

**Mémoire présenté le 22/02/2012  
pour l'obtention du diplôme  
de Statisticien Mention Actuariat  
et l'admission à l'Institut des Actuaires**

Par : Monsieur **ABBOU Benjamin**

Titre: *Developpement et optimisation de stratégies de trading  
fondées sur des méthodes de l'analyse technique*

Confidentialité :  NON  OUI (Durée :  1 an  2 ans)

*Les signataires s'engagent à respecter la confidentialité indiquée ci-dessus*

Membres présents du jury de  
l'Institut des Actuaires

signature

Entreprise :

Membres présents du jury de la  
filière

*Sander COHEN*

*CHEVALIER*

*Pierre MATHOULIN*

*Florence PICARD*

Nom : *Abbou Benjamin*

Signature : *Abbou*

Directeur de mémoire en  
entreprise :

Nom : *Ouni Nimrzan*

Signature :

Invité :

Nom :

Signature :

**Autorisation de publication et de  
mise en ligne sur un site de  
diffusion de documents actuariels  
(après expiration de l'éventuel  
délai de confidentialité)**

Signature du responsable  
entreprise

*Mimo*

Signature du candidat

*Abbou*

Secrétariat

Bibliothèque :



## Résumé

Ce mémoire d'Actuariat financière a pour objectif le développement de stratégies d'investissement fondées sur des signaux de l'Analyse Technique. C'est un ensemble de méthodes qui permet d'étudier les cours boursiers ou les différents indicateurs déduits des cours boursiers, dans le but d'anticiper les mouvements directionnels des marchés financiers. On peut ainsi concevoir des stratégies de suivi de tendances, en observant des comportements psychologiques et mimétiques des opérateurs de marché.

Dans le cadre de nos études, nous avons adopté des techniques issues des statistiques pour analyser de manière rigoureuse les performances des stratégies d'investissement respectivement définies à partir du croisement de moyennes mobiles, des bandes de Bollinger et d'oscillateurs appelés stochastiques afin de construire une stratégie d'investissement optimisée, permettant d'intervenir sur la parité EUR/USD.

Très vite nous nous sommes rendu compte de l'impact de la sur-optimisation sur la dégradation de nos résultats. Nous avons ainsi cherché des solutions pour quantifier leur robustesse et, ainsi, maîtriser le risque que l'on encourt en utilisant une stratégie technique.

La première partie se concentre sur l'évaluation des performances de ces stratégies et sur une méthodologie de création de stratégie optimisée. La deuxième partie applique ces méthodes sur trois systèmes de trading respectivement fondés sur l'Analyse Technique des moyennes mobiles, d'oscillateurs appelés «les stochastiques» et des bandes de Bollinger. Enfin, la troisième partie s'attache à quantifier l'impact de la sur-optimisation sur un système fondé sur l'Analyse Technique des bandes de Bollinger. Deux méthodes de tests de robustesse sont appliquées, la méthode de Monte Carlo et celle du Walk Forward Testing.

## Abstract

This research paper targets the development of investment strategies based on Technical Analysis signals. This is a set of graphical methods on financial instruments or indicators derived from financial instruments in order to anticipate trends of financial markets. Therefore, we can design trend following strategies by observing psychological behavior and emotional mimetic of investor.

In this study, we adopted some techniques from statistics in order to analyze rigorously the performance of investment strategies, respectively, from moving averages crossover, Bollinger Bands and Stochastic Oscillator and as a result to build an investment strategy optimized to trade the EUR /USD.

Soon, we realized the impact of over-optimization on the worsening degradation of our results. We have thoroughly introduced means to quantify the robustness of our results and to control the risk we incur by using a technical strategy.

The first part focuses on performance evaluation of these strategies and gives a presentation of our methodology for creating an optimized strategy. The second Part applies these methods in three trading systems, respectively, based on technical analysis of moving averages, oscillators called the "stochastic" and Bollinger Bands on the EUR/USD. Finally, the third Part seeks to quantify the impact of over-optimization -or curve fitting- of a system based on the Bollinger bands by applying two robustness tests are applied, the Monte Carlo and the Walk Forward Testing methods.

## Sommaire

<b>Résumé .....</b>	<b>2</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>3</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>6</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>I) L'Analyse Technique : Généralités et définitions.....</b>	<b>9</b>
1. Généralités .....	9
2. Le chartisme .....	10
3. Les indicateurs techniques.....	14
4. Critiques.....	19
<b>II) Stratégies de Trading .....</b>	<b>22</b>
1. Définition et procédure d'élaboration.....	22
2. Evaluation et performances des stratégies de Trading.....	22
3. Création de stratégie de trading.....	28
4. Tests de robustesse .....	33
<b>Développement de systèmes de trading sur l'EUR/USD .....</b>	<b>37</b>
<b>I) Création d'un système de trading .....</b>	<b>37</b>
1. Les Systèmes .....	37
2. Easy language .....	39
<b>II) Evaluation et optimisation des stratégies de trading .....</b>	<b>41</b>
1. Une première évaluation des systèmes de trading : l'importance des commissions et du slippage.....	41
2. Variation des paramètres : optimisation et diagramme de stabilité .....	42
3. Quelques Remarques.....	48
<b>III) Technique de Risk management : détermination de sortie approprié.....</b>	<b>49</b>
1. Concept de Maximum Adverse Excursion (MAE) .....	49
2. Recherche d'un Take profit optimal : utilisation du Maximum Favorable Excursion ..	53
3. Synthèse de la construction des stratégies .....	54
4. Tests de stabilité des résultats sur l'année 2011.....	58
<b>Robustesse des stratégies fondées sur l'analyse technique.....</b>	<b>62</b>
<b>I) Complexité des résultats et sur-optimisation.....</b>	<b>62</b>
<b>II) Premier test : Méthode de Monte Carlo .....</b>	<b>66</b>
<b>III) Deuxième test : Walk Forward testing.....</b>	<b>70</b>

**Conclusion ..... 72**  
**Glossaire ..... 73**  
**Bibliographie..... 78**

## Remerciements

Avant tout développement de cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce stage, et à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Je remercie tout d'abord Monsieur Ouri Mimran, mon maître de stage et stratéiste technique de la direction de la recherche économique et financière de NATIXIS, qui m'a formé et accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec énormément de pédagogie et pour le temps qu'il m'a consacré durant cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations, en dépit des aléas de l'univers des salles de marchés.

Je remercie aussi Messieurs Evariste Lefeuvre et Patrick Artus, respectivement économiste en chef des USA et directeur de la recherche économique et financière, pour m'avoir accordé leur confiance durant ce stage.

Enfin, je souhaite remercier mon responsable universitaire Monsieur Chevalier, pour ses conseils et remarques pertinentes.

## Introduction

L'Analyse Technique est une discipline des salles de marchés qui consiste en l'étude des graphiques des cours et de différents indicateurs déduits des cours dans le but d'anticiper les évolutions des marchés. Elle s'applique à tout type d'instruments financiers cotés en bourse ou non comme sur le marché des changes dont les prix sont fixés par les brokers.

Compte tenu de ses règles empiriques et souvent subjectives, l'Analyse Technique est largement ignorée des traders fondamentalistes - qui basent leurs stratégies d'investissement sur des macros et micros indicateurs - et a été longtemps mise au ban de la recherche universitaire.

Pourtant, dans un contexte économique difficile (incertitudes sur l'Union Européenne et dégradation de la note des USA), en proie aux incertitudes du monde actuel (révolutions arabes, situations géopolitiques tendues) qui se traduit par une volatilité très élevée, les opérateurs de marché ont recours à des outils techniques afin de détecter et de confirmer les changements de tendance de marchés et de visualiser les tendances d'un mouvement de marché.

Dans ce mémoire d'actuariat, nous avons adopté des techniques issues des statistiques pour analyser de manière rigoureuse les performances de stratégies d'investissement respectivement issues du croisement de moyennes mobiles, des bandes de Bollinger et d'oscillateurs appelés stochastiques afin de construire une stratégie d'investissement optimisée permettant d'intervenir sur la parité EUR/USD.

Définissons un système de trading comme un ensemble de règles mécaniques qui définissent automatiquement, sans aucune intervention humaine, l'entrée et la sortie d'une règle d'investissement sur les marchés. En rajoutant des règles de « Risk management » à notre système on obtient une stratégie de trading ou en d'autres termes une approche complète d'investissement sur les marchés financiers. Précisons que le terme « Risk management », correspond au placement de « Stop Loss de protection » et de « Take Profit ».

Tant que ses règles sont définies de manière exacte, on peut tester statistiquement les performances de ce système sur le passé afin de prévoir ses performances futures avec un certain niveau de confiance, ce qu'on appelle le Backtesting.

Pour aborder la problématique initiale qui était de créer une stratégie de trading fondée sur l'analyse technique, nous avons donc commencé par écarter l'ensemble des règles qui n'étaient pas suffisamment précises – comme celles déduites du chartisme – et, à définir un ensemble de procédures de Backtesting évoluées et pertinentes pour analyser les performances de nos stratégies.

Ensuite, nous avons optimisé et analysé trois systèmes de trading de nature différente sur la paire de devises EUR/USD. Une autre problématique est apparue alors au cours du développement de nos stratégies de trading. En complexifiant les règles définissant les

stratégies de trading, nous nous sommes rendu compte d'une dégradation inévitable du pouvoir prédictif des stratégies, c'est ce qu'on appelle la sur-optimisation de ces stratégies.

Deux tests de robustesse ont été ainsi développés lors de la partie III afin d'estimer quantitativement l'impact de cette sur-optimisation : les méthodes de Monte Carlo et du Walk Forward Testing.

Pour construire nos stratégies de trading nous avons procédé de la manière suivante :

- Dans un premier temps, nous avons analysé qualitativement les stratégies de trading les plus courantes et avons choisi trois systèmes de trading qualitativement intéressants et suffisamment précis. Puis nous avons construit un outil de Backtesting évolué et pertinent afin de mesurer les performances de nos systèmes.
- Ensuite nous avons optimisé nos systèmes en cherchant les meilleurs paramètres -au sens du ratio de Calmar- des indicateurs techniques qui les définissent et, en améliorant statistiquement leur timing de sortie afin d'optimiser les Stops et les Take profits.
- Enfin nous avons analysé les impacts de la sur-optimisation induite par nos techniques d'optimisation afin de quantifier le pouvoir prédictif de nos systèmes.

Nous invitons les lecteurs à se référer au glossaire et au lexique du backtesting présentés à la fin de ce mémoire afin de mieux appréhender la terminologie particulière de l'Analyse Technique.

## Evaluation des performances des stratégies de trading

### I) L'Analyse Technique : Généralités et définitions

#### 1. Généralités

En essayant de définir l'analyse technique, John Murphy disait : « L'Analyse Technique est l'étude de l'évolution d'un marché, principalement sur la base de graphiques, dans le but de prévoir les tendances futures ». En partant du principe que les marchés sont dominés par une dimension psychologique importante et que les prix incorporent toute l'information disponible des marchés financiers (macro et micro-indicateur, news du marché...) l'Analyse Technique cherche à identifier des comportements récurrents (peur, panique, cupidité, euphorie, pessimisme...) afin de prévoir l'évolution de l'offre et de la demande d'un actif financier à partir de sa représentation graphique.

De nombreuses règles d'investissement fondées sur l'Analyse Technique existent. Nous pouvons déjà distinguer trois grandes familles d'analyses techniques. L'Analyse Technique chartiste qui repose sur l'évolution des prix et des volumes afin de trouver des configurations qui se reproduisent dans le temps. L'Analyse Technique statistique qui repose essentiellement sur la modélisation de l'évolution des prix à l'aide d'indicateurs calculées sur les cours. Et enfin l'analyse des vagues d'Elliott qui se servent du caractère fractal des marchés pour les décomposer en vagues successives (ce type d'Analyse Technique ne sera pas étudié dans ce mémoire).

On peut d'un autre point de vue distinguer cinq sujets d'études en Analyse Technique :

- *Les tendances*  
Ces indicateurs identifient les tendances et les franchissements de tendance. Parmi les indicateurs les plus populaires nous retrouvons les moyennes mobiles, supports et résistances...
- *La force ou puissance des tendances*  
Ces indicateurs permettent de calculer la longueur et la force d'une tendance. Citons le DMI, le Range Oscillator ou les parabolics.
- *Les momentums*  
Ils permettent de mesurer la vitesse des mouvements des prix dans un espace de temps donné. Sans être exhaustif, les Stochastiques, le Momentum, le Rate of change, le MACD, le Trix et le CCI sont intéressants à étudier de ce point de vue.
- *La volatilité*  
Ce type d'indicateur incorpore la volatilité de l'instrument financier et la notion de valeurs extrêmes. Les bandes de trading utilisent souvent la volatilité des prix pour définir des règles d'investissement.
- *Les Volumes*  
Sur le marché des actions, les volumes d'échanges étant cotés ils possèdent une certaine information qui de fait peut s'étudier au même titre que les cours.

## 2. Le chartisme

Le Chartisme consiste en l'étude de mouvements récurrents des marchés directement visualisable sur les cours. Présentons quelques grands principes et quelques stratégies « chartistes » qui découlent de ces études graphiques.

### *Les lignes de tendance*

Assez souvent, une série de creux ascendants sur un marché en hausse pourra être reliés au moyen d'une ligne droite, de même que pourront l'être les sommets d'une série descendante de pics de rallyes.

Prenons comme exemple : le CHF/JPY (devise particulièrement traité sur le marché des changes). On peut tracer une ligne de tendance qui relie les bottoms des points de Mai et de Juillet 2011. En l'occurrence, cette droite concrétise la tendance haussière du CHF/JPY durant cette période, et une stratégie de trading consisterait à acheter du CHF contre du JPY tant que la paire reste au-dessus de cette droite de support.

Remarquons que cette ligne de tendance n'est pas tracée au hasard mais qu'elle relie 3 points bas suffisamment espacés ce qui la rend significative.



Figure 1 : Représentation d'une ligne de droite sur le CHF/JPY

*Les canaux de tendance*

Les canaux de tendance sont tracés en prenant la parallèle des lignes de tendance tracées précédemment. Elles permettent de visualiser l'ampleur d'une tendance et de trouver des points de retournements potentiels.



## Les figures chartistes

Il existe de nombreuses figures chartistes de continuation ou de retournement que l'on peut observer sur les marchés financiers à différentes échelles temporelles. Présentons l'une des plus célèbres : la **tête épaule**. Cette figure très classique, surnommé la « star » des figures chartistes, est en fait une forme particulière de triple top mais dans ce cas, le sommet central est plus haut que les deux sommets adjacents.



## Les retracements de Fibonacci

Au cours de l'évolution d'un instrument financier, on observe des phases de consolidations et de rebonds qui sont en fait des mouvements des cours de directions opposées à la tendance principale observée. La méthode des retracements de Fibonacci permet de déterminer des objectifs de cours au sein de ces phases par la prévision de l'amplitude de ces dernières afin de mieux « surfer » sur la tendance.

En aout 2011, les marchés financiers se sont effondrés suite à la dégradation du triple AAA des USA, il est remarquable de voir que les retracements de Fibonacci donnaient des points de retournements de tendance intéressants sur l'indice S&P 500.

## S&P 500 (Mensuel 2002-2011)

Cet outil calcule les ratios de Fibonacci à partir d'un point haut des cours (ici au plus haut avant la crise de 2008 : 1 576.09 points) et un point bas (bottom de 2009 : 666.79 points). En l'occurrence remarquons que le S&P 500 a corrigé en Avril 2010 à proximité du retracement de 61.8% de la vague baissière puis a rebondi sur 38.2% de la baisse avant d'échouer à franchir 1 361.50 points (retracement de 76.4% de la baisse) en Mai soit 4 mois avant la dégradation de la note US.



Figure 2 : Représentation des ratios de Fibonacci sur le S&P 500 en données mensuelles

Précisons que le retracement de 38.2% de la hausse entre 2009 et 2011 à 1101.73 points nous a permis de donner un point de retournement pertinent sur le S&P 500 lors de la première vague baissière de la crise d'Aout 2011 qui a touché 1 015.54 points avant de violemment rebondir.



### 3. Les indicateurs techniques

Les indicateurs techniques, oscillateurs ou « momentums » sont des statistiques calculées à partir des cours. Plus généralement on peut les voir comme des filtres numériques appliqués aux historiques des prix et de volumes générant des signaux d'achat/vente. Nous allons présenter quelques indicateurs et stratégies de trading classiques mais néanmoins intéressantes sans pousser l'analyse des performances induites par ces stratégies.

#### Les moyennes mobiles

Il existe plusieurs types de moyennes mobiles (voir annexe 1). Ces indicateurs ont l'avantage de lisser les cours et d'identifier une tendance en supprimant les résidus passagers du marché. Elles sont souvent utilisées avec d'autres indicateurs pour accompagner les mouvements. Les plus étudiées étant les moyennes mobiles simples et exponentielles.

Présentons deux types de stratégies de trading basées sur les moyennes mobiles. La première consiste à repérer les **croisements entre une moyenne mobile et les cours**. Le signal d'achat est déclenché lorsque les cours franchissent à la hausse la moyenne mobile. Le signal de vente apparaît lorsque les cours passent en dessous de la moyenne mobile.

#### Règle d'Achat :

Si un certain nombre (fixé à l'avance) de closes journaliers consécutifs est au-dessus de la moyenne mobile calculée sur les closes alors on achète l'instrument financier.

#### Règle de Vente :

Si un certain nombre (fixé à l'avance) de closes journaliers consécutifs est en dessous de la moyenne mobile calculée sur les closes alors on vend l'instrument financier.

#### Exemple :

- Moyenne mobile simple calculée sur les closes sur l'EUR/USD de longueur 9
- Les Signaux sont obtenus entre Novembre 2010 et février 2011
- 1 barre de confirmation



#### Légende

En bleu cyan : la moyenne mobile simple de longueur 9.

En pointillé vert : les Trades générant des profits positifs

En pointillé rouge : les Trades générant des profits négatifs

Fleche rouge : signaux Short,  
Fleche bleue : signaux Long

Le deuxième mode d'intervention consiste à repérer **les croisements entre deux moyennes mobiles**, une de période assez courte et une autre de période plus longue.

**Systeme 1 :**

**Règle d'Achat :**

Le croisement de la moyenne mobile courte au-dessus de la moyenne mobile longue déclenche le signal d'achat.

**Règle de Vente :**

Le signal de vente est déclenché lorsque la moyenne mobile courte passe en dessous de la Moyenne mobile longue

**Les stochastiques**

C'est un oscillateur développé par Georges Lane afin de déterminer si le marché est « sur-acheté » ou « sur-vendu » en mesurant les relations entre le prix de clôture et les mouvements des prix sur une certaine période, ce dernier est étudié en fonction des plus hauts et des plus bas du titre sur ladite période. Il existe deux types de stochastiques :

- *Les %K et %D ou stochastiques rapides*

$\%K(n) = \frac{C - PB(n)}{PH(n) - PB(n)} * 100$ $\%D(y) = H(x) / B(y) * 100$	<p>C : dernier cours de clôture                  PB(n) : Plus Bas sur une période n                  PH(n) : Plus Haut sur une période n                  n : nombre de périodes de calcul</p> <p>H(x) : somme des C - PH(n) sur les x derniers jours                  B(y) : somme des PH(n) - PB(n) sur les y derniers jours</p>
--	--

Le calcul de l'oscillateur %D s'appuie sur la formule de la stochastique rapide. Une seule différence : le lissage qui permettra d'obtenir une courbe plus significative en supprimant les faux signaux. Nous obtenons ainsi le STOCH (n,x,y).



Représentation du STOCH (14,3,3) de l'EUR/USD

De par son caractère volatile, il est quasi-obligatoire de lisser le résultat obtenu afin de supprimer les faux signaux. On calcule alors les stochastiques dits « lents ».

▪ *Les % KS et % DS ou stochastiques lents*

Le % KS est une moyenne arithmétique du % D sur une période donnée.

Le % DS correspond à une moyenne mobile simple du % KS.

*Système de croisements*

L'utilisation traditionnelle des stochastiques est d'indiquer un signal haussier lorsque la ligne % KS coupe de bas en haut la ligne % DDS pour la stochastique lente (respectivement % K et % D pour la stochastique rapide).

**Système de Trading**

**Règle d'Achat :**

Si % KS > % DDS on achète l'instrument financier.

**Règle de Vente :**

Si % KS < % DDS on vend l'instrument financier.



Figure 3 : Représentation des Stochastiques lents sur l'EUR/USD

**Stratégie d'accélération :**

La stochastique est un indicateur borné donc il est ainsi assez facile de déterminer des niveaux de « sur-achat » (niveau de l'indicateur supérieur à 80) et de « sur-vente » (niveau de l'indicateur inférieur à 20).

## Systeme de Trading

### **Règle d'Achat :**

Si l'oscillateur quitte sa zone de sur-vente on achète l'instrument financier.

### **Règle de Vente :**

Si l'oscillateur quitte sa zone de sur-achat on vend l'instrument financier.

Nous avons finalement développé un système mixte suite à nos études empiriques des stochastiques.

## Systeme de Trading

### **Systeme 2**

#### **Règle d'Achat :**

Si % KS > % DDS et %KS > 50

Ou Si % KS > 80

Alors on achète l'instrument financier

#### **Règle de Vente :**

Si % KS < % DDS et %KS < 50

Ou Si % KS < 20

Alors on vend à découvert l'instrument financier

**Sinon on liquide ses positions**

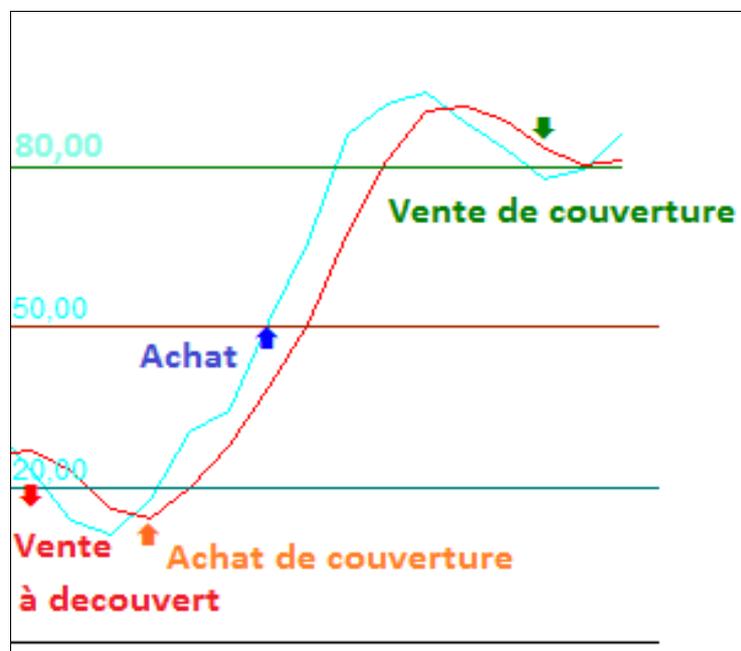


Figure 4 : Illustration de règles de trading appliquées sur le système 2

Bien sûr, les nombres 50, 80, et 20 sont ici fixés de manière arbitraire et rien ne nous empêche d'en choisir d'autres.

## Les Bandes de Bollinger

Les bandes de Bollinger, du nom de leur inventeur John Bollinger, sont constituées de 3 courbes:

- Une moyenne mobile sur n périodes appelée moyenne mobile de Bollinger.
- Une courbe appelée bande supérieure de Bollinger qui est calculée à partir d'un écart correspondant à + 2 écarts types des cours avec la moyenne mobile à n périodes.
- Une courbe appelée bande inférieure de Bollinger qui est calculée à partir d'un écart correspondant à - 2 écarts types des cours avec la moyenne mobile à n périodes.

Les bandes de Bollinger sont donc deux courbes placées à une distance variable de 2 écarts types de part et d'autre de la moyenne mobile sur n périodes. Ces 3 courbes forment donc une sorte de canal plus ou moins large qui suit le cours de l'action en fonction de son écart type, donc en fonction de sa volatilité.



Figure 5 : Bandes de Bollinger

L'étude visuelle de ces bandes nous a amené à créer le système de trading suivant :

### Système 3

#### **Règle d'achat :**

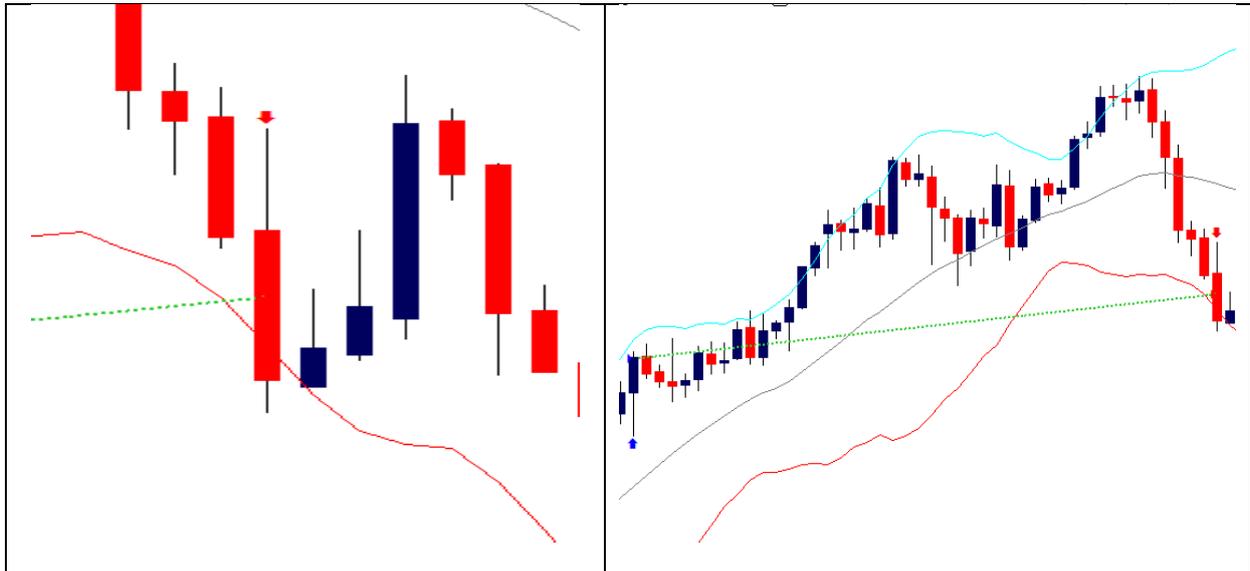
Si le prix dépasse la bande de Bollinger haute précédente, on achète l'instrument financier en intraday.

#### **Règle de Vente :**

Si le prix dépasse la bande de Bollinger basse précédente, on vend à découvert l'instrument financier en intraday.

Ce système est défini à partir de deux paramètres : l'un représente la *longueur de la moyenne mobile* et l'autre la *distance* à laquelle la moyenne mobile et les bandes de Bollinger sont placées.

En modifiant ces paramètres, on modifie la fréquence de trading. Plus la longueur de la moyenne est petite et les bandes de Bollinger sont resserrées, plus rapide seront les réactions du système aux mouvements de marché et plus nombreux seront les signaux de marché.



Exemples de trades générées par la stratégie 3

#### 4. Critiques

On peut distinguer plusieurs raisons pour lesquelles l'Analyse Technique a été insuffisamment étudiée par les chercheurs en finance et est très souvent critiquée.

##### *i. L'Analyse Technique part du principe qu'on peut prévoir le futur*

L'Analyse Technique se fonde sur le postulat que l'analyse des prix passés peut permettre d'anticiper les prix futurs. Ce postulat est en contradiction totale avec l'Hypothèse des Marchés Efficients qui stipule que dans un marché suffisamment large où l'information se répand instantanément, comme c'est le cas pour le marché boursier, les opérateurs réagissent correctement et quasi immédiatement aux informations s'ils ont la capacité cognitive de les interpréter avec justesse. Il est donc impossible de prévoir les évolutions du marché puisque les prix de ce dernier s'ajustent par rapport à leurs valeurs réelles.

Pourtant, le passé est la seule chose dont on dispose pour prévoir l'avenir et ceci quelle que soit la méthode de prévision. Et surtout, de nombreuses études ont démontré les capacités de l'Analyse Technique à arbitrer correctement le marché.

Treynor, Ferguson (1984) ont théoriquement démontré que les prix passés, combinés à d'autres informations peuvent prédire le mouvement futurs des prix. Lo et Mac Kinlay (1988, 1999), ont prouvés que les prix passés peuvent permettre d'anticiper le futur. Grosman et Stiglitz (1980) soutiennent que la présence du trading, des sociétés d'investissements et de la possibilité de générer des profits sur les marchés financiers ébranlent la crédibilité de l'Hypothèse des marchés efficients.

Dans (1), les auteurs partent de la définition de l'EMH sous sa forme faible établie par FAMA (1991) qui postule que l'ensemble des informations disponibles comprend uniquement

l'historique des prix et par conséquent des rentabilités et cherchent à détecter une auto corrélation dans le temps des rendements successifs des titres directement (en la calculant) et indirectement en évaluant la possibilité de réaliser des profits anormaux au moyen de l'analyse technique.

Les performances des stratégies dérivées de l'Analyse Technique obtenues sont ensuite soumises à un test de bootstrap à partir d'une simulation de Monte-Carlo, pour étudier la significativité des performances par rapport à la stratégie d'achat conservation sous les critères du ratio de Sharpe.

Les auteurs concluent ainsi qu'il est possible de réaliser des profits anormaux avec l'Analyse Technique et plus précisément que l'hypothèse des marchés efficients est validée sous sa forme faible.

Aujourd'hui, les défenseurs de cette hypothèse soutiennent qu'on ne peut pas générer des profits sur le long terme, nous partons du principe qu'une gestion active est possible.

#### *ii. L'Analyse Technique s'auto-accomplit*

On reproche aussi à l'Analyse Technique d'être une discipline qui s'auto-accomplit : elle provoquerait ainsi les mouvements de cours que l'on essaye de prévoir. Signalons tout de même que l'Analyse Technique n'a pas de place prépondérante sur les marchés financiers et que les analystes fondamentaux sont bien plus nombreux ce qui tend à prouver que l'impact de cette critique est modérée.

#### *iii. L'Analyse Technique est empirique*

L'Analyse Technique ne découle aucunement d'une théorie mathématique, pire elle est totalement définie de manière empirique et ses règles découlent uniquement du « screening » des cours et des indicateurs techniques. A la différence des sciences expérimentales, les analystes techniques ne s'attachent pas à « démontrer » ce qu'ils affirment.

Citons l'une des rares études (11) qui essaye de définir correctement les règles de l'analyse technique, et qui se demande dans quel cadre ces règles sont utiles, vis à vis de la théorie de la prédiction linéaire de Wiener Kolmogorov.

Nous retiendrons de cette étude qu'une règle de Trading technique bien définie doit être un temps de Markov, c'est-à-dire qu'elle doit uniquement être construite à partir de l'information disponible au moment de sa création et que l'Analyse Technique permet effectivement de générer des profits.

#### *iv. L'Analyse Technique est subjective*

On peut reprocher à l'Analyse Technique sa subjectivité. Deux analystes chevronnés n'auront pas la même analyse tout simplement parce que les outils du chartisme sont par construction subjectifs. Nous avons précédemment présenté un ensemble de méthodes « simple » dont nous estimons facilement la subjectivité et la difficulté du backtest de ces stratégies.

Signalons tout de même que la précision des nouveaux outils chartistes et les logiciels de Backtesting permettent progressivement de réduire cette subjectivité et qu'il est probable qu'à moyen terme les traders techniciens tendent à prévoir les mouvements des marchés financiers de manière similaire.

**C'est pourquoi nous définirons uniquement nos stratégies de trading au moyen d'indicateurs techniques puisque ceux-ci permettent de définir les dites stratégies de manière exacte et sans aucune interventions humaine.**

## II) Stratégies de Trading

### 1. Définition et procédure d'élaboration

Un système de trading est un ensemble de règles précises qui définissent automatiquement, sans aucune intervention humaine, l'entrée et la sortie d'investissement sur les marchés.

En ajoutant des règles de « risk management » à notre système on obtient une stratégie de trading ou en d'autres termes une approche complète d'investissement sur les marchés financiers. Précisons que le terme « risk management », correspond au placement de « Stop Loss de protection » et de « Take Profit ».

Dans notre cas, les stratégies de trading sont définies au moyen d'indicateurs techniques eux-mêmes réglés par des paramètres variables. *Il existe donc une infinité de paramètres pour de très nombreuses stratégies de trading.*

Il convient déjà de définir un ensemble de procédures permettant d'évaluer les performances des signaux générés par un système de trading puis nous les construirons ainsi :

- **On optimise les performances de ces systèmes en trouvant les paramètres des indicateurs techniques qui définissent les systèmes les plus performants.**
- **Puis on améliore la sortie de ces systèmes au moyen d'une étude quantitative afin d'améliorer le Risk Management en gérant des Stops Loss ou des Take profits.**
- **Enfin nous testerons le pouvoir prédictif de ces stratégies afin d'éviter une possible sur-optimisation conduisant à une détérioration des résultats.**

Précisons que la plupart des analystes techniques n'utilisent pas de systèmes à proprement parler mais uniquement des indicateurs techniques dont les paramètres sont définis de manière empirique. Ce qui a considérablement compliqué la création d'une méthodologie quantitative de création de système.

Citons tout de même les travaux de CHANDE et de SWEENEY qui proposent une méthodologie similaire à celle que nous avons utilisée dans ce mémoire bien qu'ils ne tentent pas de définir de procédures de tests pour analyser la sur-optimisation des résultats.

Nous nous sommes ainsi tournés vers les travaux de Robert Pardo qui définit l'intérêt d'une procédure de test de ré-optimisation périodique du système : *le Walk Forward Testing* et vers ceux de David Aronson concernant la procédure de *permutation de Monte Carlo* qui consiste à générer de nombreux résultats à partir du système original.

### 2. Evaluation et performances des stratégies de Trading

Intuitivement, les investisseurs financiers sont intéressés par les performances que les systèmes de trading génèrent. Nous allons ici préciser la notion de performance telle que l'on va l'utiliser dans notre approche de création de stratégie.

## Les profits

### Comment calculer le profit d'une stratégie de trading?

Une stratégie de trading est constituée d'un ensemble de trades qui se succèdent. On peut considérer deux approches pour calculer le profit d'un « Trade » (c'est à dire l'ouverture et la clôture d'une position de trading).

Ou bien on calcule **les profits en prenant uniquement en compte l'ouverture et la clôture d'une position**, le profit du trade est alors :

$P_{Trade} = \frac{V^{final} - V^{ouverture}}{V^{ouverture}}$	<p><math>V^{ouverture}</math> est la valeur de la parité au début du trade</p> <p><math>V^{finale}</math> la valeur à la fin du trade.</p>
---	--

Ou bien on calcule les **profits d'un jour à l'autre** :

$$P_{Trade} = \sum_{m=i}^{nb\_jours} \frac{V^{m+1} - V^m}{V^m}$$

Nous avons choisi la deuxième approche qui nous paraît moins « grossière » mais qui a le désavantage de légèrement surestimer les calculs. On définit alors le **profit cumulé** d'une stratégie comme étant la somme des profits de chaque trade.

$$P_{Cumulé} = \frac{\sum_{trade} P_{Trade}}{Nombre\_trade}$$

Cet indicateur est fondamental : Peut-on affectivement imaginer une stratégie de trading qui produise des résultats négatifs ? Et pourtant il n'est absolument pas suffisant, bon nombre de stratégies de trading possédant un profit cumulé positif et sont impossibles à trader. Pour illustrer cette problématique définissons la notion d'Equity Curve, c'est la courbe des profits cumulés à l'instant t :

$$T \rightarrow E.C.(T) = \frac{\sum_{trade < T} P_{Trade}}{Nombre\_trade}$$

Cet indicateur permet de représenter graphiquement les performances d'un système de trading afin d'en apprécier visuellement la fiabilité et la stabilité.

Construisons un premier exemple à l'aide d'une stratégie assez simple en Daily sur l'EUR/USD entre le 1<sup>er</sup> Janvier 2004 et le 26 Mai 2011 afin d'illustrer la problématique soulevée précédemment.

Chaque jour (entre lundi et Vendredi) à Minuit : On achète 1 000 000 d'EUR contre USD si la valeur du close journalier de l'EUR/USD est supérieure à la moyenne mobile 10 jours. On vend 1 000 000 d'EUR contre USD si la valeur du close journalier de l'EUR/USD est inférieure à la moyenne mobile 10 jours. Et on clôture la position à 23h59.

Cela permet de construire la courbe des profits cumulés ci-dessous. Grossièrement, on peut déjà dire que cette stratégie permet de générer des profits. Et qu'elle génère des profits assez élevés jusqu'à la barre 864 correspondant à septembre 2007 : la pente est assez rugueuse.

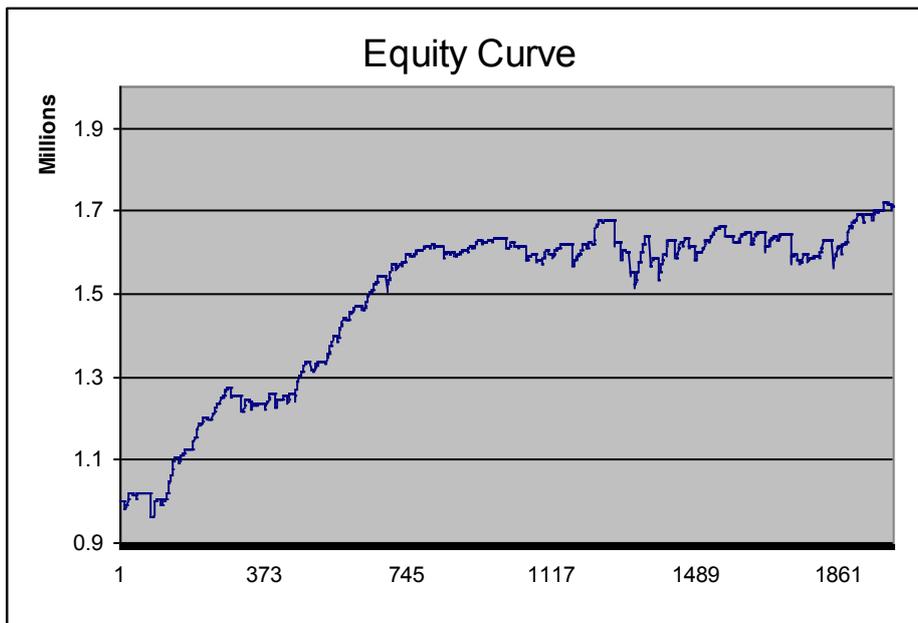


Figure 6 : Représentation la courbe des profits cumulés d'une stratégie fondée sur l'EUR/USD

Cependant, l'Equity curve de la stratégie « stagne » alors jusqu'en 2011 montrant ainsi que la stratégie n'est pas très performante bien que potentiellement gagnante depuis 2011. En fait, la difficulté de cette approche provient du fait qu'on ne mesure pas le risque encouru par cette stratégie. Or, tous les instruments financiers et toutes les stratégies d'investissement sont risqués. Et de fait, on ne va investir dans un actif quelconque présentant un risque que si l'on est capable de mesurer ce risque. **Comment alors mesurer les performances de notre stratégie de trading en la rapportant au « risque » que l'on encourt en la tradant ?**

**Quel est le risque porté par un trade ?**

Une première approche consiste à mesurer simplement la probabilité de se « tromper » en prenant une décision d'investissement. Une stratégie de trading étant un ensemble de trades gagnants et de trades perdants, on peut donc calculer :

<p><b>Le Pourcentage de Trades profitables</b></p> <p><b>Le Pourcentage de Trades perdants</b></p>	$\%win = \frac{\text{Nombre\_TradeGAGNANT}}{\text{Nombre\_Trade}}$ $\%loss = 1 - \%win$
--	---

On peut donc naturellement calculer l'espérance de nos gains :

$$E = \%loss * Perte + \%win \times Gain$$

$$E = (\%loss + \%win \times \frac{Gain}{Perte}) \times Perte$$

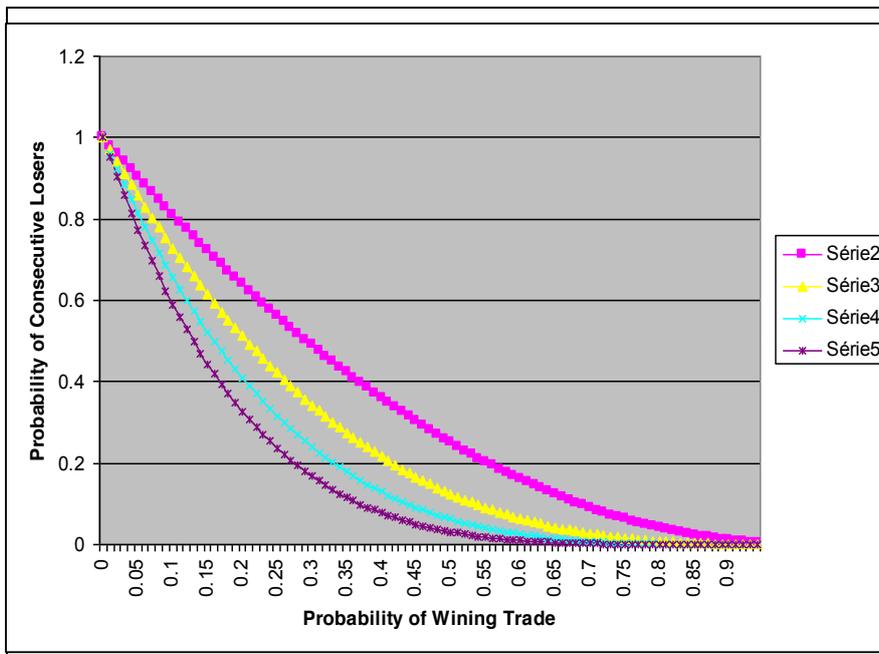
Cette écriture nous permet de mettre en évidence une notion intimement lié au %win: le profit factor

**Le profit Factor :**

$$E = (\%loss + \%win \times Profit\_Factor) \times Perte$$

C'est le rapport des profits générés par les trades profitables et ceux des trades perdants. Par exemple : une valeur de deux indique qu'on a gagné deux fois plus d'argent qu'on en a perdu en utilisant cette stratégie. En fait, cela peut être considéré comme un indicateur de risque puisque cet indicateur permet de quantifier ses gains vis-à-vis de ses pertes.

Bien que simpliste, il reste néanmoins incontournable dans la mesure où il est clairement interprétable et qu'aucun système de trading intéressant ne peut avoir de Profit factor inférieure à 1. En fait on peut pousser l'analyse du %win de la manière suivante : La probabilité d'un premier trade perdant étant (1-%win), celle d'un deuxième trade perdant est (1-%win)<sup>2</sup>, et celle d'un n eme trade perdant consécutif est (1-%win)<sup>n</sup>.



Ainsi, en traçant la fonction :  
 $x \longrightarrow (1 - x)^n$

on obtient cette isocline qui montre que le %win doit être grand pour réduire la probabilité de trades perdants consécutifs (bien qu'évidente cette notion est essentielle dans une approche de contrôle du risque).

Cette approche vient du fait qu'on considère que les grosses pertes dues à des pertes qui se succèdent. Cela est bien sur faux, on peut tout à fait imaginer d'autres types de scénarios où l'Equity Curve «rebondit». On va donc définir un concept plus général : le **maximum Drawdown** ou la perte maximale historique.

Retenons que bien que grossière cette mesure de risque est essentielle pour tout gérant souhaitant mesurer simplement son risque, mais qu'elle reste néanmoins trop simpliste.

### Quel est le risque de perte maximale ?

Le Maximum Drawdown est la perte maximale historique générée par une stratégie au cours d'une période étudiée ou de manière équivalente l'écart maximum entre les points hauts et les points bas de l'Equity Curve.

$M_s = \text{Max} \left\langle P_u^{\text{Cumulé}} \right\rangle_{u \in [0, s]}$ $D_s = M_s - P_s^{\text{Cumulé}}$ $MDD_T = \max_{s \in [0, T]} D_s$	<p>On suppose ici que l'intervalle de temps étudié est <math>[0, T]</math>.</p> <p>On définit alors sur un intervalle <math>[0, S]</math>, le maximum atteint par l'Equity Curve à la date <math>S</math>, le drawdown courant est la perte encourue par un investisseur ayant investi au plus haut. Et on obtient ainsi le maximum drawdown en prenant le maximum des drawdown sur la période d'étude.</p>
--	---

En fait, le concept de Max Drawdown peut se définir en pourcentage afin de réduire le biais visuel de l'Equity Curve. Prenons comme exemple, une stratégie fondée sur le croisement de moyennes mobiles appliquées sur l'EUR/USD en Daily entre le 20/06/2005 et le 03/08/2011. Cette stratégie génère l'Equity Curve et les Drawdowns suivants :

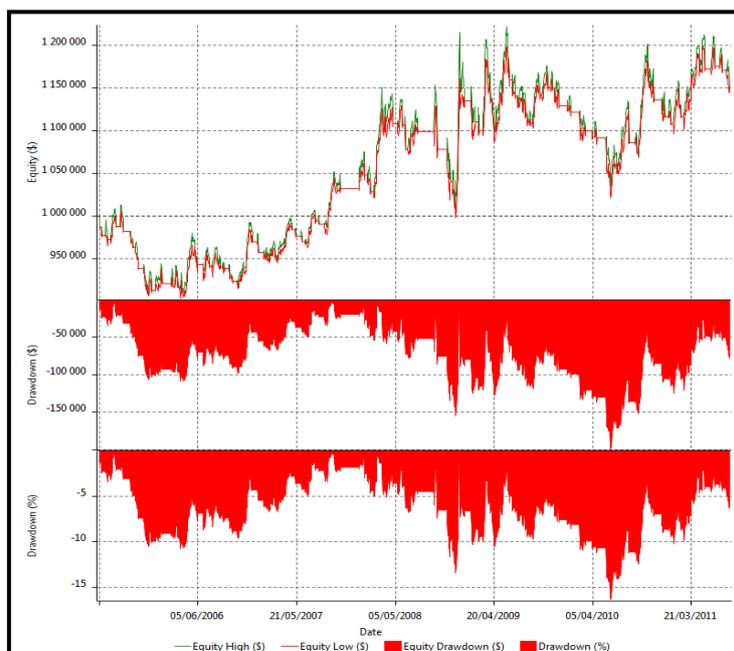


Figure 7 : Représentation des Drawdowns et de l'EquityCurve d'une stratégie fondée sur le croisement des cours avec une moyenne mobile

On peut alors analyser nos stratégies de Trading à l'aide de cette mesure de risque en définissant :

**Le Time Recovery** : c'est le temps que nécessite une stratégie de Trading pour résorber son max Drawdown. Sur l'exemple ci-dessus, le max Drawdown n'est pas résorbé.

**Le Ratio de Calmar** : qui synthétise la performance de notre stratégie rapportée au risque ainsi défini par le Max Drawdown.

$$\text{Calmar}_{t \in [o, T]} = \frac{P_{\text{Cumulé}}}{MDD_{t \in [o, T]}}$$

Ce ratio est une mesure **essentielle** pour nos études. Nous verrons dans la troisième section que l'on peut aussi utiliser le concept de Drawdown afin de définir un certain nombre de règles de money management.

**Remarque**: Pour simplifier les calculs, nous n'annualiserons pas toujours ces résultats dans la mesure où les stratégies que nous appliquerons aux systèmes seront analysées sur le même historique et qu'elles seront donc comparables entre elles.

### Le risque comme volatilité des profits

On peut enfin considérer que la notion de stabilité des résultats est intimement liée à la volatilité à des profits c'est-à-dire l'ampleur des variations de ces profits.

On va donc introduire la notion de Ratio de Sharpe d'une stratégie. Ce ratio est une norme pour les investisseurs, il se définit comme l'écart des profits d'une stratégie d'actifs financiers par rapport au taux de rendement d'un placement sans risque (autrement dit la prime de risque, positive ou négative), divisé par un indicateur de risque : l'écart type de la rentabilité de cette stratégie. Cette notion a été introduite pour la première fois par William Sharpe afin de répondre aux problématiques soulevées précédemment.

$\text{Sharpe} = \frac{P_{\text{Cumulé}} - \tau}{\sigma(\text{rendements})}$	<p><math>\tau</math> est le taux sans risque</p> <p><math>\sigma(\text{rendements})</math> l'écart type des rendements</p>
--	--

- Si le ratio est négatif, le portefeuille a sous-performé l'actif sans risque retenu en référence.
- S'il est compris entre 0 et 0,5, la surperformance du portefeuille par rapport à l'actif de référence est obtenue par une prise de risque trop grande.
- Et si ce ratio est supérieur à 0,5, le rendement du portefeuille surperforme l'actif sans risque avec une prise de risque acceptable...

Malgré la popularité de cet indicateur, de récentes études ont démontrés que cet indicateur de performances était biaisé. En effet, le ratio de Sharpe rapporte la performance au risque mais

la mesure de ce risque est habituellement l'écart-type des performances. Or, les portefeuilles des trends followers purs ont généralement des niveaux de volatilité élevés pour la simple raison que lorsque l'on trade une grosse tendance, il y a des accélérations puis des baisses.

Un « trend follower » va laisser courir ses gains (en laissant fluctuer ses profits latents) mais va vite couper ses pertes. Au final, la volatilité de son portefeuille sera élevée mais son risque ne l'est pas forcément.

En fait, la majorité des gens associent risque et volatilité, ce qui est une erreur pour le marché et une erreur pour les portefeuilles. Cela peut paraître vrai de prime abord mais c'est faux si on pousse le raisonnement plus loin. Un marché volatile n'est pas forcément dangereux si on sait ajuster son risque et un portefeuille volatile n'est pas forcément un portefeuille risqué comme nous l'avons expliqué précédemment.

Mathématiquement, cette erreur provient du fait que dans cette formule, William Sharpe part du principe que la distribution des rendements suit une loi normale. Ceci est à peu près correct lorsqu'on travaille avec un risk/reward de 1/1 mais cela devient faux lorsqu'une stratégie possède un risk/reward de 1/3. En effet, le gain moyen devient bien plus conséquent que la perte moyenne et de ce fait la distribution des rendements ne suit plus une loi normale.

Citons les travaux d'Hayette Gafaoui dans (2), professeur à l'Ecole de Commerce de Rouen qui étudie ce phénomène et démontre que sous une distribution des profits non gaussiens, le ratio de Sharpe en tant que fonction de deux paramètres (moyenne et variance) ne décrit pas suffisamment le profil de risk/return de notre investissement.

Ainsi dans la mesure où laisser fluctuer ses profits n'est pas « risqué », contrairement au fait de laisser fluctuer ses pertes, nous travaillerons plutôt sur un ratio de Sharpe « ajusté » basé sur le semi écart-type - des écarts à la moyenne négatifs) que l'on appelle le ratio de Sortino.

### 3. Création de stratégie de trading

#### Optimisation et domaine de stabilité

Par définition, l'optimisation est la procédure qui permet de maximiser les performances de notre stratégie de trading. On peut par exemple faire varier la longueur de la moyenne mobile qui définit le système précédent afin de maximiser le profit final du système.

Au sens stricto-sensus, le fait même de choisir un type de système de trading plutôt qu'un autre est une forme d'optimisation. Ainsi même sans faire varier les paramètres qui définissent un système de trading, on ne doit pas oublier que chaque système de trading est une adaptation du passé et du marché que l'on analyse.

Il est en fait impossible d'échapper à la procédure d'optimisation qui permet d'adapter un système au marché que l'on souhaite trader. Et nous nous « opposons » ainsi à l'école des stratégestes techniques systématiques qui refusent d'optimiser leurs indicateurs et qui s'intéressent plutôt à la qualité de leurs signaux sur différents échelles temporelles.

Bien sûr, l'optimisation est une « épée à double tranchant ». C'est en effet une chose d'adapter un système à un marché en terme de volatilité, de drawdown et de profits. Mais c'en est une autre de « sur-optimiser » un système et de caler ledit système au passé sans qu'il n'ait plus aucun pouvoir prédictif. Nous verrons dans la troisième partie de ce mémoire qu'en fait la sur-optimisation des systèmes (ou le curvefitting) est inévitable lorsqu'on complexifie les règles des stratégies techniques.

Cette remarque nous amène au problème fondamental du développement des systèmes de trading auquel nous apporterons des éléments de réponses au cours de ce mémoire :

**Comment choisir les paramètres de nos systèmes pour qu'il puisse produire des profits de manière stable et continue ?**

**Autrement dit : Comment quantifier les capacités d'un système à continuer de générer des profits de manière stable au-delà de la période de Backtest?**

Avant de présenter des approches à ces questions de robustesse, il convient de préciser qu'au cours de cette étude nous utiliserons quasi exclusivement comme indicateur de performance rapportée au risque *le Ratio de Calmar et que l'on cherchera à le maximiser*.

Nous avons commencé par optimiser le ratio de Sortino mais nous avons rapidement abandonnée cette approche qui ne nous paraissait pas suffisamment pertinente compte tenu de notre objectif de création de stratégie de trading.

Reprenons l'exemple du croisement de moyenne mobile précédemment définie et en faisant varier les paramètres qui définissent les longueurs des moyennes mobiles entre 30 et 100 jours pour la moyenne mobile longue et 10 et 30 jours pour la moyenne mobile courte avec des pas de 1 jour.

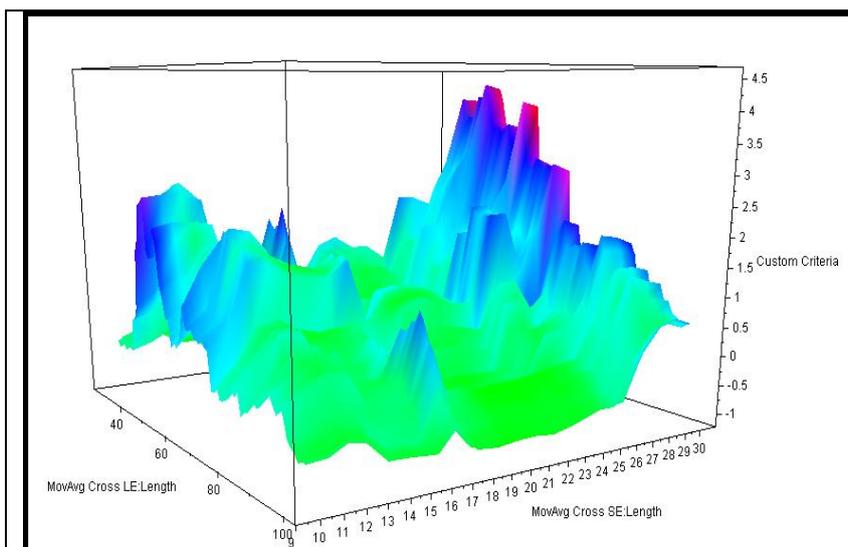


Figure 8 : Représentation 3D d'une optimisation brute

En faisant varier ces paramètres, nous maximisons le ratio de Calmar pour des longueurs égales à 50 et 29. Ce point (50,29) correspond au pic rouge de la représentation en 3D de la fonction qui associe les longueurs des moyennes courte et longue au ratio de Calmar.

En fait nous choisirons plutôt les points dont les valeurs restent stables sur un même voisinage plutôt que ceux qui produisent des performances élevés mais qui forment un pic sur la surface d'optimisation étudiée.

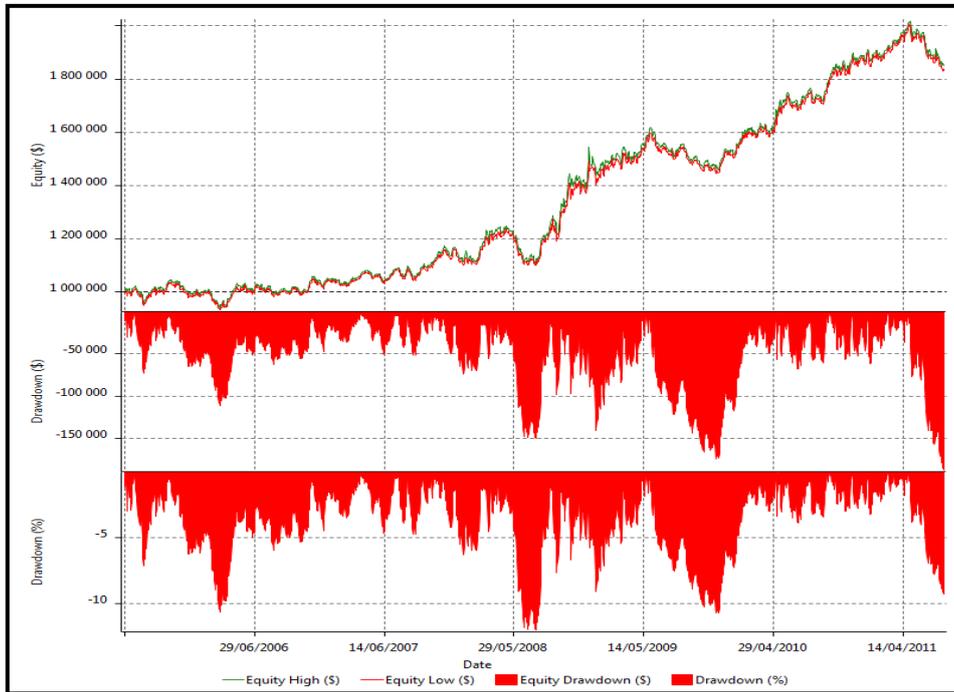


Figure 9 : Equity Curve associée au pic de la surface 3D.

Prenons un autre exemple hypothétique afin d'illustrer le fait que l'on a choisira les paramètres des stratégies lorsqu'ils sont stables sur un certain voisinage de la courbe/surface des performances par rapport aux paramètres.

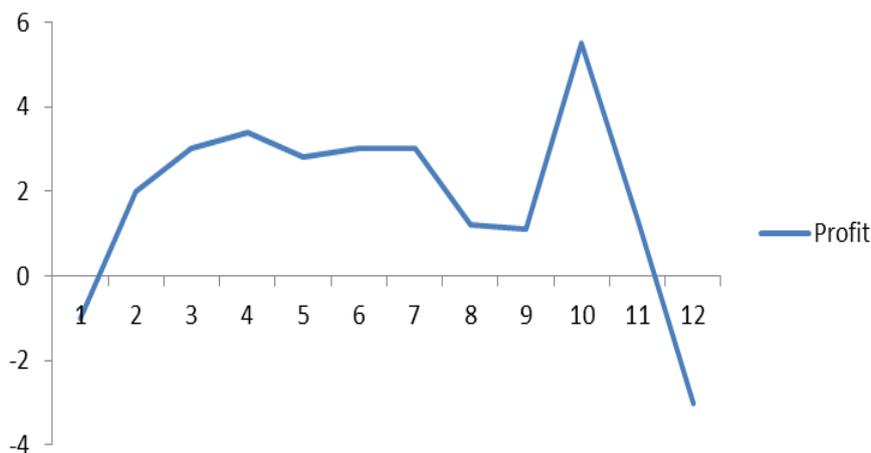


Figure 10 : Courbe des profits en fonction des paramètres

Ici le profit net est stable autour de la valeur de 3 M€ mais très instable autour de 5 M€ (cela se matérialise par un pic). Nous aurons donc plutôt tendance à privilégier une valeur de paramètre comprise entre 3 et 7 plutôt que de choisir le maximum obtenu par une optimisation brute qui est égale à 10.

L'idée sous-jacente est qu'une *infime variation des mouvements de l'actif financier que l'on essaye de trader peut impacter sur une forte variabilité des profits si l'indicateur n'est pas stable au voisinage du paramètre choisi*. C'est pour cela que nous choisirons des domaines stables au sein desquels nous pourrions générer les profits les plus consistants que possible.

### Optimisation génétique

En pratique, ces procédures prennent énormément de temps, pour palier à ce problème nous avons développé des procédures d'optimisations fondés sur les algorithmes génétiques pour optimiser nos résultats. Ces méthodes ont aussi l'avantage de localiser les zones où il est intéressant d'optimiser nos résultats et de réduire le « curve fitting ».

Les algorithmes génétiques n'essayent pas toutes les combinaisons possibles mais utilisent des algorithmes complexes basés sur les principes de l'évolution génétique pour trouver les résultats de l'optimisation. L'algorithme part d'une population aléatoire initiale de paramètres et teste pour cette population les meilleures paramètres puis sélectionne les meilleures résultats et remplace les mauvais résultats par une nouvelle population aléatoire, c'est la phase de « sélection croisements mutations ».

Enfin, on itère ces procédures pour trouver les meilleures résultats. On définit à l'avance le nombre de générations, la taille de la population initiale et le type de convergence. Le schéma suivant décrit cet algorithme.

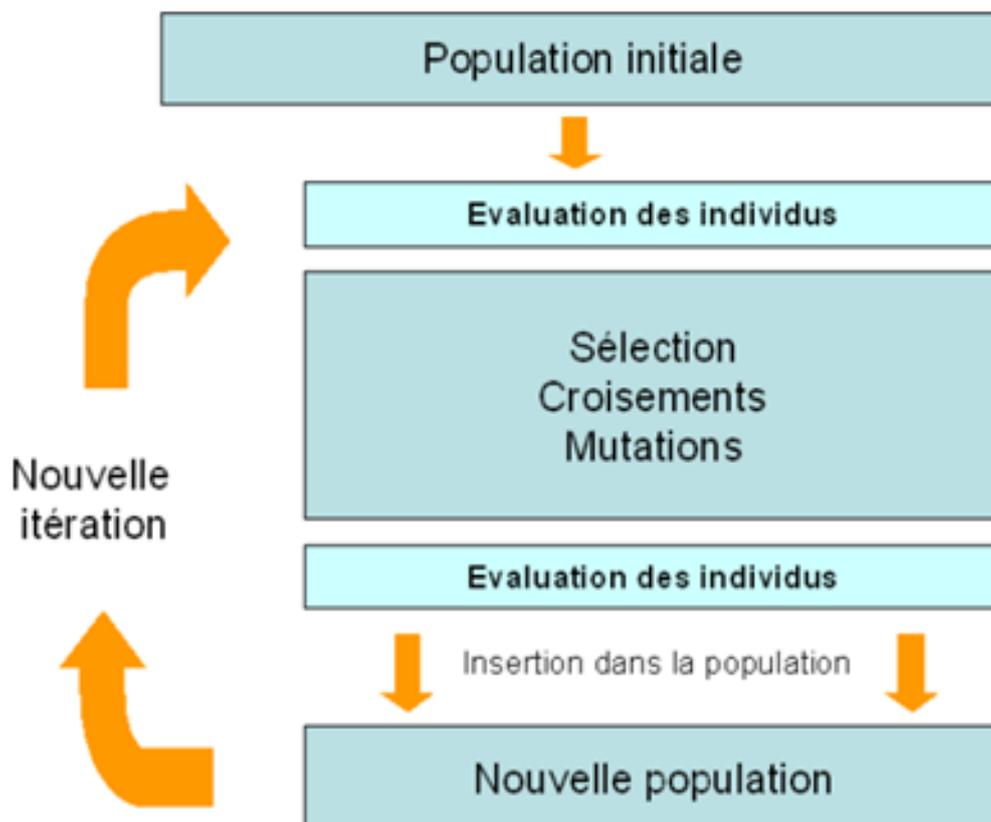


Figure 11 : Schéma général d'un algorithme génétique

## Risk Management

Une fois les paramètres des signaux d'entrée choisis, nous optimiserons les ordres de Stop et de Take profits qui permettent de minimiser les pertes et de maximiser les profits de la stratégie, ce qu'on appelle le « Risk Management ».

Les ordres de **Stop Loss** sont des ordres placés à l'entrée d'une position pour liquider la dite position à un prix déterminé.

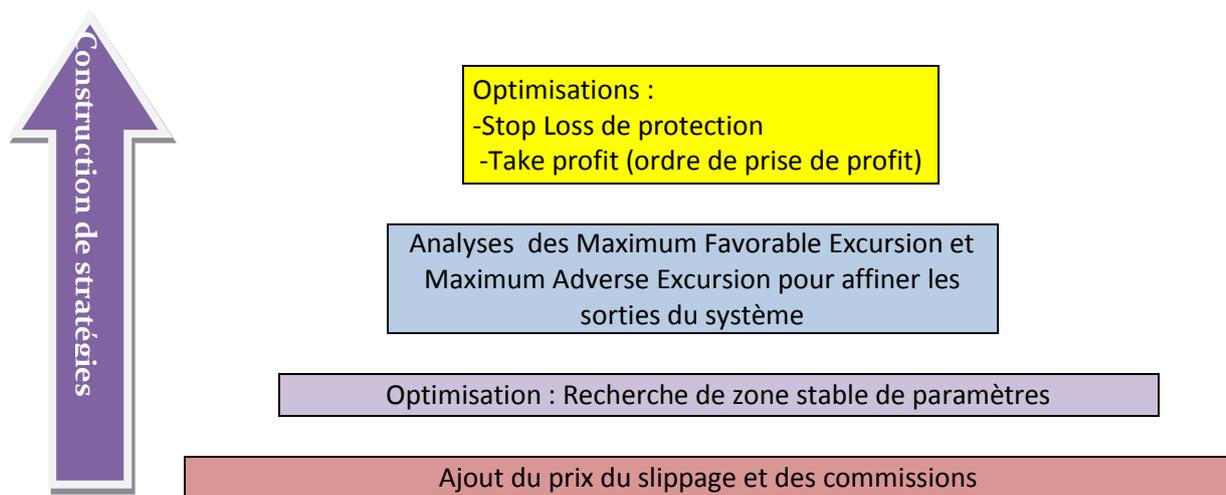
Par exemple, si on prend une position longue sur l'action Société Générale à 21 points avec un Stop Loss à 20 points et que l'action chute en dessous de 20 points, la position longue sera liquidée à 20 points évitant ainsi des pertes éventuelles.

Les **Take profits** permettent de garantir un bénéfice en liquidant une position lorsqu'un prix déterminé est atteint.

On peut définir les Stops Loss et les Take profits au moyen d'indicateurs technique (les moyennes de Bollinger peuvent par exemple être considérées de ce point de vue) mais dans ce mémoire nous analyserons quantitativement les statistiques de nos backtesting pour améliorer nos systèmes.

## Synthèse

La méthode de construction de système fondé sur des signaux d'investissement de l'Analyse Technique peut être ainsi résumée ainsi :



### Ecriture de l'algorithme qui définit un point d'entrée :

Ces méthodes permettent de générer des stratégies intéressantes au terme de profits et de gestion de risque.

Il est cependant nécessaire de tester la robustesse de nos résultats et donc l'impact du curve fitting sur ces résultats.

Nous avons ainsi créé deux procédures de tests de nature différentes afin de tester la robustesse de nos résultats.

#### 4. Tests de robustesse

##### Premier Test: Le Walk Forward Testing

Le premier test s'appelle le Walk Forward Testing, c'est un test de validation dans lequel nous optimisons les valeurs des paramètres sur un segment temporel donné (les données « in sample ») avant de les tester sur le reste des données du marché appelé « out of sample ».

En pratique, on effectue non pas un seul test mais de nombreux tests en divisant les données dont l'on dispose en plusieurs sous segments au sein desquels nous effectuerons la procédure de test. On distinguera le Rolling Walk Forward Testing de l'Anchored Walk Forward Testing, le premier faisant varier la date de départ du sous segment tandis que le deuxième le laisse invariant.

##### *Rolling Walk Forward Testing*

#1 |----in sample = 80%---|Out of sample =20%

#2       |----in sample = 80%---|Out of sample =20%

#3           |----in sample = 80%---|Out of sample =20%

##### *Anchored Walk Forward Testing*

#1 |----in sample = 80%---|Out of sample =20%

#2 |----in sample = 80%-----|Out of sample =20%

#3 |----in sample = 80%-----|Out of sample =20%

Nous utiliserons le Rolling Walk Forward Testing pour les stratégies intraday et l'Anchored Walk Forward testing pour les stratégies Daily, dans la mesure où la structure des marchés intraday est généralement plus variable que celle des marchés en Daily.

Définissons le ratio suivant qui permet de quantifier simplement la robustesse de nos résultats compte tenu des procédures de test ainsi définies :

$$\text{Ratio d'efficacité} = \frac{\text{Ratio de Calmar des données out of sample}}{\text{Ratio de Calmar des données in of sample}}$$

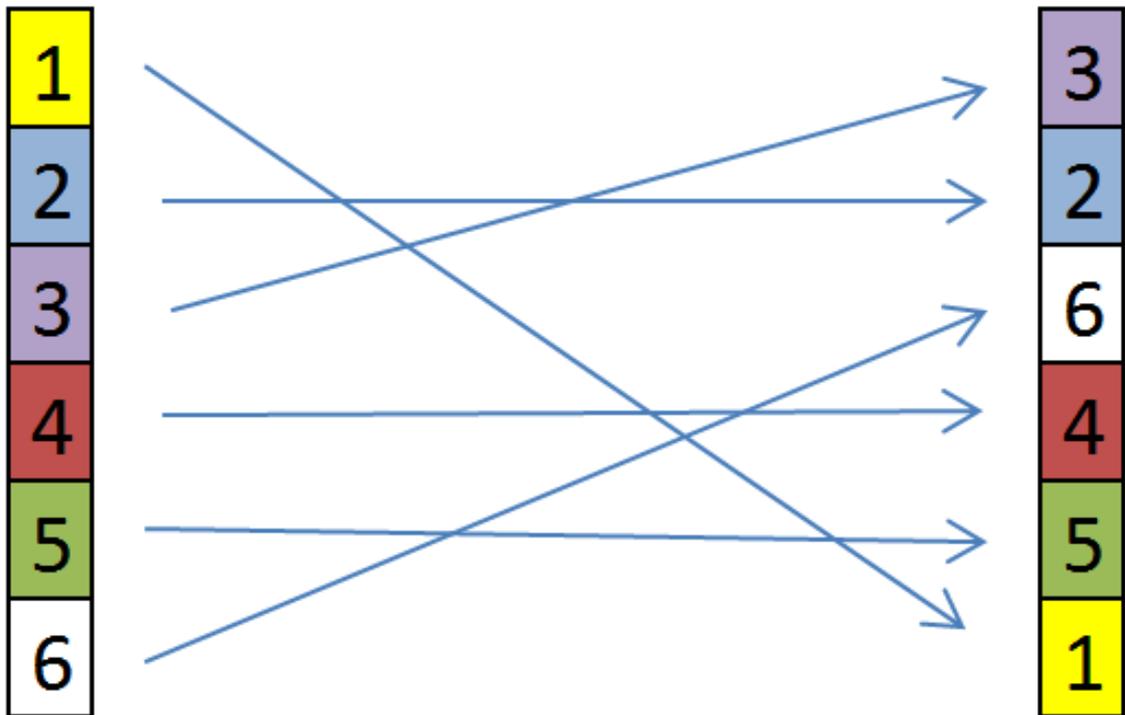
Nous verrons l'utilité de ce ratio et l'intérêt pratique du Walk Forward Testing lorsque nous analyserons notre système de trading dans la deuxième section.

##### Méthodes du Bootstrap et de Monte Carlo

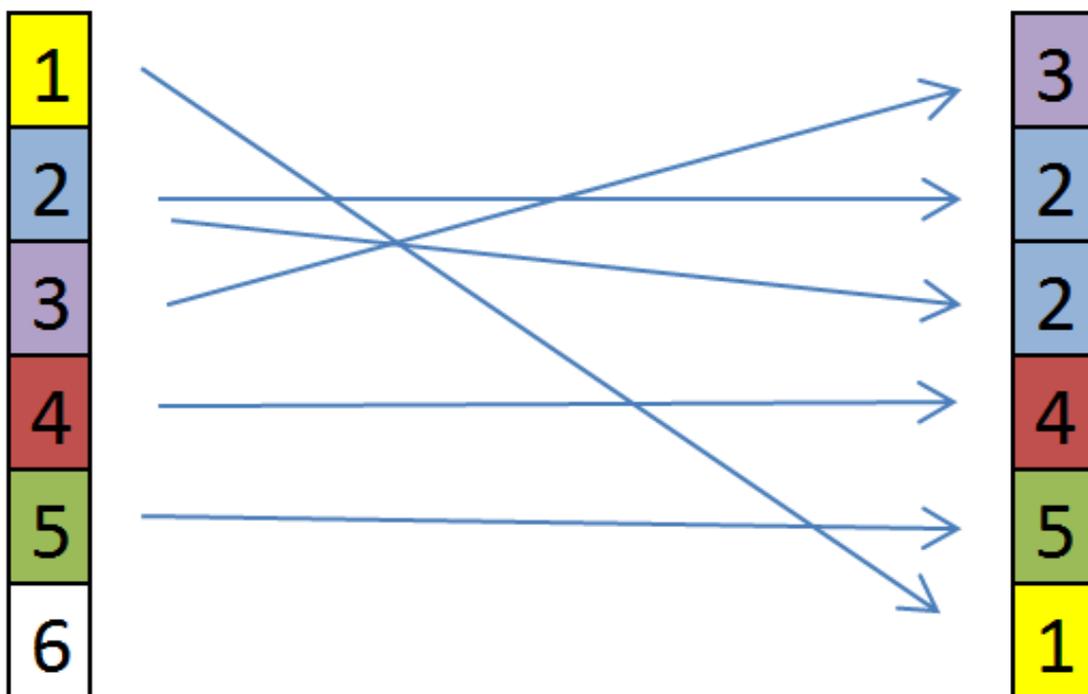
Ce sont des méthodes de ré-échantillonnage issues des statistiques qui permettent d'évaluer des intervalles de confiance sur des statistiques calculées sur un jeu de données unique en simulant des données obtenues par tirage avec remise dans le cas du Bootstrap et sans remise via Monte Carlo. Ces méthodes permettent de valider notre modèle d'évolution des tendances

des cours en simulant des sous-ensembles aléatoires et en recalculant le ratio de calmar qui synthétise les performances de nos stratégies de trading sur ces sous-ensembles.

*Principe de l'analyse de Monte Carlo avec un système de trading qui contient 6 trades dont on aurait échangé l'ordre accidentellement*



*Principe du Bootstrapping :*

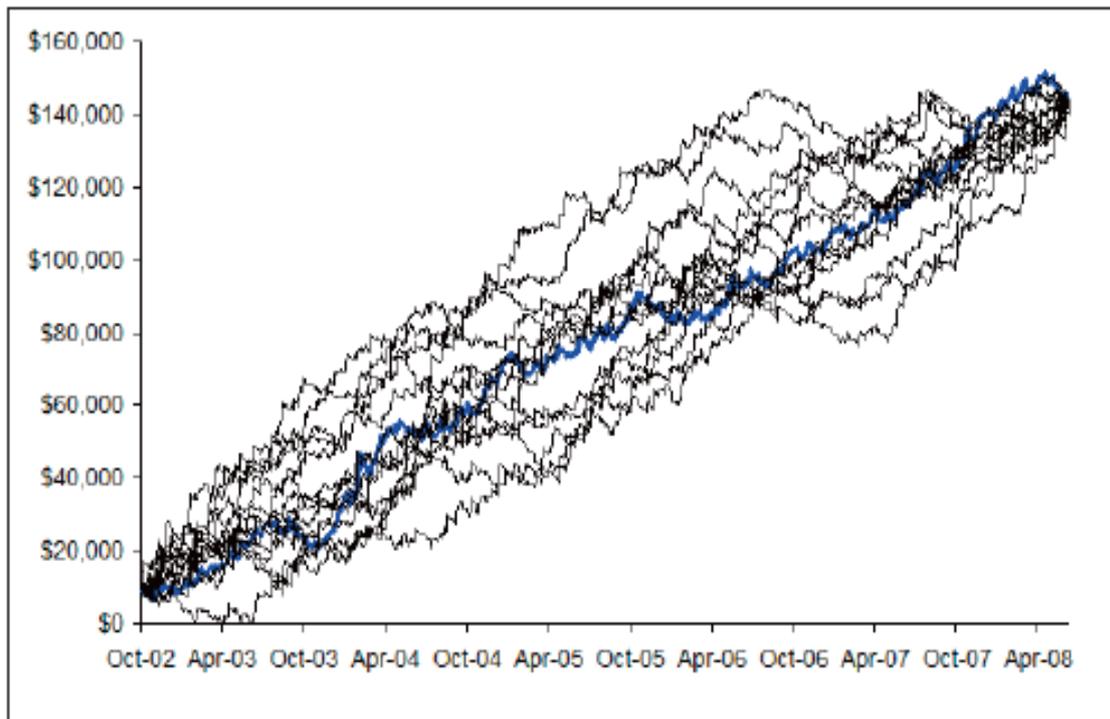


Nous verrons que ces méthodes de simulation permettent de générer de nombreuses Equity Curve et que l'analyse des performances de ces trajectoires permet de conclure quant à la stabilité du système étudié.

### *Exemple de simulation d'Equity Curve via Monte Carlo*

En bleu : l'Equity Curve initial

En noir : 15 permutations de la séquence de trades par la méthode de Monte Carlo



Remarquons que par la méthode de MONTE CARLO toutes les Equity Curve permutées ont les mêmes points d'arrivée et de départ puisque nous ne rajoutons ni n'enlevons aucun trade en échangeant leurs ordres d'apparence.

On peut ainsi, à partir d'une distribution gaussienne des Drawdown définir les pires scénarios que l'on risque et quantifier le seuil de confiance de ces scénarios, puisque les quantiles de la loi normale sont connues.

Avec le Bootstrapping, nous n'obtenons pas forcément les memes profits cumulés finaux et de fait, l'analyse des performances est différentes dans ce cas.

En fait, lorsqu'on souhaite estimer le risque réel inhérent à nos résultats, ces méthodes de rééchantillonnages sont les bonnes méthodes. Mais lorsqu'on tire des conclusions de ces méthodes on doit assumer le fait que les hypothèses sont fondamentalement limitées.

En effet, d'une part ces méthodes retirent la logique temporelle du système initial backtesté (et c'est encore plus vrai dans le cas du bootstrapping puisque certains trades n'apparaissent

plus) et d'autre part si le modèle initial est sur-optimisé, rien ne précise que ses modèles permutés ne le sont pas.

C'est pour cela que nous préférons la méthode du Walk Forward Testing qui permet de quantifier plus clairement la robustesse de nos résultats.

Revenons sur la construction de nos systèmes de trading. Nous avons vu comment « caler » un backtest au marché où l'on intervient au moyen de l'optimisation, et avons différents tests permettant d'éviter la sur-optimisation de ces systèmes.

Nous allons dans la section suivante présentée trois systèmes de trading fondées sur l'Analyse Technique des bandes de Bollinger, des stochastiques et des moyennes mobiles afin de trader l'EUR/USD.

## Développement de systèmes de trading sur l'EUR/USD

### I) Création d'un système de trading

#### 1. Les Systèmes

Nous allons dans cette section analyser les performances de trois systèmes assez différents déjà définis :

- Le premier système est un **croisement de moyennes mobiles**, c'est le système 1 défini à la première section 1.d

#### Système 1 :

##### *Règle d'achat :*

Le croisement de la moyenne mobile courte au-dessus de la moyenne mobile longue déclenche le signal d'achat.

##### *Règle de Vente :*

Le signal de vente est déclenché lorsque la moyenne mobile courte passe en dessous de la Moyenne mobile longue

Voici un exemple de l'utilisation de ces moyennes mobiles, leur croisement met en place des signaux d'achats et de ventes sur le marché de l'EUR/USD.



Figure 12 : Système 1 appliqué à l'EUR/USD

- Le deuxième système est le **système hybride sur les croisements des stochastiques** définies dans la première section 1.d

### Systeme 2

#### Règle d'achat :

Si % KS > % DDS et %KS > 50

Ou si % KS > 80

Alors on achète l'instrument financier

#### Règle de Vente :

Si % KS < % DDS et %KS < 50

Ou si % KS < 20

Alors on vend l'instrument financier

La représentation graphique ci-dessous met en évidence l'utilisation pratique de ces règles de trading.



Figure 13 : Systeme 2 appliqué à l'EUR/USD

- Le troisième système est le système défini à partir des **bandes de Bollinger**

### Systeme 3

#### Règle d'Achat :

Si le prix dépasse la bande de Bollinger haute précédente, on achète l'instrument financier en intraday.

#### Règle de Vente :

Si le prix dépasse la bande de Bollinger basse précédente, on vend à découvert l'instrument financier en intraday.



Figure 14 : Système 3 appliqué à l'EUR/USD

## 2. Easy language

Nous allons ici écrire les systèmes précédents en Easy Language, c'est un langage universel simplifié permettant de lire et d'interpréter facilement les codes de nos stratégies. Il peut par ailleurs être utilisé sur des logiciels comme Tradestation ou Multicharts.

### *Système 1 : croisement de moyennes mobiles*

#### REGLE D'ACHAT

```

inputs:Price(Close),FastLength(9),SlowLength(18);
variables:var0(0),var1(0);

var0=AverageFC(Price,FastLength);
var1=AverageFC(Price,SlowLength);

condition1=CurrentBar>1andvar0crossesovervar1;
ifcondition1then
    Buy("MA2CrossLE")nextbaratmarket;
    
```

#### REGLE DE VENTE

```

inputs:Price(Close),FastLength(9),SlowLength(18);
variables:var0(0),var1(0);

var0=AverageFC(Price,FastLength);
var1=AverageFC(Price,SlowLength);

condition1=CurrentBar>1andvar0crossesundervar1;
ifcondition1then
    SellShort("MA2CrossSE")nextbaratmarket;
    
```

Ce système possède 4 paramètres qui sont les paramètres des moyennes mobiles longues et

*courtes respectivement utilisées pour chacun des deux signaux.*

### ***Système 2 : Système hybride des croisements des stochastiques***

```
inputs:Length(14),OverBought(80),OverSold(20),MID(50);
variables:var0(0),var1(0),var2(0),var3(0);

Value1=Stochastic(H,L,C,Length,3,3,1,var0,var1,var2,var3);

condition1=CurrentBar>2andvar2>MIDandvar2>var3;
condition2=CurrentBar>2andvar2>OverBought;

condition3=CurrentBar>2andvar2<MIDandvar2<var3;
condition4=CurrentBar>2andvar2<OverSold;

ifcondition1orcondition2thenbuy("StochLE")nextbaratmarket;

ifcondition3orcondition4thensellshort("StochSE")nextbaratmarket;
```

*Ce système possède 4 « inputs ». On pourrait en rajouter pour lisser la courbe de manière optimale mais cela rendrait le système trop complexe à analyser.*

### ***Système 3 : Bandes de Bollinger***

```
Inputs:Length(20),Distance(2);
Vars:HigherBand(0),LowerBand(0);

HigherBand=Average(Close,Length)+Distance*StdDev(Close,Length);
LowerBand=Average(Close,Length)-Distance*StdDev(Close,Length);

BuynextbaratHigherBandStop;
SellshortnextbaratLowerBandStop;
```

*Ce système possède quant à lui 2 paramètres variables. On aurait aussi pu définir deux « Distance » à l'écart type, une distance à la borne de sur-achat et une autre distance à la borne de sur-vente mais pour simplifier le système à l'étude de deux paramètres nous avons volontairement utilisé les bandes de Bollinger « classiques » qui utilise la même distance.*

## II) Evaluation et optimisation des stratégies de trading

### 1. Une première évaluation des systèmes de trading : l'importance des commissions et du slippage

En appliquant le système 1 sur les données journalières de l'EUR/USD entre le 12/07/2005 et le 10/11/2011 avec les paramètres (5,12) pour les signaux long et (7,17) pour les signaux short, et on investissant 10 000\$ par trade on obtient l'EquityCurve suivante :

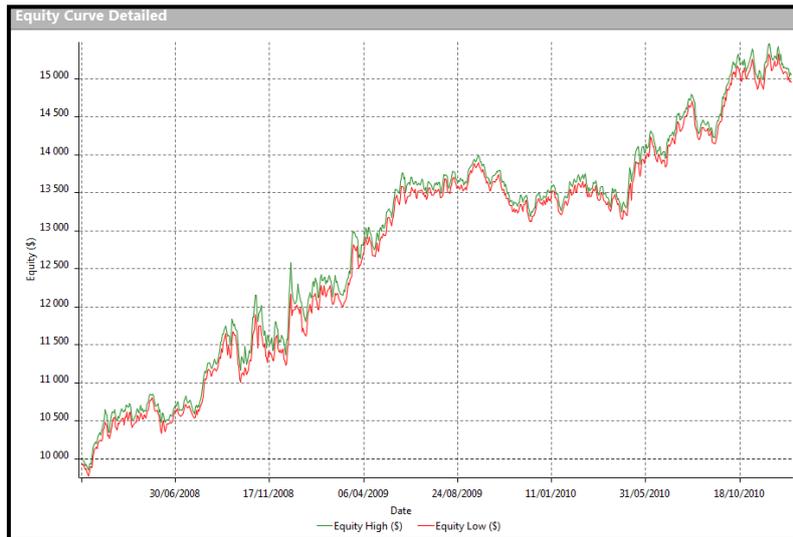


Figure 15 : EquityCurve du système 1 sans frais de commissions et de slippage

Clairement, ces signaux génèrent des profits relativement stables sur l'intervalle de temps étudié. Cependant pour être réaliste, il faut étudier le système précédemment défini en prenant en compte les commissions et le slippage (c'est le cout engendré par le décalage temporel entre l'apparition du signal et l'exécution de l'ordre).

**Estimons les coûts de commissions à 5\$ et les coûts du slippage à 25\$.**

Les mêmes signaux de trading génèrent l'Equity Curve suivante :

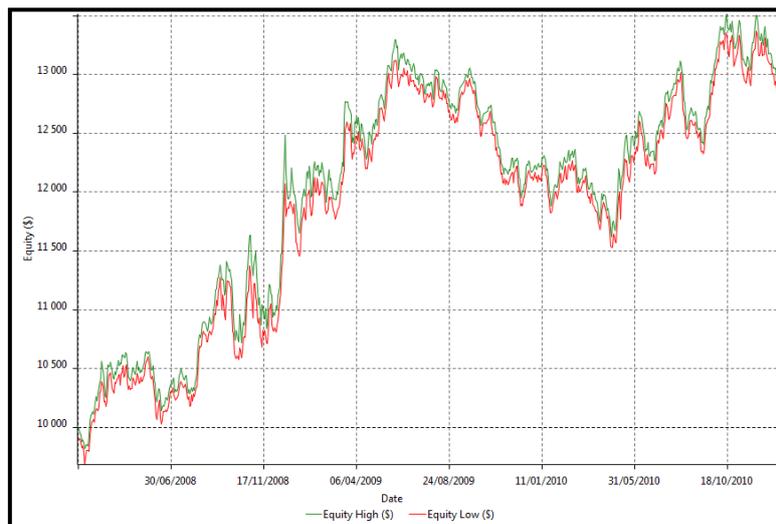


Figure 16 : Système 1 appliqué à l'EUR/USD avec frais de commissions et de slippage

Cet exemple prouve qu'il est nécessaire d'inclure les coûts de transactions en amont de l'étude de nos systèmes pour que nos stratégies soient réellement « tradable ». Précisons que les coûts de slippage et de commissions estimés précédemment sont élevés et ne correspondent pas aux coûts réels d'une salle de marché Parisienne. Il nous paraissait cependant important de surestimer ces coûts dans notre backtesting.

## 2. Variation des paramètres : optimisation et diagramme de stabilité

Analysons à présent l'impact des variations des paramètres de ces systèmes, en incluant 30% de slippage et commissions par trade. On souhaite visualiser l'impact des variations des paramètres sur les performances de nos systèmes sur l'EUR/USD entre le 01/01/2005 et le 01/01/2011.

- **Système 3**

Analysons déjà la courbe représentant le ratio de Calmar en fonction des paramètres du système lorsqu'ils varient à l'intérieur du domaine suivant :

**Domaine**

10 < La longueur de la moyenne mobile < 50 avec un pas de 1.  
0 < La distance à l'écart type < 4,1 avec un pas de 0,1.

On obtient la surface suivante :

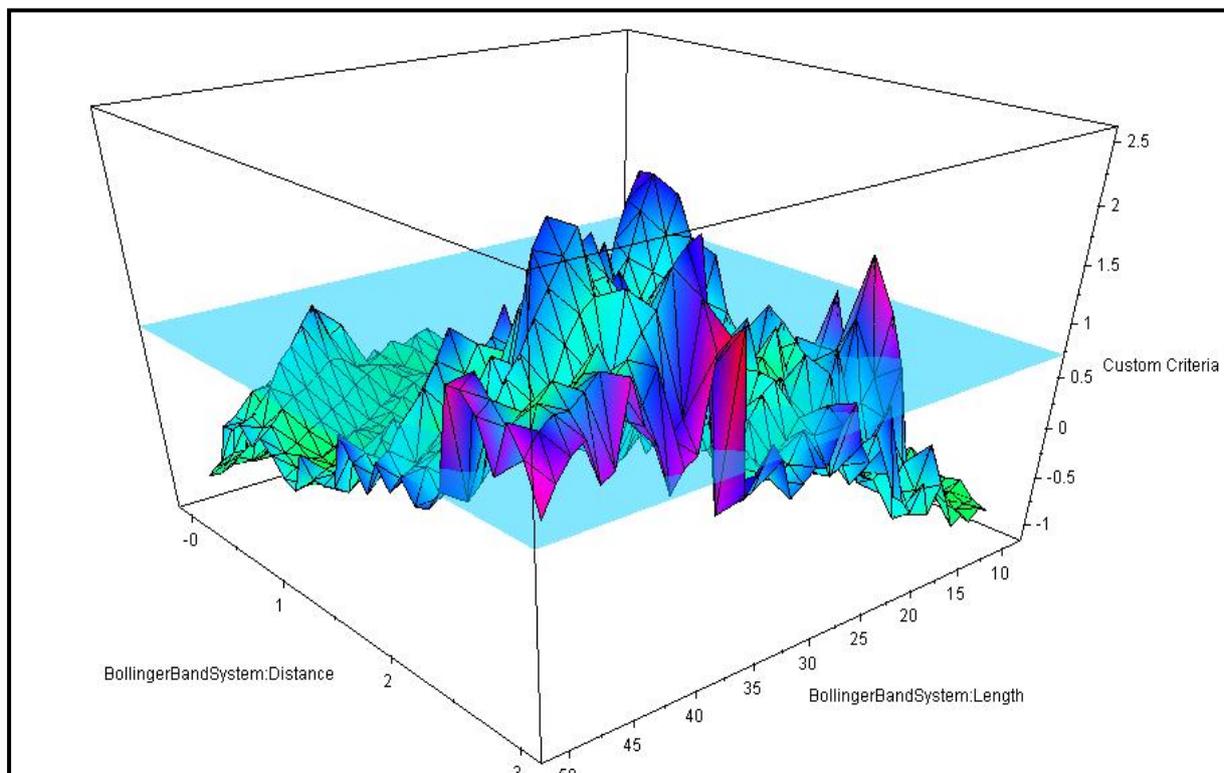


Figure 17 : Représentation 3D de la surface du ratio de Calmar engendrée par l'optimisation brute du système 3

Cette figure met en évidence une surface assez irrégulière formée de nombreux pics et d'une zone relativement stable autour de laquelle se situe le maximum de l'optimisation : le point (Length,Distance)=(43,2,4) . En l'occurrence, la nature erratique de la surface nous emmène à douter de la consistance des résultats.

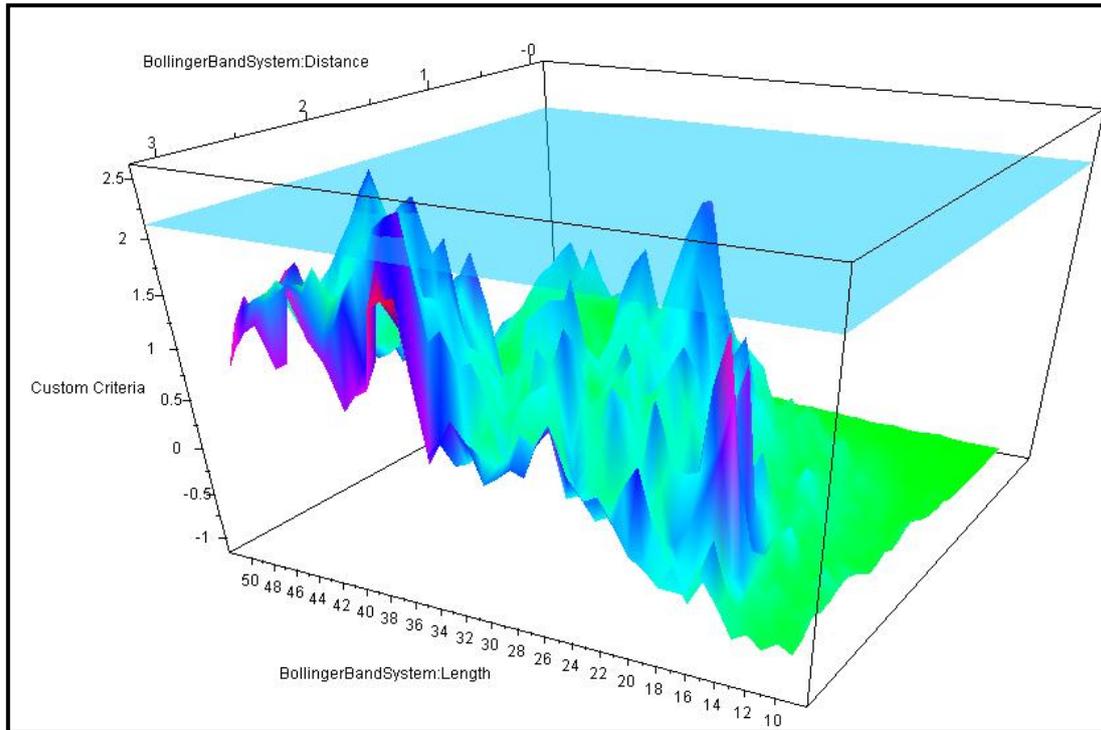


Figure 18 : Représentation 3D de la surface du ratio de Calmar engendrée par l'optimisation brute du système 3

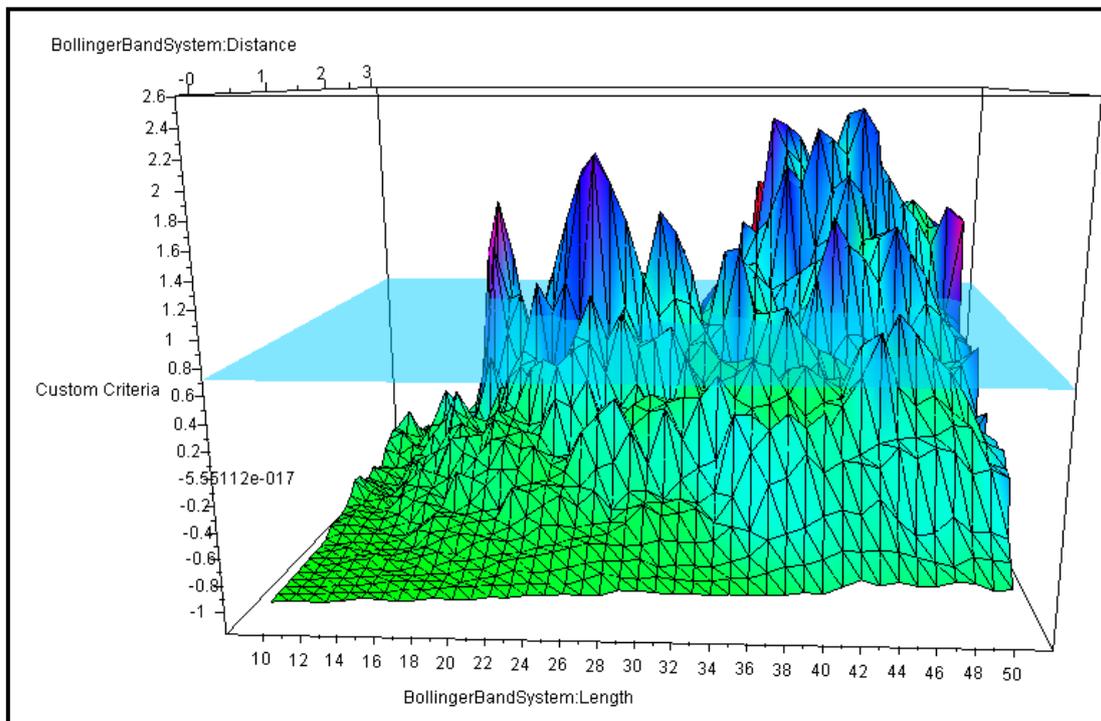


Figure 19 : Représentation 3D de la surface du ratio de Calmar engendrée par l'optimisation brute du système 3

Un algorithme génétique (dont nous donnons une représentation ci-dessous) permet aussi de mettre en évidence les pics de la surface du ratio de Calmar.

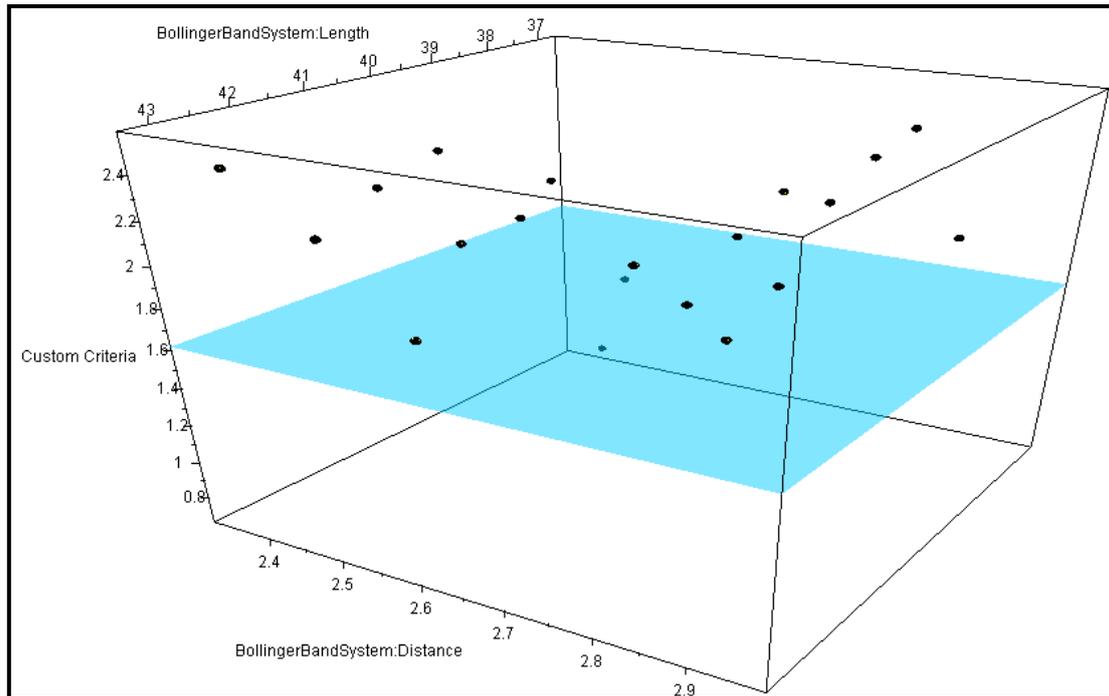


Figure 20 : Représentation 3D de la surface engendrée par l'optimisation génétique du système 3

Ce système génère l'EquityCurve et le Drawdown suivants :

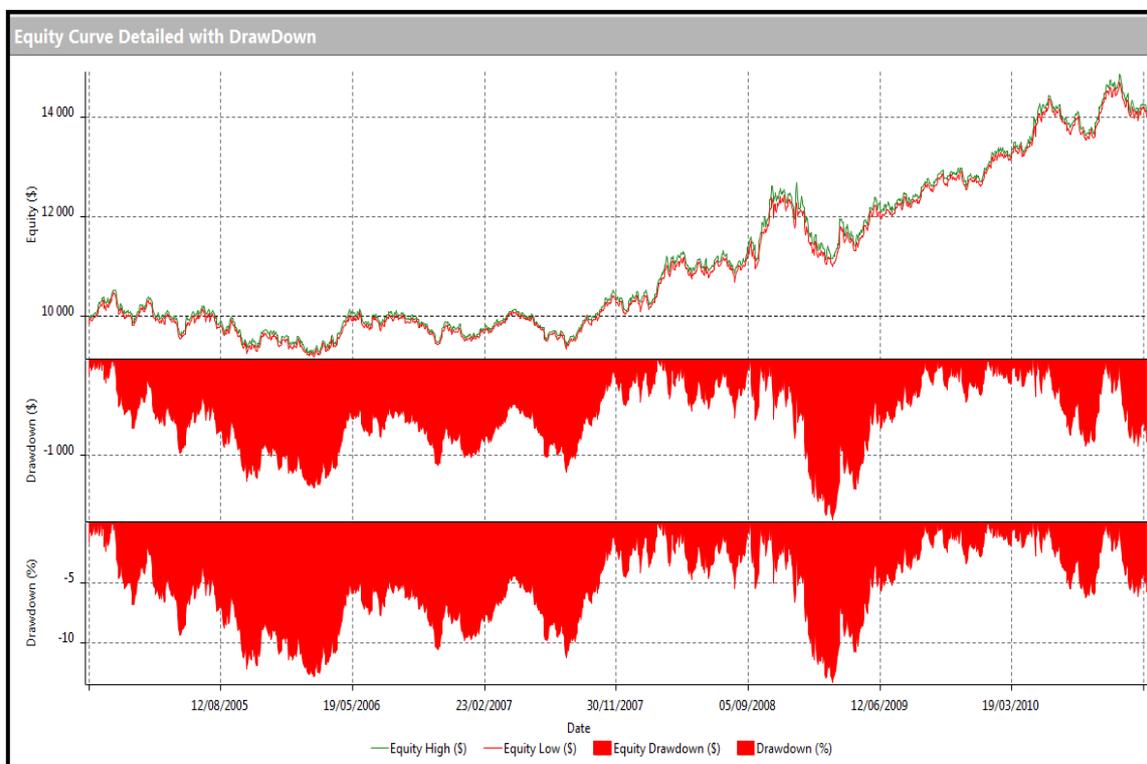


Figure 21 : Représentation de l'Equity Curve optimale du système 3

### Résultats

Longueur de la moyenne de Bollinger=43

Distance à l'écart type =2.4

Pour un ratio de Calmar égal à 2.45 (soit 42% en annualisant les profits)

Remarquons que la surface des « net profit » (représenté graphiquement ci-dessous) qui correspond au gain réel du système est assez stable et le point (43,2.4) qui maximisait la surface du ratio de Calmar maximise aussi la surface des profits.

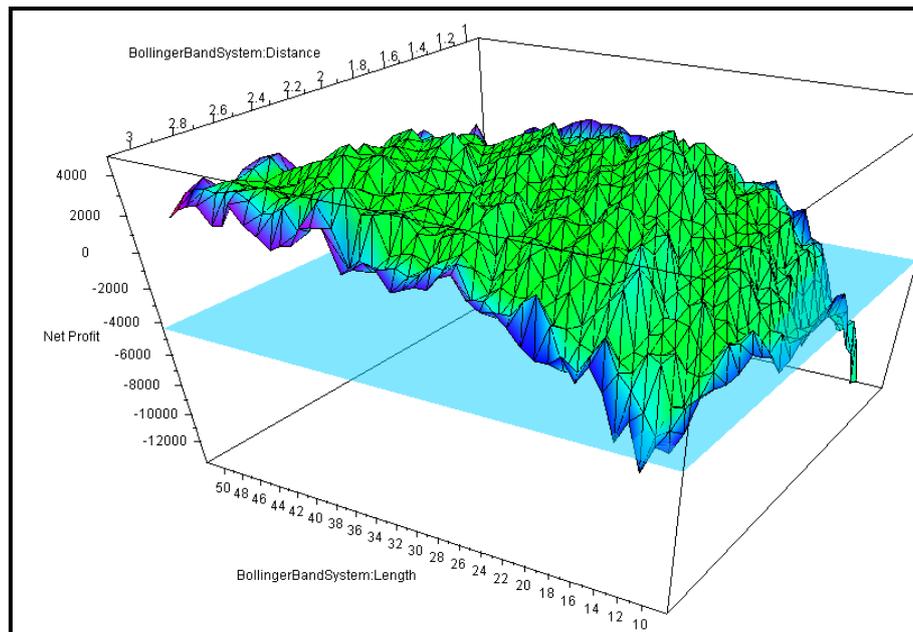


Figure 22 : Représentation 3D de la surface du « Net Profit » engendrée par l'optimisation brute du système3

Nous pouvons mettre en évidence cette zone de profit élevé, c'est la zone entourée en noir ci-dessous.

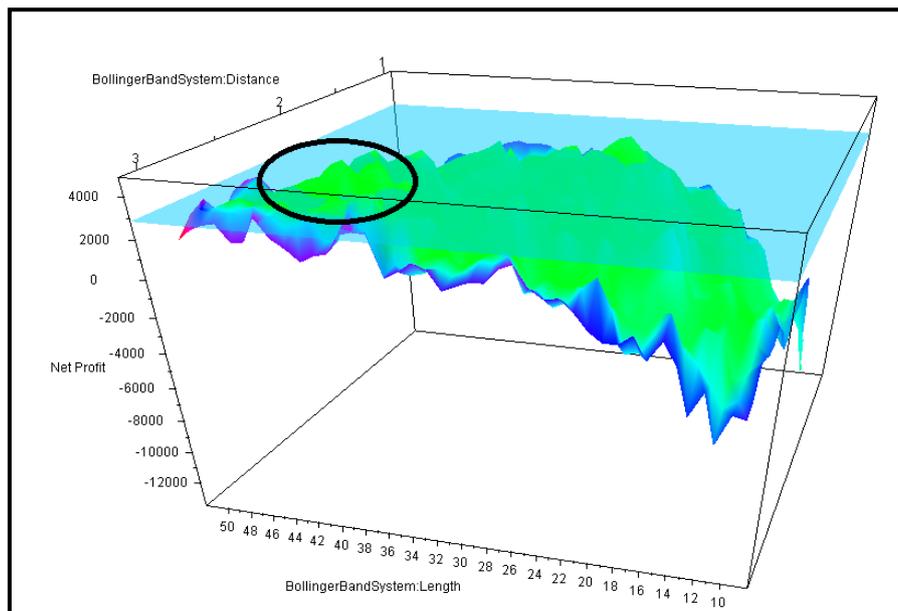


Figure 23 : Représentation 3D de la surface du « Net Profit » engendrée par l'optimisation brute du système 3

- **Système 1**

Le système 1 est complexe à étudier. En effet, ce système possède 4 paramètres variables puisque nous avons défini le système de manière à ce que les longueurs des moyennes soient différentes pour les signaux d'achat et vente.

En l'occurrence la méthodologie induite précédemment n'est pas forcément applicable, de plus les algorithmes classiques de recherche de solutions prennent énormément de temps lorsqu'il y a autant de paramètres à optimiser. Face à cette difficulté nous avons décidé d'utiliser un algorithme génétique pour générer la solution optimale du problème.

Nous cherchons à maximiser le ratio de Calmar sur le domaine :

**Domaine:**

$5 < \text{Fast\_Length\_Long} < 30$   
 $30 < \text{Slow\_Length\_Long} < 55$   
 $5 < \text{Fast\_Length\_Short} < 30$   
 $30 < \text{Slow\_Length\_Short} < 55$   
 Avec des pas égaux à 1

Résultats de l'optimisation génétique							
FastLength	SlowLength	FastLength	SlowLength	Custom Criteria	Net Profit	% Profitable	Profit Factor
8.000000	38.000000	29.000000	35.000000	4.273078	5183.495800	50.000000	2.671785
8.000000	38.000000	28.000000	35.000000	4.159424	5226.443700	47.222222	2.713797
8.000000	39.000000	28.000000	35.000000	3.139723	4137.677100	44.444444	2.245812
8.000000	39.000000	29.000000	35.000000	3.107367	4095.037200	47.222222	2.214346
8.000000	38.000000	28.000000	36.000000	2.995623	4497.789600	50.000000	2.493340
8.000000	38.000000	29.000000	36.000000	2.862524	4297.946900	47.222222	2.382403
10.000000	34.000000	28.000000	35.000000	2.859891	4636.524800	44.736842	2.390984
10.000000	35.000000	28.000000	35.000000	2.825271	4580.398900	44.736842	2.364604
8.000000	38.000000	27.000000	36.000000	2.812745	4223.206700	47.222222	2.311806
12.000000	36.000000	28.000000	35.000000	2.734340	4202.403700	47.222222	2.177098
11.000000	36.000000	28.000000	35.000000	2.712969	4398.332000	47.222222	2.228041
10.000000	37.000000	28.000000	35.000000	2.697160	4372.701600	44.444444	2.217983
8.000000	38.000000	27.000000	35.000000	2.690373	4307.680400	47.222222	2.297984
10.000000	36.000000	28.000000	35.000000	2.682093	4348.274700	47.222222	2.229755
10.000000	38.000000	28.000000	35.000000	2.676898	4114.121300	44.444444	2.166846
10.000000	35.000000	29.000000	35.000000	2.639346	4562.562400	50.000000	2.335607
11.000000	32.000000	28.000000	35.000000	2.557268	4145.905000	42.500000	2.129520
10.000000	43.000000	28.000000	35.000000	2.549125	3384.304000	44.444444	1.974723
8.000000	40.000000	29.000000	35.000000	2.546108	3427.411100	47.222222	1.977781
11.000000	38.000000	28.000000	35.000000	2.537911	3900.511700	44.444444	2.057183
12.000000	36.000000	29.000000	35.000000	2.532901	4160.175900	50.000000	2.150628
8.000000	38.000000	26.000000	36.000000	2.530273	3848.459800	44.444444	2.127368
11.000000	37.000000	28.000000	35.000000	2.529529	3887.629800	44.444444	2.072828

On peut en fait vérifier à posteriori que ces résultats sont effectivement optimaux en effectuant un algorithme brut et en analysant la stabilité des résultats au voisinage de ces points (pour information il y a 456 976 simulations à mener et cela prend deux heures de calculs sur un ordinateur actuel).

On obtient en fait un très grand nombre de surfaces, pour visualiser les domaines de stabilité où se situent les optimums on fixe les paramètres du système Short et on fait varier les deux paramètres restants. On fixe par exemple,

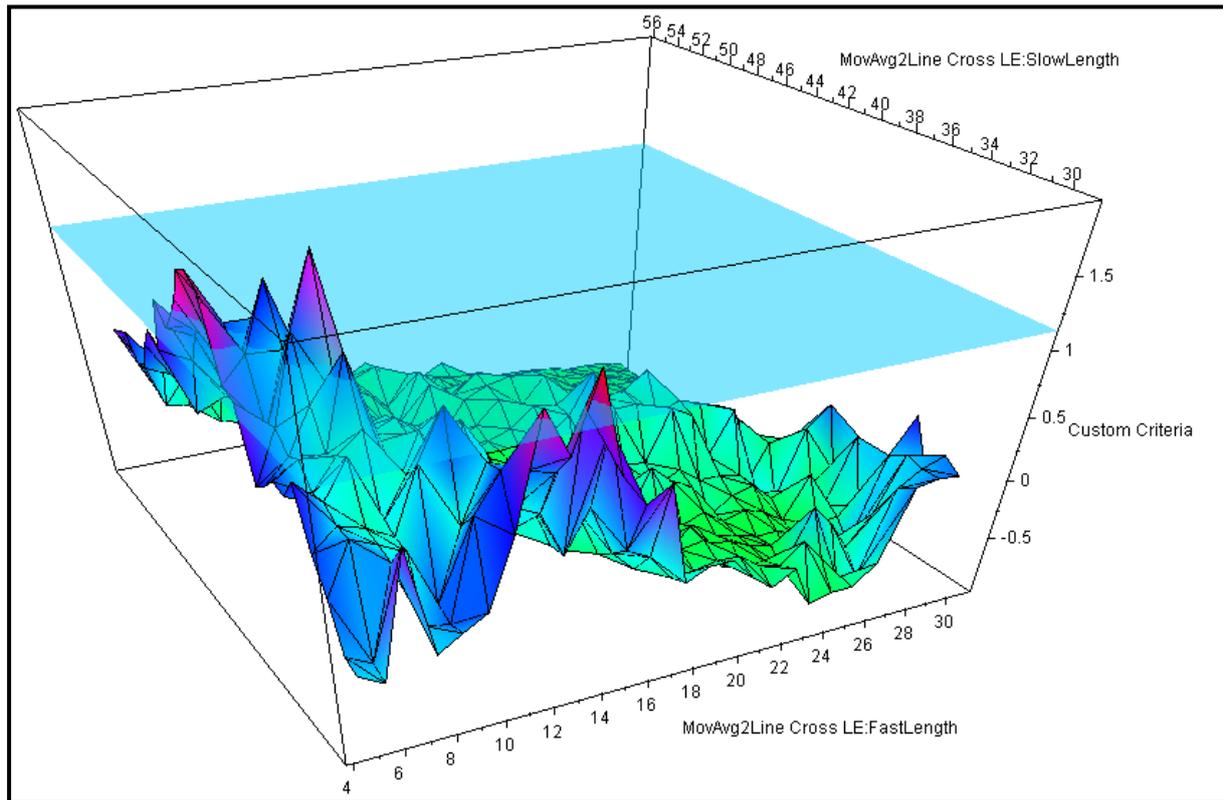


Figure 24 : Représentation graphique de la surface du ratio de Calmar pour les paramètres Fast\_Length\_Long et Slow\_Length\_Long fixés à 5 et 30

Le pic de la surface est le point (8,38) que l'on retrouve dans notre optimisation génétique. La surface montre aussi qu'un pic relativement stable se forme autour du point (8,38).

En conclusion, on peut dire affirmer que les paramètres ((8,39), (28,35)) optimisent les performances du système.

**Résultats:**

*Fast\_Length\_Long\_\_OPTIMAL =8*

*Slow\_Length\_Long\_\_OPTIMAL=39*

*Fast\_Length\_Short\_\_OPTIMAL=28*

*Slow\_Length\_Short\_\_OPTIMAL =35*

*Pour un ratio de Calmar égale à 4.27 (soit 77% en l'annualisant)*

- **Système 2**

Le système 2 possède lui aussi 4 paramètres et est de fait impossible à optimiser par algorithme de force brute (les calculs prendraient trop de temps). Nous utiliserons donc un algorithme génétique afin de maximiser le ratio de Calmar sur le domaine :

**Domaine:**

$10 < Length < 40$   
 $70 < OverBought < 90$   
 $10 < OverBought < 30$   
 $40 < Mid < 60$

Nous obtenons les résultats suivants :

**Résultats:**

Length\_Optimal=25  
OverBought\_Optimal=84  
OverSold\_Optimal=18  
Mid\_Optimal=40

Pour un ratio de Calmar de **0.97** (soit 16% en l'annualisant)

### 3. Quelques Remarques

Bien que le système 2 semble être le plus sophistiqué, c'est celui qui génère l'EquityCurve la moins intéressante à trader. En fait, cela s'explique par le fait que c'est une stratégie qui génère beaucoup de signaux contrairement aux autres systèmes et les résultats sont plus affectés par les commissions et le slippage que nous avons volontairement choisi important.

Au sens de la création de système de trading nous devons préciser que ces systèmes sont très simples et qu'ils ne possèdent pas de « risk management » c'est-à-dire de gestion de Stops et de Take profits, c'est l'objet du paragraphe suivant.

### III) Technique de Risk management : détermination de sortie approprié

#### 1. Concept de Maximum Adverse Excursion (MAE)

Dans le but de trouver des points de Stops approprié pour ce système, nous allons analyser la distribution des trades et examiner chacun de ces trades individuellement.

En le faisant, on peut découvrir qu'il y a des similitudes entre les stratégies de trading mais que les trades possèdent aussi un ensemble de caractéristiques qui leur est propre. Ces caractéristiques peuvent être examinées en utilisant la technique du « **Maximum Adverse Excursion** » (MAE) développé par John Sweeney.

Le MAE est définie comme le plus grand mouvement de prix contraire à notre position, ou en d'autres termes la différence entre le point haut (dans le cas où la position est Short) et l'entrée de la position. C'est aussi ce que l'on appelle le drawdown du trade.

Illustrons cette idée par la représentation graphique suivante:

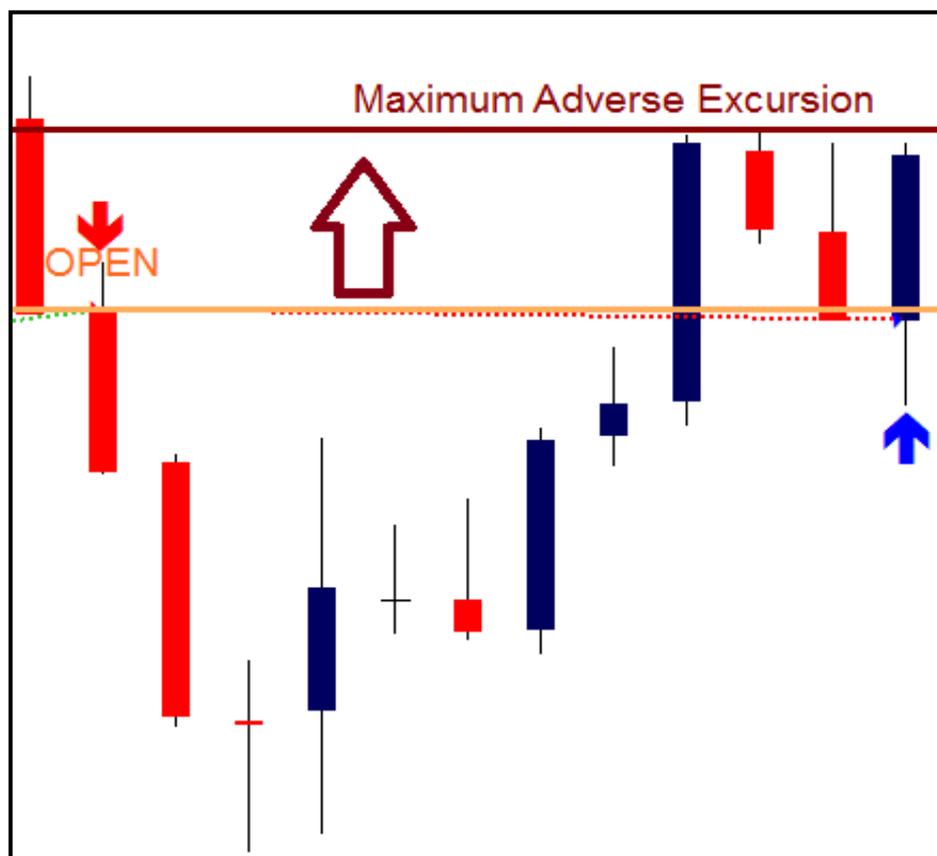


Figure 25 : Représentation graphique illustrant le concept de Maximum Adverse Excursion

Le concept de MAE permet d'évaluer individuellement les trades du système afin de déterminer quelle quantité de nominal ou quel pourcentage de nominal doit-on placer comme Stop de protection. Analysons à présent les MAE du Système2 à l'aide du graphique ci-dessous.

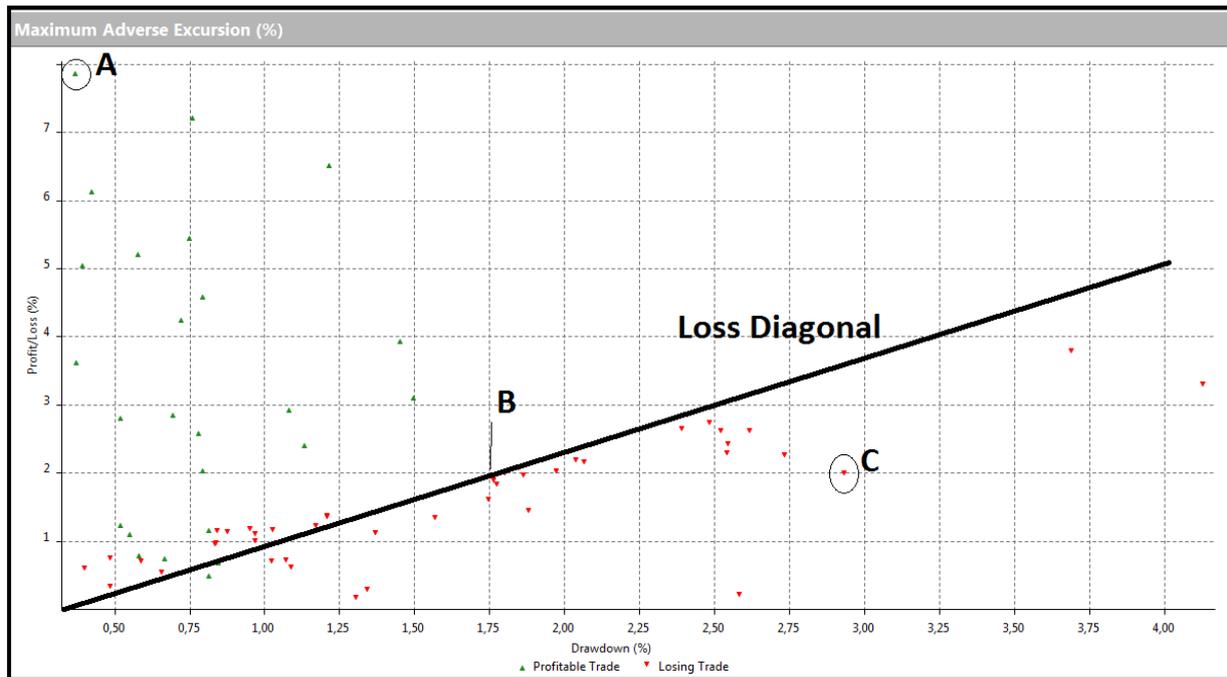


Figure 26 : Diagramme représentant le P&L (en \$) en fonction du Drawdown (en %) du système 2.

Ce graphique illustre les 48 trades générés par ce système sur la période de test. Pour chaque trade, on peut visualiser le montant des drawdowns survenus (les MAE) en relation avec les profits et pertes réalisés. Les trades gagnants sont visibles à l'aide des flèches vertes et les trades perdants avec les flèches rouges.

En plaçant ces trades sur le même graphique, cela facilite la visualisation du montant des pertes qui doivent être supportés par ces trades avant d'être gagnant. En ce sens, le graphique des MAE nous permet de visualiser à quel moment les pertes associées à ces trades ne sont plus justifiées. Précisons que pour des raisons d'adaptabilité au système, nous travaillerons plutôt sur des montants en pourcentage.

Analysons à présent le diagramme des MAE ci-dessus qui fait apparaître un certain nombre de caractéristiques que l'on retrouve dans les systèmes de trading trend following:

- Sur le côté gauche du diagramme on observe plus de trades gagnants que de trades perdants. Ceci s'explique par le fait que les trades gagnants ne souffrent pas de gros drawdowns comme les trades perdants. En fait, les « meilleurs » trades sont ceux qui comme le point A sont très profitables tout en ayant de petits Drawdown.
- Une autre zone intéressante est ce qu'on appelle « la diagonale de perte » ou Loss diagonal en anglais. Sur cette ligne, on peut trouver un certain nombre de trades perdants à l'instar du trade B dont les pertes sont égales aux Drawdowns.
- Enfin certains trades comme les trades C existent. Ces trades possèdent la particularité de souffrir d'un énorme Drawdown mais d'une perte finale relativement faible.

Revenons à notre problème initial.

*A quelle distance doit-on placer un Stop Loss de protection pour limiter le risque associé à chaque trade du système de trading ? Comment le diagramme des MAE nous permet d'aborder ce problème ?*

Ce Stop Loss peut être dessiné arbitrairement comme une ligne verticale sur le diagramme des MAE afin de conserver les meilleures trades et de couper un maximum de trades perdants.

Plus précisément ces Stops Loss coupent les trades qui souffrent d'une trop grosse perte depuis leur entrée. Sur la figure ci-dessous nous plaçons un StopLoss sur une ligne aux alentours des 1.70%.

En pratique, la plupart des positions perdantes sont coupées mais certains trades gagnants le sont aussi, c'est pour cela que nous placerons le Stop de manière à conserver une majorité de trades gagnants tout en limitant simultanément l'exposition de la stratégie à une sorte de dégradation des profits. Evidemment, il est bon de placer le Stop dans la zone qui coupe un maximum de trade sur la diagonale des pertes sans affecter les trades qui sont gagnants.

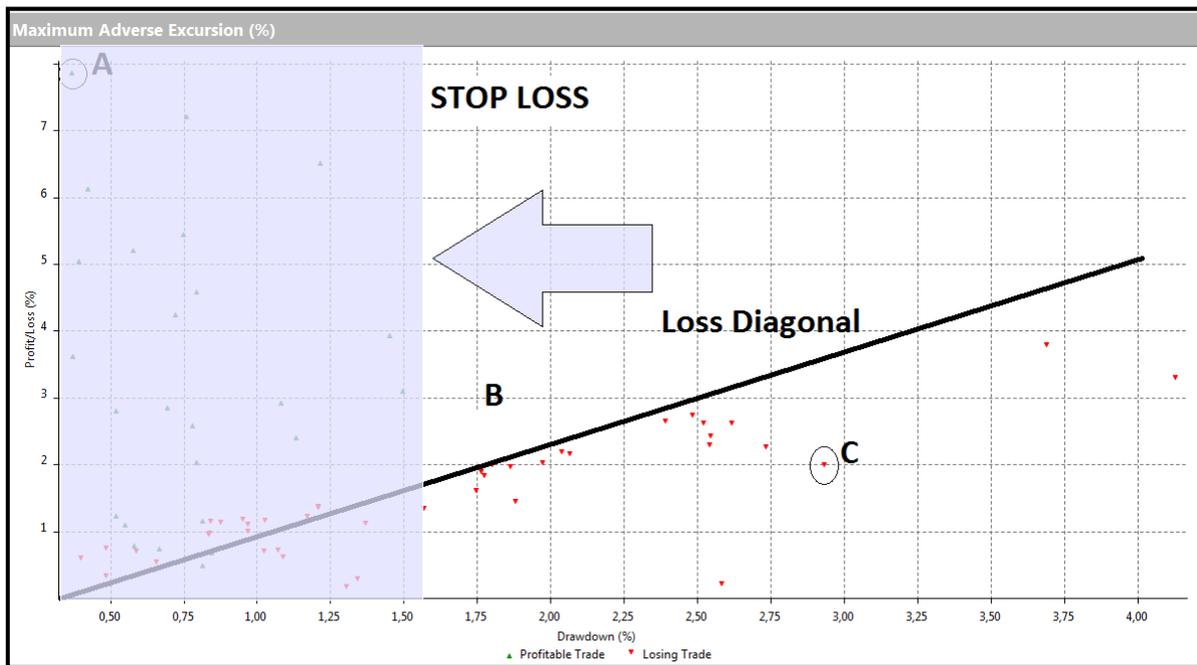


Figure 27 : Diagramme représentant le P&L (en \$) en fonction du Drawdown (en %) du système 2.

Cette méthode ne permet pas de trouver le Stop Loss optimal. Cependant, le diagramme MAE peut nous donner un indice concernant la valeur du Stop « optimal » qui est quelque part entre 0.75% et 1.50 %.

On peut donc ainsi trouver la valeur du Stop Loss optimal en faisant varier le Stop Loss entre 0.75% et 1.50% avec un pas de 0.01% et en maximisant le ratio de Calmar.

On effectue donc une deuxième procédure d'optimisation.

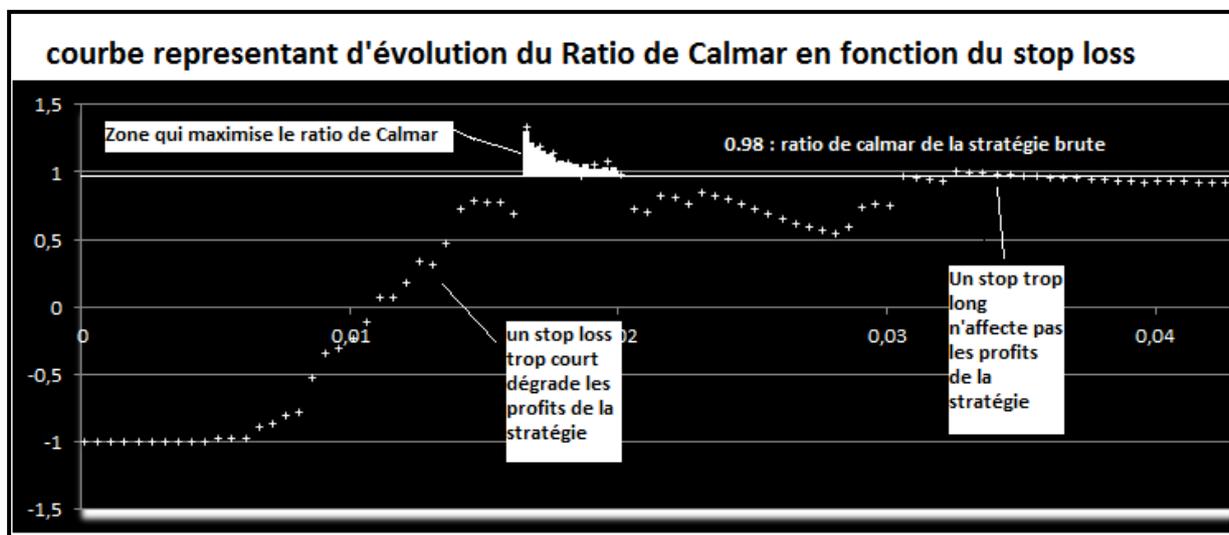
Remarquons qu'on aurait tout aussi bien pu optimiser le système de départ avec des règles supplémentaires permettant de prendre en compte le paramètre de Stop Loss, nous verrons cependant dans la troisième section que cette approche dégrade les résultats dans la mesure où elle est plus complexe. Nous avons donc choisi de trouver d'abord les paramètres du système puis d'optimiser le Stop Loss.

Ecrivons la procédure en EasyLanguage qui permette d'insérer un risk Stop Loss de protection dans le cas où la position est longue ou courte :

```

inputs: StopLossPct (.05);
SetStopShare;
IfMarketPosition=1then
    SetStopLoss (EntryPrice*StopLossPct)
else
    Sell ("PctStopLX-eb") nextbaratClose* (1-StopLossPct) Stop;
SetStopShare;
IfMarketPosition=-1then
    SetStopLoss (EntryPrice*StopLossPct)
else
    BuyToCover ("PctStopSX-eb") nextbaratClose* (1+StopLossPct) Stop;
    
```

Dans le cas du Système 2 nous obtenons les résultats représentés ci-dessous, le Stop Loss optimal est égal à 1.66 %. Ce Stop permet d'augmenter le ratio de Calmar de 33% (le ratio de calmar du système vaut alors 1.33 %).



En pratique ce stop nous permet d'obtenir la répartition des Maximum Adverse Excursion ci-dessous qui prouve bien que l'on a amélioré le système.

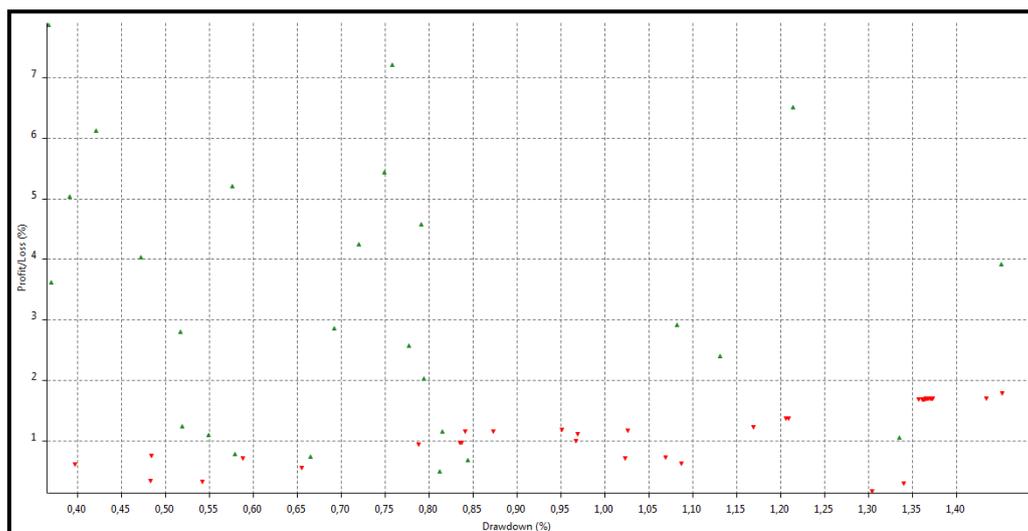


Figure 28 : Diagramme représentant le P&L (en \$) en fonction du Drawdown (en %) du système 2 avec un stop loss optimal égal à 1.66 %.

Nous avons ainsi trouvé le meilleur Stop Loss permettant de couper ses positions défavorables sans pour autant dégrader les gains de notre système. On applique la même méthodologie pour trouver les Stops Loss optimaux des deux autres systèmes.

### Résultats partiels :

Le Système 3 s'améliore avec un Stop Loss de 3,68 % qui permet au ratio de calmar d'augmenter de 2.45 à 2.49.

Par contre le Système 1 ne peut pas être amélioré à l'aide d'un Stop. En effet, la courbe représentant le ratio de calmar en fonction du Stop Loss de protection est croissante et asymptotique, il est donc inutile d'en insérer un.

## 2. Recherche d'un Take profit optimal : utilisation du Maximum Favorable Excursion

Enfin, on peut introduire des ordres de Take profits, en menant une étude sur la distribution des profits et des pertes en fonction du Maximum Favorable Excursion (ou run up) qui sont les gains qu'on aurait pu au maximum gagner dans un trade en prenant la différence entre le point haut atteint par l'Equity Curve sur ce trade et la valeur des profits cumulés à l'ouverture.

Le diagramme suivant représente la distribution des pertes et gains par rapport aux MFE pour le système 2 optimisé avec les paramètres Length\_Optimal=25, OverBought\_Optimal =84, OverSold\_Optimal=18, Mid\_Optimal=40 et un riskStopLoss =1.66 %.

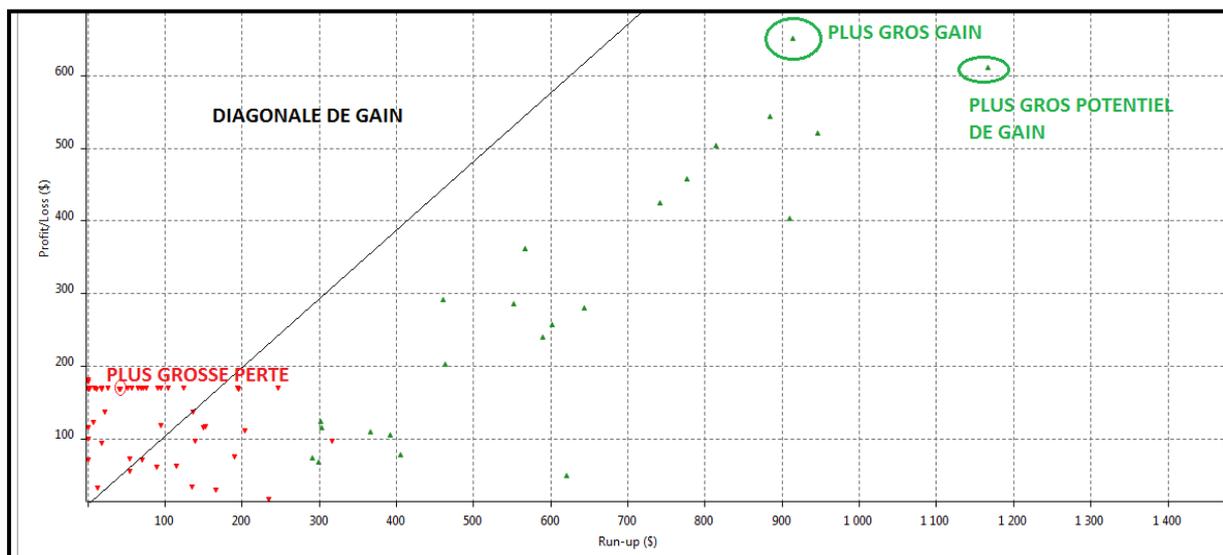


Figure 29 : Diagramme représentant le P&L (en \$) en fonction du run up (en \$) du système 2.

Cela nous permet de voir que l'on peut placer un « Take profit » aux alentours de 150\$ soit 15% en pourcentage pour éviter la plupart des trades perdants sans que cela n'affecte les trades gagnants.

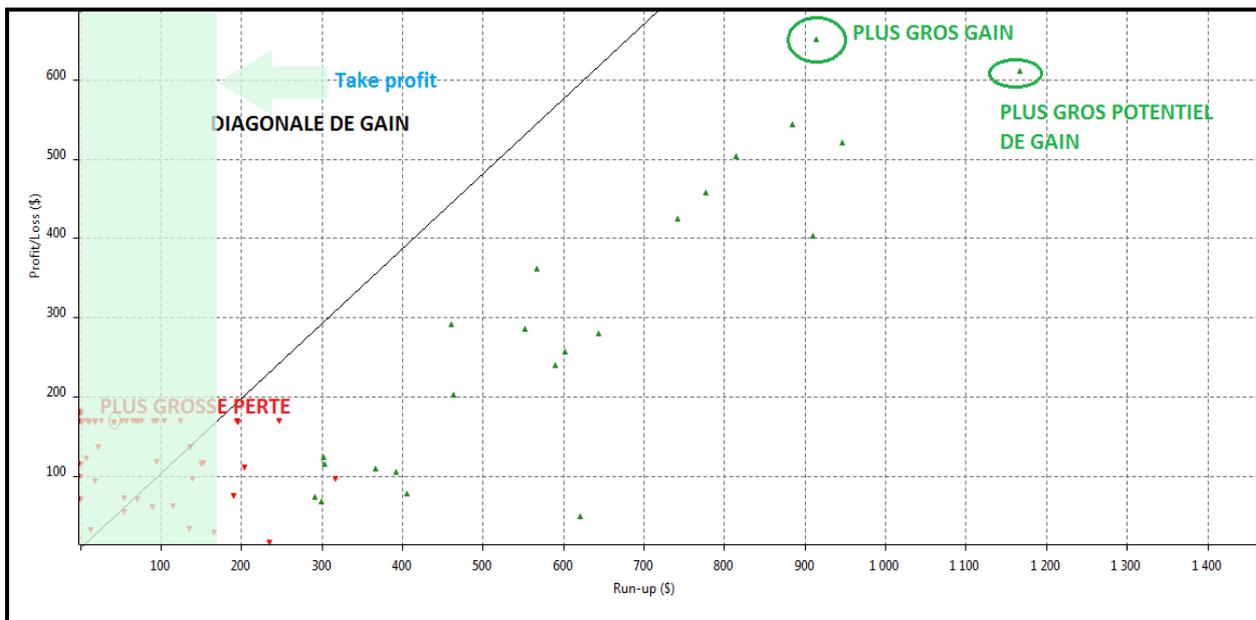


Figure 30 : Diagramme représentant le P&L (en \$) en fonction du run up (en \$) du système 2 avec un stop loss de 1,66%

Nous pouvons optimiser le Target Profit en pourcentage en maximisant le ratio de Calmar de la même manière que pour le Stop de protection.

Pour le système 2, nous trouvons un target profit de 14.61% ce qui permet d'améliorer le ratio de Calmar de 25%.

L'application du Target Profit au système 3 donne les meilleurs résultats : le ratio de Calmar passe de 2,49 à 4.64 (soit 87% de plus) pour un Take Profit de 4,132%.

Pour le système1, le ratio de calmar est maximisé avec un Take Profit de 4.2%, ce qui permet au ratio de Calmar du système1 d'augmenter de 4,27 à 4.66.

### 3. Synthèse de la construction des stratégies

Nous avons optimisé le risk management de ces stratégies pour obtenir les systèmes suivants :

#### Système 1 : Croisement de moyennes mobiles

Paramètre des signaux longs : (8,39)= (Length\_Fast, Length\_Slow)

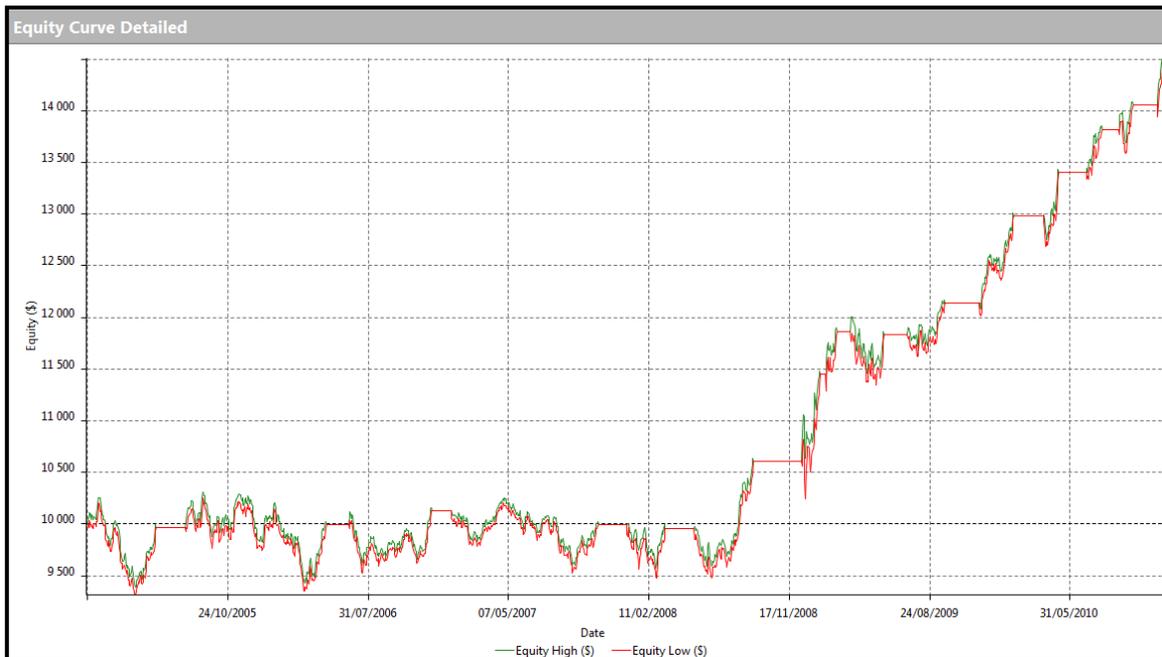
Paramètres de signaux Short : (28,35) = (Length\_Fast, Length\_Slow)

Target profit: 4.2%

Le ratio de Calmar de ce système est égal à **4,66**, soit 93% en calculant les annualisant les profits

C'est le système qui présente les meilleurs résultats, on doit cependant nuancer ces performances. En effet c'est le système qui génère le plus petit nombre de trades, ce qui nous amène à penser que le système s'adapte « trop » bien au passé.

Présentons l'Equity Curve et le rapport des performances du système optimisé.



Strategy Performance Summary			
	All Trades	Long Trades	Short Trades
Net Profit	\$4475,21	\$2937,62	\$1537,59
Gross Profit	\$7796,48	\$3956,87	\$3839,6
Gross Loss	(\$3321,27)	(\$1019,26)	(\$2302,01)
Adjusted Net Profit	\$2031,22	\$1359,33	(\$315,06)
Adjusted Gross Profit	\$6095,15	\$2763,83	\$2625,41
Adjusted Gross Loss	(\$4063,93)	(\$1404,5)	(\$2940,48)
Select Net Profit	\$5848,25	\$3527,4	\$2320,85
Select Gross Profit	\$7796,48	\$3956,87	\$3839,6
Select Gross Loss	(\$1948,23)	(\$429,48)	(\$1518,75)
Account Size Required	\$590,28	\$484,86	\$1675,1
Return on Account	758,15%	605,87%	91,79%
Return on Initial Capital	44,75%	29,38%	15,38%
Max Strategy Drawdown	(\$961,02)	(\$883,71)	(\$2185,55)
Max Strategy Drawdown (%)	(9,32%)	(8,69%)	(20,5%)
Max Close To Close Drawdown	(\$590,28)	(\$484,86)	(\$1675,1)
Max Close To Close Drawdown (%)	(5,83%)	(4,85%)	(16,21%)
Return on Max Strategy Drawdown	4,66	3,32	0,7
Profit Factor	2,35	3,88	1,67
Adjusted Profit Factor	1,5	1,97	(0,89)
Select Profit Factor	4	9,21	2,53
Max # Contracts Held	8377	8332	8377
Slippage Paid	\$2050	\$900	\$1150
Commission Paid	\$410	\$180	\$230
Open Position P/L	n/a	n/a	n/a
Annual Rate of Return	7,52%	5,02%	2,58%
Monthly Rate of Return	0,63%	0,42%	0,22%
Buy Hold Return	\$211,34	\$130,95	\$211,34
Avg Monthly Return	\$63,03		

### Système 2 : Stochastiques

Longueur de la moyenne mobile utilisée : 25

Paramètre de Sur-Achat : 83

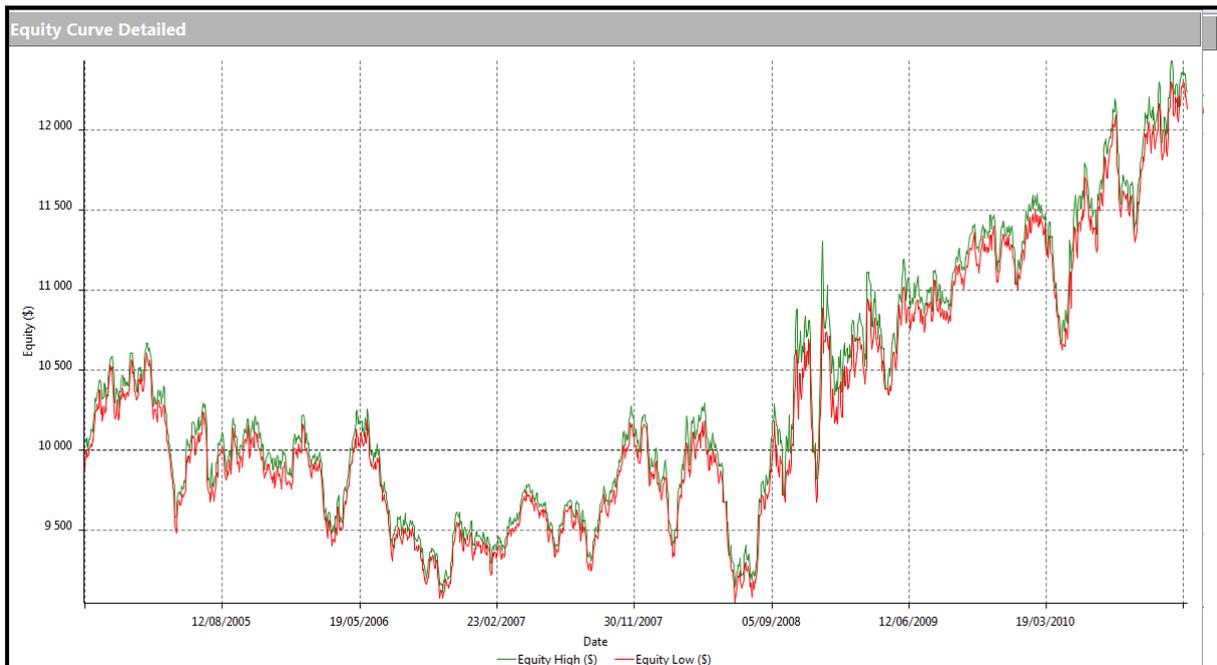
Longueur de Sur-Vente : 18

Borne délimitant les deux zones : 40

Stop de protection: 1.66%

Take Profit: 14.61%

Le Ratio de Calmar vaut 1.64 (soit 33% en annualisant les profits)



	All Trades	Long Trades	Short Trades
Net Profit	\$2675,88	\$1953,53	\$722,35
Gross Profit	\$9804,47	\$6002,01	\$3802,47
Gross Loss	(\$7128,59)	(\$4048,47)	(\$3080,12)
Adjusted Net Profit	(\$217,01)	(\$312,06)	(\$1084,16)
Adjusted Gross Profit	\$7881,66	\$4501,5	\$2600,02
Adjusted Gross Loss	(\$8098,67)	(\$4813,56)	(\$3684,18)
Select Net Profit	(\$73,04)	\$718,66	(\$791,7)
Select Gross Profit	\$6830,6	\$4542,19	\$2288,42
Select Gross Loss	(\$6903,64)	(\$3823,53)	(\$3080,12)
Account Size Required	\$1203,81	\$866,75	\$1784,15
Return on Account	222,28%	225,39%	40,49%
Return on Initial Capital	26,76%	19,54%	7,22%
Max Strategy Drawdown	(\$1629,72)	(\$1341,93)	(\$2047,99)
Max Strategy Drawdown (%)	(15,27%)	(12,21%)	(19,32%)
Max Close To Close Drawdown	(\$1203,81)	(\$866,75)	(\$1784,15)
Max Close To Close Drawdown (%)	(11,62%)	(8,46%)	(17,14%)
Return on Max Strategy Drawdown	1,64	1,46	0,35
Profit Factor	1,38	1,48	1,23
Adjusted Profit Factor	(0,97)	(0,94)	(0,71)
Select Profit Factor	(0,99)	1,19	(0,74)
Max # Contracts Held	8470	8470	8467
Slippage Paid	\$4025	\$2225	\$1800
Commission Paid	\$805	\$445	\$360
Open Position P/L	\$39,96	\$39,96	n/a
Annual Rate of Return	4,35%	3,18%	1,21%
Monthly Rate of Return	0,36%	0,26%	0,1%
Buy Hold Return	\$400,19	\$400,19	\$94,28
Avg Monthly Return	\$36,7		

### Système 3 : Bandes de Bollinger

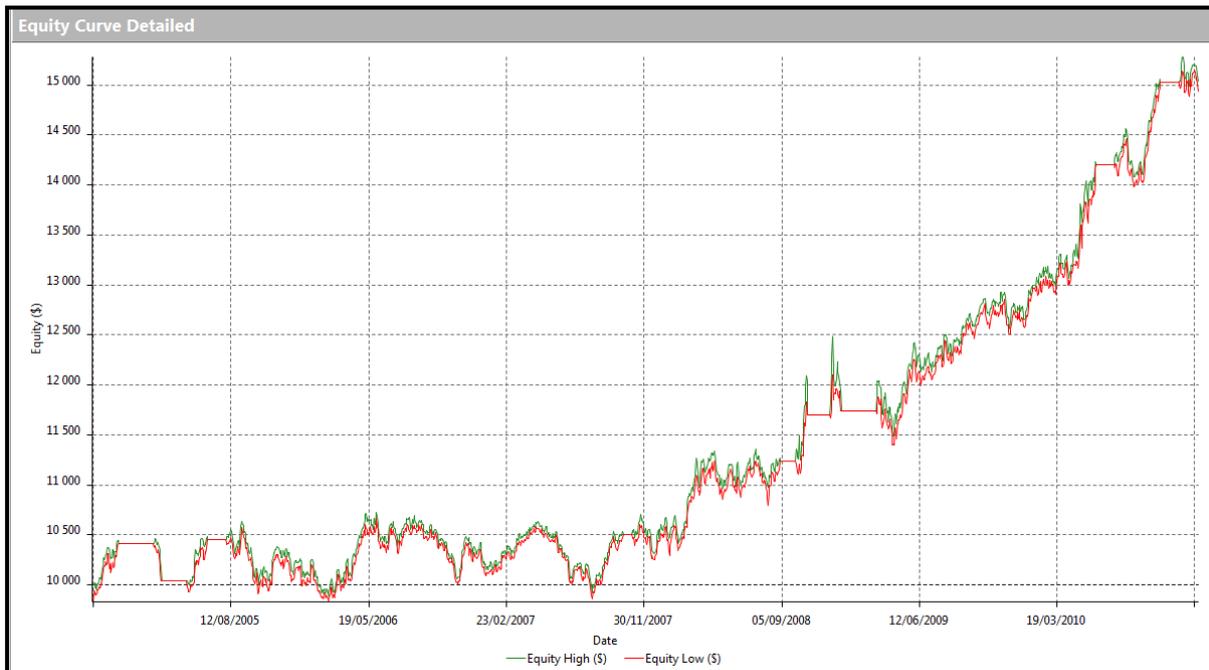
Longueur de la moyenne de Bollinger : 43

Distance à l'écart type : 2.4

Stop Loss de protection: 3,68%

Take Profit: 4,132%

Le ratio de Calmar de ce système est égal à 4,64 (ce qui est équivalent à un ratio de Calmar de 92,3%).



Strategy Performance Summary			
	All Trades	Long Trades	Short Trades
Net Profit	\$5030,38	\$2726	\$2304,38
Gross Profit	\$7434,35	\$4141,79	\$3292,56
Gross Loss	(\$2403,97)	(\$1415,79)	(\$988,17)
Adjusted Net Profit	\$2553,27	\$881,13	\$646,2
Adjusted Gross Profit	\$5682,05	\$2832,04	\$2128,46
Adjusted Gross Loss	(\$3128,79)	(\$1950,91)	(\$1482,26)
Select Net Profit	\$5715,41	\$3050,71	\$2664,7
Select Gross Profit	\$7017,43	\$3724,87	\$3292,56
Select Gross Loss	(\$1302,02)	(\$674,16)	(\$627,86)
Account Size Required	\$448,39	\$705,19	\$627,86
Return on Account	1121,87%	386,56%	367,02%
Return on Initial Capital	50,3%	27,26%	23,04%
Max Strategy Drawdown	(\$1085,07)	(\$1085,07)	(\$917,87)
Max Strategy Drawdown (%)	(8,69%)	(9,17%)	(8,6%)
Max Close To Close Drawdown	(\$448,39)	(\$705,19)	(\$627,86)
Max Close To Close Drawdown (%)	(4,25%)	(6,77%)	(6,03%)
Return on Max Strategy Drawdown	4,64	2,51	2,51
Profit Factor	3,09	2,93	3,33
Adjusted Profit Factor	1,82	1,45	1,44
Select Profit Factor	5,39	5,53	5,24
Max # Contracts Held	8317	8317	8286
Slippage Paid	\$1475	\$850	\$625
Commission Paid	\$295	\$170	\$125
Open Position P/L	(\$64,41)	n/a	(\$64,41)
Annual Rate of Return	8,18%	4,43%	4,1%
Monthly Rate of Return	0,68%	0,37%	0,34%
Buy Hold Return	\$341,52	\$341,52	\$635,73
Avg Monthly Return	\$67,11		

Remarquons que le Return on Max Strategy Drawdown (ou autrement dit le Ratio de Calmar) est équivalent dans le cas des signaux Long et celui des signaux Short, ce qui implique une certaine stabilité des résultats.

Les systèmes 1 et 3 produisent les résultats les plus importants en termes de profit et de gestion de risque. Par ailleurs, ces résultats sont relativement similaires ce qui peut s'expliquer par le fait qu'ils génèrent les « meilleurs » systèmes de suivi de tendance optimisés sur la période 01/01/2005 – 01/01/2011 bien que foncièrement différent.

Le système 2 quant à lui est le système le moins performant en termes de gestion de risque, mais c'est aussi celui qui génère le plus grand nombre de trades ; les résultats peuvent donc être dégradés par les coûts du slippage et des commissions.

#### 4. Tests de stabilité des résultats sur l'année 2011

Nous avons optimisé ces stratégies sur l'intervalle de temps 01/01/2005 - 01/01/2011. Analysons à présent les résultats de ces systèmes obtenus sur les 8 premiers mois de l'année 2011.

*Résultat du Système 3 entre le 03/01/2011 et le 01/09/2011 :*



On remarque une nette dégradation visuelle des résultats du système 3 sur l'année 2011.

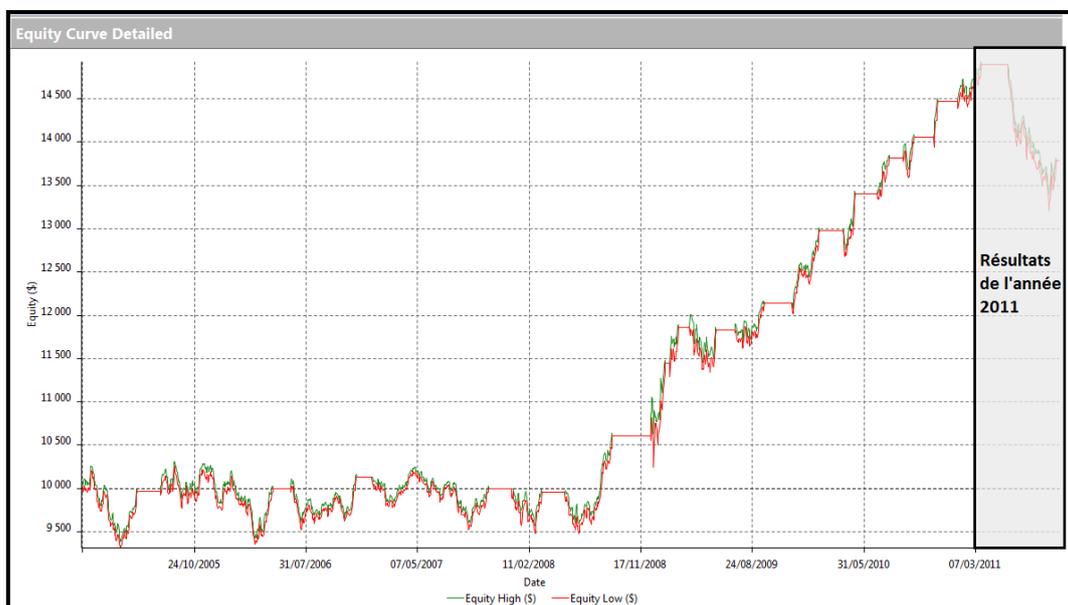
Nous allons calculer le ratio d'efficacité de ces stratégies pour analyser plus finement les résultats.

$$\text{Ratio d'efficacité} = \frac{\text{Ratio de Calmar des données out of sample}}{\text{Ratio de Calmar des données in of sample}} \% = -21\%$$

Ici les données out of sample sont les données entre les dates 01/01/2005 et 01/01/2011, et les données in of sample se situent entre les dates 01/01/2011 et 01/08/2011.

Le Ratio d'efficacité vaut **26%** ce qui implique une dégradation des résultats. A titre de comparaison une stratégie intéressante aurait un ratio d'efficacité d'au moins 50%. Nous verrons cependant que ce ratio n'est pas si catastrophique vis-à-vis des autres résultats.

**Résultat du Système 1 entre le 03/01/2011 et le 01/09/2011 :**



	All Trades	Long Trades	Short Trades
Net Profit	(\$687,33)	(\$330,51)	(\$356,82)
Gross Profit	\$840,53	\$420,2	\$420,33
Gross Loss	(\$1527,87)	(\$750,72)	(\$777,15)
Adjusted Net Profit	(\$1905,43)	(\$1184,14)	(\$1225,84)
Adjusted Gross Profit	\$246,19	\$0	\$0
Adjusted Gross Loss	(\$2151,62)	(\$1184,14)	(\$1225,84)
Select Net Profit	(\$197,01)	(\$330,51)	\$133,5
Select Gross Profit	\$840,53	\$420,2	\$420,33
Select Gross Loss	(\$1037,55)	(\$750,72)	(\$286,83)
Account Size Required	\$1527,87	\$750,72	\$777,15
Return on Account	(44,99%)	(44,03%)	(45,91%)
Return on Initial Capital	(6,87%)	(3,31%)	(3,57%)
Max Strategy Drawdown	(\$1720,54)	(\$780,72)	(\$939,83)
Max Strategy Drawdown (%)	(16,46%)	(7,47%)	(9,4%)
Max Close To Close Drawdown	(\$1527,87)	(\$750,72)	(\$777,15)
Max Close To Close Drawdown (%)	(14,66%)	(7,2%)	(7,77%)
Return on Max Strategy Drawdown	(0,4)	(0,42)	(0,38)
Profit Factor	(0,55)	(0,56)	(0,54)
Adjusted Profit Factor	(0,11)	0	0
Select Profit Factor	(0,81)	(0,56)	1,47
Max # Contracts Held	7422	7422	7101
Slippage Paid	\$400	\$200	\$200
Commission Paid	\$80	\$40	\$40
Open Position P/L	n/a	n/a	n/a
Annual Rate of Return	(9,92%)	(4,77%)	(10,26%)
Monthly Rate of Return	(0,83%)	(0,4%)	(0,86%)
Buy Hold Return	(\$64,57)	(\$64,57)	(\$493,57)
Avg Monthly Return	(\$76,37)		

Ces résultats montrent une nette dégradation des résultats (le ratio d'efficacité vaut **-17%**) ce qui implique une réelle sur-optimisation des résultats.

En pratique, nous pouvons expliquer ce phénomène par le fait que le système de départ possède 4 paramètres à trader auquel il faut rajouter l'optimisation du Take profit. En effet, il apparait que la sur-optimisation des résultats est intimement liée à la complexité engendrée par ces procédures d'optimisation. Nous reviendrons sur cette idée dans la troisième partie.

**Résultat du Système 2 entre le 03/01/2011 et le 01/09/2011 :**



Ce système présente une nette dégradation des résultats en 2011. Une analyse plus fine des résultats de l'année 2011 nous permet de calculer un ratio d'efficacité de **-21%**.

En conclusion, le système 3 présentant le moindre nombre de paramètres survit le mieux au test réel. Ce résultat met en évidence une relation inverse entre la simplicité de la stratégie et la stabilité des résultats de la stratégie.

Nous allons à présent analyser plus finement l'impact de la sur optimisation sur le système 3 afin de terminer l'analyse des performances du système ceci afin de répondre à la problématique de ce mémoire :

*Est-ce que les « bons » résultats d'un système de trading sont dus à la « chance » ou au contraire à la pertinence de la stratégie que l'on utilise.*

## Robustesse des stratégies fondées sur l'analyse technique

### I) Complexité des Stratégies et sur-optimisation

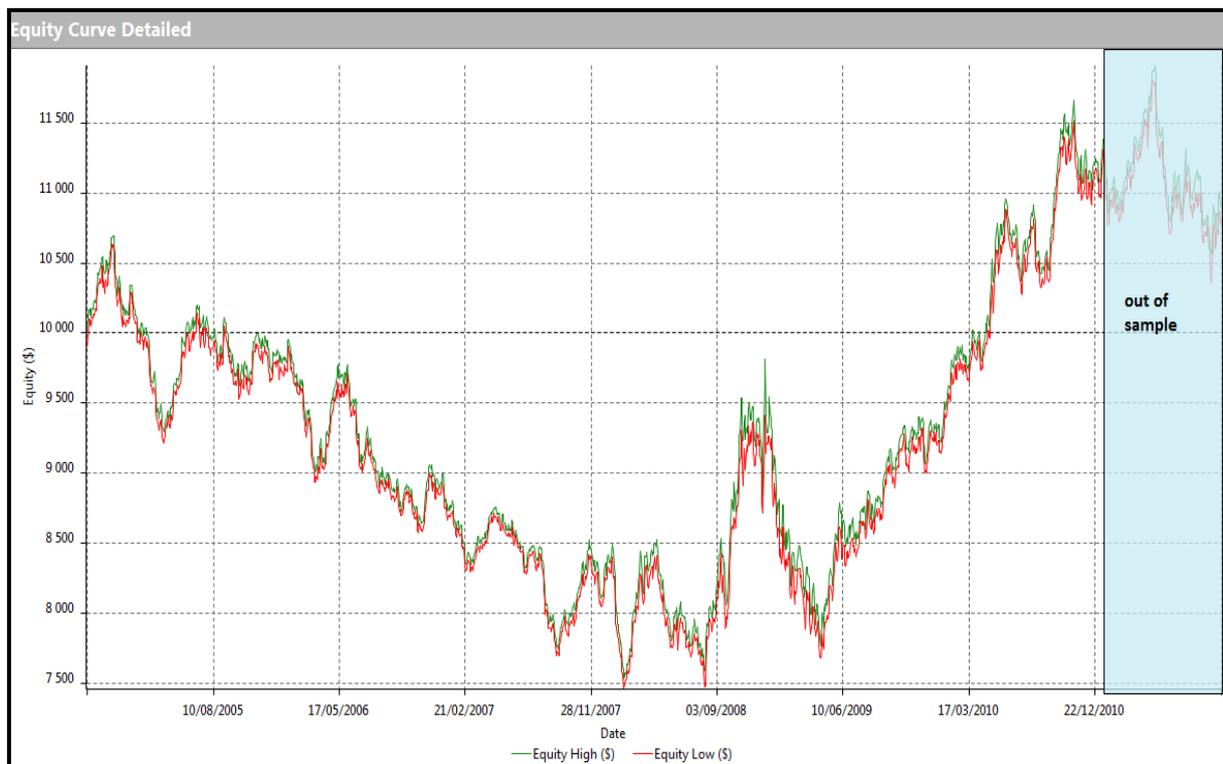
Nous allons commencer par mettre en évidence le fait que la sur-optimisation des résultats est inévitable en remarquant l'existence d'une relation entre l'optimisation des systèmes de trading et la complexité des règles qui définissent ces stratégies.

Nous allons montrer qu'en complexifiant les règles de nos stratégies technique, nous avons facilement tendance à les sur-optimiser, c'est-à-dire à dégrader leurs pouvoir prédictif.

Pour ce faire reprenons le système 3 fondé sur les bandes de Bollinger en optimisant progressivement les paramètres des règles définissant le système de trading sur les données Daily de l'EUR/USD entre les dates 01/01/2001 et 01/01/2011 et en comparant les ratio de Calmar obtenus entre les dates 01/01/2001 et 01/09/2011.

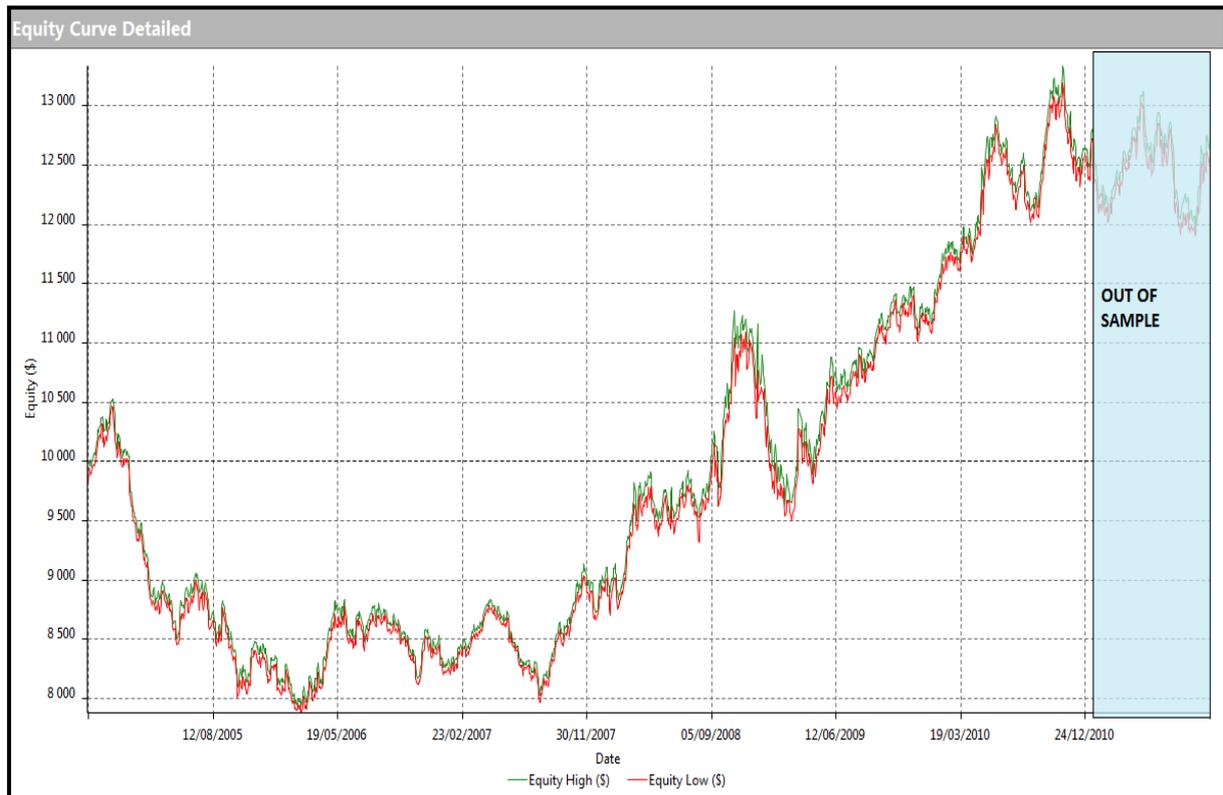
- **Première étape : optimisation de la moyenne de Bollinger**

On optimise la longueur de la moyenne de Bollinger en la faisant varier de entre 0 et 50 avec un pas de 1 et pour une distance à l'écart type égale – arbitrairement – à 1.5. Nous obtenons ainsi une **longueur optimale valant 45** et un ratio de Calmar de **1,15**.



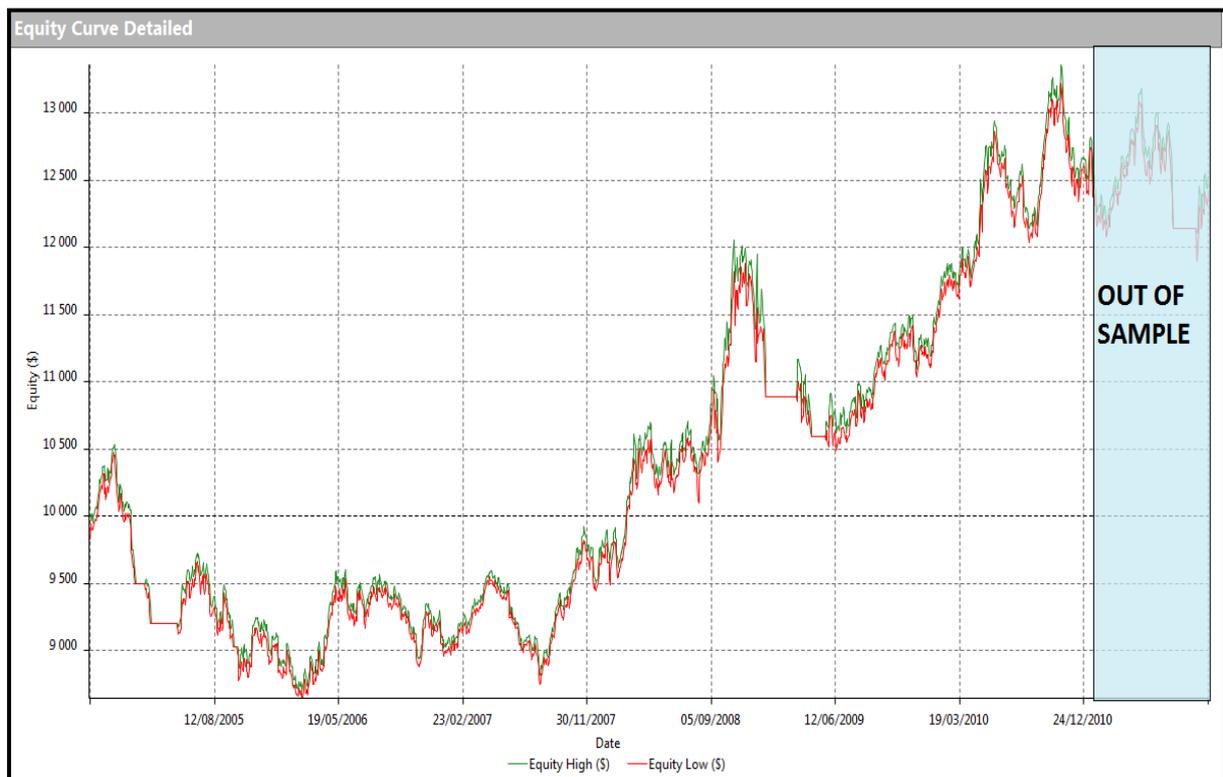
- **Deuxième étape : On optimise la distance à l'écart type des bandes de Bollinger**

En faisant varier cette valeur entre 0 et 5 avec un pas de 0.01 on trouve une valeur de **2.42** et un ratio de Calmar de **1.99**.



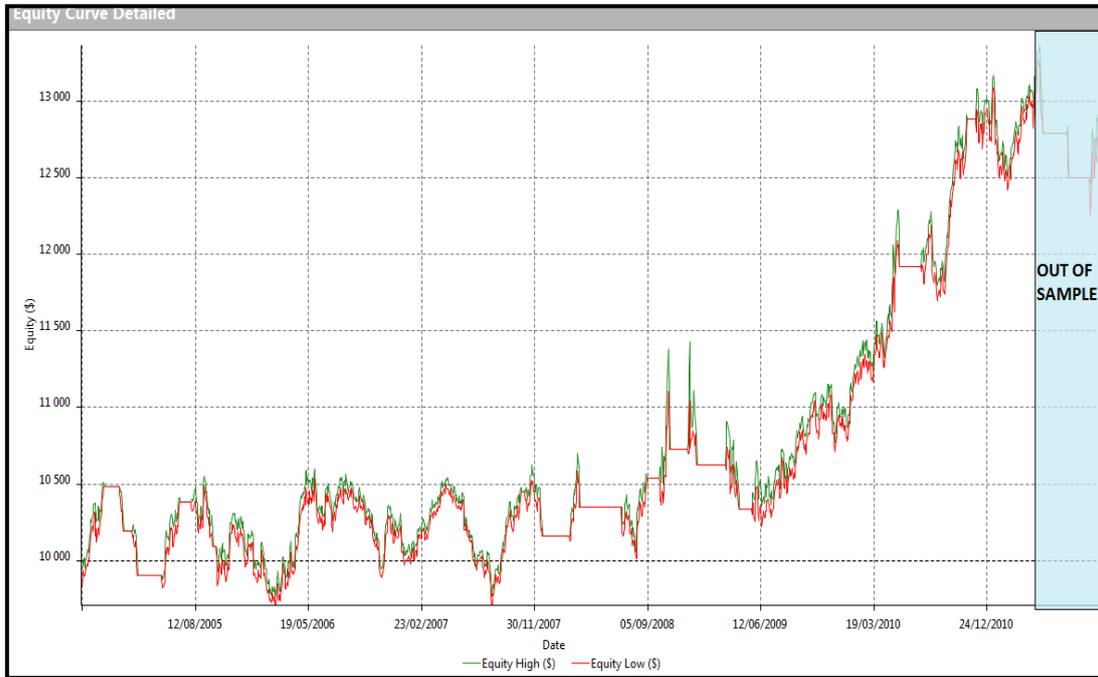
- **Troisième étape : On optimise le StopLoss**

Le StopLoss optimal est égal à 2.9% mais il dégrade les résultats de la stratégie, le ratio de Calmar est alors égal à **1.34**.

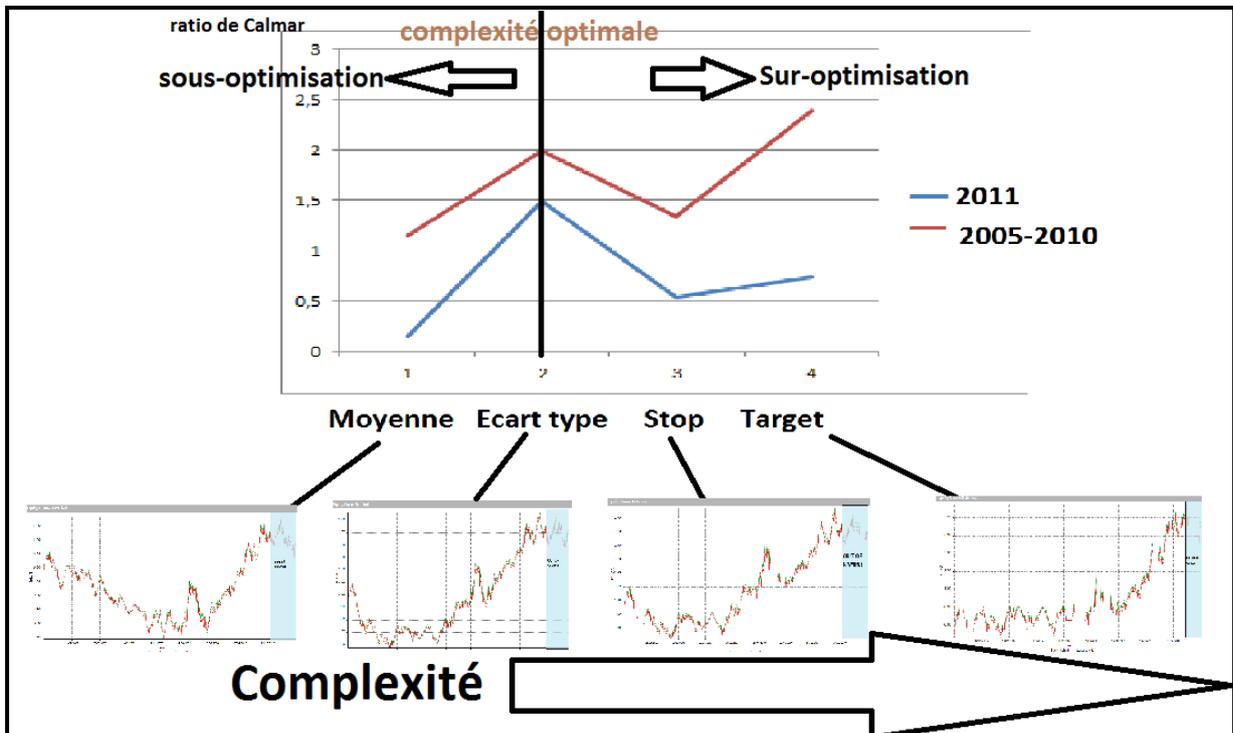


- **Quatrième et dernière étape : On optimise le Take Profit**

L'optimisation permet de trouver un Take Profit de 4.82% pour une nette amélioration des résultats. Le ratio de Calmar vaut alors **2.39** sur la période étudiée.



Nous pouvons en fait résumer graphiquement les résultats précédents afin de mettre en évidence les notions de sous-optimisation et de sur-optimisation des résultats.



Ces résultats nous permettent d'affirmer l'existence d'une relation inverse entre la sur-optimisation des systèmes et la complexité des règles de trading.

Pour résumer, d'un côté un système trop complexe peut provoquer une sur-optimisation des résultats du système et ainsi une dégradation des résultats. Et d'un autre côté, des règles trop simples ne permettent pas de générer des profits importants.

Ce raisonnement nous permet de postuler l'existence d'une sorte de zone de complexité « optimale » où les performances et le pouvoir prédictif des stratégies de trading seraient optimaux.

Ainsi, dans notre procédure de construction de stratégies, il convient d'évaluer l'impact de cette dégradation des résultats sur nos stratégies afin de maximiser les chances de survie dudit de la stratégie. Nous avons développé deux tests présentés dans la première section.

## II) Premier test : Méthode de Monte Carlo

Nous allons ici appliquer la méthode de Monte Carlo afin d'analyser l'impact du curve fitting sur les résultats du système 3 de la Partie II auquel on rajoute les StopLoss et Profit Target optimisés. Rappelons que cette méthode consiste à analyser la distribution des Drawdowns obtenus en échangeant sans remise les trades obtenus sur le test réel.

Le système précédemment établi est composé de 12 trades, ce qui fait  $30! = 2,65253E+32$  combinaisons. Il est impossible d'effectuer autant de backtests avec un ordinateur moderne, nous allons donc choisir « seulement » quelques milliers de combinaisons parmi les millions de combinaisons possibles.

Ce système possède des caractéristiques qui ne changeront pas au cours de l'analyse de Monte Carlo : le nombre de trades, le profit net final, le nombre de trades gagnants et de trades perdants ainsi que leurs gains/pertes moyens respectifs, la plus grande perte et enfin le plus grand gain.

Le système initial possède les trades et les caractéristiques des tableaux ci-dessous :

<b>Période de Trading</b>	6 Yrs, 2 Mths, 2 Dys
<b>Marché</b>	EUR/USD, Daily Bars
<b>Coûts des commissions et slippage</b>	30\$
<b>Nombre de simulations de Monte Carlo</b>	5000
<b>Total Net Profit</b>	5030,3817
<b>Nombre total de trades</b>	30
<b>Nombre de trades Gagnants</b>	18
<b>Nombre de trades Perdants</b>	11
<b>Plus gros gain</b>	416,916
<b>Plus grosse perte</b>	-372,9948
<b>Gain moyen</b>	413,0192667
<b>Perte moyenne</b>	-218,5422818

Liste des trades														
Trade #	Ordre #	Type	Signal	Date	Prix	Contrats	Profit (\$)	Profit (%)	Cum. Profit (\$)	Cum. Profit (%)	Run-up (\$)	Run-up (%)	Drawdown (\$)	Drawdown (%)
	1	EntryLong	Buy	05/11/2004	1,2942	7726								
	2	ExitLong	Profit Target	27/12/2004	1,3555	7726	413,6038	4,136456113	413,6038	4,136038	443,6038	4,43648644	-169,068	-1,690850911
	3	EntryLong	Buy	09/03/2005	1,338	7473								
	4	ExitLong	Stop Loss	23/03/2005	1,2967	7473	-368,6349	-3,68676413	44,9689	0,449689	45,4773	0,454824213	-338,6349	-3,386730346
	5	EntryShort	Short	16/05/2005	1,2584	7922								
	6	ExitShort	Profit Target	24/06/2005	1,1988	7922	412,1512	4,134309839	457,1201	4,571201	442,1512	4,435241378	-113,9732	-1,143271018
	7	EntryLong	Buy	03/08/2005	1,233	8110								
	8	ExitLong	Short	27/09/2005	1,1989	8110	-336,551	-3,365634528	120,5691	1,205691	180,049	1,800556621	-306,551	-3,065623428
	9	EntryShort	Short	27/09/2005	1,1989	8286								
	10	ExitShort	Buy	03/01/2006	1,2023	8286	-88,1724	-0,887574411	32,3967	0,323967	260,01	2,617352172	-209,8062	-2,111983052
	11	EntryLong	Buy	03/01/2006	1,2023	8317								
	12	ExitLong	Profit Target	28/04/2006	1,2593	8317	414,069	4,140884994	446,4657	4,464657	444,069	4,440899122	-193,0132	-1,930222894
	13	EntryLong	Buy	28/04/2006	1,2593	7982								
	14	ExitLong	Short	06/10/2006	1,2608	7982	-48,027	-0,477798226	398,4387	3,984387	278,9034	2,77467986	-136,9588	-1,36253923
	15	EntryShort	Short	06/10/2006	1,2608	7879								
	16	ExitShort	Buy	10/11/2006	1,2875	7879	-270,3693	-2,721698889	128,0694	1,280694	67,6996	0,681504616	-240,3693	-2,419700967
	17	EntryLong	Buy	10/11/2006	1,2875	7766								
	18	ExitLong	Profit Target	12/04/2007	1,3485	7766	413,726	4,137787568	541,7954	5,417954	443,726	4,437825823	-116,9792	-1,169941167
	19	EntryLong	Buy	13/04/2007	1,3519	7396								
	20	ExitLong	Short	08/06/2007	1,3358	7396	-179,0756	-1,790997355	362,7198	3,627198	90,5548	0,905670048	-149,0756	-1,490956921
	21	EntryShort	Short	08/06/2007	1,3358	7449								
	22	ExitShort	Buy	02/07/2007	1,3639	7449	-269,3169	-2,706600723	93,4029	0,934029	40,0206	0,402201959	-239,3169	-2,405104524
	23	EntryLong	Buy	02/07/2007	1,3639	7331								
	24	ExitLong	Profit Target	18/10/2007	1,4285	7331	413,5826	4,136342671	506,9855	5,069855	443,5826	4,436380148	-233,8018	-2,338310078
	25	EntryLong	Buy	07/11/2007	1,4639	6831								
	26	ExitLong	Profit Target	06/03/2008	1,5332	6831	413,3883	4,133923967	920,3738	9,203738	443,3883	4,43392694	-254,0568	-2,540593177
	27	EntryLong	Buy	06/03/2008	1,5332	6551								
	28	ExitLong	Short	08/08/2008	1,5276	6551	-96,6856	-0,962621122	823,6882	8,236882	432,5006	4,306062254	-66,6856	-0,663935137
	29	EntryShort	Short	08/08/2008	1,5276	6525								
	30	ExitShort	Profit Target	02/09/2008	1,4552	6525	412,41	4,137509669	1236,0982	12,360982	442,41	4,43848513	-30	-0,300975461
	31	EntryShort	Short	06/10/2008	1,3649	7261								
	32	ExitShort	Profit Target	22/10/2008	1,3002	7261	409,7867	4,134857894	1645,8849	16,458849	439,7867	4,437565953	-129,4757	-1,306444597
	33	EntryShort	Short	22/10/2008	1,2968	7659								
	34	ExitShort	Profit Target	27/10/2008	1,2353	7659	411,0285	4,138346632	2056,9134	20,569134	441,0285	4,440394784	-59,8701	-0,602788436
	35	EntryShort	Short	27/10/2008	1,2353	7903								
	36	ExitShort	Stop Loss	28/10/2008	1,2733	7903	-360,314	-3,69076772	1696,5994	16,965994	0	0	-330,314	-3,383471774
	37	EntryLong	Buy	15/12/2008	1,3511	7401								
	38	ExitLong	Profit Target	17/12/2008	1,4152	7401	414,4041	4,144251901	2111,0035	21,110035	444,4041	4,444267169	-30	-0,300015268
	39	EntryLong	Buy	17/12/2008	1,4152	7146								
	40	ExitLong	Stop Loss	05/01/2009	1,3714	7146	-372,9948	-3,688263541	1738,0087	17,380087	375,1782	3,709853532	-342,9948	-3,391616225
	41	EntryLong	Buy	18/03/2009	1,3294	7522								
	42	ExitLong	Profit Target	21/05/2009	1,3924	7522	413,886	4,138964799	2151,8947	21,518947	443,886	4,438972395	-336,8976	-3,369061305
	43	EntryLong	Buy	21/05/2009	1,3924	7226								
	44	ExitLong	Profit Target	09/09/2009	1,4584	7226	416,916	4,143683639	2568,8107	25,688107	446,916	4,441850437	-156,455	-1,554989551
	45	EntryLong	Buy	09/09/2009	1,4584	6892								
	46	ExitLong	Short	11/12/2009	1,4651	6892	-13,8236	-0,137530567	2554,9871	25,549871	356,6412	3,548212226	-100,9876	-1,004722497
	47	EntryShort	Short	11/12/2009	1,4651	6788								
	48	ExitShort	Profit Target	28/01/2010	1,3956	6788	411,766	4,140391245	2966,7531	29,667531	441,766	4,442047373	-53,0792	-0,533722199
	49	EntryShort	Short	04/02/2010	1,3779	7197								
	50	ExitShort	Profit Target	28/04/2010	1,3125	7197	410,6838	4,141315988	3377,4369	33,774369	440,6838	4,443834567	-73,182	-0,737963822
	51	EntryShort	Short	28/04/2010	1,3125	7578								
	52	ExitShort	Profit Target	14/05/2010	1,2502	7578	412,1094	4,143416657	3789,5463	37,895463	442,1094	4,445041662	-208,8408	-2,099720243
	53	EntryShort	Short	14/05/2010	1,2502	7970								
	54	ExitShort	Profit Target	07/06/2010	1,1909	7970	412,621	4,141078958	4202,1673	42,021673	442,621	4,44216002	-166,287	-1,668862217
	55	EntryLong	Buy	15/07/2010	1,2837	7789								
	56	ExitLong	Profit Target	24/09/2010	1,3446	7789	414,3501	4,144023437	4616,5174	46,165174	444,3501	4,444061263	-223,9461	-2,239743364
	57	EntryLong	Buy	24/09/2010	1,3446	7439								
	58	ExitLong	Profit Target	14/10/2010	1,4083	7439	413,8643	4,137617119	5030,3817	50,303817	443,8643	4,437542756	-78,3535	-0,783340778
	59	EntryShort	Short	24/11/2010	1,3338	7481								
	60	ExitShort	open	31/12/2010	1,3384	7481	-64,4126	-0,645535993	4965,9691	49,659691	246,0489	2,465875014	-149,696	-1,500236847

Figure 31 : Trades de la stratégie 3

Dans la mesure où le choix de tirage est aléatoire, on peut émettre l'hypothèse d'une distribution gaussienne dont les p-value sont facilement calculable et qui permet de calculer des résultats avec un certain seuil de confiance.

La méthodologie de Monte Carlo permettant de calculer l'impact de la sur-optimisation sur le backtest initial est détaillé de la manière suivante :

1. Rééchantonnage : Nous échangeons l'ordre des trades de manière aléatoire pour produire une nouvelle EquityCurve à partir des trades du backtest initial.
2. Nous calculons les performances du nouveau backtest.
3. Nous répétons 5 milliers de fois les étapes 1 et 2.
4. Nous formons la distribution d'échantillonnage généré à partir des Drawdown précédemment calculés.
5. On calcule le Drawdown moyen ainsi que les p-values de la distribution des Drawdown aux seuils de confiances : 60%,70%,80%,90%,95%,99%.

Dans notre approche, l'aspect le plus important de l'analyse de Monte Carlo et de la gestion du risque en finance est l'estimation des Drawdown attendues.

L'analyse de Monte Carlo ci-dessous permet de mettre en évidence les pires scenarios et donc les pires drawdowns qui peuvent survenir lorsque nous utiliserons ce système de trading.

<b>Période de Trading</b>	6 Yrs, 2 Mths, 2 Dys
<b>Marché</b>	EUR/USD, Daily Bars
<b>Couts des commissions et slippage</b>	30\$
<b>Nombre de simulations de Monte Carlo</b>	5000
<b>Total Net Profit</b>	5030,3817
<b>Nombre total de trades</b>	30
<b>Nombre de trades Gagnants</b>	18
<b>Nombre de trades Perdants</b>	11
<b>Plus gros gains</b>	416,916
<b>Plus grosse perte</b>	-372,9948
<b>Gain moyen</b>	413,0192667
<b>Perte moyenne</b>	-218,5422818
<b>Pire valeurs obtenus pour le Max Drawdown</b>	
<b>Système originelle</b>	- 1 085 \$
<b>Résultats de MONTE CARLO avec un seuil de confiance de 60%</b>	- 1 252 \$
<b>Résultats de MONTE CARLO avec un seuil de confiance de 70%</b>	- 1 365 \$
<b>Résultats de MONTE CARLO avec un seuil de confiance de 80%</b>	- 1 400 \$
<b>Résultats de MONTE CARLO avec un seuil de confiance de 90%</b>	- 1 646\$
<b>Résultats de MONTE CARLO avec un seuil de confiance de 95%</b>	- 1 755 \$
<b>Résultats de MONTE CARLO avec un seuil de confiance de 99%</b>	- 2 026 \$

Dans le cas de notre système de trading, le drawdown initial est de 1 085\$ et la simulation de Monte Carlo nous permet d'affirmer que la pire perte maximale historique est égale à 2026\$ avec un seuil de confiance de 99% ce qui représente près du double du système originel.

Cela nous permet d'avoir une estimation du ratio d'efficience défini en fin de deuxième partie qui vaut **53%** (c'est le rapport entre le maximum drawdown du système originel par celui du pire maximum drawdown).

Nous pouvons interpréter cela de la manière suivante : en tradant ce système dans le futur, nous devons considérer que dans 1% des cas le pire drawdown serait –au moins- égal au double de ce à quoi nous nous attendons.

Remarquons qu'en utilisant la méthode du bootstrapping (tirage aléatoire des trades avec remise), nous obtenons des performances différentes et cela peut bien sur affecter le ratio d'efficience. En pratique, nous avons privilégié la méthode de Monte Carlo qui modifie un peu moins la logique intrinsèque des résultats.

Nous devons avoir conscience d'un fait déjà soulevé précédemment, les analyses de Monte Carlo ne permettent pas d'éviter la sur-optimisation d'un système mais donnent un simple renseignement en termes de gestion de risque.

C'est pour cela que nous avons développé un deuxième module de test : le Walk Forward Testing.

### III) Deuxième test : Walk Forward testing

Nous allons appliquer le test de l'Anchored Walk Forward afin d'analyser la robustesse des performances de ce système. Rappelons que c'est un ensemble de ré-optimisation périodique du système de trading qui permet d'évaluer l'impact de la sur-optimisation de cette procédure d'optimisation sur ce système. Compte tenu des temps de calculs il nous ait apparu essentiel d'utiliser des algorithmes génétiques pour optimiser ces stratégies.

Nous allons ainsi faire varier la longueur de la moyenne de Bollinger entre 1 et 50 avec un pas de 1 et la distance à l'écart type entre 1 et 4 avec un pas de 0.1. Nous n'appliquerons pas de Stops et de Target Profits pour cette procédure.

#### *Anchored Walk Forward Testing appliqué au système3 dépourvu de règles de Risk Management*

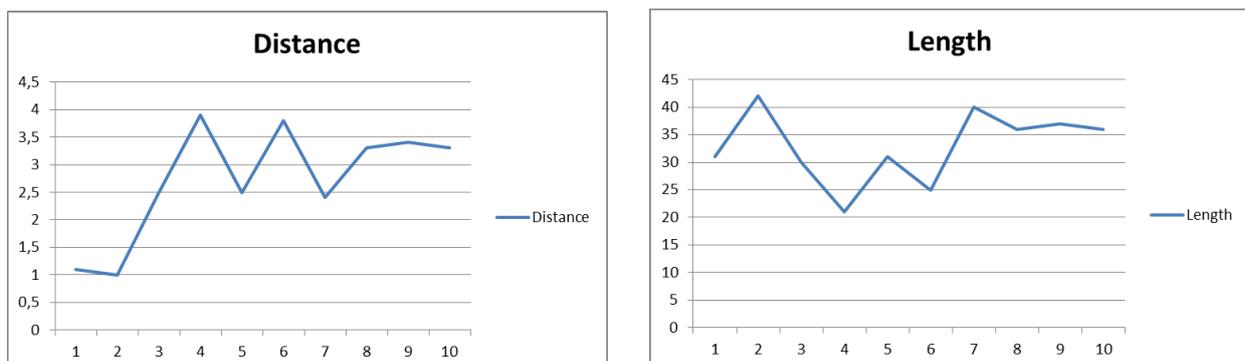
Nous appliquons ce test sur les données Daily de l'EUR/USD entre le 01/01/2001 et le 01/09/2011 en rajoutant 200 jours à chaque étape d'optimisation et en testant le système 3 sur 279 jours.

	In-Sample Data Interval		Out-of-Sample Data Interval		BollingerBandSystem		CALMAR ANNUALISE		RATIO D'EFFICIENCE
	Begin	End	Begin	End	Length	Distance	IS	OOS	
0	03/01/2000 23:59	04/11/2003 23:59	05/11/2003 23:59	10/08/2004 23:59	31	1,1	0	-0,00050179	
1	03/01/2000 23:59	10/08/2004 23:59	11/08/2004 23:59	17/05/2005 23:59	42	1	0,00067222	-0,00107527	-0,599581311
2	03/01/2000 23:59	17/05/2005 23:59	18/05/2005 23:59	21/02/2006 23:59	30	2,5	0,00053544	-0,00182796	-2,413927291
3	03/01/2000 23:59	21/02/2006 23:59	22/02/2006 23:59	28/11/2006 23:59	21	3,9	0,00040607	-0,000681	-0,677064871
4	03/01/2000 23:59	28/11/2006 23:59	29/11/2006 23:59	04/09/2007 23:59	31	2,5	0,0003689	-0,00258065	-5,995490808
5	03/01/2000 23:59	04/09/2007 23:59	05/09/2007 23:59	10/06/2008 23:59	25	3,8	0,00074616	0	1
6	03/01/2000 23:59	10/06/2008 23:59	11/06/2008 23:59	17/03/2009 23:59	40	2,4	0,00049659	0,00164875	4,32012088
7	03/01/2000 23:59	17/03/2009 23:59	18/03/2009 23:59	22/12/2009 23:59	36	3,3	0,00071407	0,00315412	5,417084827
8	03/01/2000 23:59	22/12/2009 23:59	23/12/2009 23:59	28/09/2010 23:59	37	3,4	0,0006262	0	1
9	03/01/2000 23:59	28/09/2010 23:59	29/09/2010 23:59	05/07/2011 23:59	36	3,3	0,00072431	0	1

Figure 32 : Tableau représentatif des ratios d'efficacité obtenu à partir du système 3 dépourvu de règles de Risk Management

Nous allons à présent analyser ces résultats.

Nous pouvons déjà graphiquement remarquer que les paramètres (Length, Distance) sont relativement stables autour des valeurs moyennes Length=32.9 et Distance=2.72. Cela nous incite à penser que notre procédure d'optimisation donne des paramètres assez stables.



Cependant, ces résultats sont assez éloignés de ceux produits par l'optimisation du système3 dans la deuxième partie qui étaient égaux à (43,24).

Remarquons ensuite que les ratios d'efficacité ci-présent sont très différents, et que souvent nous ne rencontrons aucun signal sur l'intervalle de test. On peut calculer une moyenne des ratios d'efficacité, afin de quantifier la pertinence des résultats sur le futur et on obtient un ratio de **-66%** ; ce qui est assez mauvais et très éloigné du ratio d'efficacité (qui était égal à 25% sur l'année 2011).

### *Anchored Walk Forward Testing appliqué au système 3 avec des règles de Risk Management*

Le résultat précédent est cependant cohérent, il faut pour pouvoir comparer les résultats observés avec ceux de la deuxième section, rajouter au système un Take profit ainsi qu'un Risk StopLoss de protection à chaque ré-optimisation. Cette procédure permet d'obtenir les résultats suivants:

	In-Sample Data Interval		Out-of-Sample Data Interval		Percent Stop	BollingerBandSystem		Percent Exit Pair	Custom Criteria annualisé		RATIO D'EFFICACITE
	Begin	End	Begin	End	StopLossPct	Length	Distance	ProfitTargetPct	IS	OOS	
0	03/01/2000 23:59	04/11/2003 23:59	05/11/2003 23:59	10/08/2004 23:59	0,628	30	1,2	0,271	0	-0,000752688	0
1	03/01/2000 23:59	10/08/2004 23:59	11/08/2004 23:59	17/05/2005 23:59	0,76	46	2,5	0,035	0,0012909	0,001863799	1,443800274
2	03/01/2000 23:59	17/05/2005 23:59	18/05/2005 23:59	21/02/2006 23:59	0,323	40	2,8	0,033	0,00168281	-0,002222222	-1,320538721
3	03/01/2000 23:59	21/02/2006 23:59	22/02/2006 23:59	28/11/2006 23:59	0,919	36	3,7	0,029	0,00140116	0	0
4	03/01/2000 23:59	28/11/2006 23:59	29/11/2006 23:59	04/09/2007 23:59	0,697	25	3,6	0,06	0,00114637	0,001433692	1,250635612
5	03/01/2000 23:59	04/09/2007 23:59	05/09/2007 23:59	10/06/2008 23:59	0,791	24	3,8	0,026	0,00140664	0	0
6	03/01/2000 23:59	10/06/2008 23:59	11/06/2008 23:59	17/03/2009 23:59	0,556	29	4	0,311	0,00186952	0,001648746	0,881907109
7	03/01/2000 23:59	17/03/2009 23:59	18/03/2009 23:59	22/12/2009 23:59	0,697	29	4	0,06	0,00243975	0,00344086	1,410333071
8	03/01/2000 23:59	22/12/2009 23:59	23/12/2009 23:59	28/09/2010 23:59	0,043	36	3,3	0,095	0,00175776	0,007921147	4,506390009
9	03/01/2000 23:59	28/09/2010 23:59	29/09/2010 23:59	05/07/2011 23:59	0,038	38	2,8	0,059	0,00123693	-0,000107527	-0,086930496

Figure 33 : Tableau représentatif des ratios d'efficacité obtenu à partir du système 3 avec des règles de Risk Management optimaux

En l'occurrence, le ratio d'efficacité moyen est bien meilleur, il vaut **81%** et bien qu'il ne corresponde pas à celui obtenu dans le cas de l'optimisation originel, il nous permet de conclure que la procédure d'optimisation utilisée pour obtenir le système 2 dans la deuxième section est efficace et qu'elle n'est pas significativement soumise à la sur-optimisation.

Remarquons que ces résultats sont de prime abord en contradiction avec notre première remarque sur l'influence négative de la complexité des stratégies sur la sur-optimisation des résultats puisqu'en complexifiant les règles, on ne la sur-optimise pas pour autant. Cela prouve qu'il faut nuancer ces résultats lorsque l'on crée des stratégies de trading et qu'il faut savoir interpréter ces résultats de manières souple.

On peut aussi expliquer ce phénomène par le fait que notre système ne possède pas de règles très complexes, on pourrait par exemple rajouter des filtres pour affiner l'entrée de la stratégie ou des Trailing Stops permettant d'améliorer nos sorties de trade.

## Conclusion

Au cours de ce mémoire, nous avons optimisé trois systèmes de trading fondés sur des règles de l'Analyse Technique entre les années 2005 et 2010 : le croisement de moyennes mobiles, un système hybride défini à partir des « stochastiques » et enfin les bandes de Bollinger et auquel nous avons rajouté des règles de Risk Management classiques (gestion de Stop Loss et de Take profit).

L'optimisation de ces systèmes d'investissement a ensuite été soumise à trois tests permettant de quantifier leur pouvoir prédictif sur le futur. Le premier test qui est l'application de ces systèmes sur l'année 2011 nous a permis de montrer que les deux premiers systèmes qui avaient le plus grand nombre de paramètres étaient largement sur-optimisés et qu'ils présentaient une nette dégradation des résultats sur l'année 2011.

Nous avons ensuite soumis le système de Bollinger à une analyse de Monte Carlo afin de calculer le pire maximum drawdown que l'on doit pouvoir éviter pour gérer les positions de ce système puis à une technique appelée l'Anchored Walk Forward Testing qui permet de ré-optimiser périodiquement ce système afin de quantifier plus finement son pouvoir quantitatif. Les résultats semblent prometteurs.

Concluons par une remarque qui peut sembler étonnante, *c'est le système le plus simple qui a été le moins affecté par une sur-optimisation des résultats et qui s'adapte le mieux aux variations du marché.*

Nous avons ainsi rempli notre objectif de départ et avons créé une stratégie d'investissement fondée sur des règles « simples » de l'Analyse Technique tout en ayant des performances intéressantes et non corrélés à l'influence négative de la sur-optimisation.

Il serait enfin intéressant de tester l'impact des techniques du money management, qui permettent de gérer le capital investi dans chaque trade de manière optimale sur la sur-optimisation des systèmes de trading, compte tenu des approches précédemment mises en œuvre afin d'achever la construction d'une stratégie de trading complète fondée sur l'analyse technique.

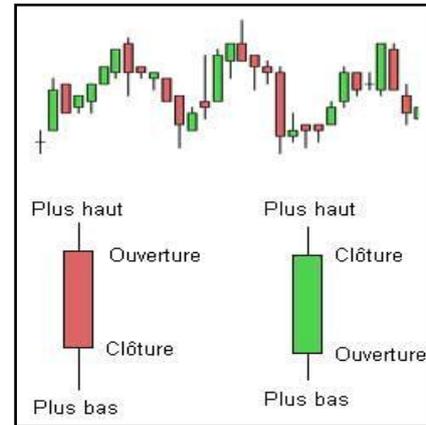
## Glossaire

### *Candlesticks*

Dans ce mémoire, nous avons exclusivement utilisé la notion de *candlesticks* ou *chandeliers japonais* pour représenter une séance de trading. Ils permettent de visualiser l'évolution *intraday* (en journée) des cours.

Au XVIII<sup>ème</sup> siècle, un trader de légende, Mr **Munehisa Homma** (né en 1724 à Sakata au Japon) devint un des hommes les plus riches du Japon en utilisant un système de représentation graphique des cours que l'on connaît sous le nom des chandeliers japonais.

Les Candlesticks rouges représentent les journées (ou heures, minutes, semaines...) où la clôture est inférieure à l'entrée. Les Candlesticks verts représentent l'inverse.



### *Commissions et slippage*

Le slippage est la différence entre les coûts de transaction estimé et le coût réel effectivement payé.

### *Les positions Longs/Shorts sur les devises*

Il existe deux types de positions, on dit qu'on « se met long » si on achète une devise contre une autre devise (on spéculé alors sur la hausse de la parité) et « short » si on la vend à découvert (on spéculé alors sur sa baisse).

### *Parité et cross*

Nous utiliserons les notations suivantes pour les principales devises étudiées dans ce mémoire :

USD: Dollar

EUR: Euro

CHF: Franc Suisse

JPY: Yen

GBP: Livre Sterling

CAD: Dollar Canadien

### *Résistances et Supports*

Les niveaux de résistance et de support représentent des endroits judicieux où anticiper un retournement de tendance et représentent par conséquent un outil de l'analyse technique.

### *Risk/Reward*

Ce ratio permet d'estimer la qualité d'un trade en comparant les gains espérés par les pertes que l'on risque avec ce trade.

### ***Risk Management***

Ce sont des ordres correspondant au placement de « StopLoss de protection » et de « Take Profit » permettant d'améliorer la sortie des trades d'un système.

### ***StopLoss(ou Stop Loss de protection)***

Ce sont des ordres placés à l'entrée d'une position pour liquider ladite position à un prix déterminé.

### ***Stratégie de trading***

En rajoutant des règles de « Risk management » à un système de trading on obtient une stratégie de trading.

### ***Système de trading***

C'est un ensemble de règles mécaniques qui définissent automatiquement, sans aucune intervention humaine, l'entrée et la sortie d'une règle d'investissement sur les marchés.

## Lexique du Backtesting des stratégies de Trading

*Au cours de ce mémoire nous avons utilisé une terminologie spécifique relative au Backtesting des stratégies de Trading. Nous précisons ici l'ensemble des termes utilisés.*

### **Take Profit**

Ce sont des ordres permettant de garantir un bénéfice en liquidant une position lorsqu'un prix déterminé est atteint.

### **Net Profit**

C'est la valeur des profits ou pertes en dollar atteint par la stratégie de trading durant la période de test.

### **Gross Profit**

C'est la somme des gains de tous les trades profitables générés par la stratégie

### **Gross Loss**

C'est la somme des pertes de tous les trades perdants générés par la stratégie

### **Adjusted Gross Profit**

C'est le Gross Profit réduit de sa racine carrée et multiplié par l'Average Winning Trade profit.

### **Adjusted Gross Loss**

C'est la Gross Loss ajoutée de sa racine carrée et multipliée par l'Average Losing Trade profit.

### **Adjusted Net Profit**

C'est la différence entre l'Adjusted Gross Profit et l'Adjusted Gross Loss. Cette différence permet d'obtenir la valeur dans le pire des cas.

### **Select Net Profit**

Ce nombre correspond à la différence entre la valeur du Gross Profit diminué des « outlier trades » positifs et négatifs. Un trade est considéré comme un outlier si ses profits/pertes est plus grand que 3 écart type de la moyenne. Cela permet d'évaluer la valeur de nos profits qui sont capturés par le modèle diminué de ceux qui peuvent provenir d'événements rares.

### **Return on Account**

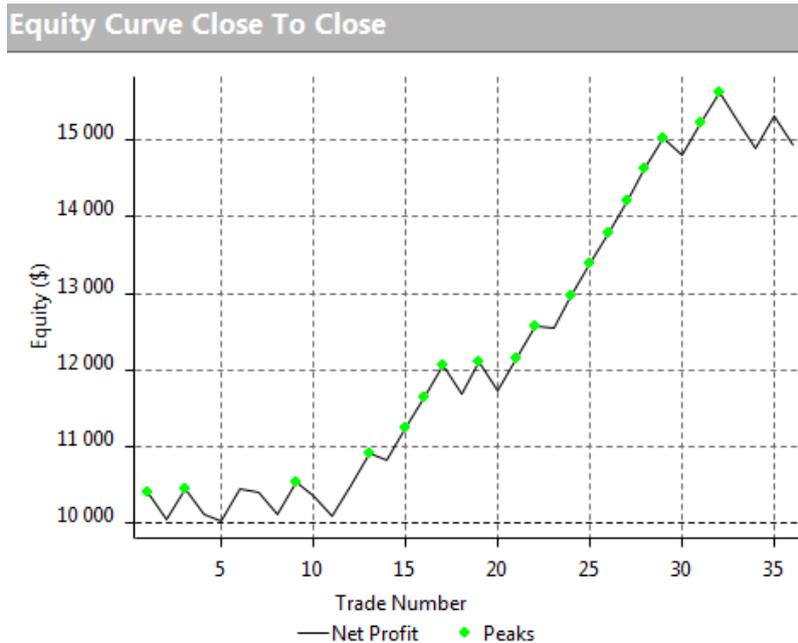
C'est la somme d'argent qu'on pourrait faire comparer à la somme d'argent requise pour trader cette stratégie, après avoir considéré les appels de marge. Cette valeur est calculée en divisant le Net Profit par la taille de la position.

### **Return on Initial Capital**

C'est le rapport entre le Total Net Profit et le Capital Initial.

### **Max Close to Close Drawdown**

C'est le max Drawdown calculée à partir de la représentation graphique de l'Equity Curve Close to Close.



### ***Return on max Strategy Drawdown***

C'est le Net Profit de la stratégie divisé par le Maximum Strategy Drawdown. Nous avons aussi nommé cet indicateur le Ratio de Calmar.

### ***Profit factor***

C'est le rapport entre le Gross Profits par le Gross Losses

### ***Adjusted Profit factor***

L'ajustement est une procédure qui -de manière artificielle- diminue les trades gagnants et augmente les trades perdants, pour que l'on puisse prévoir un pire scénario.

### ***Select Profit factor***

C'est le rapport entre le Select Gross Profit par le Select Gross Loss.

### ***Max # Contracts Held***

Le nombre maximum de contrats tenu à n'importe quel moment

### ***Slippage Paid***

La somme total (en \$) due au slippage. Les commissions ne sont pas incluses.

### ***Commission Paid***

La somme total (en \$) due aux commissions. Les coûts du Slippage ne sont pas inclus.

### ***Open Position P/L***

Le P&L de la position actuellement ouverte.

### ***Annual Rate of Return***

Le Taux de rendement annualisé de la stratégie sur la période de test

***Monthly Rate of Return***

Le Taux de rendement mensualisé de la stratégie sur la période de test.

***Buy Hold Return***

C'est le rendement obtenu par une stratégie « Buy & Hold », ie une stratégie qui consisterait à acheter l'instrument financier sur la période de test.

## Bibliographie

- (1) BROCK, W., LAKONISHOK J., ET LEBARON B. (1992). « Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns », *The Journal of Finance*, Vol. 47, No. 5, pp. 1731-1764
- (2) HAYETTE GATFAOUI, Estimating Fundamental Sharpe Ratios
- (3) ACHELIS “Technical analysis from A to Z”, *McGraw-Hill Professional*, 2000.
- (4) CHANDE, “Beyond technical analysis: How to develop and implement a winning trading system”, *John Wiley and Sons*, 2001.
- (5) OSLER, C.L. (2003). « An Explanation for the Predictive Success of Technical Analysis », *The Journal of Finance*, Vol. 58, No. 5, pp. 1791-1819
- (6) SULLIVAN R., TIMMERMANN A., WHITE H. (1999). « Data-Snooping, Technical Trading Rule Performance, and the Bootstrap », *The Journal of Finance*, Vol. 54, No. 5, pp. 1647-1691
- (7) DAVID ARONSON. Evidence-Based Technical Analysis: Applying the Scientific Method and Statistical Inference to Trading Signals.
- (8) PERRY J.KAUFMAN. New Trading Systems and Methods (Wiley Trading)
- (9) JOHN BOLLINGER. Les Bandes de Bollinger
- (10) JOHN SWEENEY. Maximum Adverse Excursion: Analyzing Price Fluctuations for Trading Management
- (11) SALIH N. NETFICI. Naïve trading Rules in Financial Markets and Wiener-Kolmogorov Prediction Theory : A Study of “Technical Analysis”
- (12) ROBERT PARDO. Design, Testing, and Optimization of Trading System