

**QUELQUES APPLICATIONS DE L'EVOLUTION
ARTIFICIELLE
AU TRAITEMENT D'IMAGES:
L'ALGORITHME DES MOUCHES**

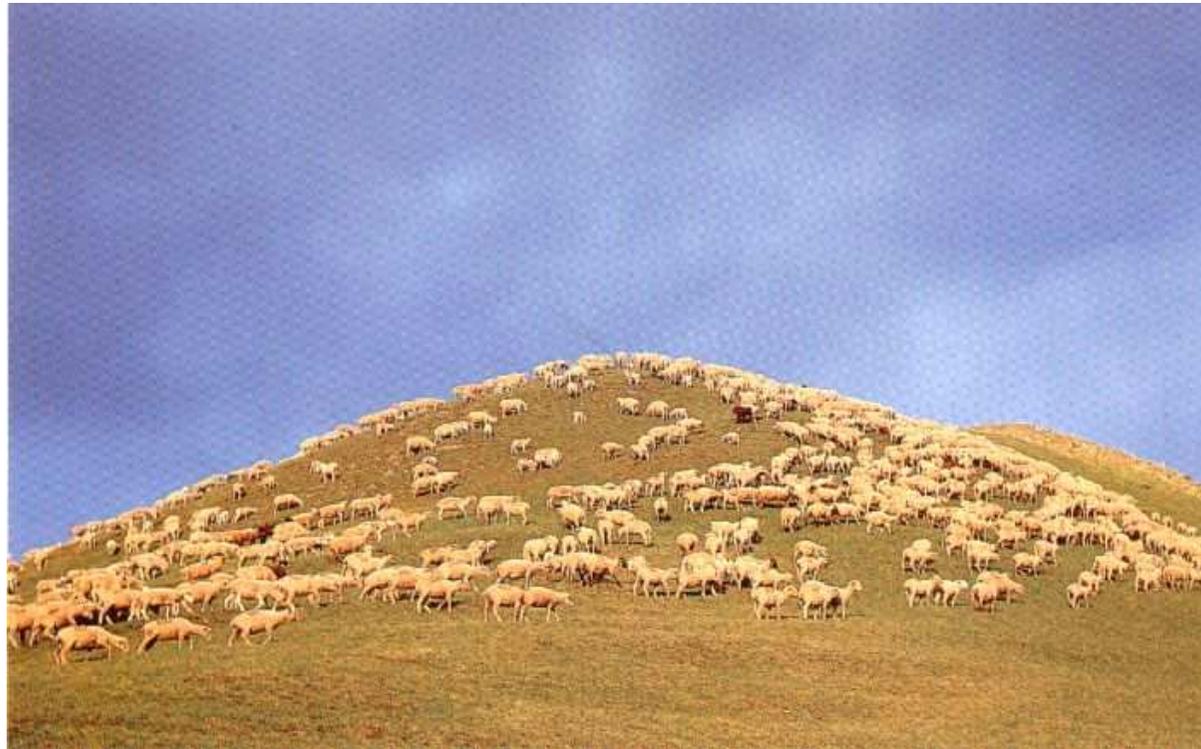
Jean LOUCHET
ARTENIA SARL

et

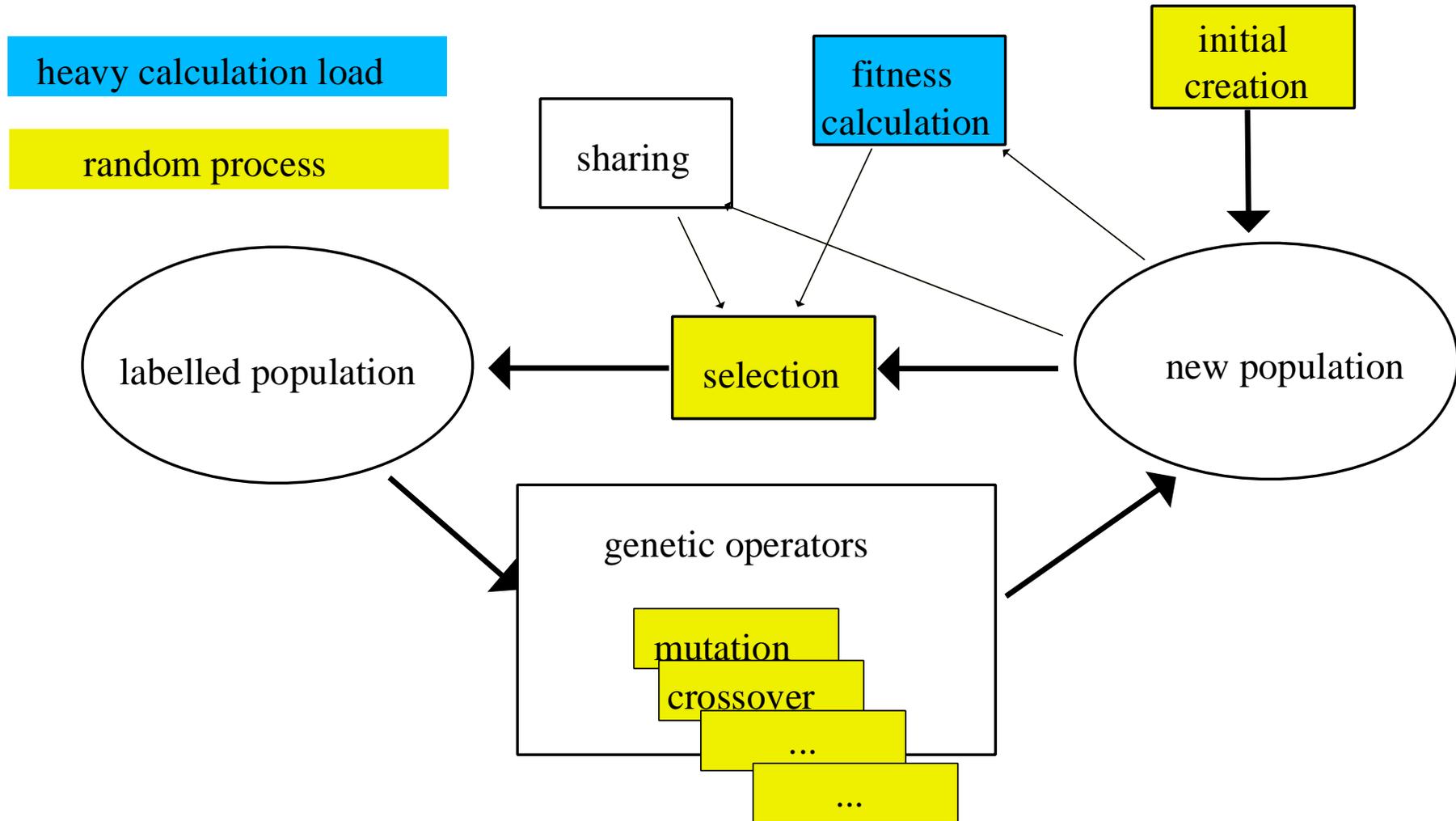
INRIA, Complex team, Rocquencourt (France)
Jean.Louchet@gmail.com

1	Introduction: exploration d'espaces de paramètres par évolution artificielle	3
2	Retrouver des formes dans une image: revisitons la transformation de Hough.	11
	Evolutionnarisation de la transformation de Hough	16
	Houghvolution généralisée	20
3	Evolution parisienne, ou comment diviser le travail: l'algorithme des mouches.	22
	Une application en robotique mobile	26
	Une application en imagerie médicale	32
4	Conclusion	39

1 Introduction: exploration d'espaces de paramètres par évolution artificielle



A la recherche des sommets: opérateurs fonctionnant en parallèle.



L'un des schémas possibles pour l'évolution artificielle.

DARWIN

- le “meilleur” survit plus longtemps
- hérédité

Codage - génotype et phénotype

Nature de l'espace de recherche (génotype): discret (algorithmes génétiques) ou continu (stratégies d'évolution)

Fonction de fitness (évaluation, qualité...)

$$\text{fitness } F : E \rightarrow R$$

E : espace de recherche; R : corps des réels

$$x = \text{Argmax}(f) \Leftrightarrow [x' \neq x \Rightarrow f(x') < f(x)]$$

Créer et faire (laisser?) évoluer une *population* dans l'espace de recherche, en imitant les lois de la nature

Maxima locaux multiples

Autres approches

Fonction de coût ou de fitness?

Sharing (partage)? ou la régulation démographique...

Opérateurs génétiques

- sélection
 - ranking (classement)
 - roulette
 - tournoi
 - seuil simple (normalement ça ne marche pas...)
- mutation
- croisement
 - échange de segments
 - barycentrique (ES seulement!)
- sharing
- raffinements:
 - préférences dans le choix de partenaires (mating preferences)
 - niches
 - co-évolution
 - diploidie, sexualité, gènes dominants/récessifs, etc.



Résultat d'un croisement. L'opérateur n'est pas toujours gagnant.



Hans-Paul Schwefel (“Evolutionstrategie”)

Coder par des nombres réels - culture d'ingénieurs?



Riccardo Poli, David Goldberg (“Genetic algorithms”)

Coder discret, booléen - faut-il vraiment laisser l’informatique aux informaticiens?



Les autres pionniers: Wolfgang Banzhaf, William Langdon, Michèle Sebag.

2 Retrouver des formes dans une image: revisitons la transformation de Hough.

$$y = ax + b$$

Dans le repère de coordonnées (a, b) , l'ensemble des droites qui contiennent le point (x, y) est une ligne droite d'équation:

$$b = (-x)a + y$$

L'espace repéré par les coordonnées (x, y) est souvent appelé le *plan*, et celui repéré par (a, b) le *plan dual* ou *espace des paramètres*.

Un petit tour au tableau noir...

ET OU EST PASSEE L'ISOTROPIE?

la réponse: voici une *bonne* équation de la droite:

$$\rho = x \cos\theta + y \sin\theta$$

Algorithme:

Initialiser le tableau $H(\theta, \rho) = 0$

Pour chaque pixel (x, y)

 si le pixel satisfait les critères (valeur, contraste, etc.) alors

 pour chaque $\theta \in [0, 2\pi]$: $H(\theta, x \cos\theta + y \sin\theta) + = 1$

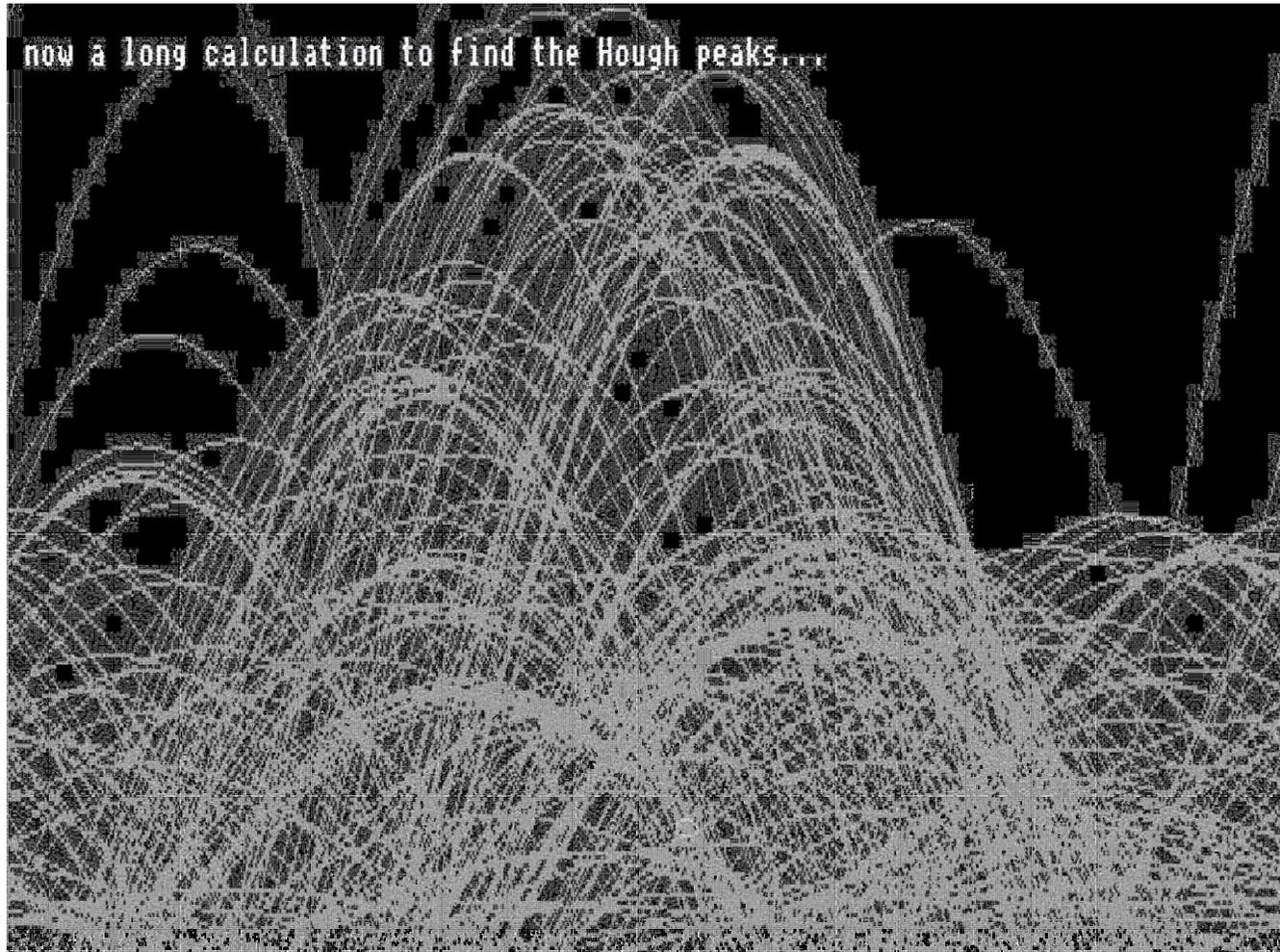
// chaque "pixel intéressant" crée une arche de sinusöide dans l'espace d'accumulation de Hough.

$(\theta, \rho) = \text{Argmax } H$

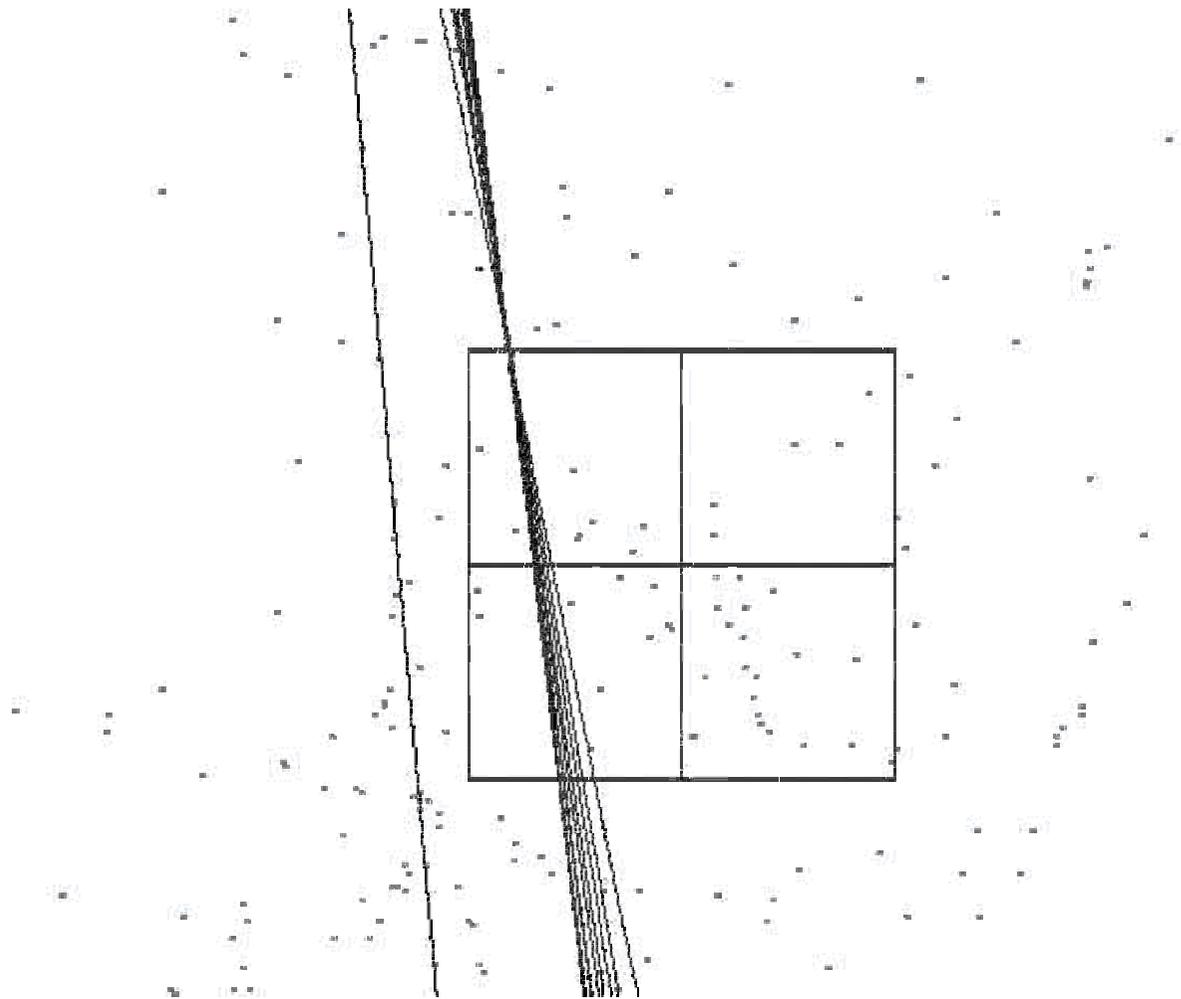
// donne l'équation de droite correspondant au plus important alignement.



*Une application en archéologie: carte des monuments paléolithiques dans le
Devonshire (Peter Brough)*



L'accumulateur de Hough



Alignements détectés

Evolutionarisation de la transformation de Hough

Idée: pourquoi pas explorer directement (mais intelligemment) l'espace des paramètres, plutôt que l'utiliser comme un accumulateur?

Algorithme:

Créer une population d'individus avec les chromosomes (θ, ρ)

Initialiser la population au hasard, avec $\theta \in [0, 2\pi]$ et $\rho \leq \rho_{max}$

Lancer une ES standard avec la fitness suivante:

fitness = nombre de pixels sur la droite correspondante, vérifiant le critère.

Mutation: Gaussienne

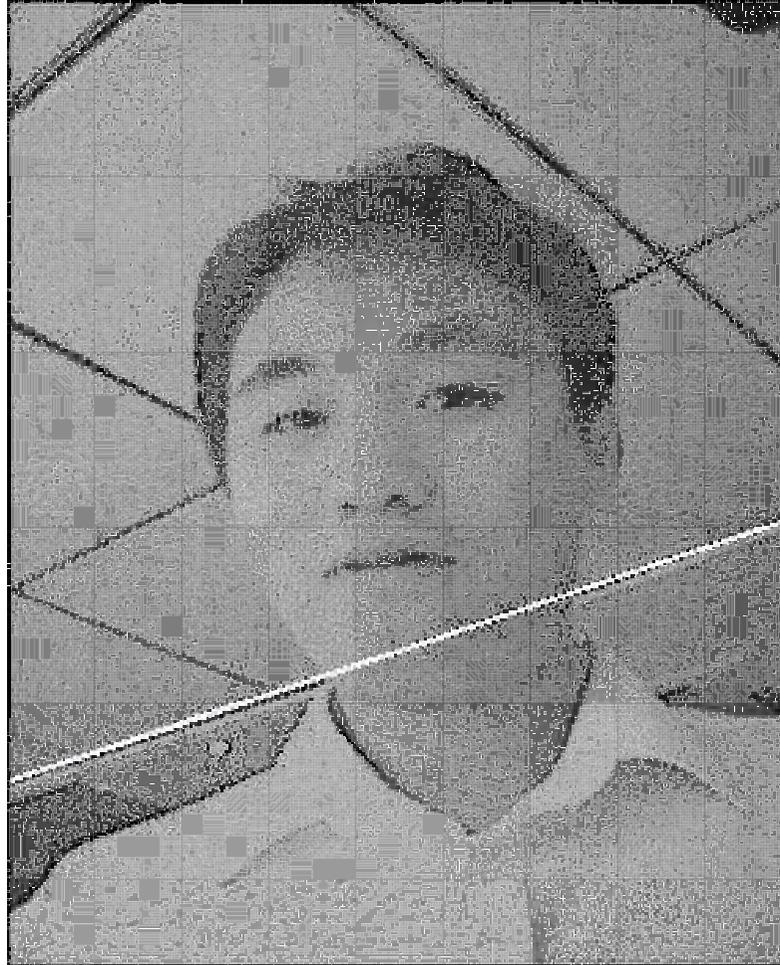
Croisement: barycentrique

Pas de sharing

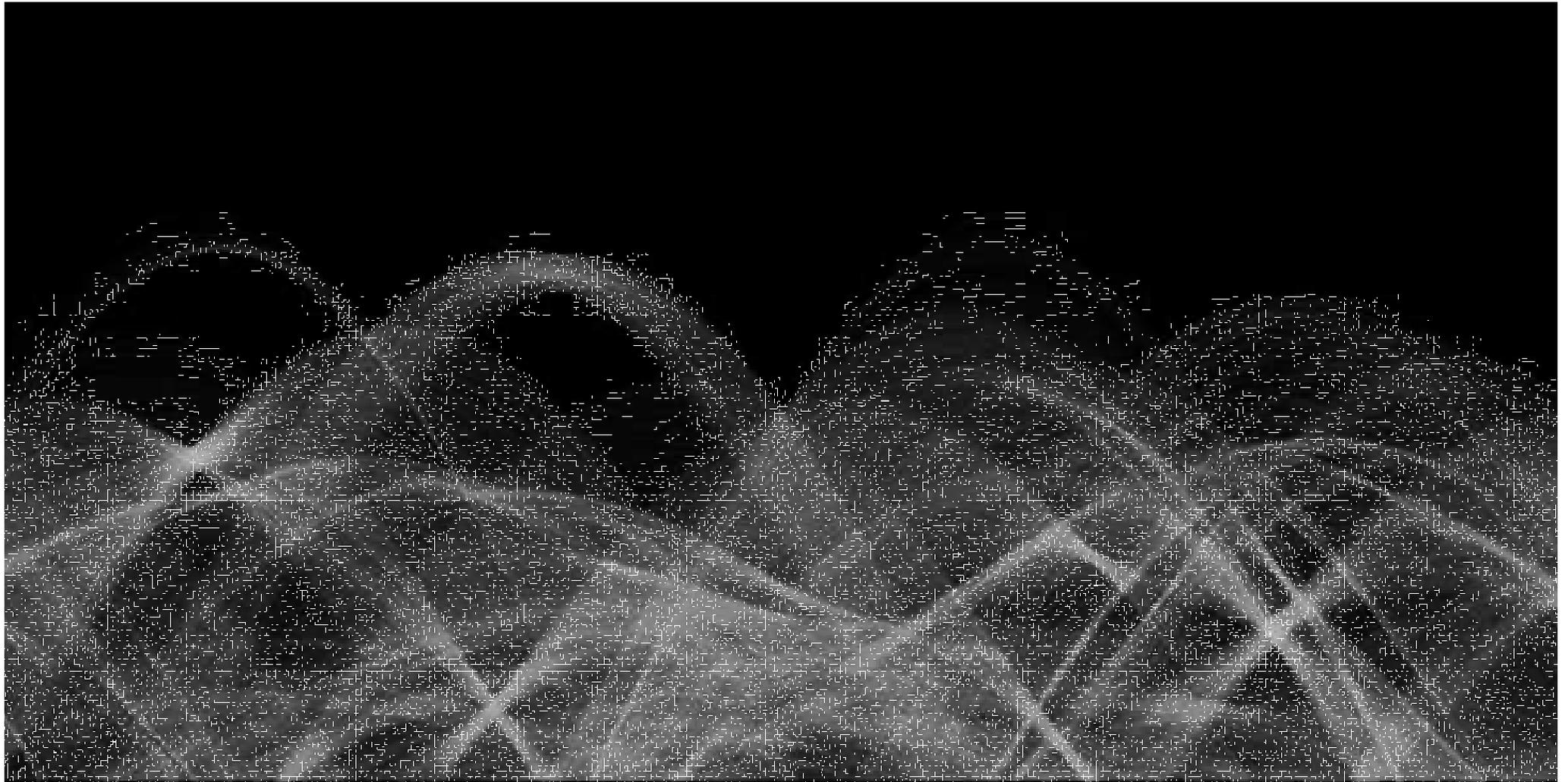
Sélection: tournoi

Raffinement: fitness rapide à base de sondage

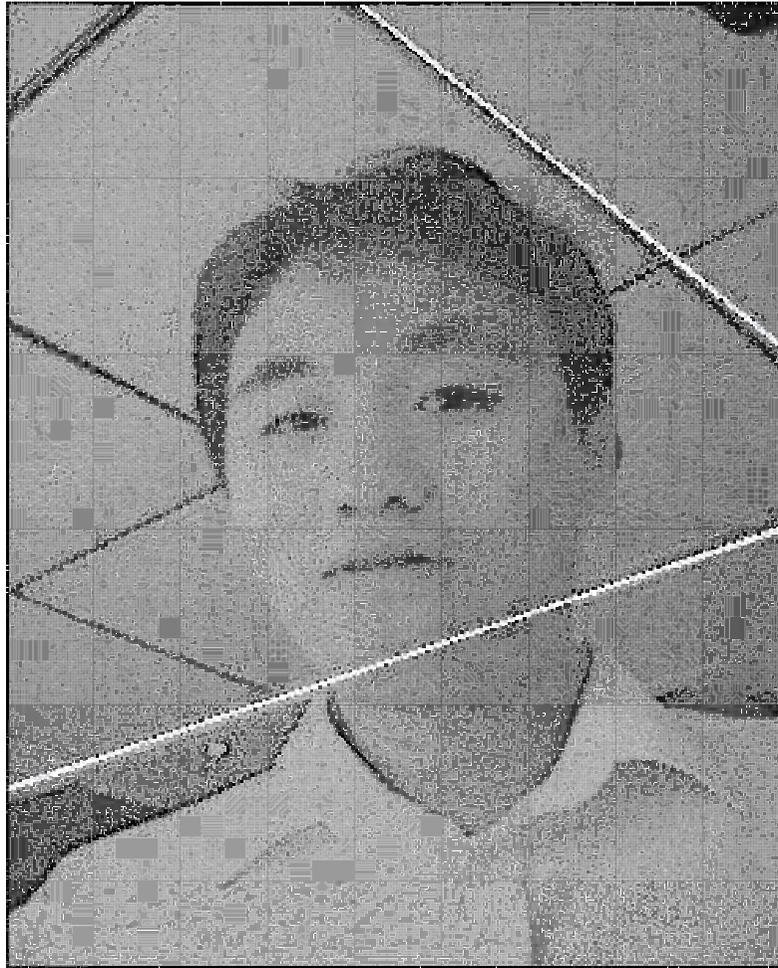
//fonction de fitness indéterministe: un avantage...



Détection d'alignements façon classique: M. Cheng...



et l'accumulateur de Hough (θ, ρ) de M. Cheng.



Hough évolutionnaire: les deux individus dominants.

Houghvolution généralisée

La transformation originale de Hough est limitée à 2 (peut-être 3) paramètres.

La version évolutionnaire est virtuellement *illimitée* en termes de dimension de l'espace de recherche. Algorithme:

Image $I(x, y)$

Forme contrôlée par n paramètres (x_1, x_2, \dots, x_n) et définie par la fonction P :

$$P((x, y)(x_1, x_2, \dots, x_n)) \in \{0, 1\}$$

Créer une population d'individus, chaque chromosome est de la forme (x_1, x_2, \dots, x_n)

Initialiser aléatoirement la population, avec chaque $x_i \in [min_i, max_i]$ (intervalles de validité)

Lancer une stratégie d'évolution (ES) standard, avec la fitness suivante:

$$Fitness(x_1, x_2, \dots, x_n) = \text{nombre de pixels } (x, y) \text{ tels que}$$

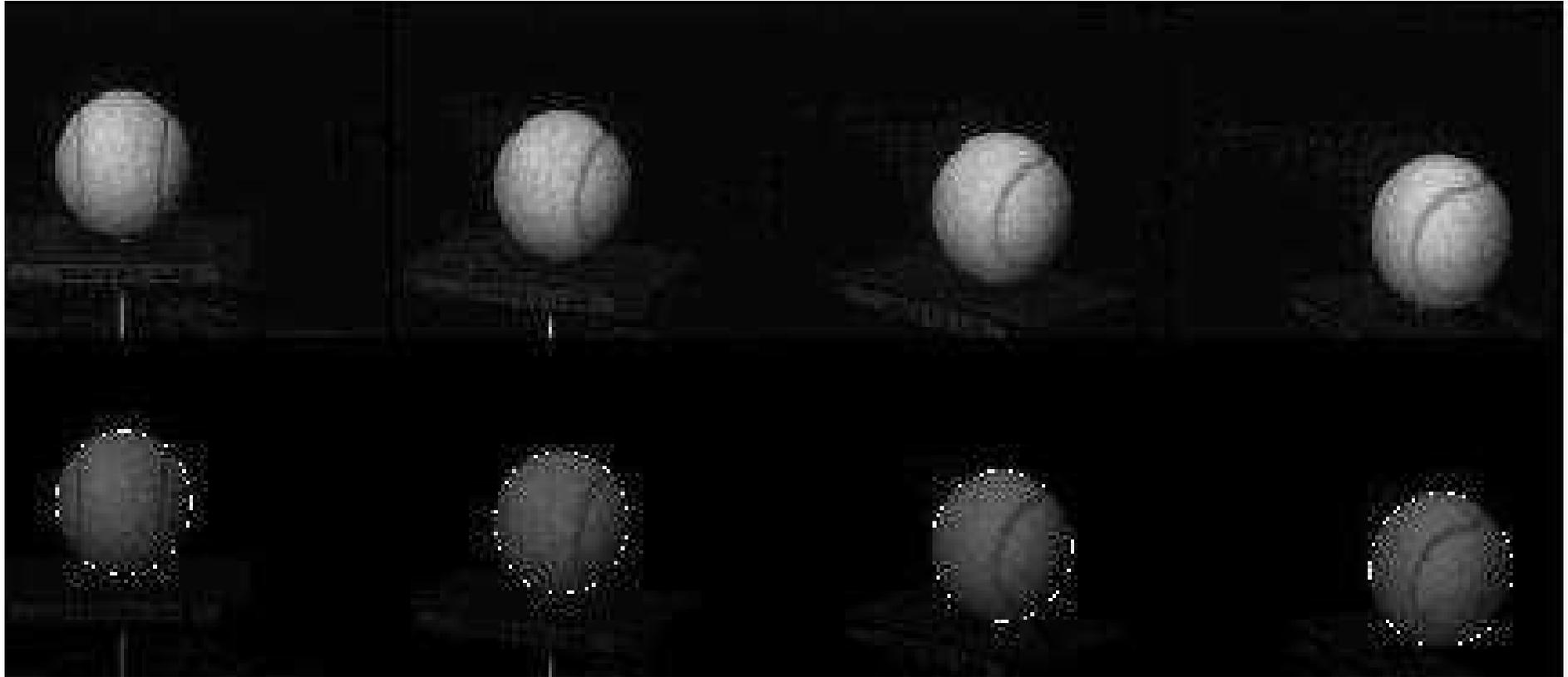
$$P((x, y)(x_1, x_2, \dots, x_n)) = 1$$

Mutation: Gaussienne

Croisement: barycentrique

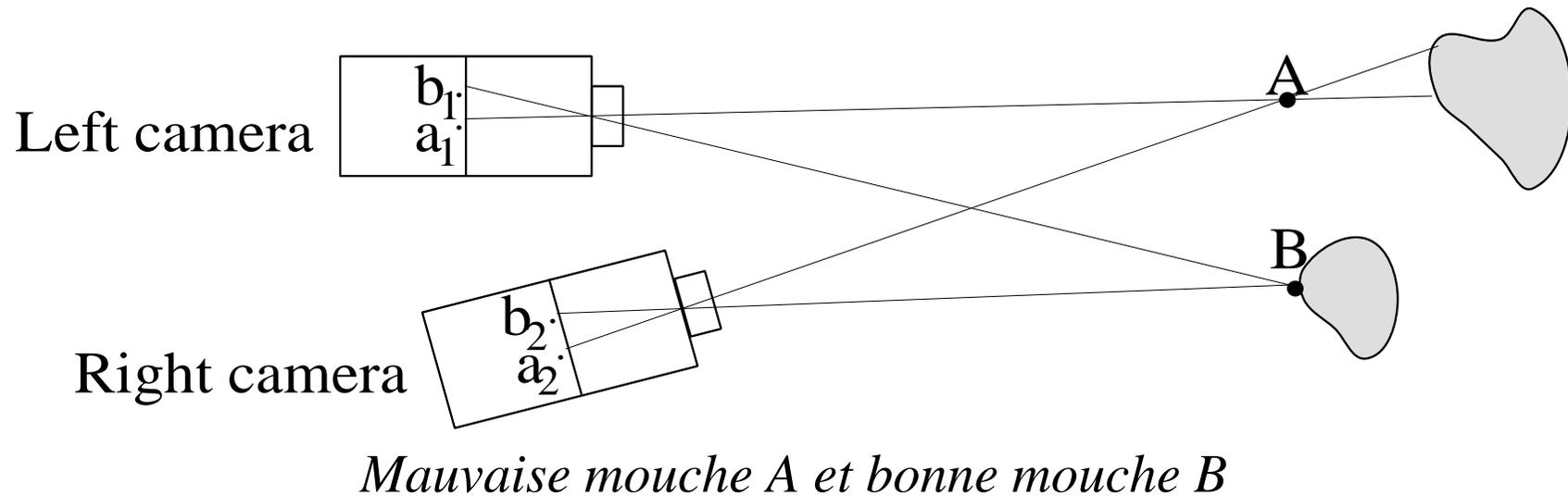
Pas de sharing

Selection: tournoi



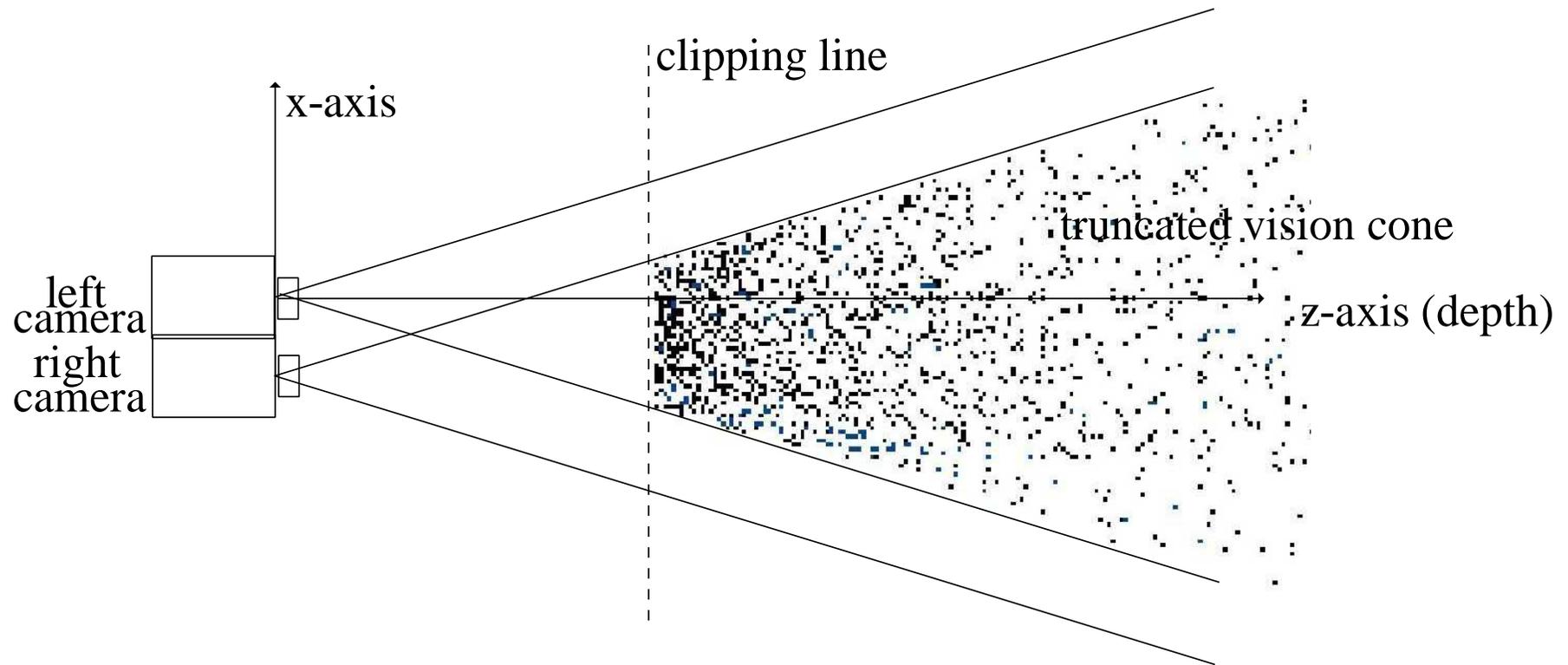
Poursuite en temps réel d'une balle en 3-D (le diamètre apparent est inconnu), par transformation de Louchough.

3 Evolution parisienne, ou comment diviser le travail. Exemple de l'algorithme des mouches.

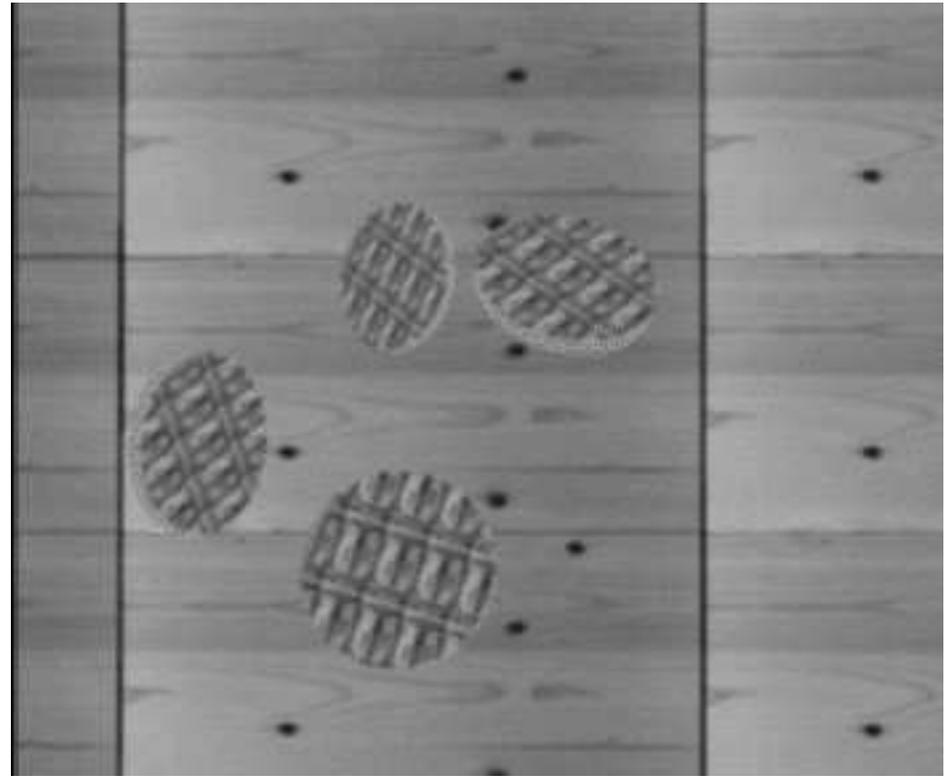
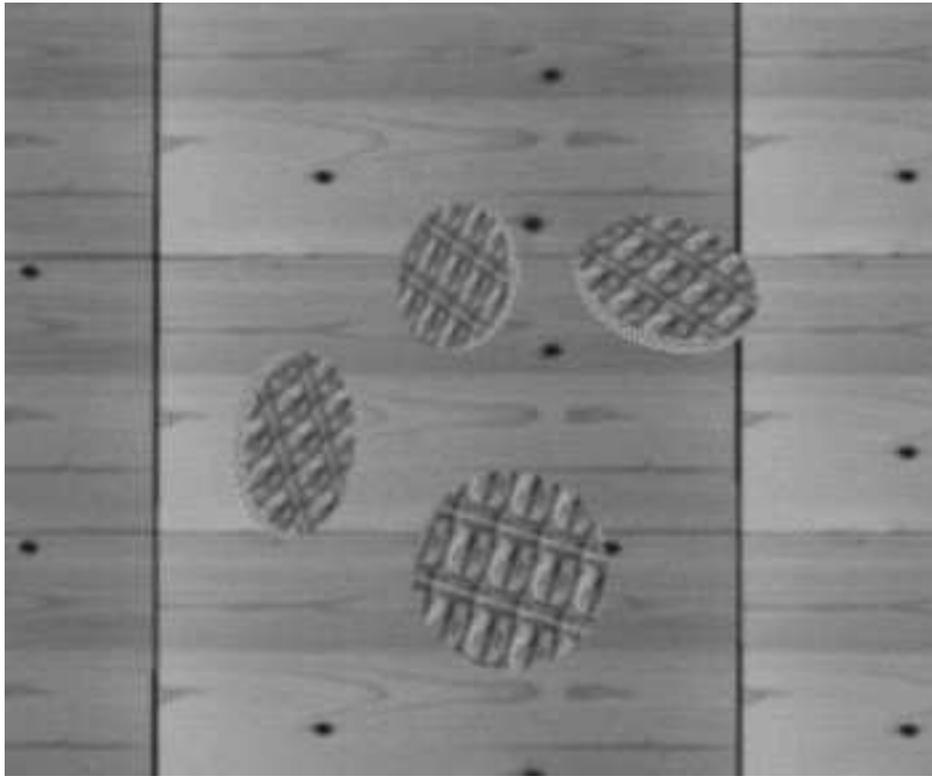


La fonction de fitness évalue le degré de cohérence de la mouche (- l'hypothèse) avec les données d'images issues des capteurs (ici, l'identité de leurs projections sur les deux caméras).

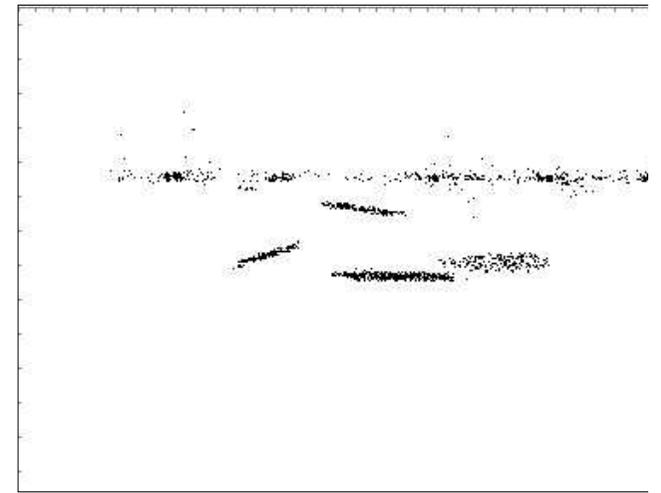
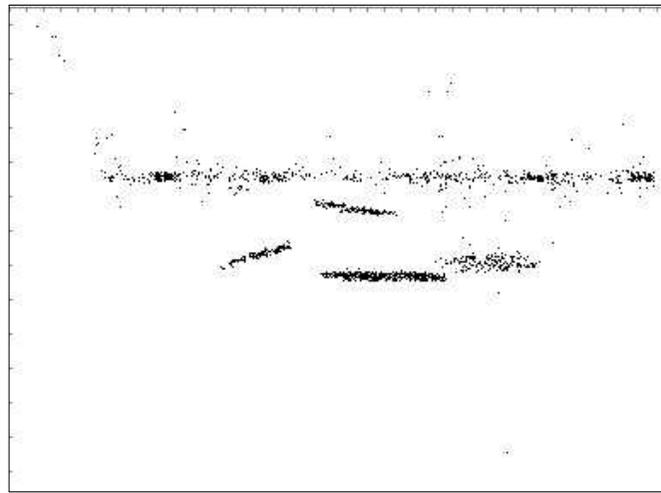
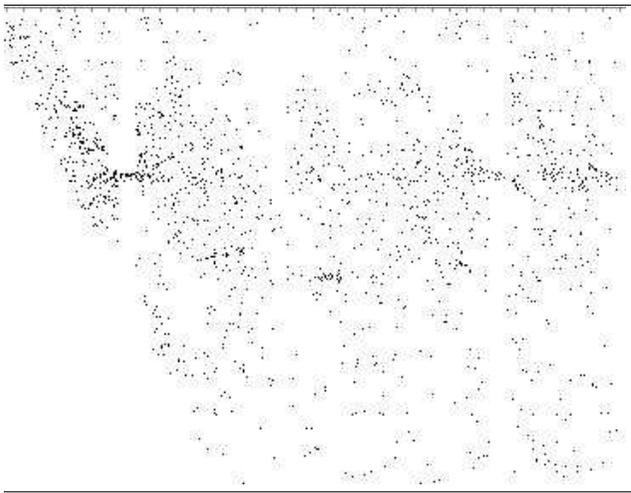
$$G = \sqrt{\sum_{(i,j) \in N} (L(x_L + i, y_L + j) - L(x_L, y_L))^2}$$



La population initiale.



Une paire stereo (synthétique) qui va servir de test



*Convergence après 10 , 50 et 100 générations
(vue de dessus).*

Une application en robotique mobile



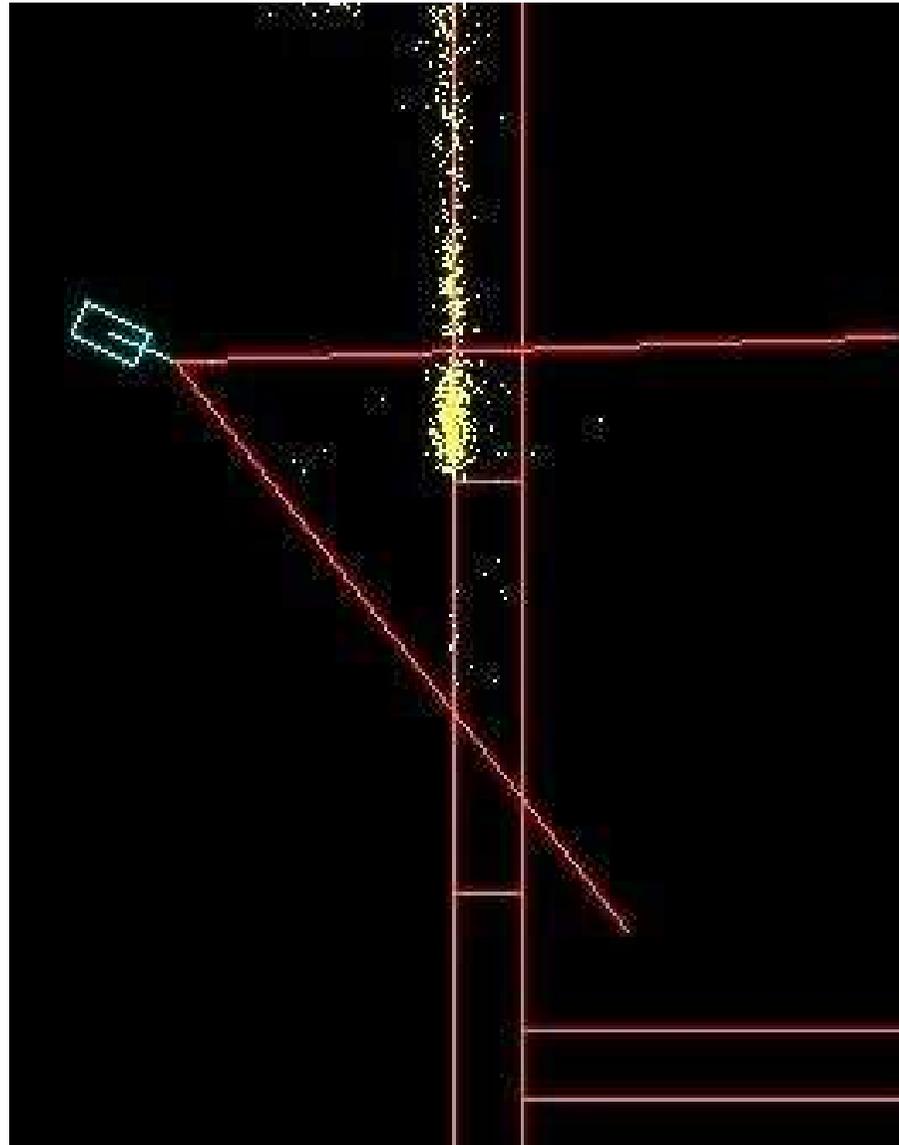
Mouches calculées en temps réel dans un véhicule sur voie rapide



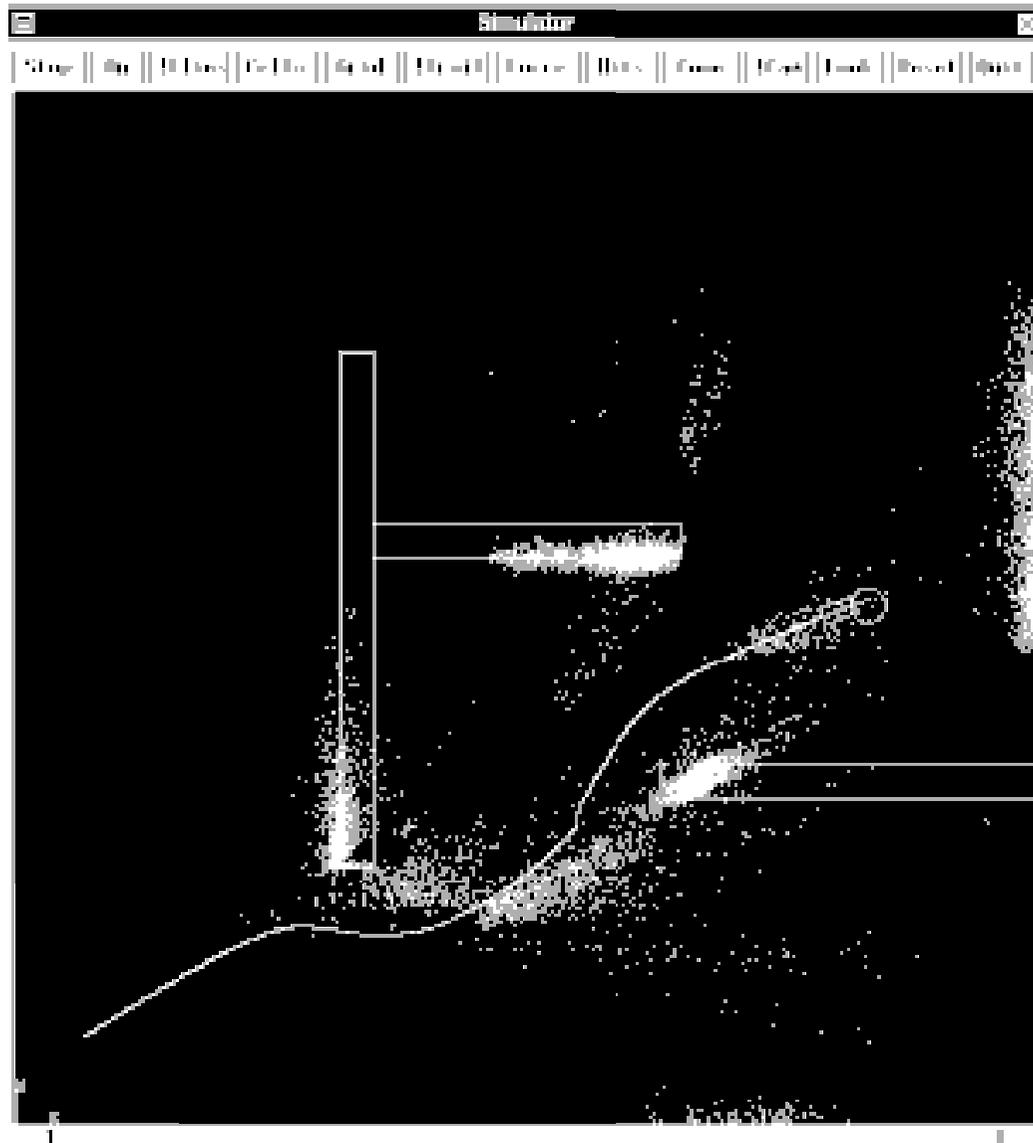
Détection d'un piéton.



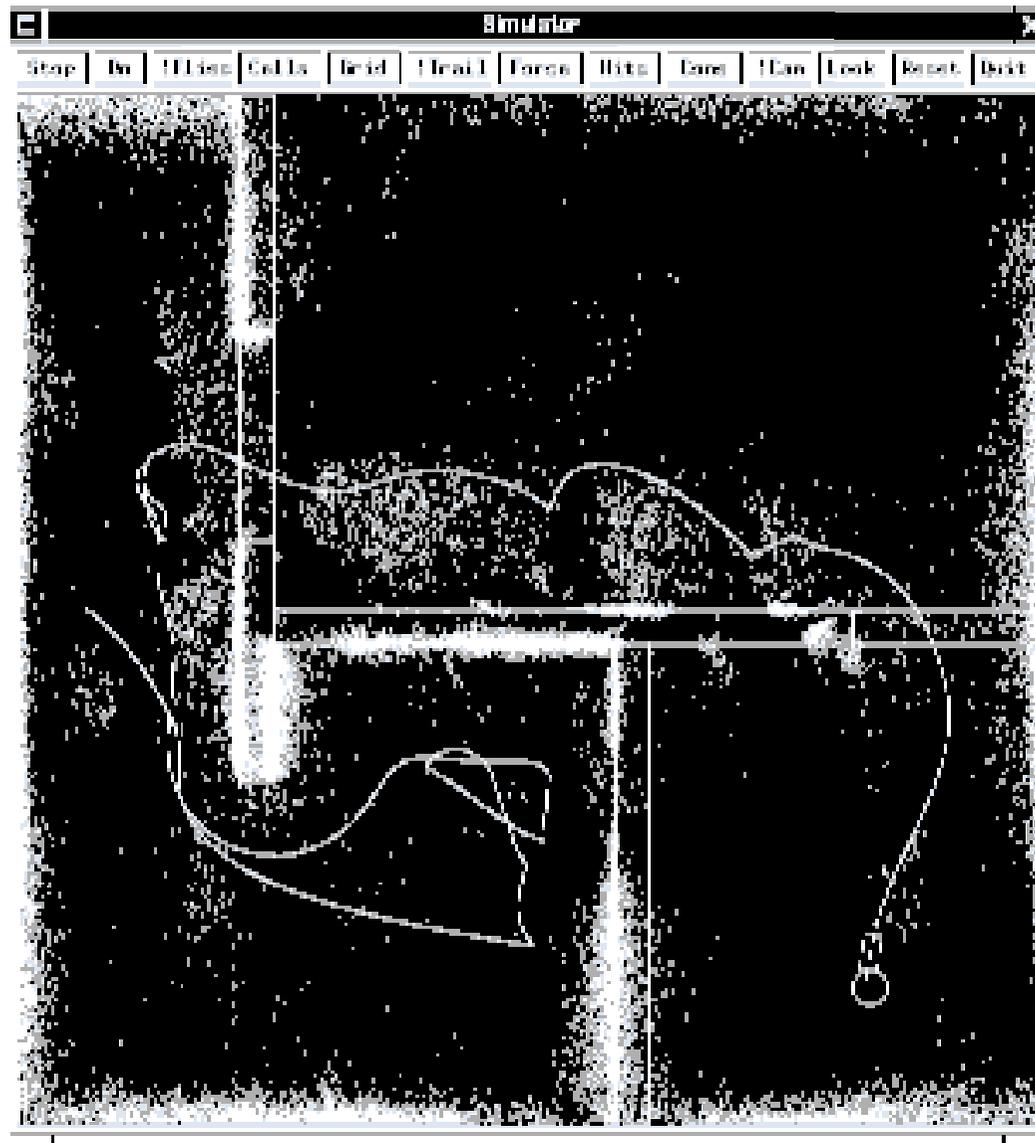
Valeurs d'alerte (piéton)



Un robot mobile face à un mur et à une porte (dans un univers simulé). Les points brillants représentent les mouches mémorisées depuis les images précédentes.

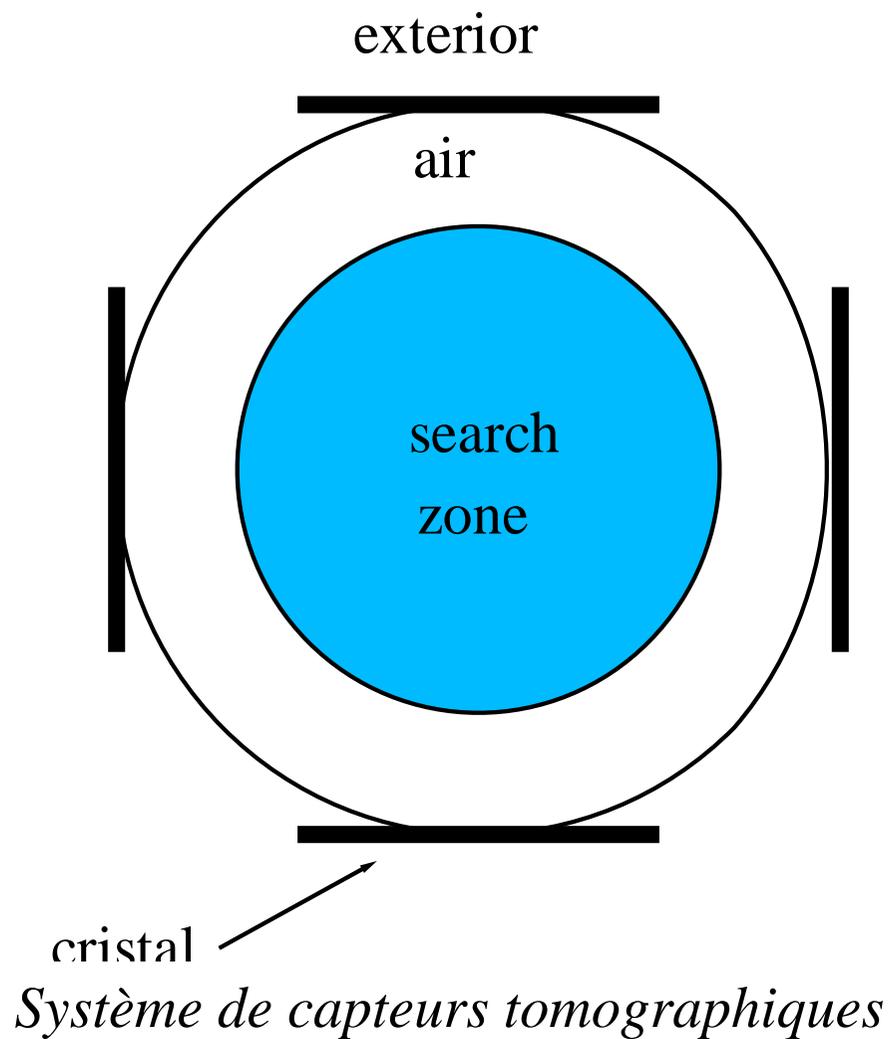


Une trajectoire directe, sans situation de blocage (la cible est le cercle à droite).



Résolution d'un blocage difficile par création de cibles secondaires.

Une application en imagerie médicale



Fitness par bonus

chaque mouche est un émetteur de photons

chaque photon qui atteint un pixel brillant de l'image réelle augmente le bonus de la mouche qui l'a créé.

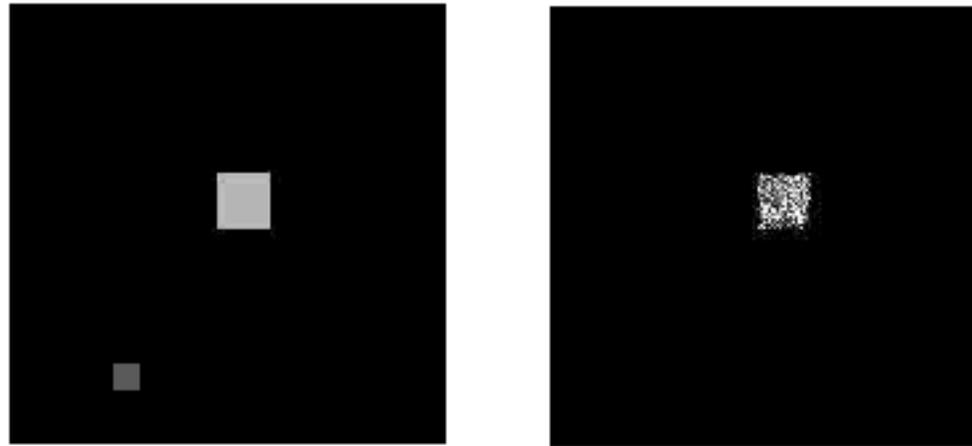


Figure 6: Bonus fitness: loss of smaller objects (left: ideal image; right: actual reconstruction), side view.

Fitness marginale

Plutôt que d'évaluer chaque mouche indépendamment de son contexte (comme ci-dessus), on définit la fitness d'une mouche comme sa contribution (positive ou négative) à la fitness de la population totale:

$$fitness(i) = Fitness(population - \{i\}) - Fitness(population)$$

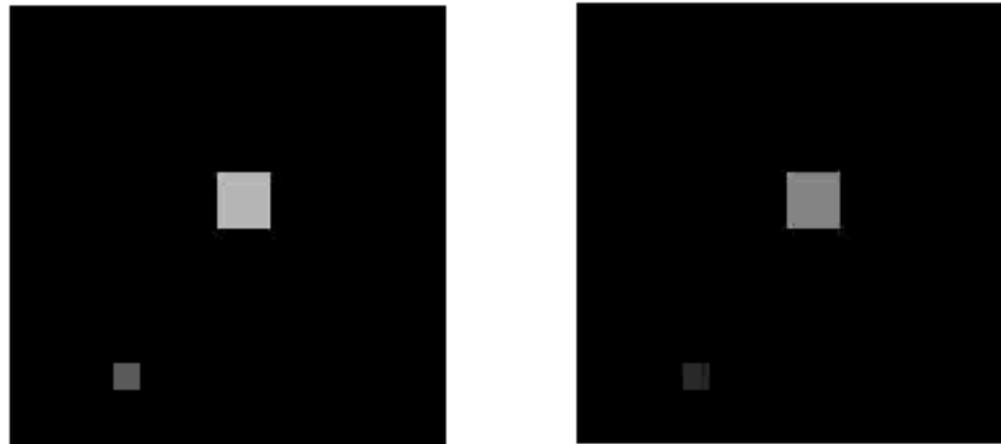


Figure 7: Marginal fitness: better detection of smaller objects (left: ideal image; right: actual reconstruction), side view.

Comparaison de la fitness par bonus et de la fitness marginale

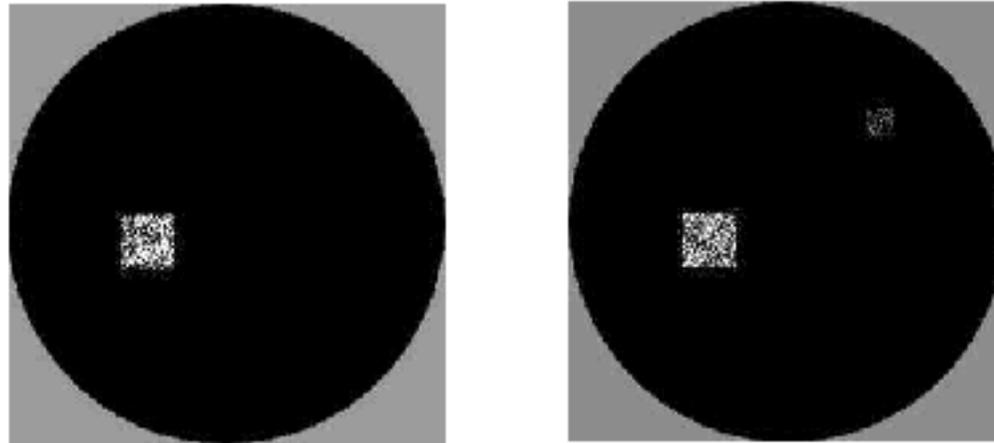
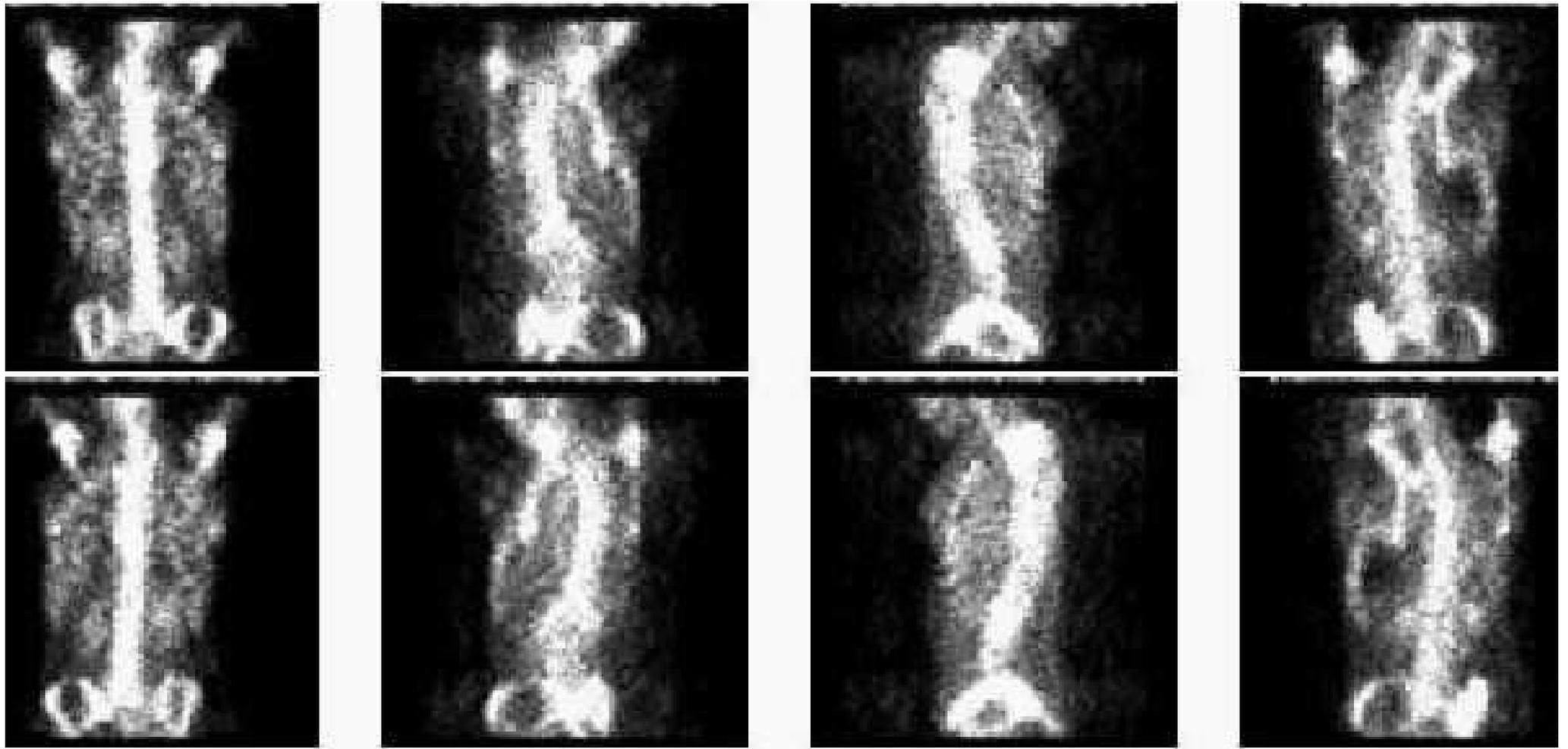
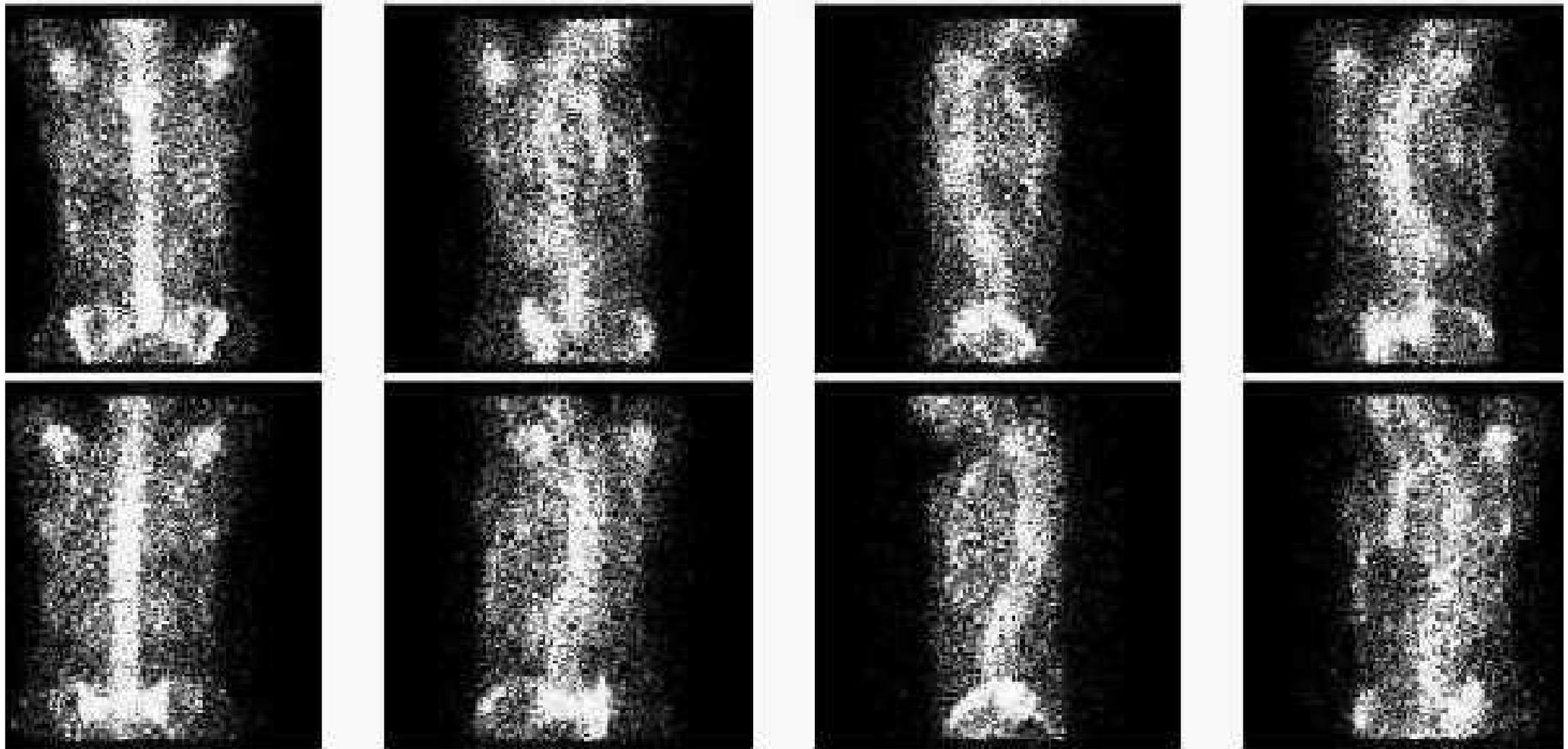


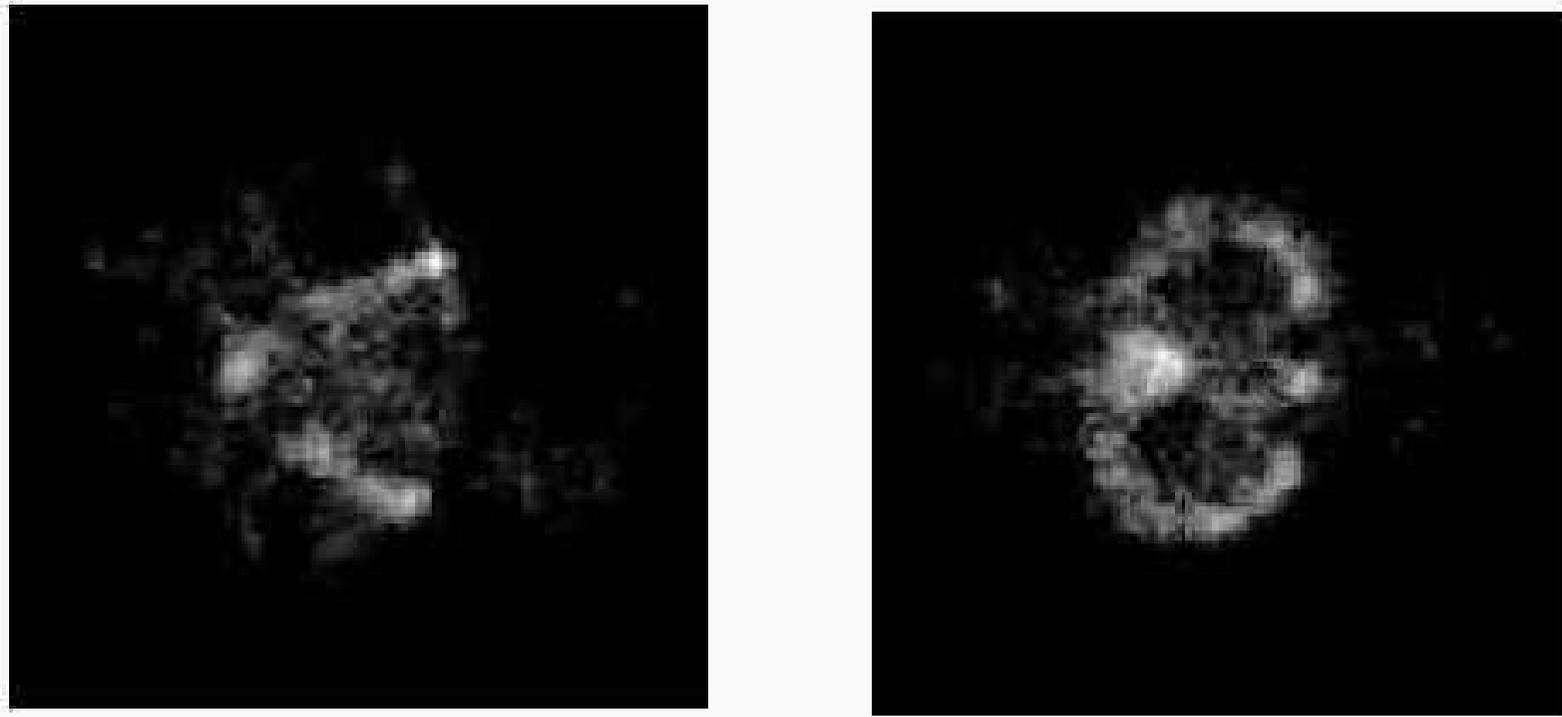
Figure 8: Top view of results with bonus (left) and marginal (right) fitness functions.



8 images originales (projections sur 8 écrans détecteurs de photons)



3-D reconstruction 3-D par les mouches: le squelette est ici reconstruit à partir de seulement 2 vues, et voici les 8 projections de cette reconstruction 3-D. Ici on n'a pas tenu compte de l'effet Compton.



Coupes du pelvis, obtenues à partir de la même reconstruction 3-D faite à partir de 2 vues latérales (vue de dessus).

4 Conclusion

- Optimiser de l'intérieur les paramètres d'un modèle pour ajuster aux résultats expérimentaux.
- les stratégies d'évolution (ES) permettent d'explorer des espaces de dimension élevée.
- décomposer les problèmes autant qu'il est nécessaire.
- pas de "boite noire" (l'évolution artificielle n'est pas de la magie). Fuir les algorithmes canoniques.
- 200 pages de doc contre une demi-page de code?
- $(A \Rightarrow B) \Rightarrow (\sim A \Rightarrow \sim B)$. Se méfier des "théorèmes".
- la qualité du codage conditionne la réussite. Le pb. de l'épistasie.
- attention à l'Administratum: trop de raffinement tue l'efficacité. Raisonner en temps de calcul ou en générations?
- critère d'arrêt?

5 Acknowledgements

Amine Boumaza

Aurélie Bousquet

Lionel Castillon

Pierre Collet

Anders Eckman

Evelyne Lutton

Sébastien Masclet

Olivier Pauplin

Xavier Provot

Jean-Marie Rocchisani

Maria Rodriguez Lopez

Bogdan Stanciulescu