

Projet SI241

Suppression de grillage sur des photos de zoo

Vincent ROULET & Vincent BODIN

Résumé

Ce projet s'attelle à la tâche de suppression de grillage dans une photo de zoo par exemple. Les grillages sont souvent composé d'une structure particulière, tant au niveau de la forme géométrique que de la colorimétrie. Cette structure sera utilisée pour détecter le grillage au sein d'une photo. En seconde partie nous nous attacherons à reconstruire l'image masquée - *i.e.* où le grillage a été supprimé.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières

1 Hypothèses	3
2 Détection de contours et extraction de lignes	4
2.1 Détection de contours	4
2.2 Extraction de lignes - transformation de Hough	4
3 Identification d'un grillage	6
3.1 Reconnaissance du grillage dans la transformée de Hough	6
3.1.1 Hypothèses	6
3.1.2 RANSAC dans la transformée de Hough	6
3.2 Validation du grillage obtenu	10
3.3 Raffinement du grillage	10
3.3.1 Utilisation des couleurs de l'image	10
3.4 Utilisation de la périodicité du grillage dans la transformée de Hough	10
4 Reconstruction de l'image	12

Introduction

1 Hypothèses

La complexité de supprimer des grillages dans des photos réside notamment dans la variété des grillages existant, dont découle la difficulté de leur détection. Nous commençons donc par présenter les hypothèses que nous avons formulées pour diriger la construction de notre algorithme. Nous testerons en conclusion notre algorithme à l'aune des limites de ces hypothèses.

Grillage non flou Si la photo est focalisée sur l'animal rendant le grillage flou, la détection de contours menant au grillage est perdue. De manière générale la détection du grillage nous semble très difficile dans ce cas étant donné la perte d'information due au flou.

Photo prise approximativement face au grillage Si la photo est prise de biais, les lignes du grillage ne seront plus espacées périodiquement sur la photo et leurs angles varieront largement. Ce phénomène met en difficulté la caractérisation du grillage par sa périodicité spatiale, bien qu'on puisse la retrouver en connaissant la transformation homographique liée à la prise de vue. Comme de nombreuses photos ne sont pas prises parfaitement face au grillage, nous avons tenté de prendre en compte cette déformation géométrique.

Grillage sans rupture de direction ou double grillage Si le grillage a une rupture de direction et se trouve donc dans deux plans différents ou si deux grillages sont présents sur l'image, notre algorithme ne détectera qu'un grillage. En effet pour palier la détection de faux grillages nous nous sommes restreints à détecter le grillage le plus probable dans l'image.

Grillage total Si le grillage est partiel, c'est à dire qu'il n'est que sur une partie de l'image, le masque obtenu pour l'inpainting étendra les lignes du grillage. L'idée est d'éliminer plus que nécessaire de manière à éviter de garder des morceaux de grillage non détectés.

Grillage non déformé Si le grillage est déformé comme bombé par exemple, on ne peut plus détecter de lignes. L'algorithme que nous proposons n'est pas invariant à ces petites déformations puisqu'il se base sur la détection de lignes dans l'image.

Grillage sans croisillons Si le grillage est fait de croisillons, les lignes de ce dernier seront décalées à chaque noeud, complexifiant donc la détection de ces dernières en tant que lignes traversant toute l'image.

Nombre minimal de barreaux Nous supposons que les photos contiennent au moins 2 barreaux dans chaque direction. En effet le grillage perd toute caractéristique de périodicité sinon.

2 Détection de contours et extraction de lignes

2.1 Détection de contours

La première étape de notre processus de reconnaissance de grillage est de détecter les contours d'une image. En effet, les grillages provoquent naturellement une notion de contours dans l'image de par leur superposition sur le paysage.

Il existe de nombreuses manières d'obtenir un détecteur de contours, nous avons opté pour la méthode de Canny. Celle-ci a l'avantage de procéder par seuillage par hysteresis ce qui permet d'obtenir de bons résultats - au prix d'une recherche des paramètres optimaux.

Le filtre de Canny commence par un filtrage avec un noyau Gaussien dont la variance détermine l'échelle de précision. Celle-ci doit être en accord avec la taille du grillage pour que ce dernier provoque des contours intéressants. Il y a donc deux possibilités :

1. adapter variance de la gaussienne à la taille caractéristique du grillage.
Cette méthode nécessite d'avoir une connaissance *a priori* de la taille du grillage et n'est donc pas satisfaisante en pratique - dans un cas purement non supervisé où l'on en souhaite pas d'intervention extérieure donnant cette taille ;
2. redimensionner les images pour que les grillages aient une taille - à peu près fixe entre plusieurs images. Ceci repose sur l'hypothèse que les grillages ont grossièrement la même largeur dans chaque image. C'est bien sûr illusoire, mais de manière sous-jacente ceci implique qu'il n'y a pas de grillage qui recouvrent la moitié de l'image et d'autre quasi-invisibles. Notons que ce redimensionnement sera nécessaire quoiqu'il arrive lors de l'*inpainting*.

Les résultats de détecteur de contours sont fournis en Fig.(1). On voit qu'ils sont plutôt bons dans le sens où le grillage est presque partout visible dans les contours. Comme c'est cette information qui est ensuite envoyée pour en extraire les lignes, il est primordial que les lignes soient bien représentées.

2.2 Extraction de lignes - transformation de Hough

Nous ne rentrons pas dans les détails de la transformation de Hough mais en donnons ici plus une intuition qui nous sera utile pour plus tard. La transformation de Hough est une transformation qui permet d'extraire des droites d'une image. Le processus est représenté de manière graphique en Fig.(2).

L'idée est de partir d'un point A et de considérer toutes les droites passant par ce point. Ces droites sont paramétrées en coordonnées (ρ, θ) représentant respectivement l'angle et la distance - notons que sur un ordinateur, le point $(0,0)$ est en haut à gauche et non en bas à gauche :

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

Les droites passant par A forment une sinusoïde dans l'espace d'arrivée. La droite passant par A qui va passer par un autre point B va également appartenir à la sinusoïde de B dans l'espace image : elle sera représentée par un point à l'intersection des deux sinusoïdes. Pareil si cette même droite passe par un point C . C'est ainsi que si l'on alloue un compteur 1 à chaque sinusoïde d'un ensemble de points d'entrée, et que ce compteur est additif, alors trouver les maxima dans

2 DÉTECTION DE CONTOURS ET EXTRACTION DE LIGNES

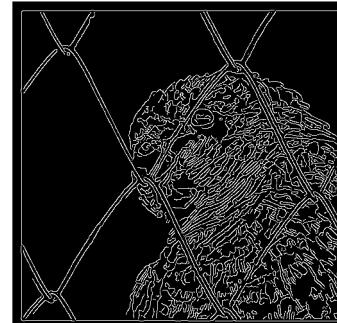
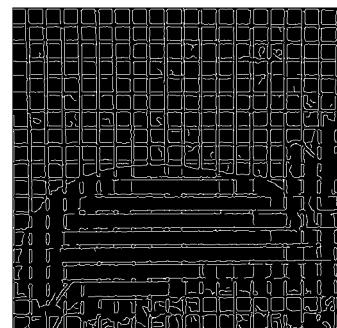
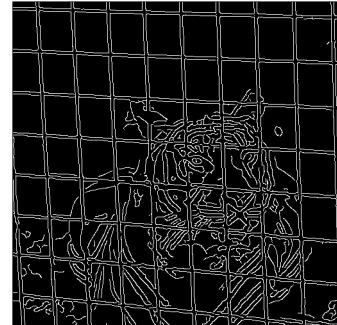


FIGURE 1 – Dans les colonnes de gauche, l'image initiale et dans celles de droite les résultats de la détection de contour avec l'algorithme de Canny. Toutes les images sont redimensionnées en 512×512 .

la transformation de Hough revient effectivement à extraire les lignes d'un nuage de points.

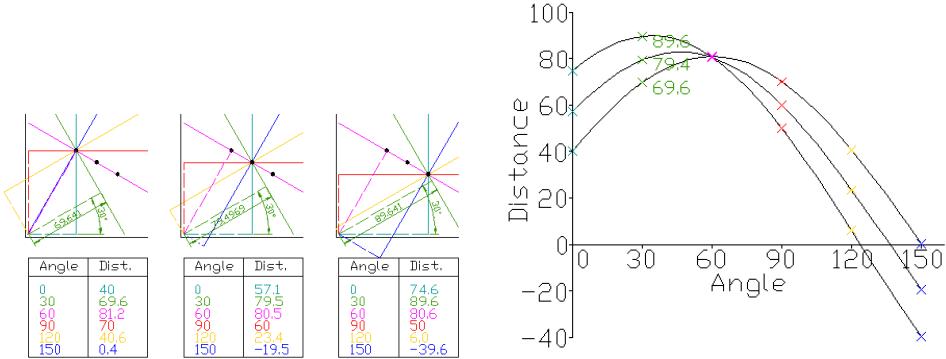


FIGURE 2 – Transformation de Hough, les croisements dans l'espace arrivé correspondent aux droites dans l'image initiale.

3 Identification d'un grillage

Si un grillage est un ensemble de lignes, il possède d'autres propriétés particulières qui aident à sa reconnaissance. Sa périodicité spatiale ainsi que l'angle formé entre les deux directions du grillage en font partie. Nous nous sommes donc tout d'abord intéressés à la reconnaissance de ces éléments dans la transformée de Hough.

3.1 Reconnaissance du grillage dans la transformée de Hough

3.1.1 Hypothèses

Tout d'abord on peut supposer que les deux directions du grillage sont approximativement perpendiculaires ($\pm 90^\circ$). Deux paquets de piques doivent donc être visibles avec cet écart d'angle sur la transformée de Hough.

En outre supposons le grillage pris de face comme en figure 5, ses lignes détectées auparavant possèdent alors la particularité d'avoir toutes le même angle θ et de varier périodiquement en ρ comme on le voit sur sa transformée de Hough en figure 5. Si le grillage est observé de biais les angles des lignes varient comme on peut le voir sur l'image d'exemple 5. Leur représentation dans la transformée de Hough en figure 5 n'est plus une droite verticale ni même une droite et les valeurs de ρ correspondantes ne sont plus périodiques.

Nous supposerons que le grillage n'est pas pris trop de biais comme présenté avant, on peut alors espérer détecter des lignes dans Hough, ou plus précisément deux lignes dont les abscisses (l'angle moyen des lignes détectées dans l'image) sont séparées d'environ 90° .

3.1.2 RANSAC dans la transformée de Hough

Tout d'abord nous centrons la transformée de Hough de manière à ce que les lignes que l'on désirait y détecter ne soient pas coupées. En effet la transformée de Hough détecte les lignes dans l'image dont l'angle est compris entre -90° et 90° . Si le grillage comprend une direction horizontale déformée par la prise de vue, les lignes détectées selon cette direction peuvent avoir des angles à la

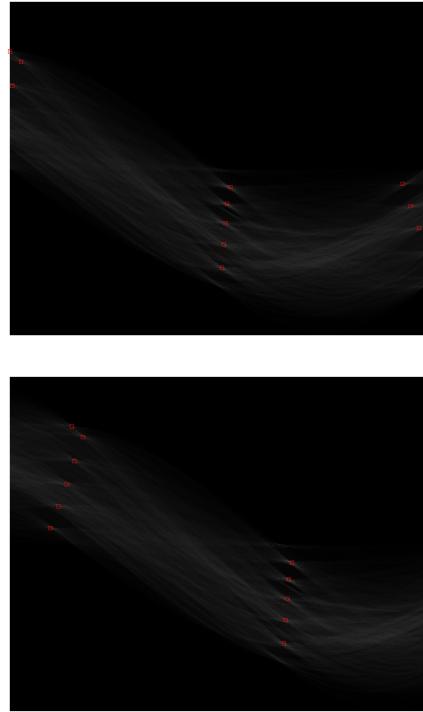


FIGURE 3 – Centrage de la transformée de Hough, à gauche la transformée de Hough non centrée, à droite la transformée de Hough centrée.
La ligne coupée dans la transformée de Hough ne l'est plus après centrage et peut être détectée.

fois légèrement supérieurs à -90° et légèrement inférieurs à 90° . Or elles forment ensemble un potentiel grillage que l'on aimerait détecter dans la transformée de Hough.

Concrètement nous réalisons une permutation de la transformée de Hough selon l'axe des abscisses jusqu'à ce que la zone coupée (au niveau de l'abscisse 0 et de l'abscisse maximale) contienne un minimum de piques de la transformée de Hough. Ce centrage est illustré en figure 3.

Nous avons observé dans la transformée de Hough des artefacts au niveau en abscisse des angles $\theta = -90^\circ, -45^\circ, 45^\circ, 90^\circ$. Il s'agit en quelque sorte d'un décalage de la transformée de Hough à ces angles menant à la détection de faux piques à leurs niveaux. Nous éliminons donc tous les piques pouvant être détectés à ces abscisses avant de procéder à la suite.

Nous avons tout d'abord tenté de reconnaître des lignes dans la transformée de Hough par une seconde transformée de Hough sur la transformé de Hough. Cependant cette méthode était trop rigide car elle ne permettait pas de reconnaître le grillage si celui-ci était pris trop en biais et ne s'illustrait donc pas tout à fait comme une droite sur l'image.

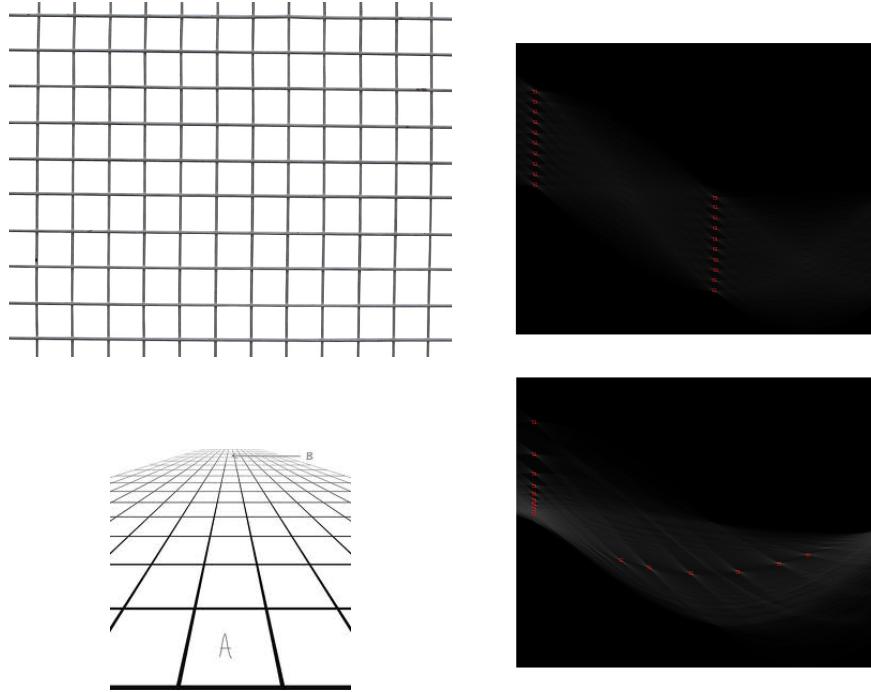


FIGURE 4 – Illustration de l'impact de la perspective sur les piques troués dans la transformée de Hough.
A gauche les images, à droite leurs transformée de Hough respectives.

Nous avons donc affiné notre méthode en essayant de reconnaître ces droites à l'aide d'un algorithme RANSAC appliqué sur des fenêtres de la transformée de Hough. RANSAC a en effet l'avantage d'offrir plus de souplesse qu'une transformée de Hough sur la transformée de Hough tout en gardant l'idée de détecter des lignes et non de chercher un simple agglomérat de piques dans la transformée de Hough. Cette amélioration est illustrée en figure ??

Concrètement nous prenons deux larges fenêtres dans la transformée de Hough dont la largeur horizontale est de 30° (couvrant ainsi les lignes de l'image dont les directions sont semblables à 30° près) et la largeur verticale est celle de la transformée de Hough. Ces fenêtres sont espacées de 90° illustrant la détection des deux directions du grillage et non de simples lignes parallèles dans l'image.

Dans chacune de ces fenêtres nous utilisons un algorithme RANSAC afin de détecter les lignes dans la transformée de Hough qui s'y trouvent. Nous utilisons RANSAC pour éviter de prendre en compte des piques de la transformée de Hough qui n'ont rien à voir avec le grillage dans la fenêtre prise en compte et qui fausseraient la détection de la ligne.

Nous faisons ensuite glisser cette paire de fenêtres pour couvrir la totalité de la transformée de Hough. Pour chacune des paires de fenêtres nous calculons le nombre de piques se trouvant près de la ligne détectée par RANSAC dans chacune des deux fenêtres. Cela nous donne un premier score. Si la ligne trouvée dans la transformée de Hough est trop horizontale on considère que c'est une

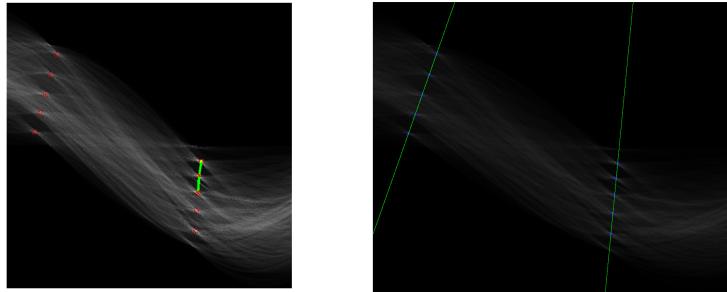


FIGURE 5 – Détections de droites dans la transformée de Hough grâce à gauche à une

seconde transformée de Hough et à droite avec RANSAC

On observe que les points ne sont pas tout à fait alignés pour qu'une seconde transformée de Hough les détecte alors qu'un RANSAC y parvient mieux.

erreur et nous donnons un score de 0. Nous choisissons finalement la paire de fenêtres au score maximal.

Cette étape nous donne ainsi un premier grillage potentiel comme illustré en figure 6 parfois complet dans des cas simples comme celui présenté ici. En prenant de larges fenêtres nous pallions le problème de la prise de vue en biais qui déformerait les directions des lignes du grillage. L'utilisation de RANSAC dans ces larges fenêtres permet ensuite de détecter des lignes sans être dérangé par des piques ne décrivant pas des lignes du grillage.



FIGURE 6 – Exemple de grillage obtenu avec la première méthode.

3.2 Validation du grillage obtenu

Une fois un premier grillage trouvé nous aurions aimé le valider grâce à l'image en utilisant des descripteurs différents de la détection de contours par méthode de Canny.

Une première solution était de vérifier s'il existait une périodicité de couleur au niveau du grillage détecté. En effet si on se place selon une direction du grillage et en dehors de ce dernier, la seconde direction devrait apparaître périodiquement par ses lignes qu'on reconnaît à leur couleur

Cependant cette méthode peut être mise à mal pour deux raisons. Tout d'abord il faudrait que le grillage ait une couleur relativement unie, or l'éclairage de la photo met en danger cette hypothèse. En outre, comme dit précédemment, la prise de vue de la photo peut faire perdre la périodicité spatiale du grillage rendant cette méthode caduque. C'est pourquoi nous n'avons finalement pas mis en place cette méthode.

Une deuxième solution pouvait être d'utiliser des transformées morphologiques. Nous avons notamment pensé à réalisé un gradient morphologique avec pour élément structurant un segment de direction l'une de celles du grillage.

Nous n'avons finalement pas validé les grillages obtenus car ils étaient dans une grande majorité des cas bons dès la première approche. Ceci est notamment dû à la qualité de notre premier détecteur et donc du choix de la résolution adoptée pour l'image.

3.3 Raffinement du grillage

Le premier grillage obtenu est le plus souvent incomplet : les deux directions du grillage sont connues ainsi qu'un certain nombre de barreaux mais pas tous. Nous avons donc essayé plusieurs méthodes pour raffiner ce premier grillage.

3.3.1 Utilisation des couleurs de l'image

Connaissant une partie des barreaux nous avons essayé de trouver la couleur du grillage. Pour cela nous avons sélectionner les pixels de l'image situés près des lignes que nous avions trouvé puis nous avons réalisé un K-means couleur sur l'ensemble de ces pixels en espérant que la classe majoritaire du K-means corresponde ainsi à la couleur du grillage.

Malheureusement la classe majoritaire ne correspond pas à la couleur du grillage. Cela peut s'expliquer notamment par le fait que nous détectons les contours du grillage et les lignes ainsi trouvées n'étant pas centrées sur le grillage, les pixels sélectionnés sont souvent hors du grillage. Pour mieux le comprendre nous avons affichés les valeurs des couleurs dans l'espace RGB de ces pixels en figure 7 : aucun paquet précis ne semble s'y former.

3.4 Utilisation de la périodicité du grillage dans la transformée de Hough

Comme dit précédemment, en supposant la photo prise relativement face au grillage l'écart en les piques d'une direction du grillage est sensiblement toujours

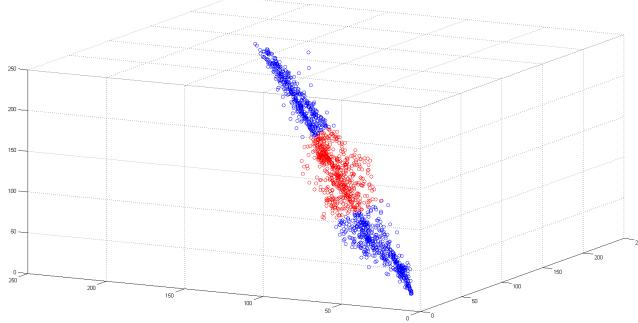


FIGURE 7 – Couleurs des pixels proches des lignes détectées dans l'espace RGB. En rouge le paquet le plus gros trouvé.

le même : la périodicité du grillage se retrouve ainsi dans la transformée de Hough.

Pour chaque ligne dans la transformée de Hough trouvée précédemment nous calculons l'écart entre les pics sur la ligne. Nous calculons ensuite l'écart moyen en évitant de prendre en compte des valeurs aberrantes à l'aide d'un RANSAC 1D. En effet n'ayant pas tous les barreaux nous espérons en avoir suffisamment pour mettre en évidence la période, si entre deux barreaux, 5 n'ont pas été trouvé l'écart entre leurs piques sur la transformée de Fourier ne sera pas pertinent c'est pourquoi nous évitons de le prendre en compte.

Une fois cette période trouvée dans la transformée de Hough, nous prenons un pique de départ. Pour cela nous remontons selon la ligne trouvée sur la transformée de Hough pas à pas, la pas étant égal à la période trouvée, ceci jusqu'à être en dehors de la transformée de Hough. Nous redescendons ensuite selon la ligne selon ce même pas. A chaque pas, nous "zoomons" sur des petites fenêtres centrées en là où devrait se trouver un pique. Si un pique déjà trouvé s'y trouve nous le prenons et nous repartons de sa position sinon nous cherchons le maximum dans cette fenêtre comme pique. En repartant de points déjà trouvés nous évitons de propager l'erreur due à l'approximation de la période. En effet comme on l'a déjà vu avec la grille en perspective, dans le cas de grillages pris en biais les piques ne sont pas séparés tout à fait régulièrement.

Cette méthode permet de trouver de nombreux nouveaux piques. Cependant il reste parfois quelques rares barreaux non détectés. Pour cela nous pourrions repasser sur l'image, calculer l'écart successif entre les barreaux selon chacune des directions du grillage et chaque fois que l'écart double approximer l'existence d'un barreau au milieu de cet écart. Nous n'avons pas mis en place ce dernier raffinement car il est possible que jouer sur les informations recueillies à différentes résolutions ou utiliser plus intelligemment les transformées morphologiques donnent un résultat plus précis. En outre dans de nombreux cas ce raffinement suffit.

Nous présentons en figure 8 le résultat avant et après raffinement selon la méthode proposée ici. On constate que de nombreux nouveaux barreaux ont été trouvé mais qu'il en manque encore et que certains ont été ajouté.

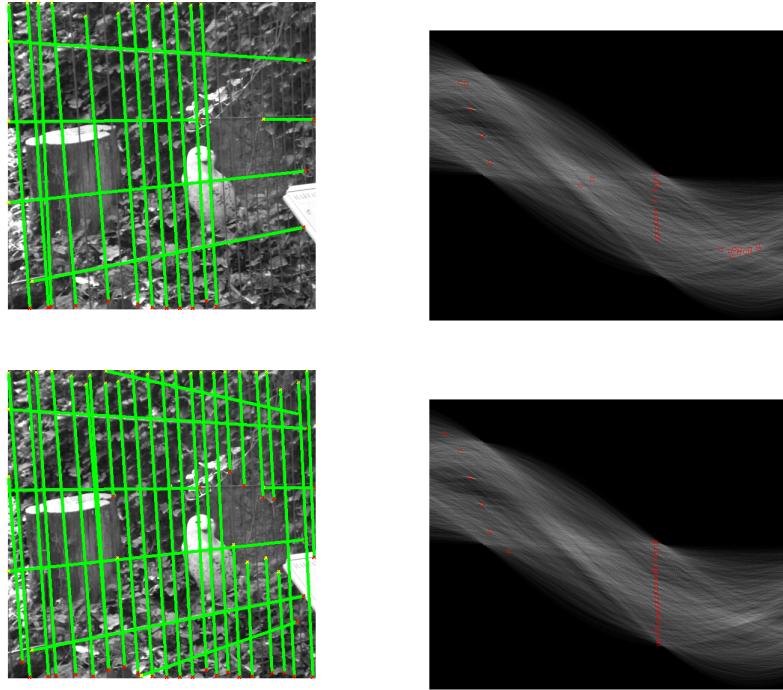


FIGURE 8 – Raffinement du grillage en utilisant la périodicité du grillage dans Hough
 A gauche on observe les images, à droite leurs transformées de Hough et les piques détectés. En haut il s'agit du premier grillage détecté avec la méthode précédente, en bas avec le raffinement.

4 Reconstruction de l'image

Une fois le masque appliqué à l'image, nous sommes ramené à un problème dit d'*inpainting*. Il s'agit alors de trouver une méthode permettant de combler les trous formés par le masquage en respectant la structure de l'image. Il existe de nombreuses méthodes pour cela, après quelques expérimentations nous avons sélectionné une méthode d'*inpainting* par régularisation parcimonieuse - avec un seuillage de type *soft* et des ondelettes orthogonales.

La méthode d'*inpainting* par régularisation parcimonieuse diffère des méthodes classique de régularisation variationnelle - qui minimisent une énergie, soit Sobolev soit TV en pratique - en ce sens qu'elle passe par une représentation parcimonieuse de l'image avant d'essayer de combler les trous. La représentation considérée est engendrée par une base de vecteurs $\Psi = (\psi_m)_m$, usuellement une base d'ondelette. Les coefficients dans cette base sont noté $a = (a_m)_m$, on par du principe que la représentation est parcimonieuse - *i.e.* les $(a_m)_m$ le sont. On cherche un ensemble de coefficients a^* qui résout :

$$a^* \in \arg \min_a \frac{1}{2} \|y - \Phi \Psi a\|^2 + \lambda J(a) \quad (2)$$

Le paramètre λ correspond à de la régularisation pour le bruit, comme nos



FIGURE 9 – Inpainting sur des images naturelles après application du masque. La méthode est avec un seuillage doux et une base d'ondelettes orthogonales.

images ne sont pas bruitée, nous prenons un λ très faible. La notation $\Psi a = \sum_m a_m \psi_m$ indique uniquement l'opération de reconstruction du signal. Souvent on prend $J(a)$ comme la norme L^1 : $J(a) = \sum_m \|a_m\|$.

On note $S^\Psi(a)$ la fonction de seuillage - *soft* ou *hard* - dans la base Ψ . On peut prendre plusieurs bases d'ondelettes, nous présenterons des résultats pour une base orthogonale et une autre invariante par translation. L'algorithme utilisé pour résoudre le problème de minimisation précédent est le *forward-backward splitting* - aussi connu comme *iterative thresholding*. Il s'agit d'itérer :

$$f^{(n+1)} = S_{\tau, \lambda}^\Psi(f^{(n)} - \tau \Phi^*(\Phi f^{(n)} - y)) \quad (3)$$

L'avantage de prendre des ondelettes orthogonales est que $\Phi^* = \Phi$. Dans ce cas, pour qu'il y ait convergence le pas doit vérifier :

$$\tau < \frac{2}{\|\Phi^* \Phi\|} = 2 \quad (4)$$

Avec $\tau = 1$, et des ondelettes orthogonales toujours, l'étape de descente de gradient revient à projeter sur la contrainte $\mathcal{C} = \{f | \forall \Omega(x) = 1, f(x) = y(x)\}$. Ainsi dans le cas d'ondelettes orthogonales, l'algorithme revient à :

$$f^{(n+1)} = S_\lambda^\Psi(\text{Proj}_{\mathcal{C}}(f^{(n)})) \quad (5)$$

Cet algorithme s'adapte dans le cas d'ondelette non orthogonales mais les dernières simplifications ne sont plus licites.

Dans notre cas, bien que le SNR soit plus élevé avec des méthodes type variationnelles (en particulier avec la norme TV), nous avons préféré ce type d'*inpainting* avec un seuillage doux et des ondelettes orthogonales car le rendu visuel est le cohérent. Nous en montrons quelques résultats en Fig.(??).

Conclusion