



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

Université Larbi Tébessi - Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la
Nature et de la Vie

Département : Mathématiques et Informatique



كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة و الحياة
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES
ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de *MASTER*
Domaine : Mathématiques et Informatique
Filière : Informatique
Option : Systèmes multimédia

**Correction géométrique des images satellitaires
multi-temporaires par l'utilisation des systèmes
immunitaires artificiels chaotique**

Thème

Présenté Par :
Chamekh Abderraouf

Devant le jury :

Mr A. Zeggari	MCB	Université Larbi Tébessa	Président
Mr T. Nouioua	MAA	Université Larbi Tébessa	Examineur
Mr A. Bennour	MCB	Université Larbi Tébessa	Encadreur

Date de soutenance

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser ici tous mes remerciements à mon encadreur Bennour Akram pour l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

*Je remercie profondément les professeurs A.Zeggari ,
T.Nouioua d'avoir accepté de juger ce travail.*

J'exprime mes gratitudee à tous les enseignants qui n'ont pas ménagé leurs efforts pour nous assurer une bonne formation.

Dédicaces

Merci au Noble « Allah » Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, l'intelligence, la force et la patience pour réaliser ce travail.

À celle qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes...

Merci ma Mère

À celui qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation...

Merci mon Père.

J'aimerais dédier ce travail tout spécialement à l'esprit de mon grand-père et ma grand-mère car s'est-ils qui nous a orienté au savoir vivre et à la loyauté.

J'exprime ma gratitude à tous mes frères « Lioua-eddine », « Montacer » et à tous mes sœurs.

J'adresse également mes plus sincères remerciements à tous mes proche et amis qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Ainsi que tous les autres.

Abstract

Ecological changes and the population explosion are the two main causes in the complexity of a landscape is increasing over time, compared to the functions of the effects of human waste. The automatic detection of changes is based on the use of multi-temporal images and requires the implementation of a comparison process of these images. The comparison between several observations must be possible at the geographical level, and at the image quality level. It is therefore necessary that the observed images correspond as accurately as possible to the same scene; this pretreatment which is essential and is called "image registration" has a great influence on the accuracy of the detection of changes. The registration techniques are quite complex, varied and strongly related to the types of sensors used. The work is focused on this phase of registration of satellite images. It was devoted to the development of an automatic approach of registration based on the intensity values of the images. We proposed an algorithm for the automatic resetting of high-resolution multi-temporal satellite images, and an optimization algorithm based on "Chaotic" artificial immune systems. We have presented a comparative study between this technique and a robust geometrical registration method, based respectively on the detectors of points of interest (HARRIS). Finally, to establish the registration, the "rigid" transformation seemed to us the most judicious choice. We intend to achieve a good quality alignment for two or more multi dates satellite images. The process is thoroughly tested using high resolution synthetic test data, as well as multi-temporal remote sensing images.

Keywords : satellites images, changes detection, interesting points, matching, multi temporal images, image registration, Artificial immune system, chaotic system.

Resumé

Les changements écologiques et l'explosion démographique sont les deux causes essentielles dans la complexité d'un paysage s'accroît à travers le temps, par rapport les fonctions des effets des déchets humains. La détection automatique des changements est basée sur l'utilisation d'images multi temporelles et nécessite la mise en œuvre d'un processus de comparaison de ces images. La comparaison entre plusieurs observations doit être possible au niveau géographique, et au niveau qualité d'images. Il faut donc que les images observées correspondent de la façon la plus précise possible à la même scène ; ce prétraitement qui est essentiel et est appelé « recalage d'image » a une grande influence sur la précision de la détection des changements. Les techniques de recalage sont assez complexes, variées et fortement liées aux types de capteur utilisés. Le travail est focalisé sur cette phase de recalage des images satellitaires. Il a été consacré au développement d'une approche automatique de recalage en se basant sur les valeurs d'intensité des images. Nous avons proposé un algorithme de recalage automatique des images satellitaires multi temporelle de haute résolution, et un algorithme d'optimisation basée sur les systèmes immunitaires artificiel « Chaotique ». Nous avons ainsi présenté une étude comparative entre cette technique et une Méthode géométrique de recalage robustes, basée respectivement sur les détecteurs des points d'intérêts (HARRIS). Enfin pour établir le recalage, la transformation « rigide » nous a paru le choix le plus judicieux. Des nous avons l'intention de parvenir à un alignement de bonne qualité pour deux ou plusieurs images satellitaires multi dates. Le processus est minutieusement testé à l'aide des données de test synthétiques de haute résolution, ainsi que des images de télédétection multi temporelle.

Mots clés : imagerie satellitaire, détection du changement, points caractéristiques, mise en correspondance, images multi temporelles, recalage, systèmes immunitaires artificielle, système chaotique.

ملخص :

حسب ظروف النمو الديمغرافي الكثيف فإن طبيعة سطح الأرض أصبحت معقدة مع مرور الوقت , وعليه فإن تتبع التغييرات الإيكولوجية وتحليلها أصبح من الأهمية, وذلك من أجل التمكن من قياس تأثيرات الإنسان على محيطه. إن التتبع الآلي للتغيرات المناخية والإيكولوجية يركز على استعمال صور الأقمار الصناعية عالية الدقة الملتقطة عبر عدة أوقات , كما يلزمنا بالقيام بعمليات مقارنة بين هذه الصور. إن هذه المقارنة لا تكون ممكنة إلا إذا كانت الصور تعبر فعليا وبدقة متناهية عن نفس المكان. هذه العملية تسمى المطابقة (*recalage des images*) وهي مهمة وأساسية لكي نتمكن من إنشاء وتطوير برامج تتبع آلية للتغيرات الواردة على سطح الأرض, كما أن إن طرق المطابقة عديدة ومعقدة ومرتبطة بنوع الصور المعالجة.

في هذه المذكرة قمنا باقتراح وتطوير طريقة جديدة فعالة وآلية لعملية المطابقة, وذلك اعتمادا على طريقة النظام المناعي الآلي (*les systemes imunitaires artificiel « chaotique»*) كطريقة تحسين لعملية البحث عن المطابقة المثالية. كما قمنا بعدة مقارنات بين الطريقة المقترحة و طريقة أخرى للمطابقة تركز على تتبع النقاط الفعالة في الصورة على طريقة (*HARRIS*) .

لقد قمنا بتجربة هذه الطرق على عدة صور أقمار صناعية عالية الدقة حيث تحصلنا على نتائج جد مشجعة.

الكلمات المفاتيح: صور الأقمار الصناعية, تتبع التغييرات, النقاط الفعالة, المقارنة, صور متعددة الأوقات, مطابقة الصور, النظام

المناعي الآلي, النظام الفوضوي.

Table des matières

Tables des matières :

Table des figures	10
Table des tableaux	10
Introduction générale :	1
Chapitre I : Analyse et traitement des images satellitaires	3
I.1. Introduction :	4
I.2. Les images satellitaires :	4
I.3. Les caractéristiques des images satellitaires :	5
I.3.1. Résolution spectrale :	5
I.3.2. La résolution spatiale ou géométrique :	6
I.3.3. La résolution radiométrique :	6
I.3.4. La résolution numérique :	6
I.4. Les prétraitements :	7
I.4.1. Les corrections radiométriques :	7
I.4.2. Les corrections géométriques :	7
I.4.3. Les corrections atmosphériques :	7
I.5. Le système SPOT :	8
I.5.1. Description de l'orbite des satellites spot :	10
I.5.2. Prétraitement des images spot :	11
I.6. Conclusion :	12
Chapitre II : Le recalage des images	13
II.1. Introduction	14
II.2. Critère de recalage :	14
II.2.1. Espace de recherche :	15
II.2.2. La mesure de similarité utilisée :	15
II.2.3. La stratégie de recherche :	15
II.2.4. L'espace de caractérisation :	15
II.3. Méthodes de recalage d'images :	15
II.3.1. Méthodes géométriques :	15
II.3.2. Méthodes iconiques :	16
II.4. Mesure de similarité :	16
II.4.1. Distances entre primitives géométriques :	16
II.4.2. Distances entre primitives danse :	17
II.5. Modèles de transformation :	21
II.5.1. Transformation rigide :	21

II.5.2. Transformation affine :	21
II.5.3. Transformation projective :	22
II.5.4. Transformation élastique (non linéaire) :	22
II.6. Etat de l'art :	23
II.7. Conclusion :	26
Chapitre III : Les systèmes immunitaires	28
III. Le système immunitaire naturel et Le système immunitaire artificiel :	29
III.1. Introduction :	29
III.2. Le système immunitaire biologique :	29
III.3. Concept de base du système immunitaire :	29
III.3.1. Organes immunitaires :	29
III.3.2. Cellules immunitaires :	30
III.4. L'architecture du système immunitaire :	31
III.4.1. Le système immunitaire inné :	32
III.4.2. Le système immunitaire adaptatif :	32
III.5. Déroulement de mécanisme de défense immunitaire	32
III.6. Caractéristiques du système immunitaire	34
III.7. Théories immunitaires :	35
III.7.1. La sélection négative/positive :	35
III.7.2. Sélection clonale :	36
III.7.3. La théorie du réseau immunitaire :	37
III.8. Le système immunitaire artificiel :	37
III.8.1 Définitions	37
III.8.2 Modélisation d'un AIS :	37
III.8.2.1.La représentation :	38
III.8.3. Les algorithmes du système immunitaire artificiel.....	39
III.8.3.1. L'algorithme de la sélection négative.....	39
III.8.3.2. L'algorithme de la sélection positive :	40
III.8.3.3. L'algorithme de la sélection clonale :	41
III.8.4. Etat de l'art :	43
III.8.4.1. Les algorithmes basés sur la sélection clonale :	43
III.8.4.2. Les algorithmes basés sur la sélection négative :	45
III.8.4.3. Réseaux immunitaire artificiel :	46
III.9. Conclusion :	47
Chapitre IV : Les systèmes chaotiques.....	48
IV.1. Introduction :	49

IV.2. La théorie du chaos est-elle née dans les années 1970 ? :	49
IV.3. Les Conditions d'obtention du chaos [73] :	50
IV.4. Les La sensibilité aux conditions initiales :	50
IV.5. Les La sensibilité aux conditions initiales :	52
IV.6. L'évolution vers le chaos :	52
IV.7. Les attracteurs :	53
IV.8. Intégration de Chaotique dans CSA :	55
IV.09. Quelques exemples de récurrences chaotiques :	56
IV.9.1. La récurrence logistique :	56
IV.9.2. La récurrence sine :	58
IV.9.3. La récurrence standard : [78]	58
IV.11. Conclusion :	60
Chapitre V : Application	61
V.1. Introduction :	62
V.2. La formulation des problèmes :	62
V.3. Mesure de similarité :	62
V.3.1. L'entropie conjointe et le recalage des images :	62
V.3.2. L'information mutuelle et le recalage des images :	63
V.4. La stratégie de recherche :	63
V.5. Approche proposée :	64
V.5.1. Représentation des éléments d'AIS :	64
V.5.2. L'algorithme proposé :	65
V.6. Application :	66
V.6.1. Interface graphique de l'application :	66
V.6.2. Résultats expérimentaux :	69
V.7. Conclusion :	71
Conclusion générale :	73
Références bibliographiques	75

Table des figures

Figure 1:le principe de recalage 2D/2D.....	14
Figure 2 : Exemple de transformation 2D	22
Figure 3 : Présentation des cellules B et T.....	30
Figure 4 : Architecture du système immunitaire. T.....	31
Figure 5 : Déroulement de mécanisme de défense immunitaire.....	34
Figure 6 : processus de sélection négative / positive.....	35
Figure 7 : processus de sélection clonale	36
Figure 8 : la structure de conception d'un AIS.	38
Figure 9 : Principe de complémentarité entre antigène et anticorps.....	39
Figure 10 : L'algorithme de sélection négative	40
Figure 11 : L'algorithme de sélection clonale (CLONALG).....	42
Figure 12 : Attracteurs étranges.....	54
Figure 13 : CCSA et CSA.	Error! Bookmark not defined.
Figure 14 : Diagramme de bifurcation de la récurrence logistique dont l'axe horizontal porte les valeurs du paramètre μ (noté r), tandis que l'axe vertical montre les valeurs limites possibles..	58
Figure 15 :L'espace de phase de la carte standard pour $K = 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 6.0$ and 18.9	60
Figure 16 : Capture d'écran de l'interface graphique	67
Figure 17 : Ouvertures des images (références et cible).....	68
Figure 18 : capture d'écran après le lancement de notre application	69

Table des tableaux

Tableau 1 : Les capteurs des Spot 1, 2, 3	8
Tableau 2 : Les capteurs des Spot-4	9
Tableau 3 : Les déformations appliquées sur l'image de Copenhague.....	70
Tableau 4 : Comparaison entre les résultats calculées par notre approche et une approche basée sur Harris	71

Introduction

générale

Introduction générale :

L'observation satellitaire possède depuis quelques années, un rôle très influent contemporain avec l'évolution des techniques de traitement numérique d'image et le développement progressif de l'informatique appliquée à l'observation de la terre. Ces images fournies par satellites sont considérées comme étant la source la plus riche des informations croissantes et précises sur l'occupation du sol et sur les phénomènes qui se déroulent à la surface de la planète. Elles sont exploitées pour détecter les changements dus à l'éruption volcanique, l'inondation, etc.

La détection de changement entre deux images se faisait manuellement dans un premier temps, mais l'augmentation des bases d'images cause le problème d'augmentation du temps et de coût, ce qui a motivé les chercheurs d'introduire des nouveaux algorithmes pour traiter ces images d'une manière automatique (font toute la tâche) ou semi-automatique (une partie de la tâche). Les efforts réalisés dans ce contexte ont introduit le concept de « recalage d'images ».

Le recalage d'images consiste à estimer la transformation géométrique optimale qui relie une image I1 à celle-ci de l'image I2 de telle sorte que ces images soient relativement proches.

Malgré que les techniques de recalage soient variées et assez complexes, plusieurs travaux sont focalisés sur ce contexte.

L'objectif de ce travail est de proposer une approche pour automatiser le recalage d'images en utilisant un système inspiré du système immunitaire biologique qui est le système immunitaire artificiel combiné avec les attracteurs chaotique.

D'après l'objectif de ce travail, le manuscrit se classe en quatre chapitres :

Chapitre I : le premier chapitre c'est une introduction à l'imagerie satellitaire et plus spécifiquement, il porte sur une présentation des images d'un des systèmes satellitaires d'observation de la terre qui est le système Spot.

Chapitre II : concentre à une présentation des concepts de base de recalage d'images et les différentes étapes suivies dans ce contexte ainsi qu'un état de l'art.

Introduction générale

Chapitre III : présente les notions de base, l'architecture, le mécanisme de fonctionnement, et les caractéristiques du système immunitaire biologique ainsi que ses différentes théories. Il est consacré aussi à une présentation du système immunitaire artificiel et les différents algorithmes immunitaires disponibles ainsi qu'un état de l'art illustre les différents travaux dans ce cadre.

Chapitre IV : On a parlé dans ce chapitre sur les systèmes chaotiques et la différence entre le chaos et l'aléatoire ainsi que les attracteurs et l'intégration du chaotiques dans CSA.

Chapitre V : ce chapitre est consacré à une présentation de notre travail, les détails de l'implémentation ainsi que les résultats obtenus sont donnés.

Une conclusion générale et quelques perspectives relatives à ce travail viennent clore ce manuscrit.

Chapitre I : Analyse et traitement des images satellitaires

I.1. Introduction :

L'imagerie de la terre est ancienne mais L'observation de la Terre depuis l'espace est un objectif que l'Homme a visé depuis quelques dizaines d'années et les images satellitaires sont considérées de plus en plus comme étant la source d'informations précises, riche et détaillée sur l'occupation du sol et sur les phénomènes qui se déroulent à la surface de notre planète.

On va commencer dans ce chapitre introductif, par l'imagerie satellitaire ainsi que les avantages et les caractéristiques qui lui donnent un lieu très important par rapport aux différentes techniques d'acquisition des images telles que la photographie aérienne, les relevés de terrain ou les cartes géographiques.

Après, on va expliquer les traitements qui sont appliqués aux images satellitaires pour les corriger ou les améliorer.

Enfin, un des leaders systèmes d'observation de la terre (constitué de cinq satellites) est présenté avec ses différentes générations, description de l'orbite de ses satellites, et les différents niveaux de prétraitements appliqués sur les images acquis par ce système.

I.2. Les images satellitaires :

Actuellement notre monde est envahi en plein par un nombre très vaste des satellites chacun a sa fonction principale qui : relier les chaînes des télévisions et les lignes téléphoniques, prendre des images afin de l'utiliser dans plusieurs domaines, donner les positions exactes et spécifiques aux bateaux, voitures et avions, ...etc.

Les satellites reliés à l'observation de la terre ont plusieurs types mais il y a des leaders qui fournissent la plupart des images utilisées aujourd'hui tels que IKONOS, JERS, LANDSAT, SPOT, etc. L'imagerie satellitaire, comparée à d'autres moyens tels que la photographie aérienne, les relevés de terrain ou les cartes géographiques, présente des avantages certains :

- ✓ Elle est universelle : elle ne connaît pas de limites géographique ou politique.
- ✓ Elle est obtenue de manière numérique et ne nécessite donc pas de conversion de données

- ✓ Flexible, précise et actuelle (renouvellement de l'information, automatique ou à la demande).

Selon l'application que l'on voudrait obtenir, on dispose de plusieurs types d'images :

1) **Les images panchromatiques :**

Ce sont des images obtenues par des capteurs numériques qui mesurent la réflectance dans une large bande électromagnétique. Les images sont représentées en couleur bilatéral blanc et noir. L'imagerie panchromatique sert particulièrement à obtenir des informations de type « géométrique » tel que (la forme, la dimension et la surface).

2) **Les images Multi bande :**

Ce sont des images multi couleurs créées par une combinaison d'un nombreuses bandes spectrales. Elles sont obtenues par un capteur numérique qui mesure la réflectance. Lesquelles sert principalement à obtenir des informations à caractère " qualitatif " (ex. classification des types de végétation sur des parcelles).

3) **Radar :**

Le radar permet l'élaboration d'images de jour comme de nuit quelles que soient les conditions de nébulosité. Le radar est sensible aux propriétés diélectriques des milieux telles que la teneur en eau, et à leur rugosité. Il est également sensible aux structures géométriques à l'échelle de la longueur d'onde. Une image satellitaire est caractérisée par sa résolution spectrale, sa résolution spatiale, sa résolution numérique et sa résolution radiométrique.

I.3. Les caractéristiques des images satellitaires :

On peut caractériser les images satellitaires par quatre résolutions : sa résolution spectrale, sa résolution spatiale, sa résolution numérique, et sa résolution radiométrique.

I.3.1. Résolution spectrale :

La résolution spectrale décrit la capacité d'un capteur à utiliser de petites fenêtres de longueur d'onde. Les roches et les minéraux par exemple réclament une résolution spectrale fine par contre La végétation ou l'eau ne nécessitent pas une grande résolution, à l'inverse. Si la résolution spectrale est trop grossière, il ne sera alors plus possible de bien différencier les différents minéraux. Les images

panchromatiques sont thématiquement moins intéressants que les images multispectrales. Effectivement, il est préférable d'avoir trois bandes spectrales : vert, bleu et rouge, plutôt qu'une seule bande spectrale visible. Il existe aussi des capteurs plus sophistiqués capables de détecter des centaines de bandes spectrales, on les appelle capteurs hyperspectraux.

I.3.2. La résolution spatiale ou géométrique :

La résolution spatiale ou géométrique est la distance la plus petite permettant de discriminer deux objets voisins. Cette résolution s'exprime en mètres ou en kilomètre et mesure le côté d'un pixel, par exemple pour une image à 20 mètres de résolution, chaque un représente une superficie correspond 20*20 mètres au sol. Une résolution spatiale grossière (plusieurs centaines de mètres voire plusieurs kilomètres) ne permettra pas la distinction des objets spatiaux de petites tailles tel que les bâtiments et les petites parcelles agricoles. Par contre, la discrimination de ces objets spatiaux des petites tailles est autorisée par une résolution spatiale élevée. L'identification des réseaux de communication les plus fins (routes, chemins...) se fait à partir d'une résolution plus fine (plusieurs centaines de mètres voire plusieurs kilomètres). L'augmentation de la résolution conduit à une augmentation de l'importance de la taille informatique (exprimer en octets) des images, ce qui ralentit les traitements et nécessite un matériel très performant, et une élévation de prix de l'image. Il faut donc adapter les choix des images à sa problématique de recherche en non l'inverse.

I.3.3. La résolution radiométrique :

La résolution radiométrique d'un système de télédétection exprime sa capacité de différencier de fines nuances dans l'énergie électromagnétique. Plus la résolution radiométrique d'un capteur est fine, plus le capteur est sensible à de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue.

I.3.4. La résolution numérique :

La résolution numérique est en relation très accordée avec la résolution radiométrique. Chaque quantité d'énergie mesurée en kilojoules est transformée en

compte numérique ou valeurs radiométrique. Plus la gamme des comptes numériques est étendu, plus la résolution numérique est grande. Aussi dans la plupart des images, la gamme possible est de 256 valeurs. Plus la résolution numérique est grande, plus la qualité des images est bonne.

I.4. Les prétraitements :

Les fonctions de prétraitement, sont des opérations effectuées sur les images de façon à les corriger ou les améliorer thématiquement et géométriquement avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement se divisent en corrections radiométriques, corrections géométriques et Les corrections atmosphériques.

I.4.1. Les corrections radiométriques :

La correction des variations due à l'irrégularité du capteur, aux bruits dues au capteur ou aux défauts lors de la conception des instruments. Ces corrections applique à réaffecter chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée sur le terrain.

I.4.2. Les corrections géométriques :

Les corrections géométriques sont appliquées sur les images pour réduire les déformations géométriques intervenues lors de l'enregistrement de la scène telles que les distorsions dues aux erreurs des systèmes de mesure. Ces distorsions peuvent être causées par l'environnement (courbure de la terre, variation d'altitude au sol, réfraction atmosphérique...), dues aux erreurs des systèmes de mesure ainsi qu'elles peuvent être provenues des mouvements de la plate-forme (roulis, tangage, lacet...).

I.4.3. Les corrections atmosphériques :

Le signal lamineux mesuré par les capteurs d'un satellite traverse deux fois l'atmosphère de notre planète, la première fois lors du trajet soleil-cible et la seconde lors du trajet cible-capteurs, à chacune de ces deux traversée, les rayonnement électromagnétique va subir des transformation due aux propriétés physico-chimiques des deux composants majeurs de l'atmosphère terrestre qui sont les gaz(oxygène, ozone,

Chapitre I : Analyse et traitement des images satellitaires

vapeur d'eau,...) et les aérosols comme les poussières, les corrections atmosphérique sont appliquées sur les images pour réduire de ces transformations.

I.5. Le système SPOT :

Le Système Pour l'Observation de la Terre est constitué d'un ensemble de satellites optiques, passifs ainsi que des stations terrestres assurant les programmations, la collection et distribution des images obtenues. Actuellement 5 satellites sont on service :

1^{ère} génération : Spot 1, 2, 3:

Résolution des images de l'instrument HRV (haute résolution visible)

Lancement :

Spot1 : lancé le 22 février 1986.

Spot2 :22/1/1990.

Spot3 : lancé 26 sept 1993.

SPOT 1, 2, 3		
Mode	Panchromatique	Multi spectral
Bande spectral	0,51 - 0,73 μm	B1: Vert (0,51-0,59 μm) B2: Rouge (0,61-0,68 μm) B3: Proche infrarouge (0,79-0, 89 μm)
Pixel	10 x 10 m	20 x 20 m
Nombre de pixel / ligne	6000	3000

Tableau 1 : Les capteurs des Spot 1, 2, 3

2^{ème} génération : Spot-4

C'est le quatrième satellite dans la famille SPOT avec une résolution des images de l'instrument HRVIR (haute résolution visible et infrarouge) offrant les mêmes performances que les capteurs HRV, mais avec une bande spectrale supplémentaire dans le moyen infrarouge. Ce système dispose aussi un nouvel instrument qui est l'**instrument « Végétation »**. Il a été mis sur orbite le 23 mai 1998.

SPOT 4			
Mode	Panchromatique	Multi spectral	Végétation
Bande spectral	0,61 - 0,68 μm	B1 : 0,51 - 0,59 μm B2 : 0,61 - 0,68 μm B3 : 0,79 - 0,89 μm B4 : 1,58 - 1,75 μm	B0 : 0,43 - 0,47 μm B2 : 0,61 - 0,68 μm B3 : 0,79 - 0,89 μm B4 : 1,58 - 1,75 μm
Pixel	10 x 10 m	20 x 20 m	1 x 1 km
Nombre de pixel / ligne	6000	3000	

Tableau 2 : Les capteurs des Spot-4

3^{ème} génération : spot-5

Le satellite Spot-5 est le cinquième satellite de la filière Spot mis sur orbite dans la nuit du 3 au 4 mai 2002 avec des performances améliorées par rapport à Spot-4 en utilisant une évolution de l'image de l'instrument HRG (haute résolution géométrique).

Des techniques de traitement et de restauration d'images avancées sont utilisées pour réaliser une combinaison entre le super-mode qui nous permet de créer une image à

2.5 m de résolution à partir de 2 images à 5 mètres acquis simultanément, et un décalage de demi-pixel.

- 2.5 Mètre en super mode panchromatique (0.48-0.71)
- 5 mètre en panchromatique (0.48-0.71)
- 10m multi spectral
 - B : Vert (0.50-0.59)
 - B2 : Rouge (0.61-0.68)
 - B3 : proche infrarouge (0.78-0.89)
 - B4 : moyen infrarouge (1.58-1.75) à 20m
- La capacité d'acquisition de couples stéréoscopiques améliorées grâce à l'instrument HRS (H R stéréoscopiques)

I.5.1. Description de l'orbite des satellites spot :

Parmi les avantages du Système spot est de donner le suivi de l'évolution d'une scène terrestre dans le temps et la comparaison de territoires différents. Pour que les images obtenues soient comparables, il est nécessaire qu'elles soient acquises dans des conditions similaires, c'est pour cela que l'orbite des satellites spot est circulaire, polaire, phasée par rapport à la terre et héliosynchrone.

❖ **Orbite circulaire**

La comparaison des territoires différents nécessite des conditions de vue similaire. L'orbite circulaire permet une acquisition des images à une altitude constante (822m).

❖ **Orbite polaire**

Afin de couvrir toute la surface terrestre, l'orbite des satellites spot est polaire, c-à-d qu'elle passée par les pôles terrestres. En effet en raison de l'inclinaison de l'axe des pôles par rapport au plan orbital le satellite couvre toute la surface terrestre pendant un cycle de 26 jours.

❖ **Orbite phasée :**

Une autre contrainte existe pour avoir des images comparables d'une même zone à différents instants. Il est nécessaire que la trace de l'orbite sur chaque cycle soit exactement la même. L'orbite phasée respecte ce principe.

❖ **Orbite héliosynchrone :**

Pour comparer un même territoire à différentes dates, la prise de vue doit être effectuée dans les mêmes conditions d'éclairement. L'orbite héliosynchrone respecte ce principe, car le plan orbital forme un angle constant avec la direction de soleil.

I.5.2. Prétraitement des images spot :

Il y a une grande disponibilité aux images Spot dans différents niveaux de prétraitement géométrique, répartis-en 2 gammes de produits :

❖ **La gamme des produits Spot scène :**

✓ **Niveau 1A :(Egalisation radiométrique) :**

C'est un prétraitement quasiment brut, concentre à corriger les défauts radiométriques des distorsions dues aux écarts de sensibilité entre les détecteurs élémentaire de l'instrument de prise de vue.

✓ **Niveau 1B :**

Avec la correction radiométrique du traitement 1A on corrige l'image des distorsions internes causées par les conditions de prise de vue (variation d'attitude du satellite, effet panoramique, courbure et rotation de la Terre, etc....).

✓ **Niveau 2A :**

Les corrections géométriques sont définies par un modèle bidimensionnel utilisant les lois de déformation d'image, elles effectuée dans la projection cartographique standard UTM (WGS 84) sans utiliser de points d'appui. Les prétraitements dans ce niveau permettent de combiner l'image à des informations géographiques de types différents (vecteurs, ...).

❖ **La gamme des produits SPOT View :**

✓ **Niveau 2B (ou précision) :**

Le niveau 2B est un niveau “géocodé” : la scène est distribuée dans une projection cartographique donnée, et l’utilisation de points d’appui (mesurés sur une carte ou issus de relevés topographiques) permet d’améliorer la localisation des points au sol. Les corrections géométriques se considèrent sur une modélisation de la dynamique de vol du satellite d’après les paramètres de prise de vue (éphémérides, attitude, etc.) et des données géographiques ou cartographiques, constituées par des points d’appui.

✓ **Niveau 3 (ou Ortho) :**

Appelé aussi « ortho image ». Ce niveau incluant des corrections appliquées au niveau 2B et des corrections des erreurs dues au relief, grâce à l’utilisation d’un MNE (modèle numérique d’évaluation). Les corrections géométriques surnommé « ortho rectification », se basent sur un modèle de rééchantillonnage qui tient compte des distorsions due aux conditions de prise de vue(éphémérides, attitude, etc.) elles se basent sur une modélisation de la dynamique de vol du satellite ainsi que des informations géographiques ou cartographiques constituées par des points d’appui et un modèle numérique d’évaluation MNE.

I.6. Conclusion :

On a commencé dans ce chapitre, par une présentation des avantages et des caractéristiques des images satellitaires et leurs importances dans plusieurs domaines de l’imagerie satellitaire.

Ensuite, on a expliqué les traitements qui sont appliqués aux images satellitaires pour les corriger ou les améliorer des différents types de distorsions telles que les variations radiométriques, déformations géométriques, et les transformations atmosphériques.

Enfin, on a présenté le système d’observation de la terre « **SPOT** » qui est constitué de cinq satellites. Ces satellites circulent dans des orbites circulaires, polaires, phasée par rapport à la terre et héliosynchrones pour acquérir des images bien capturées et on a présenté aussi les différents niveaux de prétraitements appliqués sur ces images.

Chapitre II : Le recalage des images

II.1. Introduction

Premièrement, nous essayons de familiariser le lecteur avec les concepts liés au recalage, vu comme un problème général puis on a focalisé sur le recalage dans le domaine de l'imagerie satellitaire particulièrement.

Pour mieux comprendre ce problème, on va commencer par un petit exemple :

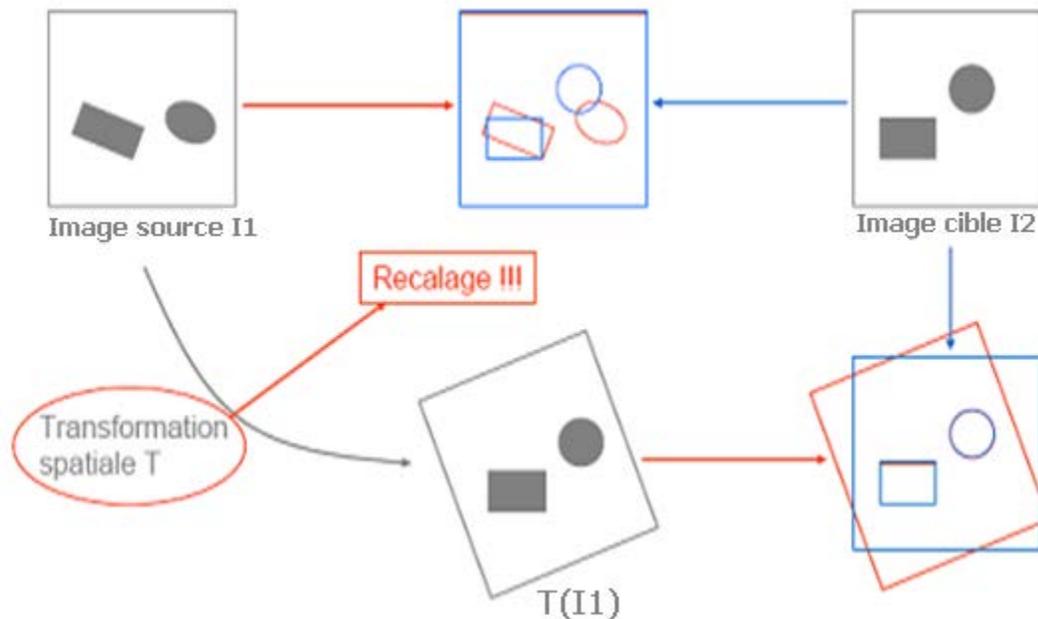


Figure 1:le principe de recalage 2D/2D.

Soit les deux images I1 (considérée comme une image source) et I2 (comme une image cible), ces images acquises par même système ou par des systèmes différents à des instants différents, et qu'entre-temps la position du capteur ait changé.

Le recalage d'images consiste à estimer la meilleure transformation géométrique T qui relie chaque pixel de I1 à celle-ci de l'image I2 de telle sorte que ces pixels soient relativement proches.

II.2. Critère de recalage :

On peut distinguer quatre critères de recalage : l'espace de recherche, la mesure de similarité utilisée, la stratégie de recherche et l'espace de caractérisation.

II.2.1. Espace de recherche :

Elle est définie par les structures homologues ou les primitives (point, lignes, surfaces, contours, ...) extraites à partir des images à recaler. Ces structures homologues (primitives) sont les repères sur lesquelles le processus de recalage s'appuie.

II.2.2. La mesure de similarité utilisée :

La mesure de similarité est la fonction utilisée pour la comparaison entre une image cible et une image transformée (image source), En peut distinguer de type des de mesure :

- ✓ **Liaison** : c'est une mesure statistique utilisée pour calculer la distance entre les intensités des images.
- ✓ **Distance** : généralement dans ce cas, la totalité d'image est exploitée pour mesurer l'écart.

II.2.3. La stratégie de recherche :

C'est la stratégie qui donne la permission de trouver la transformation optimale basée sur un certain critère de similarité défini par le modèle de déformation dans l'espace de recherche.

II.2.4. L'espace de caractérisation :

C'est l'ensemble des informations à déterminer à partir des images et utilisé pour les caractériser. En effet, les images sont traitées afin d'essayer d'extraire la structure intrinsèque (Calculée à partir de l'image elle-même) pour réduire l'espace de recherche et par la suite gagner du temps pendant le processus de recalage [bro92].

II.3. Méthodes de recalage d'images :

Pour les méthodes de recalage d'images on peut préciser principalement deux catégories : Les méthodes géométriques et les méthodes iconiques.

II.3.1. Méthodes géométriques :

Les méthodes géométriques sont basées sur l'extraction des primitives géométriques de l'image et à les mettre en correspondance afin de pouvoir estimer la transformation optimale pour le recalage. On peut distinguer trois types de primitives : les points, les courbes et les surfaces.

- **Points** : elles sont des points homologues dans les images à recaler utilisée pour estimer une transformation, soit permettant d'apparier exactement ces points, soit minimiser un critère faisant intervenir les distances entre ces points.
- **Courbe** : Ce sont des lignes de crête, contours ou même des formes filaires dans les deux images telles que les rues, les fleuves, etc.
- **Les surfaces** : Ce sont les primitives les plus utilisés couramment. Leur détection se base sur des méthodes de segmentations pour extraire des structures précises dans l'image.

II.3.2. Méthodes iconiques :

Contrairement aux méthodes géométriques, les méthodes iconiques utilisent l'ensemble entier de l'information portée par les valeurs d'intensités des images à recaler. Elles se basent essentiellement sur l'utilisation de l'information donnée par l'ensemble des voxels de l'image pour établir une mesure de similarité.

II.4. Mesure de similarité :

On peut définir une mesure de similarité. Comme c'est la fonction qui calcule la différence entre deux images. Elle est considérée comme le critère le plus important dans le processus de recalage. Selon le cas étudié, cette mesure doit être caractérisée par une valeur minimale ou maximale dont le but est d'obtenir une ressemblance plus forte entre les images. Ces mesures peuvent être différenciées selon la méthode de recalage en deux catégories : mesures de similarité entre des primitives géométriques et mesures de similarité dense, ensuite chaque catégorie se divise en plusieurs sous-catégories :

II.4.1. Distances entre primitives géométriques :

La plupart des critères qui ont été proposés dans la littérature considèrent l'écart entre les primitives géométriques comme un critère de similarité dont la minimisation permet de conduire à une solution analytique pour l'estimation des opportunités la transformation. Ce principe est appelé le problème de Procruste ([1], [2])

II.4.1.1. L'algorithme ICP (Iterative Closest Point) [3] : consiste à mesurer la distance d'une façon entre les courbes, et d'autre façon entre les surfaces. Cet algorithme est un algorithme itératif se compose en de deux étapes :

- 1) Pour chaque point de la primitive à recaler on détermine le point de la primitive référence le plus proche.
- 2) Estimer analytiquement la transformation grâce à la méthode de Procrustes.

II.4.1.2. Algorithme basé sur la distance de chanfrein (Chamfer-matching) : c'est une autre approche consiste à utiliser les cartes de distance. Une carte de distance est calculée en fixant à zéro les voxels correspondant aux contours de l'objet dans l'image référence puis en déterminant les distances entre chaque voxel et le point le plus proche de contour, après en associant à chaque voxel une valeur représentée par la distance correspondante. Pour estimer une transformation optimale, on minimise la somme des carrés des valeurs de la carte de distance.

II.4.1.3. L'algorithme de head and hat (tête-chapeau): la distance utilisée dans cet algorithme est proposée par Pelizzari [4]. La distance à minimiser ici est la moyenne du carré de la distance de chaque point de la primitive à recaler par rapport au point le plus proche de la primitive de référence dans la direction du centroïde de cette dernière.

II.4.1.4. La distance de Hausdorff : cette mesure utilisée pour caractériser la distance entre deux ensembles de points. Soit x et y deux points appartenant aux deux ensembles A et B respectivement. La distance de Hausdorff entre A et B donnée par la relation:

$$H(A, B) = \text{Max} \{ \sup_{p \in A} \inf_{q \in B} d(p, q), \sup_{q \in B} \inf_{p \in A} d(p, q) \} \dots (\text{II.1})$$

Où $d(x, y)$ représente une distance (par exemple la distance euclidienne) entre x et y

II.4.2. Distances entre primitives dans :

Les critères de similarité denses n'utilisent pas une étape préliminaire de réduction des données, mais elles se basent notamment sur l'utilisation de l'information donnée par l'ensemble des voxels de l'image quatre types de relations peuvent être distingués : la relation identité, la relation affine, la relation fonctionnelle, et plus généralement la relation de dépendance (statistique) :

II.4.2.1. Relation d'identité : les intensités des voxels qui se correspondent dans les deux images sont égales à un bruit blanc gaussien près. Le critère le plus utilisé est :

- **Critère des moindres carrés (CMC) :** ce critère se présente par la relation suivante :

$$CMC(I_1, I_2) = \sum_{p \in D_{com}} (I_1(p) - T(I_2(p)))^2 \dots (II.2)$$

Où D_{com} est le domaine commun entre les supports des deux images

On peut trouver d'autre critère pour les relations d'identité qui est la différence absolue des intensités ou la différence inter-images.

II.4.2.2. Relation affine : à cause de problème rencontré pour la relation identique (rarement vérifiée). Les chercheurs proposent une autre relation adaptée aux images monomodales dont le but de maximiser le coefficient de corrélation linéaire. L'expression du coefficient de corrélation linéaire donnée comme suit :

$$\rho(I_1, T(I_2)) = \frac{1}{\sigma_{I_1} \sigma_{I_{dest}^T}} \sum_{p \in D_{com}} (I_1(p) - \bar{I}_1) - (T(I_2(p)) - \bar{I}_2^T) \dots (II.3)$$

Où :

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{Card(D_{com})} \sum_{p \in D_{com}} I_1(p) \dots (II.4)$$

$$\bar{I}_2^T = \frac{1}{Card(D_{com})} \sum_{p \in D_{com}} I_2(p) \dots (II.5)$$

$$\sigma_{I_1} = \sqrt{\frac{1}{Card(D_{com})} \sum_{p \in D_{com}} (I_1(p) - \bar{I}_1)^2} \dots (II.6)$$

$$\sigma_{I_{dest}^T} = \sqrt{\frac{1}{Card(D_{com})} \sum_{p \in D_{com}} (T(I_2(p)) - \bar{I}_2^T)^2} \dots (II.7)$$

Cette loi peut être écrite de la manière suivante :

$$\rho(I_1, T(I_2)) = \frac{cov(I_1, T(I_2))}{var(I_1)var(T(I_2))} \dots (II.8)$$

Avec :

cov: La convergence.

var: La variance.

Ou d'après l'histogramme conjoint comme suit :

$$\rho(I_1, T(I_2)) = \sum_{i,j} P_T(i, j) \frac{(i - \bar{I}_1)(j - \bar{I}_2)}{\sigma_{I_1} \sigma_{I_{dest}^T}} \dots (\text{II.9})$$

Pour une meilleure transformation on doit maximiser CC.

II.4.2.3. Relation fonctionnelle : avec le succès de deux critères précédents pour le recalage monomodal, d'autres problèmes ont été posés par les images multimodales. Ça ce qui est conduit à une adaptation d'une nouvelle hypothèse plus générale consiste à chercher une association entre chaque intensité d'une image donnée et une valeur unique dans l'autre image en utilisant une relation fonctionnelle $j=f(i)$. On citera trois mesures satisfaisant cette hypothèse :

- **Le critère de Woods [5] :** pour comparer deux images en utilisant cette hypothèse on doit chercher une correspondance entre une région d'intensité homogène dans l'une de ces images et une autre région d'intensité homogène dans l'autre image. Son expression est le suivant :

$$Woods(I_1, I_2(\mathbf{h})) = \sum_j P_T(j) \frac{\sigma_{I_1 \setminus j}}{\mu_{I_2 \setminus j}} \dots (\text{II.10})$$

Où $\sigma_{I_1 \setminus j}$ et $\mu_{I_2 \setminus j}$ sont respectivement représentés la moyenne et l'écart-type des intensités observées dans l'image I_1 correspondant aux voxels de l'image $I_2(\mathbf{h})$ ayant l'intensité j et $P_T(j)$ la fréquence des voxels dans l'image. pour l'obtention d'une meilleure transformation ce critère doit être minimisé.

- **Le rapport de corrélation :** il est utilisé la même idée que le critère de Woods. Les différences entre eux c'est que ce critère utilise la variance au lieu de l'écart-type ainsi que la normalisation se fait globalement par la variance de l'image et non pour chacun des termes par une moyenne.

$$\eta(I_1 | I_2(\mathbf{h})) = 1 - \frac{1}{\sigma_{I_1}^2} \sum_j P_j \sigma_{I_1 \setminus j}^2 \dots (\text{II.11})$$

- **Le rapport de corrélation symétrisé** [6]: Il est à noter que les deux critères précédents ne sont pas symétriques. Cela est dû à l'asymétrie de la relation fonctionnelle d'où la nécessité de trouver des solutions symétriques :

$$\eta^{sym}(I_1|I_2(\mathbf{h})) = \eta(I_1|I_2(\mathbf{h})) + (I_2(\mathbf{h})|I_1) \dots \text{(II.12)}$$

II.4.2.4. Relation dépendance (statistique) : Malgré le succès de l'hypothèse de la relation fonctionnelle en multimodalité, il reste insuffisant pour un nombre considérable de problèmes où on ne peut pas trouver une relation fonctionnelle entre les intensités des images. Ça ce qui est conduit à introduire d'autre critère basé sur la dépendance entre les intensités des images qui est l'information mutuelle (IM). Cette hypothèse a connu le plus grand succès dans pour le recalage d'images.

- **L'information mutuelle** : Avant de voir la définition de l'information mutuelle, on doit d'abord présenter quelques notions utilisées pour la calculer :

✓ **L'histogramme conjoint**

L'histogramme conjoint est utilisé pour l'estimer la relation existante entre les niveaux de gris de deux images, afin de guider un processus de recalage en optimisant un critère calculé à partir de cet histogramme. Il se représente comme un graphe tridimensionnel (de \mathbb{R}^2 dans \mathbb{R}).

- ✓ **L'entropie marginale** : Entropie marginale est une mesure basée sur les lois de distribution de probabilité. Soit X une variable aléatoire, avec P_x la distribution marginale correspondante, $P_x(x)$ est la probabilité d'occurrence de x . L'entropie marginale $H(X)$ est calculée comme suit :

$$H(X) = - \sum_{x,y} P_X(x) \log P_X(x) \dots \text{(II.13)}$$

- ✓ **L'entropie conjointe** : L'entropie conjointe est une mesure utilisée pour calculer l'information contenue dans un système de deux variables aléatoires dans le but d'évaluer la disparité dans l'histogramme conjoint. L'entropie conjointe $\mathbf{H}(X, Y)$ de deux variables X et Y est calculé de la manière suivante :

$$H(X, Y) = - \sum_{x,y} P_{x,y}(x, y) \log P_{x,y}(x, y) \dots \text{(II.14)}$$

Avec :

$P_{x,y}$: la distribution conjointe de X et Y.

$P_{x,y}(x, y)$: la probabilité que la variable X avoir la valeur x et la variable Y voir la valeur y.

- ✓ **L'entropie conditionnelle** : comme l'entropie marginale et l'entropie conjointe, l'entropie conditionnelle provenant d'une variable aléatoire Y, si l'on connaît parfaitement la seconde variable aléatoire X. On dit que l'entropie de Y conditionnée par X, sa formule est :

$$H(X \setminus Y) = H(X, Y) - H(X) \dots \text{(II.15)}$$

- ✓ **L'information mutuelle** : l'information mutuelle de deux variables aléatoires X et Y donnée par la formule suivante :

$$IM(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) \dots \text{(II.16)}$$

II.5. Modèles de transformation :

D'après la définition de la méthode pour le recalage et le critère de Similarité quantifiant la ressemblance entre deux images, il doit de définir un modèle de transformation. Le choix du modèle de transformation peut avoir différentes formes suivants l'application visée. Parmi ces modèles on peut citer :

II.5.1. Transformation rigide :

Si on trouve une rotation R et une translation selon un repère (o, x, y, z) permettant une meilleure superposition de l'image source sur l'image cible. Dans ce type de transformation les distances entre les points et les angles entre les lignes sont gardés

II.5.2. Transformation affine :

Ce genre de transformation nous autorise de faire des rotations, des translations ainsi que des changements d'échelle. Elle conserve le parallélisme des lignes parallèles.

II.5.3. Transformation projective :

Dans cette transformation y a aucune conservation des distances ni des angles mais y a une conservation particulièrement des lignes (mais pas précisé de garder le parallélisme).

II.5.4. Transformation élastique (non linéaire) :

Dans ce cas la transformation est utilisée lorsqu'on veut recalcr des images comportant des objets déformés.

La figure .2 ci-dessous illustre un exemple pour ces types de transformation :

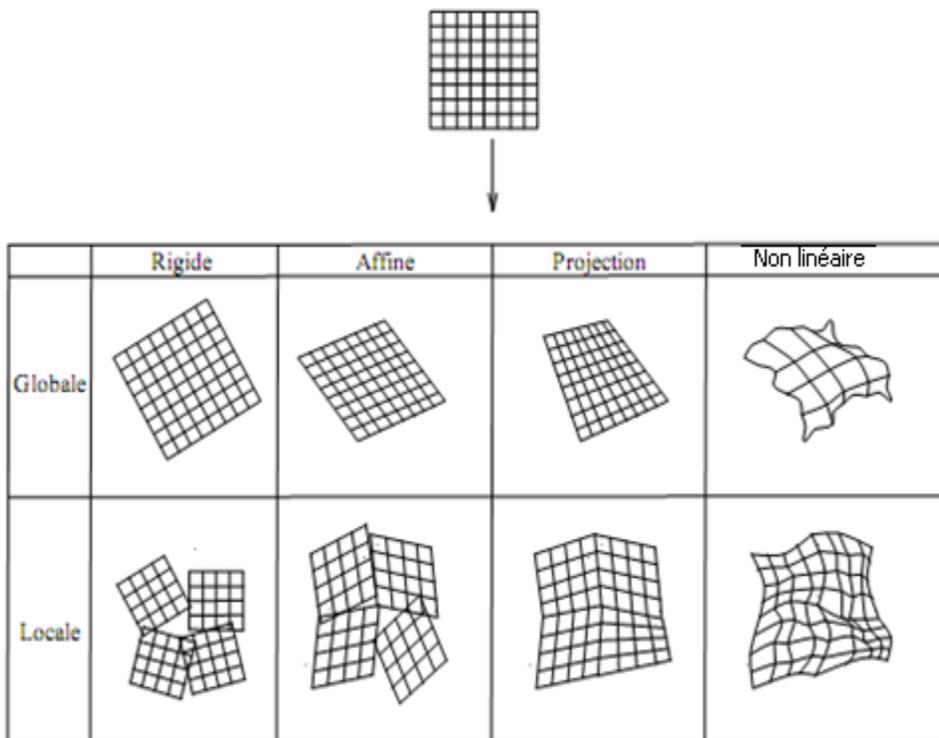


Figure 2 : Exemple de transformation 2D

Une distinction peut aussi être faite entre les modèles locaux et les modèles globaux :

Locaux : c'est-à-dire on utilise l'image entière pour estimer la transformation.

Globaux : dans ce cas, l'image est découpée en plusieurs parties, chaque partie possède leur propre transformation.

II.6. Etat de l'art :

Les images numériques dans la télédétection ont été disponibles dans la croissance dans plusieurs domaines tel que, la médecine, biologie, et d'autres nombreux domaines a conduit à une augmentation substantielle de recherche dans le recalage d'image au cours des 20 dernières années. Cette croissance de recherche provient de cette diversité croissante dans les sources d'image, car le recalage est appliqué à de nouveaux instruments comme les capteurs hyper spectraux dans la télédétection et les modules de balayage médicaux dans la médecine. Les chercheurs ont appliqué des nouvelles techniques telles que les primitives basées-ondelette, la métrique théorique de l'information et l'optimisation numérique stochastique, il faut noter que malgré plusieurs techniques ont été développées pour automatiser le processus de recalage d'images de télédétection, les travaux dans ce domaine restent limités par rapport à l'imagerie médicale, où le problème a été abordé de façon plus importante. Généralement on distingue deux approches : les approches iconiques (basées sur les pixels) et les approches géométriques (basées sur les spots). Par ailleurs, des approches hybrides combinant ces différentes approches ont été aussi proposées dans la littérature, ces publications peuvent être différenciées selon deux approches :

Approche géométrique :

Tel qu'on a vu avant, les approches géométriques sont des approches basées sur l'extraction de sous ensembles de primitives géométriques (les points, les courbes et les surfaces) à partir de chacune des images. Plusieurs algorithmes basés sur les approches géométriques ont été développés.

Gongjian et son groupe ont développé dans [7] une méthode globale optimale pour recalibrer des images d'une manière plus efficace.

Meshoul, Batouche et Belhadj [8] ont exposé une nouvelle méthode de recalage d'images à base de points des contrôles en utilisant l'algorithme d'ACS (Ant Colony System).

Dans [10] meshoul et batouche ont utilisés un système de colonie des fourmis (ACS) pour l'extraction des points de correspondances dans deux images afin de les superposés pour détecter les changements.

Venkateswara, Rao, Manjunath et Srinivas [11] ont développés un ensemble des algorithmes tels que les algorithmes génétiques pour recalcr automatiquement deux ou plus images données.

Martino, Cardillo et Starita est présente dans [12] une collective des agents intelligents collaborent entre eux pour construire une nouvelle méthode de recalage d'images basée sur les comportements des fourmis.

Dans [16], Farhad et son équipe ont été élaborés une nouvelle méthode multi-résolution pour le recalage automatique des images en utilisant les algorithmes génétiques pour extraire les points de contrôles afin de superposer les images à recalcr.

Dans [17] Anbang Xu and Ping Guo ont proposés une nouvelle méthode pour améliorer la méthode « réseaux de neurones feedforward (FNN) » utilisée en recalage d'images. Dans la méthode proposée, la régularisation bayésienne est appliquée pour améliorer la capacité de généralisation de (FNN). KICA (Kernel Independent Component Analysis) est utilisé pour extraire les points d'intérêt.

Lifeng Shang a été représenté dans [18] une méthode de recalage d'images en utilisant un réseau de neurones (PCA : principal component analysis). Cette méthode se base principalement sur l'extraction des contours des images à recalcr, puis à trouver l'orientation et la translation.

Dans [19] un algorithme génétique a été utilisé pour résoudre le problème de recalage des images en basant sur la méthode de plus proche voisin pour trouver les point correspondants dans les deux images à recalcr.

Suri, Türmera, Reinartz, Stilla[22] ont représenté un nouvelle approche pour le recalage des images de hautes résolutions et des images optiques en

combinant une technique d'extraction des régions homogènes avec le mesure de similarité nommé mutuelle information.

Dans [25] un algorithme de segmentation et d'extraction des régions d'intérêts basée sur l'optimisation des algorithmes des colonies de fourmis ont été proposé pour trouver une meilleure superposition des images.

Les approches iconiques :

Pour la difficulté d'extraction des primitives géométriques d'autres approches se basant sur l'utilisation de la totalité de l'image pour établir une mesure de similarité, ont été utilisée qui sont les approches iconiques. Plusieurs algorithmes de recalage des images ont été développés en basant sur les approches iconiques.

Dans [9] un algorithme de recalage d'images en utilisant des algorithmes génétiques a été élaboré.

Cette article [13] est traité la conception et la mise en œuvre d'un système basé sur utilisation des évolutions différentielles pour recalcr des images. De Falco et son groupe sont appliqués cette approche pour trouver la transformation affine la plus appropriés dont le but de maximiser l'information mutuelle entre les images à recalcr.

Amer, batouche et hichem sont proposés une approche sous le nom « Genitic Quantum Algorithme (GQA) » pour recalcr des images avec l'utilisation de l'information mutuelle pour mesurer la similarité entre les images [14].

Hichem, Amer et batouche sont proposés dans [15] une approche qui combine entre deux algorithmes : les algorithmes génétiques et les domaines de l'informatique. L'information mutuelle considérer comme un critère de similarité.

Neggaz et Benyettou [20] ont introduit une méthodologie de recalage rigide fondé sur l'optimisation par les techniques des algorithmes évolutionnaires. Le principe de cette méthodologie est d'utiliser un algorithme évolutionnaire pour

trouver la meilleure transformation qui permet de superposer deux images dans le temps le plus court. La valeur absolue des écarts est utilisée comme une mesure de similarité.

Dans [21] Li Hua a proposé un algorithme basée sur la combinaison entre la détection des points de contrôles en utilisant le détecteur de Harris, et un algorithme de système immunitaire artificiel pour déterminer les paramètres de transformation. L'information mutuelle est utilisée comme un critère de similarité.

Une autre approche de recalage d'images est proposée par Viktor Vegh [23] en basant sur des méthodes d'optimisation des équations différentielles stochastiques. Cette méthode utilise des solutions numériques des équations différentielles stochastiques particulières pour déterminer les changements des paramètres de transformation après chaque itération. La similarité entre les images recalées est calculée en utilisant l'information mutuelle.

Une autre approche est proposée dans [24] pour résoudre les problèmes du recalage d'images médicales multimodal en utilisant le coefficient de corrélation comme une mesure de similarité entre les intensités des images.

II.7. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre le problème des déformations liée au recalage d'images satellitaires. On commence par une présentation des critères de recalage : Espace de recherche pour définir les structures homologues extraites à partir des images à recaler, critères de similarité afin de calculer la ressemblance entre ces images, les modèles de transformation qui sont différencie entre des transformations rigides, transformations affines, transformations projectives et des transformations non linéaires, et le quatrième critère qui est la stratégie d'optimisation qui nous permet de trouver la transformation conduisant à une meilleure alignement entre les primitives des images.

Ensuite, on a présenté les deux méthodes de recalage : méthodes géométriques et méthodes iconiques.

Chapitre II : Le recalage des images

Enfin, un état de l'art pour les méthodes d'optimisations utilisées dans le domaine de recalage est présenté.

**Chapitre III : Les
systèmes
immunitaires**

III. Le système immunitaire naturel et Le système immunitaire artificiel :

III.1. Introduction :

Toutes les être vivant sont dotées par un ensemble de système très variés et complexes. Parmi ces systèmes on peut trouver un système plus important dans le corps humain qui le système immunitaire.

On essaye de présenter dans ce chapitre les concepts principaux du système immunitaire biologique, et on va citer les caractéristiques qui encouragent leur adaptation au d'autres systèmes par proposition des systèmes immunitaires artificiels pour la résolution de problèmes variés.

Enfin nous finirons ce chapitre par un état de l'art illustre les différentes utilisations de ces systèmes.

III.2. Le système immunitaire biologique :

Le système immunitaire regroupe l'ensemble des cellules, des molécules et des organes. Mise en œuvre par un organisme pour lutter contre l'attaque d'éléments étrangers. Il représente un mécanisme d'identification capable de percevoir et de combattre le dysfonctionnement de ses propres cellules et les micro-organismes exogènes infectieux qui envahissent le corps, c'est-à-dire qu'elle agit sans distinguer le type d'infection combattue. L'immunité acquise, quant à elle, est plus spécifique, c'est-à-dire qu'elle met en action des globules blancs spécialisés [29].

III.3. Concept de base du système immunitaire :

On doit premièrement commencer par la définition de quelque concept qu'on va l'utiliser avant de voir le principe de fonctionnement de système immunitaire :

III.3.1. Organes immunitaires :

On s'intéresse pour connaître les organes immunitaires par :

- **Moelle osseuse** : lieu de fabrication de toutes les cellules sanguines.
- **Thymus** : est l'organe où une autre classe de cellules immunitaires migre pour passer l'étape de maturation.

On peut trouver dans le système immunitaire des autres types des organes tels que les vaisseaux lymphatiques, les amygdales, etc.

III.3.2. Cellules immunitaires :

Malgré ce travail y a différents types de cellules immunitaires, mais en s'intéresse seulement par les lymphocytes qui sont des globules blancs produisent dans la moelle osseuse. Il se compose de :

- **Lymphocytes B** : il a deux fonctions principales :
 - ✓ Si un corps étrangère détecter les cellules B sécréter des molécules spécifiques appelées anticorps.
 - ✓ la capacité de se comporter en cellule présentant l'intrus

Le récepteur de cellule B est appelé BCR ou bien anticorps (Ab) (**Figure 3 (a)**).

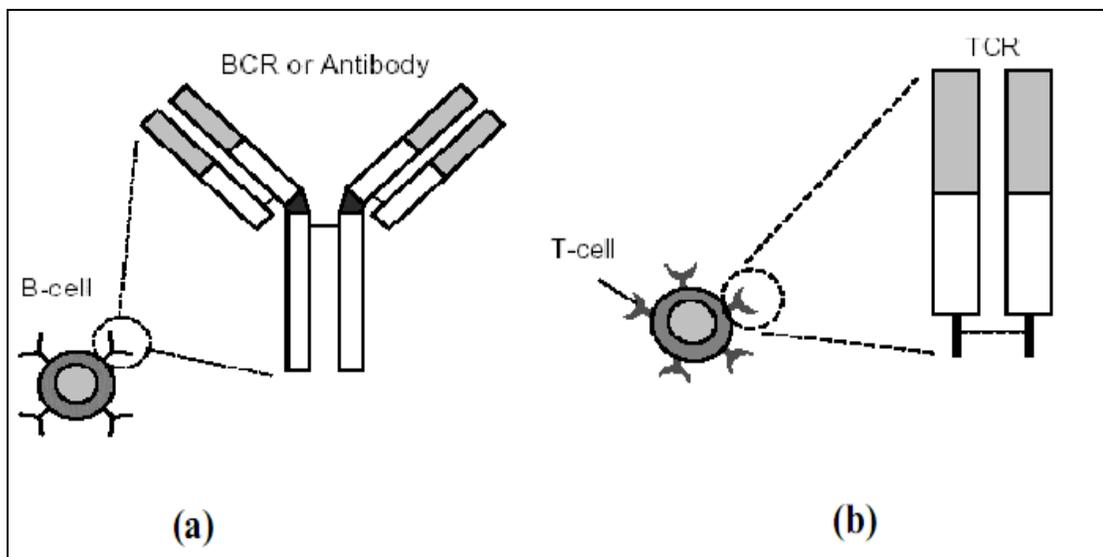


Figure 3 : Présentation des cellules B et T.

- **Lymphocytes T** : Les cellules T sont les cellules responsables d'attaquer les cellules infectées. Elles peuvent être distinguées en deux types :
 - 1-les cellules T aideuses (T helper) assurent l'activation des cellules B

2-les cellules T cytotoxiques (T killer), s'attachent aux intrus étrangers et produisent des toxiques pour assurer la suppression de ces intrus.

Les cellules T ont aussi des récepteurs sur leur surface (**Figure 3 (b)**).

- **Anticorps** : on peut définir les anticorps comme étant une protéine complexe développée par les cellules du système immunitaire comme une réponse aux corps étrangers. Ils sont produits par les lymphocytes B avec une capacité de détection et de neutralisation des envahisseurs étrangers.
- **Antigènes** : toutes les substances étrangères capables de stimuler le système immunitaire à produire des anticorps visant à les éliminer on s'appelle antigènes. Elles sont. Des protéines contenues sur des cellules étrangères (virus, bactéries, etc.)

III.4. L'architecture du système immunitaire :

Après que la première ligne de défense (la peau, l'urine, les membranes muqueuses, etc.) échoue à éliminer un agent pathogène, le système immunitaire utilise d'autres mécanismes de défense. Ce mécanisme peut être séparé en deux types de systèmes interliés qui sont le système immunitaire inné et le système immunitaire adaptatif ou acquis (**Figure 4**).

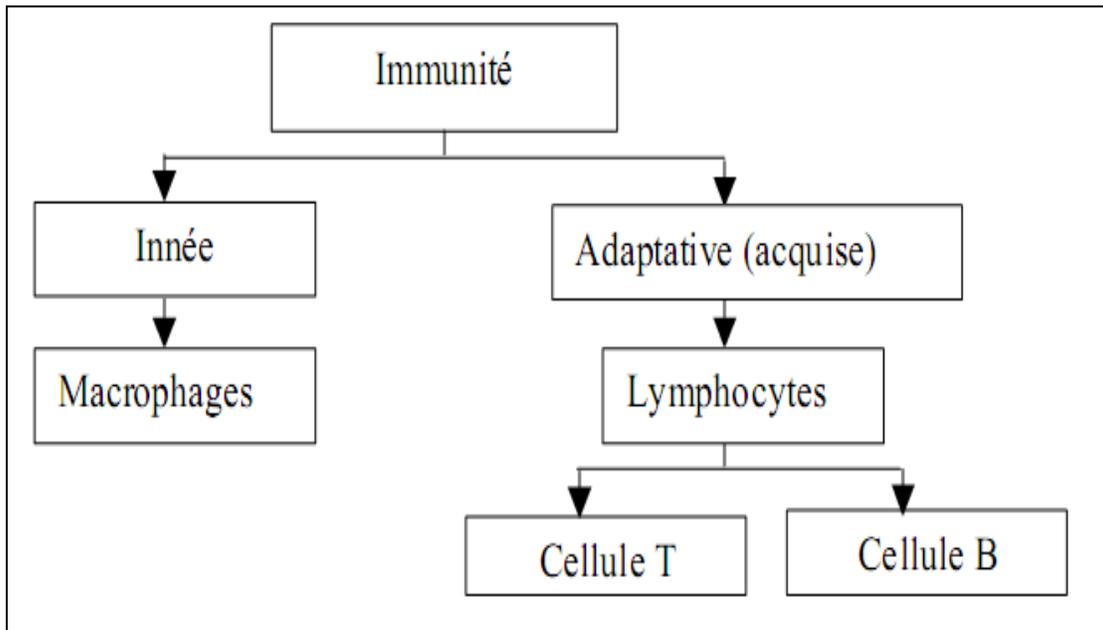


Figure 4 : Architecture du système immunitaire. T.

III.4.1. Le système immunitaire inné :

Ce dernier inné est existé depuis la naissance de l'être humain. Il consiste essentiellement en un ensemble de cellules et de protéines qui agissent pour protéger le corps contre les infections (bactéries, virus, ...). Il est caractérisé par [26,33] :

- Il assure une défense efficace dès le premier contact avec une les organismes étrangers.
- Il n'a pas une mémoire immunologie.
- Il joue un rôle vital pour l'initialisation et la régularisation de la réponse immunitaire adaptative.
- La réponse du système immunitaire inné est non spécifique à un type particulier d'intrus mais elle est identique contre tous les pathogènes qui envahissent le corps.
- Il est toujours actif.

III.4.2. Le système immunitaire adaptatif :

C'est un système très complexe qui déclenche quand le système inné n'est pas suffisant pour éliminer les agents étrangers. Il est composé de types différents de cellules. Sa fonction consiste à reconnaître les intrus puis il se produit alors une réaction cellulaire contre les microorganismes agresseurs. Le système immunitaire adaptatif est caractérisé par [26,33] :

- Le système adaptatif est adressé à des intrus spécifiques.
- Le système immunitaire adaptatif se fonctionne avec les intrus qui ne sont pas détectés par le système immunitaire inné.
- Grâce à sa mémoire immunologique, il permet de protéger le corps d'une manière plus efficace, rapide, durable et évolutive contre les intrus déjà rencontrés.
- Le système immunitaire adaptatif est généré dynamiquement contre les organismes étrangers pendant sa durée de vie. Il fournit des mécanismes plus efficaces qui seront adaptés aux changements antigéniques.

III.5. Déroulement de mécanisme de défense immunitaire

Le corp humain est composée d'un ensemble complexe et varié des cellules et des molécules qui interagissent entre eux pour assurer leur meilleure protection contre les

Chapitre III : Les systèmes immunitaires

agents exogènes comme les bactéries ou d'autres envahisseurs. Dans (**Figure 5**) ci-dessous on essaye de présenter le mécanisme de base de défense immunitaire et qui peuvent être expliqué comme suit :

- Quand d'une substance étrangère (antigène) envahit le corps de l'être humain, les cellules de présentation antigénique comme les macrophages englobent et antigène rencontré pour le présenter comme des fragments de peptides antigéniques.
- Cette présentation permet aux lymphocytes T de reconnaître la substance par les lymphocytes T (**Figure 5**). Chaque lymphocyte T ne reconnaît qu'un seul types d'antigène ce qui identifie une réponse spécifique (immunité inné) qui est lente à se déclencher mais très efficace.
- Cette identification active les cellules T et lui permet de sécréter des lymphokines (cytokines) pour mobiliser d'autres composants du système immunitaire.
- Les cellules B répond à ces lymphokines par une prolifération et une production des protéines d'anticorps.
- La liaison entre ces anticorps et antigènes conduit à détruire et supprimer les antigènes.
- Des cellules mémoires construits à partir d'un nombre de cellules B et T. elles permettent d'augmenter la rapidité d'éliminer l'antigène s'il se présente une autre fois dans l'avenir.

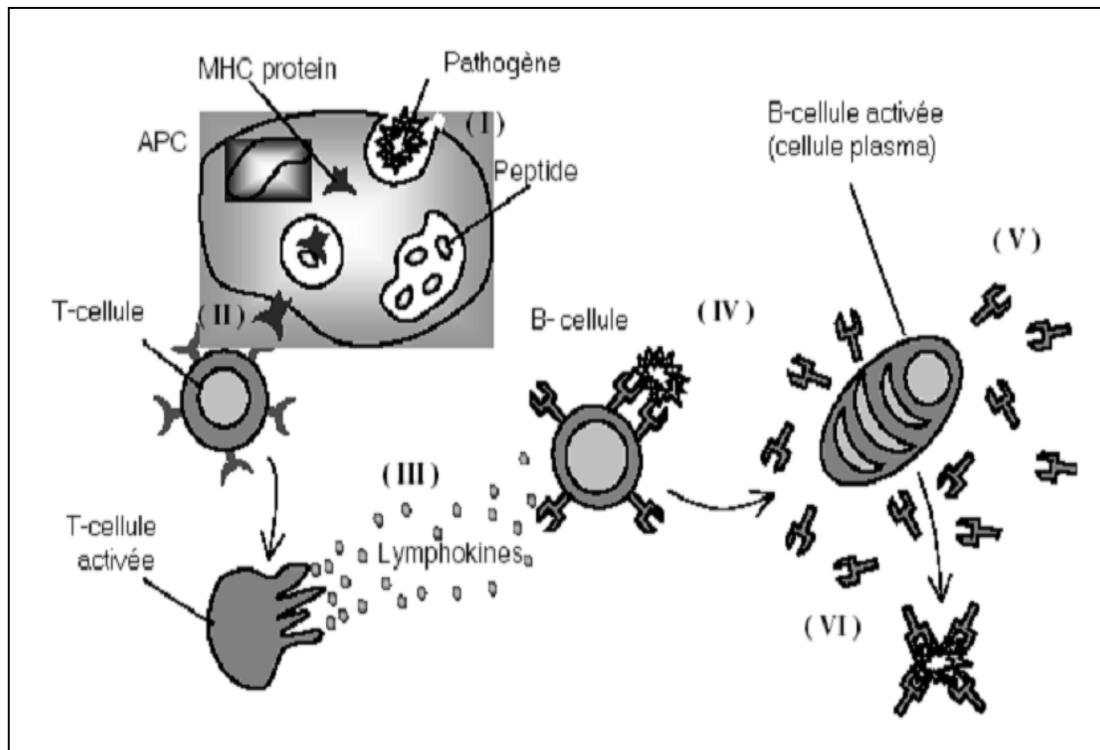


Figure 5 : Déroulement de mécanisme de défense immunitaire.

III.6. Caractéristiques du système immunitaire

On essaye dans cette partie, de citer les caractéristiques du système immunitaire les plus importants qui sont motivés les chercheurs pour l'adapter au domaine d'informatique

- **Distribution** : on peut définir le par l'absence d'un point de contrôle centralisé assure que chaque cellule est stimulée et répond à l'antigène attaquant.
- **Apprentissage et mémorisation** : chaque fois le système immunitaire détecte un nouvel intrus dans le corps, il catégorise ce dernier pour construire un ensemble de cellules mémoires avec une durée de vie illimitée. Ceci permet au système immunitaire de fournir des réponses plus rapides et plus efficaces aux rencontres suivantes d'un même antigène.
- **Dynamique** : Le système immunitaire a le pouvoir de créer de nouvelles cellules et molécules en utilisant des processus tels que la division cellulaire, et il peut aussi éliminer des cellules vieilles ou endommagées

- **Discrimination entre soi et non soi** : La capacité de distinguer entre les cellules de soi et les cellules de non soi (étrangère), c'est caractéristique le plus important dans le système immunitaire
- **Unicité et autonomie** : Chaque élément dans le système immunitaire possède des responsabilités particulières ainsi qu'il possède une autonomie globale de détecter et débarrasser des intrus.
- **Communication et coopération** : pour assurer une meilleure détection et une protection plus efficace, les différentes cellules du système immunitaire coopèrent entre eux par l'échange des messages (sous forme des signaux).

III.7. Théories immunitaires :

III.7.1. La sélection négative/positive :

La sélection négative est la théorie qui gère le processus de différenciation entre soi et non soi. Les cellules T naïves produits à cause de migration des lymphocytes vers le thymus et qui ont la capacité de reconnaître un antigène de soi, sont détruit, on parle de sélection négative. Le reste des cellules qui ne reconnaissent aucun antigène de soi est autorisé à quitter le thymus pour circuler dans le sang et accomplir leurs tâches (recherche des cellules de non soi). La (**Figure 6**) ci-dessous peut expliquer ce processus.

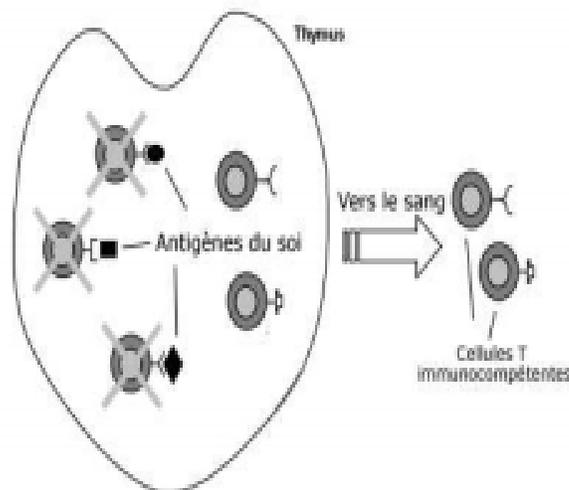


Figure 6 : processus de sélection négative / positive.

III.7.2. Sélection clonale :

Il y a aussi une autre théorie à la même importance que la sélection négative/positive qui est la sélection clonale [27].

Quand la reconnaissance d'un antigène par les lymphocytes B, ils produisent des anticorps spécifiques dont chaque cellule sécrète un seul type d'anticorps. En utilisant ses récepteurs l'anticorps associe à l'antigène et le reconnu avec des degrés d'affinité différents. A l'aide des cellules T d'aide les cellules B stimulées et prolifèrent pour créer des clones d'elle-même (processus de division cellulaire). [28]. Le taux de prolifération d'une cellule est directement proportionnel à son affinité avec l'antigène [33, 35]. Enfin un autre processus permet de sélectionner parmi les nouveaux lymphocytes qui ont une grande affinité et les utilise comme des cellules mémoires (**Figure 7**).

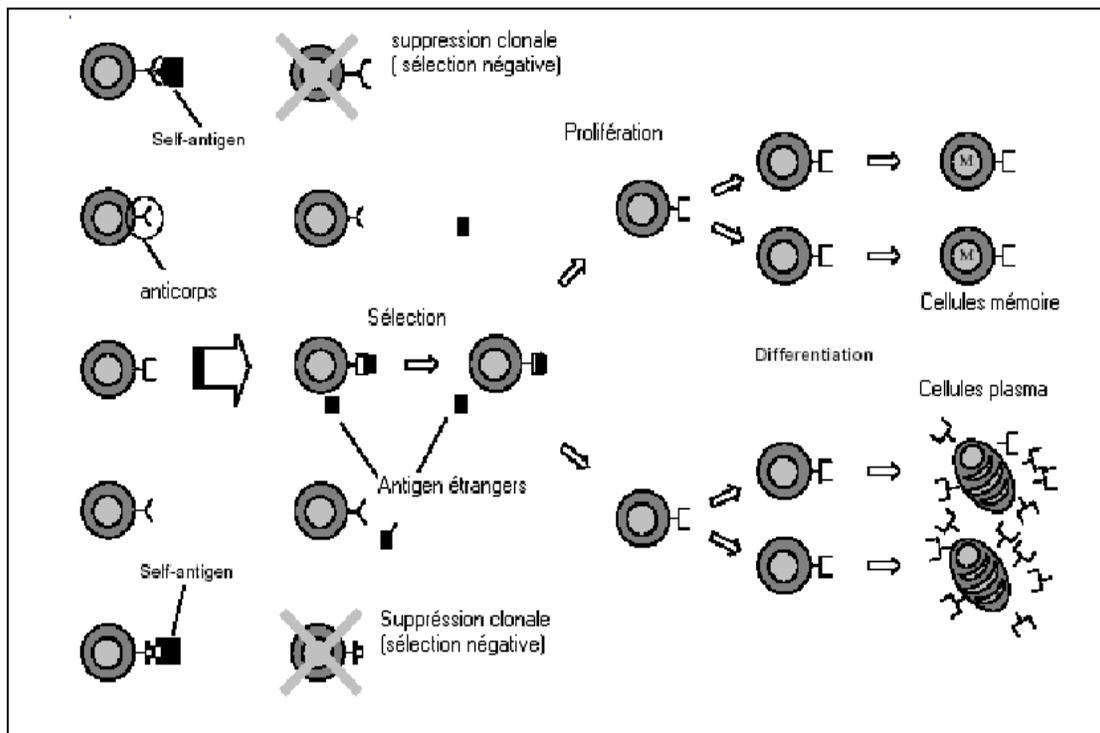


Figure 7 : processus de sélection clonale.

Les cellules mémoire circulent à travers le sang, la lymphe et les tissus et à la présence d'un antigène précédemment reconnu, une réaction rapide et efficace est immédiatement lancée. [29].

III.7.3. La théorie du réseau immunitaire :

Une nouvelle théorie a été proposée par Jerne (1974), [30] qui est la théorie du réseau immunitaire. Cette théorie est considérée comme une extension de l'approche classique. La différence est que les cellules B sont interconnectées par ces récepteurs et sous forme d'un réseau. Une réaction (soit l'activation soit la suppression) dans une cellule B affecte ses voisins, qui à son tour pourrait affecter leurs voisins, etc.

Deux cellules B sont interconnectées si les affinités qu'ils partagent dépassent un certain seuil et la force de la connexion est directement proportionnelle à l'affinité qu'ils partagent.

III.8. Le système immunitaire artificiel :

L'efficacité du système immunitaire artificiel pour protéger le corps de l'être humain contre les intrus étrangers inspirée les chercheurs d'adapter le au domaine d'informatique pour la résolution de problèmes du monde réel.

III.8.1 Définitions

- ✓ Selon **Timmis** [31] Un système immunitaire artificiel est un système informatique basé sur les métaphores du système immunitaire naturel.
- ✓ **Dasgupta**[32] a défini le système immunitaire artificiel comme une composition de méthodologies intelligentes inspirées par le système immunitaire naturel afin de résoudre des problèmes du monde réel.
- ✓ Les systèmes immunitaires artificiels sont des systèmes adaptatifs inspirés par des théories immunologiques et des observations de fonctions immunitaires, des principes et des modèles, qui seront appliqués à la résolution des problèmes **Timmis et De Castro** [34] .

III.8.2 Modélisation d'un AIS :

Il doit suivre trois conditions pour faciliter l'élaboration de nouvelles approches: [33,35]

- Il faut premièrement faire une représentation pour les composants du système.
- Pour l'évaluation de l'interaction entre les individus et leurs environnements un ensemble de mécanismes doivent être présentée.
- La procédure d'adaptation pour évaluer la dynamique du système.

Timmis & de Castro [34] adopte ces condition pour la conception d'un système immunitaire artificiel (AIS):

- Une représentation pour créer les modèles abstraits des cellules et mettant en œuvre les organes et les molécules immunitaires.
- Ensemble de fonctions d'affinité et quantitatives des interactions entre les différents composants.
- Un ensemble d'algorithmes pour assurer la dynamique du système.

Dans la **Figure 8** ci-dessous une représentation les éléments qu'on peut les trouver dans la structure de conception d'un AIS est citée.

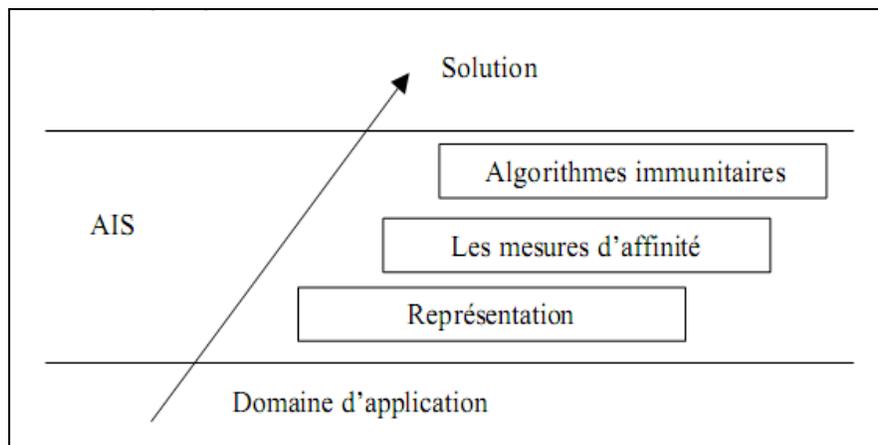


Figure 8 : la structure de conception d'un AIS.

III.8.2.1. La représentation :

Tel qu'on a vue précédemment, les cellules B et T ont été décrites comme les cellules principales. Ces derniers utilisent des récepteurs (paratopes) capables reconnaître les intrus par la propriété de complémentarité avec les épitopes de ces antigènes [35].

- **Le modèle Shape - Space :** La notion de complétude connue sous le nom Shape-Space (Forme - Espace) a été proposée par Perelson et Oster [36] en 1979. Ce modèle permet de donner une description quantitative de l'interaction anticorps-antigènes. Elle est définie comme le degré de correspondance (complétude) entre les paratopes (Ab) et épitopes (Ag). Ce degré de liaison est mesuré via les régions de complémentarité entre les deux éléments (**Figure 9**).

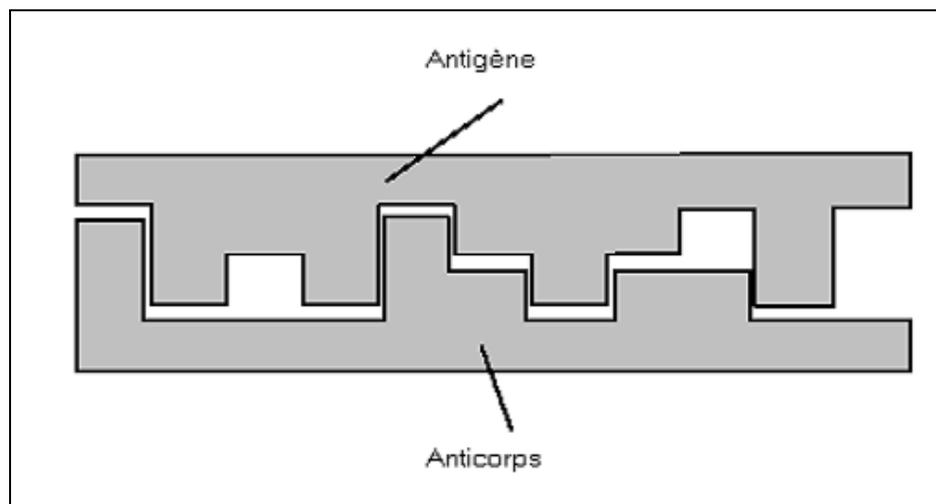


Figure 9 : Principe de complémentarité entre antigène et anticorps.

- **Mesures d'affinités :** Les mesures d'affinité sont utilisées pour calculer la similarité entre un anticorps et un antigène. Il y a plusieurs méthodes utilisées dans ce contexte. (**Voir II.3**)

III.8.3. Les algorithmes du système immunitaire artificiel

Les algorithmes du système immunitaire artificiel se différencient selon le problème à résoudre :

III.8.3.1. L'algorithme de la sélection négative

Cette idée sur laquelle se base cette théorie est l'élimination des cellules immatures qui ont une liaison avec les cellules du soi. Les cellules nouvellement générées qui ne s'attaquent aucune cellule de soi sont autorisées à quitter le thymus et distribuées dans le corps humain pour accomplir leurs tâches (la reconnaissance des cellules de non soi)

Forrest et al [37] ont proposé l'algorithme de détection des anomalies basée sur la sélection négative. Ils ont considéré l'algorithme de la sélection négative comme un processus qui déroule en deux phases principales :

- La définition du soi et la génération un ensemble de détecteurs (**Figure 10(a)**)
- La vérification d'occurrence des anomalies. (**Figure 10(b)**)

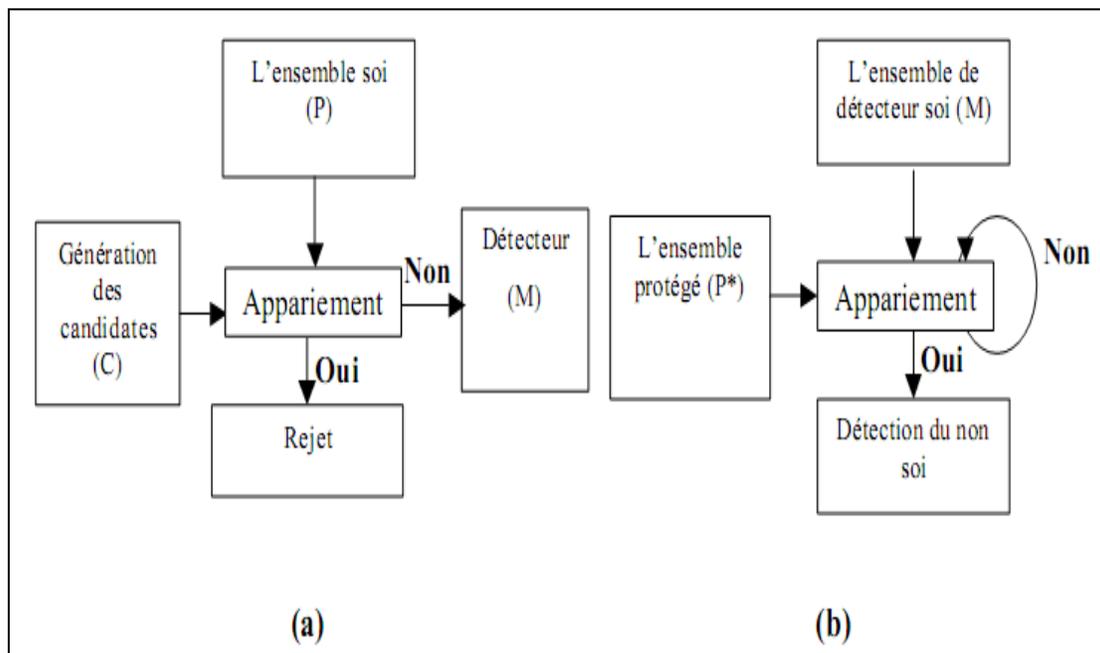


Figure 10 : L'algorithme de sélection négative

Ce pseudo code proposé par Cas [38] peut résumer cet algorithme comme suit:

- ✓ La génération aléatoire d'un ensemble des chaînes et les placer dans **P**.
- ✓ Déterminer l'affinité (f_i) de chaque élément de **P** et tous les éléments de l'ensemble du Soi **S**.
- ✓ Si une seule $f_i \geq$ seuil prédéfini, l'élément de **P** correspond à reconnaître un élément du soi et doit être supprimé de **P**, sinon il est considéré comme non soi et sera mis en **N**.

III.8.3.2. L'algorithme de la sélection positive :

Cet algorithme est proposé par Forrest et al [39]. Cet algorithme est la solution alternative de l'algorithme de la sélection négative. La différence principale est au lieu

de générer des détecteurs pour détecter les éléments de non soi, il génère des détecteurs pour détecter des éléments de soi. Le pseudo code de cette algorithmme sera :

- ✓ La génération aléatoire d'un ensemble des chaines et les placer dans **P**.
- ✓ Déterminer l'affinité (f_i) de chaque élément de P et tous les éléments de l'ensemble du non Soi **N**.
- ✓ Si l'affinité d'un élément de P avec tous les éléments de soi **S** est plus petite à un seuil d'affinité prédéfini Alors Cet élément est considéré comme un élément de non soi.

III.8.3.3. L'algorithme de la sélection clonale :

Un autre algorithme du système immunitaire artificiel est proposé par De Castro & Von Zuben [40] sous le nom CLONALG. Le principe de base de cet algorithme est que seules les cellules ayant reconnue l'antigène se clonent et se maturés pour construire des cellules mémoires. Les éléments de CLONALG sont :

- Maintien d'un ensemble de cellules mémoires
- Les anticorps les plus stimulés sont sélectionnés et clonés.
- Les cellules non stimuler sont détruit.
- Maturation de l'affinité et ré-sélection les clones qui ont les plus grandes affinités avec l'antigène.
- Génération et le maintien de la diversité.

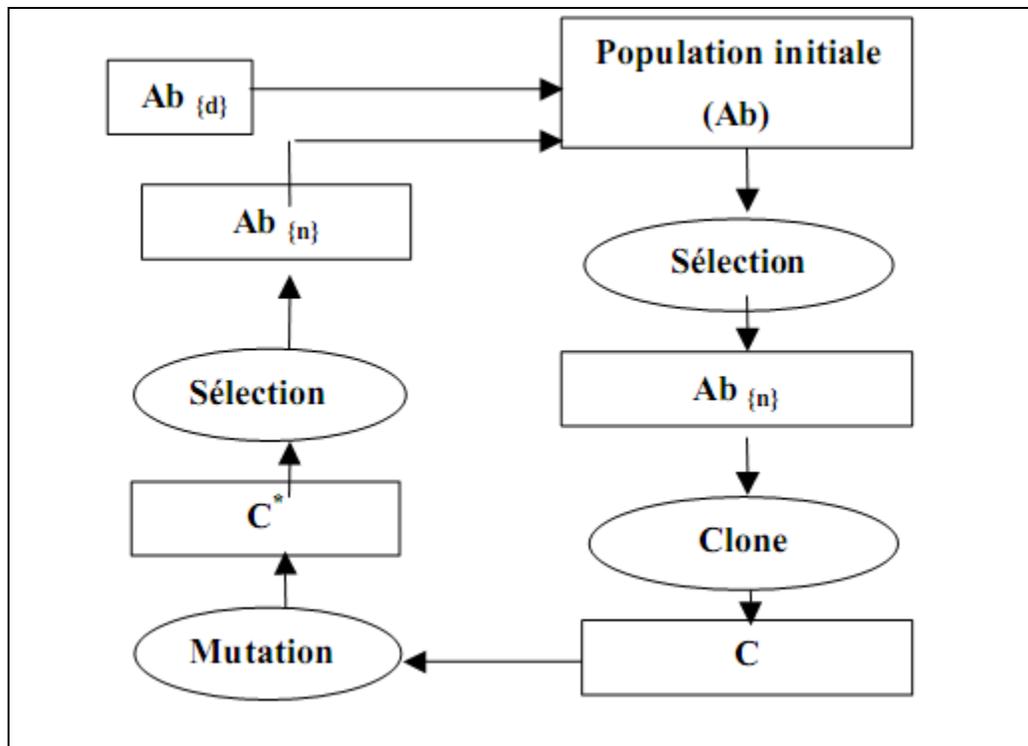


Figure 11 : L'algorithme de sélection clonale (CLONALG).

Cet algorithme (Figure 11) est s'exécute selon ces étapes :

1. Génération aléatoire d'une population initiale (M) d'anticorps Ab.
2. Calculer l'affinité de chaque solution candidate Ab avec un l'antigène en utilisant une fonction d'affinité.
3. Sélectionner les n meilleurs éléments de (M) qui ont les plus hautes affinités et générer pour chaque anticorps sélectionné un nombre des clones (C_i). Le nombre des clones pour chaque anticorps est proportionnel à son affinité.
4. Muter ces clones (C_i) avec un taux inversement proportionnel à leurs affinités pour construire des nouvelles cellules C_i*.
5. Les clones mutés qui ont les plus hautes affinités sont sélectionnés pour remplacer les n anticorps sélectionné précédemment.
6. Remplacer les anticorps de faible affinité par des nouveaux anticorps générés aléatoirement.
7. Retourner à l'étape 2 et commencer la génération suivante jusqu'à la vérification d'un critère.

III.8.4. Etat de l'art :

Cet état de l'art séparé en trois types des algorithmes du système immunitaire.

III.8.4.1. Les algorithmes basés sur la sélection clonale :

La sélection clonale est basée sur l'ensemble des processus de reconnaissance des antigènes, la prolifération des cellules, et la différenciation des cellules des mémoires. Plusieurs algorithmes immunitaires artificiels ont été développés en basant sur la théorie de sélection clonale.

Castro et Zuben [41] ont proposé un algorithme de sélection clonale nommé CLONALG pour l'apprentissage et l'optimisation. CLONALG génère une population de N Anticorps, chacun représenté une solution aléatoire pour résoudre le problème. Pour chaque itération, certains des meilleurs anticorps existants sont sélectionnés et mutés dans le but de construire une nouvelle population des candidats. Des nouveaux anticorps sont ensuite évalués et un pourcentage des meilleurs anticorps est ajouté à la population d'origine afin de remplacer les pires anticorps de la génération précédente par des nouvel anticorps généré aléatoirement.

Rouchen et al [42] ont proposé un algorithme de stratégie immunitaire clonale (ICS) de sélection clonale comprenant des algorithmes des stratégies monoclonale et un algorithme de stratégie poly-clonale. ICS est utilisé pour résoudre des problèmes d'optimisation multi- objective.

Zuo and Li [43] ont proposé un algorithme immunitaire artificiel de chaos pour les problèmes d'optimisation des fonctions. Ils sont utilisés des variables chaotiques pour effectuer une recherche locale et d'explorer l'espace des solutions.

Garrett [44] a présenté un algorithme adaptatif basé sur la sélection négative (ACS). Il suggère quelques modifications à CLONALG fondé sur une analyse des opérateurs pour déterminer le taux de mutation et le nombre des clones dans le but de pallier les inconvénients de CLONALG tel que les plusieurs paramètres utilisés et la représentation binaire.

Une stratégie immunitaire clonale adaptative (AICSA) est proposée pour résoudre les problèmes d'optimisation numériques dans Liu et Jiao [45]. Elle estime dynamiquement les unités de mémoire immunitaire et l'affinité entre la population des anticorps et les antigènes.

Yu et Hou [46] a présenté un algorithme de sélection clonale pour améliorer l'algorithme CLONALG. Un opérateur d'apprentissage a été introduit pour optimiser le mécanisme d'apprentissage de CLONALG et d'améliorer l'efficacité de détection.

En cutello [47] un algorithme immunologique est introduit pour les problèmes d'optimisation globale continue nommé OPT-IA.

Un algorithme clonal adaptatif est proposé en Bian et QIU [48] avec le nom PMU (phasor measurement unit).

Cutello et Nicosia [49] ont introduit une version optimale de l'OPT-IA nommé opt-IMMALG. Les modifications principales dans cet algorithme sont le remplacement de la représentation de chaîne binaire par de codification réel et l'introduction du nouvel opérateur d'hyper mutation.

Gong et Jiao [50] ont présenté un algorithme de sélection clonale basée sur l'amélioration de CLONALG avec une nouvelle méthode de mutation. Les modifications principales sont que le nouvel algorithme adopté la séquence logistique chaotique pour générer la population initiale d'anticorps tandis que l'hypermutation adopte la mutation chaotique auto-adaptative.

Dans Gong et Zhang [51] un algorithme immunitaire de sélection clonale différentiel (DICSA) est proposé pour la résolution des problèmes d'optimisation globale. DICSA combine la théorie de sélection clonale et l'évolution différentielle et utilise trois opérateurs : opérateur de clonage, mutation différentiel, et un opérateur de sélection standard.

Un algorithme de sélection clonale en parallèle pour résoudre le problème de coloration des graphes est présenté dans Dabrowski et Kubale [52]. Il utilise un modèle

d'île chaque processeur travaille sur sa propre piscine d'anticorps pour améliorer les performances.

Li et Hao [50] ont proposé un algorithme d'ajustement du chaos clonal pour l'optimisation des fonctions multimodal. Le principe de cet algorithme est d'améliore la performance de CLONALG en utilisant la propriété de la dynamique du système chaos, et d'introduire le mécanisme de recherche chaotique en CLONALG pour améliorer leur recherche efficace.

Pour satisfaire les besoins d'un client dans un service, [nombre] propose une approche basée sur les systèmes immunitaire pour estimer le temps moyen de résidence d'un client dans un système selon les besoins des **clients**, en pris en compte un ensemble des contraintes opérationnels tels que le nombre de serveurs, le temps, et la satisfaction de services locaux avec certains services stratégiques.

Autres algorithmes bases sur la sélection clonale ont été introduit dans la littérature tel que : Jiao et Li (2005).

III.8.4.2. Les algorithmes basés sur la sélection négative :

La sélection négative est l'un des mécanismes du système immunitaire naturel qui est utilisée pour le développement de nombreux systèmes immunitaires artificiels existants. Dans le processus de maturation des cellules T d'un système immunitaire, si une cellule T dans le thymus reconnaît une cellule soi, elle est éliminée avant de déployer la fonctionnalité immunitaire. L'algorithme de sélection négative génère un ensemble des détecteurs en éliminant les candidats qui correspondent aux éléments d'un groupe d'échantillons de soi. Ces algorithmes ont été utilisés dans des domaines différents, tel que la détection des anomalies.

Forrest(1940) a proposé un algorithme de sélection négative. L'idée principale de son algorithme est de générer aléatoirement d'un ensemble de détecteurs puis de rejeter celles qui reconnaissent des cellules de soi, et après ces détecteurs peuvent être utilisées plus tard pour détecter les anomalies.

En Ayara et al (2002) l'algorithme NSMutation est présenté. Il introduit une hypermutation somatique, pour éliminer la redondance et prendre des paramètres ajustables. Il se compose de trois phases : définition des soi, génération des détecteurs, et comparer les détecteurs générés avec les cellules de soi, en basant sur un seuil d'affinité.

[54] est présenté une approche de sélection négative adaptative pour la détection des anomalies. Les deux phases principales de l'algorithme sont : génère une population initiale et l'évolution de la population.

Igawa et Ohashi [55] ont proposé un nouvel algorithme de sélection négative nommé Artificial Negative Selection Classifier (ANSC) pour la classification multi-classe. Il introduit une méthode de coupe pour réduire les effets du bruit. Il combine l'algorithme de sélection négative avec le mécanisme de sélection négative.

Il existe d'autres recherches adoptées l'algorithme de sélection négative peuvent être trouvés dans Zeng et Li. [56] et Zhengbing et Ji. [57].

III.8.4.3. Réseaux immunitaire artificiel :

En basant sur la théorie des réseaux immunitaires proposée par Jerne(1974), des nombreux chercheurs ont développé des modèles qui utilisent les idées et les concepts de la théorie des réseaux pour résoudre des problèmes dans des domaines d'application. D'après le travail effectué dans [58], on va résumer quelques modèles des réseaux immunitaires artificiels :

Castro et Timmis [59] ont proposé un réseau immunitaire artificiel (aiNet) pour effectuer des tâches d'analyse des données. Il utilise un ARB (artificial recognition ball) pour représenter les cellules B identiques. Deux cellules B sont reliées entre elle, si l'affinité entre deux ARBs est inférieure à un seuil d'affinité d'un réseau (NAT).

Dans Timmis et Neal [60] un modèle de limitation des ressources basé sur aiNet est développé. Le but principal de ce modèle est de représenter le nombre fixe total des cellules B dans un ARB avec une condition centralisée où chaque ARB concurrencé pour allouer une ressource. Les ARBs qui n'ont pas des ressources sont retirés du réseau.

Alonso et Nino[61] ont proposé une approche basée sur le modèle aiNet.

Tian et Yang [62] ont proposé un algorithme de aiNet modifié pour résoudre les problèmes d'optimisation des fonctions. Les améliorations principales présentées dans cet algorithme sont : 1) l'intervalle de recherche est un paramètre variable dépend au nombre de générations, dans lequel une cellule survit. 2) garder les cellules qui ont les plus hautes affinités. 3) le taux d'expansion est contrôlé pour maintenir la diversité du réseau.

Graaff et Engelbrecht [63] ont introduit un modèle de classification nommé LNNAIS (Local Network Neighborhood Artificial Immune System). Ce modèle utilise le concept de voisinage (neighborhood) pour déterminer les liens entre les concepts artificiels du lymphocyte (ALCs : artificial lymphocyte concept)

Des autres travaux se basent sur les modèles de réseaux immunitaires peuvent être trouvée dans les Li et Hao. [64](2008), Neal (2001), Castro and Zuben (2000), Secker et al. (2003), Bentley et Timmis (2004), Franca et al. (2005), Qiao et Jianping (2006).

III.9. Conclusion :

On a commencé dans ce chapitre par une introduction des concepts de base de système immunitaires biologique et on a les séparée en des organes (thymus, moelle) et des cellules telles que les lymphocytes. On a défini aussi les deux systèmes (inné et adaptatif) responsables de la protection du corps humain et les caractéristiques de chacun.

Ensuite on a pris le mécanisme que le corps suit quand il détecte une intrusion, est abordé.

Les caractéristiques de système immunitaire et ses théories telles que la sélection négative et la sélection clonale, qui encourage les chercheurs pour l'adapter afin de réaliser des systèmes immunitaires artificiels.

Des conditions ont été adoptés pour la conception de ces systèmes, pour modéliser un système immunitaire artificiel pour résoudre des problèmes très complexe.

Enfin, ce chapitre a présenté les différents algorithmes du système immunitaire artificiel, et un état de l'art pour citer quelques travaux basés sur ses principes.

Chapitre IV : Les systèmes chaotiques

IV.1. Introduction :

La science se distingue par le déterminisme, la prévisibilité. Selon Laplace, un astrophysicien français (1749-1827) "La connaissance des lois de l'évolution de l'univers et de son état actuel. Permet de prévoir rigoureusement ses états futurs." c'est ce qu'on appelle le déterminisme, théorie philosophique selon laquelle les phénomènes naturels et les faits humains sont causés par leurs antécédents. C'était aussi la vision de Newton (1642/1727) qui reposait sur le fait qu'à partir du présent, on pourrait connaître l'avenir et le passé, vu que les lois universelles sont immuables. C'est Poincaré (1854/1912), le premier, qui a avancé "la théorie du chaos".

La définition du terme "chaos" est présente un état particulier d'un système, leur comportement est caractérisé par son absence de répétition et sa sensibilité aux conditions initiales, et leur imprédictible à long terme. Plusieurs chercheurs d'horizons ont commencé à s'intéresser à des problèmes non linéaires jusqu'alors sans solution parce qu'imprédictibles et regroupés sous la dénomination de chaos. Ils ont cherché à répondre à des questions telles que : Les arythmies cardiaques ou les variations d'une population animale obéissent-elles à des règles ? Les mouvements commerciaux ou les marchés financiers peuvent-ils s'expliquer ? Le modèle du biologiste Robert May [72] décrit l'évolution de la population d'une espèce en fonction des contraintes du milieu (famines, épidémies, ...) et obéit à une dynamique chaotique (équation logistique). Richard Cohen, physicien et cardiologue, a montré lors de simulations que le caractère chaotique du rythme cardiaque pourrait expliquer l'apparition de crise cardiaque. William Baumol et Jess Benhabib [72], économistes, se sont intéressés à la théorie du chaos et à ses applications à l'économie. Le chaos a ainsi trouvé de nombreuses applications dans les domaines tant physique que biologique, chimique ou économique, par exemple.

IV.2. La théorie du chaos est-elle née dans les années 1970 ? :

La réponse à cette question est par l'affirmation et la négation.

Non, car le phénomène de sensibilité aux conditions initiales a été découvert dès la fin du XIXe siècle par Henri Poincaré, puis par Hadamard avec un modèle mathématique abstrait aujourd'hui baptiser « flot géodésique sur une surface à courbure négative ». Cette

découverte a entraîné un grand nombre de travaux importants, principalement dans le domaine des mathématiques. [73]

Oui, car ce n'est véritablement dans les années 70 que la théorie du chaos s'est progressivement imposée sur le devant de la scène scientifique. Le terme suggestif de « chaos » n'a d'ailleurs été introduit qu'en 1975 par les deux mathématiciens TienYien Li et James A. Yorke. La théorie du chaos doit sa popularisation aux progrès de l'informatique. Cette nouvelle technologie a rendu possible la visualisation de l'incroyable complexité de ces systèmes dynamiques, auparavant réservée aux seuls « initiés » capables d'absorber le formalisme mathématique idoine. [74]

IV.3. Les Conditions d'obtention du chaos [73] :

- **La non-linéarité** : Un système linéaire, ne peut pas être jamais chaotique donc ce dernier est un système dynamique non linéaire.
- **Le déterminisme** : Un système chaotique a des règles fondamentales déterministes et non probabilistes. Le déterminisme est la capacité à « prédire » le futur d'un phénomène à partir d'un événement passé ou présent. L'évolution irrégulière du comportement d'un système chaotique est dû aux non linéarités.
- **La sensibilité aux conditions initiales** : De très petits changements sur l'état initial peuvent mener à des comportements radicalement différents dans son état final.
- **L'imprévisibilité** : En raison de la sensibilité aux conditions initiales.

IV.4. Les La sensibilité aux conditions initiales :

D'après James Gleick [72], le premier scientifique à s'être intéressé aux systèmes complexes serait le météorologue Edward LORENZ. Dans les années 60, Lorenz travaillait au M.I.T sur les questions de prévisions météorologiques. Il avait réussi à réduire la météorologie à sa plus simple expression en décrivant les mouvements de l'air et de l'eau par de simples équations, puisque c'est l'interaction de ces deux éléments qui fait la pluie et le beau temps. L'ordinateur se faisait alors une joie de régurgiter à Lorenz des bulletins météo. Son raisonnement était le suivant : puisque la météorologie est régie par les lois de la nature, et que le monde suit une trajectoire déterministe, il suffit d'introduire des données

plus ou moins précises dans un ordinateur pour que celui-ci donne une projection climatique plus ou moins précise. Ce faisant, Lorenz marchait encore sous la bannière de Newton : " étant donné une connaissance approximative des conditions initiales et une compréhension des lois de la nature, on peut déterminer le comportement approximatif du système ".

Un jour d'hiver 1961, Lorenz voulut reprendre le calcul d'un bulletin météo interrompu prématurément. Sans reprendre tous ses calculs depuis le début, il introduit son dernier listage en tronquant les nombres à 3 décimales : 0,506 (127), supposant que la différence – un pour un millier – sera sans conséquence. Lorsqu'il revient, une heure plus tard, le graphique, censé reproduire exactement le précédent, suit une évolution de plus en plus divergente jusqu'à la disparition de toute ressemblance. Ainsi, un petit changement initial avait entraîné un énorme changement final.

Le chaos impose donc une limite fondamentale à notre aptitude à prévoir la météo. Cela ne veut pas dire qu'il faut cesser d'écouter le bulletin météorologique. Les prévisions à court terme, sur un ou deux jours, et sur une superficie restreinte comme celle de l'Algérie sont assez fiables ; en revanche, au-delà de 6 ou 7 jours, les prévisions deviennent spéculatives, voire carrément fausses. Cette limite de la connaissance est incontournable. Même si on couvrait la terre de stations météo se touchant les unes les autres, il y aurait toujours de petites fluctuations dans l'atmosphère, si minuscules qu'elles ne pourraient être détectées, pour s'amplifier et modifier le climat de la planète entière.

C'est pourquoi le chaos a souvent été explicité par ce qu'on appelle l'effet papillon : le battement d'aile d'un papillon aujourd'hui à Pékin engendre dans l'air suffisamment de remous pour influencer sur l'ordre des choses et provoquer une tempête le mois prochain à New-York.

L'effet papillon prit une désignation technique : la dépendance sensitive aux conditions initiales. Ce que nous apprend le modèle de Lorenz, c'est qu'aucune incertitude initiale, aussi négligeable puisse-t-elle paraître, ne doit être négligée dans un système doté de sensibilité aux conditions initiales, vu ses conséquences à long terme. Cela revient aussi à dire que la prédiction à long terme n'a pas de sens, étant donné le très grand nombre de

perturbations minimales mais incontrôlées présentes non seulement en météorologie, mais aussi dans beaucoup d'autres systèmes.

C'est ce que l'on appelle le " chaos ". Le chaos tel que le scientifique le comprend ne signifie pas " absence d'ordre " ; il se rattache plutôt à une notion d'imprévisibilité, d'impossibilité de prévoir à long terme. Parce que l'état final dépend de manière si sensible de l'état initial, qu'un petit rien peut tout venir modifier, nous sommes fondamentalement limités dans la prédiction de cet état final.

En somme, notre connaissance de l'état initial est toujours entachée d'une certaine imprécision. [72]

IV.5. Les La sensibilité aux conditions initiales :

Un phénomène tire son imprédictibilité du nombre très nécessaire de paramètres en jeu dans sa description. Ce qui nous insiste à en donner une approche probabiliste qui peut être parfaitement satisfaisante, garde par définition une certaine marge d'aléatoire.

Par rapport du chaos, il n'en est rien, les systèmes chaotiques se comportent, en effet, d'une manière qui peut sembler aléatoire. Mais ce comportement est en fait décrit de manière déterministe par des équations non linéaires parfaitement déterministes, c'est-à-dire en particulier avec des outils mathématiques qui permettant une approche précise et certaine. Pour paraphraser une publicité célèbre, on pourrait écrire : "Ça ressemble à du hasard, ça a le goût du hasard, ...mais ce n'est pas du hasard !". [75]

IV.6. L'évolution vers le chaos :

Un système dynamique régulier vers le chaos est évolué par un nombre important des types, nous allons en présenter deux.

➤ Par intermittences

Pendant une certaine période de temps, le système conserve un régime périodique ou qui s'approche d'être périodique, autrement dit "régularité", il donne lieu à une sorte d'explosion chaotique par leur déstabilisation. et donne lieu à une nouvelle "bouffée" plus tard par leur stabilisation.

On a constaté que la fréquence et la durée des phases chaotiques avaient tendance à s'accroître plus on s'éloignait de la valeur critique de la contrainte ayant conduit à leur apparition. [75]

➤ Par doublement de la période

Par augmentation du paramètre de contrôle de l'expérience, la fréquence du régime périodique double, puis est multipliée par 4, par 8, par 16 < etc. Les doublements étant de plus en plus rapprochés, on tend vers un point d'accumulation auquel on obtiendrait hypothétiquement une fréquence infinie. C'est à ce moment que le système devient chaotique. [75]

IV.7. Les attracteurs :

Les trajectoires des points de l'espace des phases tendent vers un attracteur qui est un objet géométrique. Autrement dit un système est évolué par une ou plusieurs situations.

Une trajectoire évoluant vers un attracteur considéré est donné par un ensemble des points de l'espace des phases qui présente Le bassin d'attraction d'un attracteur. Dans un même espace des phases on peut donc avoir plusieurs attracteurs.

Il y a deux types d'attracteurs : les attracteurs réguliers et les attracteurs étranges ou chaotiques.

❖ Attracteurs réguliers

L'évolution de systèmes non chaotiques est caractérisée par les attracteurs réguliers.il y a deux sortes :

- ✓ **Un point fixe** : la trajectoire du pendule dissipatif simple (dans l'espace des phases représentant son altitude et sa vitesse), par exemple, tend vers l'origine du repère, quelles que soient la position et la vitesse initiales.
- ✓ **Un cycle limite** : la trajectoire du pendule idéal dans ce même espace des phases.

Pour tous les attracteurs réguliers, c'est à dire pour tous les systèmes non-chaotiques, des trajectoires qui partent de "points" proches l'un de l'autre dans

l'espace de phase 1 restent indéfiniment voisines. On sait donc prévoir l'évolution de ces systèmes, à partir d'une situation connue. [75]

❖ Les attracteurs étranges

L'évolution des systèmes chaotiques est caractérisée par Les attracteurs étranges. Au bout d'un certain temps, tous les points de l'espace des phases (et appartenant au bassin d'attraction de l'attracteur) donnent des trajectoires qui tendent à former l'attracteur étrange.

A grande échelle, un attracteur étrange est une surface repliée plusieurs fois sur elle-même et pas une surface lisse. Par conséquence, les trajectoires des points divergent parce que, par définition deux point ne peuvent avoir la même évolution, mais à cause que l'attracteur a des dimensions finies l'attracteur doit se replier sur lui-même.

De plus, deux points très proches au départ (conditions initiales) peuvent se retrouver à deux extrémités opposées de l'attracteur (conditions finales). Cela explique le comportement divergent des phénomènes chaotiques.

On obtient ainsi des attracteurs différents (en fonction des systèmes étudiés), qui présentent des formes diverses et surprenantes. [75]

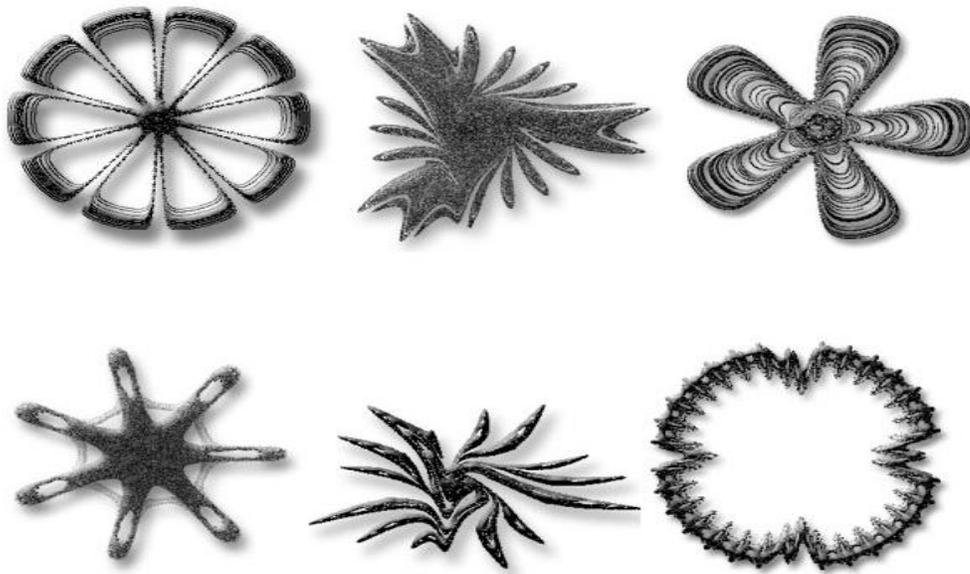


Figure 12 : Attracteurs étranges.

IV.8. Intégration de Chaotique dans CSA :

D'autre part, le chaos qui expose le dynamique d'un comportement instable, pseudo-aléatoire, et non périodique permet d'optimiser le système de recherche et le rendre plus capable d'escalade et d'échapper à un optimum local [79]. En outre, une étude récente a révélé que le chaos existe également dans le processus de réponse immunitaire [80].

Dans cette partie, un CCSA intégrant le CSA (**chapitre III**) et la carte chaotique logistique est présenté. [81],

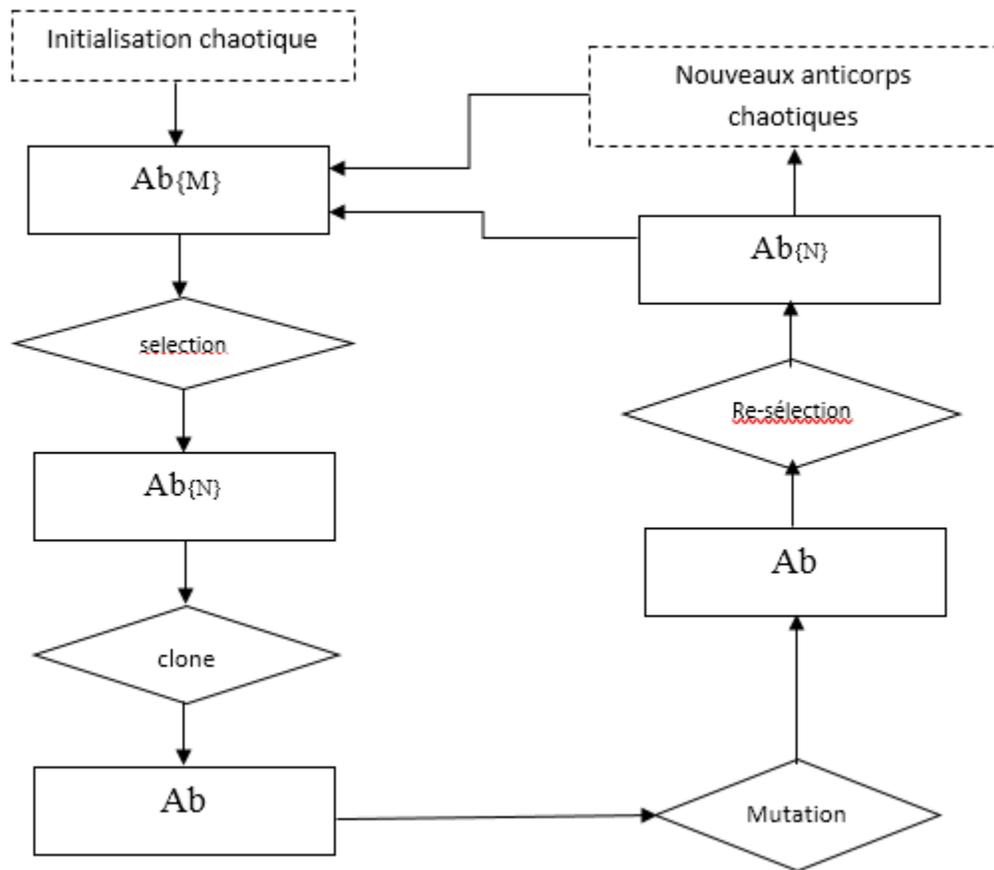


Figure 13 : Chaotique dans le CSA.

Dans le CCSA, l'initialisation du répertoire des anticorps et la nouvelle introduction des anticorps sont générés à partir de systèmes chaotiques. Le L'organigramme de la CCSA est illustré à (la **Figure 13**).

IV.09. Quelques exemples de récurrences chaotiques :

On peut représenter le chaos par plusieurs fonctions mathématiques.

IV.9.1. La récurrence logistique :

Une récurrence logistique est un exemple simple de suite dont la récurrence n'est pas linéaire. Souvent citée comme exemple de la complexité pouvant surgir de simple relation non linéaire, cette récurrence fut popularisée par le biologiste Robert May en 1976. [76]

Sa relation de récurrence est :

$$X_{n+1} = \mu X_n (1 - X_n)$$

Elle conduit, suivant les valeurs de μ , à une suite convergente, une suite soumise à oscillations ou une suite chaotique.

Elle est la solution en temps discret du modèle de Verhulst [76]. Le terme « logistique » provient de l'ouvrage de Pierre François Verhulst qui appelle courbe logistique la solution en temps continu de son modèle. Il écrit en 1845 dans son ouvrage consacré à ce phénomène : « *Nous donnerons le terme de logistique à cette courbe* ». L'auteur n'explique pas son choix mais « logistique » a même racine que logarithme et *logistikos* signifie « calcul » en grec.

Comportement selon μ :

Dans le modèle logistique, la variable notée ici x_n désigne l'effectif de la population d'une espèce. En faisant varier le paramètre μ , plusieurs comportements différents sont observés :

- Si $0 \leq \mu \leq 1$, l'espèce finira par mourir, quelle que soit la population de départ.
- Si $1 \leq \mu \leq 3$, la population se stabilisera sur la valeur $\frac{\mu-1}{\mu}$ quelle que soit la population initiale.
- Si $3 < \mu \leq 1 + \sqrt{6}$ (approximativement 3,45), la population oscillera entre deux valeurs. Ces deux valeurs sont indépendantes de la population initiale.
- Si μ est légèrement plus grand que 3,54, la population oscillera entre huit valeurs, puis 16, 32, etc.
- Vers $\mu = 3,57$, le chaos s'installe. Aucune oscillation n'est encore visible et de légères variations de la population initiale conduisent à des résultats radicalement différents.
- La plupart des valeurs au-delà de 3,57 présentent un caractère chaotique, mais il existe quelques valeurs isolées de μ avec un comportement qui ne l'est pas. Celles-ci s'appellent parfois les îles de la stabilité. Par exemple autour de la valeur 3,82, un petit intervalle de valeurs de μ présente une oscillation entre trois valeurs et pour μ légèrement plus grand, entre six valeurs, puis douze, etc. ces comportements sont encore indépendants de la valeur initiale.
- Au-delà de $\mu = 4$, la population quitte l'intervalle $[0 ; 1]$ et diverge presque pour toutes les valeurs initiales.

Un diagramme de bifurcation permet de résumer tout cela :

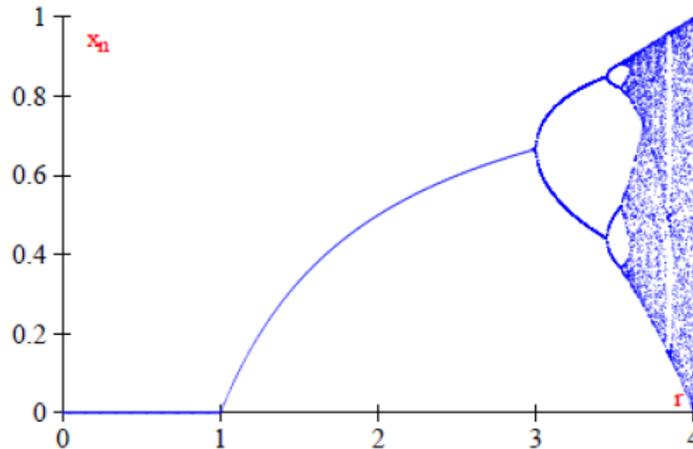


Figure 14 : Diagramme de bifurcation de la récurrence logistique dont l'axe horizontal porte les valeurs du paramètre μ (noté r), tandis que l'axe vertical montre les valeurs limites possibles.

IV.9.2. La récurrence sine :

La récurrence sine d'une (01) dimension a pour représentation d'état :

$$X_{n+1} = \lambda \sin(\pi X_n)$$

Avec $\lambda = 1$ le comportement chaotique est généré par une manière très similaire à la fonction logistique. Comme la récurrence logistique, la carte sine est quadratique au voisinage de $x = 0,5$. Elles ont une distribution probabiliste et une évolution vers le chaos par doublement de période presque identique. Les fenêtres se produisent périodiquement dans le même ordre. Elle a le même nombre de Feigenbaum que la carte logistique. Malgré les similitudes, il existe quelques différences, l'exposant de Lyapounov2 est d'environ cinquante pour cent plus petit. Les bifurcations par doublement de période surviennent plus tôt, et les fenêtres périodiques sont plus larges par rapport à la carte logistique. [77]

IV.9.3. La récurrence standard : [78]

L'origine de l'utilisation et de la bonne reconnaissance de la carte standard réfère au domaine de la physique des particules. Le problème est examiné par Fermi avec une balle qui rebondit entre un mur fixe et un autre oscillant (puisque'il est analogue au

mécanisme d'accélération des rayons cosmique où les particules sont accélérées par une collision). Pour chaque impact de la balle sur le mur la phase de l'oscillation est choisie au hasard.

Ce problème de l'accélération des particules peut être représenté par une simple fonction à 2 dimensions connue sous le nom de carte standard (également connu sous le nom carte de Chirikov-Taylor ou carte standard de Chirikov). Il est défini par :

$$\begin{aligned}X_{n+1} &= X_n + K \sin Y_n \\Y_{n+1} &= Y_n + X_{n+1}\end{aligned}$$

Où X_n et Y_n sont prises modulo 2π .

Cette carte décrit également le mouvement d'un système mécanique simple, appelé rotateur forcé (kicked rotator). Il se compose d'un bâton qui est libre de la force gravitationnelle, et qui tourne dans un plan sans frottement autour d'un axe situé dans l'un de ses extrémités, et est périodiquement frappé. Les variables X_n et Y_n , représentent respectivement, la position et le moment angulaire du bâton après le n ème coup. La constante K mesure l'intensité des coups.

Pour $K = 0$, la carte n'est pas linéaire et seules les orbites périodiques et quasi périodiques existent. Lorsqu'elles sont tracées dans l'espace des phases, les orbites périodiques apparaissent comme des courbes fermées, et les orbites quasi périodiques comme des petites courbes fermées dont leurs centres se situent dans une autre courbe fermée plus grande. Ces types d'orbites sont observés suivant les conditions initiales utilisées. La non-linéarité de la carte est augmentée lorsque k augmente. La fig.01.3 représente une collection d'orbites différentes de la carte standard pour des valeurs diverses de k .

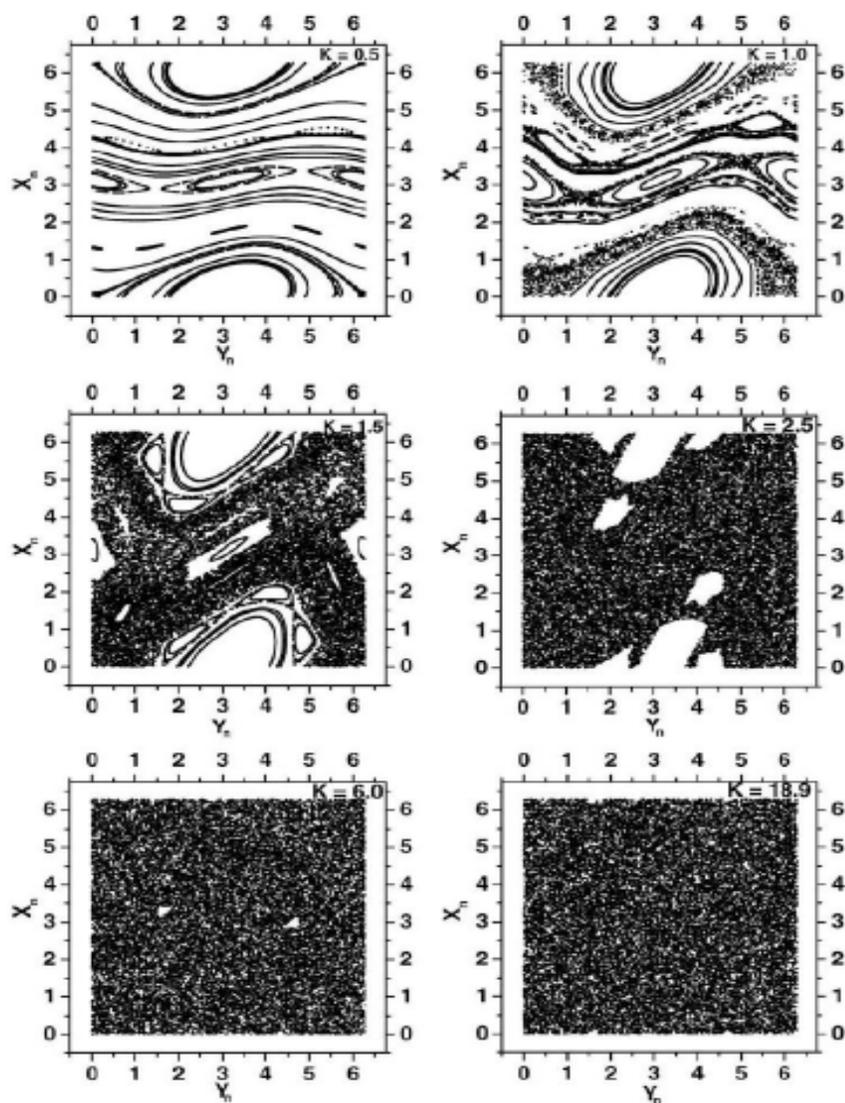


Figure 15 : L'espace de phase de la carte standard pour $K = 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 6.0$ and 18.9 .

IV.11. Conclusion :

On a commencé dans ce chapitre par quelques rappels sur les systèmes chaotiques ont été effectués. On a défini aussi les conditions d'obtention de ce système et la différence entre le chaos et l'aléatoire.

Ensuite on a pris les attracteurs et l'évolution vers le chaos.

Enfin, nous avons parlé de quelques exemples de récurrences chaotiques.

Chapitre IV : Les systèmes chaotiques

Pour conclure, on affirme que les systèmes chaotiques possèdent des propriétés similaires à celles requises en cryptographie ordinaire et courante.

Chapitre V :

Application

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre, on va présenter notre approche basée sur l'utilisation d'une des algorithmes de système immunitaire artificiel combiné avec les attracteurs chaotique pour optimiser les solutions de recalage des images satellitaires. On a déterminé la déformation choisis pour estimer la meilleure transformation, ainsi que de présenter la mesure de similarité utilisée pour déterminer le degré de ressemblance des images recalés.

Par la suite, notre application, et une comparaison entre les résultats obtenus par ce dernier et une autre approche et présenté.

V.2. La formulation des problèmes :

Le problème proposé peut être formulée comme suit :

Soit les deux images I_1 (image source) et I_2 (image cible), ces images acquises par même système. Notre objectif est de trouver une transformation géométrique T qui aligne correctement les deux images. T est une transformation rigide définie par un ensemble de paramètres (R, X, Y) , tels que :

$$I_1 = T(I_2, R, X, Y) \dots (V.1)$$

Nous cherchons pour les valeurs des paramètres qui fournissent une meilleure superposition des deux images. À cette fin, nous avons besoin d'une mesure qui évalue quantitativement la relation entre les deux images quand, ils sont superposés, et une stratégie de recherche.

V.3. Mesure de similarité :

Dans cette approche, nous nous choisissons l'information mutuelle comme une mesure de similarité, car elle est la plus utilisée couramment dans les algorithmes de recalage d'image :

V.3.1. L'entropie conjointe et le recalage des images :

Si on considère les deux images à recalé comme deux variables aléatoires X et Y , les mesures précédentes peuvent nous servir efficacement pour la caractérisation de la relation de dépendance entre les deux images et à trouver la meilleure transformation en les optimisant.

Ainsi la minimisation de l'entropie conjointe de I_1 et I_2 calculée sur l'histogramme conjoint aboutit au meilleur alignement.

$$H(I_1, I_2) = -\sum_{i,j} P(i,j) \log P(i,j) \dots (V.2)$$

En effet l'aspect de l'histogramme conjoint reflète directement l'entropie conjointe : l'entropie conjointe est une mesure de dispersion de la distribution conjointe présentée par l'histogramme conjoint. Plus ce dernier est inhomogène, plus l'entropie conjointe est élevée, plus l'alignement est médiocre.

V.3.2. L'information mutuelle et le recalage des images :

De la même manière, la maximisation de l'information mutuelle permet de conduire au meilleur recalage entre I_1 et I_2 :

$$IM(I_1, I_2) = -\sum_{i,j} P(i,j) \log \frac{P(i,j)}{P(i)P(j)} \dots (V.3)$$

Où :

$$IM(I_1, I_2) = H(I_1) + H(I_2) - H(I_1, I_2) \dots (V.4)$$

D'une façon informelle, l'information mutuelle exprime la quantité d'information de l'image I_1 , contenue dans l'image I_2 , ou vis-versa. C'est l'aptitude d'une image à expliquer correctement l'autre. Le fait que l'IM est l'expression d'une distance entre la somme de deux entropies marginales et l'entropie conjointe la rend plus fiable et moins sensible au contenu et aux dimensions du domaine de recouvrement que l'entropie conjointe seule.

V.4. La stratégie de recherche :

Selon la définition de l'information mutuelle, la maximisation de cette mesure semble à être une alternative prometteuse pour trouver le bon alignement des images. Par conséquent, on doit définir une stratégie de recherche très efficace pour trouver une transformation T^* dans un espace de recherche \mathfrak{S} tel que :

$$T^* = \operatorname{argmax}_{T \in \mathfrak{S}} (IM(I_2, T(I_1, R, X, Y))) \dots (V.5)$$

Le \mathfrak{S} espace de recherche dans le cas de notre approche est l'ensemble des transformations rigides. À cette fin, nous suggérons une approche d'optimisation basée sur la population qui exploite les caractéristiques d'évolution de systèmes artificiels immunitaire.

V.5. Approche proposée :

L'approche proposée est une approche inspirée du système immunitaire artificiel, plus précisément de CLONALG (**chapitre III**) combiné avec l'attracteur chaotique logistique (**chapitre IV**).

Les principaux aspects pris en compte sont :

- ✓ Maintien d'un ensemble de cellules mémoires
- ✓ Les anticorps les plus stimulés sont sélectionnés et clonés.
- ✓ Les cellules non stimuler sont détruit.
- ✓ Maturation de l'affinité et ré-sélection les clones qui ont les plus grandes affinités avec l'antigène.
- ✓ Génération et le maintien de la diversité

Pour l'adaptation de chaotique CLONALG dans notre problème on doit d'abord définir un schéma de représentation appropriée (**la figure 13**).

V.5.1. Représentation des éléments d'AIS :

Le schéma de représentation peut être décrit par la définition des éléments provenant de l'AIS suivants :

- **Antigène** : Elle représente le problème à résoudre. Dans notre contexte, c'est la transformation \mathbf{T}^* qui aligne au mieux les images à recaler en maximisant leurs informations mutuelles :

$$\mathbf{T}^* = \mathit{argmax}_{T \in \mathfrak{S}} (\mathit{IM}(I_2, T(I_1, \mathbf{R}, \mathbf{X}, \mathbf{Y}))) \dots \text{(V.6)}$$

- **Anticorps** : Comme une transformation rigide T , l'anticorps est une solution potentielle au problème, il peut être considéré comme une combinaison de paramètres possibles $(\mathbf{R}, \mathbf{X}, \mathbf{Y})$.

- **Clone** : vue comme des progénitures des solutions, Un clone a la même structure qu'une solution. Il est également représenté par un vecteur (R, X, Y) .
- **Affinité antigène-anticorps** : Selon le problème analysé, la valeur d'affinité d'un anticorps est étroitement liée à la valeur d'information mutuelle calculée pour la transformation correspondante.

$$\text{affinité} = IM(I_2, T(I_1, R, X, Y)) \dots (\text{V.7})$$

V.5.2. L'algorithme proposé :

- ✓ **Etape 1** : génération d'un ensemble des anticorps (R, X, Y) , compose de deux sous-ensembles on utilise l'attracteur chaotique logistique à partir d'un anticorps de départ $(\mathbf{Ab} = \mathbf{M} + \mathbf{Ab}_r)$.
- ✓ **Etape 2** : pour chaque élément \mathbf{Ab}_i , on calcule l'affinité (\mathbf{IM}_i) entre I_2 et les images transformées $\mathbf{T}(I_1, \mathbf{R}_i, \mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i)$. Les \mathbf{IM}_i sont triés dans un ordre descendant.
- ✓ **Etape 3** : Sélectionner les n meilleurs éléments de (\mathbf{M}) qui ont les plus hautes affinités et générer pour chaque anticorps sélectionné un nombre des clones (\mathbf{C}_i) . Le nombre des clones pour chaque anticorps est calculé de la manière suivante :

$$N_c = \sum_{i=1}^n \text{round}\left(\frac{\beta * N}{i}\right) \dots (\text{V.8})$$

Avec :

N_c : Nombre des clones générés.

β : Coefficient de multiplication.

N : La taille total des anticorps.

Le nombre des clones pour chaque anticorps est proportionnel à son affinité : l'élément qui possède la plus haute affinité aura le plus haut nombre de clones et réciproquement.

- ✓ **Etape4** : Muter ces clones (\mathbf{C}_i) avec un taux inversement proportionnel à leurs affinités pour construire des nouvelles cellules \mathbf{C}_i^* : l'élément qui possède la plus haute affinité aura un taux de mutation faible et réciproquement.

Dans notre approche, on utilise une mutation gaussienne. Sa formule est :

$$Ab_i^* = Ab_i + \alpha \cdot X \dots (V.9)$$

Avec :

Ab_i^* ; Est la valeur mutée d' Ab_i sélectionné.

X : Variable aléatoire [-1, 1].

α : Taux de mutation représenter par :

$$\alpha = e^{-\rho f} \dots (V.10)$$

Où :

ρ : Coefficient de contrôle de désintégration.

f : Affinité (IM).

- ✓ **Etape 5** : pour chaque élément C_i^* , on calcule l'affinité (IM_i) entre I_2 et les images transformées $T(I_1, R_i, X_i, Y_i)$. Les IM_i sont triés dans un ordre descendant.
- ✓ **Etape 6** : Sélectionner les n meilleurs éléments de C_i^* qui ont les plus hautes affinités
- ✓ **Etape 7** : Remplacer les anticorps de faible affinité par des nouveaux anticorps générés aléatoirement.
- ✓ **Etape 8** : injection des anticorps générés chaotiquement à partir des meilleurs Ab .

Retourner à l'étape 2 et commencer la génération suivante jusqu'à la vérification d'un critère.

V.6. Application :

V.6.1. Interface graphique de l'application :

C'est une interface simple. A gauche, on trouve une zone de paramétrage (Entrées et Résultat) et à droite une zone de travail.

En cliquant sur le bouton (...) à droite de la zone de texte « Image référence », une boîte de dialogue « Télécharger image référence » s'ouvre donnant la main pour choisir une image à copier dans la zone « Image référence » (**Figure 16**)

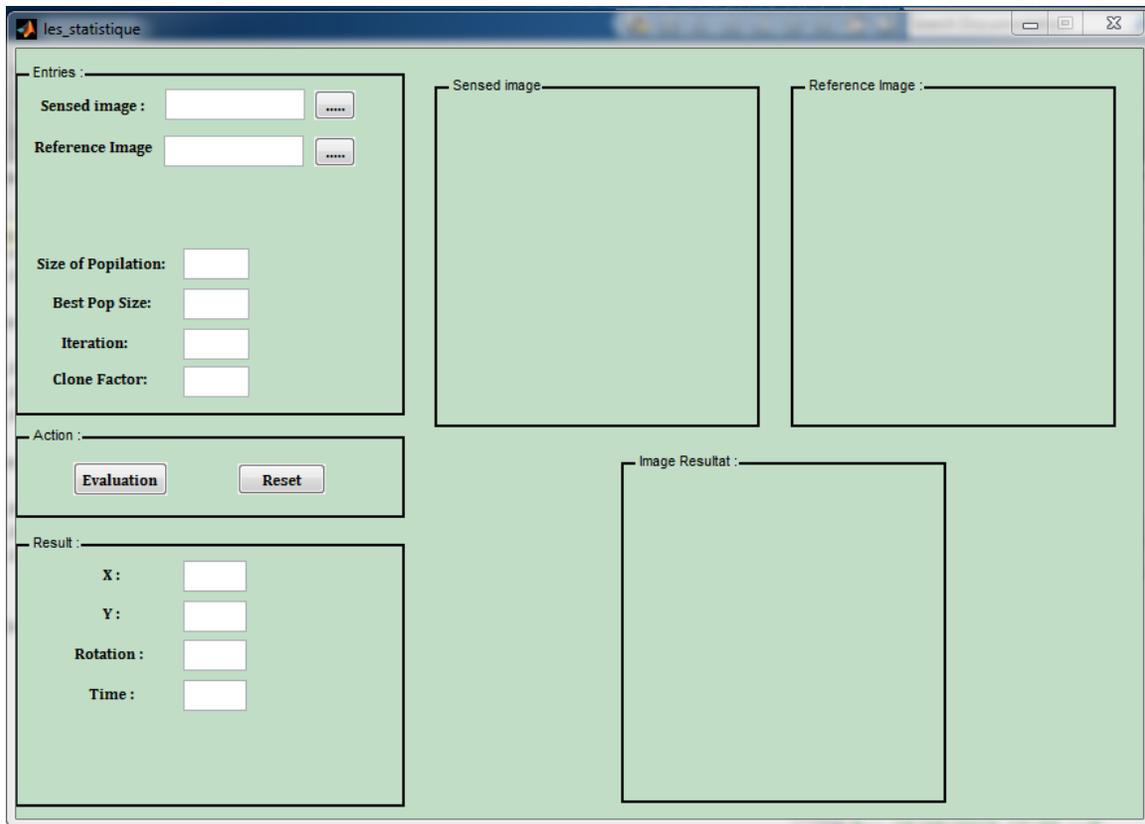


Figure 16 : Capture d'écran de l'interface graphique

De la même façon, une clique sur le bouton (...) à droite de la zone de texte « Image cible », une boîte de dialogue « Télécharger image cible » s'ouvre donnant la main pour choisir une autre image qui sera copiée dans la zone « Image cible ».

Après le remplissage des champs des paramètres (Entrées : Taille de population, meilleure taille de population, ...) et la vérification des ces derniers, le recalage se lance en cliquant sur le bouton Evaluation. Le résultat qui représente de l'image référence et l'image cible, sera affiché sur la zone « Image résultat », est X, Y, R, Time résultants sont représenté dans la zone « Résultats ».

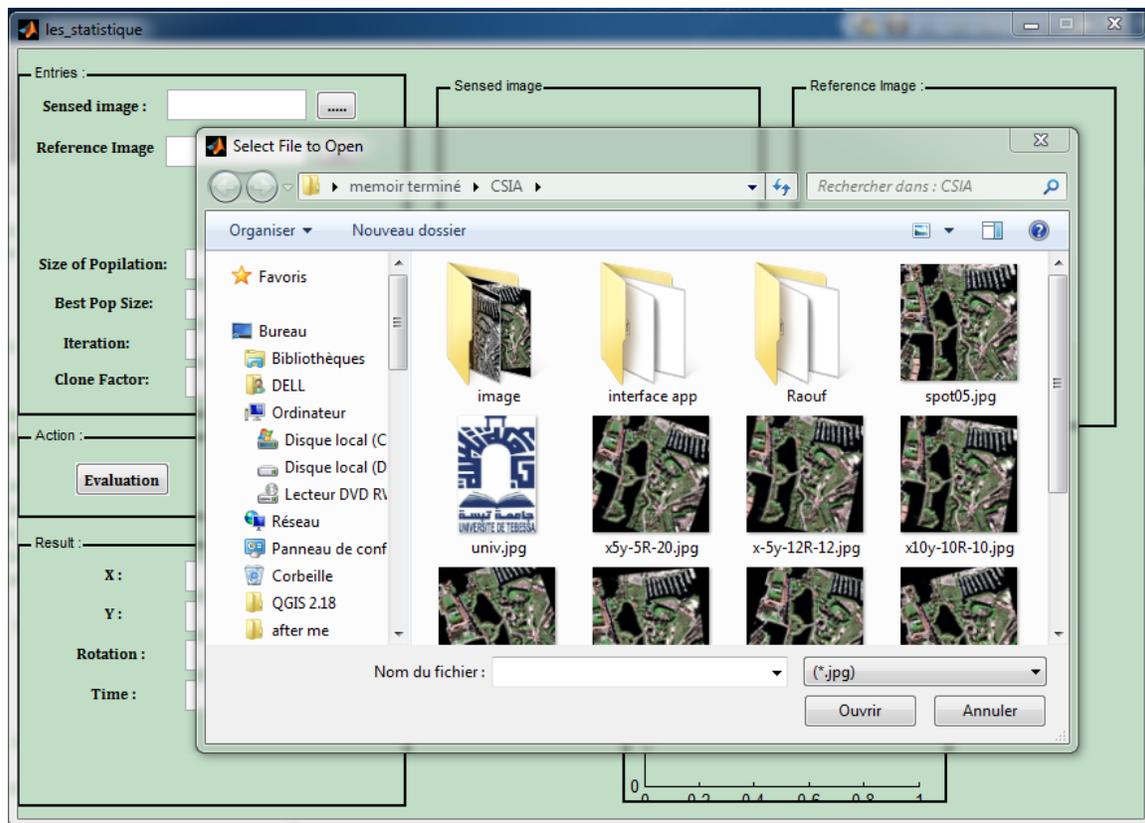


Figure 17 : Ouvertures des images (références et cible)

Le bouton Reset permet de nettoyer des zones images et des paramètres pour recommencer avec des nouvelles images et paramètres.



Figure 18 : capture d'écran après le lancement de notre application

V.6.2. Résultats expérimentaux :

Dans ce résultat, on essaye de recaler l'ensemble des images transformées représentées dans le tableau ci-dessous (**Tableau 3**), en utilisant les paramètres suivants :

La taille de population (Size of Population) = 25 ;

La taille de meilleures populations (Best Pop Size) = 5 ;

Itération = 10 ;

Facteur de clonage (Clone Factor) = 8 ;

	$\Delta\theta$	ΔX	ΔY
1	12	25	12
2	6	12	-15
3	15	15	10
4	-10	10	-10
5	20	-10	20
6	18	-15	25
7	-15	-12	20
8	10	18	5
9	-20	5	-5
10	-12	-5	-12

Tableau 3 : Les déformations appliquées sur l'image de Copenhague

Le **Tableau 4** représente une comparaison entre les résultats de recalage en utilisant notre approche, et des résultats obtenus par une autre approche basée sur le détecteur de HARRIS dans [70].

	Notre approche			Approche basée sur HARRIS		
	$\Delta\theta'$	$\Delta X'$	$\Delta Y'$	$\Delta\theta'$	$\Delta X'$	$\Delta Y'$
1	12,05	25	12	12.09	24.93	12.62
2	6,03	12	-15	6.03	12.40	-14.79
3	15,01	15	10	15.03	15.31	10.61
4	-10	10	-10	-10.05	10.33	-10.22
5	20,01	-10	20	20.01	-10.30	20.31
6	17,99	-15	25	18.09	-15.16	25.61
7	-15,01	-12	20	-15.05	-11.46	20.67
8	10	18	5	9.96	18.08	4.91

9	-20	5	-5	-19.84	4.97	-4.89
10	-12,04	-5	-12	-12.14	-4.67	-12.15
Moyenne (E)	0.02	0	0	0.07	0.26	0.36
Ecart type (σ_E)	0.01	0	0	0.05	0.15	0.22

Tableau 4 : Comparaison entre les résultats calculés par notre approche et une approche basée sur Harris

Pour calculer Erreur moyen (E) et l'écart type (σ_E) on utilise les formules suivantes :

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad \setminus \quad E_i = |\Delta \alpha_i - \Delta \alpha'_i|.$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - E)^2}.$$

L'évaluation de l'approche proposé est faite de deux manières : visuellement et quantitativement, et cela nous montre l'apport de l'intégration du chaos dans le processus de recalage est très avantageux et que la qualité de nos résultats est encourageante et surpasse les résultats de l'approche basée sur HARRIS.

V.7. Conclusion :

On a commencé dans ce chapitre par représentation de la formulation du problème posée, et on a défini l'information mutuelle comme une mesure de similarité entre deux images à recaler, avec l'explication de son principe, puis on a défini une stratégie de recherche pour trouver la transformation qui permet d'aligner deux images d'une manière très efficace. On a aussi représenté l'approche proposée en déterminant leurs éléments. Ensuite, on a essayé d'expliquer l'algorithme proposé, et de présenter les étapes suivies pour le mis en œuvre.

Enfin on a cité une comparaison entre notre approche et une autre approche basée sur le détecteur d'HARRIS.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Malgré que la détection automatique de changements dans les images satellitaire est considérée comme une tâche assez complexe, plusieurs travaux de recherche inspirées de la biologie sont proposées.

Dans ce manuscrit, nous avons utilisé le système immunitaire artificiel et les systèmes chaotiques pour concevoir une approche de recalage automatique des images satellitaires de haute afin de détecter les changements éventuels.

Nous avons commencé notre travail par un chapitre introductif à l'imagerie satellitaire où nous avons présenté quelques informations concernant le système Spot. Ensuite une présentation des concepts de base de recalage d'images et les différentes étapes suivies dans ce contexte ainsi qu'un état de l'art ont été montrés dans le deuxième chapitre.

Le troisième chapitre est destiné à présenter les différentes notions des systèmes immunitaires naturels et des systèmes immunitaires artificiels. Dans ce chapitre, nous avons exposée aussi les différents travaux qui ont exploité les systèmes immunitaires artificiels.

Les dernier chapitres vise à une présentation détaillée de notre approche en spécifiant l'algorithme de système immunitaire artificiel et les systèmes chaotiques choisis, la déformation sélectionnée pour estimer la meilleure transformation, et la mesure de similarité utilisée pour déterminer le degré de ressemblance des images recalées. L'interface de notre application ainsi que les résultats motivants qui démontrent la robustesse et la simplicité d'utilisation de notre approche sont déterminés.

Les perspectives d'amélioration de l'approche proposée sont :

1. Affinage de ce travail sur des images satellitaires afin de déceler de façon la plus précise possible les changements par la détection des zones ayant évoluées entrent deux (ou plus) observation.
2. Etendre le champ d'application l'algorithme décrit aux autres domaines tels que la médecine, etc.

Bibliographie

Références bibliographiques

- [1] K. S. Arun, T. Huang & S.D. Blostein. Least-squares fitting of two 3-D point sets, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 6, no. 5, pp. 698-700, 1987.
- [2] D. Akca. Generalized procrustes analysis and its applications in photogrammetry. Internal Colloquium at Photogrammetry and Remote Sensing Group of IGP – ETH Zurich. Federal Institute of Technology Zurich Institute of Geodesy and Photogrammetry, 2003.
- [3] P.J. Best & N.D. McKay. A Method for Registration of 3-D Shapes. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 2, pages 239-256, février 1992.
- [4] C.A. Pelizzari, G.T.Y. Chen, D.R. Spelbring, R.R. Weichselbaum & C.-T. Chen. Accurate three- dimensional registration of CT, PET, and/or MR images of brain. Journal of Computer Assisted Tomographie, vol. 13, pp. 20-26, 1989.
- [5] R.P. Woods, J.C. Mazziota & S.R. Cherry. MRI-PET registration with automated algorithm. Journal of Computer Assisted Tomography, vol. 17, no. 4, pp. 536-546, 1993.
- [6] Y. H. Lau, M. Braun and B.F. Hutton. Non-rigid image registration using a median-filtered coarse-to-fine displacement and a symmetric correlation ratio. Physics in Medicine and Biology, vol. 46, no. 4, pp. 1297-1319, 2001.
- [7] Gongjian Wen, Deren Li, Liangpei Zhang, Xiuxiao Yuan, A global optimal registration method for satellite remote sensing images, ISPRS, 2002.
- [8] S. Meshoul, M. Batouche and K. Belhadj-Mostefa, Robust Feature-Based Image Registration Using a Colony of Cooperating Artificial Ants, Brussels, Belgium. 200.
- [9] Prachya Chalermwat, Tarek El-Ghazawi, Jacqueline LeMoigne, (2001) 2-phase GA-based image registration on parallel cluster, Future Generation Computer System. 17(4): 467-476 (2001).
- [10] Meshoul, S, Batouche, M., Ant Colony System with Extremal Dynamics for Point Matching and Pose Estimation, IEEE, 2002.

- [11] Ch.Venkateswara Rao, Dr. K.M.M.Rao, A.S.Manjunath, R.V.N.Srinivas, Optimized of automatic image registration algorithms and characterization, ISPRS, 2004.
- [12] G. Da San Martino, F.A. Cardillo and A. Starita, A new swarm intelligence algorithm for image alignment, IEEE, 2006.
- [13] I. De Falco, A. Della Cioppa, D. Maisto, and E. Tarantino, Differential Evolution for the Registration of Remotely Sensed Images, Springer, 2007.
- [14] A. Draa, H. Talbi, M. Batouche, A genetic quantum hybridization for multi sensors image registration, In the proceedings of the Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'2004), Budapest, August 2004.
- [15] Hichem Talbi, Amer Draa, and Mohammad Batouche, A novel quantum-inspired evolutionary algorithm for multi sensors image registration, IAJIT, 2006.
- [16] Farhad Samadzadegan, Sara Saeedi, Mohammad Hoseini, Automatic Image to Map Registration Based on Genetic Algorithm, International Conference on Remote Sensing, Tenerife, Canary Island, Spain, December 16-18, 2006.
- [17] Anbang Xu and Ping Guo, Image Registration with Regularized Neural Network, Springer, 2006.
- [18] Lifeng Shang, Jian Cheng Lv and Zhang Yi, Rigid Medical Image Registration Using PCA Neural Network, Neurocomputing, vol. 69, pp. 1717-1722, Aug. 2006.
- [19] Flavio Luiz Seixas, Luiz Satoru Ochi, Aura Conci, Débora Muchaluat Saade, Image Registration Using Genetic Algorithms, GECCO'08, Atlanta, USA, 2008.
- [20] Nabil Neggaz et Abdelkader Benyettou, Recalage des images médicales par les algorithmes évolutionnaires, COSI'2009, 2009.
- [21] Li Hua, Wang Cui, Wang Anna, Medical Image Registration Based on More Features and Artificial Immune Algorithm, JCAI, 2009.

- [22] S. Suri, Tûrmer, P. Reinartz, U. Stilla, Registration of high resolution SAR and optical satellite imagery in urban areas, ISPRS Hannover Workshop 2009, 2-5 June 2009, Hannover, Germany. ISSN 1682-1777, 2009.
- [23] Vegh, V, Zhengyi Yang, Tien, Q.M., Reutens, D.C., Multimodal image registration using stochastic differential equation optimization, IEEE, 2010.
- [24] D.Sasikala and R.Neelaveni, Correlation coefficient measure of multimodal brain image registration using fast walsh hadamard transforms, IJET, 2010.
- [25] Jayabalan Jaya and Keppanagowder Thanushkodi, Implementation of Computer Aided Diagnosis System Based on Parallel Approach, Journal of Computer Science 7 (2): 291-297, 1011.
- [26] J. Kim, Integrating Artificial Immune Algorithms for Intrusion Detection, PhD Thesis, University College London, 2002.
- [27] leandro nunes de castro, Fernando j. von Zuban, the construction of a Boolean competitive neural network using ideas from immunology neurocomputing pp51-85,2003
- [28] leandro nunes de castro, Fernando j. von Zuban, learning and optimization using the clonal selection principale, transaction on evolutionary computation /special issue on artificial immune systems, vol 6, n3, pp 239-251, 2002
- [29] De Castro. L.N & Von Zuban .F.J. Artificial Immune Systems: Part I –Basic theory and applications , Technical report, TR-DCA-01/99, December 99.
- [30] Jerne. N. K. Towards a Network theory of the immune system, Ann. Immunol. (Inst.Pasteur) 125C, pp. 373-389, 1974.
- [31] J. Timmis. Artificial Immune Systems: A novel data analysis technique inspired by the immune network theory, PhD Thesis, University of wales, 2001.
- [32] D. Dasgupta «Artificial Immune Systems and Their Application », Springer-Verglas, 1999.

- [33] J. Timmis & T. Knight & L.N. De Castro & E.Hart, An overview of Artificial immune Systems, Natural computation series, pages 51-86, Springer, 2004.
- [34] J. Timmis & L. N. De Castro, Artificial Immune Systems: A new computational Intelligence Approach, Springers-Verglas, London, 2002.
- [35] J. Timmis & De Castro. L. N, Artificial Immune System as a novel Soft Computing Paradigm, To appear in the Soft Computing Journal, vol7, Issue 7, 2003
- [36] Perelson. A.S & Oster. G.F, Theoretical studies of clonal selection minimal antibody repertoire size and reliability of Self-Nonself discrimination. J. theor. Biol, 81, pp 645-670, 1979.
- [37] Forrest. S & Perelson.A & Allen.L & Cherukuri. R, Self-Nonself Discrimination in a computer Proc. Of the IEEE Symposium on research in Security and Privacy, pp. 202-212, 1994.
- [38] Ayara M., Timmis J., Castro L. de, and Duncan R., Negative Selection: How to Generate Detectors, In 1st International Conference on Artificial Immune Systems, pp. 89-98, September.2002.
- [39] Forrest. S & Hofmeyr. S & Somayji .A & Longstaff .T, A sense of self for Unix processes, Proceeding of the 1996 IEEE Symposium on Research in Security and Privacy, 120-128, 1996.
- [40] De Castro.L.N & Von Zuben. F.J., The clonal selection algorithm with engineering application, Proc of GECCO00, Workshop Proceeding, 36-37, 2000.
- [41] De Castro, L.N and J.V. Zuben, Learning a,d Optimization using Clonal Selection Principle,IEEE Trans on Evolutionary Computation, Special Issue on Artificial Immune Systems, 6(3): 239-251, 2002.
- [42] Ruo Chen L., Haifeng D. and Licheng J., Immunity Clonal Strategies. Proceeding of Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia applications (ICCIMA'03), 27-30 Sept., pp. 290-295, 2003.

- [43] Zuo X. and Li S., The Chaos artificial Immune Algorithms and Its Application to RBF Neuro-Fuzzy Controller Design. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Volume 3, Issue, 5-8 Oct, Page(s): 2809-2814, 2003.
- [44] Garrett S., Parameter-Free Adaptive Clonal Selection. Congress on Evolutionary Computation (CEC2004), 19-23 June, Volume: 1, pp.: 1052-1058, 2004.
- [45] Liu R., Jiao L. and Du H., Adaptive Immune Clonal Strategy Algorithm. 7th International Conference on Signal Processing (ICSP'04), 31 Aug.-4 Sept., Volume: 2, pp: 1554-1557, 2004.
- [46] Yu Y. and Hou C., A Clonal Selection Algorithm By Using Learning Operator. Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai, 26-29 Aug, 2004.
- [47] Cutello V., Narzisi G., Nicosia G., and Pavone M., An Immunological Algorithm for Global Numerical Optimization. Artificial Evolution: 7th Int. Conference, Evolution Artificielle, EA 2005, October 26-28, Lille, France, Springer, LNCS 3871:284-295, 2005.
- [48] Bian X. and Qiu J., Adaptive Clonal Algorithm and Its Applications for Optimal PMU Placement. Proceedings of 2006 International Conference on Communications, Circuits and Systems, 25-28 June, Volume: 3, on page(s): 2102-2106, 2006.
- [49] Cutello V., Nicosia G. and Pavone M., Real Coded Clonal Selection Algorithm for Unconstrained Global Optimization using a Hybrid Inversely Proportional Hyper mutation Operator. The 21st Annual ACM Symposium on Applied Computing, SAC 2006, April 23-27, Dijon, France. ACM Press, vol. 2 pp. 950-954, 2006.
- [50] Gong M., Jiao L., and Ma W., Improved Real-Valued Clonal Selection Algorithm Based On A Novel Mutation Method. Proceedings of 2007 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems Nov.28-Dec.1, Xiamen , China, 2007.

- [51] Gong M., Zhang L., Jiao L. And Ma W., Differential Immune Clonal Selection Algorithm. Proceedings of 2007 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System Nov.28-Dec.1, Xiamen, China, 2007.
- [52] Dabrowski J. and Kubale M., Computer Experiments with a Parallel Clonal Selection Algorithm for the Graph Coloring Problem. IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing (IPDPS 2008), 14-18 April, Miami, FL, USA, pp.1-6, 2008.
- [53] Li H., Hao X. and Zhang L., 2008. A Clonal Selection Algorithm Based Optimal Iterative Learning Control Algorithm. Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 25-27, Changqing, China.
- [54] Gonzalez L. and Cnnady J., A Self-Adaptive Negative Selection Approach for Anomaly Detection. Congress on Evolutionary Computation (CEC2004), Volume 2, Issue, 19-23 June, Page(s): 1561-1568, 2004.
- [55] Igawa K. and Ohashi H., A Negative Selection Algorithm for Classification and Reduction of the Noise Effect. Appl. Soft Comput. J. (2008), doi:10.1016/j.asoc.2008.05.003, 2008.
- [56] Zen J., Li T., Liu X., Liu C., Peng L. and Sun F., A Feedback Negative Selection Algorithm to Anomaly Detection. Third International Conference on Natural Computation (ICNC 07), 24-27 Aug., Haikou, Volume: 3, On page(s): 604-608, 2007.
- [57] Zhengbing H., Ji Z., and Ping M., A Novel Anomaly Detection Algorithm Based on Real- Valued Negative Selection System. 2008 Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining, 23-24 Jan.n Adelaide, SA, On page(s): 499-502, 2008.
- [58] Dasgupta D., Ji Z. and Gonzalez F., Artificial Immune Systems (AIS) Research in the Last Five Years. The 2003 Congress on Evolutionary Computation (CEC'03), 8-12 Dec., vol. 1, pp. 123-130, 2003.
- [59] Castro L. de and Timmis J., An Artificial Immune Network for Multimodal Function Optimization. Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'03), 8-12 Dec., vol. 1, pp. 699-674, May, Hawaii, 2002.

- [60] Timmis J. and Neal M., A Resource Limited Artificial immune System for Data Analysis. Knowledge Based Systems, vol. 14(3-4), pp. 121-130, June 2001.
- [61] Alonso O., Nino F., and Velez M. A Robust Immune Based Approach to the Iterated Prisoner's Dilemma. Lecture Notes in Computer Science, ISSU 3239, pages 290-301, 2004.
- [62] Tian X., Yang H., and Deng F., 2006. A novel Artificial Immune Network Algorithm. Proceeding of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, 13-16 August, On page(s): 2159-2165.
- [63] Graaff A. and Engelbrecht A., A Local Network Neighborhood Artificial Immune System for Data Clustering. 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapore, 25-28 Sept., On page(s): 260-267, 2007.
- [64] Li H., Hao X. and Zhang L., A Clonal Selection Algorithm Based Optimal Iterative Learning Control Algorithm. Proceeding of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 25-27, Chongqing, China, 2008.
- [65] Castro L. de and Zuben F. von, 2001. AiNE: An artificial immune network for data analysis. In Data Mining: A Heuristic Approach, H. A. Abbass, R. A. Saker, and C. S. Newton (eds.), Idea Group Publishing, Chapter XII, pp. 237-259.
- [66] Secker A., Freitas A., and Timmis J., AISEC: an Artificial Immune System for E-mail Classification. Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, pages 131-139, Canberra. Australia, December, IEEE, 2003.
- [67] Bentley P. and Timmis J., A Fractal Immune Network. In G. Nicosia, V. Cutello, P. J. Bentley, and J. Timmis, editors, Proceeding of the Third Conference ICARIS, pages 133-145, Edinburg, UK, September. Springer, 2004.
- [68] Franca F., and Castro L., An Artificial Immune Network for multimodal Function Optimization on Dynamics Environments. Proceedings of the 2005 conference on Genetic and evolutionary computation (GECCO'05), June 25-29, pages: 289-296, USA, 2005.

[69] Qiao Y. and Jinping Y., AINIDS: An Immune-Based Network Intrusion Detection Systems. Proc. Of SPIE vol. 6241, 62410U, April 18, 2006.

[70] B. Akram. Recalage des images satellitaires pour la détection des changements écologiques à long terme, Université chikh laarbi Tbessi – Tébessa, 2009.

[71] N. Vincent. Recalage non rigide d'images cérébrales 3D avec contrainte de conservation de la topologie. Thèse de doctorat, université de Louis Pasteur – Strasbourg I, 2006.

[72] James Gleick La théorie du chaos vers une nouvelle science Champs Flammarion 1991.

[73] N. Mansouri cours de La Cryptographie Chaotique dans les communications école doctorale des technologies et des applications spatiales université de Constantine.

[74] Tien-Yien Li & James A. Yorke ; Period three implies chaos, American Mathematical Monthly 82 (1975), 985-992.

[75] <http://www.juliensalort.org>.

[76] Alain Hillion - Les théories mathématiques des populations (1986), P.U.F., coll.

[77] Julien Clinton Sprott Chaos and Time-series Analysis Oxford University Press, 2003 .

[78] V. Patidar, N. K. Preek, K.K. Sud a new substitution-diffusion based image cipher using chaotic standard and logistic maps.

[79] Li B, Jiang WS. Optimizing complex function by chaos search. Cybernetics and Systems 1990; 64 :821–824.

[80] Canabarro AA, Gleria IM, Lyra ML. Periodic solutions and chaos in a non-linear model for the delayed cellular immune response. *Physica A* 2004; 342:234–241.

[81] May R. Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature* 1976; 261:459–497.