

Modélisation en temps continu pour les systèmes d'aide à la décision appliqués à la programmation physico-financière

Continuous-time Modeling for Decision Support Systems applied to Budgetary Planning

Davy Hélard

IRISA – Université de Bretagne-Sud & MGDIS, Vannes, France
davy.helard@gmail.com

Jean-Philippe Gouigoux

MGDIS, Vannes, France
gouigoux-jp@mgdis.fr

Flavio Oquendo

IRISA – Université de Bretagne-Sud, France
flavio.oquendo@irisa.fr

Résumé

Dans le cadre de l'informatique décisionnelle, la programmation physico-financière doit permettre à des acteurs d'une collectivité provenant de différents domaines de faire converger leurs problématiques vers un objectif commun lors des dialogues de gestion. Cette programmation permet ainsi à ces acteurs d'étudier les conditions de réalisation et de mettre en place un suivi de l'avancement de cet objectif.

L'une des principales difficultés de la modélisation d'une programmation physico-financière est que chaque acteur exprime ses problématiques dans des échelles de temps différentes. Leur mise en lien dans un modèle représentant une réalité commune pose donc des problèmes au mode de représentation discret traditionnellement utilisé par les outils d'analyse financière, basés sur la logique des tableurs.

Dans cet article, nous proposons une nouvelle approche fondée sur les modèles en temps continu afin de permettre aux acteurs de regrouper leurs visions dans un modèle unique, tout en se plaçant sur des échelles de temps différentes.

Cette approche innovante a été implantée au sein de la société MGDIS à l'aide d'une architecture orientée service.

Abstract

In the scope of Business Intelligence, planning aims to support multiple actors in their process of converging different views and issues from different domains to get a shared business planning model. It is in particular the case of business planning in local governments.

A major difficulty in business planning is that each actor states her/his views and issues with a different time scale. Integrating them into a unique model that represents a common state of reality becomes very costly and awkward to manage when basing the construction of these models on discrete modeling techniques used by current tools of business planning.

This article proposes a novel solution, beyond the state-of-the-art, for addressing these issues : it conceives a novel meta model based on a continuous time calculus. Through the developed approach, it allows multiple actors to integrate the different business logics of their planning domain in a shared model as well as to observe it from different time scales.

This approach was implemented within a real industrial set in MGDIS following a service oriented architecture.

Mots-clés

Systèmes d'aide à la décision, modélisation en temps continu, programmation physico-financière.

Keywords

Decision support system, continuous-in-time model, budgetary planning.

1. Introduction

La gestion des finances des collectivités locales en lien avec leur action de terrain, et plus précisément la programmation physico-financière pose de nouveaux défis aux systèmes d'information et de décision, notamment pendant les dialogues de gestion.

La gestion des finances d'une entité publique est une activité complexe et peu standardisée. Cette complexité se reflète dans la grande hétérogénéité des méthodes proposées par les cabinets de conseil en gestion des finances des collectivités publiques. Chaque consultant utilise ses propres classeurs et ses feuilles de calcul reflétant son expérience et l'état financier de ses clients, et il n'y a que très peu de standardisation. La comptabilité (c'est-à-dire la représentation écrite des flux financiers) est normalisée, mais la façon dont sont effectivement gérées les finances (et notamment du point de vue prospectif et programmatique) ne l'est pas.

Les causes racines de cette complexité sont une difficulté réelle à prévoir l'évolution d'une situation financière soumise à de nombreuses contraintes endogènes et exogènes, une sémantique complexe, l'intervention de différents acteurs (décideurs, financiers, opérationnels internes et externes, etc.) avec des rôles et des objectifs très différents, voire parfois opposés, et enfin une difficulté de conceptualisation de l'axe temporel.

Ceci est notamment le cas de la programmation physico-financière consistant à décrire un projet de développement et à le confronter à une prévision de financement. L'objectif est ainsi de pouvoir réaliser au mieux les missions de la collectivité locale, en maîtrisant les équilibres financiers entre charges et ressources, avec pour finalité un axe politiquement fort sur la gestion du risque financier (respect des contraintes prudentielles). La récente crise des financements des entités publiques a eu pour conséquence que l'Etat exige de plus en plus de ces dernières qu'elles se projettent dans un futur économiquement incertain en analysant les impacts des aléas financiers.

Au-delà de la gestion de risque, il s'agit bien sûr également d'assurer une bonne gestion de l'argent public. Les collectivités publiques, en plus de répondre à des réglementations prudentielles, sont aussi engagées dans des approches de rationalisation des dépenses. Cette rationalisation a pour objectif de servir au mieux les usagers, tout en maintenant un endettement limité et des marges de manœuvre financières. L'actualité récente montre que ces problématiques sont de plus en plus connues du grand public. Cette exposition et son impact électoral potentiel vont de fait rendre encore plus critique la maîtrise des finances publiques.

En effet, l'actualité focalise souvent son analyse des finances des collectivités publiques sur le contrôle de celles-ci, mais le versant «positif» de la finance est la mise en œuvre de projets au service des citoyens.

Différentes approches de programmation financière permettent de remplacer les approches ad hoc matérialisées dans des feuilles de calcul à l'aide de tableurs par une approche fondée sur un modèle générique de programmation physico-financière. Ces approches ont le même fondement : la modélisation discrète. Parfaitement adaptées aux approches «simples» de type élaboration d'une PPI (*Programmation Pluriannuelle des Investissements*), portées par la Direction des finances en réponse à une obligation réglementaire ou une volonté stratégique, ces solutions trouvent leur limite dès que l'on souhaite étendre leur usage vers le pilotage financier «au fil de l'eau» en intégrant la complexité du dialogue de gestion entre financiers et opérationnels.

Cet article analyse ainsi les limites de la modélisation discrète pour les systèmes d'aide à la décision appliqués à la programmation physico-financière et présente une nouvelle approche fondée sur la modélisation continue permettant de résoudre ces limitations tout en augmentant, de manière significative, le pouvoir d'expression des modèles génériques pour la programmation physico-financière. Les modèles ainsi spécifiés ouvrent de nouvelles perspectives pour le suivi entre le prévisionnel et le réel.

Dans les deux prochaines sections, nous présentons l'approche et la solution que nous avons développées selon l'approche de modélisation continue pour la programmation physico-financière. Ensuite, dans la quatrième section, nous analysons l'état de l'art des techniques d'aide à la décision dans le domaine de la programmation physico-financière. La cinquième section décrit les activités de validation à l'aide d'un prototype en grandeur réelle. Finalement, dans la sixième section, nous soulignons les implications et les limites de notre solution, avant de conclure notre propos et de présenter des perspectives de recherche.

2. L'approche de solution : la nécessité de penser continu

Dans le cadre des collectivités locales, la planification physico-financière est réalisée par un dialogue de gestion entre plusieurs acteurs. Bien que ces acteurs aient un objectif commun, chacun d'eux possède une problématique propre qui leur impose une vision du temps à des échelles différentes. Étant donné que ces problématiques sont liées entre elles, un dialogue de gestion fluide nécessite un modèle capable d'unifier ces problématiques tout en s'adaptant aux besoins de chaque acteur en termes d'échelles de temps.

Nous montrerons, dans la suite de cet article, comment la modélisation continue rend possible la création d'un modèle unifié qui peut être évalué sur plusieurs échelles de temps et ainsi permettre un dialogue fluide entre les acteurs de la programmation physico-financière.

2.1. Une voie de solution pour la problématique posée

La modélisation continue consiste à représenter les valeurs par des fonctions à temps continu plutôt que de les représenter par des valeurs discrètes.

Pour prendre un exemple simple : imaginons la gestion d'une cantine au niveau d'une commune. Au lieu de faire porter une valeur «fruits & légumes» avec 100 000 € dans la colonne pour l'année 2015, il s'agit désormais de raisonner autour d'une fonction mathématique décrivant la répartition de la densité de dépenses dans le temps, et dont l'intégration sur l'année 2015 retombera sur cette valeur de 100 000 €. Dans ce cas particulier, une fonction continue sur 10 mois avec une densité de 10 000 € par mois, et également continue sur les deux mois d'été avec une densité nulle peut être choisie. Bien sûr, des modélisations plus précises pourraient être envisagées, mais cela dépend du niveau de précision souhaité ultérieurement.

Évidemment, dans d'autres cas de dépenses, la fonction de répartition ne serait pas du tout la même. Par exemple, la représentation en termes de fonction la plus logique pour les salaires est une fonction composée de pics, représentés par des distributions de Dirac, portant la densité complète de salaire sur des instants précis de l'axe temporel qui sont typiquement le dernier jour ouvré du mois, à minuit.

2.2. L'apport de la modélisation continue

Bien qu'elle soit conceptuellement moins facile pour les analystes financiers, cette approche présente l'avantage de lever les problématiques de représentation incompatibles dans les différentes périodes temporelles utilisées par les différents acteurs du dialogue de gestion. En effet, la valeur sur une périodicité donnée étant systématiquement retrouvée par l'intégration d'une seule fonction mathématique représentant la réalité, les nombres obtenus sont automatiquement cohérents sur toutes les échelles de temps.

Cette approche a également pour avantage de forcer les analystes financiers, modélisateurs, à se poser les bonnes questions de la répartition effective des mouvements financiers. Pour reprendre les exemples précédemment cités, dans une approche discrète, rien ne contraint les modélisateurs à se poser la question de la répartition continue ou ponctuelle des dépenses. Or, ceci pose un réel problème métier lorsqu'il s'agit de gérer la trésorerie, au jour le jour. Un financier, à son niveau métier, peut se permettre de considérer les salaires et les dépenses pour les fruits et légumes au même niveau, à savoir une masse mensuelle, voire annuelle. Mais il n'empêche que pour le gestionnaire d'une cantine qui paie au jour le jour ses fournisseurs, mais en fin de mois les salaires, la différence est fondamentale car c'est ce qui pilote sa trésorerie, sa relation à la banque et au final son budget propre.

Nous revenons donc aux difficultés d'interaction que nous décrivions plus haut : chacun s'occupant de son point de vue, si le modèle n'est pas commun, il est très difficile de réconcilier les valeurs et de faire comprendre à chacun les besoins de l'autre. Le fait de mettre en place un modèle mathématique commun, au-delà de l'apport technique, a également une portée très forte du point de vue conceptuel, car il modélise mieux une réalité partagée que de simples chiffres dans des cases. De plus, chacun peut le considérer de son propre point de vue, sans faire perdre de la richesse à un autre. Les états fonctionnent alors comme des plans de coupe ou des vues particulières d'un modèle unique, plutôt que comme des représentations de portions de modèles incohérents et qu'il faut rassembler après coup, au prix de circonvolutions intellectuelles et de discussions compliquées entre acteurs.

3. La solution : la modélisation continue

Fondée sur cette approche de modélisation en temps continu, nous montrons comment construire un modèle indépendamment de la périodicité choisie lors de l'évaluation de ces modèles.

Un modèle pour la programmation physico-financière est exprimé à l'aide des concepts de variables et d'équations. Dans la suite, nous présentons un extrait de la solution afin d'illustrer les principes qui l'ont guidée, en comparant à chaque fois le modèle résultant d'une modélisation discrète avec celui résultant d'une modélisation continue.

3.1. La représentation des variables

Les données d'un modèle sont représentées sous la forme de variables.

3.1.1. La solution en modélisation discrète

La modélisation discrète représente une variable par un nombre fixe de valeurs placées dans le temps selon une certaine périodicité. L'évaluation des variables est possible uniquement pour la périodicité choisie lors de la modélisation ou pour des périodicités de taille supérieure et parfaitement alignées sur les limites de la périodicité choisie, ce qui est très restrictif.

3.1.2. La solution en modélisation en temps continu

La modélisation en temps continu représente les variables continues sous forme de fonctions en temps continu. Deux types de variables sont utilisés pour la modélisation continue dans notre solution. La différence se traduit dans la façon de lire les valeurs sur la fonction représentant la variable. Dans le cas d'une variable de type «mesure», une valeur est évaluée pour un intervalle de temps, par exemple le nombre de tickets de cantine vendus entre le 1er mai 2015 à minuit et le 1er juin 2015 à minuit. La valeur correspond à la surface de l'aire sous la courbe (figure 1).

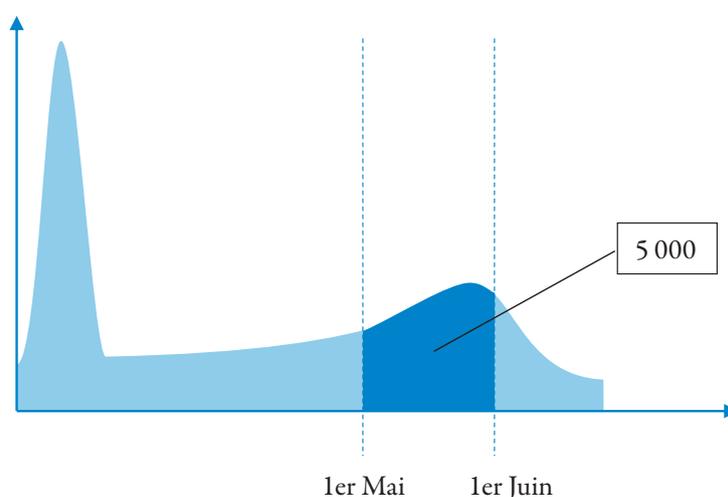


Figure 1. L'interprétation de la valeur d'une mesure

Pour ce type de variable, l'évaluation pour un intervalle de temps est donnée par la somme des évaluations des partitions de cet intervalle.

Dans le cas d'une variable de type «champ», une valeur est évaluée pour un instant précis, par exemple, le prix des billets le 1er mai 2015 à minuit (figure 2).

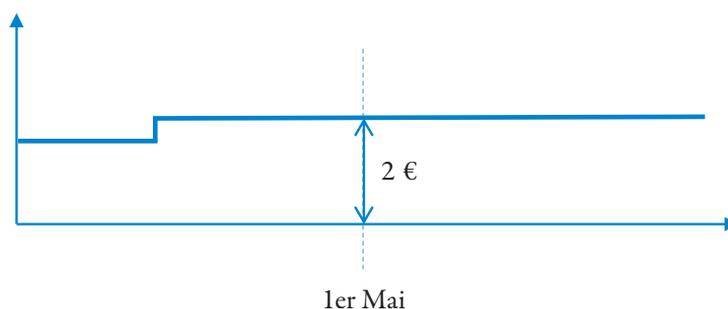


Figure 2. L'interprétation de la valeur d'un champ

3.1.3. La comparaison des solutions en modélisation discrète vs continue

L'utilisation de fonctions pour représenter les variables permet en principe aux modèles en temps continu d'être évalués pour n'importe quelle périodicité, contrairement aux modèles discrets qui sont liés à une périodicité par la nature même des variables.

Cependant, un modèle ne se limite pas aux variables. Celles-ci doivent être mises en relation par des équations afin de pouvoir estimer des variables à partir des variables connues. Ces équations doivent conserver l'avantage offert par la nature des variables de la modélisation continue.

3.2. La modélisation des équations

Les équations ont pour rôle de mettre en relation les différentes variables modélisées, établissant ainsi les différentes dépendances entre ces variables.

3.2.1. L'utilisation de différentes périodicités pour l'évaluation

Le passé est évalué en fonction de valeurs connues alors que le futur est estimé en fonction du passé et des décisions prises concernant le futur souhaité. Le passé et le futur sont deux cas qui nécessitent une modélisation particulière. Un suivi est réalisé au fur et à mesure que le présent avance. Progressant en même temps que des données sûres sont produites, les estimations établies pour le futur sont remplacées par la saisie de ce qui est réellement arrivé. Le suivi est réalisé régulièrement sur des périodes assez courtes, afin de gérer au plus tôt les imprévus.

À court terme, le futur est donc estimé sur des périodes fines alors que des périodes plus larges permettent d'avoir une vision plus globale à moyen terme. Par exemple, on peut envisager de réaliser les estimations du futur de l'année courante mensuellement et des années suivantes annuellement.

3.2.1.1. La solution en modélisation discrète

La modélisation discrète des équations se fonde sur un système d'indices, à la façon des suites numériques, pour faire référence aux périodes de temps. Il est ainsi difficile de prendre en compte un changement de taille de période dans l'écriture des équations. Afin de rester dans un cas classique, deux modèles discrets, fondés sur deux périodicités différentes, sont utilisés ensemble : l'un réalise les estimations à court terme et l'autre les estimations à long terme. Par exemple, le suivi de l'année en cours est réalisé mois par mois, tout en réalisant les estimations à long terme année par année. La figure 3 montre ces deux échelles de temps.

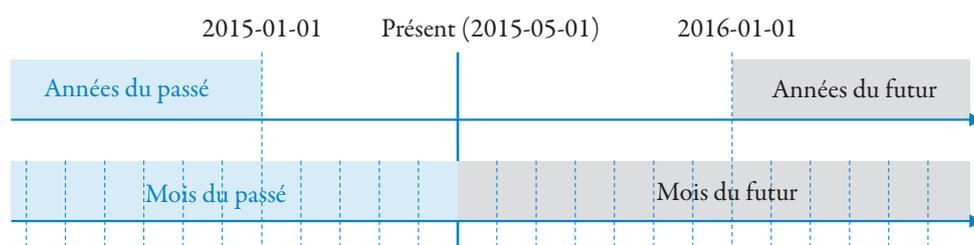


Figure 3. Une date qui sépare les périodes mensuelles ne permet pas nécessairement de séparer les périodes annuelles

Bien qu'en utilisant ces deux modèles il soit possible d'utiliser les périodicités adaptées au cas présent, le choix de celles-ci a dû être réalisé lors de la modélisation. De plus, la modélisation doit être déterminée selon les périodicités de l'évaluation alors que ce n'est pas la façon la plus naturelle de procéder.

3.2.1.2. La solution en modélisation en temps continu

En modélisation continue, comme la répartition des valeurs est formalisée, le choix des périodes d'évaluation est indépendant de la modélisation. Ainsi, est-il possible d'évaluer mois par mois pour l'année courante, et année par année pour les années suivantes, sans que cela nécessite une gestion particulière dans le modèle. En effet, la même formule est évaluée dans les deux cas.

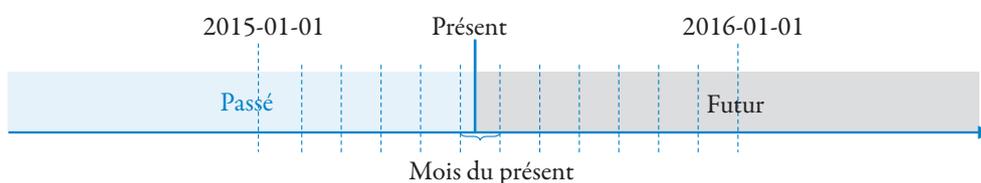


Figure 4. Le découpage du temps par année ou par mois

3.2.2. L'exemple de l'estimation du coût des denrées alimentaires

Afin d'illustrer la modélisation d'estimation à court et long terme, considérons l'évolution du coût d'un repas d'une cantine. En première approximation, l'inflation fait augmenter le coût des aliments d'une année sur l'autre selon une croissance exponentielle. Les équations des modèles permettent d'exprimer cette croissance.

3.2.2.1. La solution en modélisation discrète

Dans le cas d'une modélisation discrète, un modèle sert pour les prévisions à long terme année par année et un autre modèle aux prévisions à court terme mois par mois.

Pour le calcul avec une périodicité annuelle, la moyenne sur une année du coût en denrées d'un repas est calculée en multipliant simplement le coût moyen de l'année précédente par le coefficient d'inflation.

Présent et Futur :

```
"Coût d'un repas" [n] := 1.02 * «Coût d'un repas" [n - 1]
```

Figure 5. La formule de la variable «Coût d'un repas» pour une périodicité annuelle en modélisation discrète

Pour réaliser le suivi de l'année en cours, le modèle doit prendre en compte les variations des prix dues aux saisons. La formule modélise le fait que chaque mois gagne 2% d'une année sur l'autre. Il est inutile d'utiliser la racine douzième du facteur d'évolution pour lisser l'augmentation, car, dans le cas présent, l'inflation au cours de l'année est déjà présente dans les données saisies pour les années passées.

Présent et Futur :

```
"Coût d'un repas" [n] := 1.02 * «Coût d'un repas" [n - 12]
```

Figure 6. La formule de la variable «Coût d'un repas» pour une périodicité mensuelle en modélisation discrète

3.2.2.2. La solution en modélisation en temps continu

Afin d'estimer les coûts des années futures, il est important de comprendre ce qui détermine son évolution. En décomposant l'évolution du prix en plusieurs facteurs, il sera possible de jouer sur ceux-ci pour gagner en précision si besoin.

De nombreux facteurs sont responsables de l'évolution du coût des denrées. Les deux facteurs qui semblent avoir le plus d'importance ici sont l'inflation et les variations dues aux saisons.

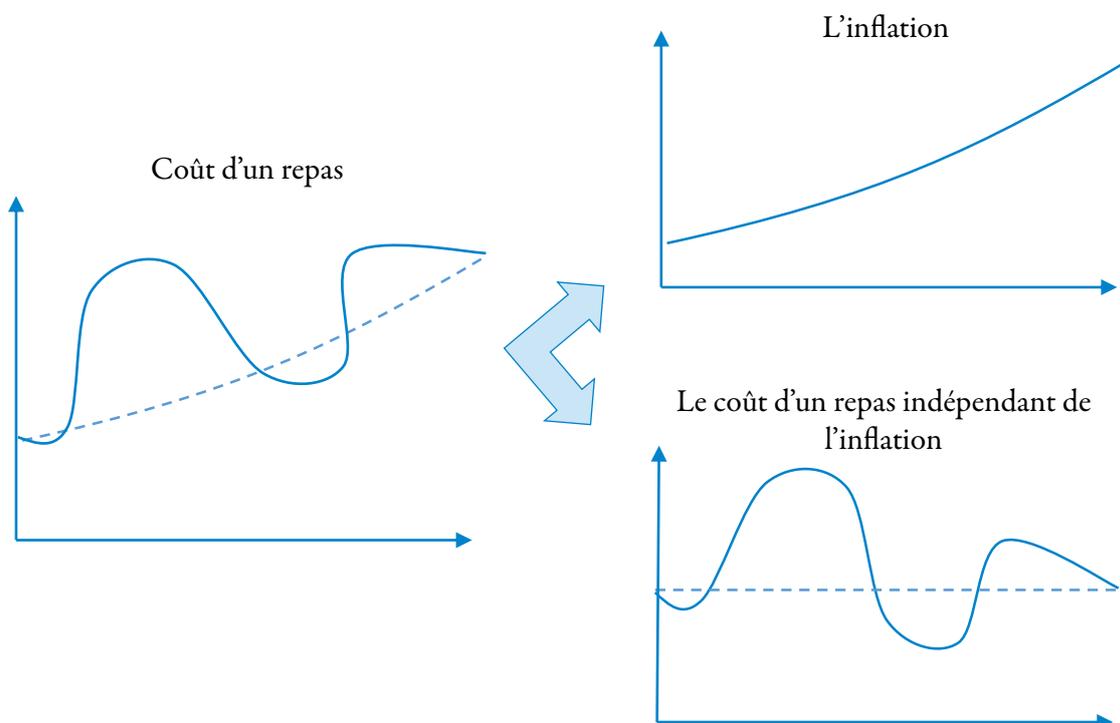


Figure 7. La décomposition des variations du coût des denrées en plusieurs facteurs

La répartition du coût des denrées prend déjà en compte l'inflation. Afin d'en extraire une répartition indépendante de cette croissance, la variable est divisée par l'exponentielle qui représente cette croissance. La fonction «Exp» de la formule en figure 8 décrit une fonction exponentielle qui vaut «1» pour le début de l'année courante et croît de 2% par an.

```
"Coût d'un repas" (t) / Exp(BeginningOf(Year(1), «now"()), 1.02, Year(1))
```

Figure 8. La formule du coût indépendant de l'inflation ramené au 1er janvier de l'année du présent

Une fois la répartition au cours de l'année déterminée, celle-ci est répliquée sur les années du futur. L'estimation réalisée avec la formule ci-dessous ne prend pas en compte l'inflation. La modélisation se base sur une périodicité annuelle, car c'est la périodicité naturelle de l'évènement modélisé (typiquement liée au jeu des saisons et de la variation de production associée). Cette périodicité n'empêche toutefois pas une évaluation sur d'autres périodes, car, comme cela est visible sur la figure 9, l'évolution du coût est conservée par les calculs modélisés.

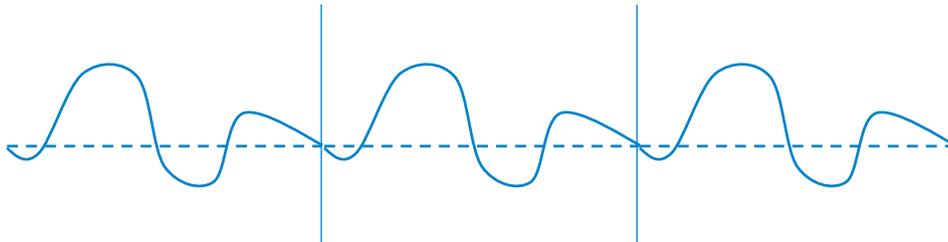


Figure 9. La courbe de répétition du coût d'un repas indépendant de l'inflation

L'opération «Repeat» (figure 10) permet de répéter les valeurs d'un intervalle en boucle. Cette opération peut être utilisée afin de représenter une situation cyclique.

```
Repeat(date d'origine : valeur scalaire, taille de l'intervalle : valeur scalaire,  
: valeur continue) : valeur continue
```

Figure 10. La signature de l'opération «Repeat»

La figure 11 présente la formule qui réplique cycliquement les variations du coût d'un repas au cours d'une année indépendamment de l'inflation.

```
If(t < BeginningOf(Year(1), «now"()),  
0,  
Repeat  
(  
BeginningOf(Year(1), «now"() - Year(1)),  
Year(1),  
"Coût d'un repas" (t) / Exp(BeginningOf(Year(1), «now"()), 1.02, Year(1))  
)  
)
```

Figure 11. La formule de répétition du coût d'un repas indépendant de l'inflation

Afin de prendre en compte l'inflation dans l'estimation du futur, les répartitions dupliquées sont multipliées par une fonction exponentielle qui représente l'inflation.

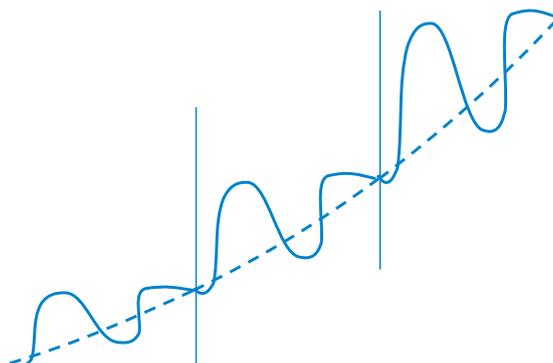


Figure 12. La courbe de l'estimation du coût des denrées d'un repas

La figure 13 présente la formule obtenue après avoir pris en compte l'inflation.

```
"Coût d'un repas" (t) :=  
If (t < BeginningOf (Year (1), "now" ()),  
0,  
Repeat  
(  
BeginningOf (Year (1), «now" ()) - Year (1)),  
Year (1),  
"Coût d'un repas" (t) / Exp (BeginningOf (Year (1), «now" ()), 1.02, Year (1))  
)  
* Exp (BeginningOf (Year (1), «now" ()), 1.02, Year (1))  
)
```

Figure 13. La formule de la variable «Coût d'un repas» en modélisation continue

D'une année à l'autre, la variation du coût due aux saisons n'est pas tout à fait identique. Des événements non déterminés peuvent induire du bruit dans cette variation. Ce bruit peut être éliminé, car il n'est pas pertinent de le conserver d'une année sur l'autre dans le cadre d'une activité de simulation.

Une moyenne sur plusieurs années permet de réduire ce bruit, mais ce n'est pas la méthode la plus efficace. L'idéal serait de déterminer les facteurs nécessaires au calcul en utilisant une approche de traitement du signal. Nous n'aborderons toutefois pas ce sujet dans le cadre du présent article.

3.2.2.3. Comparaison des solutions en modélisation discrète versus continue

A cause de la dépendance de la modélisation discrète à la périodicité d'évaluation, deux cas doivent être différenciés afin de limiter les calculs inutiles. La modélisation en temps continue permet de s'abstraire de ce problème, car la périodicité est choisie lors de l'évaluation.

3.3. Bilan de la comparaison entre les modélisations discrète et continue

Ces extraits de la solution développée montrent l'avantage de la modélisation continue sur la modélisation discrète. En effet, la modélisation discrète a un défaut majeur : un modèle discret doit être réalisé en tenant compte des contraintes liées à son évaluation. Lorsque ces contraintes sont multiples et paraissent incompatibles d'un point de vue discret, la modélisation discrète n'est plus suffisante. Comme nous l'avons vu au travers des exemples précédents, la modélisation continue permet de s'abstraire des préoccupations propres à l'évaluation et ainsi d'adapter l'évaluation d'un même modèle aux contraintes désirées. Un modèle unique peut ainsi être évalué pour chacune des périodicités nécessaires aux acteurs de la programmation physico-financière.

4. État de l'art

Afin d'établir l'état de l'art sur les techniques d'aide à la décision dans le domaine de la programmation physico-financière, nous avons utilisé une méthode de revue de la littérature scientifique nommée cartographie systématique. Cette méthode permet de recueillir et d'analyser les articles portant sur un domaine particulier à l'aide de questions de recherche précises et d'un protocole défini en amont des recherches bibliographiques réalisées sur des bases documentaires significatives.

La cartographie systématique permet ainsi de pallier la méthode traditionnelle souvent retrouvée dans les articles, dite revue narrative, qui consiste en un rappel des connaissances portant sur un sujet précis, recueillies de façon ad hoc par les auteurs. La revue systématique consiste à :

- rassembler, évaluer et synthétiser toutes les études pertinentes qui abordent un problème donné, en l'occurrence la programmation physico-financière ;
- limiter l'introduction d'erreurs aléatoires ou de biais.

L'élaboration d'une revue systématique est fondée sur un protocole détaillé préalable et est composée des cinq étapes présentées :

- Formulation des questions de recherche, comprenant la détermination des objectifs et des critères d'inclusion et d'exclusion des études ;
- Recherche et sélection des études pertinentes ;
- Évaluation de la qualité des études retenues ;

- Extraction des données pertinentes et analyse de ces données ;
- Interprétation des résultats obtenus à partir des questions de recherche.

Notre revue systématique propose ainsi une cartographie des articles de la littérature qui s'intéressent à l'aide à la décision dans le domaine de la planification financière, y compris la programmation physico-financière.

4.1 Formulation des questions de recherche

Afin de présenter l'état de l'art pour la problématique traitée dans cet article, notre revue systématique et d'élaborer une cartographie systématique, répondra aux questions de recherche suivantes :

- Quelles sont les approches utilisées concernant la modélisation de la planification financière pour les systèmes d'aide à la décision ?
- Comment la modélisation en temps continu a-t-elle été appliquée aux systèmes d'aide à la décision pour la planification financière ?
- Quels sont les domaines d'application de la modélisation de la planification financière pour les systèmes d'aide à la décision ?

Afin de répondre à ces questions, les bases documentaires utilisées pour mener cette cartographie systématique sont les bases anglophones majeures en informatique décisionnelle (Tableau 1).

Source	URL
ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com
IEEE Xplore	http://ieeexplore.ieee.org
SpringerLink	http://link.springer.com
ACM Digital Library	http://dl.acm.org

Tableau 1. Les sources utilisées pour la recherche de publications

Sur ces bases, les requêtes ont été définies à l'aide de mots clés :

- «decision», «Business Intelligence» et «BI» pour l'aide à la décision ;
- «budgetary planning», «business planning», «budget planning», «budgetary control», «business control», «budget control», «financial strategy» pour la planification financière.

```
(  
«budgetary planning» OR «business planning» OR «budget planning» OR «budgetary control»  
OR «business control» OR «budget control» OR «financial strategy»  
)  
AND  
(  
decision OR «Business Intelligence» OR «BI»  
)
```

Figure 14. La requête pour la recherche de publications

Suite aux résultats obtenus par l'exécution de ces requêtes, les critères d'inclusion et d'exclusion suivants ont été appliqués.

Les critères d'inclusion :

- La publication présente une approche pour réaliser un système d'aide à la décision appliqué à la planification financière d'un domaine.

Les critères d'exclusion :

- La publication a pour sujet la planification financière, mais ne présente pas d'approche pour réaliser un système d'aide à la décision.
- La publication présente une approche pour réaliser un système d'aide à la décision, mais n'a pas pour sujet la planification financière.
- La publication ne présente pas d'approche pour réaliser un système d'aide à la décision et n'a pas de planification financière comme domaine d'application.

4.2 Recherche et sélection des études pertinentes

La requête définie a été exécutée sur chacune des bases documentaires donnant les résultats suivants le 30 juin 2015. Ces recherches ont été appliquées aux domaines de «Computer Science», «Decision Sciences» et «Business Information Systems».

Source	Nombre de résultats
ScienceDirect (SD)	57
IEEE Xplore (I3E)	37
SpringerLink (SL)	9
ACM Digital Library (ACM)	11

Tableau 2. Le nombre de résultats obtenus à partir des sources

Suite à l'application des critères d'inclusion et d'exclusion, les études primaires retenues sont, par ordre chronologique décroissant, les suivantes (Tableau 3).

Type	Année	Auteurs	Source
JA	2014	Cha <i>et al.</i>	ACM
BS	2013	Baker <i>et al.</i>	SD
JA	2012	Sato <i>et al.</i>	SD
JA	2010	Lourdes Borrajo <i>et al.</i>	SD
CP	2009	Eisenreich <i>et al.</i>	ACM
JA	2008	Wang <i>et al.</i>	SD
CP	2007	Suggs <i>et al.</i>	I3E
JA	2007	Wong <i>et al.</i>	SD
JA	2006	Xie <i>et al.</i>	SD
JA	2006	Bermúdez <i>et al.</i>	SD
JA	2005	Wen <i>et al.</i>	SD
CP	2004	Wang <i>et al.</i>	I3E
CP	2003	Mayo <i>et al.</i>	I3E
JA	2001	Rees <i>et al.</i>	SD
JA	1998	Choi <i>et al.</i>	SD
JA	1997	Kim <i>et al.</i>	SD
JA	1997	Cho <i>et al.</i>	SD
JA	1994	Sethi <i>et al.</i>	SD
JA	1993	Baugh <i>et al.</i>	SD
JA	1988	Hruschka <i>et al.</i>	SD
JA	1983	Broeckx <i>et al.</i>	SD
JA	1980	Lin <i>et al.</i>	SD

Tableau 3. Liste des études primaires

4.3 Évaluation de la qualité des études retenues

Chaque étude primaire retenue présente l'une des deux qualités suivantes : (i) études fondées sur des données probantes ; (ii) études fondées sur des résultats novateurs.

4.4 Extraction des données pertinentes et analyse de ces données

Les études primaires ont été classées par domaine d'application. La quasi-totalité des articles s'intéresse au cas de la programmation financière en entreprise.

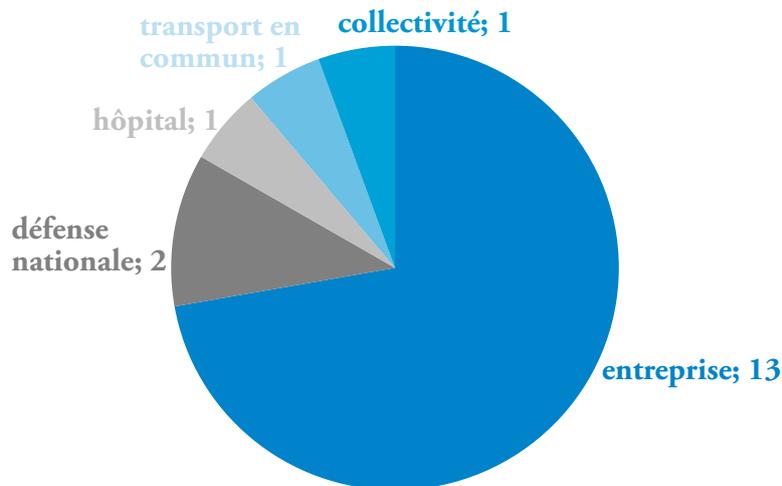


Figure 15. Le diagramme des études primaires par domaine d'application

Plus précisément, le tableau 4 liste les articles par domaine d'application.

Domaine d'application	Année	Auteurs	Source
Entreprise	2010	Lourdes Borrajo <i>et al.</i>	SD
	2007	Suggs <i>et al.</i>	I3E
	2005	Wen <i>et al.</i>	SD
	2004	Wang <i>et al.</i>	I3E
	1993	Baugh <i>et al.</i>	SD
	2006	Bermúdez <i>et al.</i>	SD
	1988	Hruschka <i>et al.</i>	SD
	2009	Eisenreich <i>et al.</i>	ACM
	2007	Wong <i>et al.</i>	SD
	2012	Sato <i>et al.</i>	SD
	1997	Kim <i>et al.</i>	SD
	1980	Lin <i>et al.</i>	SD
	2014	Cha <i>et al.</i>	ACM
Défense nationale	1997	Cho <i>et al.</i>	SD
	1998	Choi <i>et al.</i>	SD
Hôpital	2006	Xie <i>et al.</i>	SD
	2003	Mayo <i>et al.</i>	I3E
Transport en commun	2008	Wang <i>et al.</i>	SD
Collectivité	2008	Wang <i>et al.</i>	SD

Tableau 4. La liste des études primaires par domaine d'application

La plupart des articles se fondent sur des méthodes mathématiques afin d'optimiser des systèmes à contraintes multiples.

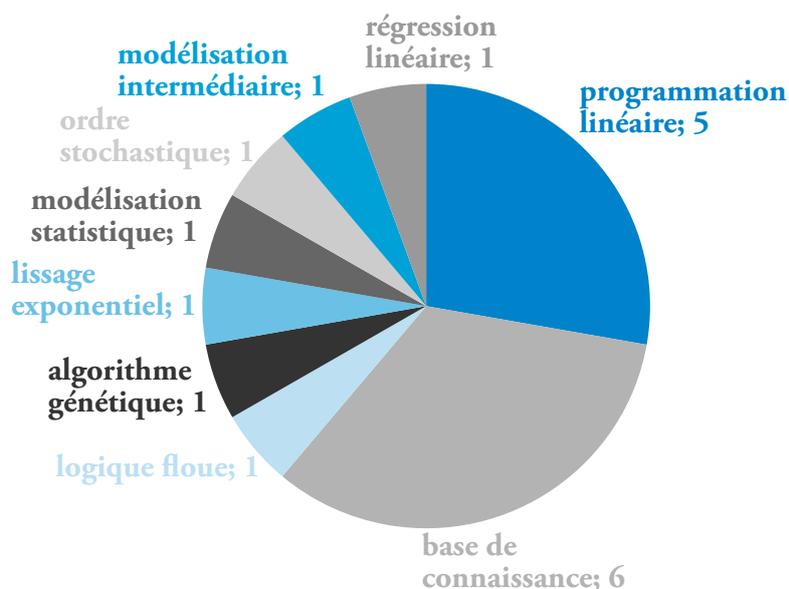


Figure 16. Le diagramme des résultats obtenus par approche

Les approches de solution proposées sont identifiées dans le tableau 5.

Approche proposée	Année	Auteurs	Source
Base de connaissances	2010	Lourdes Borrajo <i>et al.</i>	SD
	2008	Wang <i>et al.</i>	SD
	2007	Suggs <i>et al.</i>	I3E
	2005	Wen <i>et al.</i>	SD
	2004	Wang <i>et al.</i>	I3E
	1993	Baugh <i>et al.</i>	SD
Programmation linéaire	2012	Sato <i>et al.</i>	SD
	1998	Choi <i>et al.</i>	SD
	1997	Kim <i>et al.</i>	SD
	1997	Cho <i>et al.</i>	SD
	1980	Lin <i>et al.</i>	SD
Logique floue	1988	Hruschka <i>et al.</i>	SD
Lissage exponentiel	2006	Bermúdez <i>et al.</i>	SD
Algorithme génétique	2001	Rees <i>et al.</i>	SD
Régression linéaire	2014	Cha <i>et al.</i>	ACM
Dynamique des systèmes	2003	Mayo <i>et al.</i>	I3E
Modélisation intermédiaire	2009	Eisenreich <i>et al.</i>	ACM
Modélisation statistique	2006	Xie <i>et al.</i>	SD
Ordre stochastique	2007	Wong <i>et al.</i>	SD

Tableau 5. Les résultats obtenus par approche

4.5 Interprétation des résultats

La première question de recherche concerne les approches utilisées dans la modélisation de la planification financière pour les systèmes d'aide à la décision. Les principales approches proposées sont les bases de connaissance, la programmation linéaire, la logique floue et les algorithmes génétiques. Elles ont pour objectif d'optimiser un système sous plusieurs contraintes. Cette problématique est orthogonale à la problématique traitée dans cet article qui s'intéresse davantage à la modélisation notamment lorsque plusieurs domaines sont concernés.

La deuxième question de recherche a pour objectif d'analyser comment la modélisation en temps continu a été appliquée aux systèmes d'aide à la décision pour la planification financière afin de positionner l'approche présentée dans cet article en fonction des travaux existants. Notre cartographie systématique n'a trouvé aucun article proposant une approche utilisant la modélisation en temps continu.

La troisième question de recherche concerne les domaines d'application de la modélisation de la planification financière pour les systèmes d'aide à la décision. Comme cela est visible sur le tableau 4, la plupart des articles s'intéressent aux entreprises. Toutefois, quelques articles traitent de défense nationale, d'hôpitaux ou des transports en commun.

Cette étude corrobore la veille technologique réalisée par MGDIS avant de lancer une recherche coopérative à ce sujet. En effet, plusieurs méthodes d'optimisation présentées par les articles identifiés par la cartographie systématique ont été expérimentées par l'entreprise. Ces expérimentations ont également montré la nécessité de développer une solution nouvelle, au-delà de l'état de l'art.

La modélisation discrète est le dénominateur commun dans les différentes approches de solution présentées dans la littérature ainsi que dans les approches expérimentées. Ainsi, en conclusion, «dépasser les limitations de la modélisation discrète» a été identifié comme étant le principal verrou technologique.

Notre approche s'attaque à ce verrou technologique en développant une solution novatrice fondée sur la modélisation en temps continu dédiée à la programmation physico-financière.

5 La validation

Notre solution a été implémentée et validée sur un cas d'étude ainsi que sur des cas réels extraits des clients de la société MGDIS. Au-delà, elle a été largement validée vis-à-vis des besoins exprimés par les experts de la modélisation de programmation physico-financière.

Cette approche innovante a été implémentée au sein de la société MGDIS à l'aide d'une architecture orientée service. Du point de vue de la valorisation, notre approche pour la modélisation continue a abouti à la réalisation d'un prototype «preuve de concept» démontrant la faisabilité de l'application de la modélisation continue pour les clients du progiciel SOFI de la société MGDIS. Notre solution permettra ainsi de développer une nouvelle version de SOFI intégrant un moteur de calcul en temps continu.

Il est intéressant de souligner que l'un des objectifs de valorisation a été de rendre «transparent» le mode de modélisation temporelle : l'utilisateur ne sait donc pas, s'il reste sur des périodicités de rendus standards, que le moteur de calcul a changé.

	Investissement	Opérations	Fonctionnement	Ancien Fonctionnement		Nouveau Fonctionnement							
				Passé			Présent	Futur					
				2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Services externes				115 340,25	117 647,06	120 000,00	122 400,00	124 848,00	127 344,96	129 891,86	132 489,70	135 139,49	137 842,28
Charges salariales				60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00
Consommations				5 000,00	5 000,00	5 000,00	5 000,00	5 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
Entretien				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortissement des investissements				0,00	0,00	0,00	0,00	18 812,93	20 874,95	20 818,52	20 633,88	20 559,37	20 635,09
Remboursement en intérêt				0,00	0,00	0,00	0,00	1 774,74	6 706,25	5 981,25	5 256,25	4 531,25	3 806,25
Dépenses de fonctionnement				180 340,25	182 647,06	185 000,00	187 400,00	210 435,67	215 926,16	217 691,63	219 379,83	221 230,11	223 283,62
Participation des familles				30 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00
Subventions de fonctionnement				48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00
Participation à l'équilibre du budget général				102 340,25	74 647,06	77 000,00	79 400,00	102 388,78	107 926,16	109 691,63	111 379,83	113 230,11	115 283,62
Recettes de fonctionnement				180 340,25	182 647,06	185 000,00	187 400,00	210 388,78	215 926,16	217 691,63	219 379,83	221 230,11	223 283,62

Figure 17. Une capture d'écran de l'interface graphique du prototype SOFI-Continu avec une périodicité annuelle

A l'inverse, si l'utilisateur souhaite se positionner en étude discrète d'un modèle sur des périodicités inconnues auparavant, les résultats sont recalculés comme illustrés dans la figure 18.

	Investissement	Opérations	Fonctionnement		Passé																															
			Ancien Fonctionnement	Nouveau Fonctionnement	2012								2013								2014															
			Jav.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Jui.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jav.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Jui.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jav.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Jui.	Aou.	Sep.	
			2012-1-1	2012-4-7			2012-7-13			2012-10-19			2013-1-25			2013-5-1			2013-8-7			2013-11-13			2014-2-19			2014-5-25			2014					
Services externes			30 863,10	29 430,92	31 074,49	32 003,55	31 049,12	30 245,94	31 954,72	32 640,39	31 230,24	31 257,73																								
Charges salariales			15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	20 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	20 000,00																								
Consommations			5 000,00	0,00	0,00	5 000,00	0,00	0,00	0,00	5 000,00	0,00	0,00																								
Entretien			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																								
Amortissement des investissements			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																								
Remboursement en intérêt			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																								
Dépenses de fonctionnement			50 863,10	44 430,92	46 074,49	52 003,55	51 049,12	45 245,94	46 954,72	52 640,39	46 230,24	51 257,73																								
Participation des familles			0,00	0,00	18 000,00	16 000,00	16 000,00	10 000,00	22 000,00	16 000,00	16 000,00	6 000,00																								
Subventions de fonctionnement			48 000,00	0,00	0,00	48 000,00	0,00	0,00	0,00	48 000,00	0,00	0,00																								
Participation à l'équilibre du budget général			2 863,10	44 430,92	28 074,49	-11 996,45	35 049,12	35 245,94	24 954,72	-11 359,61	30 230,24	45 257,73																								
Recettes de fonctionnement			50 863,10	44 430,92	46 074,49	52 003,55	51 049,12	45 245,94	46 954,72	52 640,39	46 230,24	51 257,73																								

Figure 18. Une capture d'écran de l'interface graphique du prototype SOFI-Continu avec une périodicité quelconque

Ainsi, une analyse sur des demi-trimestres, par exemple, est dorénavant possible. De même, la vision du modèle du point de vue de la trésorerie, avec une valeur pour chaque jour est désormais disponible, et ce sur le même modèle mathématique que les gestionnaires financiers travaillant sur des années, ce qui est une richesse fonctionnelle considérable. Auparavant, la discrétisation au jour d'un modèle s'étalant sur vingt ans était impossible pour des raisons de performance. Le prototype ne voit pas ses performances varier significativement en fonction du niveau de détail dans lequel on observe le modèle. Il s'agit sans conteste d'un point très positif sur le résultat obtenu, car tel était le premier objectif fixé par MGDIS.

6 Conclusion et perspectives

Cet article a présenté une nouvelle approche pour la réalisation d'un système d'aide à la décision dans le domaine de la programmation physico-financière qui s'appuie sur une modélisation mathématique avec des fonctions continues. Revenons aux questions de recherche qui ont été posées. La première est «Comment formaliser une modélisation de planification financière applicable à des domaines variés?».

Comme cela a été vu, la solution développée reprend les fondements posés par un méta modèle de calcul discret existant, en proposant pour chaque concept discret un raffinement en modélisation continue. Le méta modèle de calcul discret existant permettrait déjà de définir la logique propre à chaque domaine d'application de la planification financière. Cependant, leur coexistence sur un modèle unique exigeait la reformulation de tous les modèles (ce qui est impraticable dans le cadre des dialogues de gestion). Le méta modèle proposé permet de résoudre ce problème avec une modélisation continue.

La seconde question de recherche traitée est «Comment évaluer un modèle d'application de la programmation physico-financière sur plusieurs échelles de temps?».

La comparaison entre l'approche de modélisation continue et celle de modélisation discrète a permis de montrer comment le méta modèle proposé permet de décrire les valeurs et les formules de calcul en s'abstrayant de la périodicité choisie pour l'évaluation de celui-ci. L'implémentation du prototype de service de calcul a permis de valider que les valeurs obtenues pour l'évaluation d'un unique modèle sur plusieurs échelles de temps sont correctes. La troisième et dernière question de recherche traitée est «Comment permettre une intégration du suivi de la programmation physico-financière au système d'information?».

Pour permettre une intégration du suivi de la programmation physico-financière à un système d'information de gestion automatisé, le système logiciel a été développé avec une approche d'urbanisation dans laquelle l'architecture orientée service permet aux services de modélisation et de calcul de s'intégrer au bus de services d'entreprise. Un important bénéfice additionnel de cette approche est qu'elle permet la parallélisation, augmentant ainsi la capacité de traitement des requêtes.

Différentes perspectives sont envisagées pour la suite de ces travaux, dont la principale porte sur la détermination en temps réel de la robustesse du modèle financier. Elle vise ainsi la mise en œuvre d'un accompagnement du gestionnaire financier sur la robustesse de sa simulation. Lors de la recherche de valeurs correctes pour le modèle physico-financier, les gestionnaires recherchent avant tout des solutions qui permettent de réaliser le plus de projets possibles tout en maintenant les ratios prudentiels d'endettement à un niveau souhaitable.

Cette activité est complexe et nécessite une très grande expertise, mais elle pourrait être efficacement assistée par un moteur d'optimisation. Toutefois, une fois un ensemble de valeurs correctes trouvé, le gestionnaire financier n'est pas au bout de son travail, car il doit encore évaluer la résistance de son modèle à des aléas. Que se passe-t-il par exemple en cas d'aléa sur les travaux programmés ? Le modèle choisi comme idéal vole-t-il en éclats, avec une dégradation brusque de tous les indicateurs ou rend-il possible de compenser les dépenses par un autre poste d'emprunt ou de recette sans mettre en difficulté l'entité financière ?

C'est tout le rôle du calcul de robustesse du modèle que d'assister le financier en lui préparant des calculs de simulation de tel ou tel aléa. Nous pourrions par exemple imaginer que chaque valeur simulée pour le modèle soit accompagnée d'un résultat en temps réel sur l'impact d'une baisse de 5% de la population ou d'une baisse drastique des dotations aux collectivités par l'État. Disposer de ce genre de mesures en temps réel aiderait fortement les gestionnaires à choisir une solution peut-être un peu moins prometteuse sur le nombre de projets financés, mais avec une bien plus grande résistance aux événements extérieurs.

7. Références

- Baati, Lassaadet *al.* *Approche de modélisation DEVS à structure hiérarchique et dynamique* LSIS UMR-CNRS 6168, 2007.
- Baker, David, et Wendy Evans, éd. *1 - Digital economics: introduction and overview*. In *A Handbook of Digital Library Economics*, 1-21. Chandos Publishing, 2013.
- Baugh, P, A Gillies, et P Jastrzebski. *Combining knowledge-based and database technology in a tool for business planning*. *Information and Software Technology* 35, no 3 (mars 1993): 131-37. doi:10.1016/0950-5849(93)90050-D.
- Bermúdez, J.D., J.V. Segura, et E. Vercher. *A decision support system methodology for forecasting of time series based on soft computing*. *The Fuzzy Approach to Statistical Analysis* 51, no 1 (1 novembre 2006): 177-91. doi:10.1016/j.csda.2006.02.010.
- Broeckx, F. *Simulation in business planning and decision making: Thomas H. Naylor (Ed.) Volume 9, Number 1 in: Simulation Proceedings Series, Simulation Councils Inc., La Jolla, 1981, ix + 131 pages, \$30.00*. *European Journal of Operational Research* 12, no 3 (mars 1983): 317. doi:10.1016/0377-2217(83)90206-0.
- Cha, Sang K., Kunsoo Park, Changbin Song, Kihong Kim, CheolRyu, et Sunho Lee. *Interval Disaggregate: A New Operator for Business Planning*. *Proc. VLDB Endow.* 7, no 13 (août 2014): 1381-92. doi:10.14778/2733004.2733011.
- Choi, Sang Hyun, ByungSeokAhn, Chang Hee Han, SoungHie Kim, et Jae Kyeong Kim. *Knowledge-based decision system for goal directed military resource planning*. *Computers & Industrial Engineering* 35, no 1-2 (octobre 1998): 299-302. doi:10.1016/S0360-8352(98)00079-5.
- Cho, KwunIk, et SoungHie Kim. *An improved interactive hybrid method for the linear multi-objective knapsack problem*. *Computers & Operations Research* 24, no 11 (novembre 1997): 991-1003. doi:10.1016/S0305-0548(97)00021-X.
- Eisenreich, Katrin. *Towards an Algebraic Foundation for Business Planning*. In *Proceedings of the 2009 EDBT/ICDT Workshops*, 161-69. EDBT/ICDT '09. New York, NY, USA: ACM, 2009. doi:10.1145/1698790.1698817.
- Hruschka, Harald. *Use of fuzzy relations in rule-based decision support systems for business planning problems*. *European Journal of Operational Research* 34, no 3 (mars 1988): 326-35. doi:10.1016/0377-2217(88)90153-1.
- Kim, Soung-Hie, Byeong-SeokAhn, et Sang-Hyun Choi. *An efficient force planning system using multi-objective linear goal programming*. *Computers & Operations Research* 24, no 6 (juin 1997): 569-80. doi:10.1016/S0305-0548(96)00040-8.
- Lin, W Thomas. *An accounting control system structured on multiple objective planning models*. *Omega* 8, no 3 (1980): 375-82. doi:10.1016/0305-0483(80)90065-1.
- Lourdes Borrajo, M., Juan M. Corchado, Emilio S. Corchado, María A. Pellicer, et Javier Bajo. *Multi-agent neural business control system*. *Special Issue on Modelling Uncertainty* 180, no 6 (15 mars 2010): 911-27. doi:10.1016/j.ins.2009.11.028.
- Mayo, D.D., W.J. Dalton, et M.J. Callaghan. *Steering strategic decisions at London underground: evaluating management options with system dynamics*. In *Simulation Conference, 2003. Proceedings of the 2003 Winter*, 2:1578-84 vol.2, 2003. doi:10.1109/WSC.2003.1261605.
- Rees, Jackie, et Reza Barkhi. *The problem of highly constrained tasks in group decision support systems*. *European Journal of Operational Research* 135, no 1 (16 novembre 2001): 220-29. doi:10.1016/S0377-2217(00)00323-4.
- Sato, Yuji. *Optimal budget planning for investment in safety measures of a chemical company*. *Sixteenth international working seminar on production economics*, Innsbruck, 2010 140, no 2 (décembre 2012): 579-85. doi:10.1016/j.ijpe.2012.05.030.

- Sethi, S.P., M. Taksar, et Q. Zhang. *Hierarchical decomposition of production and capacity investment decisions in stochastic manufacturing systems*. International Transactions in Operational Research 1, no 4 (octobre 1994): 435-51. doi:10.1016/0969-6016(94)90006-X.
- Suggs, R., et B. Lewis. *Enterprise simulation - a practical application in business planning*. In Simulation Conference, 2007 Winter, 205-9, 2007. doi:10.1109/WSC.2007.4419602.
- Wang, Fen, G. Forgionne, et Lidan Ha. *Reestimation of e-business planning model in real business world*. In e-Commerce Technology, 2004. CEC 2004. Proceedings. IEEE International Conference on, 317-20, 2004. doi:10.1109/ICECT.2004.1319750.
- Wang, Huey-Jiun, Chien-Wei Chiou, et Yi-Kai Juan. *Decision support model based on case-based reasoning approach for estimating the restoration budget of historical buildings*. Expert Systems with Applications 35, no 4 (novembre 2008): 1601-10. doi:10.1016/j.eswa.2007.08.095.
- Wen, W., W.K. Wang, et C.H. Wang. *A knowledge-based intelligent decision support system for national defense budget planning*. Expert Systems with Applications 28, no 1 (janvier 2005): 55-66. doi:10.1016/j.eswa.2004.08.010.
- Wong, Wing-Keung. *Stochastic dominance and mean-variance measures of profit and loss for business planning and investment*. European Journal of Operational Research 182, no 2 (16 octobre 2007): 829-43. doi:10.1016/j.ejor.2006.09.032.
- Xie, Haifeng, Thierry Chausalet, Sam Toffa, et Peter Crowther. *A software tool to aid long-term care budget planning at local authority level*. International Council on Medical and Care Computation (ICMCC) 75, no 9 (septembre 2006): 664-70. doi:10.1016/j.ijmedinf.2006.04.009.