

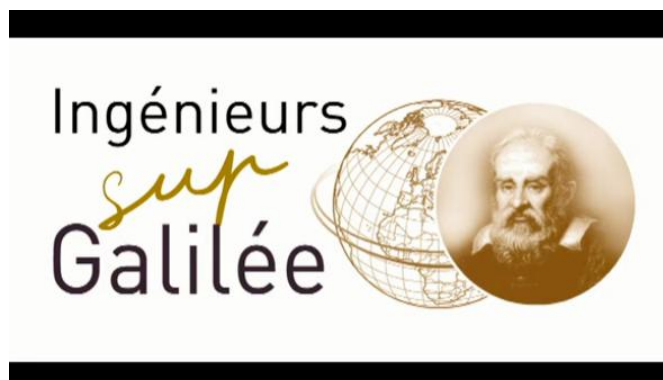


# BPCE

Rapport de stage de fin d'études

---

## **Construction d'un moteur de diffusion multi-indices des taux d'intérêt et inflation par la technique de l'ACP**



**CAUDRON Anthony**

Ingénieur MACS 3<sup>e</sup> année  
Master 2 Ingénierie Financière et Modélisation

Stage encadré par : M. NGUESSAN Stéphane

Tuteur universitaire : M. TOURNIER Laurent

Entreprise : BPCE – Département Gap équipe modèles

Période : 03/06/2015 – 30/11/2015

# Table des matières

Remerciements

<b>I.</b>	<b>Présentation de l'entreprise BPCE .....</b>	<b>4</b>
1.	Généralités .....	4
2.	Organisation du groupe .....	5
3.	Quelques chiffres .....	8
<b>II.</b>	<b>La gestion ALM .....</b>	<b>14</b>
1.	Historique.....	14
2.	Présentation .....	15
3.	Exemple .....	20
4.	Types de risques.....	22
5.	Scénarios .....	25
6.	Organisation ALM à BPCE .....	27
7.	Equipe méthodologie et modèles .....	27
<b>III.</b>	<b>Sujet de stage.....</b>	<b>30</b>
1.	Moteur de diffusion de taux .....	30
2.	Application au calcul de la provision des PEL .....	44
3.	Test du modèle des PEL sur l'encours.....	47
<b>IV.</b>	<b>Bilan du stage .....</b>	<b>49</b>
1.	Apports professionnels .....	49
2.	Bilan du stage.....	49
a.	Compétences acquises.....	50
b.	Axes de progression.....	50

## Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement mon tuteur de stage, M Stéphane Nguessan, pour ses nombreux conseils, le temps qu'il m'a accordé et les notions qu'il m'a apprises.

Je souhaite aussi remercier les deux autres membres de l'équipe modélisation, dans lequel j'ai effectué mon stage. Sophie Genest et Sara Alaoui ont pris le temps de répondre à mes questions et ont su m'aider dans mes différents projets.

Les autres équipes du département de la gestion actif passif, avec qui j'ai collaboré, ont aussi été très sympathiques et attentionnés.

Enfin je remercie M Laurent Tournier qui a pris du temps pour venir sur mon lieu de stage et qui m'a proposé son aide.

# I. Présentation du groupe BPCE

## 1. Généralités

Créé en juillet 2009, suite à l'alliance des banques populaires et des caisses d'épargne, le Groupe BPCE est un acteur bancaire majeur, implanté principalement sur le territoire français et en zone Euro. C'est le 2<sup>e</sup> groupe bancaire français. Il exerce tous les métiers de la banque. L'intermédiation bancaire - l'octroi et la gestion de crédits aux agents économiques financés par l'épargne collectée auprès de la clientèle et par des emprunts sur les marchés - constitue sa principale activité.

Cette activité est exercée au sein de plusieurs pôles :

- la Banque Commerciale et Assurance,
  - réseau Banque Populaire,
  - réseau Caisse d'Epargne,
  - Crédit Foncier de France,
  - Banque Palatine et BPCE IOM,
- la Banque de Grande Clientèle (Natixis),
- les établissements de crédit du pôle Services Financiers Spécialisés Natixis (Natixis Factor, Natixis Lease, Natixis Financement principalement).
- L'activité « Epargne » (Natixis)

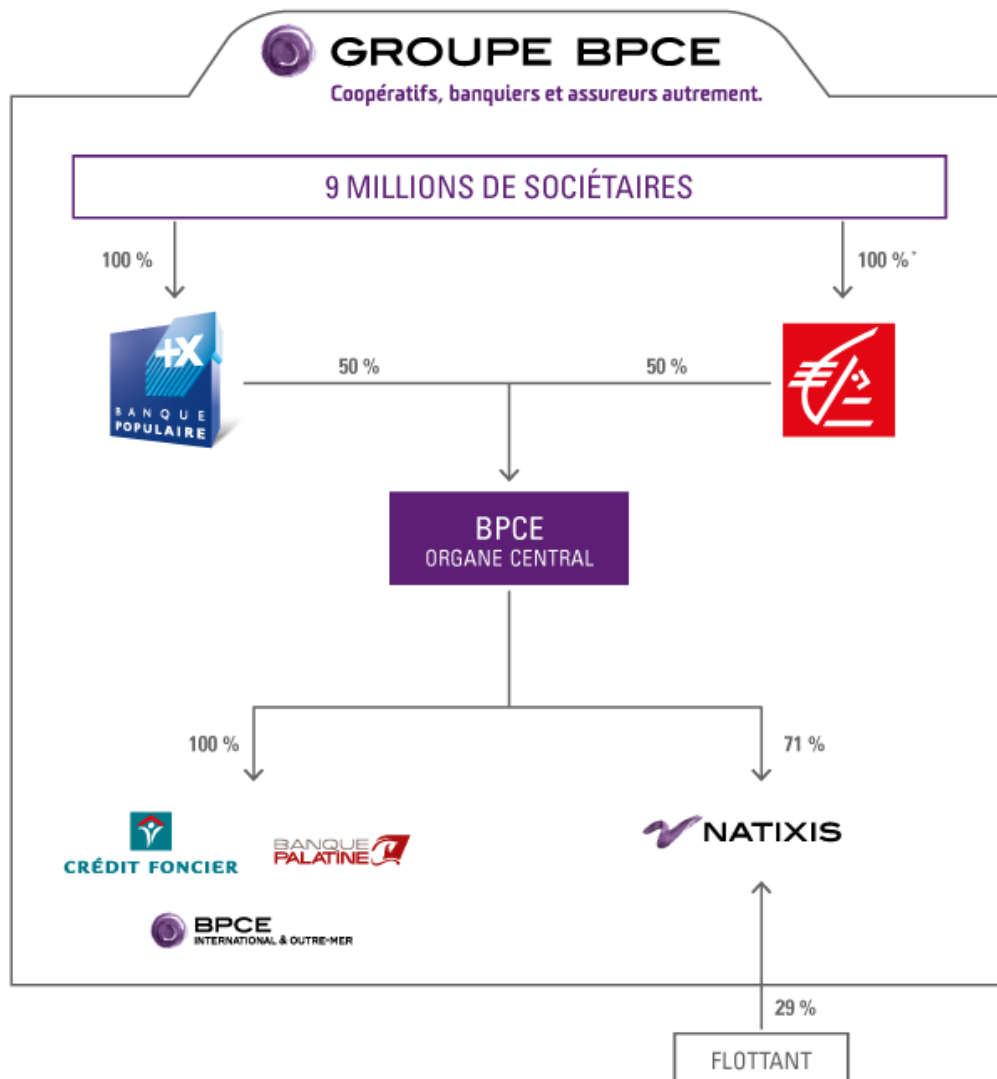
En termes de structure de bilan, cette activité génère trois grands types de risques : le risque de liquidité, le risque de taux d'intérêt global et plus marginalement le risque de change global.

Le Groupe assure une gestion active de ces risques structurels dans le respect des réglementations qui le concernent avec pour seul objectif le développement de ses activités commerciales. Il s'appuie sur des règles qui privilégient un appétit pour le risque mesuré, favorisant une gestion, tant en période normale d'activité qu'en scénarios de stress, destinée à optimiser les résultats à court comme à moyen terme.

Les établissements bancaires du groupe BPCE représentent environ 20 % de parts de marché dans la banque de détail en France. Fidèle à son statut coopératif, le groupe accompagne les clients dans leurs projets et construit avec eux une relation dans la durée.

## 2. Organisation du groupe

### ORGANIGRAMME DU GROUPE BPCE AU 30 JUIN 2015



#### Entités du Groupe BPCE :

-Banques de proximité administrées par des conseils représentatifs de la vie économique et sociale de leur région, ce sont aussi des entreprises à taille humaine, proches de leurs clients et de leurs sociétaires.

-Un organe central non coté, BPCE, chargé de la définition de la stratégie, de la gestion des politiques communes et de missions de contrôle.

-Des filiales (Natixis, Banque Palatine, Crédit Foncier,...) qui portent les métiers que les Banques Populaires et les Caisses d'Épargne ne peuvent exercer seules, pour des raisons de taille critique, d'expertises ou de présence à l'international.

## **Banques régionales**

Le terme « Banques régionales » désigne dans le présent document les 17 Caisses d'Epargne et les 18 Banques Populaires (dont la Bred, la CASDEN et le Crédit Coopératif).

Ces banques de plein exercice spécialisées dans les métiers de la banque commerciale sont les actionnaires de BPCE SA, l'organe central du Groupe.

Ce terme est synonyme avec le terme « maisons-mères ».

## **BPCE SA**

BPCE SA est l'organe central commun aux Caisses d'Epargne et aux Banques Populaires. L'organe central du Groupe voit ses missions définies par la loi du 18 juin 2009. Elles s'inscrivent dans la continuité des principes coopératifs des Banques Populaires et des Caisses d'Epargne et le placent au service du Groupe pour répondre à ses défis actuels et à venir. La loi attribue notamment à l'organe central les compétences suivantes :

- définir la politique et les orientations stratégiques du Groupe et de ses réseaux,
- coordonner les politiques commerciales,
- représenter le Groupe et ses réseaux dans les instances réglementaires et négocier, en leur nom, des accords nationaux ou internationaux,
- représenter le Groupe et ses réseaux en tant qu'employeur,
- mettre en œuvre tous les moyens permettant de piloter le Groupe en matière de liquidité, de solvabilité, de maîtrise des risques et de contrôle interne.

## **Natixis**

Natixis est la banque internationale de financement, de gestion et de services financiers du Groupe BPCE. Cotée à la Bourse de Paris, elle est détenue majoritairement par BPCE SA. Elle comprend trois activités principales :

- la Banque de grande clientèle (relation clients et conseil, financements et solutions de marché),
- l'Épargne (gestion d'actifs, assurance, banque privée, capital investissement),
- les Services financiers spécialisés.

## Différents métiers

La définition de chaque métier, compartiment et sous-compartiment est encadrée par la norme segmentation métiers Groupe.

De manière succincte, le Groupe classe les activités des banques régionales et des filiales en cinq métiers principaux :

- Banque commerciale,
- Métiers Banque Grande Clientèle / Epargne / Services Financiers Spécialisés,
- Métiers financiers,
- Activité en Gestion Extinctive,
- Hors Métier.

En plus des activités de crédit et d'épargne :

- BPCE a un rôle majeur dans le financement de l'immobilier avec le Crédit Foncier et sa filiale SCF
- BPCE a une présence significative à l'outre-mer et à l'international en Europe, dans le bassin méditerranéen, en Afrique subsaharienne et dans l'océan Indien, à travers les banques de BPCE IOM et la BRED Banque Populaire
- Le Groupe BPCE est le **1er collecteur d'épargne solidaire**.
- Le Groupe est le **1er acteur bancaire français du microcrédit**.
- Le Groupe BPCE est **pionnier en financement** de projets liés à l'environnement sur l'ensemble des territoires et **leader en nombre de projets dans les énergies renouvelables**.
- Présence dans le sport : depuis 25 ans, la Banque Populaire est un acteur engagé du monde nautique. La Caisse d'Epargne renforce sa présence dans le sport olympique et devient partenaire des Equipes de France masculines et féminines des fédérations de Basket-Ball et de Handball. Natixis s'est associée en 2007 à l'équipe de rugby du Racing Métro 92, cinq fois championne de France. Le groupe acquiert ainsi une image très visible par ses clients.

### 3. Quelques chiffres

Le groupe réalise des performances solides, depuis 2011, et ses résultats s'améliorent chaque année.

En 2014, BPCE possède :

- 36 millions de clients
- dont 8,9 millions de sociétaires
- 108 000 collaborateurs
- 8 000 agences bancaires

Au niveau financier :

	2013	2014
<b>Produit Net Bancaire</b>	23,1 Md€ (+ 3,3 % vs 2012)	23,6 Md€ (+ 2,3 % vs 2013)
<b>Résultat net part du groupe</b>	2,9 Md€ (+ 26,2 % vs 2012)	3,1 Md€ (+ 5,9 % vs 2013)
<b>Coefficient d'exploitation</b>	69,9 %	69,2 %
<b>Baisse du coût du risque</b>	7,2 % (vs 2012)	13 % (vs 2013)
<b>Encours de crédits - réseaux Banque Populaire et Caisse d'Epargne</b>	366 Md€ (+ 6,1 % vs 2012)	378 Md€ (+ 3,0 % vs 2013)
<b>Encours d'épargne - réseaux Banque Populaire et Caisse d'Epargne</b>	578 Md€ (+ 3,6 % vs 2012)	596 Md€ (+ 3,1 % vs 2013)
<b>Ratio de common equity tier 1 (ratio de fonds propres)</b>	10,4 % + 150 pb vs 2012	12 % + 160 pb vs 2013
<b>Ratio de solvabilité global</b>	13,4 % + 180 pb vs 2012	15,6 % + 250 pb vs 2013



**Coefficient d'exploitation** : C'est le rapport des frais généraux (ou charges d'exploitation, soit les salaires, loyers, autres services) au PNB. Il permet de mesurer le poids de ces charges dans la richesse créée par une banque. Plus ce ratio est élevé, plus la richesse est perdue dans des dépenses de fonctionnement.

**Produit net bancaire (pnb)** : indique les revenus qu'une banque dégage dans le cadre de son exploitation. Il reflète toute l'activité des établissements de crédit, à la fois les activités classiques d'intermédiation sur dépôts et crédits, génératrice de marges d'intérêts, les prestations de services à la clientèle, rémunérées par des commissions et les activités de marché et d'investissement produisant intérêts, plus-values et marges de négociation. Le produit net bancaire est en quelques sortes, le « chiffre d'affaires » d'une banque.

Le **résultat brut d'exploitation** est la différence entre le Produit Net Bancaire et les Frais Généraux. Les frais généraux sont les charges auxquelles une banque doit faire face pour assurer son activité, principalement les charges de personnel.

Le **résultat d'exploitation** correspond au résultat brut d'exploitation auquel sont soustraites les dotations nettes aux provisions (lien avec dico).

Le **résultat courant avant impôt** prend en compte les gains nets sur actifs immobilisés c'est-à-dire les plus ou moins values de cession.

**Résultat net** : c'est le bénéfice de la banque (=résultat d'exploitation + résultat courant avant impôt)

On peut aussi donner les résultats détaillés, pour les banques populaires, les caisses d'épargne et Natixis, et constater leur importance respective au sein du groupe.

### En 2013

	Natixis
Collaborateurs	19 632
Produit Net Bancaire	7,2 MDS €
Résultat Net	884 M €

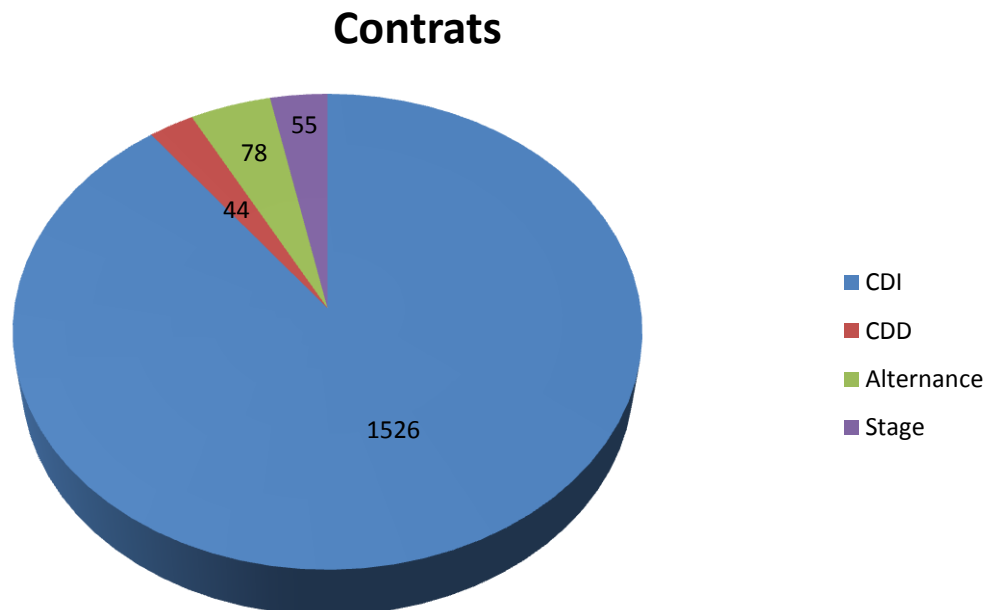
	Banques populaires	Caisses d'épargne
<b>Banques régionales</b>	19 (18 en 2014)	17
<b>Clients</b>	8 900 000	27 000 000
<b>Sociétaires</b>	3 900 000	4 300 000
<b>Collaborateurs</b>	31 155	52 000
<b>Agences</b>	3 330	4 242
<b>Encours de crédits</b>	165.5 MDS €	200.9 MDS €
<b>Encours d'épargne gérée</b>	207.1 MDS €	370.5 MDS €
<b>Produit net bancaire</b>	6,3 MDS €	6,93 MDS €

Ensemble des établissements du groupe :



Au niveau des ressources humaines :

A BPCE SA, il y a en 2014 :



Véritable « cœur de réacteur » du Groupe, BPCE s.a. emploie **1526 collaborateurs en CDI**, soit environ **1,4% de l'effectif total du Groupe** (108 000 salariés).

Ils sont en charge notamment des missions suivantes :

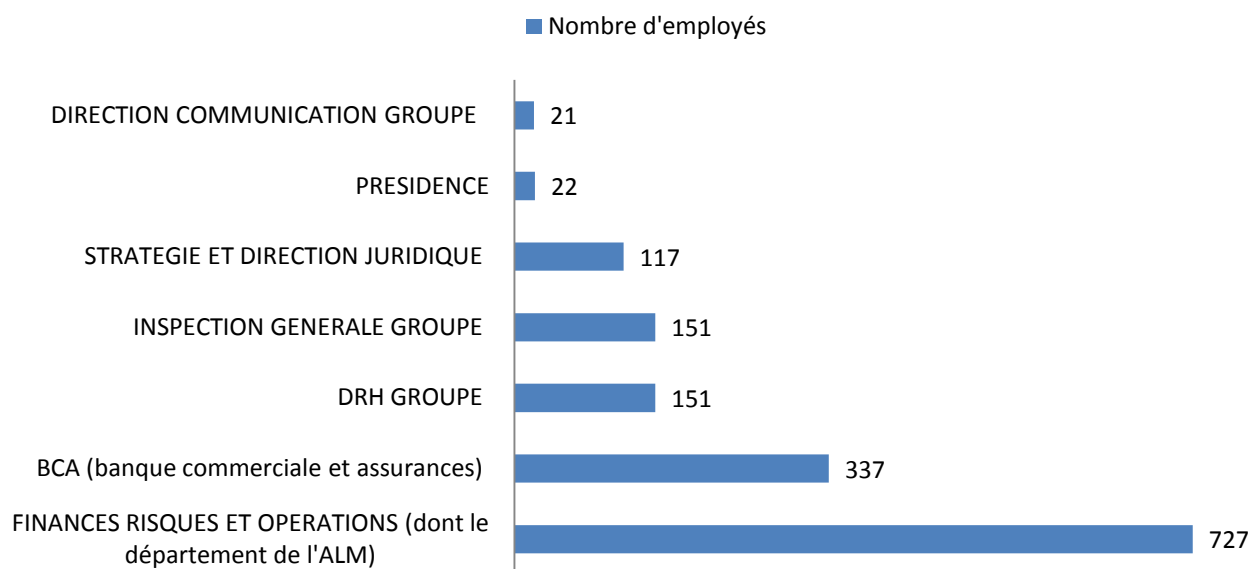
- Stratégie
- Contrôle
- Coordination et Animation

L'entreprise est constituée de :

- **89 % de cadres**,
- de **43,5 ans** d'âge moyen,
- salariés de l'entreprise depuis **9,4 ans** en moyenne (cette ancienneté moyenne est inférieure de 4 ans à l'ancienneté moyenne Groupe, qui en raison du nombre important de collaborateurs qui nous rejoignent dans le cadre d'une mobilité au sein du Groupe, s'établit à 13,5 ans).

## 7 Directions Métiers composent BPCE s.a. :

### Nombre d'employés



## II. La gestion ALM

### 1. Historique

La gestion actif-passif, aussi dénommée par son acronyme anglais ALM (Asset and Liability Management), est une pratique développée par les institutions financières anglo-saxonnes à partir des années 1970, à la croisée des chemins de la gestion des risques et du pilotage stratégique.

La gestion actif passif ou Asset Liability Management (ALM) connaît un remarquable essor depuis quelques années. Initialement technique proche de l'actuariat et des pratiques d'adossement, réservée à quelques spécialistes des banques, la gestion actif passif s'impose désormais comme un cadre conceptuel de la gestion financière.

Le développement de la gestion actif-passif s'est donc effectué parallèlement au développement des techniques de gestion des risques lorsque les banques se sont vues dans l'obligation de mettre en place de véritables outils de gestion de ces risques. En effet, de nouvelles contraintes leur ont été imposées par la pression concurrentielle et par la nouvelle réglementation prudentielle développée par les autorités de tutelle.

La mise en place en 1974 du Comité de Bâle par les banques Centrales d'une dizaine de pays a, par exemple, permis aux banques et aux autorités de tutelle nationales de mettre au premier plan l'importance d'une gestion active des risques financiers.

Les banques assurent une fonction d'intermédiaire financier. Cette fonction peut être l'allocation, lorsque les ressources d'origines diverses sont combinées pour servir de support de financement à un emploi unique et, vice-versa, lorsqu'une ressource particulière sert de support de financement à plusieurs emplois distincts. La transformation représente la deuxième fonction d'intermédiation, c'est-à-dire emprunter à une échéance courte et placer les fonds ainsi obtenus dans des actifs de plus long terme. C'est le métier de base de toute banque commerciale qui collecte des dépôts à vue et octroie des prêts. Cette fonction est à l'origine de la majeure partie des risques financiers. Aussi le transfert des risques requiert une attention toute particulière. Bessis (1995) considère deux sortes de risques : les risques financiers et les risques opérationnels. Les risques opérationnels ne doivent pas être sous-estimés mais dépendent du contrôle interne de gestion et non d'une approche financière.

L'ALM s'intéresse ainsi aux risques financiers liés à l'obtention de liquidités et au financement des opérations et avant tout aux risques liés au mouvement des taux d'intérêt.

## **2. Présentation**

### Généralités

La gestion actif-passif consiste à analyser la situation du bilan et son évolution probable sur un horizon de planification, en fonction de variables vis-à-vis desquelles elle précise des anticipations (taux d'intérêt, développement commercial, indicateurs macro-économiques et autres variables de marché). Elle a pour objectif d'estimer et piloter l'équilibre entre les ressources et les emplois au regard des risques pris par l'établissement sous contrainte d'un niveau de rentabilité et d'un cadre réglementaire précis et variable selon les pays. Elle analyse systématiquement le risque de liquidité et le risque de taux, et s'assure du respect des ratios imposés par les régulateurs domestiques et internationaux. Elle a pour cela besoin de comprendre les comportements de la clientèle, afin de les modéliser et d'en évaluer les impacts au travers de simulations qui lui permettent alors de décider de mettre en place des opérations de couverture contre les risques identifiés.

La gestion actif-passif est au centre des préoccupations des directions financières des banques, des institutions financières et des compagnies d'assurances car elle permet d'estimer les risques financiers et de piloter la marge d'intérêts. Néanmoins, elle ne permet pas d'anticiper une éventuelle défaillance d'une contrepartie importante et ne s'intéresse que partiellement à la possibilité de crise prolongée de liquidité ou à une crise économique.

### Principes généraux et objectifs de la filière GAP

La Gestion Actif Passif est l'ensemble des actions que chaque Etablissement du Groupe entreprend pour gérer les risques (non opérationnels) structurels de son bilan, de taux d'intérêt global, de liquidité et de change. Elle doit sécuriser les revenus immédiats et futurs et favoriser le développement de l'Etablissement. BPCE est le garant de la liquidité et de la solvabilité du Groupe ainsi que de chacun des réseaux. BPCE doit donc être en mesure de superviser la liquidité globale disponible et avoir les moyens de la distribuer rapidement et facilement aux établissements du groupe qui en expriment le besoin.

Chaque Etablissement gère ses risques dans un cadre normalisé et commun à l'ensemble du Groupe. La Direction Générale ou le Directoire détermine sa politique de Gestion Actif Passif et rend compte de sa mise en œuvre au moins 1 fois par an à son Conseil d'Administration, Conseil d'Orientation et de Surveillance ou Conseil de Surveillance.

### Objectifs de la politique de gestion actif-passif

Cette politique a pour objectif de :

- maîtriser les risques de bilan en définissant l'appétit pour le risque et la capacité du groupe à faire face à une crise,
- maîtriser les risques propres à l'activité de la Banque Commerciale,

- protéger les marges commerciales,
- assurer la régularité des résultats,
- déterminer les couvertures adéquates à la limitation de l'exposition aux risques de taux et de liquidité et au respect des limites,
- valider les règles d'orientation de la filière Gestion Actif Passif en dotant celle-ci des moyens adaptés à son bon fonctionnement.

## Rôle du GAP

Le rôle du GAP Groupe est de :

- Gérer l'équilibre bilanciel du Groupe (directement ou via les établissements)
- Réaliser les reportings Groupe de risques de bilan à destination de la Direction Générale du Groupe et du Comité GAP Groupe
- Développer les instruments fonctionnels ou techniques nécessaires à la filière GAP tant pour le reporting, les simulations, que pour la prise de décision en matière d'opérations à réaliser
- Animer la filière GAP dans l'ensemble du Groupe
- Déterminer le mode de calcul des provisions liées aux risques relevant de la gestion Actif Passif (cf. provision épargne logement)
- Représenter et défendre les intérêts du Groupe dans les instances de place en matière de Gestion Actif Passif
- Assurer les mesures, analyses, statistiques et backtesting permettant la calibration des modélisations

## Contrôles

Le département de la gestion actif-passif est soumis à de nombreux contrôles.

Conformément à l'arrêté du 3 novembre 2014 et aux normes internes applicable, la gestion actif passif du Groupe BPCE fait l'objet d'un dispositif d'encadrement des risques.

Ce dispositif comprend trois natures de contrôles :

- Les contrôles de premier niveau sont les contrôles effectués sous la responsabilité des services opérationnels de la Filière GAP,
- Les contrôles de second niveau sont les contrôles effectués sous la responsabilité de la Filière Risques dans le cadre du dispositif de contrôle permanent,
- Les contrôles de troisième niveau sont les contrôles ponctuels et aléatoires réalisés par la Filière Audit Interne (Inspection Générale Groupe, direction de l'Audit interne/Inspection Générale des établissements).



## Le bilan d'une banque

Le bilan est une photographie à un instant donné de la situation patrimoniale d'une société.  
La structure du bilan d'une banque est différente de la structure des autres sociétés. De manière simplifiée, le bilan d'une banque se présente de la façon suivante :

ACTIF		PASSIF	
1	Prêts interbancaires	Emprunts interbancaires	1
2	Crédits clientèle	Dépôts de la clientèle	2
	Divers	Divers	
3	Portefeuille titres	Certificats de dépôt	3
		Obligations	
4	Immobilisations	Fonds propres	5

**Le passif renseigne sur l'origine des ressources, c'est-à-dire les fonds collectés par la banque.**

**L'actif informe sur l'utilisation des fonds collectés.**

Le cadre comptable ventile le bilan d'une banque en 5 classes.

Les actifs et les passifs de la **classe 1** correspondent aux opérations interbancaires celles que la banque réalise avec d'autres institutions financières, dans le cadre de sa gestion de trésorerie. Quand son exploitation lui permet de dégager des excédents de trésorerie, la banque se trouve

en position de prêteur net sur le marché interbancaire. Dans le cas inverse la banque doit avoir recours au marché pour assurer son refinancement.

Les actifs et les passifs de la **classe 2** correspondent aux opérations avec la clientèle. À l'actif, les crédits accordés, au passif, les dépôts collectés ventilés selon leur degré d'exigibilité, leur forme (compte, bon, certificat) et leur nature au regard de la réglementation bancaire (compte d'épargne à régime spécial, comptes ordinaires).

Les actifs et les passifs de la **classe 3** reprennent les opérations sur titres et les opérations diverses. À l'actif, les placements de la banque sur le marché des capitaux pour son propre compte (portefeuille de titres, classés selon leur durée de conservation). Au passif, les titres de dettes que la banque émet pour se refinancer.

La **classe 4**, à l'actif, contient les valeurs immobilisées, c'est-à-dire les biens et valeurs censés demeurer durablement dans le patrimoine de la banque.

La **classe 5**, au passif, comprend les provisions constituées et les fonds propres y compris les bénéfices non distribués.

Le bilan détaillé de BPCE est présenté ici :

<b>ACTIF</b> en millions d'euros	<b>31/12/2013</b>	<b>31/12/2012</b>	<b>PASSIF</b> en millions d'euros	<b>31/12/2013</b>	<b>31/12/2012</b>
Caisses, banques centrales	60 410	53 792	Banques centrales	0	0
Actifs financiers à la juste valeur par résultat	206 072	214 991	Passifs financiers à la juste valeur par résultat	179 832	194 793
Instruments dérivés de couverture	6 643	10 733	Instruments dérivés de couverture	6 185	11 116
Actifs financiers disponibles à la vente	79 374	83 409	Dettes envers les établissements de crédit	88 811	111 399
Prêts et créances sur les établissements de crédit	108 038	118 795	Dettes envers la clientèle	458 189	430 519
Prêts et créances sur la clientèle	578 419	574 856	Dettes représentées par un titre	214 654	230 501
Ecart de réévaluation des portefeuilles couverts en taux	5 060	7 911	Ecart de réévaluation des portefeuilles couverts en taux	1 237	1 994
Actifs financiers détenus jusqu'à l'échéance	11 567	11 042	Passifs d'impôts	543	612
Actifs d'impôts	6 622	6 186	Comptes de régularisation et passifs divers	48 698	47 997
Comptes de régularisation et actifs divers	46 675	51 145	Provisions techniques des contrats d'assurance	51 573	49 432
Parts dans les entreprises mises en équivalence	2 629	2 442	Provisions	5 251	4 927
Immeubles de placement	2 022	1 829	Dettes subordonnées	10 375	9 875
Immobilisations corporelles	4 539	4 783	<b>Capitaux propres</b>	<b>58 172</b>	<b>54 356</b>
Immobilisations incorporelles	1 282	1 358	Capitaux propres part du Groupe	51 339	50 554
Ecarts d'acquisition	4 168	4 249	Intérêts minoritaires	6 833	3 802
<b>TOTAL ACTIF</b>	<b>1 123 520</b>	<b>1 147 521</b>	<b>TOTAL PASSIF</b>	<b>1 123 520</b>	<b>1 147 521</b>

Dans le hors bilan figurent des éléments qui pourront se traduire par des opérations financières mais ne le sont pas encore tels que des engagements de crédit irrévocables à accorder, des cautions, des achats et ventes de titres non encore enregistrés pour tenir compte des délais de règlement/livraison, des engagements liés à des instruments de financement à terme...

Le hors-bilan n'est pas du tout comptabilisé dans le bilan actif-passif

Le hors-bilan de l'ensemble des établissements de crédit français pour les années 2012 et 2013 se présente ainsi :

	2012	2013
<b>Engagements de financement</b>	-	-
- donnés	880,33	870,60
- reçus	483,91	529,63
<b>Engagements de garantie</b>	-	-
- d'ordre	1 034,72	1 115,91
- reçus	1 037,43	1 391,42
<b>Engagements sur titres</b>	-	-
- titres à recevoir	256,09	229,64
- titres à livrer	259,26	234,61
<b>Opérations sur devises</b>	-	-
- monnaies à recevoir	6 618,41	7 124,34
- monnaies à livrer	6 629,46	7 270,92
<b>Engagements sur instruments financiers à terme</b>	91 375,44	86 514,01

*En milliards d'euros - Source : ACP*

Depuis quelques années, le hors-bilan des banques ne cesse de croître.

Le poste le plus important du hors-bilan des banques est le poste des engagements sur instruments financiers à terme, c'est-à-dire les opérations sur produits dérivés. En 2013, les engagements sur instruments financiers à terme de l'ensemble des banques représentent plus de 86 000 milliards d'euros, soit près de 11 fois la valeur totale de leur bilan.

Parmi ces engagements sur dérivés, ce sont les opérations sur instruments de taux d'intérêt qui sont les plus importantes : 77 520 milliards d'euros pour l'année 2013. Cela représente 32,5 fois le montant total des crédits accordés par les banques à leurs clientèles. Ce chiffre est un indicateur montrant l'activité des banques sur les marchés financiers.

### 3. Exemple : Les opérations non échéancées

La Marge Nette d'Intérêt (MNI) est la différence entre le taux proposé au client et le taux de refinancement.

#### Exemple d'un bilan simplifié :

Passif : Dépôt à vue (DAV) non rémunéré d'encours 100 modélisé comme s'écoulant in fine sur 5 ans.

Actif : Crédit d'encours 100 en amortissement in fine sur 5 ans au taux client de 1.5%/an.

On suppose le taux d'emprunt interbancaire des opérations in fine 5 ans égal à 1%.

<b>Passif</b>	100	100	100	100	100
<b>Actif</b>	-100	-100	-100	-100	-100
<b>Gap de liquidité</b>	0	0	0	0	0
<b>MNI/Actif</b>	$100 \times 1.5\% = 1.5\%$	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%

En année 2: Retrait de 50 sur les DAV à la faveur d'une hausse des taux (Fuite vers des supports d'épargne mieux rémunérés)

Le retrait occasionne un besoin de liquidité de 50 qui est satisfait sur le marché interbancaire.

On suppose que le taux d'emprunt interbancaire de maturité 4 ans vaut 1.5%.

<b>Passif</b>	100	50	50	50	50
<b>Actif</b>	-100	-100	-100	-100	-100
<b>Gap de liquidité avant emprunt</b>	0	-50	-50	-50	-50
<b>Emprunt</b>	0	50	50	50	50
<b>Gap de liquidité</b>	0	0	0	0	0
<b>MNI/Actif</b>	1.5%	0.75%	0.75%	0.75%	0.75%

Le retrait non anticipé entraîne une dégradation de la MNI!

En année 3: Dépôt de 50 sur les DAV à la faveur d'une baisse des taux

(Préférence pour la liquidité – épargne faiblement rémunérée)

Le dépôt non anticipé est une perte d'opportunité de transformation compte tenu de la baisse des taux. Ce dépôt servira à refinancer un prêt sur 5 ans pour un taux d'intérêt inférieur à 1.5%, supposons 1%

Le dépôt ne permet pas de reconstituer la marge compte tenu de la baisse des taux!

<b>Passif</b>	100	50	100	100	100
<b>Actif 1</b>	-100	-100	-100	-100	-100
<b>Emprunt</b>	0	50	50	50	50
<b>Gap de liquidité avant remplacement</b>	0	0	50	50	50
<b>Actif 2</b>	0	0	-50	-50	-50
<b>Gap de liquidité</b>	0	0	0	0	0
<b>MNI/Actif</b>	1.5%	0.75%	0.83%	0.83%	0.83%

$$\text{MNI/Actif an 3} = (100 \times 1.5 + 50 \times 1 - 50 \times 1.5) / (100 + 50) = 0.83$$

$$(\text{Actif1} \times 1.5 + \text{Actif2} \times 1 - \text{Emprunt} \times 1.5) / (\text{Actif1} + \text{Actif2})$$

Le caractère à vue des dépôts créé, en cas d'absence d'anticipation :

- Un risque portant sur les besoins de liquidité futurs induit par les retraits anticipés de la clientèle.
- Un risque de dégradation de la marge d'intérêt future par recours à une source de liquidité plus chère.
- Un risque de dégradation de la marge d'intérêt future du fait d'une perte d'opportunité de transformation sur les dépôts futurs (Optimisation de la marge nette d'intérêt).

Le risque de liquidité/taux est d'autant plus important que le dépôt est rémunéré et que les corrélations taux /volume sont fortes.

## 4. Types de risques

### RISQUE DE LIQUIDITE

Définition et objectifs :

Le risque de liquidité est le risque pour l'entreprise assujettie de ne pas pouvoir faire face à ses engagements ou de ne pas pouvoir dénouer ou compenser une position en raison de la situation du marché » et « dans un délai déterminé et à un coût raisonnable »

Au sein du Groupe BPCE, le risque de liquidité est appréhendé sur 3 horizons différents (court terme, moyen terme et long terme) et mesuré en statique et en dynamique.

A court terme (moins de 1 an), l'objectif du Groupe est de s'assurer que son exposition permet de garantir sa survie à tout moment et plus particulièrement en situation de stress.

A moyen terme, l'objectif du Groupe est de s'assurer que la différence entre les tombées de passifs et d'actifs est encadrée et garantit la faisabilité du plan de refinancement MLT associé.

A long terme, le Groupe souhaite garantir la soutenabilité dans le temps de ses activités.

#### **Gap de liquidité :**

Pour chaque maturité,  $GAP(t) = \text{Passif}(t) - \text{Actif}(t)$

La liquidité des établissements de crédit traduit sa capacité à faire face à ses obligations de remboursement, en respectant les échéances contractuelles, qu'elle soit déterminée ou non (remboursements à vue).

Le risque de liquidité des banques lié aux financements:

- la négociabilité sur un marché particulier (le marché monétaire) est absente à un instant donné pour l'ensemble des acteurs.
- l'accès au marché est interdit, à cause du rating de la banque, ou bien les prix demandés sont énormes : la banque ne trouve plus de contreparties acceptant de lui prêter de l'argent.

Le risque de liquidité immédiate (« bank run »): la banque est dans l'incapacité de faire face à une demande massive et imprévue de retrait de la part de ses déposants (caisses épargne US en 80) et autres dettes.

Le risque de liquidité lié à la transformation : il résulte d'une duration plus longue des emplois que des ressources, obligeant la banque à rechercher de la liquidité sur les marchés.

Le Gap de liquidité est proche du gap de taux:

- Définition de bandes de maturités (strates)
- Alimentation de ces bandes par :
  - les opérations à taux fixe, idem au gap de taux
  - les opérations à taux variable: utilisation de la date de maturité, au lieu de la date de fixing et calcul de la durée restante jusqu'à cette date.
- Les opérations de couvertures de hors-bilan n'ont pas d'impact sur le gap de liquidité. Mais prise en compte des lignes de crédit (credit stand by), pour leur partie non tirée.

Des hypothèses « scénarios de stress » peuvent être volontairement rendues plus défavorables pour mesurer le risque de liquidité en cas de « stress » sur l'établissement ou de son marché et font partie intégrante des outils de gestion du risque de liquidité.

→ Ils permettent ainsi de mesurer la sensibilité de la liquidité au déséquilibre entre besoins et ressources dans ces différentes catégories.

Le Gap de liquidité contient les échanges de capitaux futurs – en version cumulé, il est identique aux engagements du bilan (actif et passif).

- Le gap de liquidité est identique au gap de taux pour les opérations à taux fixe.
- Les crédits à taux variable sont considérés comme des opérations à court terme pour le risque de taux et des opérations à long terme pour le risque de liquidité.
- Le risque de liquidité est asymétrique.
- Les nouveaux ratios concernent la liquidité à 1 mois (LCR), et à 1 an (NSFR)

## RISQUE DE TAUX

Définition et objectifs :

Le risque de taux d'intérêt est le risque de subir une perte de revenus ou de valeur en raison de l'exposition aux variations de la courbe des taux. Sous-élément du risque de taux, le risque optionnel est le risque de subir des pertes ou évolutions défavorables de la marge d'intérêts en raison de l'évolution de la valeur de positions optionnelles.

Le risque de taux d'intérêt suivi concerne le portefeuille bancaire (banking book). Le portefeuille de trading (trading book) est suivi selon les indicateurs et normes de risques de marché.

L'objectif du Groupe vise à se prémunir contre :

- une baisse de revenus immédiats ou futurs liée à la marge d'intérêts en raison de l'augmentation des intérêts à verser et/ou de la baisse des intérêts à percevoir ;
- une diminution de la valeur actuelle nette du bilan induite par une variation des taux d'intérêt.

Le risque de taux se décompose en quatre facteurs :

- le risque de refixation des taux lié à l'évolution de la courbe d'intérêt (mouvements parallèles et modifications de la pente de la courbe des taux) et des décalages de durée entre les actifs et les passifs
- le risque de base lié aux décalages de révision entre deux références de taux

- le risque inflation et le risque de décorrélation entre les taux réglementés et la formule théorique pour les produits indexés sur cet indice tels que les comptes d'épargne réglementés
- le risque optionnel lié à l'effet potentiellement défavorable des options de marché et des options incorporées dans les opérations clientèle (explicites et implicites tels que les RA par exemple).

Ces différents types de risques ont un impact sur la sensibilité des revenus futurs et sur la sensibilité de la valeur économique du portefeuille bancaire.

Quatre types de taux sont considérés :

- Taux fixe (TF)
- Taux révisable / variable (TRV) : Euribor (EURO InterBank Offered Rate) ; Eonia (Euro OverNight Index Average)
- Taux réglementé : taux du livret A (taux variable et taux inflation) et taux des autres livrets corrélés au taux du Livret A
- Taux d'inflation (INF): composante inflation du livret A, OAT indexée inflation

### **Gap de taux :**

Un gap de taux est défini comme la différence entre les ressources à taux variables et les emplois à taux variables sur une période donnée.

L'instrument traditionnel de couverture du risque de taux est le swap de taux d'intérêt (on échange un taux fixe contre un taux variable ou inversement).

Une couverture parfaite consiste à obtenir un gap équilibré, sur chaque maturité.

En cas de couverture totale, le risque de taux disparaît totalement.

## **RISQUE DE CHANGE**

La gestion du risque de change vise à immuniser les établissements contre tout risque de dépréciation ou de perte liée à une évolution défavorable des cours de change de devises.

Le risque s'apprécie à partir de la position de change spot par devise limitée à 5% du total de bilan dans la devise. Cette limite ne s'applique que si l'encours dans la devise concernée est supérieur à la contrevaletur euro de 1M€

Le respect de cette limite nécessite un suivi prévisionnel des encours de devises.

Le risque de change est le risque de voir la rentabilité affectée par les variations du cours de change.



- Les cours de change sont toujours pris par rapport à une devise de référence (en général la devise comptable).
- Le risque de change fait l'objet d'un suivi propre, par un reporting permettant de distinguer chaque devise;
- En règle générale, le risque de change se calcule sur une valeur actuelle (et non pas sur une valeur future comme le risque de taux).

La gestion du risque de change consiste à mesurer en temps réel, l'exposition nette sur chaque devise (par rapport à la devise de référence). Une opération de change au comptant permet en théorie de couvrir la position de change instantanée.

## 5. Scénarios

### Généralités

La production de certains indicateurs (exemple : gaps de liquidité et de taux) nécessaires à la bonne évaluation des risques de liquidité et de taux encourus par chaque Établissement et par le Groupe requièrent la définition de scénarios concernant notamment les paramètres suivants :

- évolution des encours des différents produits sur l'horizon d'analyse / production nouvelle,
- évolution des taux d'intérêts,
- évolution des spreads d'intérêts.

Afin de permettre la consolidation des informations sur des bases homogènes, il a été convenu de développer des scénarios « Groupe » dont le détail est donné ci-après.

### Scénario central

Le calcul des gaps de liquidité et de taux ainsi que le calcul de sensibilité de la marge d'intérêt utilise un scénario central établi sur un horizon de quatre ans. Ce scénario est unique pour le Groupe. Il est déterminé selon le processus suivant<sup>i</sup> :

- La recherche économique de Natixis constitue un dossier présentant ses anticipations des principaux taux et variables macro-économiques. Ses éléments sont présentés à chaque arrêté lors d'une conférence de scénario macro-économique et de taux destinée aux membres de Directoire en charge des Finances de CEP, aux Directeurs Financiers de BPR et des filiales, ainsi qu'à la DRG.
- La sphère financière peut demander des amendements au scénario proposé.
- Il est ensuite validé par le Directeur financier exécutif du Groupe BPCE et diffusé à l'ensemble des établissements.

### Scénarii de taux alternatifs

Les mesures de la sensibilité de la marge d'intérêts sont soumises à limite, et sont effectuées en regard des chocs de taux présentés ci-après par rapport au scénario central :

Type	Taux CT	Taux LT	Inflation	TLA
<b>Translation à la baisse</b>	-100 bp	-100 bp	-50 bp	-75 bp
<b>Translation à la hausse</b>	+100 bp	+100 bp	+50 bp	+75 bp
<b>Aplatissement</b>	+50 bp	- 50 bp	+25 bp	+37.5 bp
<b>Pentification</b>	-50 bp	+ 50 bp	-25 bp	-37.5 bp

1 bp = 1 basis point = 0.01%

### Scénarii de stress macro-économiques

Le scénario de stress macro-économique est établi en coordination avec la Direction des Risques Groupe chaque année. Il permet au Groupe et aux Établissements d'évaluer, selon une fréquence annuelle, les risques de perte de résultat encourus en cas de fortes variations des paramètres de marché mais aussi des volumes de production commerciale et financière, en crédits et en collecte. Ces calculs répondent aux exigences de la réglementation bancaire quant à la mesure, au contrôle et à la surveillance du risque de taux d'intérêt global (RTIG).

Aucune limite n'est appliquée aux indicateurs en situation de stress macro-économique. Toutefois, en fonction des résultats obtenus, des décisions opérationnelles locales peuvent être étudiées.

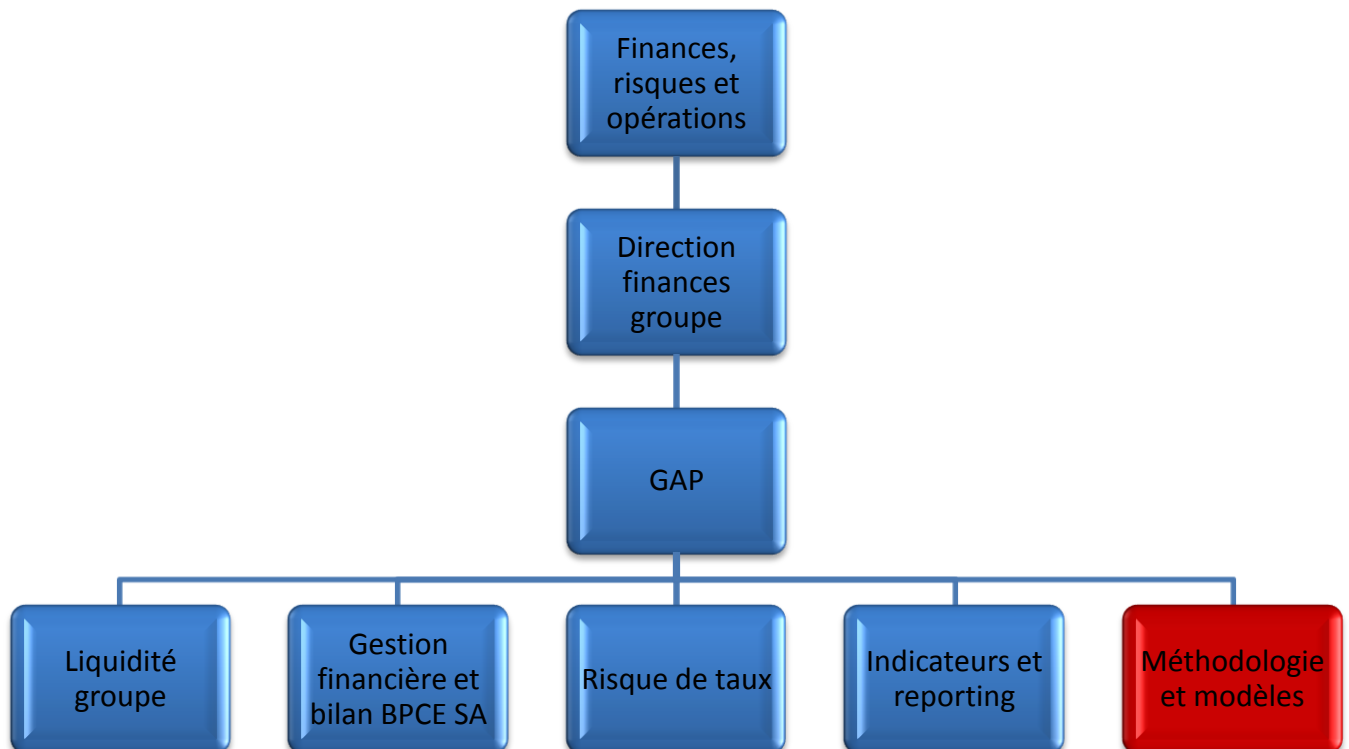
### Limites

Les limites relatives aux risques de liquidité et de taux d'intérêt au niveau Groupe, bassins du Groupe et au niveau des établissements sont décidées par le Comité GAP Groupe stratégique sur proposition de la Filière GAP et après instruction et avis de la Filière Risques. Conformément à la réglementation, les limites globales de risques sont revues au moins une fois par an et présentées au Comité d'audit et des risques. Les conditions dans lesquelles les limites fixées sont respectées sont présentées deux fois par an au Comité d'audit et des risques.

## 6. Organisation GAP à BPCE

5 équipes composent le département de la gestion actif passif :

- Liquidité groupe
- Gestion financière et bilan BPCE SA
- Risque de taux
- Indicateurs et reporting
- Méthodologie et modèles (mon équipe)



## 7. Equipe méthodologie et modèles

Les modèles sont indispensables pour la gestion courante ALM

Ils permettent de construire une vue réaliste de l'amortissement du bilan à Court Terme (CT)/Moyen Long Terme (MLT) afin de guider les opérationnels dans leurs stratégies de gestion concernant :

- les besoins futurs de refinancement,
- la dynamique commerciale (reconstitution du stock et productions nouvelles),
- les décisions de couverture en taux pour la protection des marges,
- la satisfaction des ratios prudentiels,
- le respect des limites internes de gestion.

Les modèles couvrent à cet effet tous les éléments contractuels et non contractuels du bilan.

Le régulateur est de plus en plus sensible aux problématiques de modélisation notamment sur les questions relatives à :

- La justification des hypothèses retenues,
- La stabilité et la robustesse des paramètres des modèles,
- L'existence de procédures de back-test et de revue périodique des modèles.
- L'information auprès des instances décisionnaires des hypothèses importantes qui sous-tendent les modèles afin de mieux orienter les décisions stratégiques.

### Etapas de construction d'un modèle

L'implémentation des modèles se fait généralement en trois phases

- **ANALYSE :**  
Implémentation/Recherche de bases de données historiques  
Consultation des opérationnels locaux sur leurs données et sur les problématiques de gestion.
- **EXPERTISE :**  
Construction du modèle  
Analyse statistique descriptive et estimation des paramètres  
Contrôle et validation indépendant (DRG)
- **BACKTEST :**  
Le modèle est confronté aux données réelles et revu annuellement

### Exemple des écoulements d'encours :

Les écoulements correspondent à la représentation des postes du bilan dans les gaps de taux/liquidité. Il s'agit de prédire l'amortissement probable du poste compte tenu de notre connaissance des comportements clientèles et du contexte de marché futur.

Deux méthodologies de construction des écoulements:

- **Méthodologie 1:** On sait décrire de façon convenable les liens entre évolutions d'encours et facteurs de risque (csp, âge, salaire, taux d'intérêt, inflation, etc) -> Modèle de projection des facteurs de risque + Modèles comportementaux.
- **Méthodologie 2:** On ne sait pas décrire de façon convenable la relation entre encours et facteurs de risque mais l'on peut justifier du caractère stable d'une partie des encours (méthode la plus utilisée sur le non échancé). La règle classique d'écoulement est la suivante :

Ecoulement d'une certaine proportion d'encours à très court terme (JJ/1mois) pour se protéger contre les retraits imprévus -> Lien avec le LCR (vision stress)

Ecoulement du complément sur une durée plus longue car réputé plus stable pour satisfaire les besoins de transformation.

#### Différents sujets traités par l'équipe modèles :

**Crédits** : remboursements anticipés et renégociation, défaut crédit, options explicites (caps, floors, etc)

**Contrats non échéancés** : projection d'encours des dépôts (taux de clôture, versement moyen), effet volume (arbitrage entre livrets, DAV, DAT), corrélation entre taux client et taux de marché

**Hors-bilan** : probabilité de tirages sur les lignes de crédits

**Production nouvelle** (nouveaux contrats souscrits): effet retard taux client et taux marché, effet volume, effet richesse

### III. Sujet de stage

#### 1. Moteur de diffusion de taux

Le pilotage de la marge nette d'intérêt d'une banque se fait dans un environnement incertain du fait principalement du caractère aléatoire des taux d'intérêt. Le gestionnaire ALM doit de ce fait prendre des décisions de couverture en considérant différents scénarii d'évolution de taux d'intérêt et couvrir le scénario probable qu'il considère le plus dommageable en terme de MNI. La gestion du risque de taux est de ce fait indissociable d'un moteur de simulation de trajectoires de taux d'intérêt permettant de décrire l'univers des possibles afin d'aider le gestionnaire dans sa gestion courante.

L'objectif de ces travaux est de construire un moteur de diffusion qui permet de simuler simultanément les trajectoires conjointes de différents indices tout en conservant leur volatilité et leur corrélation historique.

Les modèles de diffusion de taux foisonnent dans la littérature (Vasicek, Gaussien à deux facteurs, HJM, etc.). La plupart de ces modèles de diffusion de taux répondent à un objectif commun qui est de décrire la déformation de la courbe des taux zéros-coupon dans l'optique de pricer des produits dérivés de taux.

Voici quelques uns de ces modèles :

##### **Le modèle de Vasicek**

Le modèle est donné par :

$$dr_t = a(b - r_t) + \sigma dW_t$$

où  $b$  est la moyenne,  $a$  est la vitesse de retour à la moyenne,  $\sigma$  la volatilité de  $r_t - r_{t-1}$ , et  $W_t$  un mouvement brownien.  $r(t)$  est le taux court.

Solution exacte :

$$r_t = r_0 \exp(-a.t) + b(1 - \exp(-a.t)) + \sigma \cdot \exp(-a.t) \int_0^t \exp(a.s) dW_s$$

Solution pour simuler :

$$r_t = r_{t-1} \cdot e^{-a \delta} + b(1 - e^{-a \delta}) + \sigma \cdot \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot e^{-2 a \delta}}{2 a}} \cdot \varepsilon$$

Où  $\varepsilon \sim N(0,1)$  et où  $\delta$  est le pas de discrétisation.

Le modèle de Vasicek et la solution sont donnés en Annexes

On note  $P^*$  la probabilité risque neutre, c'est la probabilité sous laquelle on a  $\rightarrow$

$$\left( e^{-\int_0^t r(s) ds} \cdot P(t, u) \right)_{0 \leq t \leq u} \text{ est une martingale}$$

Le prix zéro coupon au temps  $t$  et pour une maturité  $T$  est : sous la probabilité risque neutre

$$P(t, T) = E^* \left[ e^{-\int_t^T r(s) ds} \mid F_t \right]$$

$$= E^* \left[ e^{-\int_t^T r(s) ds} \mid F_t \right]$$

$$P(t, T) = e^{-(T-t) \cdot R(T-t, r(t))}$$

$$\text{où } R(d, r) = b - \frac{\sigma^2}{2 a^2} - \frac{1}{a \cdot d} \left[ \left( b - \frac{\sigma^2}{2 a^2} - r \right) (1 - e^{-a \cdot d}) - \frac{\sigma^2}{4 a^2} (1 - e^{-a \cdot d})^2 \right]$$

Cette modélisation permet de prendre en compte l'effet de retour à la moyenne constatée sur les taux d'intérêt.

Des valeurs élevées des taux ont tendance à être suivies plus fréquemment par des baisses que par des hausses.

Avantages :

- Modèle à un facteur simple à comprendre d'un point de vue théorique
- Un modèle qui fournit des réponses rapides d'un point de vue informatique
- Effet de retour à la moyenne constatée sur les taux : des valeurs élevées des taux ont tendance à être suivies plus fréquemment par des baisses que par des hausses.

Inconvénients :

- Variations des taux parfaitement corrélées entre elles (pas assez réaliste)
- Les taux sont négatifs avec une probabilité non nulle. Certains taux actuels sont certes négatifs, mais pas autant que ce que le modèle peut simuler.

- La courbe des taux zéro-coupon du modèle n'est pas assez souple par rapport à la courbe des taux zéro-coupon observée sur le marché. En particulier, on ne peut pas obtenir dans le modèle des courbes inversées sur le court terme puis croissantes, ni des formes à un creux et une bosse.

## - Le modèle gaussien à deux facteurs

Sous la mesure risque neutre :

$$r(t) = x(t) + y(t) + \Phi(t)$$

$\Phi(t)$  est déterministe,  $x$  et  $y$  sont stochastiques

$\Phi$  permet de calibrer le modèle à la courbe de marché des prix d'obligation zéro coupon observés sur le marché et  $\Phi(0) = r_0$

$$\begin{cases} dx(t) = -a \cdot x(t) + \sigma dW_1(t) \\ dy(t) = -b \cdot y(t) + \eta dW_2(t) \end{cases}$$

$W_1$  et  $W_2$  sont des mouvements browniens où  $\text{correlation}(W_1, W_2) = \rho$

et  $a, b, \eta, \sigma, \rho$  sont des constantes

On a

$$\begin{aligned} r(t) = & x(s) \cdot e^{-a(t-s)} + y(s) \cdot e^{-b(t-s)} + \sigma \int_s^t e^{-a(t-u)} dW_1(u) \\ & + \eta \int_s^t e^{-b(t-u)} dW_2(u) + \Phi(t) \end{aligned}$$

L'inconvénient du modèle Gaussien à deux facteurs est le sens de l'utilisation des deux facteurs  $x$  et  $y$ . Cela rend l'interprétation du modèle difficile. De plus, on peut observer des taux négatifs dans le modèle.

L'avantage du modèle est la possibilité de réglage de la corrélation entre les maturités grâce au paramètre  $\rho$ .



## - Le modèle HJM (Heath, Jarrow, Morton)

On note  $f$  le taux instantané forward

Sous la probabilité risque neutre, le modèle s'écrit ainsi :

$$\begin{cases} df(t) = a(t, T)dt + \sigma(t, T)dW_t \\ f(0, T) = f^{obs}(0, T) \end{cases}$$

où  $a(t, T) = \sigma(t, T) \cdot \int_t^T \sigma(t, s) ds$

La solution pour le taux court s'écrit ainsi

$$r(t) = f(t, t) = f^{obs}(0, t) + \int_0^t \left( \sigma(u, t) \cdot \int_u^t \sigma(u, s) \cdot ds \right) du + \int_0^t \sigma(u, T) \cdot dW_u$$

Inconvénient : calculs numériques complexes, et le modèle est difficile à calibrer.

Avantage : méthode robuste et utilisation de la courbe des taux forward instantanés comme paramètre de départ.

## - Le modèle GARCH

La modélisation GARCH (Generalized Auto Regressive Conditional Heteroskedasticity) est devenue un outil incontournable en finance, particulièrement utile pour analyser et prévoir la volatilité.

Dans l'économétrie de séries temporelles univariées, les modèles GARCH semblent être les plus adéquats pour prévoir les séries financières. Le choix de ces modèles est dicté par les propriétés qui caractérisent ces séries, à savoir : la stationnarité, l'autocorrélation des carrés des variations de prix, les queues de distribution épaisses, les clusters de volatilité, les queues épaisses conditionnelles, l'effet de levier, la saisonnalité, et l'asymétrie.

On dit que  $\varepsilon_t$  suit un processus GARCH(p,q) lorsque :

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \sqrt{h_t} \cdot e_t \\ h_t &= w + \sum_{i=1}^q a_i \cdot \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p b_j \cdot h_{t-j} \end{aligned}$$

Par rapport aux modèles usuels de séries temporelles, cette structure permet au bruit  $\varepsilon_t$  d'avoir un ordre de grandeur fonction des variables passées.

$\varepsilon_t$  est un bruit blanc faible, qui n'est pas indépendant de  $\varepsilon_{t-1}$ . Cela conduit à des volatilités conditionnelles non constantes (hétéroscédasticité)

Ainsi, vont se succéder des périodes à forte volatilité (grandes valeurs en module des  $\varepsilon_{t-1}$  et donc de  $h_t$ ) et d'autres où les fluctuations sont de plus faible amplitude.

Les simulations mettent en évidence cette propriété dite de regroupement de la volatilité (volatility clustering).

Dans ce modèle on veut une variance globale constante, et une variance conditionnelle non constante (modélisée par une relation de régression sur le processus lui-même).

Condition pour que la variance globale soit constante :

$$\sum_{i=1}^q a_i + \sum_{j=1}^p b_j < 1$$

Dans ce cas on dit que la solution est stationnaire.

$a_i$  est un paramètre qui « gouverne » l'impact du choc passé : plus il est grand plus l'impact après un choc sera grand.

$b_j$  est un paramètre qui s'interprète comme la vitesse du retour à la volatilité minimale  $w$ .

La non-stationnarité implique des chocs de volatilité qui persistent infiniment, et donc une volatilité toujours élevée.

#### Avantages du modèle :

Prévisions de la volatilité réactives

Ce modèle rend compte des faits stylisés connus, tels que la variation de la volatilité dans le temps (hétéroscédasticité) et de clustering de volatilité, à savoir que les périodes de forte volatilité alternent avec les périodes de faible volatilité, sous forme de « paquets »

#### Inconvénients du modèle :

– Modèle en limite de stationnarité

• On a souvent  $a_1 + b_1 \approx 1$  pour GARCH(1,1) (ce qui implique que les chocs sur la volatilité persistent infiniment)

– Les résidus ne sont pas toujours de loi normale

Notre approche diffère sensiblement de l'approche risque neutre commune à l'ensemble de ces modèles. Notre objectif n'est pas de valoriser des produits dérivés de taux à partir des anticipations du marché mais de fournir une caractérisation réaliste de la distribution jointe des indices de taux et d'inflation compte tenu des observations passées. Par conséquent il s'agit ici de décrire correctement la volatilité et la corrélation historique des différents indices. Pour ce faire nous procédons par la méthode de l'ACP. Cette approche consiste à considérer que la

dynamique du vecteur de l'ensemble des indices de taux et d'inflation peut être décrit à partir d'un nombre réduit de processus aléatoires indépendants entre eux et pouvant être liés par une matrice de corrélation permettant de reconstruire l'ensemble des indices respectifs.

## 1.1 Fondements Théoriques de la méthode

On va procéder en plusieurs étapes afin de construire notre moteur de diffusion des taux.

D'abord, on va récupérer les taux historiques, qui seront stockés sous forme d'une matrice : en colonne l'indice de taux étudié et en ligne le temps. A partir de cette matrice on va réaliser une ACP.

On obtient une autre matrice. A partir de cette dernière, on retient les 3 premiers axes, qu'on va modéliser puis diffuser. Enfin, on calibre le modèle pour obtenir l'espérance des taux souhaitée.

Pour cela :

- > On suppose que la dynamique de la structure par terme de la courbe des taux peut être complètement décrite par la combinaison linéaire de trois processus aléatoires non corrélés entre eux.
- > Les poids relatifs de chacun des processus aléatoires dans la combinaison linéaire permettent de reconstituer les corrélations et volatilités historiques : principe de l'analyse en composantes principales (ACP)
- > En modélisant correctement la dynamique de ces 3 processus et en les recombinaut par les poids appropriés il est possible de simuler simultanément les indices souhaités.

Je vais présenter l'ACP, puis détailler les différentes étapes évoquées plus haut.

Mathématiquement, l'analyse en composantes principales est un changement de base : passer d'une représentation dans la base canonique des variables initiales à une représentation dans la base des facteurs définis par les vecteurs propres de la matrice des corrélations (ou de covariance)

C'est une méthode qui consiste à transformer des variables liées entre elles (corrélées) en nouvelles variables décorrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées "composantes principales", ou axes principaux.

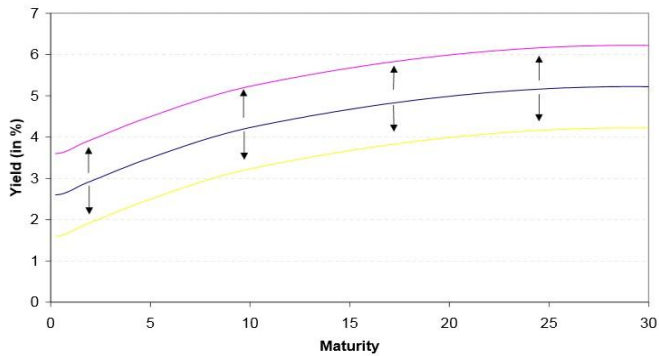
L'objectif de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) est de revenir à un espace de dimension réduite (par exemple 2) en déformant le moins possible la réalité. Il s'agit donc d'obtenir le résumé le plus pertinent possible des données initiales.

C'est la matrice des variances-covariances (ou celle des corrélations) qui va permettre de réaliser ce résumé pertinent, parce qu'on analyse essentiellement la dispersion des données considérées. De cette matrice, on va extraire, par un procédé mathématique adéquat, les facteurs que l'on recherche, en petit nombre. Ils vont permettre de réaliser les graphiques désirés dans cet espace de petite dimension (le nombre de facteurs retenus), en déformant le

moins possible la configuration globale des individus selon l'ensemble des variables initiales (ainsi remplacées par les facteurs).  
 Lors d'une ACP, on cherche à définir k nouvelles variables combinaisons linéaires des p variables initiales, qui feront perdre le moins d'information possible.  
 L'ACP permet de retranscrire les mouvements de translation, pentification, et de courbure d'une courbe de taux.

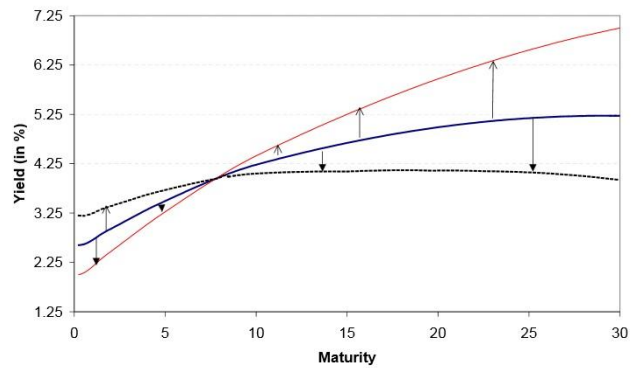
### Le facteur de niveau

Il provoque les déformations parallèles de la courbe des taux



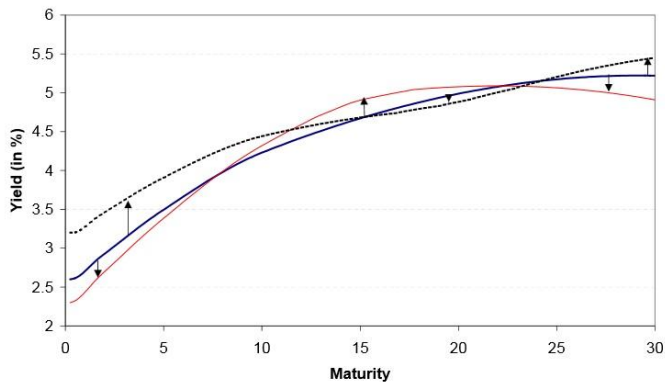
### Le facteur de rotation (pente ou pivotement)

Il provoque les mouvement d'aplatissement ou de pentification de la courbe des taux



### Le facteur de courbure

Il provoque les changements de concavité de la courbe des taux



## a. Description des étapes du calibrage et construction des facteurs de risque

### ● Mise en œuvre de l'ACP

- > On dispose d'un historique de l'ensemble des indices à modéliser. A partir de cet historique on peut calculer la matrice de variance covariance de ces indices puis après diagonalisation, on obtient à la fois les processus recherchés ainsi que les poids pondérant ces processus (vecteurs propres de la matrice)
- > En toute rigueur on dispose d'autant de processus que d'indices car la diagonalisation d'une matrice NxN aboutit à N vecteurs propres mais l'on fait le choix de se limiter aux 3 vecteurs propres qui totalise plus de 90% de l'inertie de l'historique (somme des valeurs propres des trois vecteurs propres > 90% de la volatilité totale).

- Récupération des taux historiques (Eonia, Euribor, Swaps, Swaps inflation, Inflation) depuis 1998. L'intégralité de ces taux est disponible à partir de 2004.

- On dispose alors d'une matrice de taux historique : cette matrice contient en colonne les indices (swaps, ...) et en ligne le pas de temps. Une ligne correspond à un mois. On a donc la valeur de chaque indice pour chaque mois.

- On réalise une ACP (Analyse en composantes principales) sous SAS. On a décidé de retenir les 3 premiers axes qui représentent environ 99% de l'inertie totale (valeurs propres/total valeurs propres)

La matrice des taux historiques, notée R, est représentée ainsi :

$$R = \begin{pmatrix} eonia\_1 & \cdots & infl\_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ eonia\_n & \cdots & infl\_n \end{pmatrix}$$

Cette matrice comporte n lignes, qui correspondent au nombre de mois sur lesquels porte notre historique (nous avons ici extrait un historique sur 131 mois). En colonnes, elle comporte le nombre d'indices de taux considérés, ici 59.

- La matrice obtenue par ACP est notée X, et la matrice de passage associée est notée P, elle est carrée. Lorsqu'on multiplie X.P, on obtient exactement la matrice de taux initiale notée R. L'ACP sert à n'utiliser que 2 ou 3 axes de X afin de simuler la matrice R finale. C'est-à-dire que si, à la base, X est une matrice (n,k) et P une matrice carrée (k, k) alors R est (n, k). Avec l'ACP, en faisant X(n,3).P(3,k) (nos 3 colonnes de X retenues et les 3 premières lignes de la matrice de passage) on a donc une matrice R\_approchee(n, k) qui sera de même taille que R et très proche de R.

Schéma de l'approche de R :

$$\begin{array}{ccc}
 R & \xrightarrow{P_{(k,k)}^t} & X \\
 & \downarrow & \\
 R_{app} & \xleftarrow{P_{(3,k)}} & X_{app} = X_{(n,3)}
 \end{array}$$

- On note  $V(R)$  la matrice de variance-covariance de  $R$ .  $V(R)$  est SDP (symétrique définie positive) par définition, donc elle se décompose de manière unique en  $t(P).D.P$  ( $t(P)=P^t$  est la transposée de  $P$ ,  $D$  est diagonale).

On a  $X = R \cdot P^t$ , donc on a :  $V(X) = P.V(R).P^t = P \cdot P^t \cdot D \cdot P \cdot P^t = D$

$V(X)$  est ainsi diagonale, donc les  $X$  ne sont pas corrélés entre eux.

- Plus exactement, on a réalisé 3 ACP : 1 portant sur tous les indices, 1 sur tous les indices sauf les swaps inflation, 1 sur uniquement les swaps inflation et l'inflation. On observe que les swaps inflation sont corrélés entre eux, mais trop peu corrélés aux autres indices pour être pertinemment restitués à la suite de l'ACP. Il est donc plus judicieux de les traiter à part. Par contre les résultats obtenus sur les autres taux, qu'on utilise les résultats de la 1ère ou de la 2ème ACP, sont très fortement similaires. Le code SAS utilisé pour réaliser une ACP est en annexes.

On a donc gardé l'ACP réalisée uniquement sur les taux, et celle uniquement sur les swaps inflation. Cependant les swaps et swaps inflation sont corrélés entre eux. On ne peut donc pas effectuer ces 2 ACP de manière indépendante. On réalise donc une ACP sur ces 2 ACP, plus exactement sur les 3 premiers axes de chacune des 2 ACP. Autrement dit, cela fait 6 axes, avec une matrice de passage de taille 6\*6.

- On a retenu les 6 premiers axes qui seront notés  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ .

On a  $X_i = (X_{t,i})_{1 \leq t \leq p}$  où  $p$  est le nombre de simulations.

Notre but va être de simuler ces diffusions, puis de réaliser  $X.P$ , avec  $X$  qui a 6 colonnes et  $P$  avec 6 lignes.  $P$  ne change pas, c'est la matrice de passage historique.

## b. Modélisation des processus aléatoires

- > Il est possible de démontrer que les trois processus aléatoires décrivent les mouvements de translation, de pentification et de courbure de la courbe des taux. La modélisation de ces trois processus ainsi que leur recombinaison permet ainsi de simuler un panel plus riche de déformation de la courbe des taux (simulations plus réalistes en ligne avec les observations historiques).
- > Le premier processus (inertie la plus forte) qui décrit un mouvement de translation de la courbe est modélisé par un processus GARCH afin de mieux reproduire la dynamique de la volatilité des taux (cluster de volatilité, autocorrélations).
- > Les deux autres processus sont décrits par des modèles gaussiens.

Pour cette ACP (sur les 2 ACP), les deux premiers axes représentent près de 90% de l'inertie totale. Les quatre autres axes peuvent ainsi être approchés avec des lois normales. ( $dX_{t,i} = \sigma \cdot dW_{t,i} \implies X_{t,i} = X_{t-1,i} + \sigma \cdot N(0,1)$ ) où  $W_{t,i}$  est un mouvement brownien

- Le premier axe semble pouvoir être simulé par un Vasicek  
 $dX_{t,1} = a(b - X_{t,1}) + \sigma dW_{t,1}$  (où  $b$  est la moyenne,  $a$  est la vitesse de retour à la moyenne et  $\sigma$  la volatilité de  $X_{t,1} - X_{t-1,1}$ )

Cependant ce modèle ne fonctionne pas correctement pour l'ACP, c'est à dire qu'on n'a pas la moyenne =  $b$  pour un certain nombre de simulations.

- A cause d'une certaine auto-régression nous avons alors modélisé un GARCH(1,1) à la place du modèle Vasicek, pour la première colonne de chacune des ACP réalisées.

$$\begin{aligned}X_{t,1} &= a.X_{t-1,1} + b + \varepsilon_t \\ \varepsilon_t &= \sqrt{h_t} \cdot e_t \text{ où } e_t \text{ est } N(0,1) \\ h_t &= w + c.\varepsilon_{t-1}^2 + d.h_{t-1}\end{aligned}$$

Le paramètre  $a$  est très proche de 1 ( $\approx 1.007$ ) or l'espérance de  $X$  pour un tel modèle GARCH ne converge pas, ce qui conduit à une espérance non réaliste, et non réalisée par les simulations.

C'est pourquoi on modélise un GARCH(1,1) sur  $\Delta X_1$ , où  $(\Delta X_1)_t = X_{t,1} - X_{t-1,1}$  : c'est la différence de  $X_1$  et  $X_1$  décalé de 1 pas de temps.

On simule  $X_1$  par  $X_{t,1} = X_{t-1,1} + (\Delta X_1)_t$

On fait de même pour  $X_2$ .

Ensuite,  $X_3, X_4, X_5, X_6$  sont modélisés ainsi :  $dX_{t,i} = \sigma \cdot dW_{t,i} \implies X_{t,i} = X_{t-1,i} + \sigma \cdot N(0,1)$  où  $\sigma$  est la variance de l'accroissement de  $X_i$  sur un pas de temps.

Pour  $\Delta X_1$ ,  $a=0.3077$ ,  $b=-0.0932$ ,  $w=0.6502$ ,  $c=0.6792$ ,  $d=0.2478$  (donc  $c+d < 1$ )

-Une fois ces diffusions modélisées, on les multiplie par la matrice de passage issue de l'ACP sur l'ACP : elle est de taille 6\*6. On obtient donc 6 nouvelles diffusions, les 3 premiers axes pour les taux, suivis de nos 3 premiers axes pour l'inflation, dans cet ordre.

-Après cela, on fait le produit  $X.P$  où on a  $X(p,3)$  et  $P(3,k)$ , pour chacun des triplets d'axes retenus. Ici les 2 matrices de passage  $P$  sont les matrices obtenues lors des premières ACP (uniquement sur les taux puis uniquement sur l'inflation)

$p$  est le nombre de simulations désiré, donc le nombre de mois de simulation en période mensuelle.  $k$  est le nombre d'indices qu'on souhaite et sur lesquels on a fait l'ACP (Eonia, ...).  $R$  obtenue est donc  $R(p,k)$

La première colonne de la matrice obtenue correspond au premier indice dans la matrice de taux utilisée pour l'ACP. (ie Eonia pour 1 des ACP et Swap inflation 1an pour l'autre)

Concrètement, on regroupe les 2 matrices qu'on obtient après multiplication par les 2 matrices de passage, et on retrouve une matrice de taux avec le nombre d'indices présents au départ. Le nombre de lignes correspond au nombre de mois sur lesquels on veut nos prévisions.

### c. Calibrage du moteur sur un scénario central

- > Le moteur est construit pour fournir des trajectoires dont la moyenne est la courbe de taux spot.
- > Un mécanisme de recentrage permet ensuite de construire des trajectoires qui convergent en moyenne vers le scénario de taux central choisi.

Dans le modèle GARCH, la constante  $b$  entraîne après simulation des espérances de taux trop faibles par rapport à ce qu'on attend.

On note la matrice des prévisions de Natixis  $R_{Nat}$ .

On a  $R = X.P$ ,  $X(p,3)$  et  $P(3,k)$ , comme tous les termes de la première ligne de  $P$  sont positifs, si  $X_{t1}$  est trop peu élevé alors  $E(R_{sim}) < E(R_{Nat})$  (Espérance des colonnes)

Afin de remédier à cela, soit on calibre le  $b$  pour que  $E(R_{sim}) = E(R_{Nat})$ , mais dans ce cas il faudrait un  $b$  différent pour chaque temps de simulation différent, ainsi qu'une ordonnée à l'origine différente.

C'est pourquoi on utilise une autre méthode. On souhaite obtenir la même espérance que les prévisions de Natixis. Pour cela on choisit  $b=0$ , ce qui conduit à  $E(\Delta X_1) \approx b/(1-a)=0$ , pour tout  $t$ , qui est constant, (voir annexes pour le calcul de l'espérance)

$\implies E(X_1)_t = (X_1)_1 + E(\Sigma(\Delta X_1)) \approx (X_1)_1 = \text{constante}$  puis  $E(X_2)_t = (X_2)_1 + t \cdot \sigma \cdot E(N(0,1)) = (X_2)_1 = \text{constante}$  et  $E(X_3)_t = (X_3)_1 = \text{constante}$

Donc quand on effectue le produit matriciel  $X.P$ , on observe que  $E(R_{t,h}) = R_{1,h}$ , où  $R_{t,h}$  est un réel, c'est le réel de la matrice situé à la ligne  $t$  et colonne  $h$ , pour  $t = 1, \dots, p$  et  $h = 1, \dots, k$



On note  $R_1 = [R_{11} \ R_{12} \ \dots \ R_{1k}]$ , d'où on obtient :

$$E(R_{obtenue}) = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_1 \\ \vdots \\ R_1 \end{pmatrix}$$

En notant la matrice des prévisions de Natixis  $R_{Nat}$ , et  $R_{esp} = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_1 \\ \vdots \\ R_1 \end{pmatrix}$

on effectue  $R_{sim} = R_{obtenue} + R_{Nat} - R_{esp}$ ,

cela donne  $E(R_{sim}) = E(R_{obtenue}) + E(R_{Nat}) - E(R_{esp}) = E(R_{Nat})$  car  $E(R_{obtenue}) = E(R_{esp})$

Ainsi on garde nos variations basées sur l'historique, tout en ayant une espérance basée sur les prévisions économiques futures.

De plus on a vérifié que la corrélation historique des indices est similaire à la corrélation estimée par Natixis, ce qui permet à nos simulations de rester cohérentes.

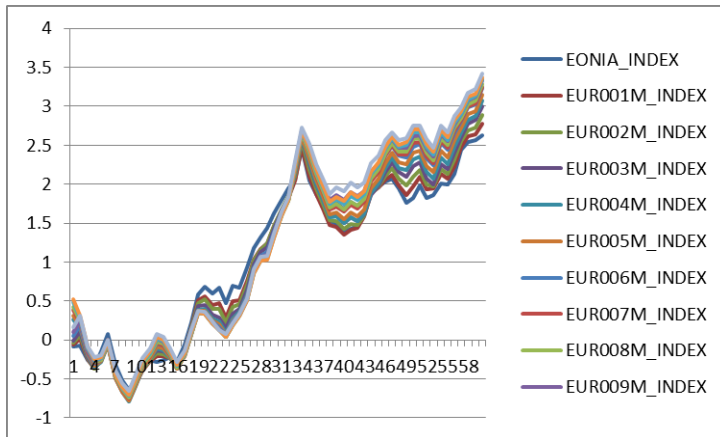
#### **d. Utilisation du moteur de diffusion**

- > Données en entrée : Le scenario de taux central – l'ensemble des prévisions par indice. Il s'agit d'une matrice, une colonne étant un indice et une ligne étant une date d'observation en pas mensuel.
- > Données en sortie : La matrice des trajectoires de taux – Une simulation correspond à une matrice de la taille du scenario central. La sortie est un empilement de trajectoires (NB : une trajectoire est une matrice). Le nombre de trajectoires est paramétrable par l'utilisateur.
- > Les indices simulés sont : EONIA, CMS1,..., CMS30Y, EUR1M, ..., EUR12M, FRSW11Y,..., FRSW120Y, INFLATION

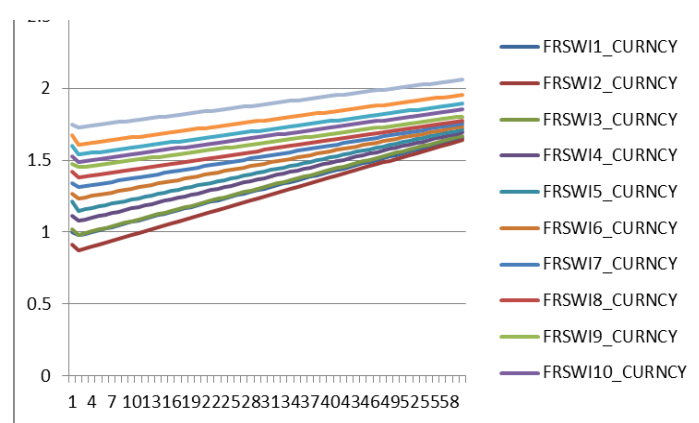
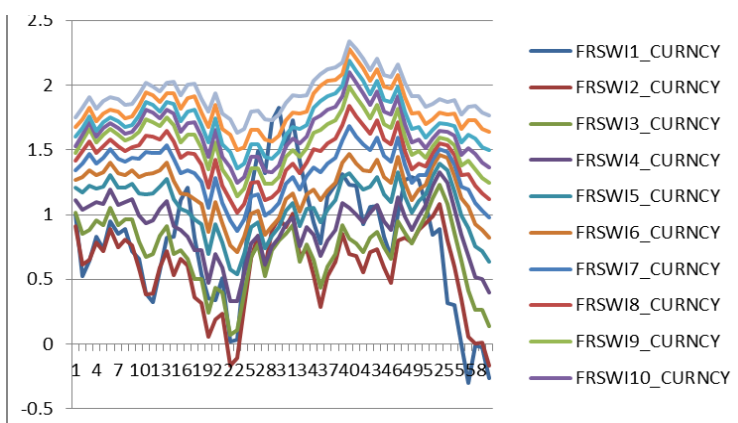
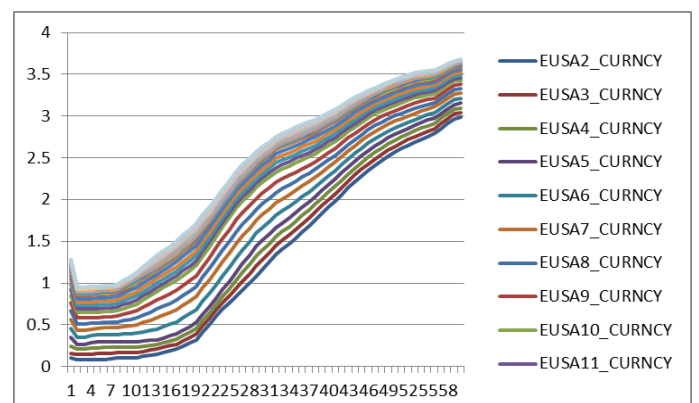
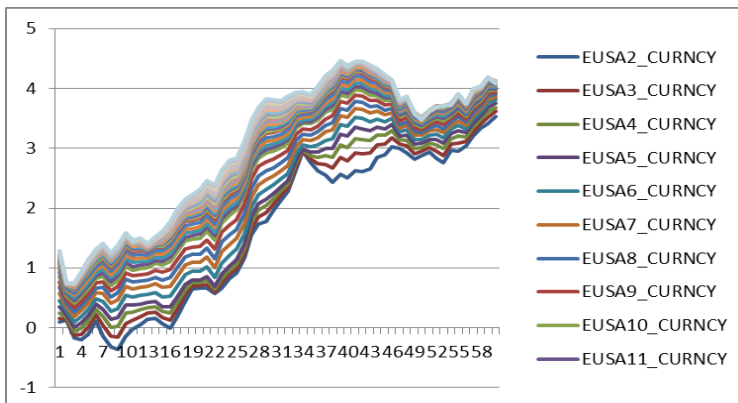
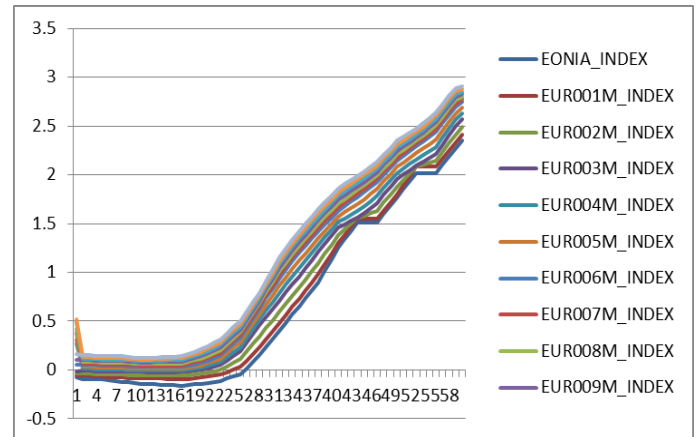
J'ai construit un fichier Excel permettant de lancer des simulations et d'obtenir l'intégralité des taux, pour la durée souhaitée (nous utilisons actuellement des simulations sur 5 ans)

En abscisse, il y a le temps et en ordonnée il y a le taux.

## Une simulation



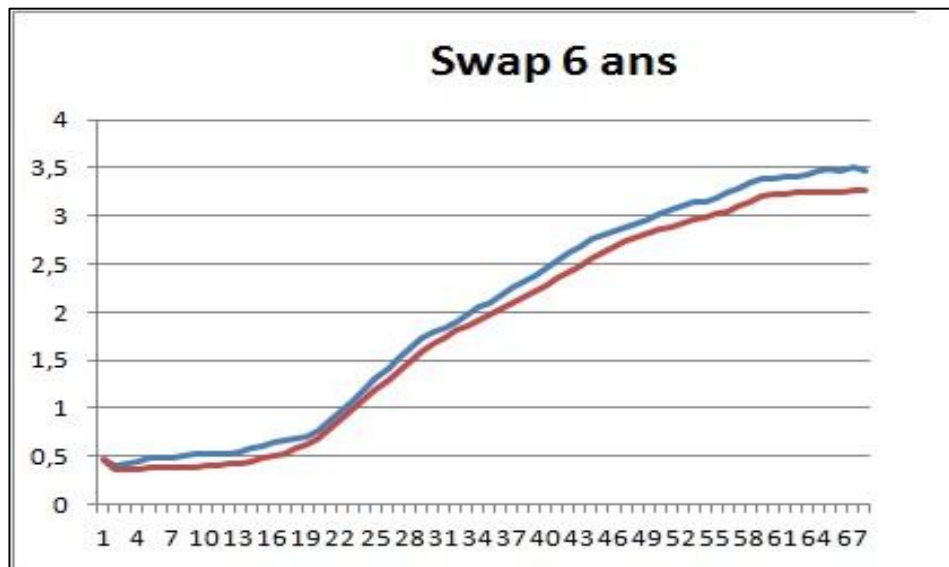
## Scénario central de Natixis



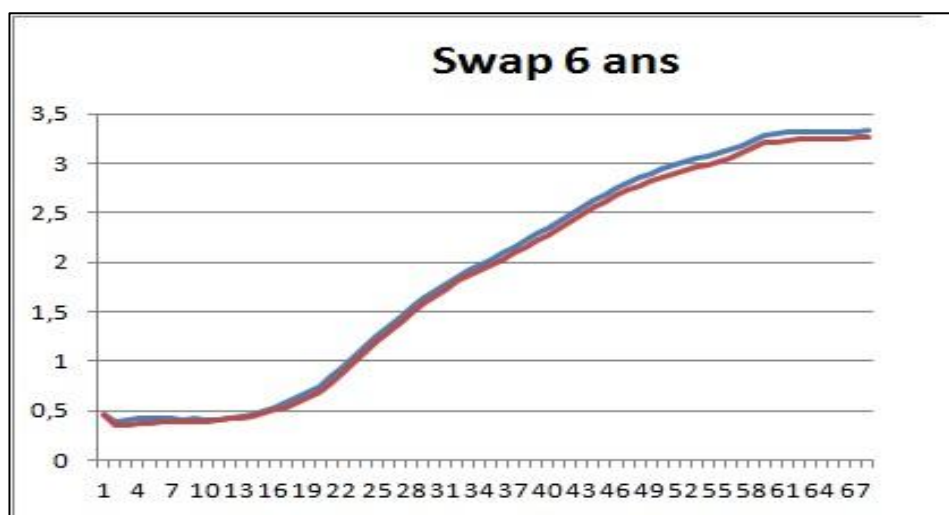
On observe que sur une simulation, la corrélation entre les indices est conservée.

J'ai aussi codé un programme qui permet de calculer la moyenne de chaque indice pour chaque pas de temps, sur le nombre de simulations voulues. Le but est de vérifier que les simulations ont pour espérance le scénario central, par méthode de Monte-Carlo.

En rouge le scénario central et en bleu la moyenne des simulations :  
Pour N = 100 simulations



Pour N = 1000 simulations



## **2. Application au calcul de la provision épargne logement**

Ceci constitue mon deuxième sujet. On dispose d'un modèle pour les PEL (Plan Epargne Logement), permettant de déterminer l'encours futur, en modélisant le nombre de comptes (en calculant le taux de clôture) et le versement moyen par compte. Ce modèle permet aussi de générer le taux de provision à fournir à chaque établissement du groupe.

### **a. Le plan épargne logement**

Le PEL est un compte bancaire qui permet une phase d'épargne de 10 ans à un taux fixe déterminé à l'ouverture du contrat. Ce placement est caractérisé par un versement mensuel minimum obligatoire et la possibilité d'effectuer des versements additionnels. Au-delà de 10 ans, il n'est plus possible d'effectuer des versements. La phase d'épargne permet d'accumuler des droits à prêt et une prime d'État pour le financement d'un bien immobilier à un taux déterminé à la signature du contrat. La durée minimale de souscription d'un PEL est de 4 ans. Entre 4 ans et 10 ans, les droits à prêts sont ceux acquis à la date anniversaire précédente. La rémunération du PEL est défiscalisée sur les 12 premières années puis est imposée au-delà de cet horizon. Il n'est pas possible d'effectuer des retraits partiels mais le compte peut être clôturé à tout moment avec toutefois de potentielles pénalités. Si le compte est clôturé avant le 4<sup>ème</sup> anniversaire, les droits à prêt peuvent être perdus et la rémunération du PEL peut être recalculée sur base d'un taux moins avantageux.

L'épargne-logement comporte des options cachées : possibilité de clôture, de retrait, de dépôt et d'exercice de droit à prêt. Les établissements du Groupe doivent faire face à leurs engagements à taux fixe déterminés à la signature du contrat sur une durée inconnue et sur des montants inconnus. Il faut donc provisionner les conséquences défavorables des engagements contractuels qui dépendent de l'évolution des taux mais aussi des caractéristiques comportementales des clients.

### **b. La provision épargne logement (textes réglementaires)**

Le texte réglementaire du Conseil National de la Comptabilité (CNC) établit que la provision épargne-logement doit être constituée à hauteur des résultats futurs prévisionnels actualisés sur un horizon de 20 ans. Les résultats futurs sur les encours en risque peuvent être estimés en multipliant le montant de ces encours par la différence entre les taux de la génération considérée et les taux de référence offerts à la clientèle particulière dans le futur. Pour les PELs, il a été déterminé que le taux de référence futur dépend du taux de marché du SWAP 5 ans contre EURIBOR 6M dans le futur.

D'après la réglementation, le montant des encours futurs doit être déterminé sur base de la modélisation du comportement futur des clients qui doit reposer sur des observations passées du comportement de l'ensemble des souscripteurs.

Le texte du CNC stipule également que les provisions doivent être calculées sur chaque génération de PEL sans compensation possible entre les engagements relatifs à différentes générations de PEL. De plus, les provisions réglementaires ne portent que sur les PELs existant à la date de calcul de la provision sans prise en compte de la production nouvelle future.

### c. Le calcul interne

Les PELs sont répartis par strates qui regroupent des PELs du même réseau, de même génération et de même date d'ouverture. L'outil calcule des trajectoires d'encours en risque par strate de PELs.

Sur la phase épargne, l'encours probable est fonction des versements et des taux de clôture probables qui sont estimés sur la base d'un modèle comportemental qui dépend principalement de l'âge projeté des PELs et du différentiel entre le taux de rendement du PEL projeté et le taux de marché projeté d'un placement équivalent.

Sur la phase crédit, les conversions (ou exercice des droits à prêt) dépendent du différentiel entre le taux de prêt du PEL et les taux de marché.

Le modèle a été défini sur base d'analyses statistiques et économétriques de données clientèle

Le modèle de taux présenté plus haut intervient donc au moment du différentiel de taux de marché. En effet le taux de référence est le swap 5 ans, que nous simulons avec notre modèle.

#### Test de provision :

On obtient la provision épargne logement en utilisant un outil c++, que j'ai dû comprendre et réussir à utiliser.

Pour cela j'ai lancé 1000 simulations, sur un horizon de 5 ans, avec le moteur de diffusion de taux. J'ai ensuite récupéré les résultats de ces simulations, uniquement pour le swap 5 ans, car ici les autres taux ne nous intéressent pas. Enfin j'ai utilisé ce fichier comprenant les simulations, dans le code c++. Il faut ensuite vérifier que ces taux de provision sont cohérents par rapport aux taux calculés le trimestre précédent.

d. Résultats au 30/09/2015

On obtient un fichier texte nous donnant les taux de provision (colonne de droite) qui coïncident avec les générations de PEL considérées (colonne de gauche). On a aussi le numéro de la trajectoire donnant le quantile à 80%.

taux de provision total par génération de PEL (Epargne et Credit confondus)	
Generation	taux_prov quantile 80%
2	2.43%
2.5	1.40%
3.5	1.10%
4.5	1.52%
3.6	2.36%
4	2.52%
4.25	2.61%
5.25	3.51%
6	3.87%
Anciens	4.50%
taux de provision epargne par génération de PEL	
Generation	taux_prov quantile 80%
2	0.027022527
2.5	0.015142309
3.5	0.011895148
4.5	0.015222301
3.6	0.023633159
4	0.025155758
4.25	0.026132116
5.25	0.03514328
6	0.038664479
Anciens	0.045046138
taux de ProvCredit total par génération de PEL	
Generation	taux_ProvCredit quantile 80%
2	-0.002712825
2.5	-0.001163375
3.5	-0.000881084
4.5	-2.64E-05
3.6	-2.53E+06
4	0
4.25	0
5.25	0
6	0
Anciens	0
Numéro de la trajectoire donnant le quantile	
Generation	Numero
2	294
2.5	969
3.5	901
4.5	638
3.6	749
4	180
4.25	754
5.25	76
6	159
Anciens	925

Ensuite je récupère les taux de provisions totaux, que j'écris dans un fichier excel comprenant les encours de PEL de chaque établissement. Ce fichier nous donne au final un taux de provision pour chacun des établissements du groupe.

On remarque pour les PEL:

#### **Un effet volume**

Plus l'encours croît, plus l'exposition au risque augmente, plus il faut de provisions.

#### **Un effet structure**

Plus le taux de rémunération de la génération PEL est élevé, plus l'écart avec les conditions de marché risque d'être élevé, et plus il faut provisionner

Ainsi la répartition des encours par génération influe sur le niveau de provisions d'autant que le CNC recommande un calcul de la provision par génération de PEL.

#### **Un effet taux**

L'évolution des taux de marché et de l'épargne influent sur le comportement des clients. La commercialisation à des taux hors marché entraîne une perte à provisionner. La variation des taux influe donc sur l'évolution de cette perte

L'écart entre les taux de PEL et le taux swap 5 ans est donc très important dans le modèle. Plus le taux du swap sera bien prévu, plus le modèle pourra être performant.

### **3. Test du modèle des PEL sur l'encours**

Ceci est le sujet que je traite actuellement. On souhaite s'assurer que ce modèle, utilisé pour le calcul de la provision mais aussi pour le calcul de l'encours total, est cohérent.

#### Test de l'encours total :

J'ai déjà récupéré les données des comptes de plan épargne logement, des caisses d'épargne et des banques populaires. Cela représente plusieurs millions de contrats, et pour chaque contrat sa date d'ouverture, le versement mensuel, date de clôture, ...

Je travaille avec SAS pour gérer ces bases de données. Mon premier travail a été de nettoyer ces tables des données incohérentes. J'ai donc vérifié la continuité du nombre de comptes, de l'encours (il ne doit pas y avoir de saut brusque), que les versements mensuels sont supérieurs à 45 euros, qu'il n'y a pas de versement pour les PEL de plus de 10 ans, ou qu'il n'y a pas de retrait partiel d'encours sur un compte (ce qui n'est pas possible sur les PEL). Ces tests sont importants et nécessitent de retirer de nombreux comptes de l'historique car ces tables de données comportent des soucis, parfois nombreux.

Ensuite, il s'agit de tester le modèle pour une période donnée. Il a été testé pour la dernière fois à la fin 2013. On doit donc le tester pour les données de 2013 à 2015.

Le modèle se décompose en deux parties : une partie prévoyant le versement moyen par compte, et une partie prévoyant le nombre de comptes à chaque mois.

J'ai ainsi vérifié que ces deux « parties » sont bien modélisées : il s'agit d'abord de tester le modèle de versement, en comparant le versement moyen observé et celui modélisé. Puis on regarde l'encours total en utilisant le taux de clôture observé et le versement moyen modélisé, et on le compare à l'encours observé.

Ensuite on teste le modèle de taux de clôture des comptes de manière analogue.  
Enfin on utilise le versement modélisé et le taux de clôture modélisé pour obtenir l'encours modélisé, et le comparer aux observations.



## **IV. Bilan du stage**

### **1. Apports professionnels**

J'ai eu l'occasion de travailler au sein d'une équipe de taille réduite (nous sommes 4), ce qui permet plus facilement l'échange de données. De nombreux sujets sont traités par cette équipe, et il est intéressant que l'on soit autonome dans l'élaboration des modèles. L'équipe est assez libre de ses choix, tant que les résultats sont cohérents et validés par les comités.

Ce que j'ai aussi trouvé très intéressant est le travail transverse des équipes au sein de l'ALM. En effet plusieurs équipes du département de l'ALM peuvent travailler sur un même sujet. Par exemple pour un projet sur le livret A, l'équipe de risque de taux et l'équipe reporting sont aussi mises à contribution.

J'ai pu découvrir le fonctionnement d'une banque, de plus BPCE est le 2<sup>e</sup> groupe bancaire français, ce qui permet de voir les méthodes de la finance qui sont à la pointe.

Enfin j'ai découvert la notion d'ALM, qui est une notion de plus en plus utilisée, surtout depuis la crise de 2008. Cela ouvre des débouchés intéressants et l'ALM connaît un fort développement, aussi bien humain que technique.

### **2. Bilan du stage**

#### **a. Compétences acquises**

Durant ce stage, j'ai notamment appris à travailler avec SAS (Statistical Analysis System). Je ne connaissais pas du tout ce logiciel, j'ai donc dû m'y adapter, comprendre les codes déjà développés puis écrire des codes. Ce logiciel est l'un des seuls capable de gérer une grande quantité de données et de lancer des procédures en un temps relativement court. Il peut collecter des informations, quelles que soient leurs sources de données ou leurs formats. Il permet aussi de générer des graphiques et d'effectuer des traitements statistiques classiques, de modélisation, de prévision.

J'ai aussi beaucoup utilisé Excel et VBA. La plupart des fichiers utilisés par les équipes au sein de la banque sont des fichiers Excel, qui possèdent souvent de nombreux codes VBA visant à automatiser les traitements des fichiers. Il faut donc maîtriser de nombreuses fonctions disponibles sous Excel, mais aussi savoir s'approprier les codes existants, et en proposer de nouveaux.

Les travaux menés par l'équipe sont tous audités, il faut donc rédiger des notes pour chaque modèle et les fichiers joints. J'ai aussi eu à rédiger des powerpoint, qui sont utilisés afin de présenter les travaux réalisés devant les comités du groupe.

J'ai pu utiliser la méthodologie vue en école d'ingénieurs pour construire un modèle : analyse, expertise et proposition du modèle puis back test.

## **b. Axes de progression et difficultés rencontrées**

Je suis arrivé dans un milieu que je ne connaissais pas du tout avant : l'ALM.

J'ai encore beaucoup de choses à apprendre à ce propos, car il y a encore un certain nombre de termes employés lors de réunions ou de comités que je ne connais toujours pas.

Ma connaissance des modèles mathématiques est encore trop peu développée pour que je puisse proposer des modèles qui conviendraient à des sujets de la gestion actif passif.

Cependant je vais avoir l'occasion de rencontrer de plus en plus de modèles déjà développés par l'équipe, ce qui va me permettre de connaître plusieurs modèles.

En ce qui concerne le back test, il n'a pas été facile d'utiliser les tables de données. En effet elles comportent des problèmes dans leurs données, elles sont très volumineuses. De plus elles ne contiennent pas toutes les mêmes données pour des banques différentes, et ces données ne sont pas forcément au même format non plus. Il y a donc un important travail de nettoyage de données à effectuer avant d'être en mesure de lancer les tests.

## Bibliographie :

<http://www.economie.gouv.fr/facileco/comptes-dune-banque>

<http://www.bpce.fr>

<http://www.finkeys.com/image/alm.pdf>

<http://ielpo.ensae.net/ALM.pdf>

[http://www.cbanque.com/ rubrique placement/PEL\\_plan-epargne-logement et placement/](http://www.cbanque.com/rubrique%20placement/PEL_plan-epargne-logement%20et%20placement/)

<http://perso.univ-lille3.fr/~cfrancq/Christian-Francq/cours-GARCH-ENSAE/poly09.pdf>

<http://www.univ-evry.fr/modules/resources/download/default/m2if/priauley/S3.pdf>

## Annexes

### Vasicek - régression

En première approche, on a utilisé un modèle de Vasicek afin de modéliser  $X_{t,1}$  issu de l'ACP.

Rappel Vasicek :  $dX_t = a(b - X_t) + \sigma dW_t$

Solution exacte :

$$X_{t,1} = X_{1,1} \exp(-a \cdot t) + b(1 - \exp(-a \cdot t)) + \sigma \cdot \exp(-a \cdot t) \int_0^t \exp(a \cdot s) dW_s$$

On a en espérance :

$$E(X_{t,1}) = E(X_{1,1} \exp(-a \cdot t) + b(1 - \exp(-a \cdot t))) = X_{1,1} \exp(-a \cdot t) + b(1 - \exp(-a \cdot t))$$

$\xrightarrow{t \rightarrow \infty} b$  qui est la moyenne dans le modèle

Solution pour les simulations :

$$X_{t,1} = X_{t-1,1} \cdot e^{-a \delta} + b(1 - e^{-a \delta}) + \sigma \cdot \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot e^{-2a \delta}}{2a}} \cdot \varepsilon$$

Où  $\varepsilon \sim N(0,1)$  et où  $\delta$  est le pas de discrétisation.

Pour trouver les coefficients  $a$ ,  $b$  et  $\sigma$  on doit faire une régression sur la série des  $X_i$  décalée de 1 pas de temps par rapport à la série des  $X_i$ . On a  $X_{t,i} = \alpha + \beta \cdot X_{t-1,i} + \sigma_1 \cdot \varepsilon$  ( $\varepsilon$  est le résidu de  $X_i$  -  $X_{i\_obtenu\_par\_regression}$  : càd  $X_{i\_obtenu\_par\_regression} = \alpha + \beta \cdot X_{t-1,i}$ ).

$$\beta = e^{-a\delta}$$

$$\alpha = b(1 - e^{-a\delta})$$

On identifie :

$$\sigma_1^2 = \sigma^2 * \left( \frac{1 - e^{-2a\delta}}{2a} \right)$$

et donc :

$$a = -\delta * \ln(\beta)$$

$$b = \frac{\alpha}{1 - \beta}$$

$$\sigma = \sigma_1 * \sqrt{\frac{2a}{1 - \beta^2}}$$

### Calcul de l'espérance

On souhaite calculer  $E((\Delta X_1)_t)$

On a  $(\Delta X_1)_t = a.(\Delta X_1)_{t-1} + \varepsilon_t + b$  donc

$E(\Delta X)_t = E(a.(\Delta X_1)_{t-1}) + E(\varepsilon_t) + E(b) = a.E((\Delta X_1)_{t-1}) + 0 + b$  par linéarité de l'espérance et  $\varepsilon_t$  est de moyenne nulle.

Comme  $|a| < 1$ , l'espérance converge vers  $E^*$ , où  $E^*$  vérifie :

$E^* = a.E^* + b$  d'où  $E^* = b/(1-a)$

Plus exactement on a :

$$(\Delta X_1)_t = a.(\Delta X_1)_{t-1} + \varepsilon_t + b$$

$$(\Delta X_1)_t = a.(a.(\Delta X_1)_{t-2} + \varepsilon_{t-1} + b) + \varepsilon_t + b$$

$$(\Delta X_1)_t = a^2.(\Delta X_1)_{t-2} + a.\varepsilon_{t-1} + a.b + \varepsilon_t + b$$

...

$$\Delta X_t = a^t . \Delta X_1 + b \sum_{k=1}^{t-1} a^k + \sum_{k=1}^{t-1} a^k \varepsilon_{t-k}$$

Donc  $E((\Delta X_1)_t) = a^t.(\Delta X_1)_1 + b.(1 - a^t)/(1 - a) \rightarrow b/(1 - a)$  lorsque  $t$  tend vers l'infini (car  $a < 1$ )

## Codes pour l'ACP (en SAS)

EUR001M = Euribor 1 mois

EUSA = Swap

FRSWI = Swap inflation

```
libname malib "D:\Stockage\CAUDRON";
```

```
proc import datafile="D:\Stockage\CAUDRON\Historiques Index.xls"
out = malib.historique dbms=xls replace;
getnames=yes;
run;
```

```
data histo;
set malib.historique;
run;
```

```
/*on recupere les colonnes qui nous interessent a partir de l'historique*/
data malib.histo2(keep=EONIA_INDEX EUR001W_INDEX EUR002W_INDEX EUR001M_INDEX
EUR002M_INDEX EUR003M_INDEX EUR004M_INDEX
EUR005M_INDEX EUR006M_INDEX EUR007M_INDEX EUR008M_INDEX EUR009M_INDEX
EUR010M_INDEX EUR011M_INDEX EUR012M_INDEX
EUSA1_CURRENCY EUSA2_CURRENCY EUSA3_CURRENCY EUSA4_CURRENCY EUSA5_CURRENCY
EUSA6_CURRENCY EUSA7_CURRENCY EUSA8_CURRENCY EUSA9_CURRENCY EUSA10_CURRENCY
EUSA11_CURRENCY EUSA12_CURRENCY EUSA13_CURRENCY EUSA14_CURRENCY EUSA15_CURRENCY
EUSA16_CURRENCY EUSA17_CURRENCY EUSA18_CURRENCY EUSA19_CURRENCY EUSA20_CURRENCY
EUSA21_CURRENCY EUSA22_CURRENCY EUSA23_CURRENCY EUSA24_CURRENCY EUSA25_CURRENCY
EUSA26_CURRENCY EUSA27_CURRENCY EUSA28_CURRENCY EUSA29_CURRENCY EUSA30_CURRENCY
FRSWI1_CURRENCY FRSWI2_CURRENCY FRSWI3_CURRENCY FRSWI4_CURRENCY FRSWI5_CURRENCY
FRSWI6_CURRENCY FRSWI7_CURRENCY FRSWI8_CURRENCY FRSWI9_CURRENCY FRSWI10_CURRENCY
FRSWI12_CURRENCY FRSWI15_CURRENCY FRSWI20_CURRENCY) ;
set histo;
run;
```

```
/*procedure ACP*/
proc princomp data = malib.historique
out = B outstat = C COV ;
var EONIA_INDEX EUR001W_INDEX EUR002W_INDEX EUR001M_INDEX EUR002M_INDEX
EUR003M_INDEX EUR004M_INDEX
EUR005M_INDEX EUR006M_INDEX EUR007M_INDEX EUR008M_INDEX EUR009M_INDEX
EUR010M_INDEX EUR011M_INDEX EUR012M_INDEX
EUSA1_CURRENCY EUSA2_CURRENCY EUSA3_CURRENCY EUSA4_CURRENCY EUSA5_CURRENCY
EUSA6_CURRENCY EUSA7_CURRENCY EUSA8_CURRENCY EUSA9_CURRENCY EUSA10_CURRENCY
EUSA11_CURRENCY EUSA12_CURRENCY EUSA13_CURRENCY EUSA14_CURRENCY EUSA15_CURRENCY
EUSA16_CURRENCY EUSA17_CURRENCY EUSA18_CURRENCY EUSA19_CURRENCY EUSA20_CURRENCY
EUSA21_CURRENCY EUSA22_CURRENCY EUSA23_CURRENCY EUSA24_CURRENCY EUSA25_CURRENCY
EUSA26_CURRENCY EUSA27_CURRENCY EUSA28_CURRENCY EUSA29_CURRENCY EUSA30_CURRENCY
FRSWI1_CURRENCY FRSWI2_CURRENCY FRSWI3_CURRENCY FRSWI4_CURRENCY FRSWI5_CURRENCY
FRSWI6_CURRENCY FRSWI7_CURRENCY FRSWI8_CURRENCY FRSWI9_CURRENCY FRSWI10_CURRENCY
FRSWI12_CURRENCY FRSWI15_CURRENCY FRSWI20_CURRENCY;
run;
```

```
/* On recupere les valeurs propres*/
data EONIA_INDEX(keep=EONIA_INDEX) EUR001W_INDEX(keep=EUR001W_INDEX)
EUR002W_INDEX(keep=EUR002W_INDEX) EUR001M_INDEX(keep=EUR001M_INDEX)
EUR002M_INDEX(keep=EUR002M_INDEX) EUR003M_INDEX(keep=EUR003M_INDEX)
EUR004M_INDEX(keep=EUR004M_INDEX) EUR005M_INDEX(keep=EUR005M_INDEX)
EUR006M_INDEX(keep=EUR006M_INDEX) EUR007M_INDEX(keep=EUR007M_INDEX)
```

```

EUR008M_INDEX(keep=EUR008M_INDEX) EUR009M_INDEX(keep=EUR009M_INDEX)
EUR010M_INDEX(keep=EUR010M_INDEX)
EUR011M_INDEX(keep=EUR011M_INDEX) EUR012M_INDEX(keep=EUR012M_INDEX)
EUSA1_CURRENCY(keep=EUSA1_CURRENCY) EUSA2_CURRENCY(keep=EUSA2_CURRENCY)
EUSA3_CURRENCY(keep=EUSA3_CURRENCY) EUSA4_CURRENCY(keep=EUSA4_CURRENCY)
EUSA5_CURRENCY(keep=EUSA5_CURRENCY) EUSA6_CURRENCY(keep=EUSA6_CURRENCY)
EUSA7_CURRENCY(keep=EUSA7_CURRENCY)
EUSA8_CURRENCY(keep=EUSA8_CURRENCY) EUSA9_CURRENCY(keep=EUSA9_CURRENCY)
EUSA10_CURRENCY(keep=EUSA10_CURRENCY) EUSA11_CURRENCY(keep=EUSA11_CURRENCY)
EUSA12_CURRENCY(keep=EUSA12_CURRENCY) EUSA13_CURRENCY(keep=EUSA13_CURRENCY)
EUSA14_CURRENCY(keep=EUSA14_CURRENCY) EUSA15_CURRENCY(keep=EUSA15_CURRENCY)
EUSA16_CURRENCY(keep=EUSA16_CURRENCY)
EUSA17_CURRENCY(keep=EUSA17_CURRENCY) EUSA18_CURRENCY(keep=EUSA18_CURRENCY)
EUSA19_CURRENCY(keep=EUSA19_CURRENCY) EUSA20_CURRENCY(keep=EUSA20_CURRENCY)
EUSA21_CURRENCY(keep=EUSA21_CURRENCY) EUSA22_CURRENCY(keep=EUSA22_CURRENCY)
EUSA23_CURRENCY(keep=EUSA23_CURRENCY) EUSA24_CURRENCY(keep=EUSA24_CURRENCY)
EUSA25_CURRENCY(keep=EUSA25_CURRENCY)
EUSA26_CURRENCY(keep=EUSA26_CURRENCY) EUSA27_CURRENCY(keep=EUSA27_CURRENCY)
EUSA28_CURRENCY(keep=EUSA28_CURRENCY) EUSA29_CURRENCY(keep=EUSA29_CURRENCY)
EUSA30_CURRENCY(keep=EUSA30_CURRENCY) FRSWI1_CURRENCY(keep=FRSWI1_CURRENCY)
FRSWI2_CURRENCY(keep=FRSWI2_CURRENCY) FRSWI3_CURRENCY(keep=FRSWI3_CURRENCY)
FRSWI4_CURRENCY(keep=FRSWI4_CURRENCY)
FRSWI5_CURRENCY(keep=FRSWI5_CURRENCY) FRSWI6_CURRENCY(keep=FRSWI6_CURRENCY)
FRSWI7_CURRENCY(keep=FRSWI7_CURRENCY) FRSWI8_CURRENCY(keep=FRSWI8_CURRENCY)
FRSWI9_CURRENCY(keep=FRSWI9_CURRENCY) FRSWI10_CURRENCY(keep=FRSWI10_CURRENCY)
FRSWI12_CURRENCY(keep=FRSWI12_CURRENCY) FRSWI15_CURRENCY(keep=FRSWI15_CURRENCY)
FRSWI20_CURRENCY(keep=FRSWI20_CURRENCY);
set c(where=(type="EIGENVAL"));
run;

/*fait une matrice diagonale a partir des valeurs propres*/
data malib.all;
set EONIA_INDEX EUR001W_INDEX EUR002W_INDEX EUR001M_INDEX EUR002M_INDEX
EUR003M_INDEX EUR004M_INDEX
EUR005M_INDEX EUR006M_INDEX EUR007M_INDEX EUR008M_INDEX EUR009M_INDEX
EUR010M_INDEX EUR011M_INDEX EUR012M_INDEX
EUSA1_CURRENCY EUSA2_CURRENCY EUSA3_CURRENCY EUSA4_CURRENCY EUSA5_CURRENCY
EUSA6_CURRENCY EUSA7_CURRENCY EUSA8_CURRENCY EUSA9_CURRENCY EUSA10_CURRENCY
EUSA11_CURRENCY EUSA12_CURRENCY EUSA13_CURRENCY EUSA14_CURRENCY EUSA15_CURRENCY
EUSA16_CURRENCY EUSA17_CURRENCY EUSA18_CURRENCY EUSA19_CURRENCY EUSA20_CURRENCY
EUSA21_CURRENCY EUSA22_CURRENCY EUSA23_CURRENCY EUSA24_CURRENCY EUSA25_CURRENCY
EUSA26_CURRENCY EUSA27_CURRENCY EUSA28_CURRENCY EUSA29_CURRENCY EUSA30_CURRENCY
FRSWI1_CURRENCY FRSWI2_CURRENCY FRSWI3_CURRENCY FRSWI4_CURRENCY FRSWI5_CURRENCY
FRSWI6_CURRENCY FRSWI7_CURRENCY FRSWI8_CURRENCY FRSWI9_CURRENCY FRSWI10_CURRENCY
FRSWI12_CURRENCY FRSWI15_CURRENCY FRSWI20_CURRENCY;

EONIA_INDEX=ifn(EONIA_INDEX=.,0,EONIA_INDEX);
EUR001W_INDEX=ifn(EUR001W_INDEX=.,0,EUR001W_INDEX);
EUR002W_INDEX=ifn(EUR002W_INDEX=.,0,EUR002W_INDEX);
EUR001M_INDEX=ifn(EUR001M_INDEX=.,0,EUR001M_INDEX);
EUR002M_INDEX=ifn(EUR002M_INDEX=.,0,EUR002M_INDEX);
EUR003M_INDEX=ifn(EUR003M_INDEX=.,0,EUR003M_INDEX);
EUR004M_INDEX=ifn(EUR004M_INDEX=.,0,EUR004M_INDEX);
EUR005M_INDEX=ifn(EUR005M_INDEX=.,0,EUR005M_INDEX);
EUR006M_INDEX=ifn(EUR006M_INDEX=.,0,EUR006M_INDEX);
EUR007M_INDEX=ifn(EUR007M_INDEX=.,0,EUR007M_INDEX);
EUR008M_INDEX=ifn(EUR008M_INDEX=.,0,EUR008M_INDEX);
EUR009M_INDEX=ifn(EUR009M_INDEX=.,0,EUR009M_INDEX);
EUR010M_INDEX=ifn(EUR010M_INDEX=.,0,EUR010M_INDEX);

```

```

EUR011M_INDEX=ifn(EUR011M_INDEX=.,0,EUR011M_INDEX);
EUR012M_INDEX=ifn(EUR012M_INDEX=.,0,EUR012M_INDEX);
EUSA1_CURRENCY=ifn(EUSA1_CURRENCY=.,0,EUSA1_CURRENCY);
EUSA2_CURRENCY=ifn(EUSA2_CURRENCY=.,0,EUSA2_CURRENCY);
EUSA3_CURRENCY=ifn(EUSA3_CURRENCY=.,0,EUSA3_CURRENCY);
EUSA4_CURRENCY=ifn(EUSA4_CURRENCY=.,0,EUSA4_CURRENCY);
EUSA5_CURRENCY=ifn(EUSA5_CURRENCY=.,0,EUSA5_CURRENCY);
EUSA6_CURRENCY=ifn(EUSA6_CURRENCY=.,0,EUSA6_CURRENCY);
EUSA7_CURRENCY=ifn(EUSA7_CURRENCY=.,0,EUSA7_CURRENCY);
EUSA8_CURRENCY=ifn(EUSA8_CURRENCY=.,0,EUSA8_CURRENCY);
EUSA9_CURRENCY=ifn(EUSA9_CURRENCY=.,0,EUSA9_CURRENCY);
EUSA10_CURRENCY=ifn(EUSA10_CURRENCY=.,0,EUSA10_CURRENCY);
EUSA11_CURRENCY=ifn(EUSA11_CURRENCY=.,0,EUSA11_CURRENCY);
EUSA12_CURRENCY=ifn(EUSA12_CURRENCY=.,0,EUSA12_CURRENCY);
EUSA13_CURRENCY=ifn(EUSA13_CURRENCY=.,0,EUSA13_CURRENCY);
EUSA14_CURRENCY=ifn(EUSA14_CURRENCY=.,0,EUSA14_CURRENCY);
EUSA15_CURRENCY=ifn(EUSA15_CURRENCY=.,0,EUSA15_CURRENCY);
EUSA16_CURRENCY=ifn(EUSA16_CURRENCY=.,0,EUSA16_CURRENCY);
EUSA17_CURRENCY=ifn(EUSA17_CURRENCY=.,0,EUSA17_CURRENCY);
EUSA18_CURRENCY=ifn(EUSA18_CURRENCY=.,0,EUSA18_CURRENCY);
EUSA19_CURRENCY=ifn(EUSA19_CURRENCY=.,0,EUSA19_CURRENCY);
EUSA20_CURRENCY=ifn(EUSA20_CURRENCY=.,0,EUSA20_CURRENCY);
EUSA21_CURRENCY=ifn(EUSA21_CURRENCY=.,0,EUSA21_CURRENCY);
EUSA22_CURRENCY=ifn(EUSA22_CURRENCY=.,0,EUSA22_CURRENCY);
EUSA23_CURRENCY=ifn(EUSA23_CURRENCY=.,0,EUSA23_CURRENCY);
EUSA24_CURRENCY=ifn(EUSA24_CURRENCY=.,0,EUSA24_CURRENCY);
EUSA25_CURRENCY=ifn(EUSA25_CURRENCY=.,0,EUSA25_CURRENCY);
EUSA26_CURRENCY=ifn(EUSA26_CURRENCY=.,0,EUSA26_CURRENCY);
EUSA27_CURRENCY=ifn(EUSA27_CURRENCY=.,0,EUSA27_CURRENCY);
EUSA28_CURRENCY=ifn(EUSA28_CURRENCY=.,0,EUSA28_CURRENCY);
EUSA29_CURRENCY=ifn(EUSA29_CURRENCY=.,0,EUSA29_CURRENCY);
EUSA30_CURRENCY=ifn(EUSA30_CURRENCY=.,0,EUSA30_CURRENCY);
FRSWI1_CURRENCY=ifn(FRSWI1_CURRENCY=.,0,FRSWI1_CURRENCY);
FRSWI2_CURRENCY=ifn(FRSWI2_CURRENCY=.,0,FRSWI2_CURRENCY);
FRSWI3_CURRENCY=ifn(FRSWI3_CURRENCY=.,0,FRSWI3_CURRENCY);
FRSWI4_CURRENCY=ifn(FRSWI4_CURRENCY=.,0,FRSWI4_CURRENCY);
FRSWI5_CURRENCY=ifn(FRSWI5_CURRENCY=.,0,FRSWI5_CURRENCY);
FRSWI6_CURRENCY=ifn(FRSWI6_CURRENCY=.,0,FRSWI6_CURRENCY);
FRSWI7_CURRENCY=ifn(FRSWI7_CURRENCY=.,0,FRSWI7_CURRENCY);
FRSWI8_CURRENCY=ifn(FRSWI8_CURRENCY=.,0,FRSWI8_CURRENCY);
FRSWI9_CURRENCY=ifn(FRSWI9_CURRENCY=.,0,FRSWI9_CURRENCY);
FRSWI10_CURRENCY=ifn(FRSWI10_CURRENCY=.,0,FRSWI10_CURRENCY);
FRSWI12_CURRENCY=ifn(FRSWI12_CURRENCY=.,0,FRSWI12_CURRENCY);
FRSWI15_CURRENCY=ifn(FRSWI15_CURRENCY=.,0,FRSWI15_CURRENCY);
FRSWI20_CURRENCY=ifn(FRSWI20_CURRENCY=.,0,FRSWI20_CURRENCY);

```

**run;**

```

/* On recupere les vecteurs propres (c'est la matrice de passage) */
data malib.prin(keep=EONIA_INDEX EUR001W_INDEX EUR002W_INDEX EUR001M_INDEX
EUR002M_INDEX EUR003M_INDEX EUR004M_INDEX
EUR005M_INDEX EUR006M_INDEX EUR007M_INDEX EUR008M_INDEX EUR009M_INDEX
EUR010M_INDEX EUR011M_INDEX EUR012M_INDEX
EUSA1_CURRENCY EUSA2_CURRENCY EUSA3_CURRENCY EUSA4_CURRENCY EUSA5_CURRENCY
EUSA6_CURRENCY EUSA7_CURRENCY EUSA8_CURRENCY EUSA9_CURRENCY EUSA10_CURRENCY
EUSA11_CURRENCY EUSA12_CURRENCY EUSA13_CURRENCY EUSA14_CURRENCY EUSA15_CURRENCY
EUSA16_CURRENCY EUSA17_CURRENCY EUSA18_CURRENCY EUSA19_CURRENCY EUSA20_CURRENCY
EUSA21_CURRENCY EUSA22_CURRENCY EUSA23_CURRENCY EUSA24_CURRENCY EUSA25_CURRENCY
EUSA26_CURRENCY EUSA27_CURRENCY EUSA28_CURRENCY EUSA29_CURRENCY EUSA30_CURRENCY

```



```

FRSWI1_CURRENCY FRSWI2_CURRENCY FRSWI3_CURRENCY FRSWI4_CURRENCY FRSWI5_CURRENCY
FRSWI6_CURRENCY FRSWI7_CURRENCY FRSWI8_CURRENCY FRSWI9_CURRENCY FRSWI10_CURRENCY
FRSWI12_CURRENCY FRSWI15_CURRENCY FRSWI20_CURRENCY);
set c(where=( _type_="SCORE"));
run;

/*recuperation et produit des matrices*/
proc iml;
use malib.all; /* ouverture de la table sas */

idvar={'EONIA_INDEX' 'EUR001W_INDEX' 'EUR002W_INDEX' 'EUR001M_INDEX'
'EUR002M_INDEX' 'EUR003M_INDEX' 'EUR004M_INDEX'
'EUR005M_INDEX' 'EUR006M_INDEX' 'EUR007M_INDEX' 'EUR008M_INDEX'
'EUR009M_INDEX' 'EUR010M_INDEX' 'EUR011M_INDEX' 'EUR012M_INDEX'
'EUSA1_CURRENCY' 'EUSA2_CURRENCY' 'EUSA3_CURRENCY' 'EUSA4_CURRENCY' 'EUSA5_CURRENCY'
'EUSA6_CURRENCY' 'EUSA7_CURRENCY' 'EUSA8_CURRENCY' 'EUSA9_CURRENCY' 'EUSA10_CURRENCY'
'EUSA11_CURRENCY' 'EUSA12_CURRENCY' 'EUSA13_CURRENCY' 'EUSA14_CURRENCY'
'EUSA15_CURRENCY' 'EUSA16_CURRENCY' 'EUSA17_CURRENCY' 'EUSA18_CURRENCY'
'EUSA19_CURRENCY' 'EUSA20_CURRENCY'
'EUSA21_CURRENCY' 'EUSA22_CURRENCY' 'EUSA23_CURRENCY' 'EUSA24_CURRENCY'
'EUSA25_CURRENCY' 'EUSA26_CURRENCY' 'EUSA27_CURRENCY' 'EUSA28_CURRENCY'
'EUSA29_CURRENCY' 'EUSA30_CURRENCY'
'FRSWI1_CURRENCY' 'FRSWI2_CURRENCY' 'FRSWI3_CURRENCY' 'FRSWI4_CURRENCY'
'FRSWI5_CURRENCY' 'FRSWI6_CURRENCY' 'FRSWI7_CURRENCY' 'FRSWI8_CURRENCY'
'FRSWI9_CURRENCY' 'FRSWI10_CURRENCY' 'FRSWI12_CURRENCY' 'FRSWI15_CURRENCY'
'FRSWI20_CURRENCY'};

*idobs={'EONIA_INDEX', 'EUR001W_INDEX','EUR002W_INDEX', 'EUR001M_INDEX',
'EUR002M_INDEX', 'EUR003M_INDEX', 'EUR004M_INDEX',
'EUR005M_INDEX', 'EUR006M_INDEX', 'EUR007M_INDEX', 'EUR008M_INDEX',
'EUR009M_INDEX' , 'EUR010M_INDEX' , 'EUR011M_INDEX', 'EUR012M_INDEX'};

read all var _num_ into d;
print d;
t=trace(d);
print t;
close; /* fermeture de la table sas */
show names;

use malib.prin; /* ouverture de la table sas */
read all var _num_ into y;
print y;
close; /* fermeture de la table sas */

use malib.histo2; /* ouverture de la table sas */
read all var _num_ into h;
print h;
close; /* fermeture de la table sas */

y2=inv(y);
print y2;

/*cov matrice de covariance : V(R)=P.D.P_transpose */
cov=y2*d*y;
print cov;

res=h*y2;
print res;

print idvar ;

```

```
*print idobs;  
  
create malib.cova from cov[colname=idvar /*rowname=idobs*/];  
append from cov;  
  
create malib.X from res[colname=idvar /*rowname=idobs*/];  
append from res;  
  
quit;
```