Tests de filtrages de Wallis sur l'avenue Jean Moulin.

En considérant les histogrammes des photos de l'avenue Jean Moulin à la figure 10, on voit nettement que le filtrage de Wallis rend les histogrammes de l'image corrigée et de celle ayant servi à la correction cohérentes entre elles. Même si l'immeuble de jour corrigé par rapport à celui de nuit n'a rien de nocturne (on voit surtout une image extrêmement contrastée) les histogrammes sont très proches ce qui rend les photos « ressemblantes ».

À titre culturel, rappelons que Régis Ferrier, dans un rapport de stage de 1997, propose une méthode d'assimilation de l'ombre à son contexte par une formule plus complète :

$$I'(x, y) = (I(x, y) - m_i) \cdot \frac{\alpha \cdot \sigma_d}{\alpha \cdot \sigma_i + (1 - \alpha) \cdot \sigma_d} + \beta \cdot m_d + (1 - \beta) \cdot m_i \quad (5)$$

Où  $I(x, y)$  désigne la valeur du pixel de l'image initiale à modifier,  $m_i$  la moyenne sur une fenêtre centrée en  $(x, y)$  de l'image initiale (d'où la notion de « filtrage »),  $\sigma_i$  l'écart type sur cette même fenêtre,  $m_d$  et  $\sigma_d$ , respectivement, la moyenne et l'écart type désiré (prise sur une autre fenêtre par exemple) et enfin les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  qui permettent de régler l'intensité du filtrage. Dans le rapport de Ferrier, la deuxième fenêtre (celle qui donne les valeurs désirées) était située en bordure de la zone d'ombre, la première fenêtre étant constituée par la zone à l'ombre. C'est d'ailleurs cette approche qui va nous inspirer pour la suite...

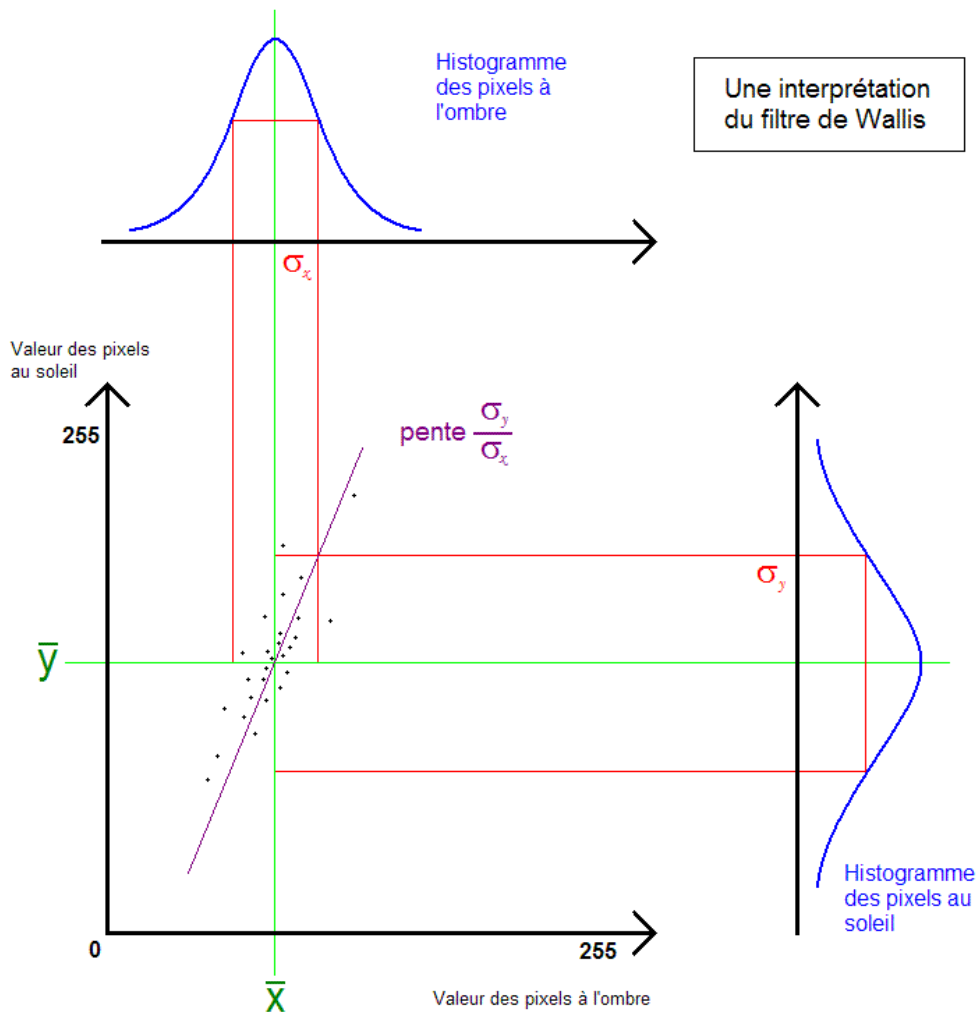
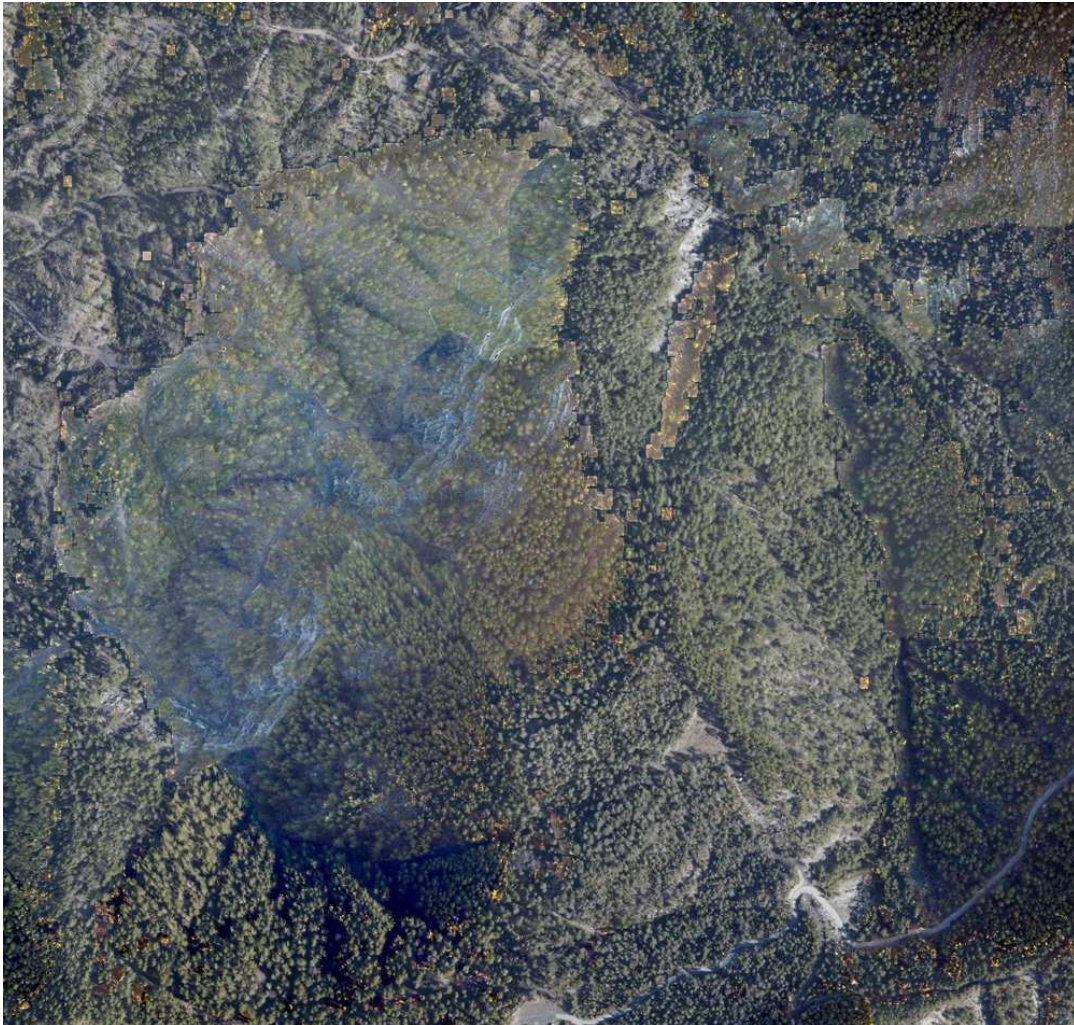


Figure 11 : Une interprétation simple du filtre de Wallis.



## 2.2. L'art de transformer les chameaux en dromadaires

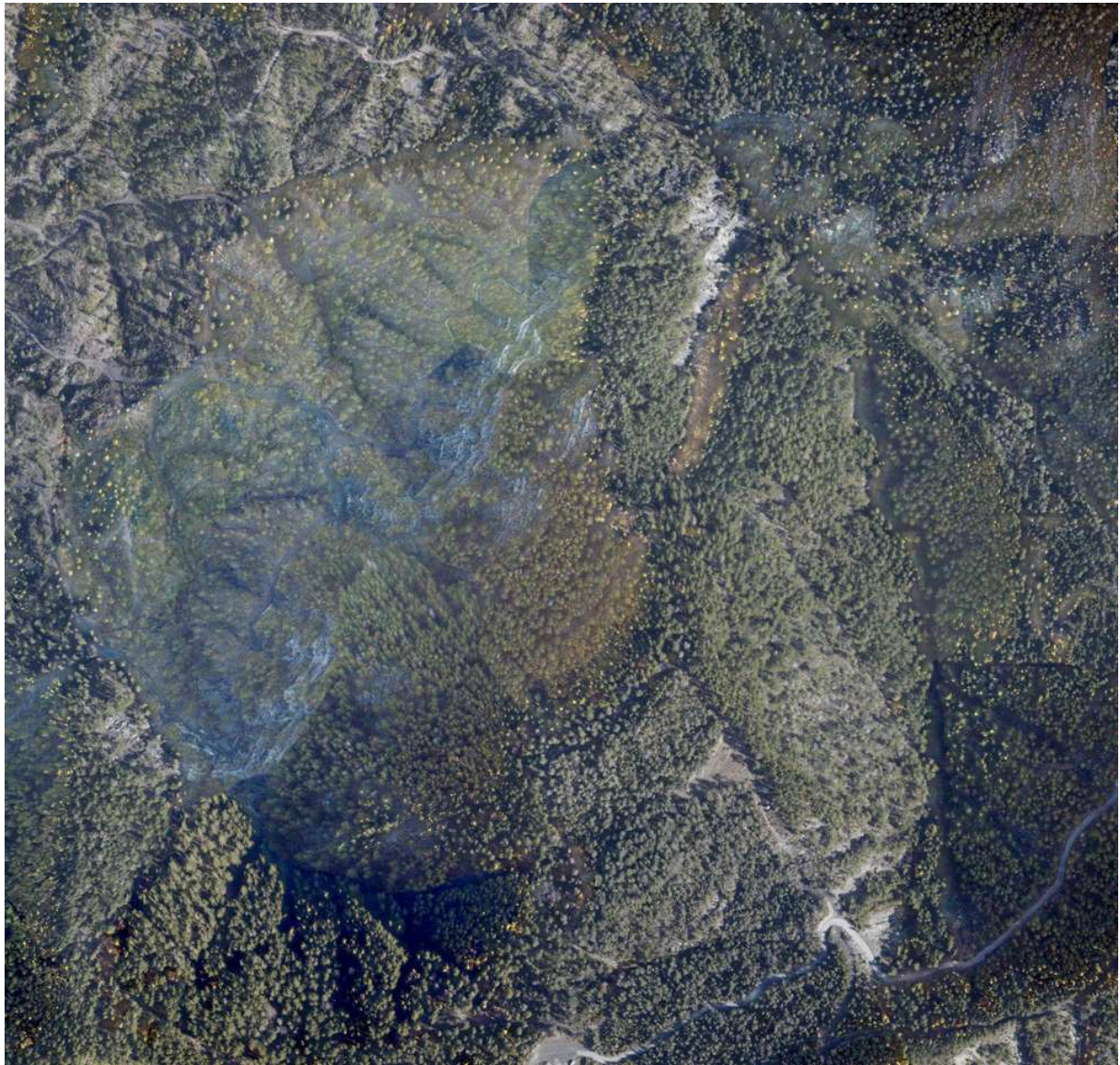
Désolé pour le titre, mais c'est vraiment ce qu'il y a de plus explicite pour décrire ma démarche. En effet, après avoir séparé l'image en zone à l'ombre et zone au soleil (cf. la binarisation présentée en 1.1 et 1.4), on va transformer les pixels à l'ombre en pixels au soleil par la transformation affine de la formule (4) ce qui peut être un peu plus clair avec l'explication illustrée par la figure 11 donnée à la page précédente. Ce qui n'a pas été précisé jusqu'ici, c'est l'hypothèse de travailler avec des répartitions gaussiennes de valeurs (cf. les bosses des histogrammes). Le résultat de cette correction sur l'exemple de Brusquet nous fournit l'image suivante où l'on remarque que les corrections effectuées sur les crêtes sont légèrement orangées tandis que les fonds de vallée sont plutôt bleutés. De plus certaines régions encaissées restent bien sombres.



*Figure 12 : Une mise en pratique de notre méthode sur la zone de Brusquet.*

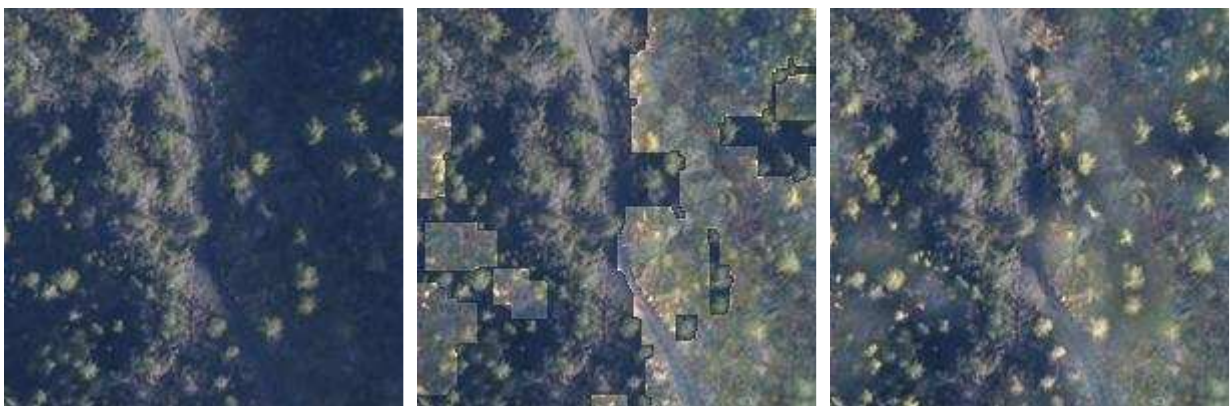
Bon, ce n'est pas si mal que ça, non ? Il reste encore un petit détail esthétique à régler : la limite entre la zone à l'ombre corrigée et celle au soleil. Pour cela on va rester dans l'esprit Wallis en effectuant un filtrage (un vrai, cette fois, avec une fenêtre) reprenant la formule (5) avec  $\alpha$  et  $\beta$  égaux tous deux à 1,  $m_d$  et  $\sigma_d$  les moyenne et écart type pris sur une fenêtre glissante 11x11 dans l'image corrigée de la figure 12 et  $m_i$  et  $\sigma_i$ , la même chose prise dans l'image originale de la figure 3, ce qui nous donne le rendu final :





*Figure 13 : Alléluia !*

Regardons de plus près ce lissage de la limite ombre soleil. Les petites zones hétérogènes semblent mieux se fondre dans le rendu final. Et c'est d'ailleurs une trouvaille intéressante qui pourra être reprise plus tard dans le rendu final de modèles corrigé plus proprement, c'est-à-dire avec un modèle physique.



*Figure 14 : Détail de l'effet de lissage de la frontière par filtrage de Wallis.*

### 3. ET LA PHYSIQUE DANS TOUT ÇA ?

---

Il faut bien admettre que parler d'un sujet qui touche d'aussi près la télédétection sans faire un minimum de physique est assez prétentieux. En guise de conclusion et de perspectives, posons donc les quelques équations, assez simples, qui modélisent l'énergie reçue par un pixel (c'est-à-dire sa valeur) regardant un point au sol :

$$\text{Pour un pixel au soleil : } v_s = k \cdot (\rho \cdot (E_s + E_D) + V) \quad (6)$$

$$\text{Pour un pixel à l'ombre : } v_o = k \cdot (\rho \cdot E_D + V) \quad (7)$$

Où  $v_s$  (respectivement  $v_o$ ) désigne la valeur du pixel visant une zone au soleil (respectivement à l'ombre),  $V$  le voile atmosphérique,  $\rho$  l'albédo,  $k$  un coefficient de proportionnalité propre à la camera et  $E_s$  (respectivement  $E_D$ ) représente l'énergie fournie par le Soleil (respectivement diffusée par le ciel).

Les relations (6) et (7) aboutissent à la relation suivante (8) qui relie la valeur du pixel à l'ombre à sa valeur théorique au soleil.

$$v_s = \left(1 + \frac{E_s}{E_D}\right) \cdot v_o - \frac{E_s}{E_D} \cdot k \cdot V \quad (8)$$

$$y = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot x + \left(\bar{y} - \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot \bar{x}\right) \quad (9)$$

En supposant le voile  $V$  et l'éclairement  $E_D$  constants sur toute l'image (hypothèse du sol plat) on peut alors dire que la relation (8) est affine ( $k$  étant une constante de camera et  $E_s$  ne variant pas sur l'image, car le Soleil brille pareil pour tout le monde). En rappelant la formule du filtre de Wallis sous sa forme affine (9) on en déduit les relations (10) par identification. Elles sont là pour nous rappeler qu'en utilisant le filtrage de Wallis on a fait de la physique sans le savoir, en effet, on s'est placé dans un hypothèse de sol plat ( $E_D$  constant).

$$\begin{cases} \frac{E_s}{E_D} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} - 1 \\ \bar{y} - \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \bar{x} \\ k \cdot V = \frac{\sigma_x}{1 - \frac{\sigma_y}{\sigma_x}} \end{cases} \quad (10)$$

Mais que dire si le sol n'est pas plat (comme cela arrive généralement en montagne) ? Pour cela il faut considérer l'éclairement diffus comme une intégrale sur la portion de ciel visible du rayonnement perçu sur le pixel au sol, le Soleil lui restera une source ponctuelle ( $E_s$  constant) ce qui signifie qu'un pixel est soit à l'ombre, soit au soleil. Afin de générer ce masque dû au relief de la scène, il nous faudrait un modèle numérique d'élévation. Intuitivement, on peut déjà imaginer que ceci nous épargnera les fonds de vallée encaissée sombre de la figure 12 ou 13.

De même il serait intéressant de modéliser le voile  $V$  par une fonction dépendante de l'altitude. En effet, plus on regarde au fond de la vallée, plus celle-ci nous paraît bleue comparée à la crête de la montagne, car la quantité d'atmosphère traversée n'est pas la même. Ces quelques modifications, passant par une modélisation du ciel et de l'atmosphère, feront partie de la suite de mon étude.

## **BIBLIOGRAPHIE (TRÈS) SUCCINTE**

---

**V. ARÉVALO et al.** “Shadow detection in colour high-resolution satellite images”, in *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, Nos. 7-8, Avril 2008, pp. 1945-1963

*La méthode de détection des ombres développée dans cet article est résumée au chapitre 1.3 de mon rapport. Les tests par l'équipe espagnole ne portent que sur de petites images Quickbird et uniquement sur de l'urbain. Il est toutefois intéressant de noter dans cet article un court état de l'art sur la détection des ombres depuis ces trente dernières années en utilisant des considérations essentiellement radiométriques.*

**R. FERRIER.** “Détection des ombres dans les images aériennes”, *rapport de stage de DESS Intelligence Artificielle 1996/97 Université Pierre & Marie Curie, I.G.N., 53 pages*

*Ce stage de fin d'étude, effectué à l'I.G.N. sous la direction de Franck JUNG, traite de la détection des amorces d'ombre grâce à l'utilisation d'une carte de disparité ( $\pm MNE$ ) et de la position du Soleil. Le reste des ombres est obtenu par croissance et fusion de région. En fin la correction se fait par filtrage de Wallis où la moyenne et l'écart type désirés sont pris sur la frontière extérieure de l'ombre détectée (c'est-à-dire au soleil). Notons surtout que l'étude ne porte que sur des images en noir et blanc, le plus souvent numérisés...*

**S. LACHÉRADE.** “Caractérisation des propriétés optiques des matériaux urbains à partir d'images de télédétection à très hautes résolutions spatiale et spectrale”, *mémoire de thèse présentée en vue de l'obtention du titre de docteur de l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique de l'Espace, soutenue le 29 septembre 2006, SUPAERO, 231 pages*

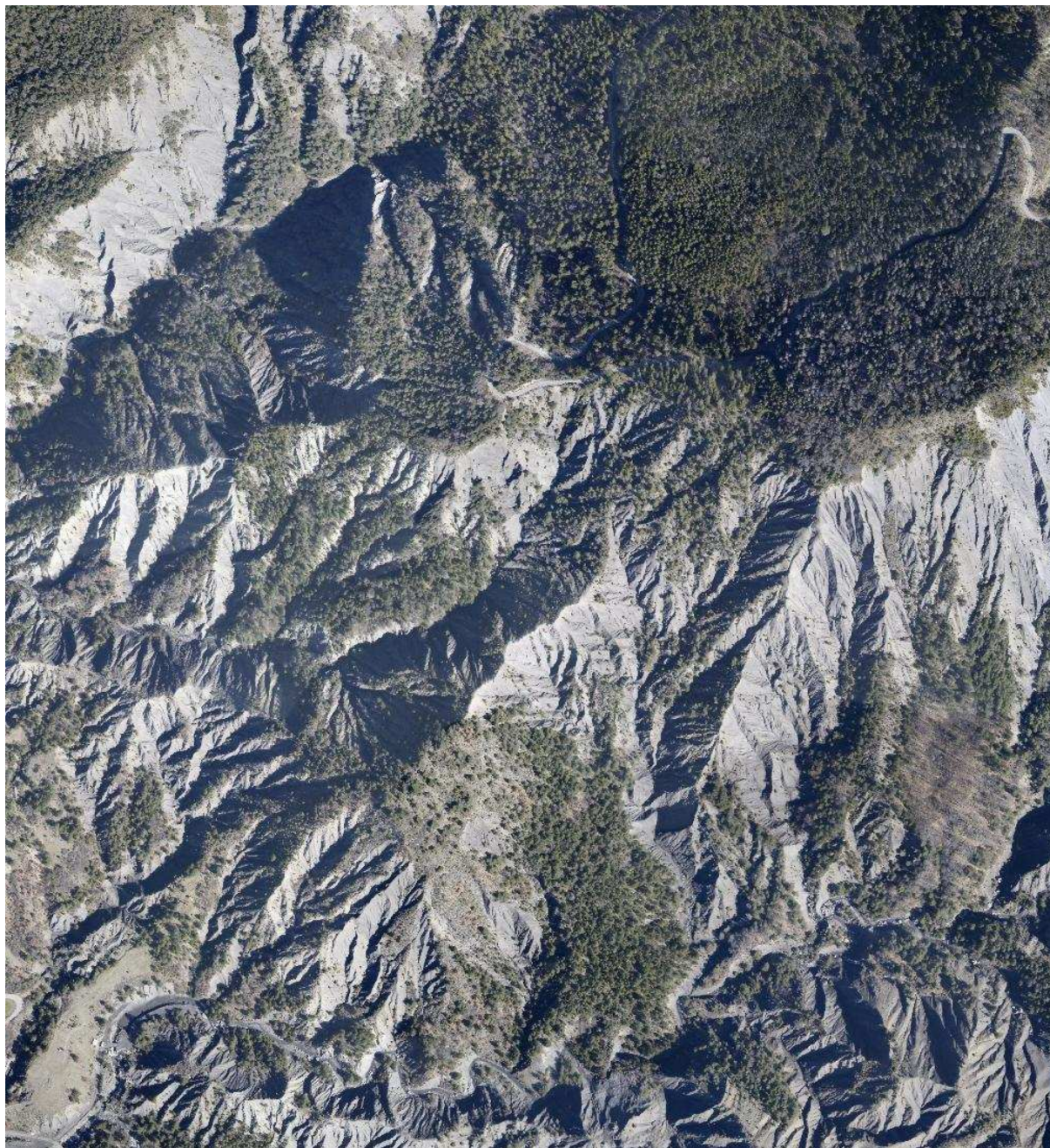
*Ce travail présente une analyse très complète des phénomènes de transfert radiatif dans le cadre de la modélisation de l'éclairement en milieu urbain. Cela passe avant tout par une mise en place rigoureuse des équations physiques, puis par l'utilisation d'un dispositif créé pour l'occasion : le système PÉLICAN, composé de deux caméras IGN munies de 8 filtres à bandes passantes étroites. L'objectif final de cette thèse étant le développement d'une méthode de transfert radiatif inverse nommé ICARE. Notons que les matériaux présentés dans le cadre de l'étude sont considérés comme lambertiens, ce qui peut poser problème dans le cas des toits à fortes réponse spéculaire comme l'ardoise. Mais comme la zone test s'étendait essentiellement sur Toulouse, où les toits sont faits de tuiles orange à réponse relativement diffuse, ce modèle marchait plutôt bien.*



## **ANNEXE 1 : AUTRES EXEMPLES DE ZONES TESTÉES**

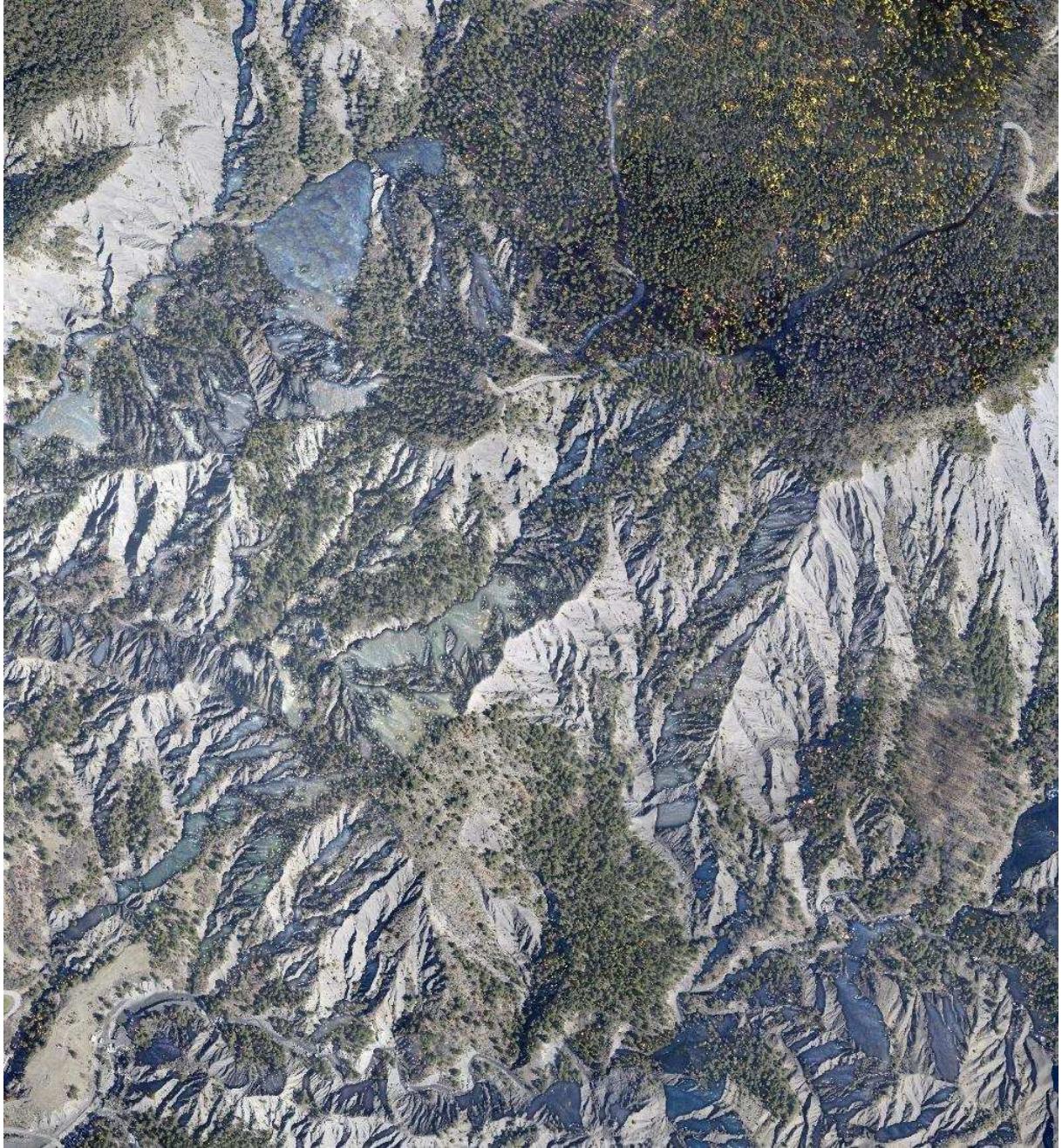
---

Il est amusant de prendre plusieurs zones tests pour une étude. Normalement, cette démarche est sensée nous conforter dans le choix de l'algorithme utilisé... mais c'est souvent la déception ainsi qu'un terrible sentiment de spleen qui s'installe en nous. Pour illustrer cela, prenons une image aérienne de Draix aux reliefs de marne noire très escarpés :



Un seuillage radiométrique à 100 (codage sur 8 bits) pour détecter les ombres et l'application d'un premier filtrage de Wallis pour égaliser la zone d'ombre par rapport au soleil puis un deuxième filtrage localisé pour lisser les bords d'ombre nous renvoie l'image présentée à la page suivante... Un peu déçu, non ? :o(

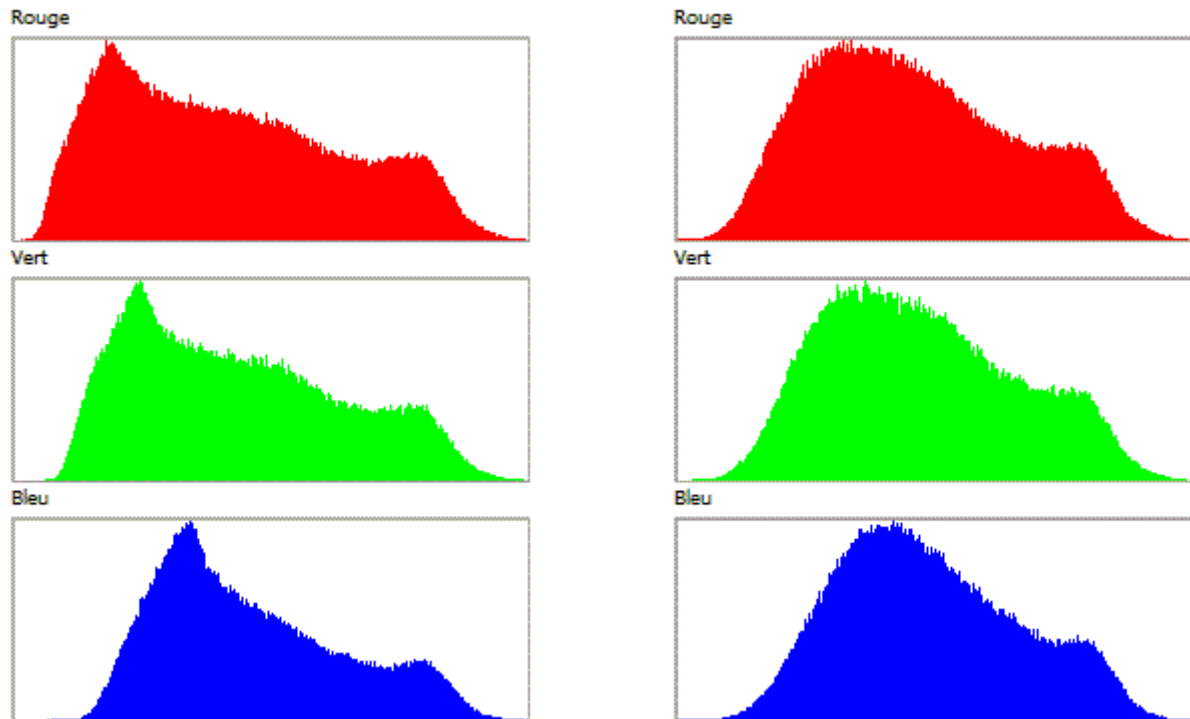




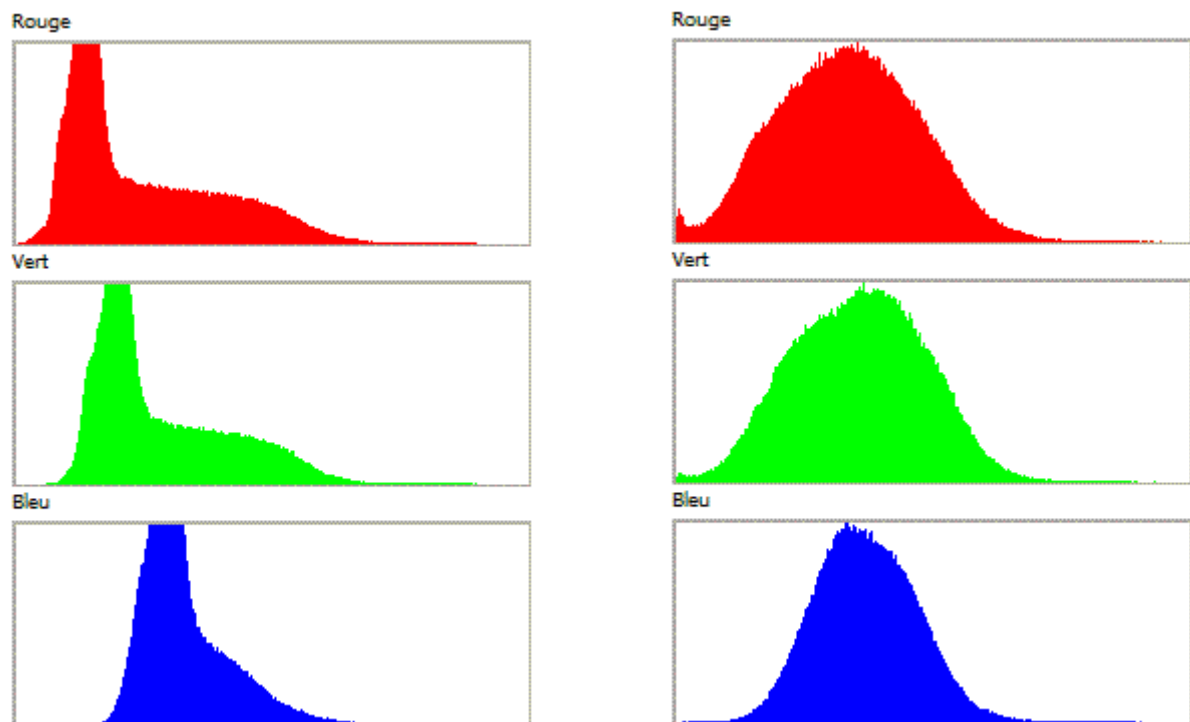
Et en zoomant un petit peu, on constate que cette méthode de seuillage assez simple et naïve à ses limites. En effet les limites d'ombre sont très mal définies :



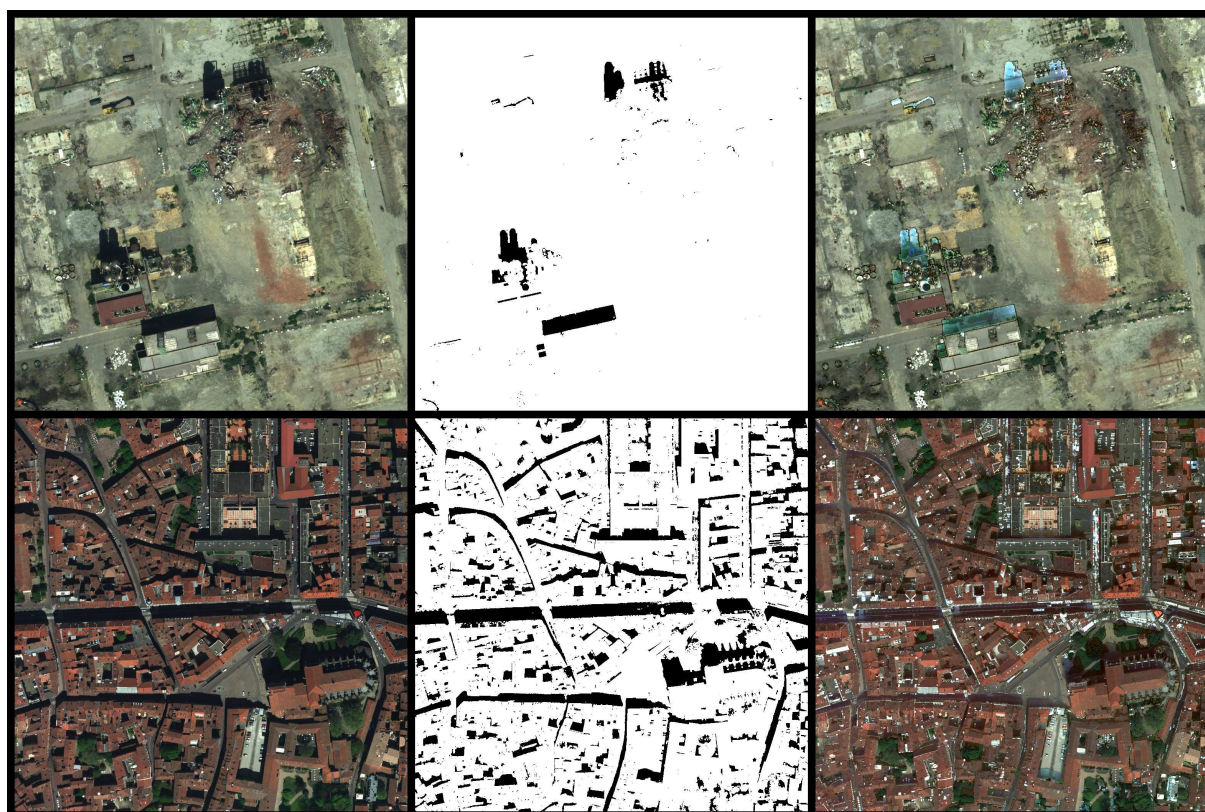
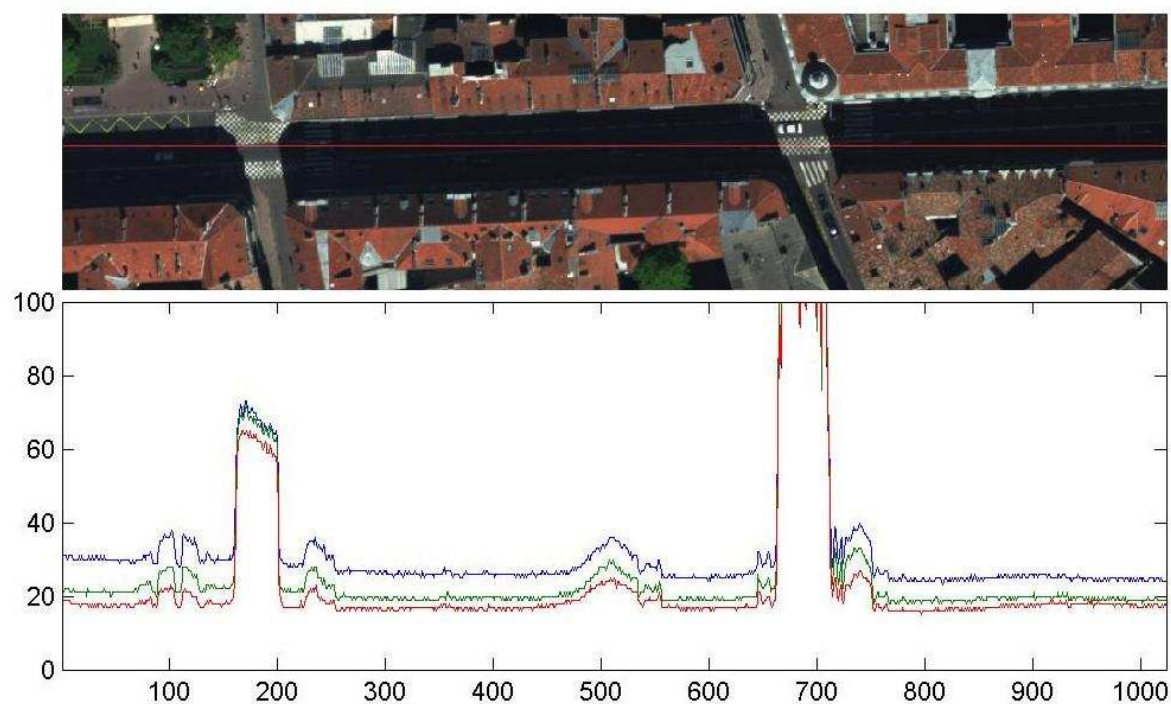




Ci-dessus, les histogrammes respectifs de l'image de Draix original (à gauche) et corrigé (à droite). On constate qu'il reste encore deux bosses à l'histogramme de droite, les zones d'ombre restent sombres malgré tout. On peut comparer ces deux histogrammes à ceux obtenus avec le jeu test d Brusquet fournis ci-dessous :



Il faut bien avouer que le changement est beaucoup plus visible ici (les pixels à l'ombre ont tous disparu sur l'histogramme de droite qui ressemble déjà plus à une belle bosse de dromadaire). Ce test de l'histogramme est un bon moyen de représenter l'égalisation radiométrique qu'entraîne une correction des ombres.



Et voici quelques exemples sur de l'urbain (campagne Capitoul effectuée sur Toulouse en 2004 dans le cadre de la thèse de Sophie Lachérade). La détection des ombres a été obtenue par simple différence de la bande bleue (435 nm) et verte (551 nm) comme cela est expliqué dans la partie 1.2. Bien que les problématiques soient différentes en ville et en montage, une étude parallèle de ces deux milieux n'est pas inintéressante.



## ANNEXE 2 : LES CONFESSIONS D'UN HÉRÉTIQUE (CODES MATLAB)

---

Dans ces dernières pages seront présentés quelques codes en MatLab. Le choix de ce « langage » a été motivé par le fait de sa grande simplicité et de son caractère très mathématique faisant appel au calcul matriciel (inversion, recherche de vecteurs propres, etc...). La boîte à outil image de ce logiciel de calcul numérique est assez bien fournie. Bien sûr, ce langage présente certains défauts tels que des problèmes lors de l'enregistrement d'images sur 16 bits, une mauvaise gestion des boucles FOR... Cette mise en valeur de l'aspect algorithmique par rapport à l'aspect programmation pure a un prix.

```
function [tutu] = wallis1(toto,titi)

%-----
% [tutu] = wallis1(toto,titi)
%-----
% Reajuste titi sur toto pour donner tutu
% Cree par Laman le lundi 26 mai 2008
%-----

for k = 1:3
zon1 = toto(:,:,k);
zon2 = titi(:,:,k);
moy1 = mean(mean(zon1));
sig1 = std(std(zon1-moy1));
moy2 = mean(mean(zon2));
sig2 = std(std(zon2-moy2));
zon2 = (zon2 - moy2)*sig1/sig2 + moy1;
tutu(:,:,k) = zon2;
end

return
```

Un exemple du code qui a permis d'égaliser les images en couleurs de l'avenue Jean Moulin de la figure 10. Le filtrage s'est fait couche par couche (couches RVB).

```
function [titi] = fred2(toto,n,s,k)

%-----
% [titi] = fred2(toto,n,s,k)
%-----
%
% Cette fonction simplifie le masque
% d'ombre de toto obtenu par seuillage
% s en en supprimant les details de
% taille 2n (par floutage) puis egalise
% toto par un filtre de Wallis avec un
% rehaussement de contrast k.
%
% Créé par Laman le lundi 26 mai 2008
%
%-----

titi = sum(toto,3)/3;
titi = floor((1+sign(titi-s))/2);
titi = floumoy2(titi,n);
titi = sign(titi);
titi = floumoy2(titi,n-1);
epsi = abs(1-max(max(titi)));
titi = floor(titi+2*epsi);
titi = fred1(toto,titi,k);

return
```

Ceci est la fonction utilisée pour obtenir l'image corrigée de la figure 12 (sans le lissage des limites ombres et soleil). Elle fait elle-même appel à deux autres fonctions présentées à la page suivante.

```

function [img2] = floumoy2(img1,n)

%-----
% [img2] = floumoy2(img1,n)
%-----
% Floute une image par une fenetre
% carree de cote 2n+1 (-> moyenne)
% Optimise par ALB le 14 02 2008
%-----

[a,b,c] = size(img1);

if n > min(a,b)
disp('La fenetre est trop grande');
return
end

gogo = flipdim(img1(:,1:n,:),2);
dodo = flipdim(img1(:,(1+b-n):b,:),2);
hoho = flipdim(img1(1:n, :, :),1);
bobo = flipdim(img1((1+a-n):a, :, :),1);
hogo = flipdim(flipdim(img1(1:n,1:n, :, :),1),2);
hodo = flipdim(flipdim(img1(1:n,(1+b-n):b, :, :),1),2);
bogo = flipdim(flipdim(img1((1+a-n):a,1:n, :, :),1),2);
bodo = flipdim(flipdim(img1((1+a-n):a,(1+b-n):b, :, :),1),2);

toto = zeros(a+2*n,b+2*n,c);
toto((n+1):(a+n),(n+1):(b+n),:) = img1;
toto((n+1):(a+n),1:n,:) = gogo;
toto((n+1):(a+n),(b+n+1):(b+2*n),:) = dodo;
toto(1:n,(n+1):(b+n),:) = hoho;
toto((a+n+1):(a+2*n),(n+1):(b+n),:) = bobo;
toto(1:n,1:n,:) = hogo;
toto(1:n,(b+n+1):(b+2*n),:) = hodo;
toto((a+n+1):(a+2*n),1:n,:) = bogo;
toto((a+n+1):(a+2*n),(b+n+1):(b+2*n),:) = bodo;
clear img1;

tata = zeros(a,b+2*n,c);
w = 1/(2*n+1);

for i = -n:1:n
titi = toto((n+1+i):(a+n+i),:, :);
tata = tata + titi*w;
end

clear toto;
img2 = zeros(a,b,c);

for i = -n:1:n
titi = tata(:,(n+1+i):(b+n+i),:);
img2 = img2 + titi*w;
end

return

```

Cette fonction effectue une convolution de l'image (à c couches) par une fenêtre moyenne de taille  $(2n+1) \times (2n+1)$ . Les 20 lignes d'affectations sont là pour dupliquer le bord de l'image. On notera que la boucle conditionnelle du début ne sert pas à grand-chose. Les amateurs de MatLab noteront que la plupart des boucles FOR sont implicites...

```

function [tutu] = fredl(toto,titi,n)

for k = 1:3
zon1 = toto(:, :, k).*titi;
zon2 = toto(:, :, k).*(1-titi);
[L1,C1,V1] = find(zon1);
[L2,C2,V2] = find(zon2);
moy1 = mean(V1);
sig1 = std(V1-moy1);
moy2 = mean(V2);
sig2 = std(V2-moy2);
zon2 = (zon2 - moy2)*n*sig1/sig2 + moy1;
tutu(:, :, k) = zon1 + (1-titi).*zon2;
end

return

```

Il s'agit tout simplement du filtre de Wallis présenté dans wallis1 mais écrit différemment.