



ENSIMAG

Analyse et cahier des charges

MULTIMONDE 2021

IF

Voong Kwan
Ruimy Benjamin
Rattanatray Ayutaya
Ibakuyumcu Arnaud
Lhuillery Paul

14/11/2016

Table des matières

I	Description	2
1	Produit Financier : Multimonde	2
2	Notre produit : plateforme de gestion du multimonde	3
2.1	Opérations possibles	3
2.2	Cas d'utilisation de la plateforme	3
2.2.1	Acteurs	3
2.2.2	Scénarios possibles et diagramme de séquence système	3
II	Technique	7
3	Analyse Financière	7
3.1	Analyse des indices	7
3.2	Analyse du produit multimonde	9
3.2.1	Flux financiers	9
3.2.2	Risques liés au produit	11
3.2.3	Stratégie d'investissement	12
3.3	Performances historique d'un tel produit	12
4	Évaluation du produit financier	13
4.1	Modèle de simulation	13
4.1.1	Modèle de Black&Scholes multidimensionnel	13
4.1.2	Amélioration du modèle	14
4.1.3	Calibration des modèles	15
4.2	Méthode d'estimation du prix	16
4.2.1	Méthode de Monte Carlo	16
4.2.2	Résolution d'EDP	16
4.3	Méthode de financement du produit	16
5	Analyse Informatique	17
5.1	Architecture en Modèle-Vue-Contrôleur	17
5.1.1	Le Modèle	17
5.1.2	Le Contrôleur	17
5.1.3	La vue	17
5.2	Diagramme de classe	18
5.3	Tests	19

Première partie

Description

1 Produit Financier : Multimonde

Le produit Multimonde est un produit structuré sur un panier d'indices initialement composé des 6 grands indices mondiaux suivants (Cf section [\[Analyse Financière\]](#)) : Euro Stoxx 50 pour la zone euro, SP 500 pour les Etats-Unis, Nikkei 225 pour le Japon, Hang Seng pour la Chine, FTSE 100 pour le Royaume-Uni, SP ASX 200 pour l'Australie. Ces indices sont pris dividendes non réinvestis.

Chaque année, on enregistre les performances des différents indices qui composent le panier. On retient alors l'indice le plus performant et on le retire du panier. On conserve sa performance pour calculer plus tard le flux final du produit. Ainsi, à l'échéance du fonds, le panier est vide et on dispose des 6 performances enregistrées. Alors, le porteur se voit recevoir la somme de ces 6 performances. Notons que les performances des indices sont enregistrées dans une fourchette (capé-flooré) de $\{-15\%; +15\%\}$.

Pour réaliser son objectif, le gestionnaire le fonds conclura des achats ventes sur les différents indices ainsi que d'autres actifs pour couvrir les différents risques liés à ce produit. Cette stratégie d'investissement sera plus développée en section [\[Stratégie d'investissement\]](#).

2 Notre produit : plateforme de gestion du multimonde

2.1 Opérations possibles

Cette section vise à mettre en exergue les besoins et attentes du client au niveau des actions réalisables sur la plateforme. Ci-dessous la liste des différentes opérations possibles :

- Je veux voir la composition de mon panier actuel
- Je veux voir l'historique des performances des indices qui composent le panier
- Je veux voir la composition de mon portefeuille
- Je veux voir le prix de mon portefeuille multimonde
- Je veux consulter la fiche explicative de mon produit

2.2 Cas d'utilisation de la plateforme

2.2.1 Acteurs

Nous commençons par identifier les différents acteurs qui interagissent avec le système :

1. Utilisateur
2. Marché
3. Panier
4. Portefeuille multimonde

2.2.2 Scénarios possibles et diagramme de séquence système

Je veux voir la composition de mon panier actuel

Pour le diagramme de séquence système associé à ce cas d'utilisation, nous donnons un exemple dans lequel il ne reste plus que les indices 1, 4 et 6 dans le panier.

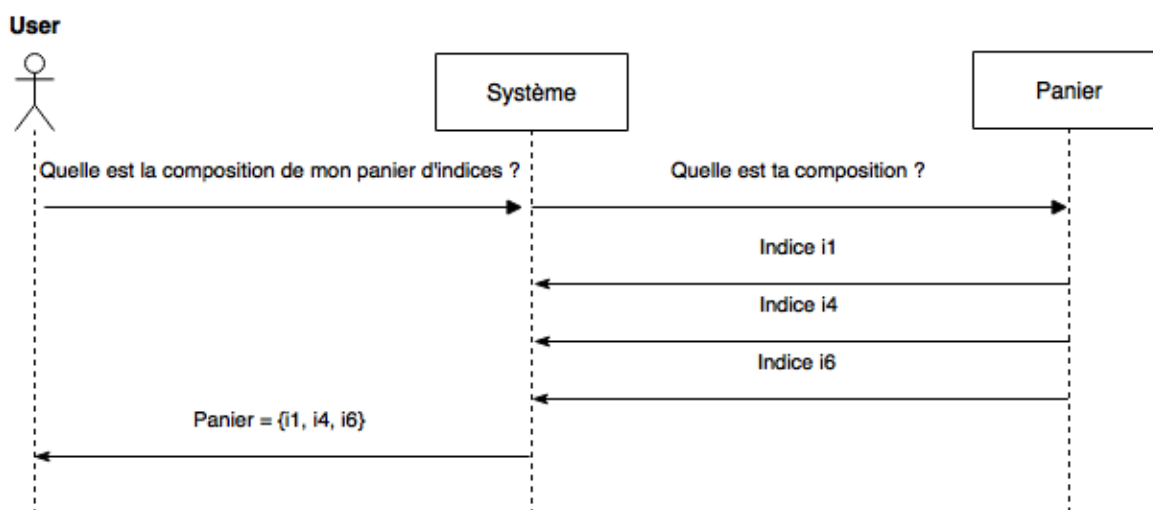


FIGURE 1 – Diagramme de séquences système de l'affichage de la composition du panier d'indices

Je veux voir l'historique des performances des indices qui composent le panier

Pour le diagramme de séquence système associé à ce cas d'utilisation, nous donnons un exemple dans lequel nous nous trouvons au temps $t = 2$ et l'indice ayant le mieux performé en $t = 1$ est l'indice 6.

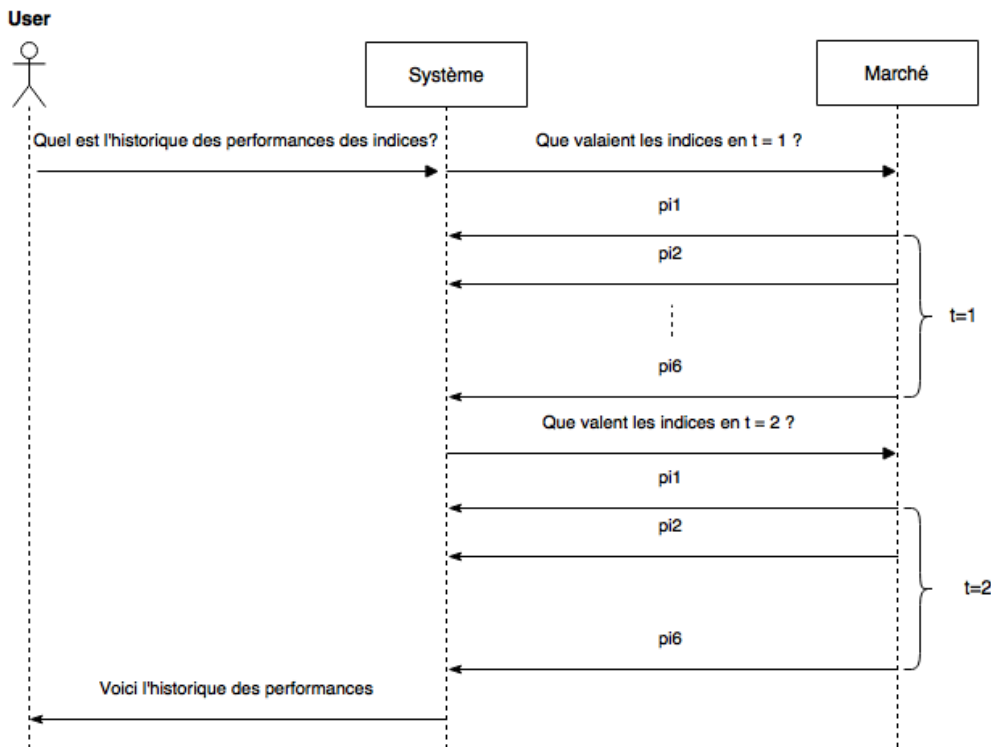


FIGURE 2 – Diagramme de séquences système de l’affichage de l’historique de performances des indices du panier

Je veux consulter la fiche explicative de mon produit

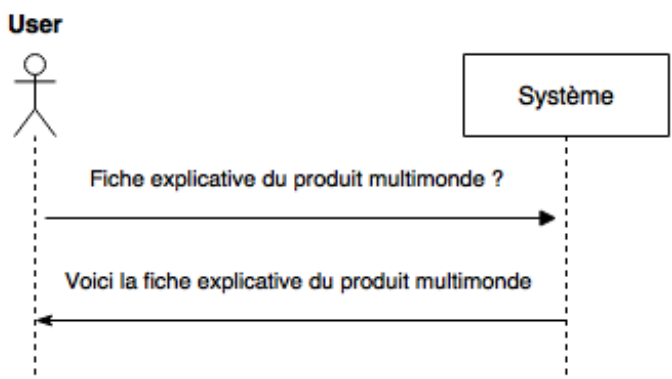


FIGURE 3 – Diagramme de séquences système de l’affichage la fiche explicative du produit multimonde

Je veux voir la composition de mon portefeuille multimonde

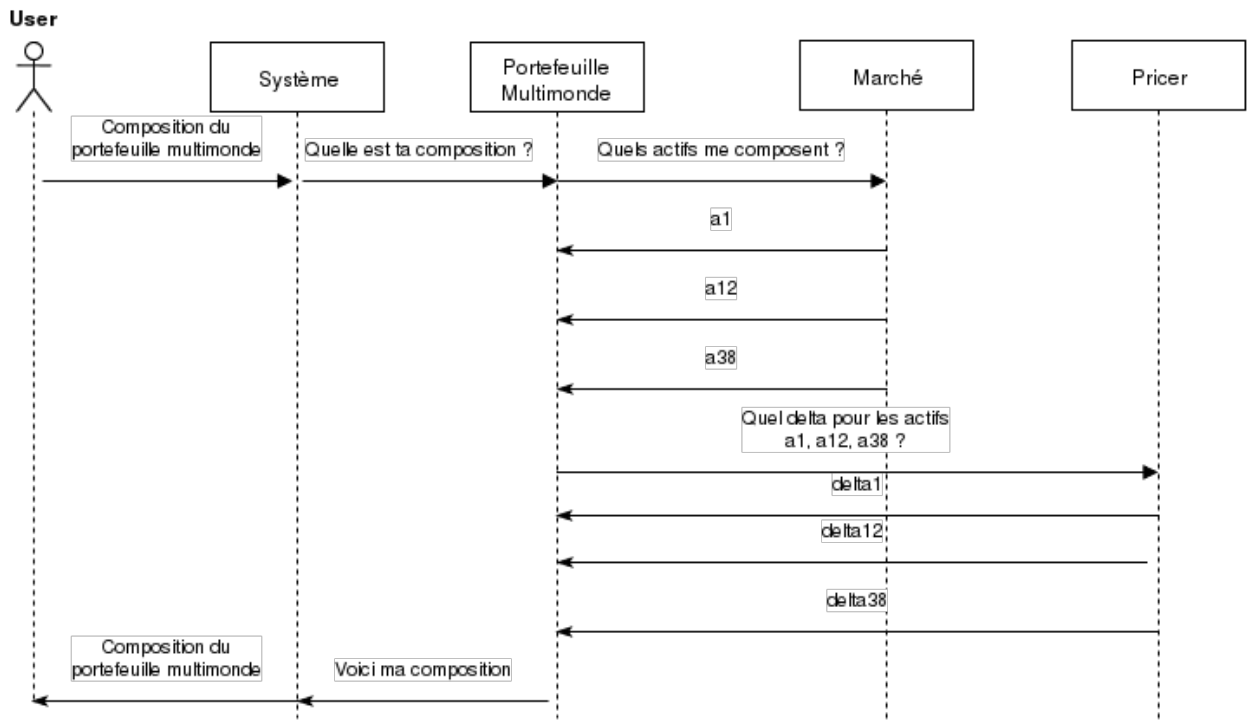


FIGURE 4 – Diagramme de séquences système de l’affichage de la composition du portefeuille multi-monde

Je veux voir le prix de mon portefeuille multimonde

Pour le diagramme de séquence système associé à ce cas d'utilisation, nous donnons un exemple dans lequel la composition actuelle du portefeuille multimonde est faite par les actifs a1, a12 et a38.

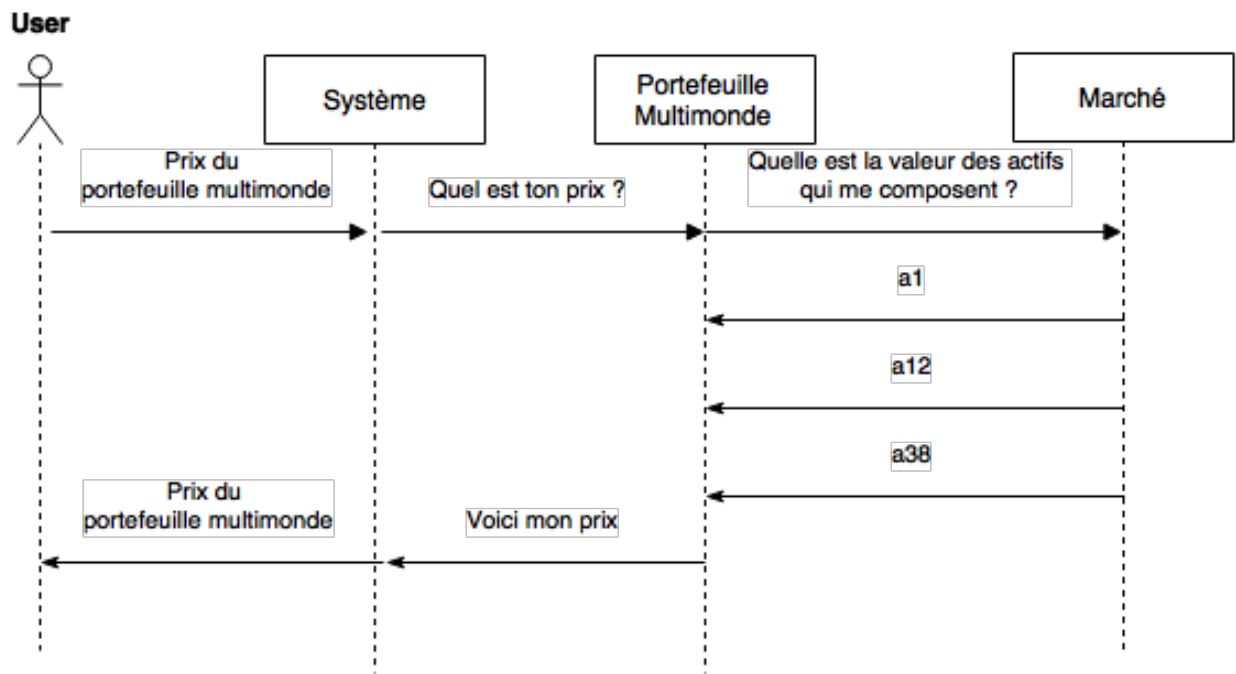


FIGURE 5 – Diagramme de séquences système du calcul du prix du portefeuille multimonde

Deuxième partie

Technique

3 Analyse Financière

3.1 Analyse des indices

Le produit multimonde est un produit structuré à partir d'un panier d'actions initialement composé de 6 indices mondiaux :

- **Euro Stoxx 50**

L'Euro Stoxx 50 est un indice boursier au niveau de la zone euro.

À la fin de chaque mois d'août, STOXX Ltd. classe les 600 plus grandes capitalisations boursières de la zone Euro. Comparé à la composition de l'Eurostoxx de l'année précédente, un certain nombre de sociétés ont vu leur classement baisser auxquelles se sont substituées dans le classement d'autres sociétés.

Indicateur	Valeur	Date
Dernière clôture		
Plus bas depuis 2000	1976,23	01/02/2009
Plus haut depuis 2000	5303,95	31/03/2000
Plus bas rendement annuel depuis 2000	-48,7%	Mars 2009
Plus haut rendement annuel depuis 2000	52,2%	Mars 2000

- **S&P 500**

Le S&P 500 est un indice boursier basé sur 500 grandes sociétés cotées sur les bourses américaines. L'indice est possédé et géré par Standard & Poor's, l'une des trois principales sociétés de notation financière.

L'indice S&P 500 a été créé le 4 mars 1957. Il a détrôné le Dow Jones Industrial Average comme indice le plus représentatif du marché boursier américain parce qu'il est composé d'un plus grand nombre de compagnies et que sa valeur tient compte de la capitalisation boursière des compagnies contenues dans l'indice.

Indicateur	Valeur	Date
Dernière clôture		
Plus bas depuis 2000	683,38	06/03/2009
Plus haut depuis 2000	2184,05	12/08/2016
Plus bas rendement annuel depuis 2000	-45,2%	Mars 2009
Plus haut rendement annuel depuis 2000	51,5%	Mars 2010

• Nikkei 225

Le Nikkei 225 est le principal indice boursier de la bourse de Tokyo. Il a été créé le 16 mai 1949 (année de la base 100). Le Nikkei 225 se calcule par une moyenne arithmétique des valeurs qui le composent, sans pondération par la capitalisation boursière des titres qui le composent. Les performances annuelles de l'indice Nikkei 225 se sont rapprochées de celles du Dow Jones, du SP 500, du DAX, du CAC 40 et du Footsie, les grands marchés boursiers étant de plus en plus dépendants les uns des autres depuis une quinzaine d'années.

Indicateur	Valeur	Date
Dernière clôture		
Plus bas depuis 2000	7173,10	06/03/2009
Plus haut depuis 2000	20724,56	07/08/2015
Plus bas rendement annuel depuis 2000	-48,2%	Novembre 2008
Plus haut rendement annuel depuis 2000	65,1%	Décembre 2013

• Hang Seng

Le Hang Seng (HSI) est l'indice boursier de la bourse de Hong Kong. Il existe depuis le 24 Novembre 1969.

Il est composé des 50 plus grosses capitalisations boursières, représentant environ 58% de la capitalisation de la bourse.

Indicateur	Valeur	Date
Dernière clôture		
Plus bas depuis 2000	8409,01	25/04/2003
Plus haut depuis 2000	30468,34	02/11/2007
Plus bas rendement annuel depuis 2000	-66,1%	Novembre 2008
Plus haut rendement annuel depuis 2000	173,6%	Novembre 2007

• FTSE 100

L'indice FTSE 100 est un indice boursier des cents entreprises britanniques les mieux capitalisées cotées à la bourse de Londres. Les quatre initiales signifient Financial Times Stock Exchange.

L'indice a été lancé le 3 janvier 1984 sur une base de 1000 points. Le FTSE 100 est l'indice boursier le plus largement utilisé de tous les indices proposés par le FTSE Group, et est fréquemment utilisé (notamment dans les informations financières) comme une mesure de la bonne santé de l'économie.

Indicateur	Valeur	Date
Dernière clôture		
Plus bas depuis 2000	3491,59	07/03/2003
Plus haut depuis 2000	7089,77	10/04/2015
Plus bas rendement annuel depuis 2000	-34,9%	Mars 2009
Plus haut rendement annuel depuis 2000	44,7%	Avril 2010

• S&P ASX 200

Le S&P ASX 200 est un indice boursier de la bourse d'Australie composé des 200 principales capitalisations boursières du pays.

Cet indice couvre environ 80% du marché equity Australien.

Indicateur	Valeur	Date
Dernière clôture		
Plus bas depuis 2000	2744,00	07/03/2003
Plus haut depuis 2000	6748,9	12/10/2007
Plus bas rendement annuel depuis 2000	-42,78%	Décembre 2008
Plus haut rendement annuel depuis 2000	39,15%	Mars 2010

3.2 Analyse du produit multimonde

Le fond multimonde est un fond à formule.

Le niveau de chaque indice est défini comme étant le cours de clôture de chaque indice au 1er Octobre 2015.

- Chaque année, on compare la performance des indices restants dans le panier et on ne garde que la performance de l'indice ayant le mieux performé par rapport à son Niveau Initial.
- La performance de l'indice retenu est capé/flooré à 15%. C'est à dire qu'on enregistre la performance de l'indice gardé pour sa valeur réelle, dans une limite de -15% à la baisse et +15% à la hausse.
- L'indice ayant réalisé cette meilleure performance est ensuite retiré du panier et ne sera plus utilisé aux dates d'observations postérieures.
- A l'échéance du fonds, le porteur reçoit la somme des 6 performances enregistrées.

Les indices sont observés en cours de clôture aux dates d'observations annuelles suivantes : 07/10/2016, 13/10/2017, 19/10/2018, 25/10/2019, 30/10/2020, 05/11/2021.

3.2.1 Flux financiers

Le montant initial de souscription d'une part est de 100€(Valeur Liquidative). Les frais d'entrée sont de 1,5% sur la valeur liquidative.

Le flux final est la somme des 6 performances enregistrées sachant qu'à chaque échéance de constatation, l'indice dont la performance est enregistré est retiré du panier pour les échéances suivantes. Il n'y a aucune commission sur ce dernier flux.

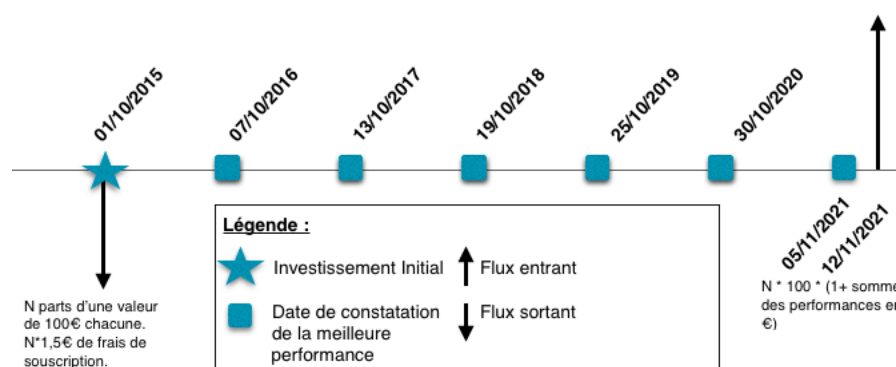


FIGURE 6 – Représentation des Flux Financiers du produit Multimonde 2021

Ci-dessous un exemple de de scénario dans le contexte où le porteur investit 100 euros nets dans le fonds, le 1er octobre 2015.

	Euro Stoxx 50	S&P 500	NIKKEI 225	HANG SENG	FTSE 100	S&P ASX 200	Perf en- registrée	de -15 à +15%
01/10/2015	100	100	100	100	100	100		
07/10/2016	88	96	93	87	91	110	10,00%	10,00%
13/10/2017	75	93	76	69	64		-7,00%	-7,00%
19/10/2018	68		98	89	78		-2,00%	-2,00%
25/10/2019	73			105	89		5,00%	5,00%
30/10/2020	91				107		7,00%	7,00%
05/11/2021	102						2,00%	2,00%

Performance finale du fonds	+15,00%
Remboursement (sur la base des 100 euros nets investis)	115,00€
Taux de rendement actuariel du fonds	2,31%

3.2.2 Risques liés au produit

Le produit Multimonde est un produit dont le risque est très élevé.

La section suivante va énumérer les risques du coté acheteur puis du coté vendeur.

Coté acheteur : Pour l'acheteur, il existe deux risques liés au produit.

Le premier risque est le risque de défaut de la banque qui délivre le produit multimonde. Ce risque est très faible mais reste présent.

Le second risque est le **risque en perte de capital**. En effet, le capital n'est pas garanti et la somme des performances peut attendre -90% . Pour un investissement de $101,5\text{€}$ (frais de souscription inclu), le produit multimonde peut faire perdre jusqu'à $91,5\text{€}$. L'IRR (Investment Return Rate) de se produit varie entre $-31,30\%$ et $11,03\%$.

On peut donc déduire de cette si grande variation qu'il s'agit d'un produit très risqué.

La méthode de calcul de l'IRR est rappelée ci dessous :

$$\sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+IRR)^t} - C_0 = 0 \quad \text{où} \quad \begin{cases} IRR &= \text{Investment Return Rate} \\ T &= \text{Nombre de période de temps} \\ C_t &= \text{Flux à la date } t \\ C_0 &= \text{Investissement initial} \end{cases}$$

Dans le cas du produit multimonde, il n'y a qu'un unique flux, le flux final.

Ainsi, il est très simple à calculer.

En notant T la maturité du produit multimonde (qui vaut $6 + 1/12 + 17/365 \simeq 6,13$), on a :

$$\frac{C_t}{(1+IRR)^T} = C_0 \Leftrightarrow \ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = T \times \ln(1+IRR)$$

D'où la résolution très simple de l'IRR dans le cas du produit multimonde :

$$IRR = \exp\left(\frac{\ln(\frac{C_t}{C_0})}{T}\right) - 1$$

L'IRR est une mesure de risque qui permet de déterminer si l'investissement est rentable. On considère qu'il est rentable s'il est supérieur au taux d'intérêt bancaire.

Coté vendeur : Le vendeur du multimonde doit constituer un portefeuille répliquant le produit pour pouvoir le vendre. Ce portefeuille présente de nombreux risques énumérés ci dessous :

- Risque de marché : *lié aux variations des indices sur le marché et du contexte économique*
- Risque de taux : *lié à la variation des courbes de taux et du modèle utilisé*
- Risque de change : *lié à la variation de valeur des devises en euros*
- Risque de crédit : *lié aux différents crédits utilisés lors du structuring du produit*
- Risque de modèle : *lié à la calibration du modèle de pricing (risque d'estimation des paramètres ou de choix du modèle)*

La section suivante va expliquer pourquoi ces risques existent et comment la couverture permettra de quasiment les éliminer.

3.2.3 Stratégie d'investissement

Pour structurer ce produit, il faut constituer un portefeuille de réplication du flux terminal. Pour cela, nous utiliserons un portefeuille constitué des indices du panier pour contrecarrer le risque de marché sur ces indices.

Cependant, ces indices sont présents sur différents marchés internationaux et faire des transactions sur ces indices implique d'échanger de l'argent en euro contre une devise étrangère. Le risque de change rentre donc en jeu. Pour se couvrir du risque de change, nous constituerons un portefeuille des différentes devises.

Le taux utilisé pour évaluer le produit multimonde doit être sujet à une modélisation. Intervient donc le risque de taux qui peut être couvert par l'achat ou l'émission d'obligations sur le marché. Ces obligations entraînent un risque de contrepartie que nous prendrons pas en compte car il reste faible.¹

Le dernier risque est celui du modèle puisqu'il intervient dans l'évaluation du produit et la constitution du portefeuille de couverture. Il doit minimiser l'écart entre le monde théorique et le marché et ainsi les paramètres doivent être bien estimés. Le risque du modèle est donc concentré sur un risque d'estimation mais aussi sur le risque de choix du modèle.²

3.3 Performances historique d'un tel produit

À titre d'information, à partir de données historiques, un tel produit avec des dates de constatations différentes (01 Janvier), les performances sont les suivantes :

Produit Multimonde Théorique	Performance enregistrée
Multimonde 2012	7,99%
Multimonde 2013	26,22%
Multimonde 2014	22,6%
Multimonde 2015	51,00%
Multimonde 2016	44,49%

1. Pour se couvrir de ce risque, on peut proposer d'incorporer le risque dans la valeur de l'obligation (xVA) ou bien utiliser des CDS.

2. Par exemple, une première estimation pourrait être de choisir un modèle des taux constants mais on se rendrait compte que la couverture serait loin d'être efficace.

4 Évaluation du produit financier

Cette partie permet de préciser les modèles mathématiques utilisés pour le pricing du **multimonde 2021**. En partant du modèle simple de Black Scholes, nous allons, grâce à l'analyse financière faite plus haut, nous diriger vers un modèle plus précis. Il faudra alors estimer les paramètres des modèles utilisés avec des méthodes statistiques étudiées dans la partie calibration du modèle.

4.1 Modèle de simulation

Il existe plusieurs modèles de simulation pour ce projet comme le modèle ARMA, GARCH mais nous allons, dans un premier temps, nous attarder sur le modèle de B&S.

4.1.1 Modèle de Black&Scholes multidimensionnel

On suppose que le cours des indices du panier, ainsi que le cours des actifs du CAC40 suivent le modèle de *Black & Scholes* soit, dans le cas unidimensionnel :

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t B_t$$

où B_t est un mouvement Brownien, μ la tendance instantanée, σ la volatilité.

Dans le cas multidimensionnel, il faut tenir compte de la corrélation entre les actifs mis en jeu.

Hypothèse On suppose pour la suite les points suivants :

- Le taux d'intérêt dit 'sans risque' du marché r est supposé constant au cours du temps.
- La volatilité d'un actif d σ_d est constante au cours du temps.
- La corrélation entre les différents actifs est égale à $\rho_{i,j}$

On pose alors pour D le nombre d'actifs $\Gamma =$

$$\begin{pmatrix} 1 & \rho_{1,2} & \dots & \rho_{1,D} \\ \rho_{2,1} & \ddots & (\rho_{i,j}) & \vdots \\ \vdots & (\rho_{j,i}) & \ddots & \rho_{D-1,D} \\ \rho_{D,1} & \dots & \rho_{D,D-1} & 1 \end{pmatrix}$$

Cependant, il faut s'assurer que Γ soit défini positive de façon à ce que le marché soit complet.

Dans ce cas, $B = (B^1, \dots, B^D)$ n'est pas un mouvement brownien à d dimension car les D Mouvement Brownien B^i ne sont pas indépendant.

Cependant, en utilisant le fait que

$$(B_t)_t \text{ est égal en loi à } (LW_t)_t$$

où L est la factorisation de Cholesky de Γ et $(W_t)_t$ un M.B.S

on peut simuler le cours de l'actif d selon :

$$S_{d,t_{i+1}} = S_{d,t_i} \exp \left[\left(\mu_d - \frac{\sigma_d^2}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) + \sigma_d \sqrt{t_{i+1} - t_i} L_d G_{i+1} \right]$$

où la suite $(G_i)_i$ est une suite i.i.d de vecteurs gaussien centrés de matrice de covariance I_D à valeur dans \mathbb{R}^D .

Dans l'univers risque neutre, on a $\mu_d = r$ et alors le prix du multimonde vaut :

$$P(t) = \mathbb{E}_t^* [e^{-r(T-t)} \cdot PayOff [(S_u)_u]]$$

où T est la maturité du produit.

4.1.2 Amélioration du modèle

Le modèle précédent fait des hypothèses fortes de constance sur les différentes variables du modèle.

★ En particulier, il semble être judicieux de prendre un taux dit 'sans risque' qui dépend du temps. Le modèle de *Black & Scholes* s'écrit alors dans l'univers Risque Neutre :

$$\frac{dS_t}{S_t} = r(t)dt + \sigma dB_t$$

★ Une dernière amélioration pertinente serait de considérer une simulation selon une chaîne de markov appelée régime switché. En effet, le comportement des actifs étant différent en période de crise qu'en période dite normale, il semble être judicieux de considérer trois modèles de simulation (période de crise, période normale, période optimiste).

Posons (μ_c, σ_c) , (μ_n, σ_n) , (μ_o, σ_o) la tendance et la volatilité d'un actif selon les trois périodes énumérées. Posons $p_{A,B}$ où $A, B \in \{\text{crise, normale, optimiste}\}$ la probabilité de passer dans un état B en étant dans un état A . On a alors la chaîne de markov suivante :

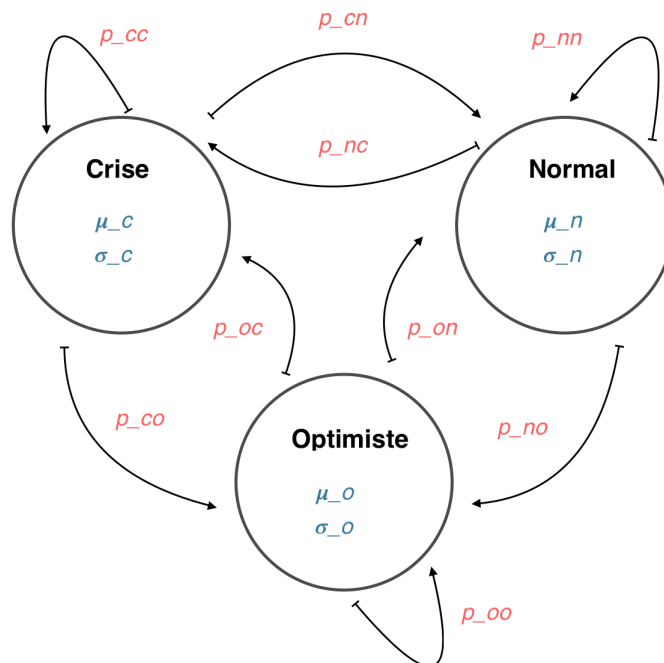


FIGURE 7 – Modèle de régime switché

Et alors, si nous sommes dans un état $A \in \{ \text{crise, normale, optimiste} \}$ on a :

$$S_{t+1} = (p_{A,c}S_{t+1}^c + p_{A,o}S_{t+1}^o + p_{A,n}S_{t+1}^n)$$

Où S_{t+1}^B est le calcul de S_{t+1} selon le modèle classique avec $\mu = \mu_B$ et $\sigma = \sigma_B$.³

4.1.3 Calibration des modèles

Dans les différents modèles, il est nécessaire d'estimer les paramètres suivant que l'on suppose constant au cours du temps et indépendant (de façon à ce qu'un historique des cours correspondent à un échantillon statistique) :

Taux d'intérêt dit 'sans risque' Par une méthode de *BootStrapping* il est possible de calculer au temps t la courbe des taux (zéro coupon ou autres) d'horizon 6 ans.

Cette courbe peut alors être utilisée pour estimer r dans le cas constant ou alors $r(t)$ dans le cas du modèle amélioré.

Une autre estimation de r constant peut être une moyenne des taux interbancaires court.

Il existe différent modèle de taux, on utilisera le modèle GAMTAUX suivant :

$$R(0, T) = R_\infty - Sg_1(T) + \gamma Sg_2(T) \text{ où } \begin{cases} g_1(T) &= \frac{1-e^{-aT}}{aT} \\ g_2(T) &= \frac{(1-e^{-aT})^2}{4aT} \end{cases}$$

Tendance instantanée Par une estimation de l'espérance des cours sur un historique trouvée sur Yahoo Finance.

On utilisera la moyenne arithmétique qui correspond à l'estimateur sans biais de variance minimale de l'espérance des cours c'est à dire la tendance instantanée.

Volatilité instantanée De même, on estime la volatilité σ sur le même historique des cours avec l'estimateur sans biais de variance minimale :

$$\sigma^2 = \text{Var}[X] \approx \tilde{S}_n(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2$$

Corrélation entre actifs De la même façon qu'avec la volatilité, on estime la covariance selon l'estimateur sans biais de variance minimale :

$$\text{CoVar}[X^i, X^j] \approx \tilde{S}_n(X^{(i)}, X^{(j)}) = \frac{1}{n-1} \sum_{k,l=1}^n \left(x_k^{(i)} - \bar{x}^{(i)} \right) \left(x_k^{(j)} - \bar{x}^{(j)} \right)$$

Et alors un estimateur de la corrélation est

$$\tilde{\rho}_n(X^i, X^j) = \frac{\tilde{S}_n(X^{(i)}, X^{(j)})}{\tilde{S}_n(X^{(i)}) \cdot \tilde{S}_n(X^{(j)})}$$

Cet estimateur n'est pas parfait, il semble être judicieux de réfléchir à une autre estimation de la corrélation.

Pour cela, il est possible, vu que seul le produit entre la volatilité et une combinaison linéaire des corrélations compte dans la simulation de BES , d'estimer avec un maximum de vraisemblance justement ce produit.

3. On peut aussi décider d'un taux d'intérêt dit 'sans risque' différent selon les périodes

4.2 Méthode d'estimation du prix

Les calculs stochastiques n'étant pas possible dans le cas de notre produit, il est nécessaire d'utiliser les calculs numériques pour valoriser le `multimonde`.

4.2.1 Méthode de Monte Carlo

On utilise le fait que l'Estimateur Sans Biais de Variance Minimale de l'espérance est la moyenne arithmétique.

Ainsi, la méthode de Monte Carlo consiste à simuler un nombre important de trajectoire des actifs sous-jacents, de calculer le pay-off du produit pour chacune de ces trajectoires et d'en faire la moyenne arithmétique i.e.

$$E[f(X)] \approx \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f(X^{(i)}) \text{ où } X^{(i)} \text{ est une simulation de } X$$

Dans notre cas, f est le payoff actualisé au taux dit 'sans risque' où le payoff est la somme des performances de chaque indice en les échéances spécifiées plus haut *capé* et *flooré* à 15% et -15% sachant qu'à chaque échéance l'indice de meilleur performance est supprimé du panier du produit.

4.2.2 Résolution d'EDP

Il peut être intéressant de trouver une EDP dont le prix du produit est solution et d'user de la discrétisation pour calculer ce prix par méthode numérique.

Cependant cette méthode semble vouée à l'échec par la complexité mathématique du pay-off du produit.

4.3 Méthode de financement du produit

Cette partie consiste à étudier la constitution du portefeuille de réplication du produit `multimonde21`. On utilisera la sensibilité *Delta* pour connaître la constitution du portefeuille en indices du panier. Pour la constitution en devises, on utilisera la sensibilité de chaque composition d'indice en le change euro contre devise de l'indice pour en déduire la composition en devise du portefeuille.

D'autres sensibilités pourront être mises en jeu pour avoir une constitution plus complexe mais plus précise du portefeuille.

5 Analyse Informatique

5.1 Architecture en Modèle-Vue-Contrôleur

5.1.1 Le Modèle

La partie *Modèle* comporte les classes principales correspondant aux différentes fonctionnalités de l'application : données et traitements.

Les données sont présentes dans la classe *marché*, il s'agit de la valeur des indices utilisés dans le temps ou de la valeur des swaps. Cette classe contient aussi les informations nécessaires pour les calculs telles que la valeur du taux sans risque ou la corrélation entre les indices etc ...

La classe *Portfolio* contient les informations sur le portefeuille dans le temps : sa composition, son prix.

La classe *Multimonde* utilise quatre classes donnant des méthodes pour générer les données de la classe *marché* (*SimuActif*, *SimuChange* et *ModeleTaux*) et pour évaluer le portefeuille (*Pricer*).

Les classes du modèle seront implémentées en C++ pour pouvoir optimiser le temps de calcul et le stockage mémoire. La librairie PnL sera utilisé et la partie simulation intégrera du multi-threading.

5.1.2 Le Contrôleur

La partie *Contrôleur* récupère les actions de l'utilisateur et associe ces événements à des actions qui modifient le *modèle*. La principale action pouvant affecté le *modèle* concerne la génération : l'application doit-elle utiliser des données simulées ou historiques ?

Par ailleurs, le contrôleur pourra choisir d'afficher une vue parmi plusieurs proposées. Celles-ci sont détaillées dans les cas d'utilisation.

5.1.3 La vue

La partie *Vue* comporte les classes relatives à l'interface graphique. Cette partie est mise à jour en cas de changement dans le *modèle*. Un patron observateur dans cette partie permet de récupérer les informations de changement d'état du modèle. En effet, lorsque le modèle change, la classe *Multimonde* transmet l'information à son observateur pour que celui-ci mette à jour la *Vue*

D'autre part, la sélection d'une vue est directement choisie par le *contrôleur* (par exemple : l'utilisateur veut afficher la composition du panier d'indice). Choisir une vue change d'observateur. En effet, chaque affichage a besoin de données différentes venant du modèle et par conséquent il existe autant d'observateur que de vue.

5.2 Diagramme de classe

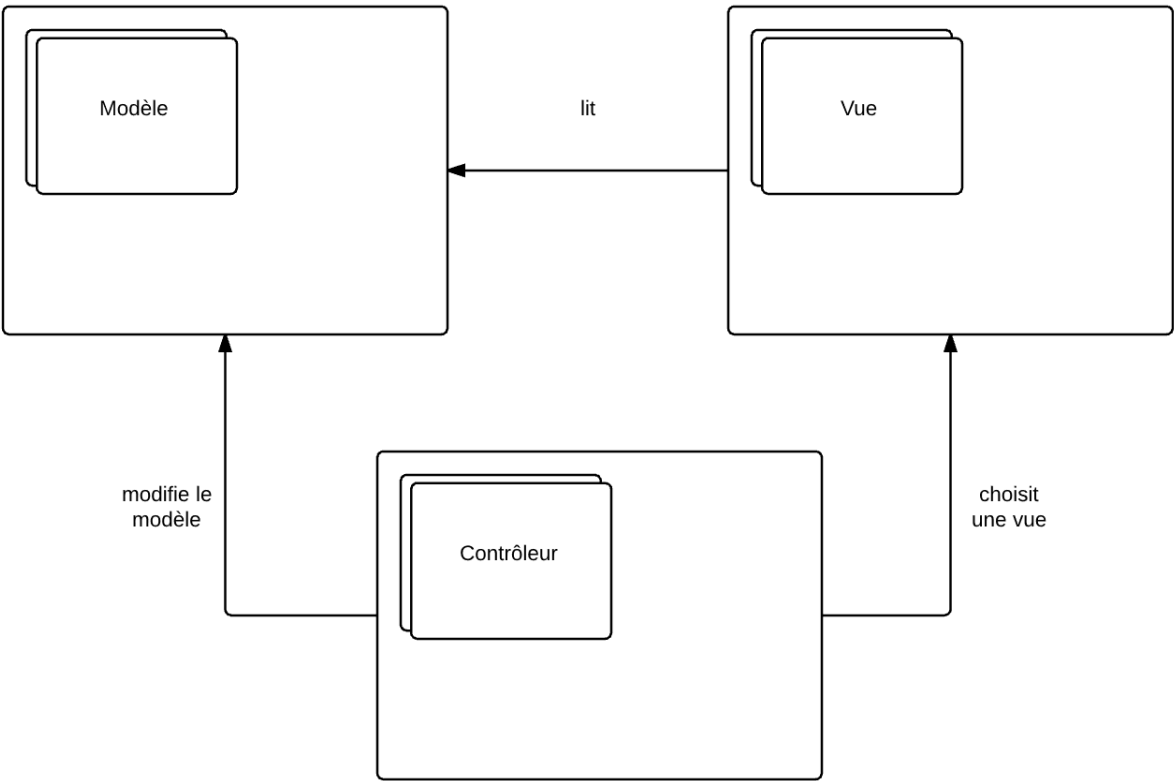


FIGURE 8 – Architecture générale en MVC

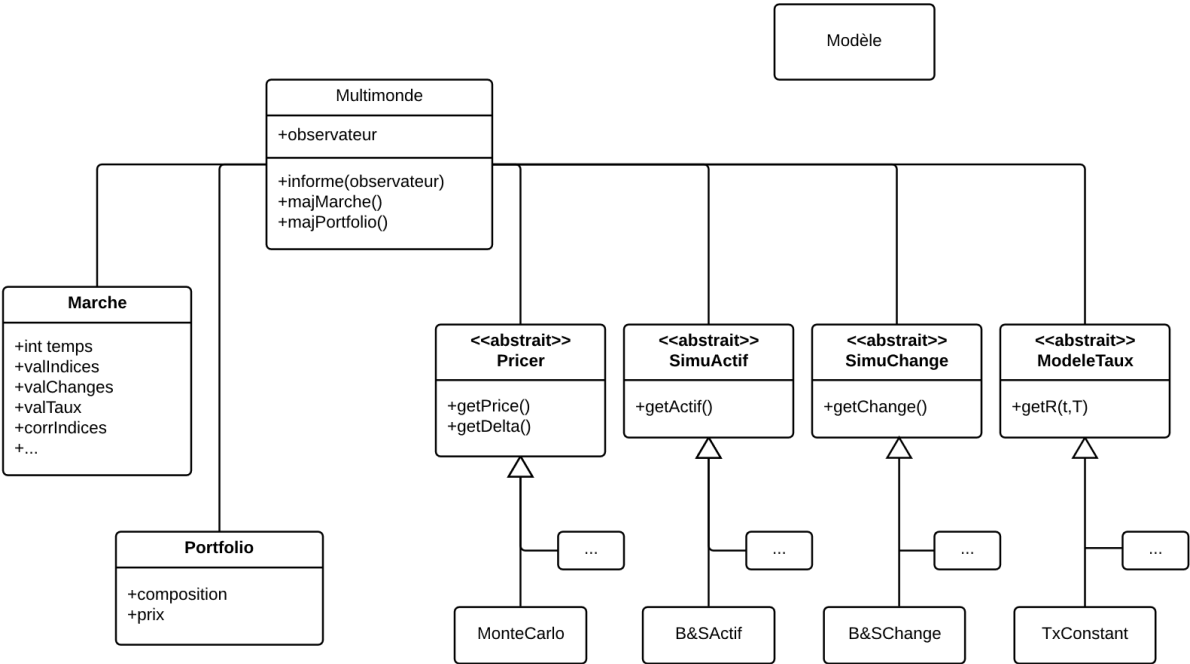


FIGURE 9 – Architecture du Modèle

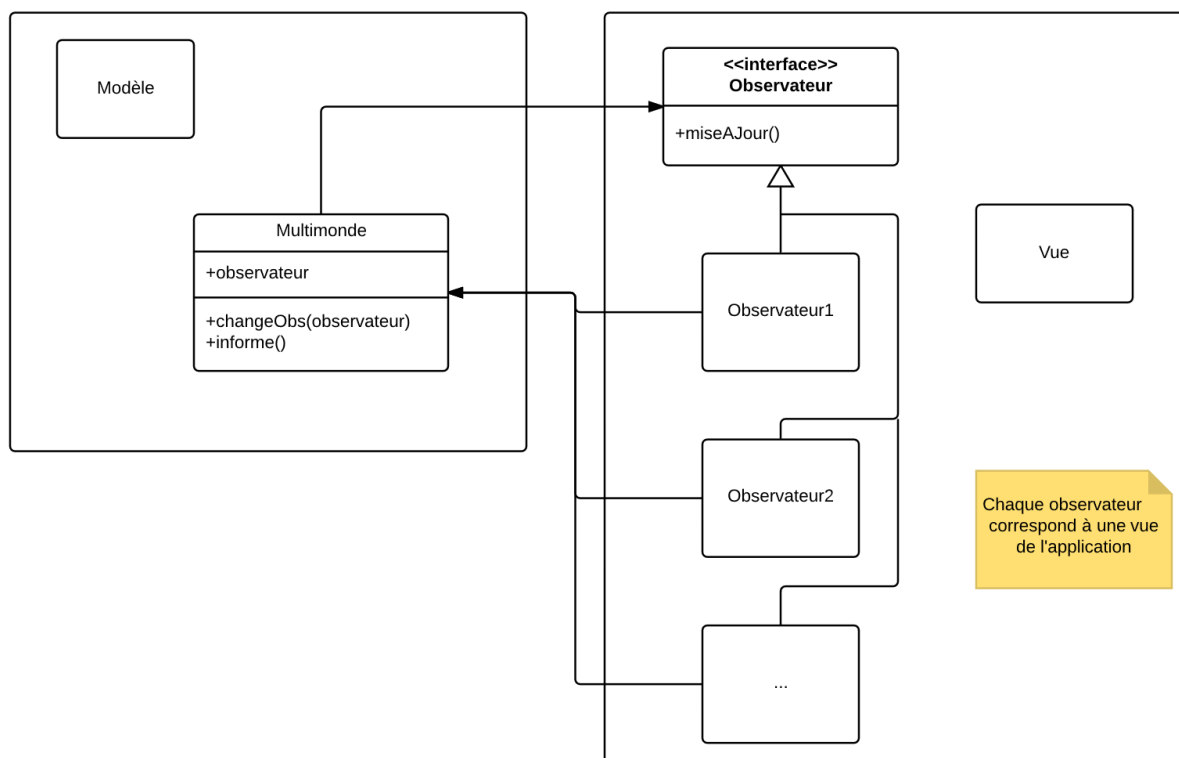


FIGURE 10 – Patron Observateur

5.3 Tests

Les tests seront constitués de **tests unitaires** pour l'ensemble des fonctions de calcul et le programme principal sera testé selon deux environnements.

Le premier sera un **forward test** où l'on testera l'efficacité de l'évaluation du produit et de notre couverture avec une simulation du marché. Ce premier test permettra de vérifier l'efficacité de notre implémentation sans le risque du modèle puisque le marché sera simulé avec celui-ci et les paramètres seront choisis (et donc non estimés).

Le deuxième test sera un **back test** où l'on testera l'efficacité de notre application sur un ensemble de valeurs historiques. Ce test permettra de mesurer en plus l'efficacité de notre modèle de pricing et de calcul de constitution de portefeuille dans un cadre qui se rapproche du cadre de l'utilisation du produit.