

Produits dérivés de change

Richard Guillemot

DIFIQ

11 Avril 2014

$$\text{EUR/USD} = 1.3889$$

EUR/USD=1.3889

1 euro vaut 1.3889 dollar.

$$\text{EUR}/\text{USD}=1.3889$$

1 euro vaut 1.3889 dollar.

EUR (euro) est la devise étrangère ou devise 1.

$$\text{EUR}/\text{USD}=1.3889$$

1 euro vaut 1.3889 dollar.

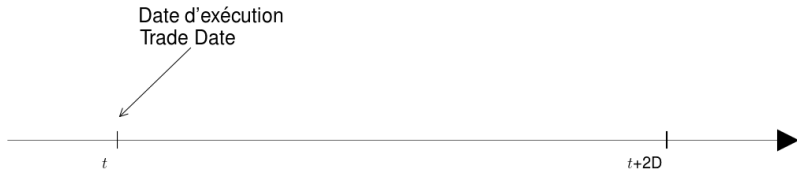
EUR (euro) est la devise étrangère ou devise 1.

USD (dollar) est la devise domestique ou devise 2.

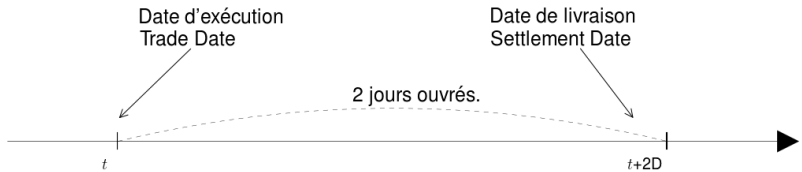
Livraison ou Settlement



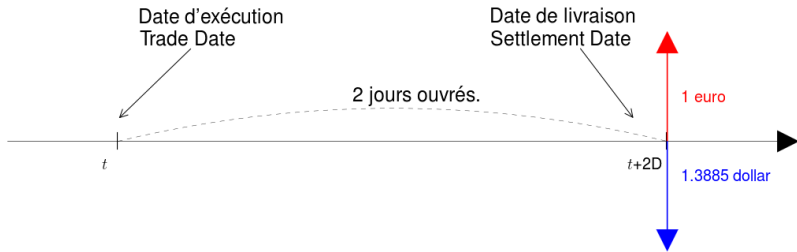
Livraison ou Settlement



Livraison ou Settlement

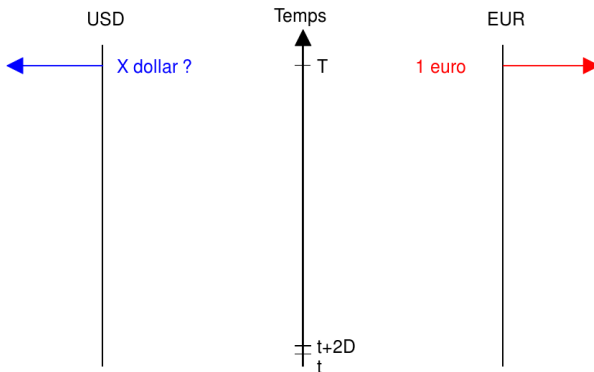


Livraison ou Settlement



Taux de change "Forward"

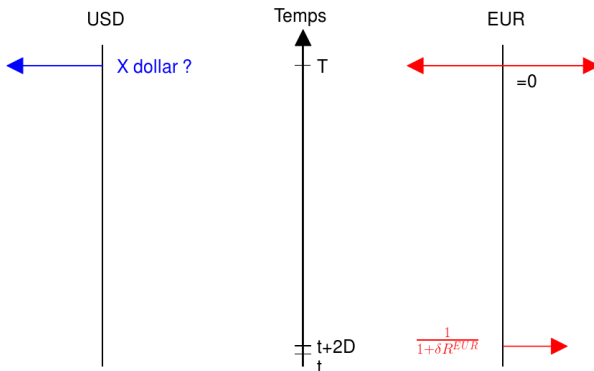
Comment garantir un taux de change à une date future T ?
Et à quel taux X .



Taux de change "Forward"

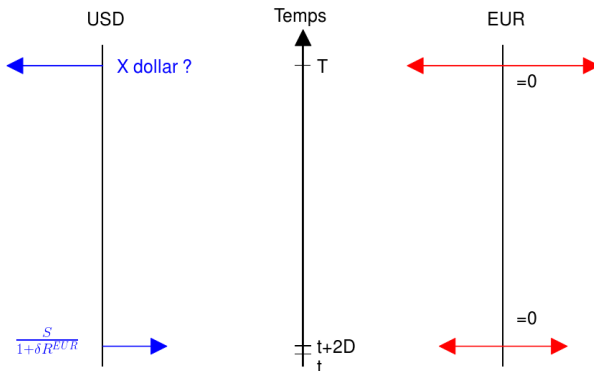
Prêt en t de $\frac{1}{1+\delta R^{EUR}}$ euros.

Remboursé en T avec les intérêts, c'est à dire **1 euros**.



Taux de change "Forward"

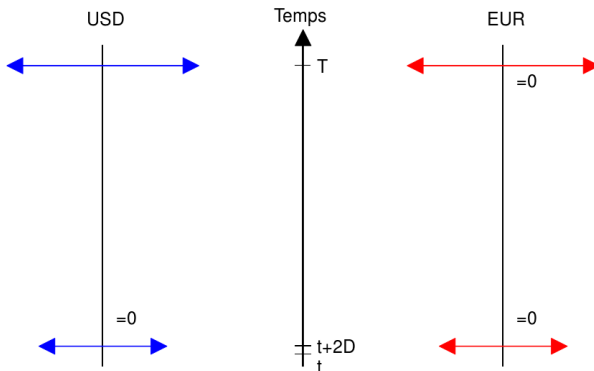
Change $\frac{1}{1+\delta R^{EUR}}$ euros contre $\frac{S}{1+\delta r^{EUR}}$ dollars.



Taux de change "Forward"

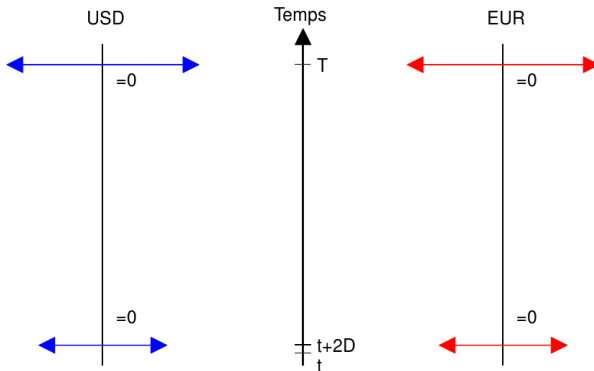
Emprunt en t de $\frac{S}{1+\delta R^{EUR}}$ dollars

Remboursé en T avec les intérêts, c'est à dire $S \frac{1+\delta R^{USD}}{1+\delta R^{EUR}}$ dollars.



Taux de change "Forward"

$$X = S \frac{1 + \delta R^{USD}}{1 + \delta R^{EUR}}$$



Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|--|-------------|---------|--------|
| δ R^{EUR} R^{USD} S X | | | |

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|--|---------------------|----------------|------------------|
| δ R^{EUR} R^{USD} S X | Maturité du forward | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours |

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|--|---|----------------|--------------------------|
| δ R^{EUR} R^{USD} S X | Maturité du forward Taux zéro coupon euro. | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours 0.5% |

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|--|---|----------------|----------------------------------|
| δ R^{EUR} R^{USD} S X | Maturité du forward Taux zéro coupon euro. Taux zéro coupon dollar. | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours 0.5% 0.3% |

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|-----------|--------------------------|----------------|------------------|
| δ | Maturité du forward | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours |
| R^{EUR} | Taux zéro coupon euro. | | 0.5% |
| R^{USD} | Taux zéro coupon dollar. | | 0.3% |
| S | Taux de change spot. | | 1.3889 |
| X | | | |

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|-----------|--------------------------|---|------------------|
| δ | Maturité du forward | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours |
| R^{EUR} | Taux zéro coupon euro. | | 0.5% |
| R^{USD} | Taux zéro coupon dollar. | | 0.3% |
| S | Taux de change spot. | | 1.3889 |
| X | Forward de change. | $S \frac{1 + \delta R^{USD}}{1 + \delta R^{EUR}}$ | ?? |

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|-----------|--------------------------|---|------------------|
| δ | Maturité du forward | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours |
| R^{EUR} | Taux zéro coupon euro. | | 0.5% |
| R^{USD} | Taux zéro coupon dollar. | | 0.3% |
| S | Taux de change spot. | | 1.3889 |
| X | Forward de change. | $S \frac{1 + \delta R^{USD}}{1 + \delta R^{EUR}}$ | ?? |

$X =$

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|-----------|--------------------------|---|------------------|
| δ | Maturité du forward | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours |
| R^{EUR} | Taux zéro coupon euro. | | 0.5% |
| R^{USD} | Taux zéro coupon dollar. | | 0.3% |
| S | Taux de change spot. | | 1.3889 |
| X | Forward de change. | $S \frac{1 + \delta R^{USD}}{1 + \delta R^{EUR}}$ | ?? |

$$X = 1.3889 \times \frac{1 + \frac{365}{360} \times 0.3\%}{1 + \frac{365}{360} \times 0.5\%}$$

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|-----------|--------------------------|---|------------------|
| δ | Maturité du forward | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours |
| R^{EUR} | Taux zéro coupon euro. | | 0.5% |
| R^{USD} | Taux zéro coupon dollar. | | 0.3% |
| S | Taux de change spot. | | 1.3889 |
| X | Forward de change. | $S \frac{1 + \delta R^{USD}}{1 + \delta R^{EUR}}$ | ?? |

$$X = 1.3889 \times \frac{1 + \frac{365}{360} \times 0.3\%}{1 + \frac{365}{360} \times 0.5\%} = 1.3861$$

Taux de change "Forward" - Récapitulatif

| Notation | Description | Formule | Valeur |
|-----------|--------------------------|---|------------------|
| δ | Maturité du forward | $T - (t + 2D)$ | 1 an = 365 jours |
| R^{EUR} | Taux zéro coupon euro. | | 0.5% |
| R^{USD} | Taux zéro coupon dollar. | | 0.3% |
| S | Taux de change spot. | | 1.3889 |
| X | Forward de change. | $S \frac{1 + \delta R^{USD}}{1 + \delta R^{EUR}}$ | ?? |

$$X = 1.3889 \times \frac{1 + \frac{365}{360} \times 0.3\%}{1 + \frac{365}{360} \times 0.5\%} = 1.3861$$

Soit **27.6** points de base d'écart négatif par rapport au taux spot.

Si on vend 100 Mios euro dans 1 an d'euros au taux spot au lieu d'utiliser le taux foward précédemment calculé :

- a) On gagne 276 kEUR
- b) On perd 27 kEUR
- c) On gagne 2.76 millions d'euros.
- d) On perd 276 kEUR.

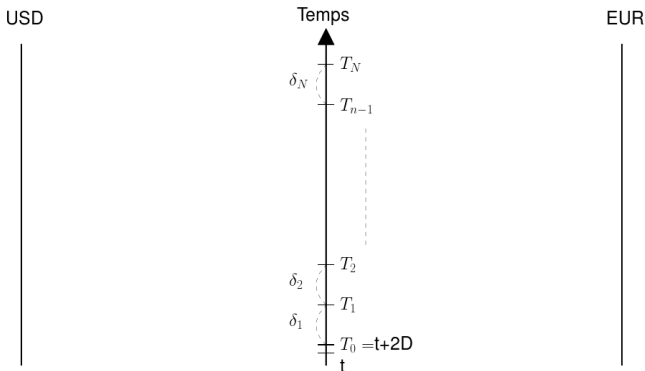
Si on vend 100 Mios euro dans 1 an d'euros au taux spot au lieu d'utiliser le taux foward précédemment calculé :

- a) On gagne 276 kEUR **VRAI**
- b) On perd 27 kEUR **FAUX**
- c) On gagne 2.76 millions d'euros. **FAUX**
- d) On perd 276 kEUR. **FAUX**

On emprunte à 0.3% en dollars et on prête à 0.5% en euros !!!

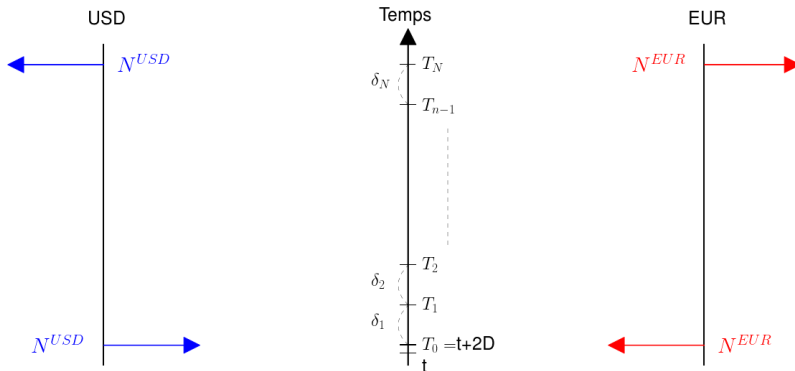
Le swap de devises ou Cross-Currency Swap

On considère l'échéancier d'un swap standard.



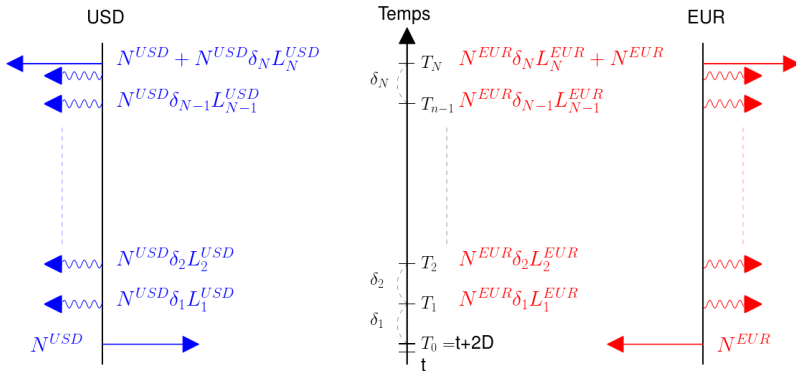
Le swap de devises ou Cross-Currency Swap

On échange en $t+2D$ ouvrés N^{USD} avec sa contrevaletur N^{EUR} .
On fera l'échange inverse à la maturité du swap T .



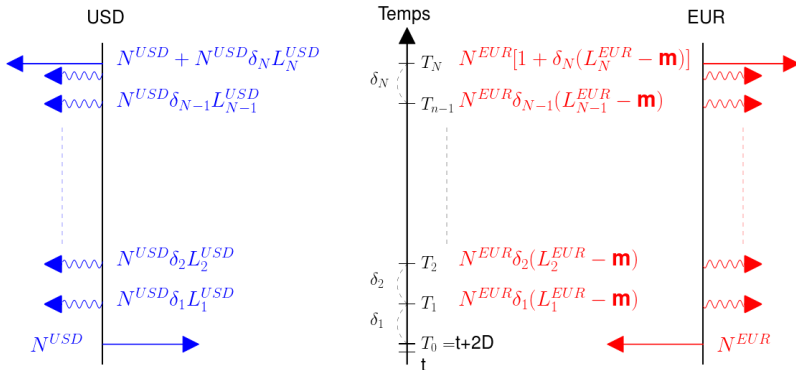
Le swap de devises ou Cross-Currency Swap

On reçoit une jambe variable euro en contrepartie d'une jambe variable dollar.



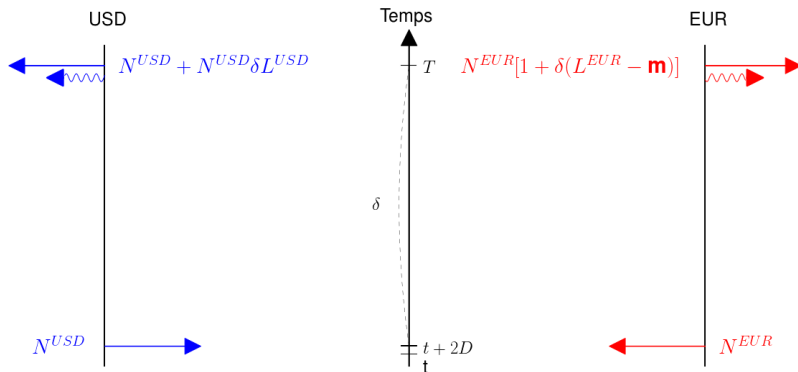
Le swap de devises ou Cross-Currency Swap

En pratique il faut retirer la **marge de basis m** à la jambe EUR pour mettre le swap au pair (valeur nulle).



Le swap de devises ou Cross-Currency Swap

Un swap de devises d'une seule période est un forward de change de nominal $N^{EUR}(1 + \delta(L^{EUR} - m))$.



$$X = S \frac{1 + \delta R^{USD}}{1 + \delta(R^{EUR} - \mathbf{m})}$$

Delta de change et position de change

- Le **delta de change** est la sensibilité ou la dérivé au taux de change de la valeur d'un portefeuille en devise domestique.

$$\Delta_{FX} = \frac{\partial \Pi^d}{\partial S}$$

- La **position de change** correspond au nominaux équivalents N^i au portefeuille dans chacune des devises. Elle indique la taille des opérations de change "Spot" nécessaires pour neutraliser le risque.

Delta de change et position de change

Illustration avec les 2 devises euro et dollar :

| | | |
|----------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Taux de change | S | $= EUR/USD$ |
| Valeur du portefeuille en dollar | Π^{USD} | $= N^{EUR} \times S + N^{USD}$ |
| Delta de change | Δ_{EURUSD} | $= N^{EUR}$ |
| Position de change | | (N^{EUR}, N^{USD}) |

On reprend les données du premier exemple la marge de basis m égale à 5 points de base :

- **Opération 1** : Une banque française doit recevoir de son client 138.70 millions de dollars contre 100 millions d'euros dans 1 an.
- **Opération 2** : Sa filiale américaine doit recevoir de son client 72.11 millions d'euros contre 100 millions de dollars dans 1 an.

Pour chacune des 2 opérations et le portefeuille total de la banque :

- 1 Quel est le Profit & Loss (PNL) pour la banque ?
- 2 Quels sont de Delta FX et la position de change ?
- 3 Quelle est la sensibilité à un mouvement de 1 point de base des taux euros, dollar et de la marge de basis ?
- 4 Quelles opérations doit réaliser la banque pour neutraliser son risque de change ?

| | Cas 1 | Cas 2 | TOTAL | |
|--------------------|---------|---------|---------|-------------|
| PNL EUR | 12 | 3 | 15 | kEUR |
| PNL USD | 17 | 4 | 21 | kUSD |
| Delta FX | -99.55 | 71.79 | -27.77 | Mios EUR |
| Sensi taux | 9.91 | -7.15 | 2.76 | kEUR/bp |
| Sensi taux | -13.79 | 9.94 | -3.85 | kUSD/bp |
| Sensi basis | -9.91 | 7.15 | -2.76 | kEUR/bp |
| NEUR | -99.552 | 71.787 | -27.765 | Mios EUR/bp |
| NUSD | 138.285 | -99.701 | 38.584 | Mios USD/bp |

Il faut vendre 38.584 millions de dollar contre 27.780 millions d'euros.

Une **option de change** est un contrat asymétrique par lequel à une date future T :

- La contrepartie **vendeuse s'engage** à recevoir un montant N^1 en devise 1 contre N^2 en devise 2.
- La contrepartie **acheteuse peut à son gré** recevoir un nominal N^2 en devise 2 contre un nominal N^1 en devise 1.

Une **option de change** est un contrat asymétrique par lequel à une date future T :

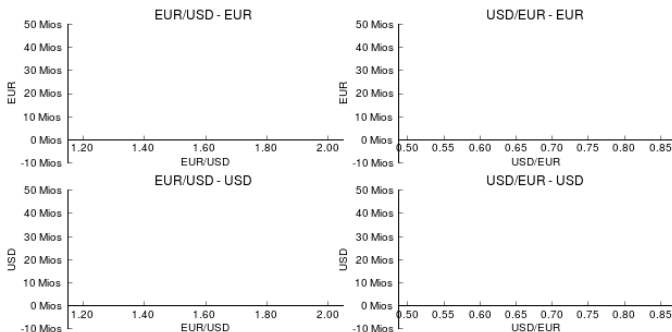
- La contrepartie **vendeuse s'engage** à recevoir un montant N^{EUR} en euro contre N^{USD} en dollar.
- La contrepartie **acheteuse peut à son gré** recevoir un nominal N^{USD} en dollar contre un nominal N^{EUR} en euros.

Option de change - Payoff

Quel est le payoff d'une option de change ?

| | $S_{\text{EUR/USD}}$ | $S_{\text{USD/EUR}}$ |
|--------------------------|----------------------|----------------------|
| EUR USD | | |

100 Mios d'euros call contre 139 Mios de dollars put.

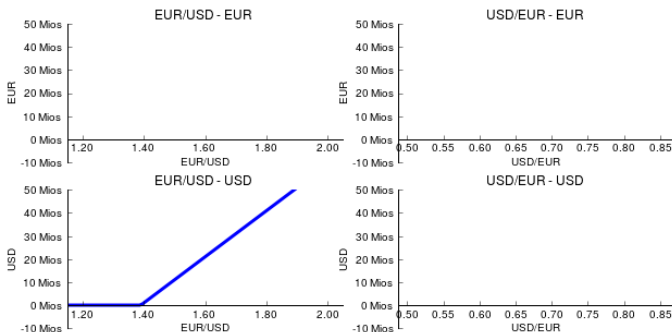


Option de change - Payoff

Quel est le payoff d'une option de change ?

| | $S^{EUR/USD}$ | $S^{USD/EUR}$ |
|------------|--|---------------|
| EUR | $(N^{EUR} \times S^{EUR/USD} - N^{USD})_+$ | |
| USD | | |

100 Mios d'euros call contre 139 Mios de dollars put.

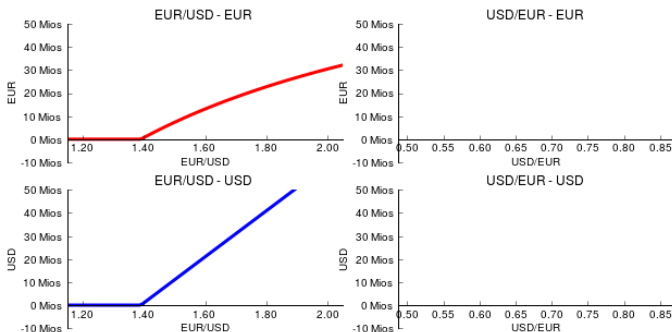


Option de change - Payoff

Quel est le payoff d'une option de change ?

| | $S^{EUR/USD}$ | $S^{USD/EUR}$ |
|-----|--|---------------|
| EUR | $\frac{(N^{EUR} \times S^{EUR/USD} - N^{USD})_+}{S^{EUR/USD}}$ | |
| USD | $(N^{EUR} \times S^{EUR/USD} - N^{USD})_+$ | |

100 Mios d'euros call contre 139 Mios de dollars put.

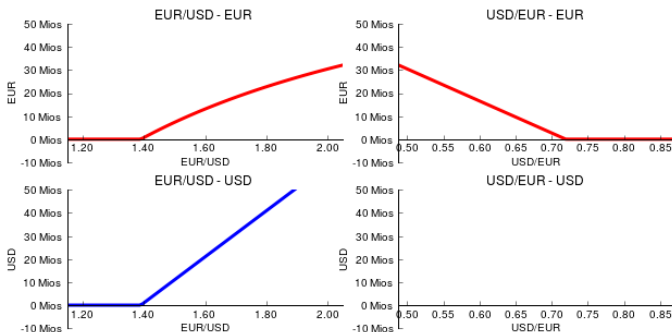


Option de change - Payoff

Quel est le payoff d'une option de change ?

| | $S^{EUR/USD}$ | $S^{USD/EUR}$ |
|------------|--|--|
| EUR | $\frac{(N^{EUR} \times S^{EUR/USD} - N^{USD})_+}{S^{EUR/USD}}$ | $(N^{EUR} - N^{USD} \times S^{USD/EUR})_+$ |
| USD | $(N^{EUR} \times S^{EUR/USD} - N^{USD})_+$ | |

100 Mios d'euros call contre 139 Mios de dollars put.

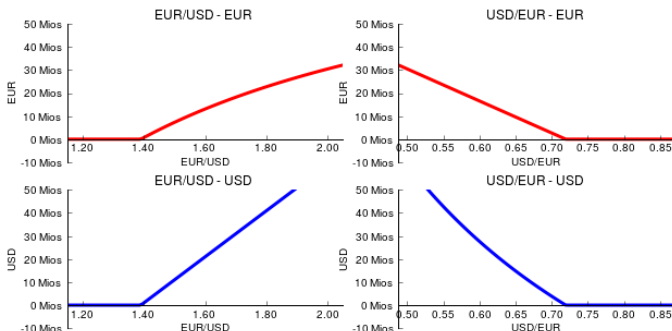


Option de change - Payoff

Quel est le payoff d'une option de change ?

| | $S^{EUR/USD}$ | $S^{USD/EUR}$ |
|-----|--|--|
| EUR | $\frac{(N^{EUR} \times S^{EUR/USD} - N^{USD})_+}{S^{EUR/USD}}$ | $(N^{EUR} - N^{USD} \times S^{USD/EUR})_+$ |
| USD | $(N^{EUR} \times S^{EUR/USD} - N^{USD})_+$ | $\frac{(N^{EUR} - N^{USD} \times S^{USD/EUR})_+}{S^{USD/EUR}}$ |

100 Mios d'euros call contre 139 Mios de dollars put.



Option de change - Black & Scholes

En contrepartie le vendeur reçoit une prime (**p**) de la part de l'acheteur que l'on peut calculer à l'aide de la formule de Black & Scholes :

$$e^{-r^1 \times T} \times N^1 \times S \times \mathcal{N}(d_1) - e^{-r^2 \times T} \times N^2 \times \mathcal{N}(d_2)$$

avec :

\mathcal{N} : fonction de répartition de la loi normale centrée réduite

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{N^1}{N^2} S\right) + (r^1 - r^2) \times T + \frac{1}{2}\sigma^2 T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Option de change - Black & Scholes

En contrepartie le vendeur reçoit une prime (**p**) de la part de l'acheteur que l'on peut calculer à l'aide de la formule de Black & Scholes :

$$e^{-r^{EUR} \times T} \times N^{EUR} \times S^{EUR/USD} \times \mathcal{N}(d_1) - e^{-r^{USD} \times T} \times N^{USD} \times \mathcal{N}(d_2)$$

avec :

\mathcal{N} : fonction de répartition de la loi normale centrée réduite

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{N^{EUR}}{N^{USD}} S^{EUR/USD}\right) + (r^{EUR} - r^{USD}) \times T + \frac{1}{2}\sigma^2 T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

On peut exprimer la prime (**p**) de l'option de plusieurs manières :

$$e^{-r_{EUR} \times T} \times N^{EUR} \times S^{EUR/USD} \times \mathcal{N}(d_1) - e^{-r_{USD} \times T} \times N^{USD} \times \mathcal{N}(d_2)$$

avec :

$$d_1 = \frac{\ln \left(\frac{N^{EUR}}{N^{USD}} S^{EUR/USD} \right) + (r_{EUR} - r_{USD}) \times T + \frac{1}{2} \sigma^2 T}{\sigma \sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

Comme un call sur EUR/USD :

$$e^{-r_{USD} \times T} \times N^{EUR} \times [F^{EUR/USD} \times \mathcal{N}(d_1) - K \times \mathcal{N}(d_2)]$$

avec :

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{F^{EUR/USD}}{K}\right) + \frac{1}{2}\sigma^2 T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

$$K = \frac{N^{USD}}{N^{EUR}}$$

$$F = S^{EUR/USD} e^{(r^{EUR} - r^{USD}) \times T}$$

Comme un put sur USD/EUR :

$$e^{-r_{EUR} \times T} \times N^{USD} \times \left[\frac{1}{K} \times \mathcal{N}(-d_2) - F^{USD/EUR} \times \mathcal{N}(-d_1) \right]$$

avec :

$$d_1 = \frac{\ln(F^{USD/EUR} \times K) + \frac{1}{2}\sigma^2 T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

$$K = \frac{N^{USD}}{N^{EUR}}$$

$$F = S^{USD/EUR} e^{(r^{USD} - r^{EUR}) \times T}$$

$$\text{EUR/USD}=1.3889$$

On considère 5 chiffres significatifs dans un taux de change.

$$\text{EUR/USD} = 1.3\mathbf{8}_{89}$$

Le 3^{ème} chiffre en partant de la gauche est appelé "**Big Figure**".

$$\text{EUR/USD} = 1.3889$$

Le 5^{ème} chiffre en partant de la gauche est appelé "**pips**".

Option de change - Cotation de la prime - Exercice

On considère les mêmes données de marché que précédemment avec une volatilité $\sigma = 12\%$ et on quote la prime d'une option change de maturité 1 an qui reçoit 100 millions d'euros contre 139 millions de dollars.

Les 6 modes de cotations :

| | | |
|------------------------------|--|--|
| Prix en dollars | | |
| Prix en euros | | |
| Prix en % de nominal dollar | | |
| Prix en % de nominal euro | | |
| Prix en dollars pips per EUR | | |
| Prix en euros pips per USD | | |

Option de change - Cotation de la prime - Exercice

On considère les mêmes données de marché que précédemment avec une volatilité $\sigma = 12\%$ et on quote la prime d'une option change de maturité 1 an qui reçoit 100 millions d'euros contre 139 millions de dollars.

Les 6 modes de cotations :

| | | |
|------------------------------|-----|----------------|
| Prix en dollars | p | 6.501 Mios USD |
| Prix en euros | | |
| Prix en % de nominal dollar | | |
| Prix en % de nominal euro | | |
| Prix en dollars pips per EUR | | |
| Prix en euros pips per USD | | |

Option de change - Cotation de la prime - Exercice

On considère les même données de marché que précédemment avec une volatilité $\sigma = 12\%$ et on quote la prime d'une option change de maturité 1 an qui reçoit 100 millions d'euros contre 139 millions de dollars.

Les 6 modes de cotations :

| | | |
|------------------------------|---------------|----------------|
| Prix en dollars | p | 6.501 Mios USD |
| Prix en euros | $\frac{p}{S}$ | 4.681 Mios EUR |
| Prix en % de nominal dollar | | |
| Prix en % de nominal euro | | |
| Prix en dollars pips per EUR | | |
| Prix en euros pips per USD | | |

Option de change - Cotation de la prime - Exercice

On considère les même données de marché que précédemment avec une volatilité $\sigma = 12\%$ et on quote la prime d'une option change de maturité 1 an qui reçoit 100 millions d'euros contre 139 millions de dollars.

Les 6 modes de cotations :

| | | |
|------------------------------|------------------------|----------------|
| Prix en dollars | p | 6.501 Mios USD |
| Prix en euros | $\frac{p}{S}$ | 4.681 Mios EUR |
| Prix en % de nominal dollar | $\frac{p}{N \times K}$ | 4.6771% |
| Prix en % de nominal euro | | |
| Prix en dollars pips per EUR | | |
| Prix en euros pips per USD | | |

Option de change - Cotation de la prime - Exercice

On considère les même données de marché que précédemment avec une volatilité $\sigma = 12\%$ et on quote la prime d'une option change de maturité 1 an qui reçoit 100 millions d'euros contre 139 millions de dollars.

Les 6 modes de cotations :

| | | |
|------------------------------|------------------------|----------------|
| Prix en dollars | p | 6.501 Mios USD |
| Prix en euros | $\frac{p}{S}$ | 4.681 Mios EUR |
| Prix en % de nominal dollar | $\frac{p}{N \times K}$ | 4.6771% |
| Prix en % de nominal euro | $\frac{p}{N \times S}$ | 4.6808% |
| Prix en dollars pips per EUR | | |
| Prix en euros pips per USD | | |

Option de change - Cotation de la prime - Exercice

On considère les mêmes données de marché que précédemment avec une volatilité $\sigma = 12\%$ et on quote la prime d'une option change de maturité 1 an qui reçoit 100 millions d'euros contre 139 millions de dollars.

Les 6 modes de cotations :

| | | |
|------------------------------|------------------------|------------------|
| Prix en dollars | p | 6.501 Mios USD |
| Prix en euros | $\frac{p}{S}$ | 4.681 Mios EUR |
| Prix en % de nominal dollar | $\frac{p}{N \times K}$ | 4.6771% |
| Prix en % de nominal euro | $\frac{p}{N \times S}$ | 4.6808% |
| Prix en dollars pips per EUR | $\frac{p}{1e^4}$ | 6.5012 kUSD pips |
| Prix en euros pips per USD | | |

Option de change - Cotation de la prime - Exercice

On considère les même données de marché que précédemment avec une volatilité $\sigma = 12\%$ et on quote la prime d'une option change de maturité 1 an qui reçoit **100 millions d'euros** contre **139 millions de dollars**.

Les 6 modes de cotations :

| | | |
|------------------------------|------------------------------------|------------------|
| Prix en dollars | p | 6.501 Mios USD |
| Prix en euros | $\frac{p}{S}$ | 4.681 Mios EUR |
| Prix en % de nominal dollar | $\frac{p}{N \times K}$ | 4.6771% |
| Prix en % de nominal euro | $\frac{p}{N \times S}$ | 4.6808% |
| Prix en dollars pips per EUR | $\frac{p}{1e^4}$ | 6.5012 kUSD pips |
| Prix en euros pips per USD | $\frac{p}{S \times K \times 1e^4}$ | 3.3675 kEUR pips |

Le Delta de change δ est le pourcentage du nominal en devise 1 qu'il faut vendre pour couvrir la position de change.

$$\delta = \frac{\partial p}{\partial S} = e^{-r^{EUR} \times T} \times \mathcal{N}(d_1)$$

On peut exprimer de façon équivalente le delta de change en pourcentage du nominal $\delta^{reverse}$ en devise 2 :

$$\delta^{reverse} = -\frac{\delta \times S}{K}$$

Le Delta de change δ est le pourcentage du nominal en devise 1 qu'il faut vendre pour couvrir la position de change.

$$\delta = \frac{\partial p}{\partial S} = e^{-r^{EUR} \times T} \times \mathcal{N}(d_1)$$

On peut exprimer de façon équivalente le delta de change en pourcentage du nominal $\delta^{reverse}$ en devise 2 :

$$\delta^{reverse} = -\frac{\delta \times S}{K}$$

Attention ces formules supposent que la prime est payée en dollars !!!

Option de change - Delta de change

Dans le cas où la prime est payée en euros il faut ajuster le delta du paiement de la prime.

| delta ccy | premium ccy | Formule | Delta | |
|-----------|-------------|---------------------|-------|--|
| % EUR | EUR | δ | | |
| % EUR | USD | | | |
| % USD | EUR | $-\frac{\delta}{K}$ | | |
| % USD | USD | | | |

Option de change - Delta de change

Dans le cas où la prime est payée en euros il faut ajuster le delta du paiement de la prime.

| delta ccy | premium ccy | Formule | Delta |
|-----------|-------------|----------------------------------|-------|
| % EUR | EUR | $\delta - p^{EUR}$ | |
| % EUR | USD | δ | |
| % USD | EUR | $-\frac{(\delta - p^{EUR})S}{K}$ | |
| % USD | USD | $-\frac{\delta}{K}$ | |

Option de change - Delta de change

Dans le cas où la prime est payée en euros il faut ajuster le delta du paiement de la prime.

| delta ccy | premium ccy | Formule | Delta |
|-----------|-------------|----------------------------------|---------|
| % EUR | EUR | $\delta - p^{EUR}$ | 51.59% |
| % EUR | USD | δ | |
| % USD | EUR | $-\frac{(\delta - p^{EUR})S}{K}$ | -51.55% |
| % USD | USD | $-\frac{\delta}{K}$ | |

La prime est égale à 4.6808% du nominal EUR.

Option de change - Delta de change

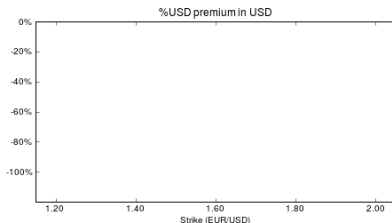
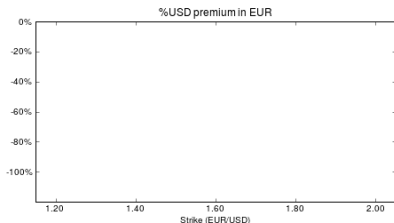
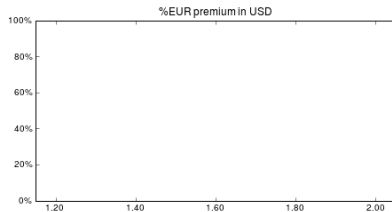
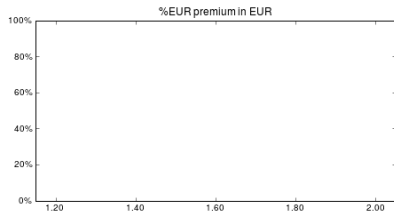
Dans le cas où la prime est payée en euros il faut ajuster le delta du paiement de la prime.

| delta ccy | premium ccy | Formule | Delta |
|-----------|-------------|----------------------------------|---------|
| % EUR | EUR | $\delta - p^{EUR}$ | 46.91% |
| % EUR | USD | δ | 51.59% |
| % USD | EUR | $-\frac{(\delta - p^{EUR})S}{K}$ | -46.87% |
| % USD | USD | $-\frac{\delta}{K}$ | -51.55% |

La prime est égale à 4.6808% du nominal EUR.

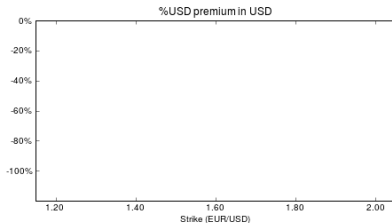
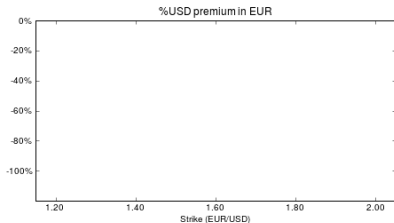
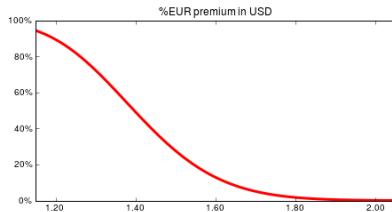
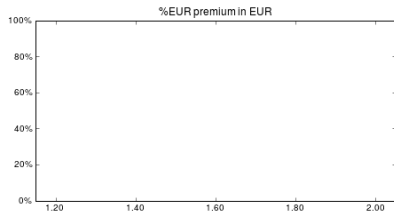
Option de change - Delta de change

Comment évolue le delta de change en fonction du strike ?



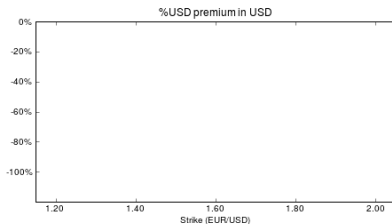
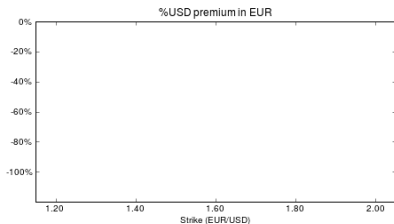
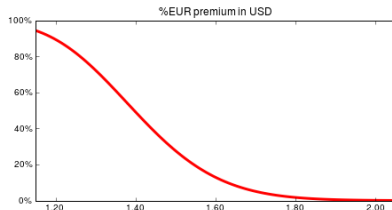
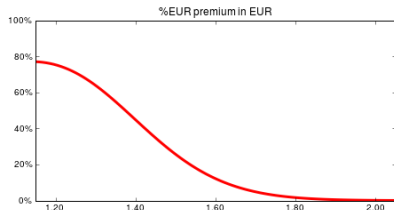
Option de change - Delta de change

Comment évolue le delta de change en fonction du strike ?



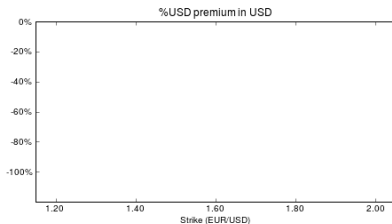
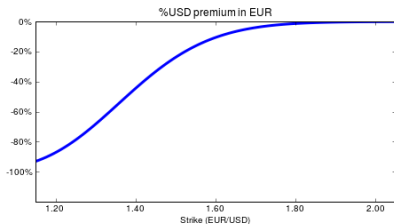
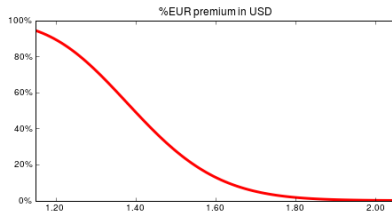
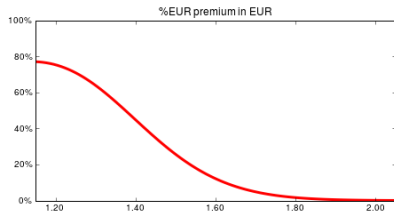
Option de change - Delta de change

Comment évolue le delta de change en fonction du strike ?



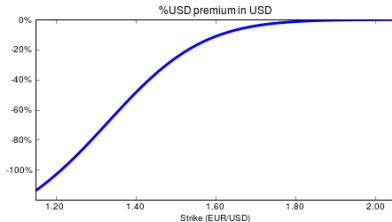
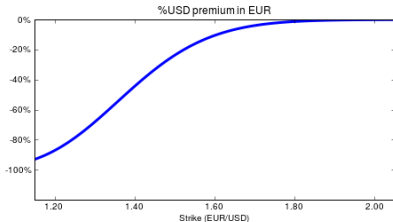
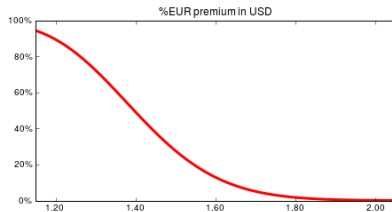
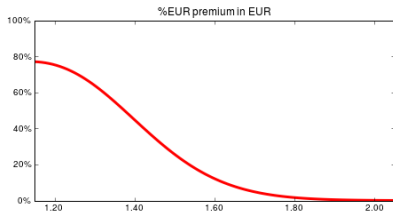
Option de change - Delta de change

Comment évolue le delta de change en fonction du strike ?



Option de change - Delta de change

Comment évolue le delta de change en fonction du strike ?

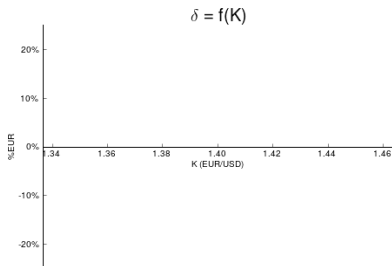
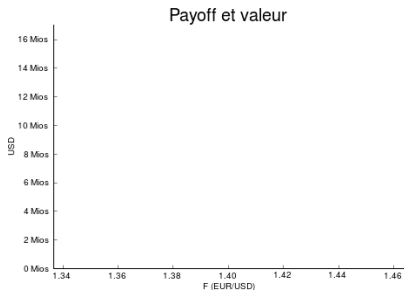


Zero delta straddle

Un **zéro delta straddle** EURUSD est pour un même strike (K^{ATM}) et un même nominal :

- l'achat d'un call EUR
- et l'achat d'un put EUR.

La delta du portefeuille doit être nul.

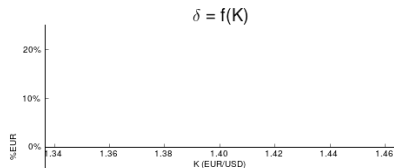
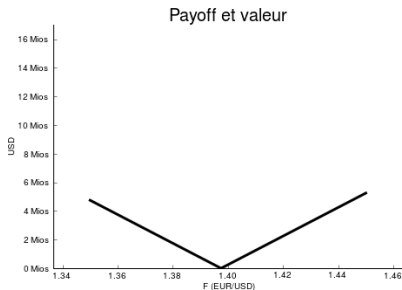


Zero delta straddle

Un **zéro delta straddle** EURUSD est pour un même strike (K^{ATM}) et un même nominal :

- l'achat d'un call EUR
- et l'achat d'un put EUR.

La delta du portefeuille doit être nul.

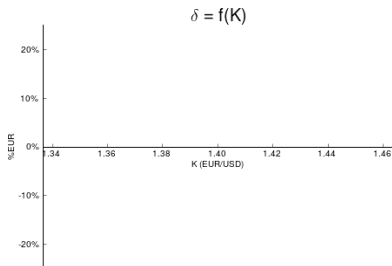
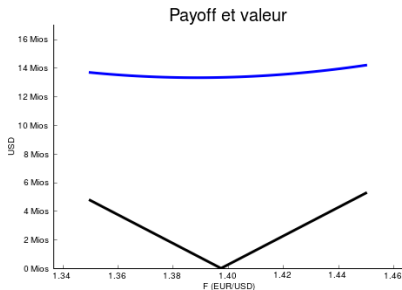


Zero delta straddle

Un **zéro delta straddle** EURUSD est pour un même strike (K^{ATM}) et un même nominal :

- l'achat d'un call EUR
- et l'achat d'un put EUR.

La delta du portefeuille doit être nul.

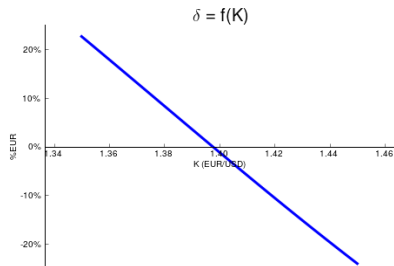
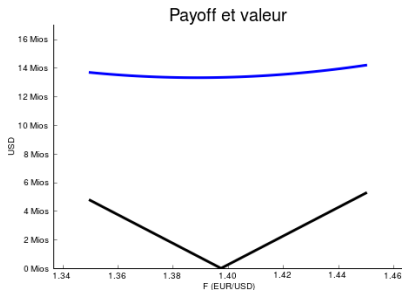


Zero delta straddle

Un **zéro delta straddle** EURUSD est pour un même strike (K^{ATM}) et un même nominal :

- l'achat d'un call EUR
- et l'achat d'un put EUR.

La delta du portefeuille doit être nul.

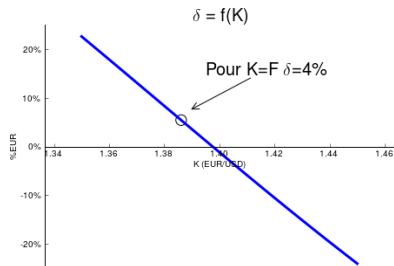
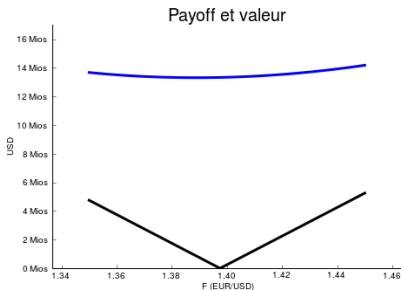


Zero delta straddle

Un **zéro delta straddle** EURUSD est pour un même strike (K^{ATM}) et un même nominal :

- l'achat d'un call EUR
- et l'achat d'un put EUR.

La delta du portefeuille doit être nul.

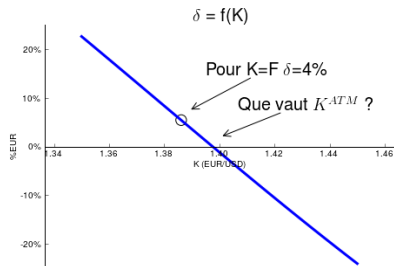
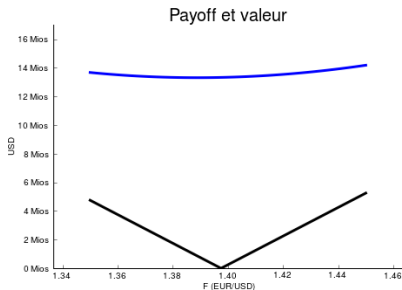


Zero delta straddle

Un **zéro delta straddle** EURUSD est pour un même strike (K^{ATM}) et un même nominal :

- l'achat d'un call EUR
- et l'achat d'un put EUR.

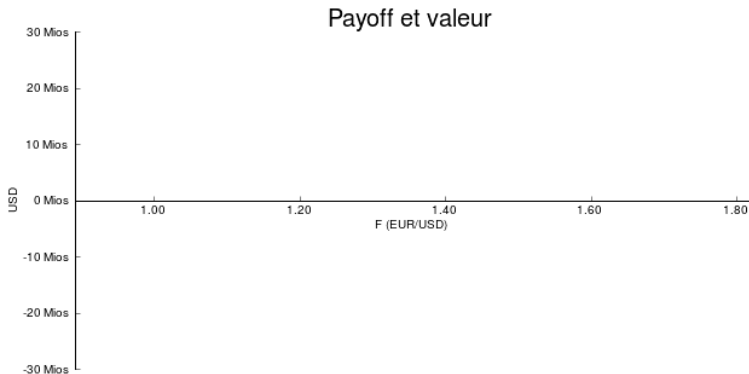
La delta du portefeuille doit être nul.



25% delta risk reversal

Un **25% delta risk reversal** EURUSD est pour un même nominal :

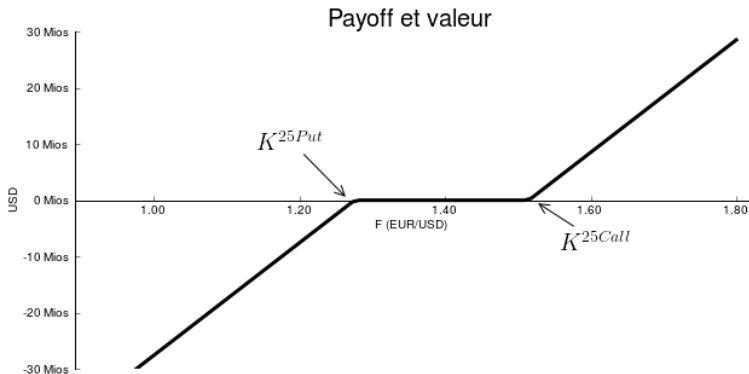
- l'achat d'un call EUR de delta égal à 25% de strike K^{25Call}
- et la vente d'un put EUR de delta égal à -25% K^{25Put} .



25% delta risk reversal

Un **25% delta risk reversal** EURUSD est pour un même nominal :

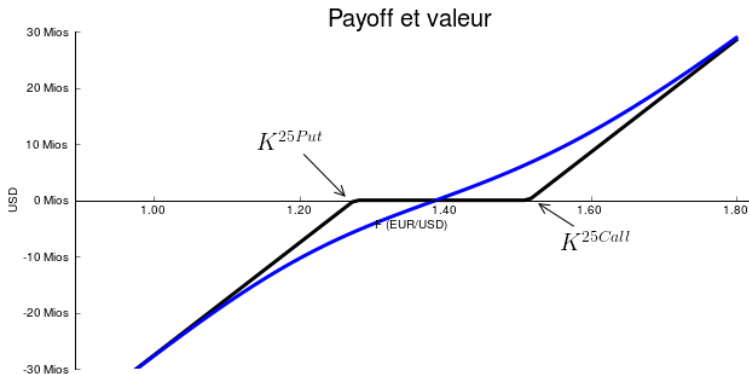
- l'achat d'un call EUR de delta égal à 25% de strike K^{25Call}
- et la vente d'un put EUR de delta égal à -25% K^{25Put} .



25% delta risk reversal

Un **25% delta risk reversal** EURUSD est pour un même nominal :

- l'achat d'un call EUR de delta égal à 25% de strike K^{25Call}
- et la vente d'un put EUR de delta égal à -25% K^{25Put} .

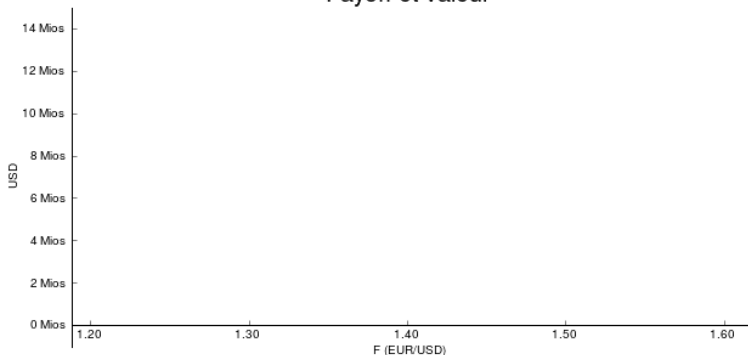


25% delta butterfly

Un **25% delta butterfly** est pour un même nominal :

- l'achat d'un call EUR de strike K^{25Call}
- l'achat d'un call EUR de strike K^{25Put}
- et la vente de 2 call EUR de strike K^{ATM} .

Payoff et valeur

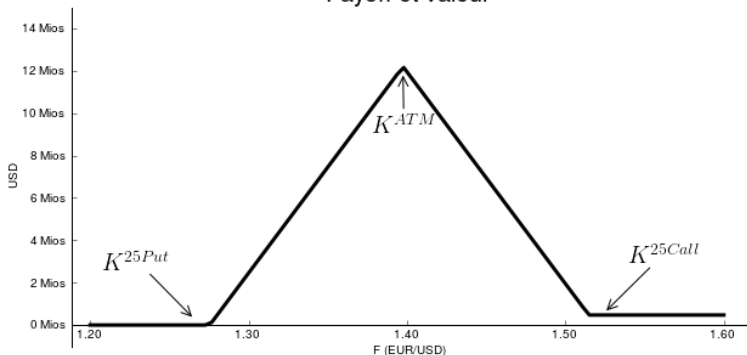


25% delta butterfly

Un **25% delta butterfly** est pour un même nominal :

- l'achat d'un call EUR de strike K^{25Call}
- l'achat d'un call EUR de strike K^{25Put}
- et la vente de 2 call EUR de strike K^{ATM} .

Payoff et valeur

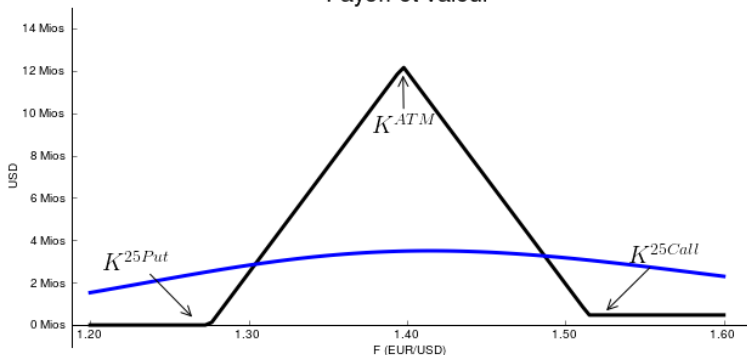


25% delta butterfly

Un **25% delta butterfly** est pour un même nominal :

- l'achat d'un call EUR de strike K^{25Call}
- l'achat d'un call EUR de strike K^{25Put}
- et la vente de 2 call EUR de strike K^{ATM} .

Payoff et valeur



Cotation du smile de change

Les différentes options de changes ne sont pas cotés en prix mais en volatilité.

| | Cotation |
|--------------------------------|--|
| 0% delta straddle | σ^{ATM} |
| 25% delta risk reversal | $RR^{25} = \sigma^{25Call} - \sigma^{25Put}$ |
| 25% delta butterfly | $BF^{25} = \sigma^{25Call} + \sigma^{25Put} - 2 \times \sigma^{ATM}$ |

Comment à partir des cotations de marché des différents produits reconstituer le smile de change ?

- **Etape 1** : On calcule le 3 points de volatilité de change.

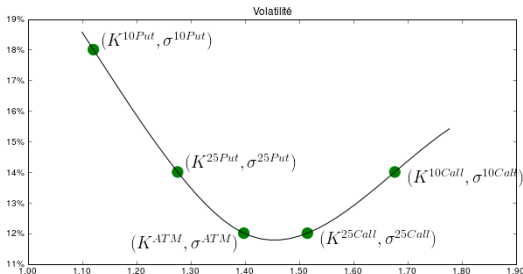
$$\sigma^{25Call} = \sigma^{ATM} + BF^{25} + \frac{1}{2}RR^{25}$$
$$\sigma^{25Put} = \sigma^{ATM} + BF^{25} - \frac{1}{2}RR^{25}$$

- **Etape 2** : On calcule les strikes à partir de la volatilité et du delta.

Cotation du smile de change - Exercice

Construire la smile de change 1 an à partir des données suivantes :

| | | | |
|-----------------------------|--------|------------------------|-----|
| Maturité | 1 an | σ^{ATM} | 12% |
| EUR/USD | 1.3889 | RR²⁵ | -2% |
| r^{USD} | 0.3% | BF²⁵ | 1% |
| r^{EUR} | 0.5% | RR¹⁰ | -4% |
| Basis EUR | 0.1% | BF10 | 4% |



Cotation du smile de change - Exercice

| | | | |
|---------------------|--|--------------------------|--|
| $K^{10\text{Put}}$ | | $\sigma^{10\text{Put}}$ | |
| $K^{25\text{Put}}$ | | $\sigma^{25\text{Put}}$ | |
| K^{ATM} | | σ^{ATM} | |
| $K^{25\text{Call}}$ | | $\sigma^{25\text{Call}}$ | |
| $K^{10\text{Call}}$ | | $\sigma^{10\text{Call}}$ | |

Cotation du smile de change - Exercice

| | | | |
|---------------------|--|--------------------------|-------|
| $K^{10\text{Put}}$ | | $\sigma^{10\text{Put}}$ | 18.0% |
| $K^{25\text{Put}}$ | | $\sigma^{25\text{Put}}$ | 14.0% |
| K^{ATM} | | σ^{ATM} | 12.0% |
| $K^{25\text{Call}}$ | | $\sigma^{25\text{Call}}$ | 12.0% |
| $K^{10\text{Call}}$ | | $\sigma^{10\text{Call}}$ | 14.0% |

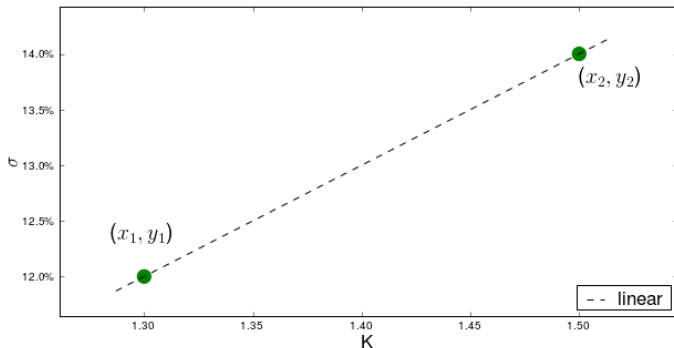
Cotation du smile de change - Exercice

| | | | |
|---------------------|--------|--------------------------|-------|
| $K^{10\text{Put}}$ | 1.1201 | $\sigma^{10\text{Put}}$ | 18.0% |
| $K^{25\text{Put}}$ | 1.2755 | $\sigma^{25\text{Put}}$ | 14.0% |
| K^{ATM} | 1.3975 | σ^{ATM} | 12.0% |
| $K^{25\text{Call}}$ | 1.5148 | $\sigma^{25\text{Call}}$ | 12.0% |
| $K^{10\text{Call}}$ | 1.6760 | $\sigma^{10\text{Call}}$ | 14.0% |

Interpolation linéaire

$$y = q(x) = (1 - t) \times y_1 + t \times y_2$$

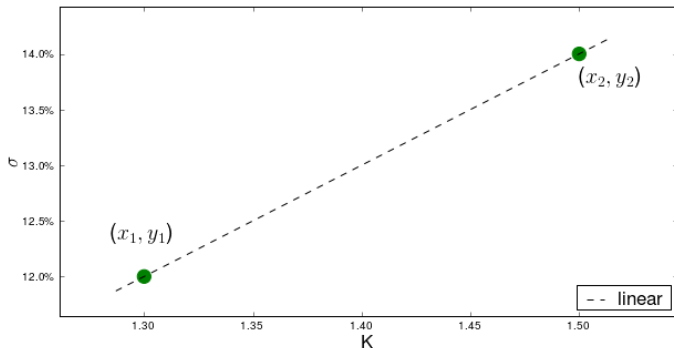
$$t = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$



Interpolation spline cubique

$$y = q(x) = (1 - t) \times y_1 + t \times y_2 + \underbrace{t \times (1 - t) \times (\mathbf{a} \times (1 - t) + \mathbf{b} \times t)}_{\text{Termes quadratiques et cubiques}}$$

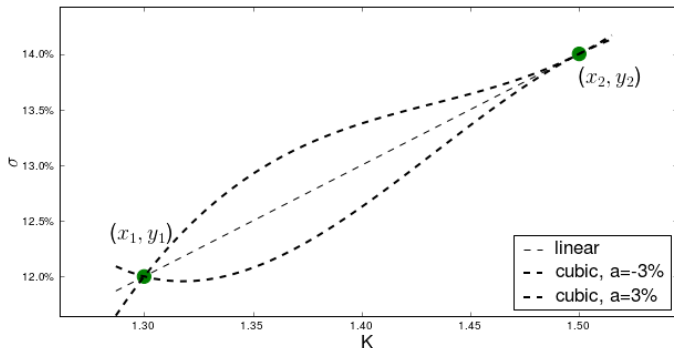
$$t = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$



Interpolation spline cubique

$$y = q(x) = (1 - t) \times y_1 + t \times y_2 + \underbrace{t \times (1 - t) \times (\mathbf{a} \times (1 - t) + \mathbf{b} \times t)}_{\text{Termes quadratiques et cubiques}}$$

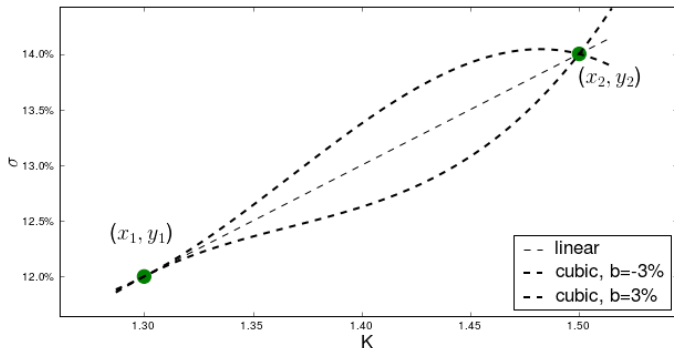
$$t = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$



Interpolation spline cubique

$$y = q(x) = (1 - t) \times y_1 + t \times y_2 + \underbrace{t \times (1 - t) \times (\mathbf{a} \times (1 - t) + \mathbf{b} \times t)}_{\text{Termes quadratiques et cubiques}}$$

$$t = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$



Interpolation spline cubique

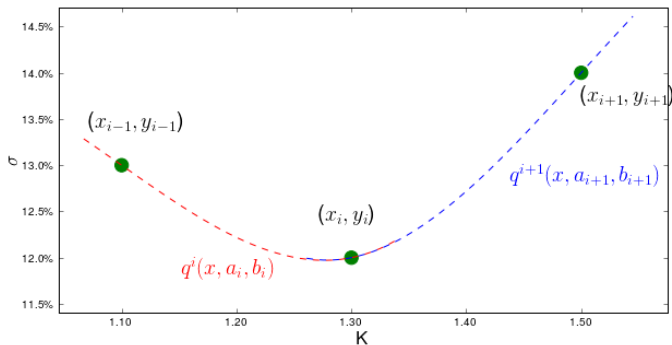
On peut facilement calculer les dérivées premières et secondes de q aux points x_1 et x_2 :

$$\begin{aligned} q'(x) &= \frac{\partial q}{\partial x} & q'(x_1) &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} + \frac{a}{x_2 - x_1} & q'(x_2) &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \frac{b}{x_2 - x_1} \\ q''(x) &= \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} & q''(x_1) &= 2 \frac{b - 2a}{(x_2 - x_1)^2} & q''(x_2) &= 2 \frac{a - 2b}{(x_2 - x_1)^2} \end{aligned}$$

On peut facilement calculer a et b en fonctions des dérivées premières :

$$\begin{aligned} a &= \underbrace{q'(x_1)}_{k_1} (x_2 - x_1) - (y_2 - y_1) \\ b &= \underbrace{q'(x_2)}_{k_2} (x_2 - x_1) + (y_2 - y_1) \end{aligned}$$

Interpolation spline cubique



On considère n tronçons de spline qui raccordent les $n + 1$ points de (x_0, y_0) à (x_n, y_n) .

Interpolation spline cubique

| k_{i-1} | k_i | k_{i+1} |
|---|---|---|
| $\frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} + \frac{a_i}{x_i - x_{i-1}}$ | $\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} + \frac{a_{i+1}}{x_{i+1} - x_i}$ | |
| | $\frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} - \frac{b_i}{x_i - x_{i-1}}$ | $\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{b_{i+1}}{x_{i+1} - x_i}$ |

$$q''(x_i) = 2 \frac{b_i - 2a_i}{(x_i - x_{i-1})^2} = 2 \frac{a_{i+1} - 2b_{i+1}}{(x_{i+1} - x_i)^2}$$

Interpolation spline cubique

$$\begin{array}{ccc}
 k_{i-1} & & k_i & & k_{i+1} \\
 \hline
 \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} + \frac{a_i}{x_i - x_{i-1}} & & \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} + \frac{a_{i+1}}{x_{i+1} - x_i} & & \\
 \hline
 & & \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} - \frac{b_i}{x_i - x_{i-1}} & & \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{b_{i+1}}{x_{i+1} - x_i} \\
 \hline
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{\frac{1}{x_i - x_{i-1}}}_{a_{i,i-1}} k_{i-1} + 2 \underbrace{\left[\frac{1}{x_i - x_{i-1}} + \frac{1}{x_{i+1} - x_i} \right]}_{a_{i,i}} k_i + \underbrace{\frac{1}{x_{i+1} - x_i}}_{a_{i,i+1}} k_{i+1} \\
 & = 3 \underbrace{\left[\frac{y_i - y_{i-1}}{(x_i - x_{i-1})^2} + \frac{y_{i+1} - y_i}{(x_{i+1} - x_i)^2} \right]}_{b_i}
 \end{aligned}$$

Pour les points extrêmes on suppose que la dérivée seconde est nulle :

$$q''(x_0) = \frac{b_1 - 2a_1}{(x_1 - x_0)^2} = 0$$

$$q''(x_n) = \frac{a_n - 2b_n}{(x_n - x_{n-1})^2} = 0$$

Interpolation spline cubique

Pour les points extrêmes on suppose que la dérivée seconde est nulle :

$$\underbrace{2 \frac{1}{x_1 - x_0}}_{a_{0,0}} k_0 + \underbrace{\frac{1}{x_1 - x_0}}_{a_{0,1}} k_1 = \underbrace{3 \frac{y_1 - y_0}{(x_1 - x_0)^2}}_{b_0}$$
$$\underbrace{\frac{1}{x_n - x_{n-1}}}_{a_{n,n-1}} k_{n-1} + \underbrace{2 \frac{1}{x_1 - x_0}}_{a_{n,n}} k_{n-1} = \underbrace{3 \frac{y_n - y_{n-1}}{(x_n - x_{n-1})^2}}_{b_n}$$

Il nous faut maintenant résoudre le système linéaire précédemment défini où K est l'inconnu :

$$A \times K = B$$

Interpolation spline cubique

Il nous faut maintenant résoudre le système linéaire précédemment défini où K est l'inconnu :

$$\underbrace{\begin{pmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ a_{1,0} & \ddots & \ddots & \ddots & & & \vdots \\ \vdots & & a_{i,i-1} & a_{i,i} & a_{i,i+1} & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & \ddots & a_{n-1,n} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & a_{n,n-1} & a_{n,n} \end{pmatrix}}_A \underbrace{\begin{pmatrix} k_0 \\ \vdots \\ k_i \\ \vdots \\ k_n \end{pmatrix}}_K = \underbrace{\begin{pmatrix} b_0 \\ \vdots \\ b_i \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}}_B$$

Interpolation spline cubique - Exercice

Construire un spline cubique à partir de points de smile calculés précédemment.

| | k | a | b |
|--|----------|----------|----------|
| | | | |

Interpolation spline cubique - Exercice

Construire un spline cubique à partir de points de smile calculés précédemment.

| | k | a | b |
|---|----------|----------|----------|
| 0 | | - | - |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |

Interpolation spline cubique - Exercice

Construire un spline cubique à partir de points de smile calculés précédemment.

| | k | a | b |
|---|----------|----------|----------|
| 0 | -27.43% | - | - |
| 1 | -22.38% | -0.26% | -0.52% |
| 2 | -8.37% | -0.73% | -0.98% |
| 3 | 7.09% | -0.98% | -0.83% |
| 4 | 15.07% | -0.86% | -0.43% |

Sensibilités au change et aux paramètres de smile

On peut calculer la sensibilité de chacun des 3 produits

- **ZDS** : Zéro Delta Straddle
- **RR25** : Risk Reversal 25 delta
- **BF25** : Buterfly 25 delta

aux paramètres du smile :

| Avec Smile | Delta FX | Sensi ATM | Sensi RR25 | SensiBF25 |
|------------|----------|-----------|------------|-----------|
| ZDS | 5% | 0.56% | 0.00% | 0.00% |
| RR25 | 38% | 0.03% | 0.39% | 0.01% |
| BF25 | -2% | -0.16% | 0.00% | 0.35% |
| RR10 | 10% | -0.00% | 0.32% | -0.09% |
| BF10 | -4% | -0.39% | -0.00% | 0.55% |

Sensibilités au change et aux paramètres de smile

On peut calculer la sensibilité de chacun des 3 produits

- **ZDS** : Zéro Delta Straddle
- **RR25** : Risk Reversal 25 delta
- **BF25** : Buterfly 25 delta

aux paramètres du smile :

| Sans Smile | Delta FX | Sensi ATM | Sensi RR25 | SensiBF25 |
|------------|----------|-----------|------------|-----------|
| ZDS | 0% | 0.55% | 0.00% | 0.00% |
| RR25 | 50% | 0.00% | 0.44% | -0.02% |
| BF25 | -0% | -0.10% | -0.01% | 0.39% |
| RR10 | 20% | 0.00% | 0.48% | -0.05% |
| BF10 | -0% | -0.29% | -0.00% | 0.73% |