

**Ecole doctorale STIC**

**Master IGMMV**

**PRERAPPORT de stage**

**detection robuste des amers  
(centres des ellipses) en 2D**

**Ihab Hujeiri**

**Encadrement:Théodore Papadopoulos**

**INRIA ODYSSEE**

**Juin 2005**

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Définition de l'Electroencéphalographie (EEG).....</b>	<b>5</b>
2.1	L'électroencéphalogramme : voltmètre du cerveau .....	5
2.2	Histoire de l'EEG .....	5
2.3	Principe de l'EEG.....	5
<b>3</b>	<b>Transformation de Hough .....</b>	<b>7</b>
3.1	Présentation de la transformée de Hough.....	7
3.1.1	Historique et principe .....	7
3.1.2	Illustration sur le cas des droites .....	7
3.2	Illustration sur le cas des cercles .....	8
3.2.1	Détection des centres des cercles .....	8
3.2.2	Détermination des rayons des cercles .....	9
3.3	Illustration sur le cas des ellipses .....	9
3.3.1	Rappel géométrique de l'ellipse .....	9
3.3.2	Définition du problème .....	10
3.3.3	Accumulateur 5D .....	11
3.3.3.1	Prétraitement.....	11
3.3.3.2	Traitement géométrique .....	11
3.3.3.2.1	Position du centre : .....	12
3.3.3.2.2	Forme de l'ellipse : .....	12
3.3.3.3	Le traitement de donnée: .....	12
3.3.4	Accumulateur 1D .....	13
<b>4</b>	<b>Notre amélioration.....</b>	<b>14</b>
4.1	Problématique.....	14
4.2	Notre algorithme .....	15
4.2.1	Présentation .....	15
4.2.2	Principe géométrique.....	15
4.2.3	Traitement des limites .....	16
4.2.3.1	Pondération du vote.....	16
4.2.3.2	Les chaînes .....	17
4.2.3.2.1	Le nombre d'ellipses traitées .....	18
4.2.3.2.2	Traitement du bruit .....	18
4.2.3.3	Réduction du temps de calcul.....	19
<b>5</b>	<b>Résultats pratiques.....</b>	<b>20</b>
5.1	L'exemple des cercles .....	20
5.2	L'exemple des formes géométriques.....	22
5.3	Image réelle : pièces de monnaies.....	26
5.4	Un photo du casque EEG .....	29
<b>6</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>33</b>



# 1 Introduction

Lors d'un examen clinique ou d'une étude de neurophysiologie, le patient porte sur la tête un casque souple muni d'une grille d'électrodes d'électro-encéphalographie (EEG). Il est crucial de pouvoir localiser finement ces électrodes et les techniques actuelles par pointage manuel sont lourdes et très coûteuses en temps.

Face à ce problème, la société REALVIZ ([www.realviz.com](http://www.realviz.com)) dispose d'une technologie qui permet de localiser et suivre un ensemble de points dans une séquence d'images 2D et d'en calculer alors la position en 3D. Le but de ce stage sera de profiter de cette technologie pour résoudre le problème posé.

**Déroulement du stage:** On part d'une prise de vues photographiques de bonne résolution de la tête du patient équipée d'un casque EEG et on s'autorise à peindre sur les électrodes des éléments idoines, en se basant sur le système MatchMover de REALVIZ, le but de ce stage est de réaliser un outil qui donne une localisation 3D des électrodes sur la tête d'un patient. Une technique de sélection d'amers visuels qui détecte les électrodes (plus précisément des points rigides sur la tête). A priori, compte tenu de la forme des Électrodes, il semblerait qu'un détecteur de "rondelle blanche sur fond noir" (circulaire Déformée projectivement ou affinement) soit fiable et puisse conduire à une détection des centres de ces rondelles.

En résumé, le stage comporte trois étapes :

1. En 2D : détection robuste des centres des ellipses dans une série d'images 2D (multiples vue consécutives du casque).
2. En 3D : localisation de ces centre en 3D à partir de ces nombreuses images.
3. Mettre au point une technique de nommage des électrodes pour leur associer, automatiquement, des labels.

## **2 Définition de l'Electroencéphalographie (EEG)**

### **2.1 L'électroencéphalogramme : voltmètre du cerveau**

L'activité électrique du cerveau humain a été mesurée pour la première fois par électroencéphalogramme (EEG) il y a plus de 60 ans. Cette technique nous est encore aujourd'hui d'un précieux concours. Au cours des 15 dernières années, de nouvelles techniques, comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la tomographie par émission de positrons (TEP), ont fait leur apparition. Mais l'EEG reste indispensable dans bien des cas.

Les médecins et les chercheurs utilisent l'EEG dans le cadre d'expériences cliniques et expérimentales pour étudier les fonctions et les rythmes cérébraux normaux et anormaux.

L'EEG mesure l'activité électrique des cellules cérébrales pendant les processus physiologiques en situation normale et pathologique, à l'état de veille et pendant le sommeil. Pour obtenir ces données, des électrodes connectées à l'EEG sont fixées à la surface du crâne, sur le cuir chevelu. La structure et la composition chimique des neurones aboutissent à la production d'un potentiel électrique qui correspond à une différence relative dans la charge électrique le long de la membrane des cellules nerveuses.

### **2.2 Histoire de l'EEG**

Au début, il n'existait aucun consensus sur la place des électrodes sur le crâne, ni sur le nombre standard d'électrodes. Dans les années 1950, le docteur Jasper a introduit un système en vertu duquel les électrodes sont numérotées et placées à des endroits bien précis, les électrodes impaires à gauche et les électrodes paires à droite. Son système fait désormais figure de norme internationale. Grâce à cette technique, les médecins du monde entier ont pu comparer leurs résultats.

Dès lors, d'autres électrodes ont été introduites. Les tests cliniques standard utilisent aujourd'hui entre 16 et 32 électrodes. Le crâne est divisé en cinq ou dix parties égales. Les électrodes sont placées sur le crâne, les oreilles et les racines du nez. En situation expérimentale, le nombre d'électrodes peut être très largement supérieur et atteindre la centaine.

### **2.3 Principe de l'EEG**

Le voltage généré par les cellules cérébrales et enregistré par l'EEG est extrêmement faible – entre 20 et 100 microvolts après une amplification de l'ordre de dix mille. Le signal est si faible que les interférences électriques, ou artefacts, provenant d'autres sources

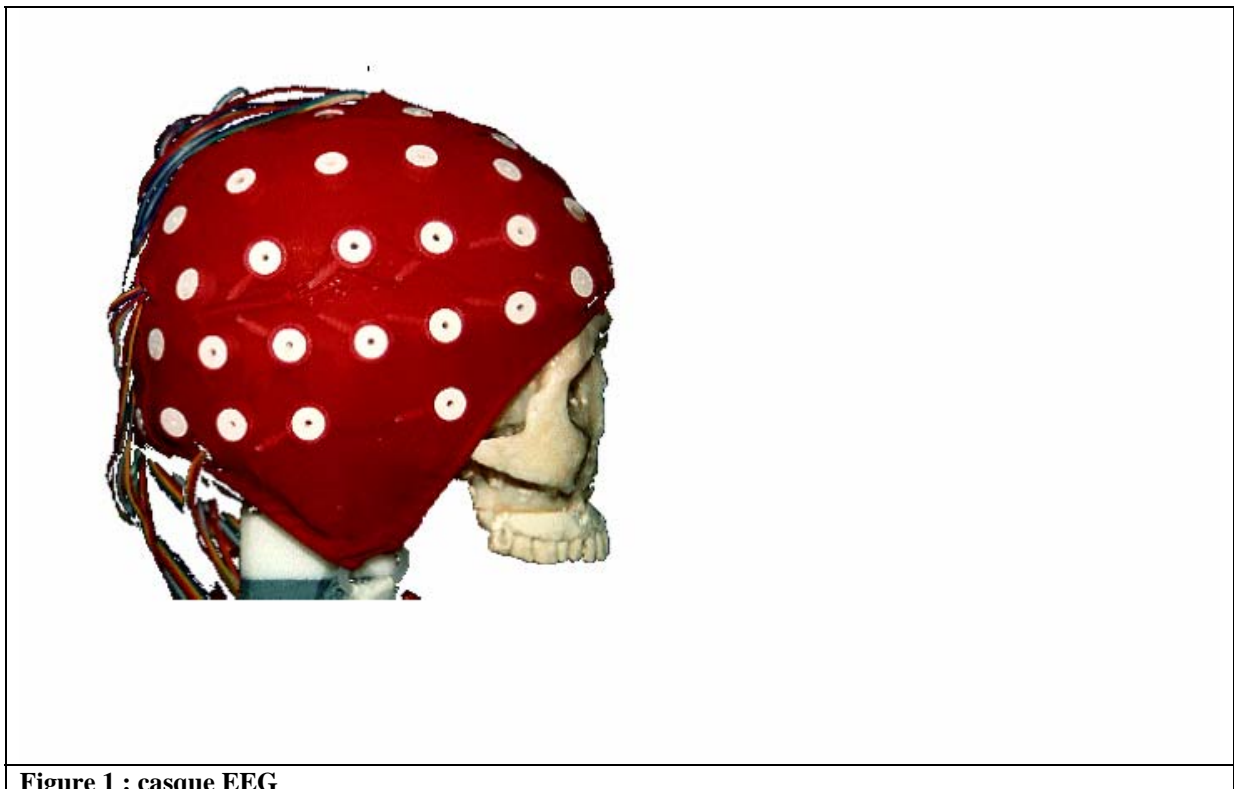
(moteurs, lumières, voire clignements d'oeil) sont souvent aussi fortes que le signal que l'EEG essaie de détecter. La lecture et l'interprétation des tracés EEG exigent donc que l'on fasse la différence entre les artefacts et l'activité cérébrale. Le décodage des ondes électriques du cerveau en termes diagnostiques suppose beaucoup de doigté.

Le crâne est un très mauvais conducteur d'électricité et interfère avec la transmission des influx électriques vers le cuir chevelu. Même si la distance qui sépare le cerveau du cuir chevelu n'est que de quelques millimètres, cela représente un véritable gouffre en termes électroencéphalographiques.

Deux autres facteurs jouent un rôle dans le signal EEG : l'alignement des cellules et le synchronisme des décharges électriques cellulaires.

Les cellules qui ne sont pas alignées annulent les signaux EEG. Certaines parties du cerveau, comme l'hippocampe, sont pourvues de neurones bien organisés qui émettent des signaux EEG relativement forts. Les cellules de l'amygdale, par contre, sont mal alignées les unes par rapport aux autres et génèrent des signaux EEG plutôt faibles.

L'EEG fonctionne plus efficacement lorsque les décharges électriques des neurones sont synchronisées, comme c'est le cas pendant les crises d'épilepsie. Pour que l'EEG reconnaisse les décharges électriques dans des aires bien délimitées du cerveau, plusieurs cellules doivent décharger leur influx électrique en même temps.



## 3 Transformation de Hough

### 3.1 *Présentation de la transformée de Hough.*

#### 3.1.1 Historique et principe

Dans la détection d'éléments spécifiques, il a des algorithmes qui, pour identifier ces formes élémentaires, entreprennent de suivre les contours pour finalement les lier par des critères plus ou moins complexes afin de remonter jusqu'aux formes recherchées. Une autre approche de ce problème serait de tenter d'accumuler des évidences sur l'existence d'une forme particulière telle qu'une droite, un cercle ou une ellipse. C'est cette démarche qui a été adoptée dans la transformée de Hough.

La transformée de Hough a été développée par Paul Hough en 1962, et a été brevetée par IBM. Dans les dernières décennies, la transformée de Hough est devenue un outils standard dans le domaine de la vision artificielle. Elle permet la détection de droites, de cercles ou d'ellipses de façon traditionnelle. Elle peut aussi être étendue à des cas de description d'objets plus complexes.

La transformée de Hough permet d'avoir une bonne robustesse contre les discontinuités et les éléments manquants d'une structure. Le principe général de la transformée de Hough est d'établir une projection entre l'espace de l'image et un espace de paramètres représentatif de la forme recherchée. Nous allons illustrer rapidement le principe de la TH sur l'exemple de la détection des droites. Nous verrons par la suite comment adapter ce model à la détection des cercles et des ellipses et les limites de cette méthode.

#### 3.1.2 Illustration sur le cas des droites

Une droite est caractérisée par deux paramètres  $a$  et  $b$  tels que  $y = ax+b$ . La transformée de Hough va nous permettre de faire un mapping entre les coordonnées d'un pixel et l'espace des paramètres  $(a, b)$ . Pour cela deux tactiques possibles. Soit utiliser la transformation de 1 à  $m$ , soit de  $m$  à 1. En effet on peut lire l'équation d'une droite de deux manières. Soit par la lecture traditionnelle qui nous indique que  $y=ax+b$ , ce qui veut dire que tous les points  $(x, y)$  vérifiant cette équation seront associés au même couple  $(a, b)$  dans l'espace de paramètres. En l'occurrence, il nous faudra simplement un bipoint pour définir complètement notre droite.

Soit on peut lire  $b = -ax + y$ , alors un couple  $(x, y)$  de l'image sera projeté en une droite de l'espace de paramètres  $(a, b)$ . Ensuite pour étudier l'existence de droites il faut se

pencher sur l'espace des paramètres. Celui-ci, si tout c'est bien passé, doit présenter du regroupement traduisant l'existence de l'objet recherche. Une étude des différents maximum doit être alors effectuée. Il faut savoir à partir de quel moment un regroupement de point est significatif. Cette étape est en générale délicate, **le bruit** causé par les autres éléments de l'image peuvent perturber la détection des objets recherches. D'autre part si **les objets sont trop nombreux** on peut aussi avoir du mal à les repérer. Mais nous verrons tout cela plus en détails dans le cas particulier de la détection d'ellipses.

Toutefois, il faudrait insister sur la paramétrisation du problème. En effet, si on reprend le cas de la détection des droites, on se rend compte qu'une écriture cartésienne n'est pas judicieuse. Pour pouvoir représenter complètement l'ensemble des droites possibles,  $a$  et  $b$  doivent varier entre  $+$  et  $-$  l'infini. D'autre part en terme de probabilité, on a autant de chance d'avoir une droite avec un  $a$  compris entre  $[0..1]$  et  $[1..+\infty]$ . L'espace des paramètres n'est pas homogène.

Il faut donc essayer de trouver une autre paramétrisation. Une représentation normale semble plus adaptée. La droite est alors repérée par la distance  $r$  et l'angle  $\theta$ . Ainsi, la forme associée à un point est une sinusoïde dans l'espace des paramètres. Cette paramétrisation présente l'avantage d'être homogène et d'autre part, elle fournit des domaines de variation finis. En suivant ce lien vous pourrez expérimenter par vous même ce que l'on vient d'expliquer au sujet de la transformée de Hough appliqué aux droites.

### 3 . 2 *Illustration sur le cas des cercles*

L'article : « **Détection des cercles dans une image (Hough Circle)/2003** » d'Alexandre Bargeton expose une manière **robuste** pour la détection des cercles en utilisant des propriétés géométriques de ces dernières : au lieu de chercher dans un espace 3D les coordonnées du cercle (coordonnées du centre et le rayon) Bargeton commence par une phase de prétraitement qui consiste en la détection des contours et la binarisation, après il sépare la recherche en deux parties : la détection des centres et la détermination des rayons des cercles.

#### 3 . 2 . 1 **Détection des centres des cercles**

Il suffit de tracer les droites perpendiculaires aux contours des objets afin de trouver les cercles. En effet pour les cercles toutes les droites vont converger vers le centre: Les points de l'image ayant un grand nombre d'intersections de droite sont donc les centres des cercles. L'unicité de ce résultat se prouve très simplement: seule la forme géométrique "cercle" possède un centre de symétrie qui laisse la forme inchangée. Les autres formes ne répondant pas à ce critère, seuls les cercles seront détectés. Ensuite il suffit de retrouver les cercles à partir des centres.

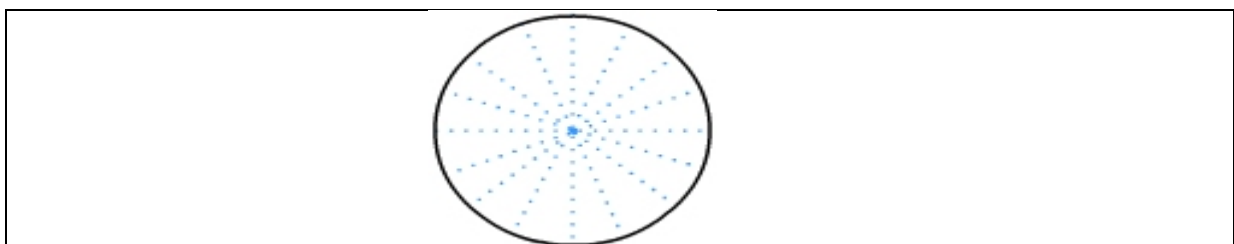




Figure 2 : les normaux au contour du cercle

### 3.2.2 Détermination des rayons des cercles

Pour chaque point représentant un centre potentiel, il essaye de retracer des cercles de rayons variables, c'est à dire qu'il essaye de tracer, par exemple, un cercle de rayon 10, puis 11, puis 12,...

Il les trace en les comparant avec l'image de Canny: il regarde si il y a un point de contour sur l'image de Canny correspondant au point qu'il est en train de tracer (moyennant un voisinage). Evaluant ainsi le pourcentage de points qu'il arrive à trouver sur Canny pour le cercle qu'il essaye de tracer. Si ce pourcentage est supérieur à un certain seuil, il estime qu'il y a bien un cercle sur l'image.

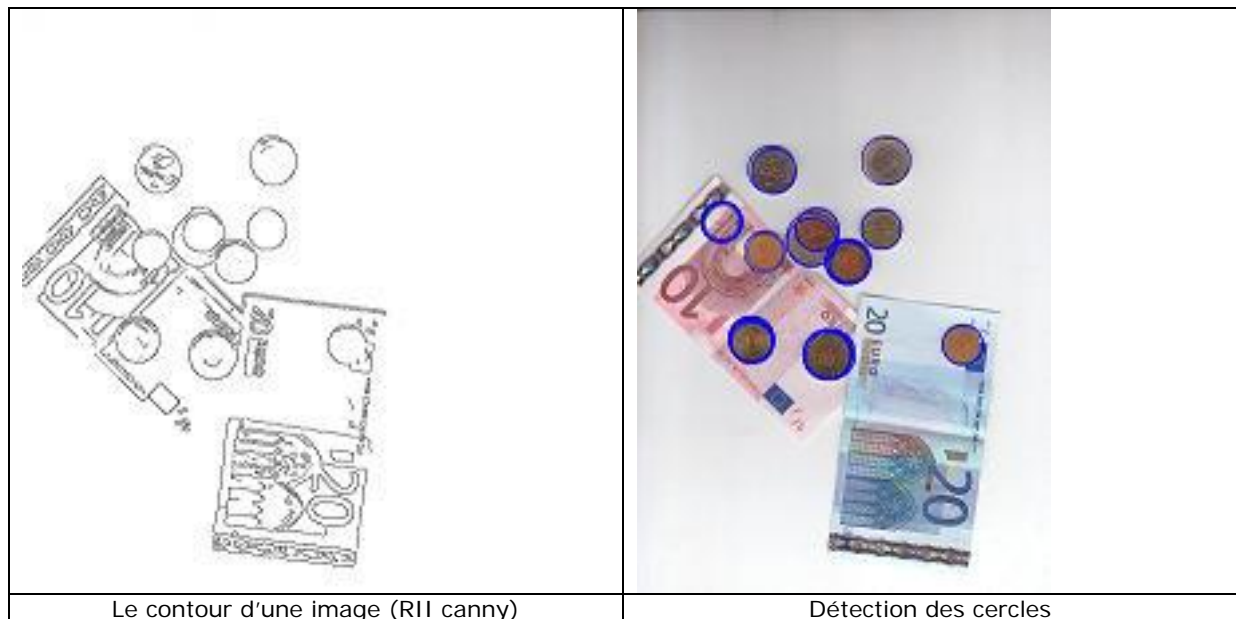


Figure 3 : résultat de détection des pièces des monnaies

## 3.3 Illustration sur le cas des ellipses

### 3.3.1 Rappel géométrique de l'ellipse

Directrice et foyer : Soient  $D$  une droite et  $F$  un point n'appartenant pas à  $D$ . On appelle ellipse de droite directrice  $D$  et de foyer  $F$  l'ensemble des points  $M$  du plan  $P$  (défini comme l'unique plan contenant la droite  $D$  et le point  $F$ ) vérifiant :

$$\frac{d(M, F)}{d(M, D)} = e \quad e \in ]0; 1[$$

Équation 1

$d(M, F)$  mesure la distance du point  $M$  au point  $F$  et  $d(M, D)$  mesure la distance du point  $M$  à la droite  $D$ . Le constant  $e$  est appelé excentricité de l'ellipse.

**Propriétés géométriques :** Soient  $F$  et  $F'$  deux points distincts du plan. On appelle ellipse l'ensemble des points  $M$  du plan vérifiant la propriété suivante :

$d(M, F) + d(M, F') = 2a \quad a \in \mathbb{R}$
<b>Équation 2</b>

### Equations caractéristiques

Équation cartésienne	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ <p style="text-align: center;"><b>Équation 3</b></p>
Forme paramétrique	$\begin{cases} x = a \cos t \\ y = b \sin t \\ t \in [0, 2\pi[ \end{cases}$ <p style="text-align: center;"><b>Équation 4</b></p>
Équation polaire	$r = \frac{l}{1 + e \cos \theta} \quad \theta \in [0, 2\pi[$ <p style="text-align: center;"><b>Équation 5</b></p>

**Tangente et bissectrice :** Soit une ellipse dont les foyers sont  $F$  et  $F'$ . En un point  $M$  de cette ellipse, considérons la bissectrice du secteur angulaire  $(FMF')$ . Alors, cette bissectrice est perpendiculaire à la tangente en  $M$ . Etant donné deux tangente à l'ellipse aux points  $x_1$  et  $x_2$  se coupant au point  $L$ , le centre de l'ellipse se trouve sur la droite qui passe par le milieu de  $x_1x_2$  et  $L$ . En considérant trois points on peut donc calculer la position du centre  $O$  de l'ellipse.

### 3.3.2 Définition du problème

Dans le cas de l'ellipse, la tâche se complique un peu, car il nous faut déterminer 5 paramètres au lieu de 3 (dans le cas du cercle) pour pouvoir la déterminer totalement :

- centre de l'ellipse (2 inconnues)
- petit axe (1 inconnue)
- grand axe (1 inconnue)
- orientation (1 inconnue)

L'application directe de la transformée de Hough aux cas des ellipses nous demanderait d'établir une projection entre l'espace de l'image et un espace de paramètres à 5 dimensions. Or cette approche n'est jamais utilisée car faire une telle projection dissémine nos représentants dans un espace de paramètres beaucoup trop grand pour pouvoir ensuite avoir des accumulations significatives. Les populations des accumulateurs n'étant plus statistiquement pertinentes. D'autre part le temps de calcul et la mémoire nécessaire à cette projection serait énorme. Ce qui est généralement mis en oeuvre est la découpe de ce

problème en sous problème de dimension moindre. La décomposition est obtenue en utilisant des caractéristiques géométriques de l'ellipse

D'après la définition générale des ellipses et ces paramètres et la difficultés de l'estimation de ces 5 paramètres tout d'un coup (espèce de 5D). On va présenter plusieurs papiers qui traitent ce problème basant sur les propriétés géométriques de l'ellipse

### 3.3.3 Accumulateur 5D

On part des articles suivants :

L'article de Samuel Inverso (mai 2002) : "ellipse detection using randomized hough transformation".

Les travaux d'Olivier Million et Vincent Rouilly basées sur les méthodes de Young et al. pour la détection des ellipses.

**NB** : Pour optimiser le temps de calcul ces deux articles utilisent le RHT (« randomized hough transformation » XU 1990) dont on parlera après .

#### 3.3.3.1 Prétraitement

L'extraction des contours est basée sur l'utilisation des propriétés du gradient, elle est réalisée dans chaque article avec un filtre différent : par exemple Olivier Million utilise un masque de sobel tandis que dans notre implémentation on utilise un filtre de Deriche (RIF) déjà implémenté par ODYSSEE. Ensuite on effectue un seuillage. Ainsi, après les prétraitement on a une image binaire qui ne contient que le contour et le gradient suivant la directions x et y pour chaque point de ce contour.

Les étapes du prétraitement sont les suivants :

- l'extraction des contours avec le gradient,
- binarisation où il n'y a que le contour à détecter
- la recherche des ellipses dans une image binaire, basant sur le même propriété géométrique

#### 3.3.3.2 Traitement géométrique

Une ellipse est définie comme l'ensemble des points vérifiant l'équation :

$$a(x - p)^2 + 2b(x - p)(y - q) + c(y - q)^2 = 1$$

Équation 6

La résolution directe de cette équation demande la résolution d'un système de 5 équations non linéaires. L'approche retenue qui consiste à faire une RHT (Randomized Hough Transform) demande que le calcul des paramètres d'une ellipse se fasse linéairement. Il est aussi possible d'utiliser l'information des tangentes **pour n'utiliser que trois points et non pas cinq**. On décompose donc le calcul des paramètres d'une ellipse en deux phases : On commence par estimer la position du centre en utilisant une propriété géométrique des tangentes. Ensuite on calcule la forme de l'ellipse.

#### 3.3.3.2.1 *Position du centre :*

Le calcul de la position du centre de l'ellipse utilise la propriété géométrique de l'ellipse suivante : étant donné deux tangentes à l'ellipse aux points  $x_1$  et  $x_2$  se coupant au point  $L$ , le centre de l'ellipse se trouve sur la droite qui passe par le milieu de  $x_1x_2$  et  $L$ . En considérant trois points on peut donc calculer la position du centre  $O$  de l'ellipse.

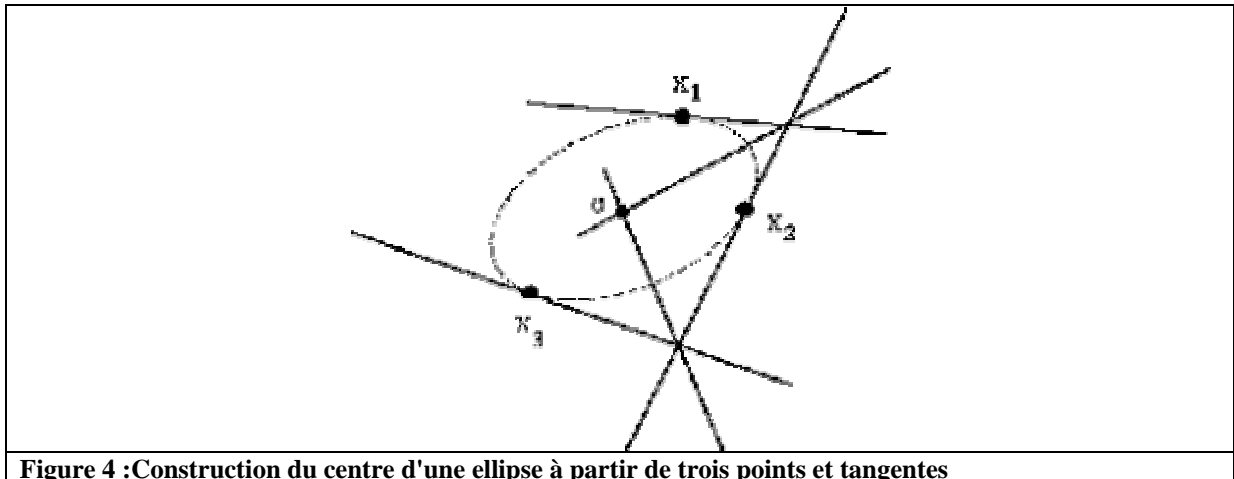


Figure 4 : Construction du centre d'une ellipse à partir de trois points et tangentes

#### 3.3.3.2.2 *Forme de l'ellipse :*

Une fois la position du centre de l'ellipse connue, on se place dans le repère lié au centre de l'ellipse. Dans ce repère l'équation d'une ellipse s'écrit:

$$ax^2 + 2bxy + cy^2 = 1$$

Équation 7

Avec cette équation 3 points sont suffisants pour identifier les 3 autres paramètres :  $2a$  (grand axe),  $2b$  (petit axe) et  $2c$  (la distance focale).

#### 3.3.3.3 *Le traitement de donnée:*

L'histogramme classique de la transformée de Hough est remplacée par une structure de liste chaînée, les éléments de cette liste sont appelés cellules. Une cellule contient les cinq paramètres d'une ellipse et un compteur. Au début de l'algorithme cette liste est vide. Après avoir tiré 3 points dans les contours de l'image, on calcule les cinq paramètres associés. On parcourt alors la liste chaînée à la recherche d'un jeu de paramètres similaire avec une certaine tolérance, si un tel 5uplet est trouvé on incrémente son compteur, si on n'en trouve pas on ajoute le jeu de paramètres courant à la liste.

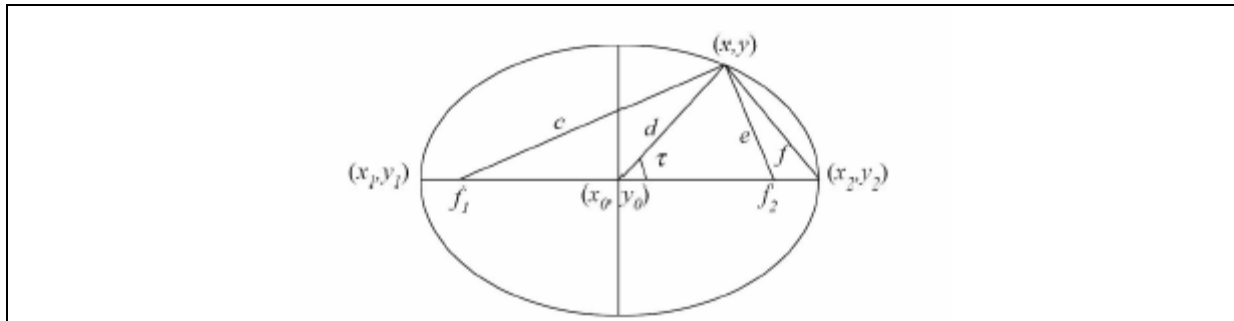
La différence entre ces deux articles se résume en 2 points :

- Samuel Inverso détecte les ellipses dans deux directions seulement tandis qu'Olivier Millon détecte les ellipses dans toutes les directions (compte tenu de l'orientation).
- Samuel Inverso introduit un seuil tel que si les paramètres d'une ellipse sont proches de celles d'une autre, on fait la moyenne entre les paramètres de ces 2 ellipses.

### 3.3.4 Accumulateur 1D

Maintes chercheurs évitent d'utiliser les propriétés du gradient (qui n'est pas précis numériquement) et préfèrent utiliser un accumulateur 1D au lieu de 5D pour estimer les 5 paramètres de l'ellipse, en tenant compte des propriétés géométriques de cette dernière. Cependant, ce genre de méthodes n'est pas assez robuste parce qu'il suppose qu'on peut mesurer directement le grand axe de l'ellipse, chose qui n'est pas toujours possible dans une image réelle (pour des explications détaillées, voir le paragraphe suivant). Parmi les chercheurs qui exploitent cette idée, citons :

- 1- Yonghong Xie, Qiang Ji "A new Efficient Ellipse Detection Method"  
University of Nevada"/ 2003
- 2- Ryad Chellali, Vincent Fremont, Pawe Janusz Czerwiski ,” Ellipse Detection Using Hough Transform “/2003



**Figure 5 :Propriétés des deux points de grand axe de l'ellipse**

Supposons qu'on a 2 points appartenant au grand axe de l'ellipse A(x1, y1) et B(x2, y2). On peut trouver, facilement, 4 paramètres en utilisant les formules suivantes :

$x_0 = \frac{(x_1 + x_2)}{2}$	$y_0 = \frac{(y_1 + y_2)}{2}$	$a = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{2}$	$\alpha = a \tan \frac{y_2 - y_1}{x_2 - y_1}$
<b>Équation 8</b>	<b>Équation 9</b>	<b>Équation 10</b>	<b>Équation 11</b>

D'après ces 4 équations on peut calculez les coordonnées du centre de l'ellipse, le grand axe et l'orientation. Il ne reste, alors, que le petit axe. Pour le déterminer, on part d'un troisième point C(x, y) de l'ellipse et on utilise les formules suivantes :

$b^2 = \frac{a^2 d^2 \sin^2 \tau}{a^2 - d^2 \cos^2 \tau}$	$\cos \tau = \frac{a^2 + d^2 - f^2}{2ad}$
<b>Équation 12</b>	<b>Équation 13</b>

On utilise un accumulateur 1D pour voter pour ce petit axe : quand on tombe sur une paire de points A, B qui appartiennent à une ellipse, alors tout les autres points de cette ellipse votent pour le même petit axe b. Ceci dit, il faut examiner toutes les paires de points possibles appartenant à ce contour. Ainsi, même avec un accumulateur 1D on a besoin d'un calcul énorme (au moins pour effectuer cet examen).

De plus cette méthode n'est pas assez robuste car elle se base sur la détection des 2 extrémités du grand axe, chose qui n'est pas toujours possible sur les images réelles.

## 4 Notre amélioration

### 4.1 *Problématique*

La détection des ellipses à partir de la transformation de hough admet des limites que nous allons analyser par le biais de la présentation ci-dessus. Par ailleurs, je tiens à expliquer le lien entre mon stage qui était la détection robuste des centres des ellipses dans des images réelles et la détermination des limites de la méthode de hough.

En effet, dans les images réelles, il n'y a pas d'ellipses parfaites sur lesquelles s'ajoutent les défauts optiques de la camera, et l'imperfection des détecteurs de contours. La méthode la plus adaptée à ce genre de problème : c'est la transformation de hough qui utilise le vote qui permet d'estimer les paramètres de notre ellipse réelle, malgré tous ces défauts. Toutefois, comme toutes les méthodes, le TH possède des inconvénients qui ont limité l'utilisation de cette méthode.

On peut classer sous 3 catégories ces inconvénients :

- Le temps de calcul qui est énorme du fait que chaque paire de points de contour, ou chaque ensemble de points (suivant l'objet détecté) va participer au vote ce qui va accroître le temps de calcul, donc on ne peut pas traiter des images complexes puisque nous sommes limitées par le nombre de points. Ainsi, nous sommes loin d'être capable de traiter des images réelles.
- En effet, on a pu observer que le détecteur de contour va aussi tenir compte du bruit ce qui va engendrer des faux votes, donc cette méthode est très sensible au bruit.
- Par ailleurs, pour un ensemble de points appartenant à des contours différents on peut toujours trouver une ellipse tels que cet ensemble de points appartiennent à cette ellipse, donc une ellipse va être détectée alors qu'elle n'existe pas sur l'image. Ainsi, le temps de calcul va être augmenté par tous ces inconvénients explicités ci-dessus.
- Cette méthode a besoin d'un prétraitement qui est la détection de contour avec une grande précision, basée sur l'estimation de gradient. De surcroît, dans certaines méthodes de détection des ellipses où l'on a résolu le problème de 5D en divisant ce problème en plusieurs étapes en 2D, en se basant sur des propriétés géométriques qui utilisent les propriétés du gradient. Ainsi, l'inconvénient est l'utilisation du gradient qui donne une mauvaise précision, tandis que nous avons besoin d'une précision importante pour la détection de contour.

**En résumé, les limites de cette méthode sont le temps de calcul, le nombre limites d'objets, la sensibilité au bruit, le gradient, et la détection d'ellipses imaginaires.**

## 4.2 Notre algorithme

### 4.2.1 Présentation

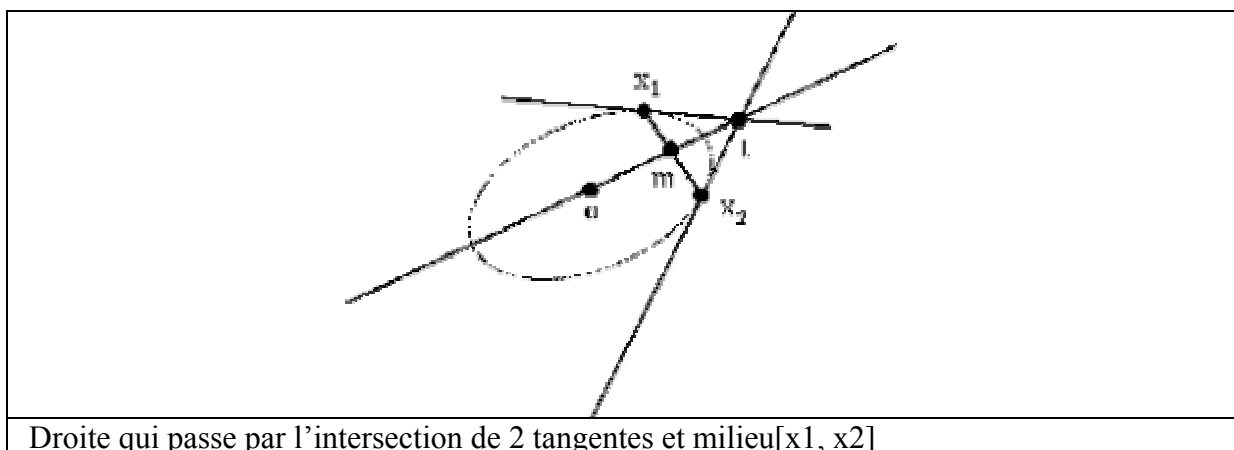
Avec notre méthode nous avons traités chacune de ces limites. En effet, avec notre implémentation nous sommes capables de traiter une image quelque soit le nombre d'ellipses contenu dans l'image. De plus, nous avons filtrés tout genre de bruits, réduit le temps de calcul, et limités les défaut provoqué par le gradient. Ces solutions sont applicables à toutes les méthodes qui utilisent la Transformation de HOUGH.

Nous allons appliquer ces solutions à une méthode qui a déjà beaucoup de limites au niveau du temps de calcul, et de la sensibilité au bruit. Cette méthode consiste à utiliser directement l'histogramme de HOUGH.

Nous allons nous baser sur les même propriétés géométrique utilisées auparavant, et nous allons diviser l'espace vote de 5D qui est déjà utilisé en espace de 2D, pour la détection de centre des ellipses. En effet, on trace directement l'histogramme de Hough comme dans l'article de Alexandre Bretagne.

### 4.2.2 Principe géométrique

Après, avoir fait le prétraitement comme nous l'avons précisé auparavant, nous entamons la détection des centres des ellipses. Pour la détection des centres des ellipses, nous parcourons l'image, et pour chaque pair de points de contour, nous traçons les tangentes à cette ellipse et, nous traçons la droite qui passe par le point d'intersection et le milieu du segment ayant comme extrémité ces deux points et qui passe par le centre de cette ellipses.



Le tracé s'effectue sur une image noire (valeur des pixel à 0): l'accumulateur. A chaque fois que nous traçons une droite, au lieu de mettre le pixel à une certaine couleur donnée (rouge, vert, blanc,...), on augmente la valeur du pixel dans l'accumulateur de 1. Ainsi, si deux droites se croisent, le point d'intersection aura une valeur de 2 (1+1). L'image résultante, (l'accumulateur 2D), a la caractéristique suivante: les taches blanches représentent les centres des ellipses.

Olivier Million et Vincent Rouilly ont déjà essayés d'implémenter cette méthode mais avec cette approche qui utilise un accumulateur à deux dimensions pour la position du centre des ellipses. Exemple des anciens travaux

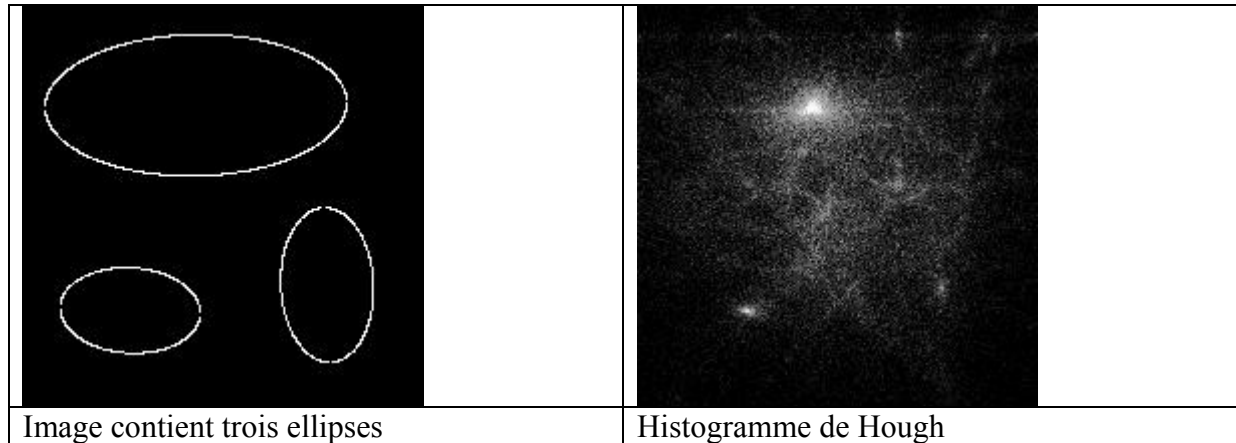


Figure 6 : la détection de centre de l'ellipse dans l'histogramme 2D de Hough

### 4 . 2 . 3 Traitement des limites

D'après les résultats que nous avons trouvés même avec des ellipses parfaites et une image nette (sans bruit), les limites de cette méthode sont claires, nous ne pouvons pas distinguer les centres des images si les ellipses sont trop nombreuses. L'explication de ces défauts est que tous les couples de points détectés comme contour vont voter pour des centres des ellipses, mais il reste le temps de calcul qui est relativement important. Afin de résoudre ce problème du temps de calcul, XIE a proposé de choisir par hasard (RHT) un couple de points des contour et nous faisons le vote avec un nombre limités des interactions ce qui suffit pour distinguer le centre. Ainsi, nous avons diminué le temps de calcul, mais cette méthode reste toujours de loin inapplicables sur des photos réelles.

Il reste encore la sensibilité au bruit de la méthode qui engendre des faux contours. L'occire que nous avons utiliser pour résoudre toutes les limites de cette méthode sont deux idées vraiment très simple.

#### 4 . 2 . 3 . 1 Pondération du vote

**La première idée** est une étude sur la précision du gradient et les faux votes provoqués par les défauts de ces gradients l'exemple si dessous le montre.



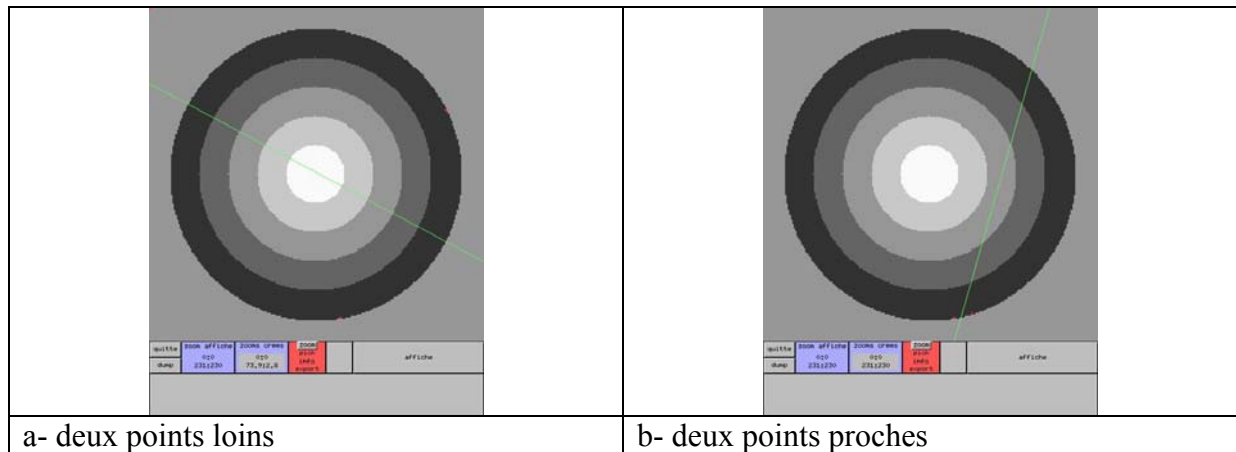


Figure 7 :l'effet de la distance entre les couples des points

Cette idée consiste à observer que si l'on choisit deux points proches l'un de l'autre on trouve que la droite qui doit passer par le centre du cercle passe loin de celui-ci (figure 7-b), en revanche si l'on choisit des points éloignés l'un de l'autre on remarque que dans ce cas la droite passe par le centre (figure 7-a). C'est pour cette raison que nous proposons de pondérer les votes par :

- A- une équation linéaire en fonction de la distance
- B- l'index du point et pas la distance euclidienne.

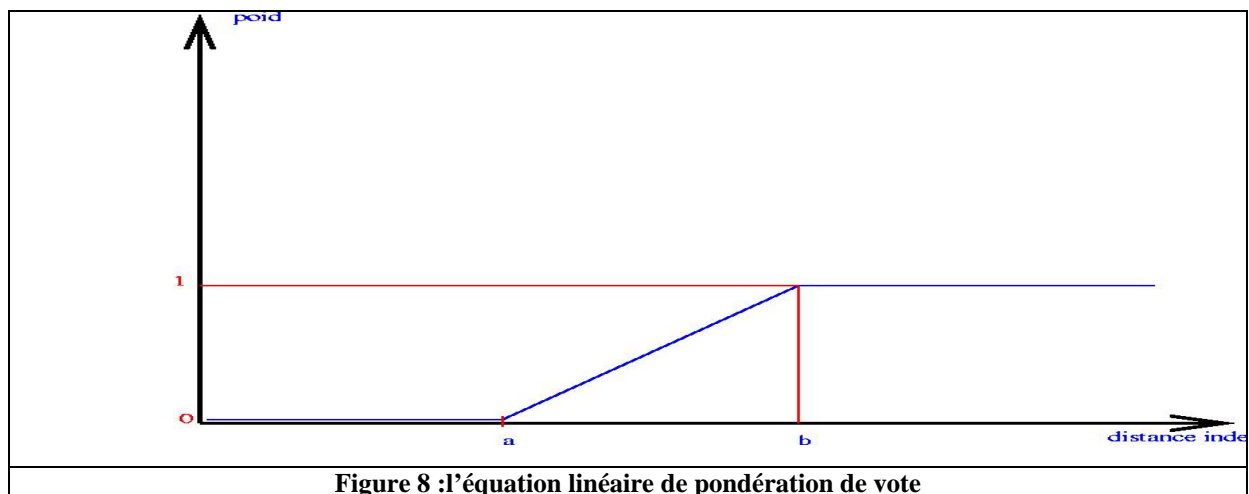


Figure 8 :l'équation linéaire de pondération de vote

#### 4.2.3.2 Les chaînes

La deuxième idée est d'utiliser des chaînes de contour comme le montre l'exemple

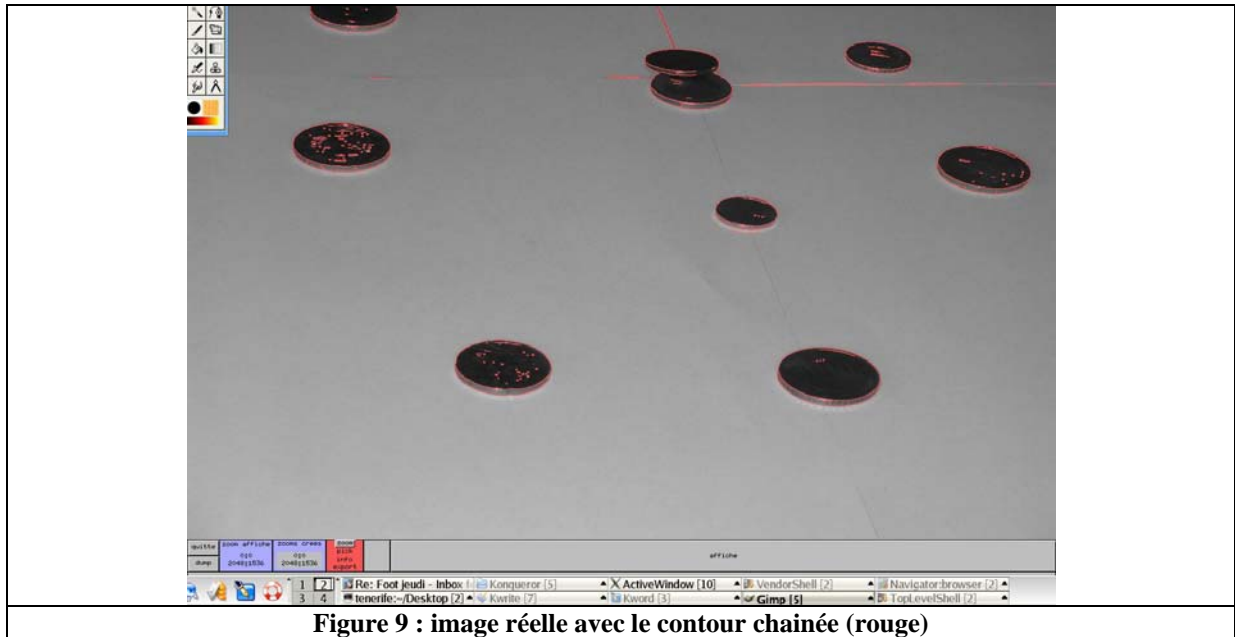


Figure 9 : image réelle avec le contour chaîné (rouge)

Cet exemple nous montre que les chaînes sont indépendantes l'une de l'autre. Nous allons maintenant expliciter l'avantage de cette opération :

#### 4.2.3.2.1 *Le nombre d'ellipses traitées*

Par le biais de l'utilisation des points de contour sous forme de chaîne pour que chaque chaîne vote dans un espace de hough indépendant. Ainsi, on peut traiter un nombre illimité d'ellipses sans aucun problème.

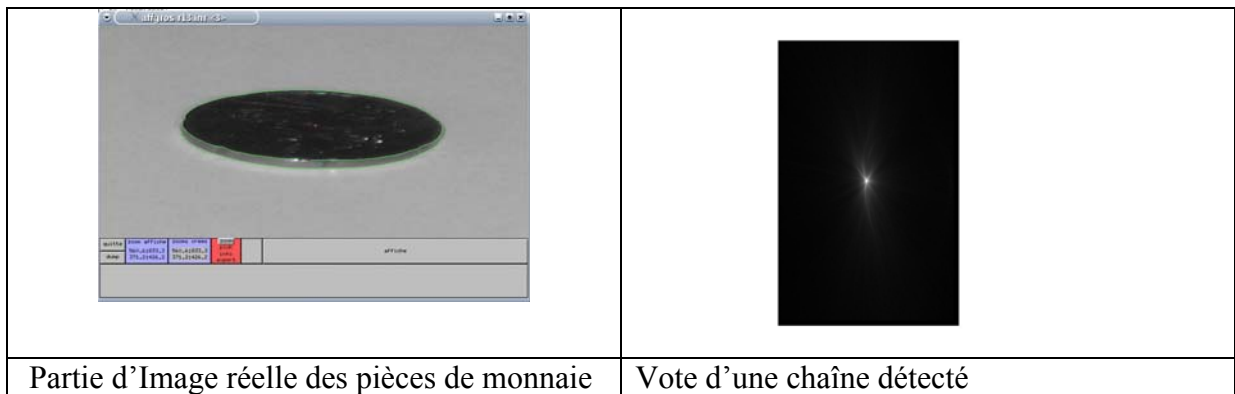


Figure 10 : le traitement des chaînes indépendant l'une de l'autre

#### 4.2.3.2.2 *Traitement du bruit*

Pour ce qui s'agit du bruit, on peut l'éliminer à partir de la détermination d'un seuil où toutes les chaînes qui ont un nombre de points de contour plus petit que ce seuil, sont considérées comme du bruit et qui sont par la suite éliminés.

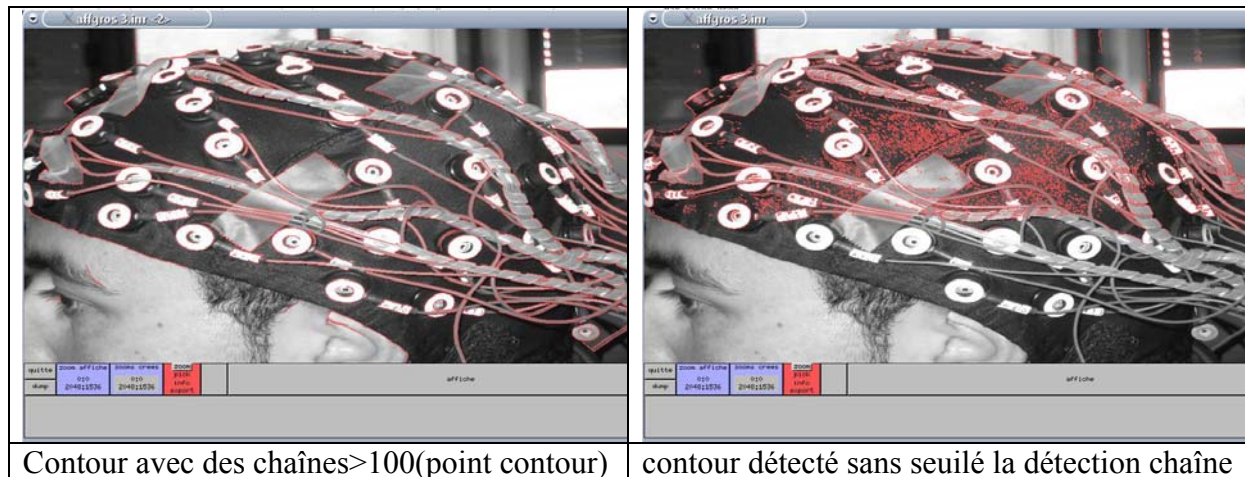


Figure 11 : élimination le bruit

#### 4.2.3.3 Réduction du temps de calcul

Pour optimiser le temps de calcul ,on réduit ce temps de calcul par quatre étapes :

- Facteur de chaîne : pour comparer ce gain de temps on définit ce facteur que l'on explicite à l'aide d'un exemple :

Pour une image qui contient 10000 points de contour on obtient avec la transformation de Hough classique **4995000** couple de points, tandis que si l'on utilise les chaînes en supposant que l'on en est dix chaînes on a seulement **49500** couples de points. On a peut près un rapport de 100.

- Facteur de pondération : A l'aide de la pondération en ne tenant compte que des points qui sont plus grand que le seuil a .

Exemple :

Une chaîne de 100 point si on détermine un seuil  $a=20$ (paragraphe 4.2.3.1)

Au lieu de 4950 couples de points on a 3160 couples de points.

On a un rapport de 1.6.

- Facteur du bruit :Par ailleurs, le seuil qu'on a proposé pour les chaînes permet encore de réduire le nombre des chaînes, d'éliminer le bruit et d'optimiser le temps de calcul (paragraphe 4.2.3.2.2)

Exemple

(Figure 11)

On avait sans l'élimination du bruit plus de 3000 chaînes,

Avec un seuil égale a 100 ,on avait obtenu 273 chaînes,et par la suite on avait éliminé tout le bruit.

- Facteur de la fenêtre :l'utilisation des fenêtres adapter a chaque chaîne au lieu de tracer des droites dans une image a la taille de l'image initiale, on peut tracer des droites dans une fenêtre de taille adaptés a la taille de la chaîne traitée.

Exemple

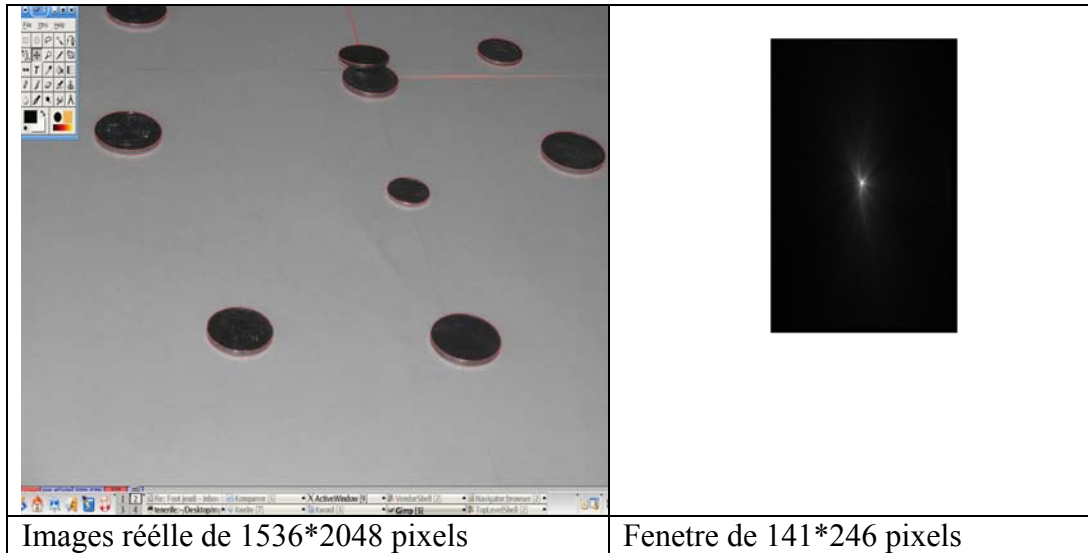


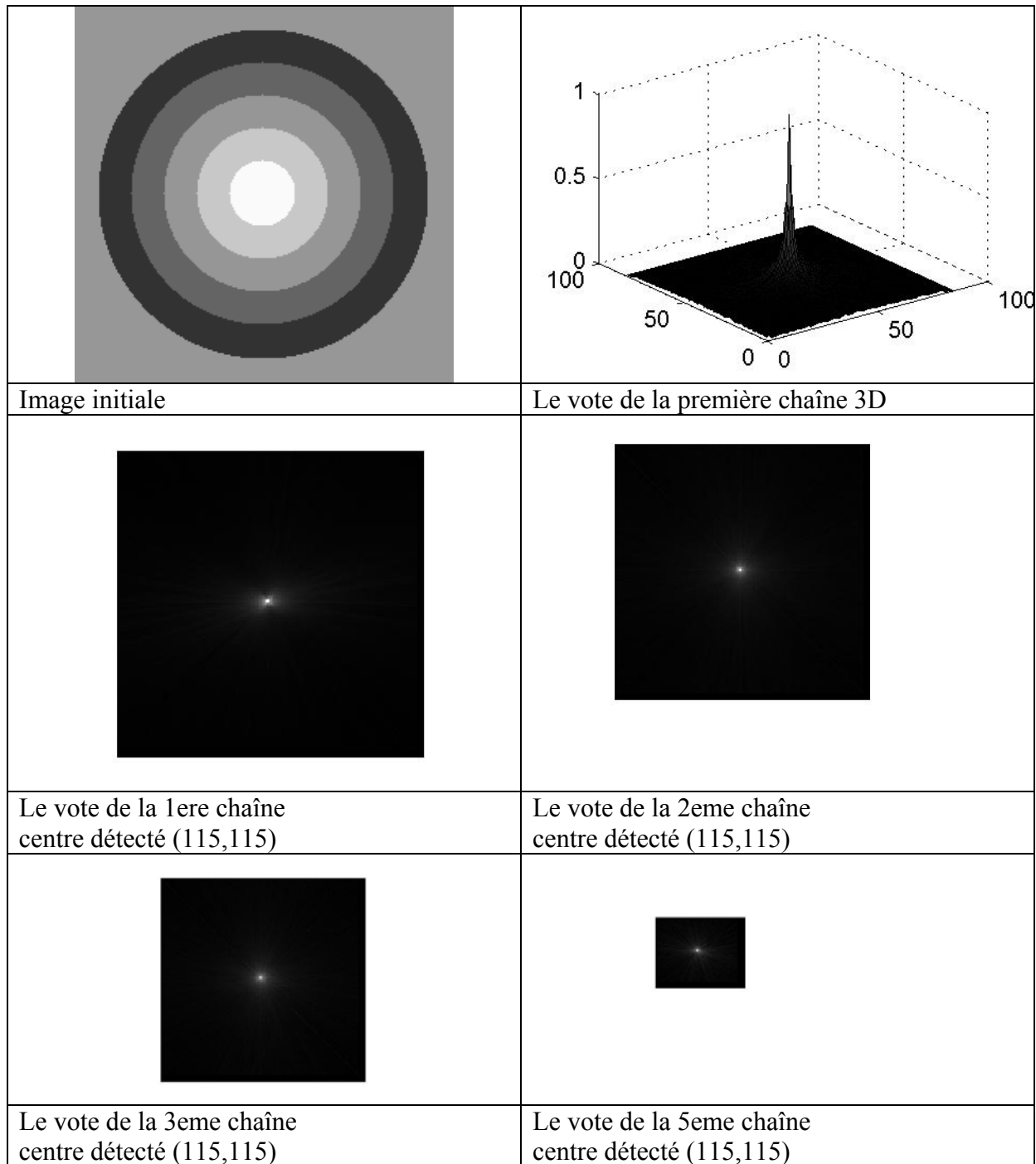
Figure 12 :la reduction de la taille de l'istogramme de hough

## 5 Résultats pratiques

Dans ce chapitre on va étudier l'influence de différents paramètres comme le seuil, la robustesse, la fiabilité, les pondérations... sur la détection des centres des ellipses dans différents cas.

### 5.1 *L'exemple des cercles*

Les résultats suivants correspondent à une image test (300\*300 pixels) contenant 5 cercles concentriques ayant comme centre (115,115). Avec le détecteur des chaînes, on a décelé 5 chaînes correspondant chacune à un cercle.



**Figure 13 :**Les images ci-dessus correspondent à l'histogramme de Hough pour les différentes chaînes des cercles de notre image test.

Remarquons que les fenêtres sont adaptées à chaque chaîne et que la méthode présente une grande fiabilité pour la détection du centre (dans tous ces histogrammes  $a=10$  et  $b=60$ )  
 Le deuxième tableau c'est une étude sur l'effet de la pondération de  $a$  et  $b$  (cf. paragraphe 4.2.3.1) pour la première chaîne.

Paramètre a	Paramètre b	Centre détecté
10	60	115 ,115
40	80	115 ,115
80	100	115 ,116
80	1000	115 ,116

**Tableau 1**

Ce tableau montre l'importance de ces deux paramètres pour la détection des centres.

## 5.2 L'exemple des formes géométriques

Dans cette deuxième expérience on part d'une autre image test (100\*100 pixels) où on va tester notre implémentation sur les différentes formes géométriques : carré, triangle, cercle, ellipse...

C'est

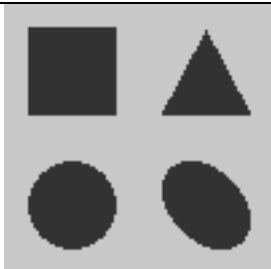




	
L'image initiale avec quatre forme	
	
TH pour l'ellipse	TH pour le carré
	
TH pour le triangle	TH pou le cercle

Figure 14 :Les images ci-dessus correspondent à l'histogramme de Hough pour les différentes formes géométriques.

La deuxième étape consiste à tester la robustesse de notre implémentation c'est-à-dire la précision de la détection du centre de l'ellipse avec 50% ou 33% de cette dernière, l'influence des paramètres (a, b) et l'effet de la diminution des nombre d'opérations.

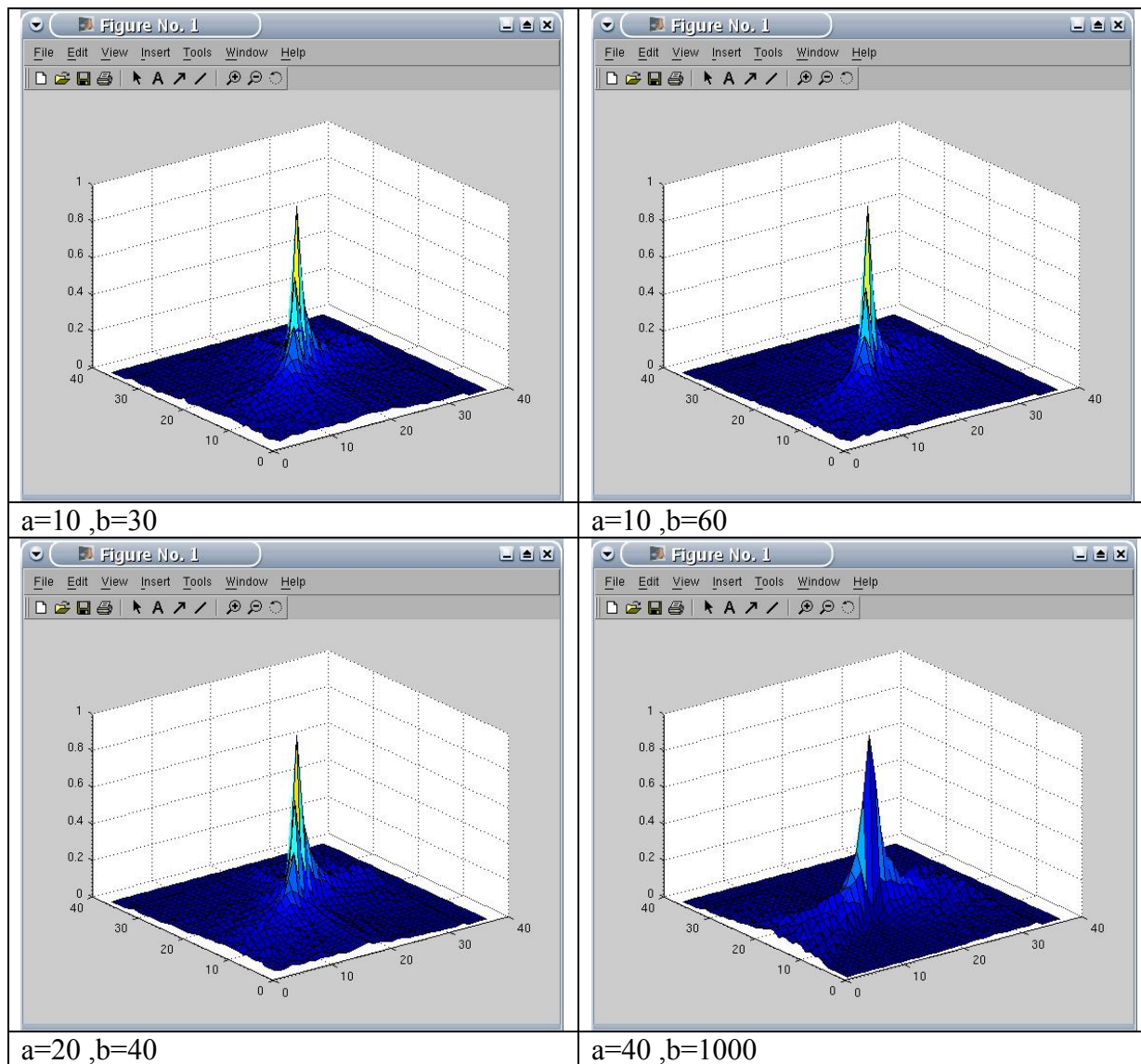
Ce tableau montre en détail les résultats obtenus.

**N.B :** Tous les tests dans ce tableau sont sur l'ellipse ci-dessus qui a comme centre (75,75).

% opération	% ellipse	a	b	Centre détecté
100	100	10	30	75 75
100	100	10	60	75 75
100	100	20	40	75 75
100	100	40	1000	75 75
100	50	10	60	76 75
100	50	10	50	76 75
100	50	10	30	76 75
100	50	15	20	76 75
100	50	5	20	76 75
100	50	3	20	76 75
100	33	10	20	76 75
100	33	15	20	73 75
100	33	1	20	80 77
10	100	10	30	75 75
10	100	20	40	75 75
10	100	40	1000	75 75
10	50	10	60	76 75
10	50	10	30	76 75
10	50	15	20	75 75
10	33	5	20	85 66
10	33	5	10	85 66
10	33	1	10	71 77

Tableau 2

On va montrer, maintenant, des exemples graphiques détaillés sur l'influence de tous les paramètres traités dans le tableau précédant.



**Figure 15 : Cette première série d'images représente l'histogramme de transformation de HOUGH pour une ellipse complète (100%) avec le changement de a et b seulement.**



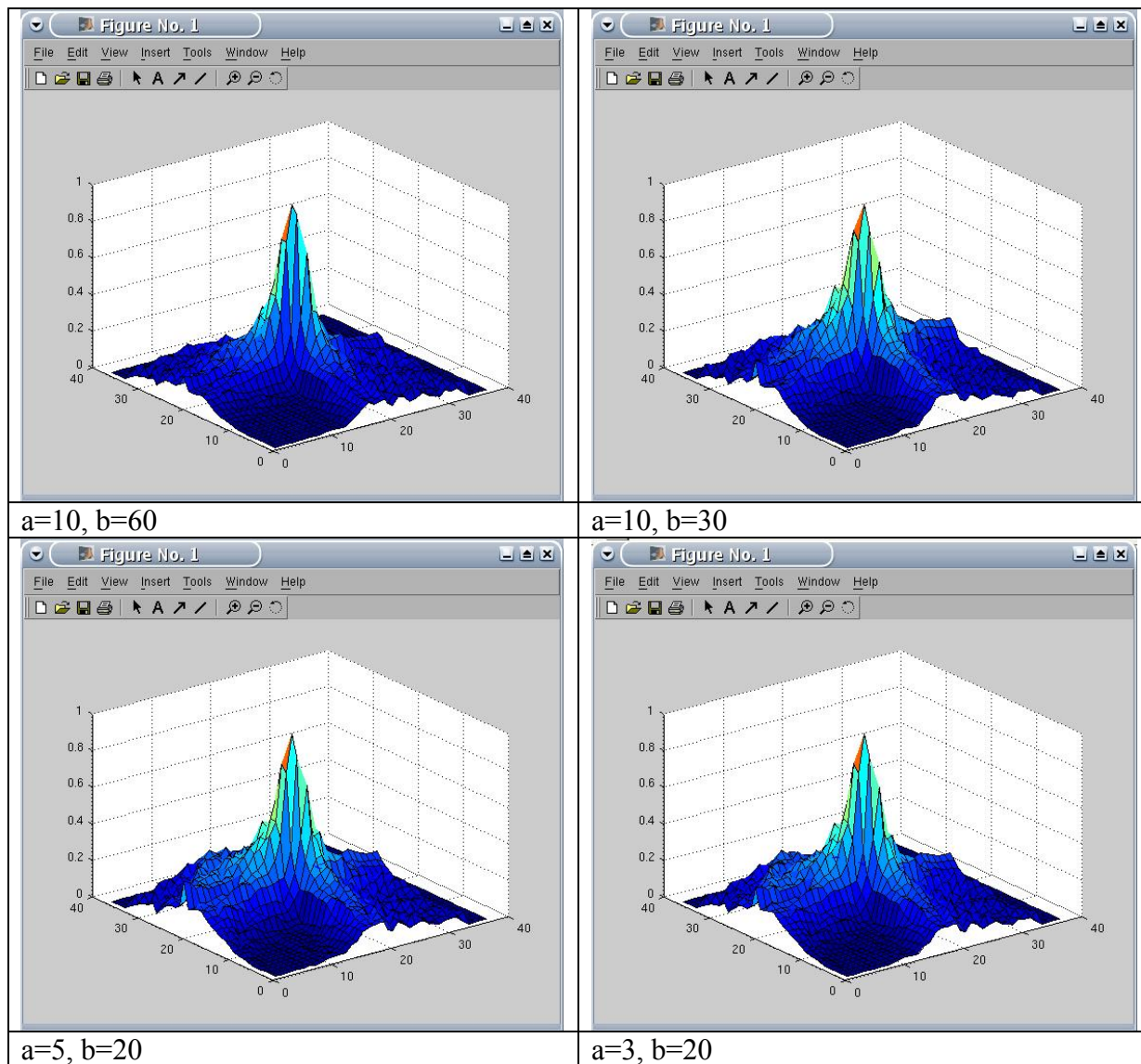


Figure 16 Ci-dessus un exemple avec seulement 50 % de la chaîne.

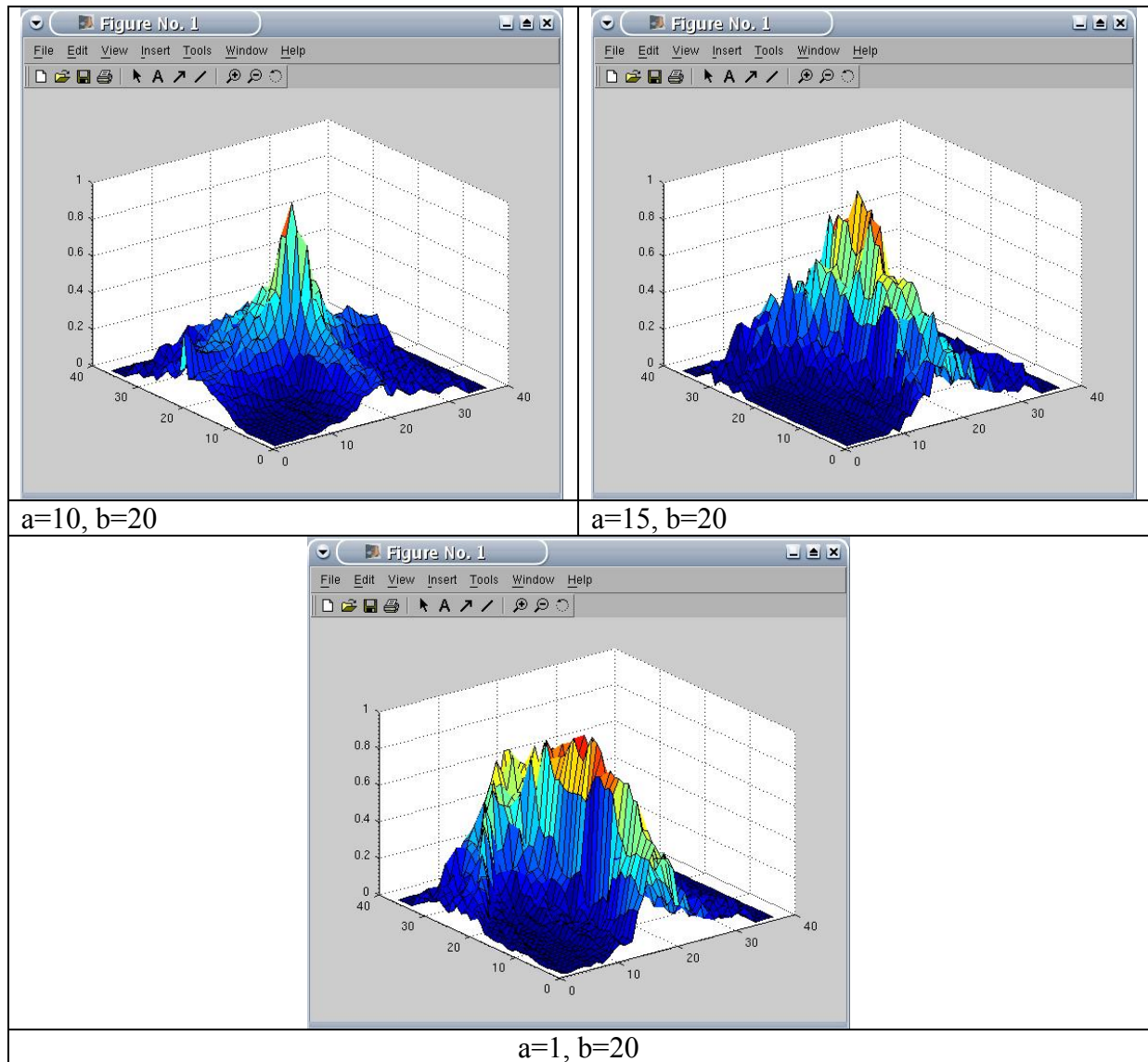


Figure 17 :Ci-dessus un exemple avec 33% de la chaîne.

### 5.3 Image réelle : pièces de monnaies

Dans ce troisième exemple on part d'une image réelle correspondant à une photo prise à l'aide d'un appareil photo numérique de 3,2 Mega pixels. Il faut tenir compte du fait que l'optique de ce genre d'appareils n'est pas parfaite. On a détecté 23 chaînes dans cette image ou on a choisit la chaîne 21 pour faire l'expérience.

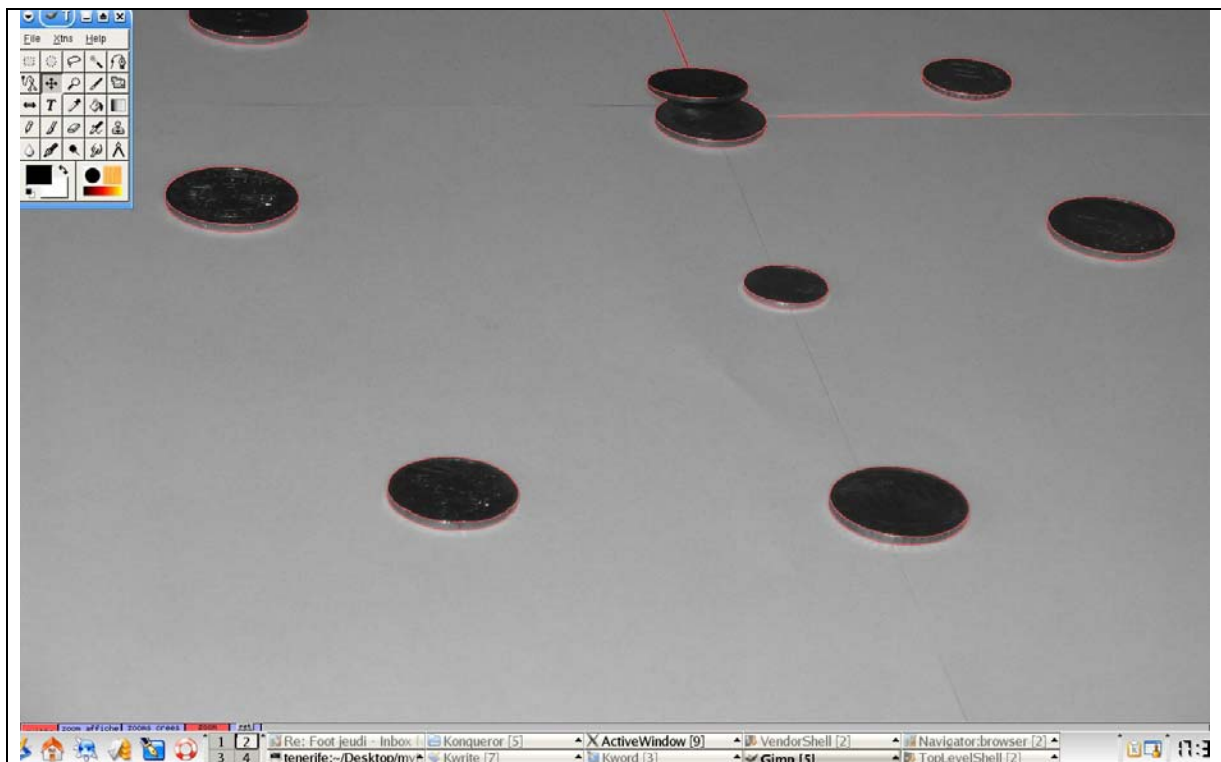
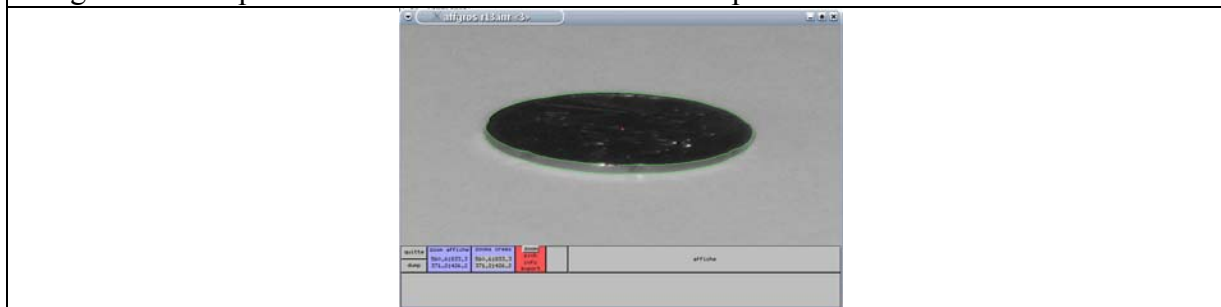


Image réelle des pièces des monnaies taille 1536\*2048 pixels



La chaîne 21 détectée (653 points de contour)

Figure 18 : image réelle

Le résultat figure dans le tableau ci-dessous.

% ellipse	a	b	Centre détecté
100	40	1000	1033 747
100	100	1000	1033 745
100	200	300	1033 745
100	40	300	1033 745
50	40	300	1034 756
50	100	300	1034 756
50	200	300	1035 773
50	5	300	1034 756

Tableau 3

Maintenant on va présenter quelques résultats graphiques relatifs à l'expérience réalisée.

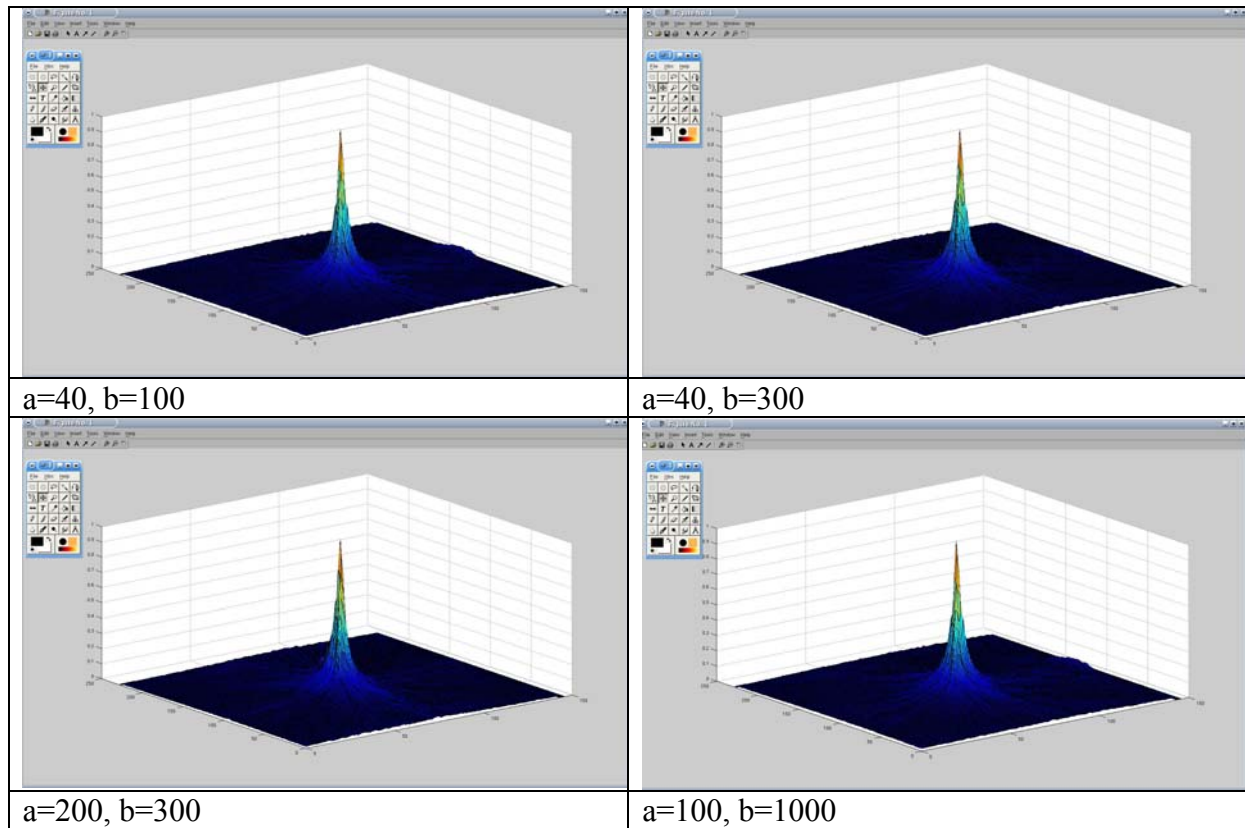


Figure 19 : les résultats de vote pour des chaînes de 100% avec a et b varie

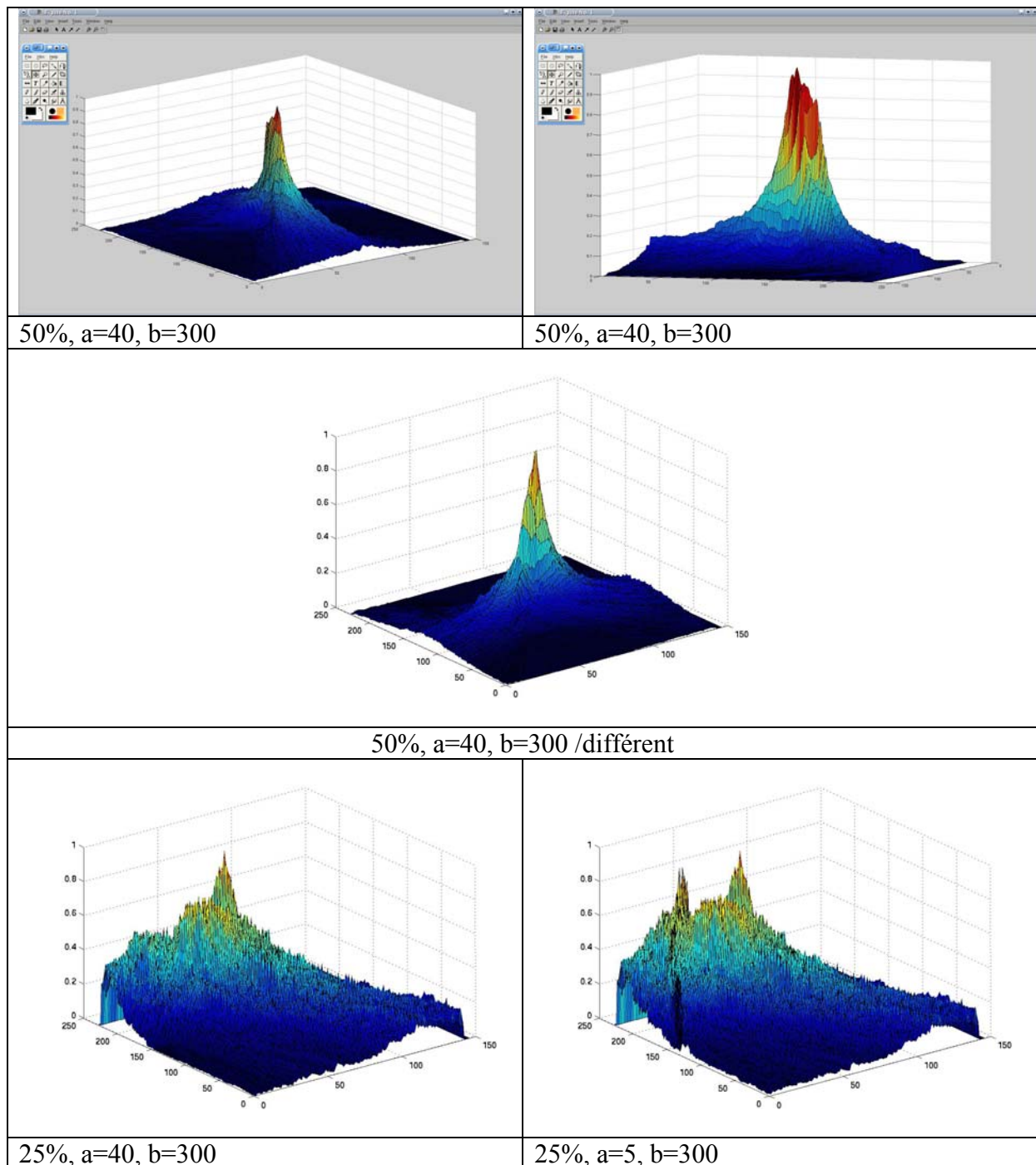
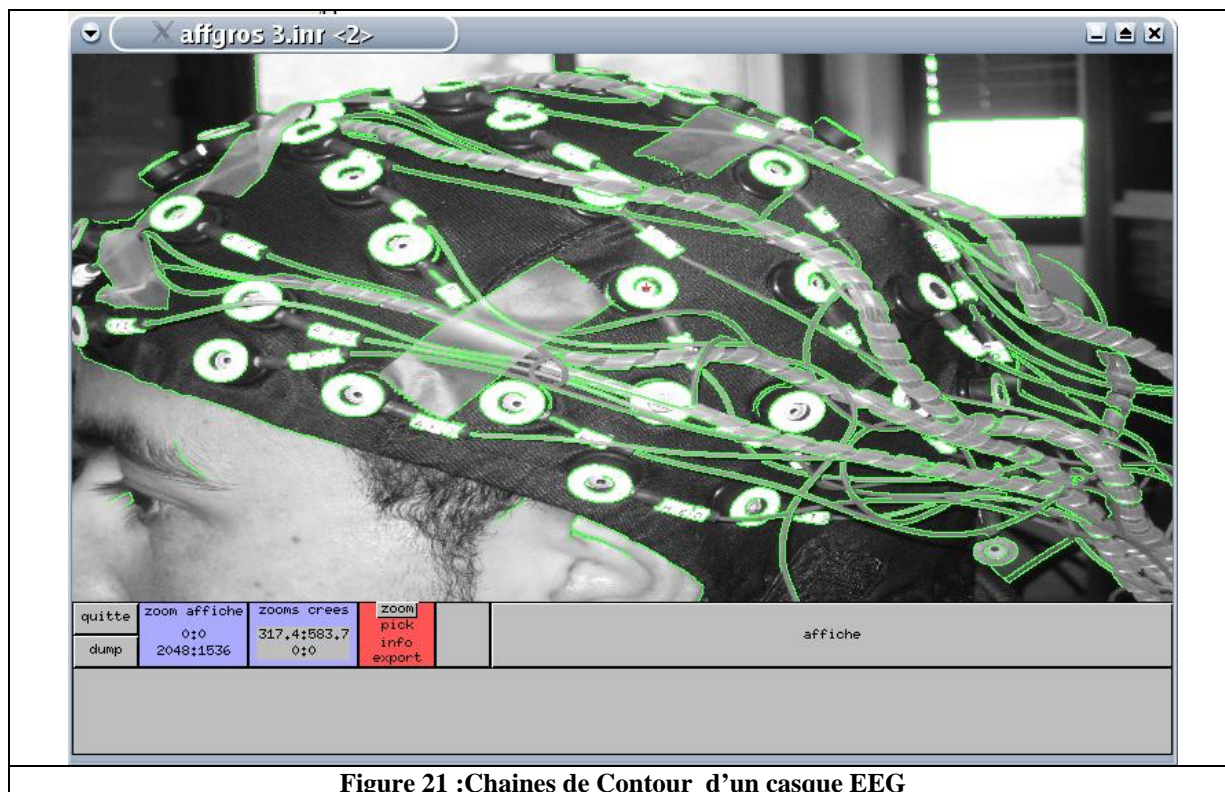


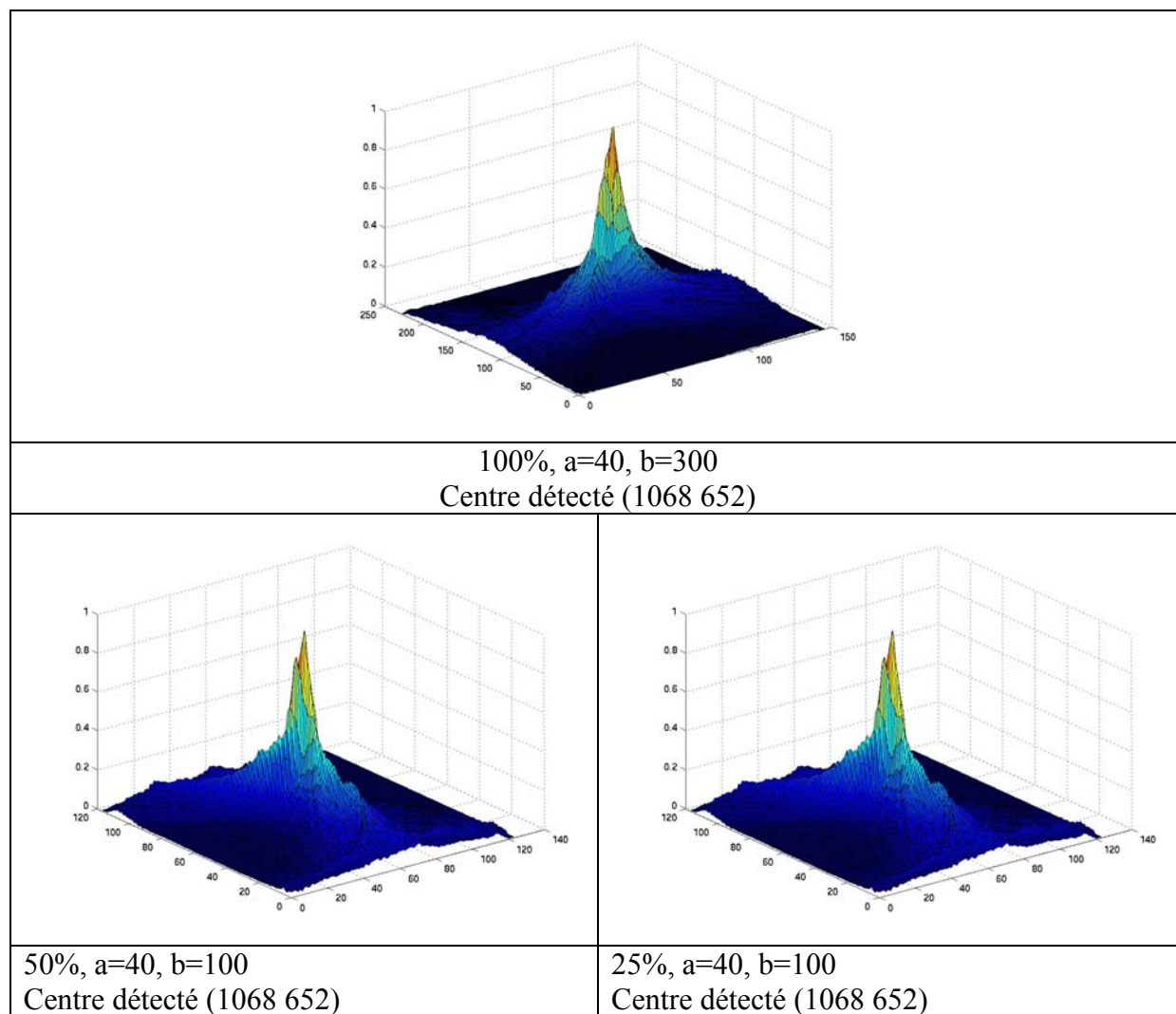
Figure 20 : Deuxième ensemble des images sont les résultats de vote pour des chaînes de 50% et de 25% de cette chaîne

## 5 . 4 Un photo du casque EEG



Quatrième exemple c'est une photo du casque EEG, encore on a utilisé une appareil numérique simple de 3,2 Mega pixels . La taille de cette image et 1536\*2048 pixels. Dans cette photo on a 273 chaînes qui ont un taille supérieure à 100 points. On va faire des test de robustesse sur la chaîne numero102, c'est la chaîne qui est centrée par le croix rouge dans la figure 21





**Figure 22 : série des expériences qui montre la robustesse de la détection**

Comparaison entre des résultats classiques de transformation de HOUGH sans tenir compte  
 notre amélioration et on tient compte cette amélioration

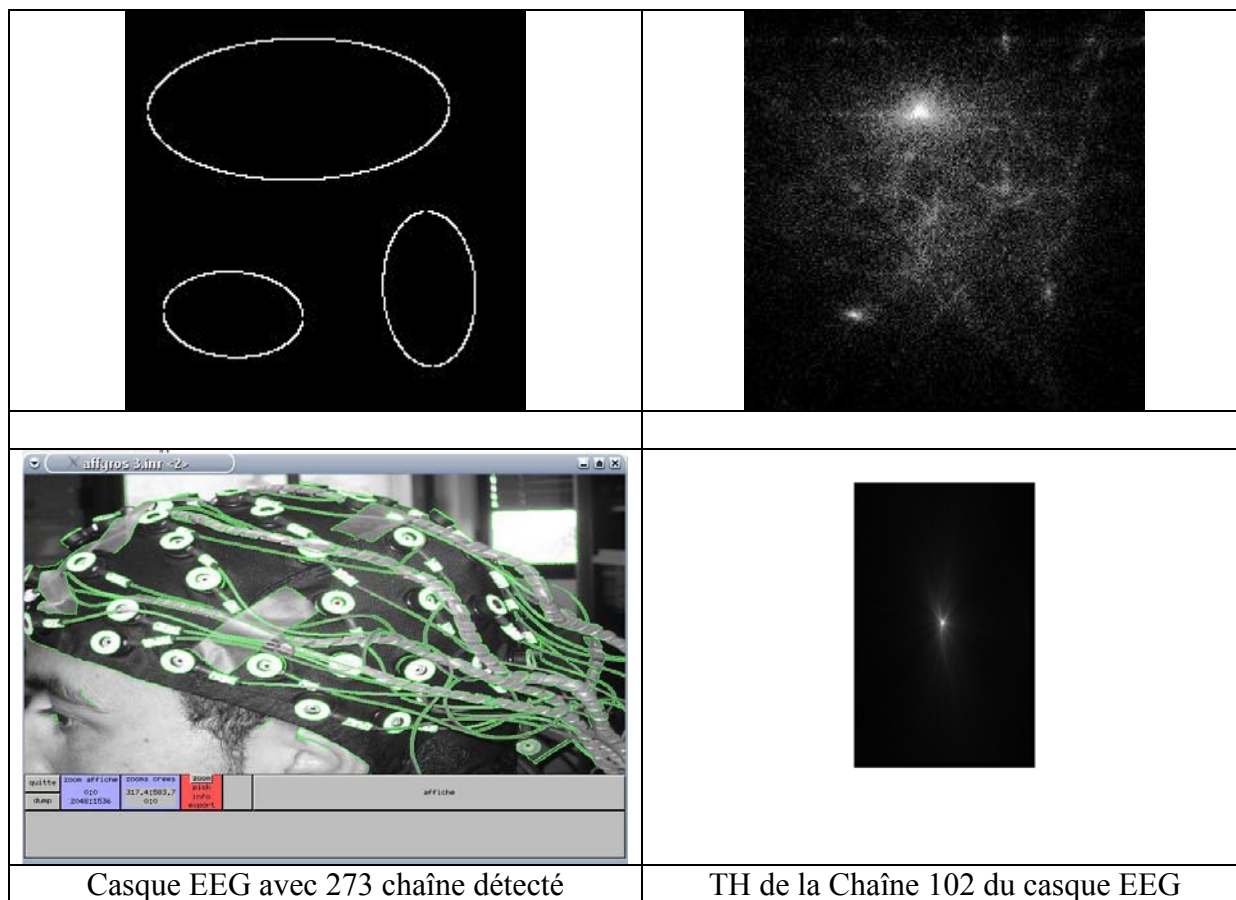


Figure 23 :comparaison



## 6 Conclusion

L'objectif de cette étape de mon stage était la localisation des centres des électrodes sur une photo numérique.

Pour ce faire, on a choisi comme méthode la transformation de Hough, sur laquelle plusieurs articles ont déjà été écrits dont on a déterminé les limites (la sensibilité au bruit, le temps de calcul, le gradient) et pour lesquelles on a proposé des solutions générales tels que l'utilisation des chaînes de contours et de pondérations de votes. Par la suite on a appliqué ces solutions à la détection des centres d'ellipses, et au lieu de voter dans un espace 5D on a voté dans un espace 2D en utilisant des propriétés géométriques de l'ellipse.

Par ailleurs, on a aussi réussi à réduire le temps de calcul d'un facteur énorme, augmenté la robustesse de cette méthode, éliminé le bruit, et enrichi notre implémentation par des études expérimentales qui analysent l'influence de tout les paramètres qui jouent un rôle dans la détection où on a commencé à traiter des images simple puis des images réelles.

La suite du travail :

- Il nous reste à localiser ces centres détectés en 3D en utilisant une série de vues pour ce casque et en se basant sur le système MatchMover de REALVIZ.
- Tester si le logiciel de REALVIZ est capable de distinguer les vrais et les faux centres déjà détectés.
- Le cas échéant, on pourra essayer de déceler les vrais centres par la détermination des trois autres paramètres de l'ellipse en se basant sur le même algorithme précédent.
- Le Labeling de certaines ellipses (électrodes).

## Tableau des équations

Équation 1 .....	9
Équation 2 .....	10
Équation 3 .....	10
Équation 4 .....	10
Équation 5 .....	10
Équation 6 .....	11
Équation 7 .....	12
Équation 8 .....	13
Équation 9 .....	13
Équation 10 .....	13
Équation 11 .....	13
Équation 12 .....	13
Équation 13 .....	13

## Tableau des tableaux

Tableau 1 .....	21
Tableau 2 .....	23
Tableau 3 .....	27

## Tableau des figure

Figure 1 : casque EEG.....	6
Figure 2 : les normaux au contour du cercle .....	9
Figure 3 : résultat de détection des pièces des monnaies .....	9
Figure 4 :Construction du centre d'une ellipse à partir de trois points et tangentes.....	12
Figure 5 :Propriétés des deux points de grand axe de l'ellipse .....	13
Figure 6 :la détection de centre de l'ellipse dans l'histogramme 2D de Hough .....	16
Figure 7 :l'effet de la distance entre les couples des points .....	17
Figure 8 :l'équation linéaire de pondération de vote.....	17
Figure 9 : image réelle avec le contour chaînée (rouge) .....	18
Figure 10 : le traitement des chaînes indépendant l'un de l'autre .....	18
Figure 11 :élimination le bruit.....	19
Figure 12 :la reduction de la taille de l'istogramme de hough.....	20
Figure 13 :Les images ci-dessus correspondent à l'histogramme de Hough pour les différentes chaînes des cercles de notre image test. ....	21
Figure 14 :Les images ci-dessus correspondent à l'histogramme de Hough pour les différentes formes géométriques. ....	22
Figure 15 : Cette première série d'images représente l'histogramme de transformation de HOUGH pour une ellipse complète (100%) avec le changement de a et b seulement. ....	24
Figure 16 Ci-dessus un exemple avec seulement 50 % de la chaîne. ....	25
Figure 17 :Ci-dessus un exemple avec 33% de la chaîne. ....	26

Figure 18 : image réelle.....	27
Figure 19 : les résultats de vote pour des chaînes de 100% avec a et b varie .....	28
Figure 20 : Deuxième ensemble des images sont les résultats de vote pour des chaînes de 50% et de 25% de cette chaîne .....	29
Figure 21 :Chaines de Contour d'un casque EEG.....	30
Figure 22 : série des expériences qui montre la robustesse de la détection .....	31
Figure 23 :comparaison.....	32

## ***BIBLIOGRAPHIE***

**1- Yonghong Xie, Qiang Ji “A new Efficient Ellipse Detection Method”  
University of Nevada”/ 2003**

**2- Ryad Chellali, Vincent Fremont, Pawe Janusz Czerwiski ,” Ellipse  
Detection Using Hough Transform “/2003**

**3-Alexandre Bartegnon « Détection des cercles dans une image (Hough  
Circle) » /2003**

**5- Samuel Inverso Ellipse Detect ion Using Randomized Hough Transform  
2002**

**4- S. Aguado andM. S. Nixon A New Hough Transform Mapping for Ellipse  
Detection”**

**6- Lei XU, Erkki OJA, and Pekka Kultanena,” A new curve detection  
method: Randomized Hough transform (RHT)”**

**7-Olivier Moullin, Vincent Rouilly “ détection des ellipses par  
Transformation de Hough » 2000**