

---

# DÉTECTEURS DE COINS D'HARRIS

Vincent Matthys

---

Ce projet consiste en un développement dans l'élaborateur d'un détecteur de coins d'Harris, ainsi que d'un raffinement des détections par *adaptive non-maximal suppression* (anms). Le rapport qui suit regroupe différentes observations quand à son utilisation sur différentes images, avec différents paramètres et dans des conditions différentes, ceci dans un soucis d'évaluation qualitative du programme délivré.

## Table des matières

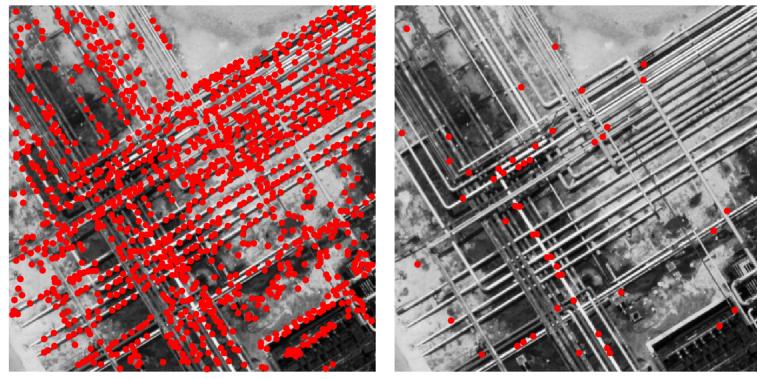
<b>1</b>	<b>Différentes scènes</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Différents paramètres</b>	<b>4</b>
2.1	Influence de $\sigma_d$ : paramètre pour le calcul des dérivées . . . . .	4
2.2	Influence de $\sigma_i$ : paramètre du noyau gaussien d'intégration . . . . .	5
2.3	Influence de $\kappa$ : paramètre du calcul de la réponse . . . . .	6
2.4	Influence du <i>threshold</i> . . . . .	7
2.5	Influence de <i>local</i> , largeur de la fenêtre de calcul des maxima de réponse . . . . .	8
2.6	Influence de <i>c</i> . . . . .	9
2.7	Influence de <i>b</i> , nombre de détections souhaitées . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Sensibilité aux transformations géométriques</b>	<b>11</b>
3.1	Aux rotations . . . . .	11
3.2	Au bruit . . . . .	14
3.3	Au changement d'échelle . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Changement de point de vue</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>16</b>

## 1 Différentes scènes

En figure 1 sont présentés 4 résultats donnés par le détecteur de coins de Harris implémenté, sur des images de taille comparable, avec les paramètres suivants :

- $\sigma_d = 1$  écart-type du noyau de convolution pour la dérivation.
- $\sigma_i = 1$  écart-type de la fenêtre gaussienne de lissage des images produits.
- $\kappa = 0.05$  constante multiplicative de la fonction de réponse

- $threshold = 0.01$  seuil global (en fonction de la réponse maximale) en deça duquel aucune réponse n'est considérée.
- $local = 3$  délimite la fenêtre de recherche du maximum local
- $c = 0.7$  seuillage au delà duquel le point est automatiquement détecté.
- $b = 50$  nombre de detections souhaité.



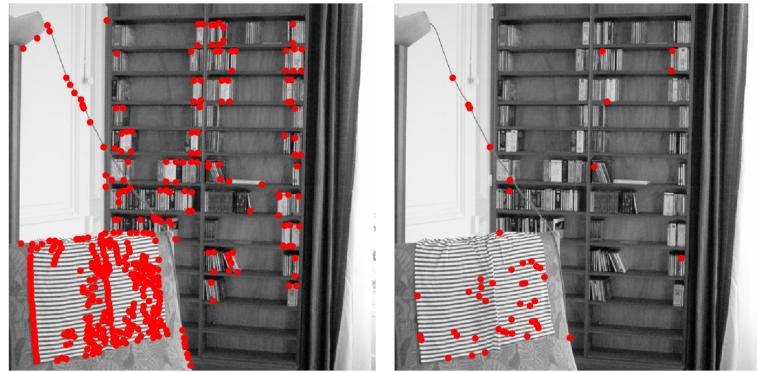
(a) Image Bouc, 495x495 pixels : 1265 coins détectés avant anms, 50 après



(b) Image Cameraman, 256x256 pixels : 156 coins détectés avant anms, 50 après



(c) Image Lena, 512x512 pixels : 326 coins détectés avant anms, 50 après



(d) Image Room, 512x512 pixels : 407 coins détectés avant anms, 50 après

FIGURE 1 – DéTECTEURS DE COINS D’HARRIS SUR DIFFÉRENTES SCÈNES. COLONNE DE GAUCHE, SANS *ADAPTATIVE NON-MAXIMAL SUPPRESSION* ; COLONNE DE DROITE, AVEC *ADAPTATIVE NON-MAXIMAL SUPPRESSION*

En figure 1a, on constate un très grand nombre de coins détectés, 5 fois supérieur aux autres

images de même taille. Ceci est très bien expliqué par la géométrie du circuit représenté dans l'image, composé essentiellement de lignes ayant une forte réponse dans les images produits. Dans les 3 autres images [1b](#) [1c](#) [1d](#), le nombre de coins détectés est sensiblement identique, si on le ramène à la taille de l'image. On constate légèrement plus de détections dans l'image Room pour les mêmes raisons que l'image Bouc, dans le carré de tissu présentant des lignes non totalement horizontales répondant fortement dans les images produits.

Une autre constatation importante est la localisation des détections, qui se situent dans les zones non constantes par morceaux, *a fortiori* très contraintes. Ceci est encore une fois expliqué par la réponse nulle de telles zones dans les images produits.

Enfin, l'*adaptative non-maximal suppression* agit comme attendu, gardant des détections de façon non homogène, dépendante de la densité initiale mais en gardant un support spatial des détections semblable au support spatial avant *adaptative non-maximal suppression*.

## 2 Différents paramètres

paramètres	valeur par défaut	fonction
$\sigma_d$	1	écart-type du noyau de convolution pour la dérivation
$\sigma_i$	1	écart-type de la fenêtre gaussienne de lissage des images produits.
$\kappa$	0.05	constante multiplicative de la fonction de réponse
<i>threshold</i>	0.01	seuil global (en fonction de la réponse maximale) en deça duquel aucune réponse n'est considérée.
<i>local</i>	3	délimite la fenêtre de recherche du maximum local de taille $(2\text{local} + 1) \times (2\text{local} + 1)$
<i>c</i>	0.7	seuillage au delà duquel le point est automatiquement détecté.
<i>b</i>	50	nombre de détections souhaité.

TABLE 1 – Ensemble des paramètres du détecteur

Les expériences suivantes ont pour but d'étudier l'influence de chaque paramètre sur les détections. Aussi, les paramètres, sauf si précisés, seront ceux par défaut, présentés en [table 1](#).

### 2.1 Influence de $\sigma_d$ : paramètre pour le calcul des dérivées

L'influence de  $\sigma_d$  est illustrée en figure [2](#), où le détecteur a été utilisé sur l'image Cameraman sans *anms*. On s'aperçoit d'une part que le nombre de détection diminue puis augmente avec  $\sigma_d$ . La diminution est due à l'élargissement de la zone sur laquelle la dérivée est calculée. L'image étant majoritairement constante par morceaux, une augmentation de  $\sigma_d$  entraîne une diminution des variations sur la fenêtre de calcul. A l'inverse, si  $\sigma_d$  est trop élevé, les effets de bords prennent le dessus, et le détecteur calcule une dérivée entre une partie de l'image, non noire, et une autre partie de l'image, complétée par 0-padding. Il est surtout intéressant de noter la répartition de la disparition des détections le long des bords et coins fins de l'image, comme la face de la caméra, le manche, et les bords du trépied, entre  $\sigma_d = 1$  et  $\sigma_d = 5$ .



FIGURE 2 – Influence de  $\sigma_d$  sur les détections, effectuées sans *anms*

## 2.2 Influence de $\sigma_i$ : paramètre du noyau gaussien d'intégration

L'influence de  $\sigma_i$  est illustrée en figure 3, où le détecteur a été utilisé sur l'image Cameraman sans *anms*. Les observations et les conclusions sont les mêmes que pour  $\sigma_d$ , si ce n'est que l'échelle de validité de  $\sigma_i$  est raccourcie : après  $\sigma_i = 5$ , on semble perdre d'informations.



FIGURE 3 – Influence de  $\sigma_i$  sur les détections, effectuées sans *anms*

### 2.3 Influence de $\kappa$ : paramètre du calcul de la réponse

L'influence de  $\kappa$  est illustrée en figure 4, où le détecteur a été utilisé sur l'image Cameraman sans *anms*. Théoriquement,  $\kappa$  est utilisé pour avoir une réponse positive si les deux valeurs propres de la matrice d'auto-corrélation sont "grandes". On constate que pour  $\kappa \in [0, 0.08]$ , les détections ne changent ni en nombre, ni en localisation. Par contre après 0.08, les détections sont d'autant moins nombreuses que  $\kappa$  augmente, et disparaissent totalement après  $\kappa = 0.28$ . Cette limite varie en fonction de l'image, contrairement à la première zone de relative stabilité. Il est donc raisonnable de travailler avec  $\kappa \in [0, 0.08]$  par défaut, et on prendra  $\kappa = 0.05$  pour le reste des expériences.



FIGURE 4 – Influence de  $\kappa$  sur les détections, effectuées sans *anms*

## 2.4 Influence du *threshold*

L'influence de *threshold* est illustrée en figure 5, où le détecteur a été utilisé sur l'image Cameraman sans *anms*. On rappelle que le seuil établi est en fonction de la réponse maximale. Ainsi, pour *threshold* = 0, toutes les détections sont observées, du moins celles qui sont maximales dans un voisinage déterminé par *local*. Le nombre de détection diminue donc logiquement avec  $threshold \in [0, 1]$ , et au fur et à mesure ne sont conservées que les détections les plus importantes relativement à la détection de réponse maximale.



FIGURE 5 – Influence de *threshold* sur les détections, effectuées sans *anms*

## 2.5 Influence de *local*, largeur de la fenêtre de calcul des maxima de réponse

L'influence de *local* est illustrée en figure 5, où le détecteur a été utilisé sur l'image Cameraman sans *anms*. Pour  $local = 0$ , on garde toutes les réponses  $> threshold \cdot \max_{p \in \Omega}(resp(p))$ . Plus *local* augmente, moins on garde de réponses locales, ne conservant que la réponse maximale dans la fenêtre de demi-largeur *local*. On a choisi arbitrairement une valeur par défaut à 3, à mi-chemin entre la conservation de tous les maxima et la conservation de rares maxima très espacés. Il est à noté que cette taille permet également à l'*anms* d'éliminer les réponses dans la fenêtre choisie.



FIGURE 6 – Influence de  $local$  sur les détections, effectuées sans *anms*

## 2.6 Influence de $c$

La valeur de  $c$  quantifie le degré de suppression des maxima locaux. Plus  $c$  est petit, plus les points à considérer dans l'anms doivent être petits devant les valeurs déjà retenues. À l'inverse, plus  $c$  se rapproche de 1, moins on enlève de points proches des maxima locaux. L'influence de  $c$  est illustrée en figure 7, où le détecteur a été utilisé sur l'image Cameraman avec *anms*. Il est intéressant de noter que l'augmentation de  $c$  conduit à un support spatial des détection élargi, reflétant cette relaxation dans la prise en compte de maxima locaux. Localement, on peut même noter plus globalement que l'augmentation de  $c$  conduit à une modification de la représentation spatiale des détections.



FIGURE 7 – Influence de  $c$  sur les détections, effectuées avec *anms*

## 2.7 Influence de $b$ , nombre de détections souhaitées

L'influence de  $b$  est illustrée en figure 8, où le détecteur a été utilisé sur l'image Cameraman avec *anms*. Ainsi, l'apparition de chaque détection dans cette image permet de déterminer l'importante relative de chaque détection. On en déduit que le cameraman en lui même est la source d'origine la plus importante et que la deuxième source est le trépied avec l'appareil photo.



FIGURE 8 – Influence de  $b$  sur les détections, effectuées avec *anms*

### 3 Sensibilité aux transformations géométriques

Dans les expériences qui suivent, on cherche à montrer l'invariance du détecteur fourni aux rotations, au bruit et au changement d'échelle. Pour ce faire, on utilisera une même image de référence, Cameraman ou Lena, à laquelle on fera subir des rotations d'angle différents, ou à laquelle on ajoutera artificiellement du bruit, ou enfin à laquelle on fera subir des changement d'échelle. Sauf mention contraire, on considère que les paramètres utilisés sont ceux par défaut, établis en table 1.

#### 3.1 Aux rotations

La sensibilité aux rotations est illustrée en figure 9 où le détecteur a été utilisé sur l'image Lena ayant subi une rotation d'un angle  $\theta \in [0, 210]$ , sans *anms*. Il faut noter une invariance relative de  $\pm 15^\circ$  ( $\text{mod } \frac{\pi}{2}$ ) des détections. On peut constater notamment que les produits

images pour des rotations de l'ordre de  $\pm\frac{\pi}{4}$  (mod  $\frac{\pi}{2}$ ) ont des réponses sensiblement différentes, et c'est attendu vu la direction de calcul du gradient par rapport à l'orientation de la zone actuelle, résultant en une projection sur chaque composante de l'image produit.

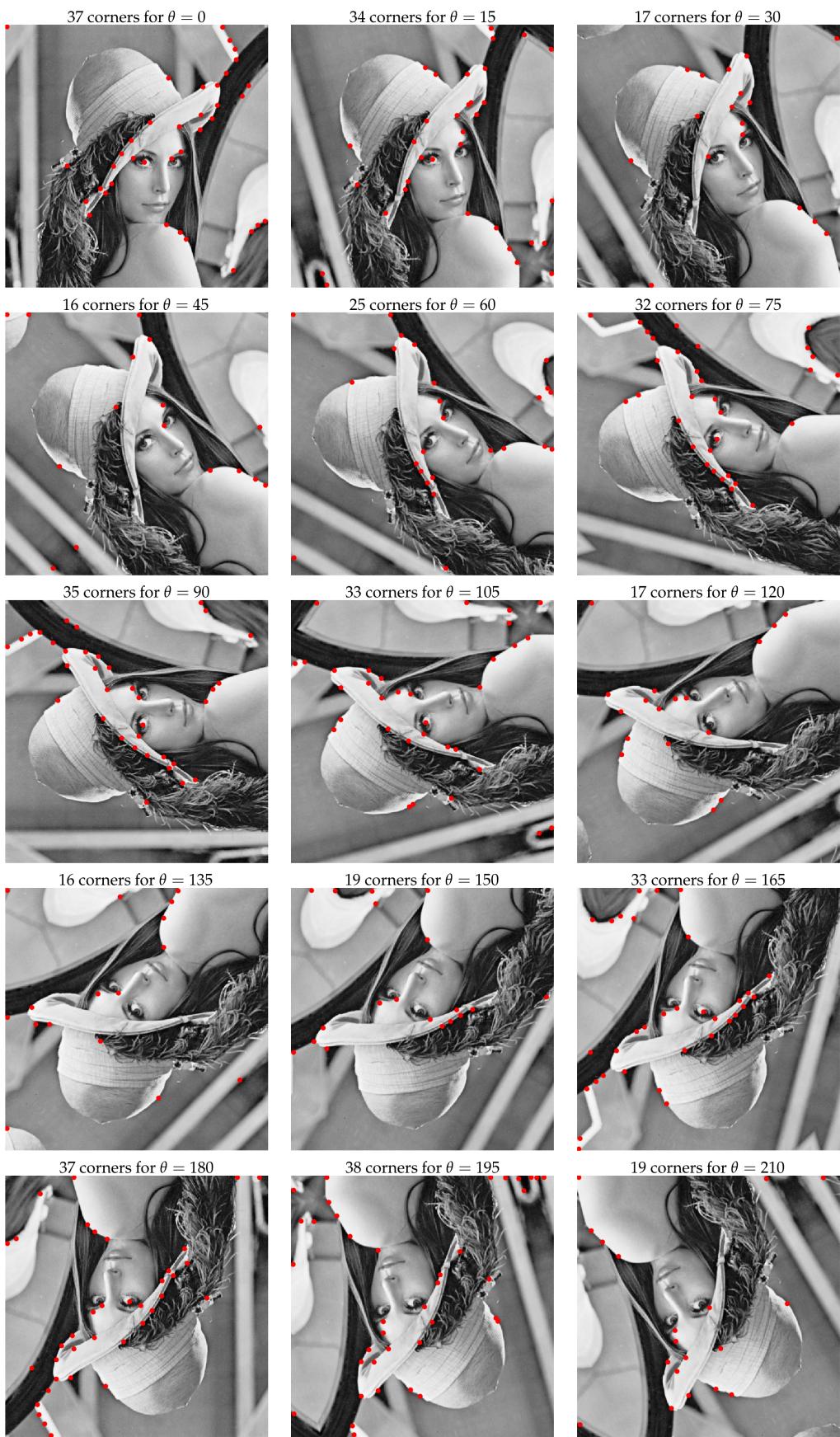


FIGURE 9 – Sensibilité aux rotations des détections, effectuées sans *anms*

### 3.2 Au bruit

La sensibilité au bruit est illustrée en figure 10 où le détecteur a été utilisé sur l'image Cameraman sans *anms*, image à laquelle a été rajouté un bruit gaussien de moyenne nulle et d'écart-type  $\sigma_n \in [0, 80]$ . On rappelle que l'image est encodée sur 256 niveau de gris. On constate que le nombre de détection, ainsi que leur position, restent très similaires, jusqu'à  $\sigma_n = 80$  : le détecteur conçu est donc robuste à l'ajout de bruit blanc.

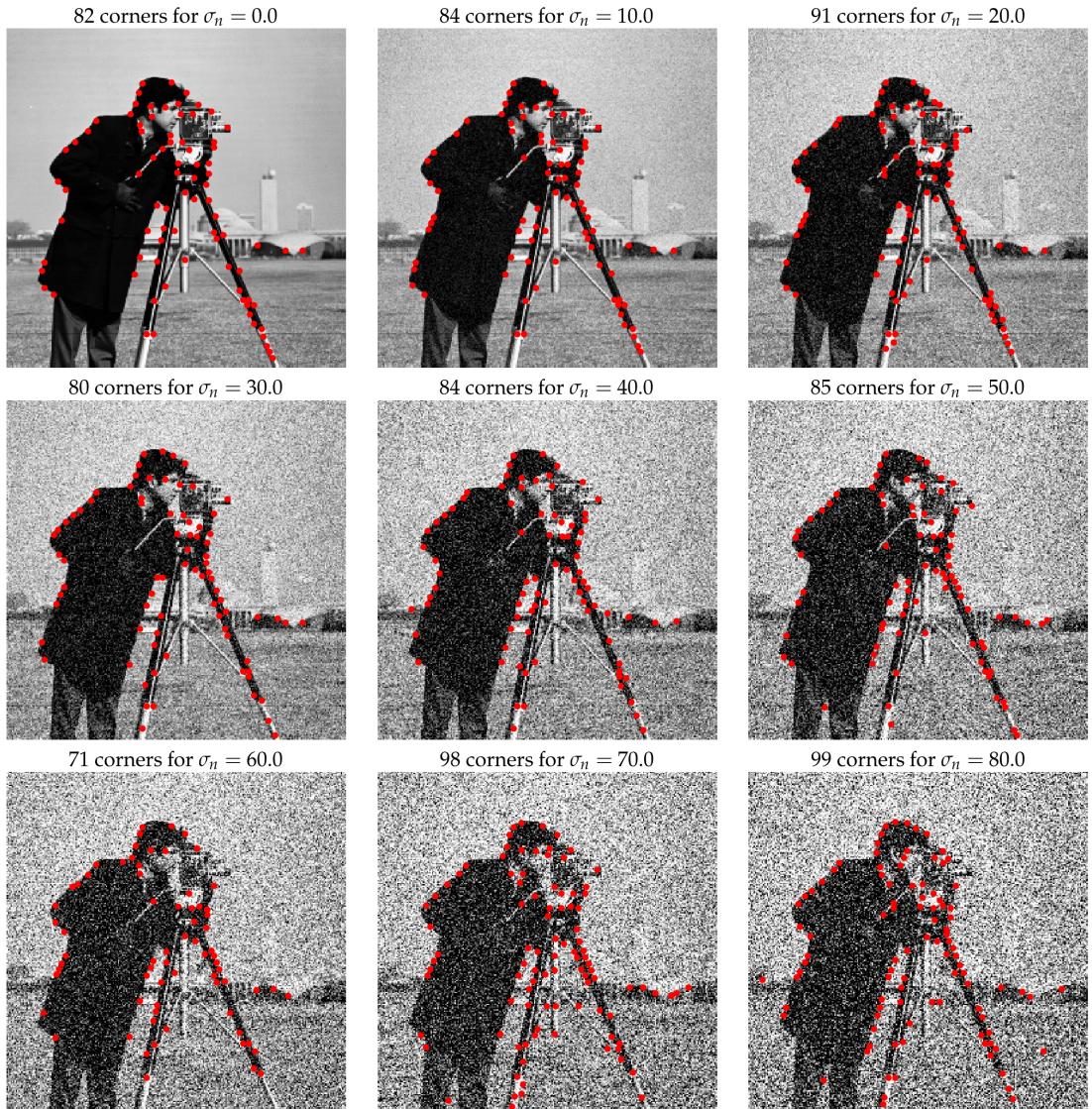


FIGURE 10 – Sensibilité au bruit des détections, effectuées sans *anms*

### 3.3 Au changement d'échelle

La robustesse aux changement d'échelle a été mesurée qualitativement en figure 11 où le détecteur a été utilisé sur l'image Lena sans *anms*, pour différentes échelles simulées, de 0.5 à 4.5. On constate une grande disparité sur le nombre de détections effectuées, qui présente un maximum, dans le cas étudié, pour une image agrandie 2 fois, avec 139 détections, alors qu'on partait de 30 détections pour le facteur 0.5 et qu'on en détecte pratiquement autant pour un facteur 4.5.

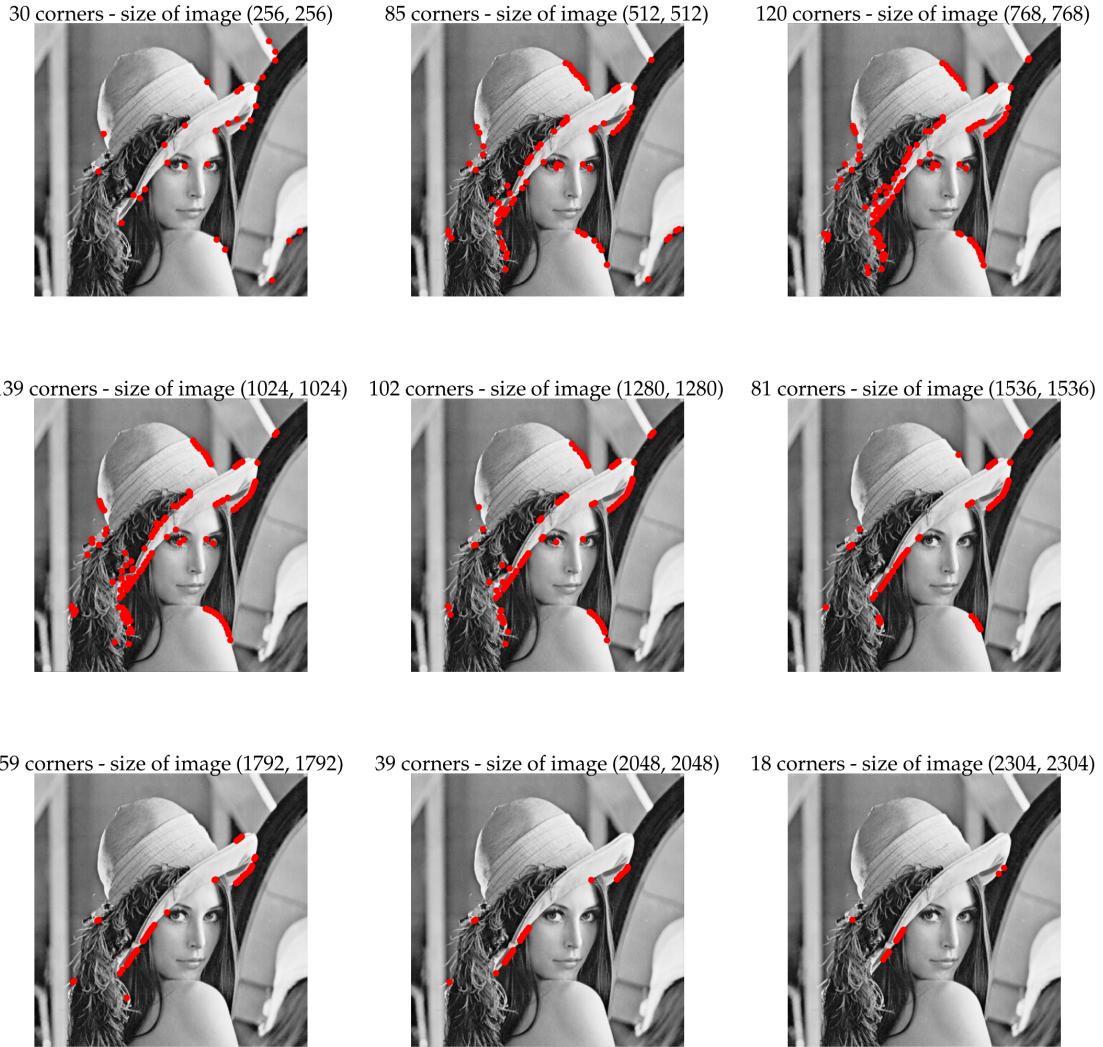


FIGURE 11 – Sensibilité au bruit des détections, effectuées sans *anms*

## 4 Changement de point de vue

Le détecteur a été utilisé sur une série d’images toutes issues d’une même scène, mais à laquelle on a appliqué différentes homographies générées manuellement, simulant un changement de point de vue (rotation autour de l’axe  $Oy$ ), et dont les matrices représentatives sont :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -10^{-4}k & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \forall k \in [0, 8] \quad (1)$$

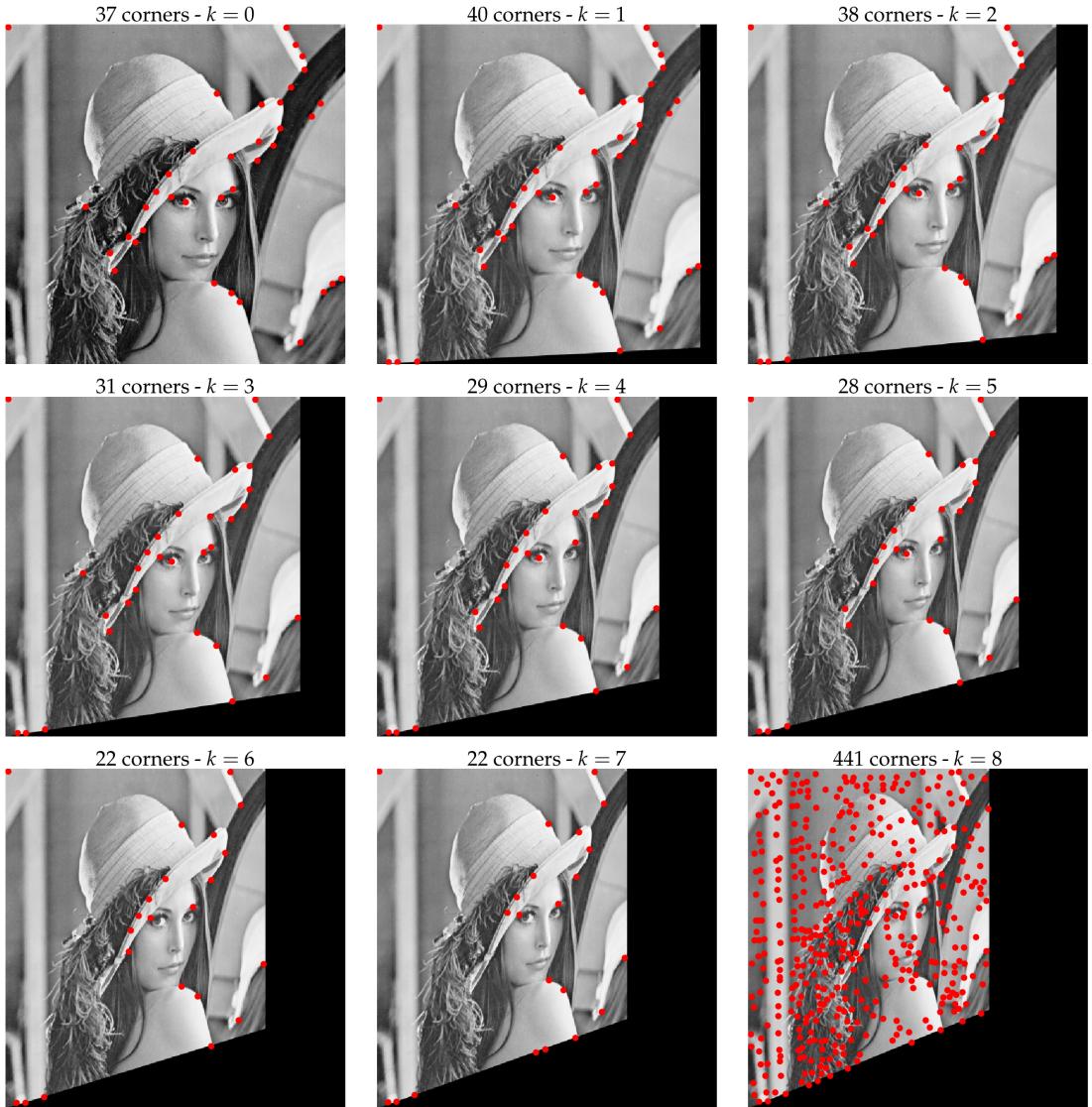


FIGURE 12 – Sensibilité à un changement de point de vue simulé en équation (1) pour l'image Lena

Les résultats sont présentés en figure 12, pour des paramètres du détecteurs par défaut, à l'exception de  $\sigma_i = 5$ , et  $anms$  n'a pas été utilisé. On s'aperçoit que le nombre de détections diminue jusque  $k = 7$ , mais que la position de la plupart des détections restante est retrouvée dans le cas  $k = 0$  initial. Les positions restantes étant dues à des effets de bords, ayant choisi de compléter l'image initiale par des 0 après application de l'homographie. En revanche, à partir de  $k = 8$ , il y a une explosion de détections, qui est expliquée par une erreur numérique lors du calcul du déterminant de la matrice d'autosimilarité. C'est d'ailleurs pour cette raison que le paramètre  $\sigma_i$  a été changé pour cette expérience, puisque si laissé par défaut, ces erreurs numériques apparaissaient plus tôt. Le détecteur, même s'il perd en efficacité (22 points détectés contre 37 initialement), conserve la position des points initiaux.

## 5 Conclusion

Le détecteur proposé est fourni avec de nombreux paramètres, qu'il conviendra de modifier suivant les situations. Ainsi, avec les paramètres par défaut, on notera une invariance des détections aux petites rotations, au bruit même important, et aux changement de points de vue jusqu'à explosion numérique. Il conviendra d'augmenter  $\sigma_i$  pour gagner en robustesse mais

le compromis sera alors fait sur le nombre de détection. On attire l'attention de l'utilisateur sur la méthode *anms*, dont le nombre de détections souhaité est aussi paramétrable, qui permet automatiquement de gagner en robustesse dans le cas d'un  $\sigma_i$  moins élevé.