

Université de Montréal

**Évaluation et amélioration du rendement de la formation en entreprise : vers une
démarche basée sur la gestion des processus d'affaires**

par
Fodé Touré

Département d'informatique et de recherche opérationnelle
Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
en informatique

octobre, 2014

© Fodé Touré, 2014.

RÉSUMÉ

La formation est une stratégie clé pour le développement des compétences. Les entreprises continuent à investir dans la formation et le développement, mais elles possèdent rarement des données pour évaluer les résultats de cet investissement. La plupart des entreprises utilisent le modèle *Kirkpatrick/Phillips* pour évaluer la formation en entreprise. Cependant, il ressort de la littérature que les entreprises ont des difficultés à utiliser ce modèle. Les principales barrières sont *la difficulté d'isoler l'apprentissage comme un facteur* qui a une incidence sur les résultats, *l'absence d'un système d'évaluation utile* avec le système de gestion de l'apprentissage (*Learning Management System - LMS*) et *le manque de données standardisées* pour pouvoir comparer différentes fonctions d'apprentissage.

Dans cette thèse, nous proposons un modèle (*Analyse, Modélisation, Monitoring et Optimisation - AM2O*) de gestion de projets de formation en entreprise, basée sur la gestion des processus d'affaires (*Business Process Management - BPM*). Un tel scénario suppose que les activités de formation en entreprise doivent être considérées comme des processus d'affaires. Notre modèle est inspiré de cette méthode (BPM), à travers la définition et le suivi des indicateurs de performance pour gérer les projets de formation dans les organisations. Elle est basée sur l'analyse et la modélisation des besoins de formation pour assurer l'alignement entre les activités de formation et les objectifs d'affaires de l'entreprise. Elle permet le suivi des projets de formation ainsi que le calcul des avantages tangibles et intangibles de la formation (sans coût supplémentaire). En outre, elle permet la production d'une classification des projets de formation en fonction de critères relatifs à l'entreprise. Ainsi, avec assez de données, notre approche peut être utilisée pour optimiser le rendement de la formation par une série de simulations utilisant des algorithmes d'apprentissage machine : régression logistique, réseau de neurones, co-apprentissage. Enfin, nous avons conçu un système informatique, *Enterprise TRaining programs Evaluation and Optimization System - ETREOSys*, pour la gestion des programmes de formation en entreprise et l'aide à la décision. ETREOSys est une plateforme Web utilisant des services en nuage (cloud services) et les bases de données NoSQL. A travers AM2O

et ETREOSys nous résolvons les principaux problèmes liés à la gestion et l'évaluation de la formation en entreprise à savoir : la difficulté d'isoler les effets de la formation dans les résultats de l'entreprise et le manque de systèmes informatiques.

Mots clés: Apprentissage organisationnel, Analyse d'affaires, Modélisation, Monitoring, Evaluation, Optimisation, Algorithmes d'apprentissage machine.

ABSTRACT

Training is a key strategy to develop employees' skills. Businesses continue to invest in training and development, but they rarely have data to evaluate the results of this investment. Most companies use the *Kirkpatrick/Phillips* model to evaluate the training. However, it emerges from the literature that companies have difficulties in using this model. There are three main barriers to the evaluation of training. The first barrier is the difficulty of isolating learning as a factor that affects the results. Another barrier is the lack of a useful assessment IT tool with the learning management system and the third barrier is the lack of standardized data to compare various learning functions.

In this thesis, we propose a model to manage training projects in enterprises (*Analysis, Modelling, Monitoring and Optimization - AM2O*), based on *Business Process Management* (BPM). Such a scenario considers the training activities as business processes. Our model is inspired by the BPM method through the definition and monitoring of performance indicators for managing all aspects of training. It is based on the analysis and modeling of training needs to ensure alignment between training activities and business objectives. It allows the monitoring of training projects as well as the calculation of tangible and intangible benefits (without additional cost). In addition, it allows us to classify training projects according to criteria relative to the enterprise. Thus, our approach could be used to optimize the yield of the training through a series of simulations using the machine learning algorithms logistic regression, neural network and co-training.

Finally, we develop an IT tool, *Enterprise Training Programs Evaluation and Optimization System - ETREOSys*, to manage training programs in enterprises and for decision-making support. ETREOSys is a Web platform which uses cloud services such as virtual machines, data centers, Content Delivery Network and NoSQL databases. AM2O and ETREOSys resolve the main problems related to the management and evaluation of training in enterprises namely: *the difficulty of isolating the effects of training and the lack of IT tools*.

Keywords: Organizational learning, Business Analysis, Modelling, Monitoring, Assessment, Optimization, Machine Learning Algorithms.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
ABSTRACT	iv
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES ANNEXES	x
LISTE DES SIGLES	xi
DÉDICACE	xiii
REMERCIEMENTS	xiv
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : FORMATION EN ENTREPRISE ET PROBLÉMATIQUE	6
1.1 Formation en entreprise	6
1.2 Problématique	8
1.3 Synthèse	13
CHAPITRE 2 : MODÈLES D'ÉVALUATION DU RENDEMENT DE LA FOR-	
MATION EN ENTREPRISE	15
2.1 Pourquoi évaluer ?	16
2.2 Modèle d'évaluation à 4 niveaux de Kirkpatrick	18
2.3 Modèle de retour sur investissement de Phillips	22
2.4 Modèle basé sur les cibles d'évaluation de Kraiger	28
2.5 Limites des modèles d'évaluation	30

2.6	Synthèse	35
CHAPITRE 3 : NOTRE APPROCHE : ANALYSE, MODÉLISATION, MONITORING, OPTIMISATION - AM2O 37		
3.1	Analyse du besoin de formation	40
3.2	Modélisation	52
3.3	Monitoring (<i>Supervision</i>)	70
3.4	Optimisation	74
3.5	Synthèse	80
CHAPITRE 4 : NOTRE SYSTÈME : ENTERPRISE TRAINING PROGRAMS EVALUATION AND OPTIMIZATION SYSTEM - ETREO-SYS 83		
4.1	Module de modélisation	87
4.2	Module de configuration	88
4.3	Module de monitoring	89
4.4	Module d'optimisation	91
4.5	Technologies d'implémentation	93
4.6	Validation méthodologique	98
4.7	Synthèse	103
CONCLUSION		104
BIBLIOGRAPHIE		109

LISTE DES TABLEAUX

0.I	Méthodes d'évaluation de la formation par niveau	2
0.II	Les pratiques d'évaluation des formations des entreprises françaises en 2011 [34]	4
1.I	Les obstacles à l'évaluation de la formation en entreprise (tiré de [3])	11
2.I	Modèle de Kirkpatrick [48]	21
2.II	Principaux modèles basés sur les systèmes (CIPP, IPO et TVS) avec le modèle fondé sur les buts de Kirkpatrick (tiré de [31])	33
3.I	Les caractéristiques des objectifs [53]	47
3.II	Exemple de bilan financier simplifié	48
3.III	Application de la règle R_4	68
3.IV	Illustration des données collectées sur les employés participants aux programmes de formation (les données de ce tableau sont générées aléatoirement à partir d'Excel)	78
3.V	Illustration des données issues du prétraitement par utilisation de la formule de standardisation et de la discrétisation des données cibles.	79
4.I	Comparaison de notre modèle au modèle Kirkpatrick/Phillips [87]	100
4.II	Objets des principaux modèles d'évaluation de la formation	101

LISTE DES FIGURES

1.1	Les 5 niveaux d'évaluation d'une formation (tiré de [22])	9
2.1	Les quatre niveaux d'évaluation de Kirkpatrick (tiré de [70])	18
2.2	Modèle du rendement de la formation de Phillips (tiré de [9])	24
2.3	Modèle basé sur les cibles d'évaluation (tiré de [70])	29
3.1	Cycle de vie de la gestion des processus d'affaires (adapté de [90])	39
3.2	Gestion des programmes de formation en entreprise [87]	40
3.3	Impacts d'un projet de formation intégrée [5]	40
3.4	Chapitres et tâches du guide de l'IIBA [16]	43
3.5	Procédure d'estimation de la rentabilité de l'investissement en formation	50
3.6	Les objets du langage de modélisation [90, 91]	53
3.7	Un modèle de processus possibles pour la planification de la formation : comportement du consommateur	54
3.8	Un modèle de processus possibles pour l'évaluation de la formation	55
3.9	Un modèle de processus de planification de la formation avec des conflits structurels "Comportement du consommateur".	57
3.10	Exemple d'application de la règle R_1 . Cette règle supprime toutes les structures séquentielles dans le graphe.	62
3.11	Exemple d'application de la règle de réduction d'adjacence R_2 . Cette règle supprime toutes les structures d'adjacence dans le graphe.	64
3.12	Exemple d'application de la règle de réduction fermée R_3	65
3.13	Exemple d'un graphe split-join.	67
3.14	Procédure de calcul du rendement de l'investissement en formation	72
3.15	Algorithme d'apprentissage machine pour la classification paramétrique et les simulations	76
4.1	Architecture de notre système de gestion des processus de formation en entreprise	84

4.2	Diagramme fonctionnel simplifié de ETREOSys	85
4.3	Page d'accueil de ETREOSys	86
4.4	Mock-up du module BPMModeler de ETREOSys [88]	87
4.5	Mock-up du module BPMConfig de ETREOSys [88]	88
4.6	Mock-up du module BAM de ETREOSys [88]	90
4.7	Mock-up du module BPMOPTUM de ETREOSys [88]	91
4.8	Test en local de la bibliothèque machine_learning	92
4.9	Architecture des technologies utilisées pour le déploiement de ETREOSys	93
4.10	La structure principale de ETREOSys est implémentée en PHP et utilise le framework Yii	94
4.11	Utilisation du framework Yii pour générer les classes des modèles	95
4.12	Utilisation du framework Yii pour générer les contrôleurs et les vues	96
4.13	Modélisation d'un processus dans ETREOSys et la structure complète du modèle dans un serveur node.js	97
4.14	Base de données de ETREOSys sur MongoLab	98

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Mes publications xvi

LISTE DES SIGLES

ABC	Activity Based Costing
AM2O	Analyse, Modélisation, Monitoring et Optimisation
ANDRH	Association Nationale des Directeurs des Ressources Humaines
ASTD	American Society for Training & Development
AWS	Amazon Web Services
BPEL	Business Process Execution Language
BPM	Business Process Management
BPMN	Business Process Model and Notation
BPMS	Business Process Management System
CCA	Conseil Canadien sur l'Apprentissage
CIPP	Context, Input, Process, Product
CSS	Cascading Style Sheets
DIRO	Département d'Informatique et Recherche Opérationnelle
EMTE	Enquête sur le Milieu de Travail et les Employés
ESI	Evaluation Success Index
ETREOSys	Enterprise TRaining programs Evaluation and Optimization System
HCCP	Human Capital Corporate Panel
HTML	HyperText Mark-Up Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
i4cp	institute for corporate productivity's
IIBA	International Institute of Business Analysis
IPO	Input, Process, Output, Outcome
JSON	JavaScript Object Notation

LMS	Learning Management System
PHP	Hypertext Preprocessor
RCRPP	Réseaux Canadiens de Recherche en Politiques Publiques
ROE	Return On Equity
ROI	Return On Investment (retour sur investissement)
TVS	Training Validation System
UML	Unified Modeling Language
VAN	Valeur Actuelle Nette
WfMC	Workflow Management Coalition
XML	eXtensible Markup Language
XPDL	XML Process Definition Language

Je dédie ce travail à ma grand-mère Demba-
binty Camara. Que Dieu lui accorde le paradis.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à louer Allah pour tout ce qu'Il m'a permis d'accomplir. Je réaffirme ma foi en Lui en témoignant qu'il n'y a d'autre divinité qu'ALLAH, et que Mohammad est son messager.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à ma directrice, Professeure Esma Aïmeur, tout autant pour ses conseils avisés concernant direction et la valorisation de mon travail que pour m'avoir fait partager son expérience. Ses précieuses remarques et conseils ont fortement contribué à mener à bien ce travail. Je lui suis éternellement reconnaissant pour m'avoir fait confiance et encouragé.

Je remercie infiniment Professeure Kimiz Dalkir, de l'université de McGill, pour avoir collaboré activement à l'amélioration de mon travail. Ses précieuses remarques et son expertise complémentaire m'ont permis de valider mes idées et m'ont encouragé dans mes réflexions.

J'adresse mes remerciements sincères aux membres du jury, Professeur Guy Lapalme, Professeur Mickaël Gardoni et Professeur Abdelhakim Hafid pour m'avoir fait l'honneur d'évaluer ce travail.

Je remercie Maxime Calouche, Président de Craneup, pour les heures de discussions et de critiques qu'il m'a accordé.

Mes vifs remerciements à mon amie Mouna Selmi pour le soutien qu'elle m'a apporté.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude aux membres du laboratoire HERON pour leur sympathie, leur esprit d'équipe, leur disponibilité et l'assistance qu'ils m'ont apportés.

Mes sincères remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail par leur soutien moral et matériel.

Je remercie vivement le corps professoral et l'administration du Département d'Informatique et Recherche Opérationnelle (DIRO) de l'université de Montréal pour la confiance qu'ils m'ont accordé en m'acceptant parmi les étudiants de cet établissement.

Je ne saurais terminer sans remercier mon épouse, mes parents, frères, sœurs, grands parents, tuteurs et amis. Ils m'ont donné le goût d'apprendre et la force de persévérer afin d'atteindre ce niveau d'étude.

INTRODUCTION

L'évaluation de l'efficacité de la formation professionnelle est une problématique fréquente dans les entreprises. En effet, de nombreuses organisations font des investissements substantiels dans des programmes d'acquisition de connaissances. Malheureusement, ces organisations ne réalisent pas un niveau optimal de rendement de cet investissement parce que leurs programmes sont mal gérés [82]. Pour mieux comprendre, prenons l'exemple (tiré de [50]) d'une entreprise dont l'effectif est de 1000 personnes et une masse salariale de 25 millions dollars. Elle consacre 2% de ce montant à la formation du personnel, soit 500000 dollars. Le Directeur Général(DG) de l'entreprise, convaincu par son Responsable Formation (RF) que la dépense de formation est un investissement, lui demande combien cet investissement d'un demi-million de dollars a rapporté à l'entreprise. Le RF ne sachant quoi répondre, finit par dire au DG que la formation est un investissement à long terme, qu'il faut donc attendre, mais que l'on n'est pas sûr de voir combien elle rapportera, si elle rapporte ... Le DG, peu satisfait de cette réponse, demande au RF de calculer dorénavant le retour sur investissement de la formation. **Comment faire ?**

Les investissements consacrés au développement du capital humain, c'est-à-dire au développement des connaissances, des compétences et des qualifications de la main-d'oeuvre, sont considérés tout aussi importants pour la croissance économique que les dépenses dans le capital physique [39]. Cependant, mesurer la valeur de l'apprentissage est un défi permanent. De nombreuses organisations peuvent évaluer si leurs employés ont apprécié (ou pas) un cours ou acquis de nouvelles connaissances, mais peu ont déchiffré le code permettant de déterminer le *retour sur investissement* (Return On Investment-ROI). Dans la littérature, il existe plusieurs modèles pour évaluer les programmes de formation en entreprise. Les méthodes les plus couramment utilisées sont celles dérivées de l'œuvre de Donald L. Kirkpatrick "*Evaluating Training Programs : The Four Levels*" [46, 47]. Certains de ces modèles permettent de calculer le retour sur le capital investi, et pourraient aider les organisations à prendre des décisions mieux adaptées à leurs besoins

en formation. Le modèle de référence en termes d'évaluation de formation en entreprise est celui de Kirkpatrick, un modèle à quatre niveaux d'évaluation (réaction, apprentissage, comportement, résultats). En 1996, Phillips a ajouté un cinquième niveau. Jack J. Phillips suggère, dans son livre "*Return on Investment in Training and Performance Improvement Programs* [65]", un niveau exclusivement dédié à la mesure du ROI. Le tableau 0.I montre les mesures d'évaluation de la formation, publiées dans l'étude comparative menée en 2008 par Corporate University Xchange¹.

Tableau 0.I – Méthodes d'évaluation de la formation par niveau

Méthode d'évaluation de la formation	Pourcentage de formations évaluées en utilisant cette méthode
Niveau 1 : opinion sur le cours et les instructeurs	75%
Niveau 2 : acquisition des connaissances	47%
Niveau 3 : changement de comportement	20%
Niveau 4 : impact sur l'entreprise	12%
Niveau 5 : retour sur investissement	6%

Source : huitième étude comparative annuelle de Corporate University Xchange, 2008, tiré de [71]

En raison des difficultés liées à l'utilisation de ces modèles, les départements des ressources humaines n'arrivent pas à estimer, de façon concrète, l'impact de la formation sur la croissance économique et sociale de leur entreprise. En effet, une étude récente "*The Value of Evaluation* [3]", menée par la société américaine pour la formation et le développement (*American Society for Training & Development* - ASTD²) et l'institut pour la productivité des entreprises (*Institute for Corporate Productivity's* - i4cp), montre que des progrès sont accomplis dans les pratiques d'évaluation. Cependant, peu d'organisations pensent qu'elles ont maîtrisé l'évaluation des apprentissages, et beaucoup admettent faire face à des défis permanents.

Par ailleurs, en France, une synthèse d'étude intitulée "*Les pratiques d'évaluation des*

¹CorpU (Corporate University Xchange) permet l'innovation, la résolution de problèmes et la réflexion stratégique en libérant le potentiel et le leadership des équipes de l'organisation. CorpU est un pionnier de nouvelles approches de communautés virtuelles d'apprentissage qui relient les gens pour capturer les connaissances, résoudre des problèmes, formuler des idées, enseigner et apprendre. <http://corpu.com/corpu/about/about-us/>

²L'Association pour le Développement des Talents (Association for Talent Development - ATD), anciennement ASTD, est la plus grande association au monde dédiée au développement des talents au sein des organisations. Ces professionnels aident les autres à atteindre leur plein potentiel en améliorant leurs connaissances, leurs compétences et leurs capacités. <http://www.astd.org/>

formations des entreprises françaises [34]" montre que les pratiques d'évaluation restent peu développées, tant au sein des entreprises que des organismes de formation. Comme en 2010, l'évaluation des réactions (niveau 1) est la plus pratiquée, limitant le rôle de l'évaluation de la formation au simple fait de questionner le degré de satisfaction des formés. Ce niveau d'évaluation ne s'intéresse pas à ce que les employés ont appris (niveau 2) ou s'ils se servent de ce qu'ils ont appris en situation de travail (niveau 3) ou encore si cela a un impact positif sur les résultats de l'organisation (niveau 4). Ce constat rejoint un autre, selon lequel *plus on progresse dans la hiérarchie des niveaux, plus rares se font les évaluations*. Des problèmes méthodologiques sont également mis en évidence par les répondants, en particulier pour les niveaux d'évaluation 3, 4, 5 et l'isolement des effets de la formation dans les résultats. Le tableau 0.II montre les résultats de cette synthèse d'étude.

Au Canada, des rapports rédigés par plusieurs organisations telles que les Réseaux Canadiens de Recherche en Politiques Publiques (RCRPP), le Conference Board du Canada, le Conseil Canadien sur l'Apprentissage (CCA) abondent dans le même sens : *les entreprises canadiennes n'investissent pas suffisamment dans la formation par rapport à d'autres pays à haut rendement économique* [80]. Cette hésitation est due, essentiellement, aux difficultés d'évaluer l'impact de cet investissement sur les résultats organisationnels.

Tableau 0.II – Les pratiques d'évaluation des formations des entreprises françaises en 2011 [34]

		2010 (N = 80)	2011 (N = 60)	Évolution (2010/2011)
Niveau 1 : Réactions	Évaluation formelle	81,3%	93,3%	+12
	Évaluation informelle	17,5%	6,7%	-10,8
	Pas d'évaluation	1,3%	/	-1,3
Niveau 2 : Apprentissage	Évaluation formelle	60%	55%	-5
	Évaluation informelle	22,5%	11,7%	-10,8
	Pas d'évaluation	17,5%	33,3%	+15,8
Niveau 3 : Comportements	Évaluation formelle	36,3%	35%	-1,3
	Évaluation informelle	25%	11,7%	-13,3
	Pas d'évaluation	38,8%	53,3%	+14,5
Niveau 4 : Résultats	Évaluation formelle	13,8%	13,3%	-0,5
	Évaluation informelle	21,3%	6,7%	-14,6
	Pas d'évaluation	65%	80%	+15

N est le nombre d'entreprise participants au sondage

Au regard des constats et problèmes suscités, notre contribution consiste à proposer un modèle (*Analyse, Modélisation, Monitoring et Optimisation - AM2O*) de gestion de projets de formation en entreprise, basée sur la gestion des processus d'affaires (*Business Process Management - BPM*). Notre modèle est inspiré de cette méthode (BPM), à travers la définition et le suivi d'indicateurs de performance, pour gérer tous les aspects de la formation en entreprise. Allant de l'étude des objectifs de formation à l'évaluation de son impact sur l'entreprise, notre contribution offre des outils d'aiguillage de la formation vers un rendement positif et assure son alignement aux besoins d'affaires de l'entreprise. Pour faciliter la compréhension et l'utilisation du modèle AM2O, nous offrons également un système informatique nommé **ETREOSys** (**E**nterprise **T**rainig program **E**valuation and **O**ptimization **S**ystem). Selon les résultats de l'enquête de l'ASTD, les gestionnaires de formation (et les professionnels de la formation) seraient plus motivés à évaluer le rendement de la formation s'ils avaient un système informatique à leur disposition. Nous répondons à cette sollicitation en leurs offrant AM2O et ETREOSys.

Dans le chapitre 1 de ce mémoire, nous présentons les études liées à l'intérêt de la formation en entreprise et les problèmes rencontrés dans l'évaluation du rendement de la formation en entreprise. Une revue de littérature des principaux modèles d'évaluation

de la formation en entreprise et leurs limites est présentée au chapitre 2. Ensuite, afin de répondre aux besoins exprimés par les entreprises, à travers des enquêtes de l'ASTD et d'autres, nous expliquons les étapes de notre modèle de gestion et d'évaluation de la formation en entreprise dans le chapitre 3. Avant de conclure, nous présentons notre système de gestion, d'évaluation et d'optimisation de projet de formation dans le chapitre 4.

CHAPITRE 1

FORMATION EN ENTREPRISE ET PROBLÉMATIQUE

Les connaissances des employés, leurs aptitudes, leurs expériences sont des éléments concurrentiels déterminants pour la croissance d'une entreprise. Une étude britannique menée pendant douze ans a révélé l'effet positif de la formation sur la croissance de l'entreprise. Selon cette étude, une augmentation de 5% du nombre de travailleurs suivant une formation dans une industrie se traduirait par une augmentation de la productivité de 4% et des salaires de 1,6% (tiré de [6]). Cela démontre que la qualification des employés est bénéfique pour l'entreprise et pour le personnel.

Dans ce chapitre, nous présentons les problèmes liés à la formation en entreprise après avoir discuté de l'intérêt de la formation.

1.1 Formation en entreprise

Cette section présente quelques enquêtes et études qui montrent l'utilité de former les employés car leurs connaissances et compétences ont un impact sur la performance de l'entreprise.

En effet, les compétences individuelles et collectives sont les actifs les plus importants pour une organisation [77]. Ainsi, la formation devient un meilleur moyen pour surperformer sur leurs concurrents en matière d'innovation, pour fidéliser les clients et accroître les ventes [84, 85].

Selon Alegre et *al.* [21], les entreprises qui ont une forte capacité d'apprentissage ont tendance à être plus innovantes, et pour cette raison, elles sont plus productives et plus compétitives. Par conséquent, elles sont capables de s'adapter et d'être proactives dans un environnement économique incertain.

Un rapport publié, en 2013, par l'ASTD révèle que les entreprises continuent d'investir dans l'apprentissage organisationnel et le développement [4]. Dans le rapport sur l'état de l'industrie, de l'ASTD 2013, 475 organisations, représentant un échantillon diversifié

d'industries de diverses tailles et d'emplacements différents, ont rapporté sur leur engagement envers l'apprentissage et le développement. Les organisations américaines ont dépensé, en 2012, environ 164.2 milliards de dollars dans la formation des employés. Le rapport confirme que, malgré les difficultés économiques, les organisations ont compris que les caractéristiques de gestion qui facilitent le processus d'apprentissage organisationnel peuvent fournir aux entreprises la base d'un avantage concurrentiel.

Park et Jacobs [60] ont mené des études sur l'influence des investissements en formation sur la performance organisationnelle. Leurs investigations reposaient sur l'idée que les investissements en formation auraient un effet positif sur le niveau de connaissance des employés, ce qui à son tour aurait un effet positif sur la performance organisationnelle. Pour tester leurs hypothèses, les auteurs ont utilisé les données des sondages *Human Capital Corporate Panel* (HCCP¹) de 2005 et 2007. Dans un premier temps, les résultats ont démontré l'existence d'une relation entre l'apprentissage réalisé en milieu de travail et la performance organisationnelle. Dans un second temps, ils ont observé que l'investissement en formation influence positivement la performance financière des organisations. Par ailleurs, cette étude a permis de confirmer les résultats des études antérieures qui démontraient un lien positif entre la formation et la performance organisationnelle.

Dostie [28] utilise les données de l'EMTE² (*Enquête sur le Milieu de Travail et les Employés*) pour la période 1999-2006 et montre qu'un employé ayant reçu de la formation en classe dans le courant de la dernière année est 11% plus productif qu'un employé n'ayant pas reçu de formation.

En Autriche, une étude de l'Université de Linz, réalisée sur un panel d'entreprises autrichiennes de plus de 10 salariés (entre 1999 et 2008), révèle des résultats très surprenants

¹L'enquête du HCCP est une enquête à moyen et long terme réalisée tous les deux ans. Elle est officiellement approuvée par le Bureau national des statistiques de Corée. Source : http://eng.krivet.re.kr/eu/eh/prg_euGAADs.jsp

²L'Enquête sur le milieu de travail et les employés (EMTE) est conçue pour explorer un large éventail de questions reliées aux employeurs et à leurs employés. http://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&SDDS=2615

sur l'efficacité et le rendement de la formation : chaque euro investi dans la formation apporterait un profit de 13 euros à l'entreprise. De même, la productivité de chaque collaborateur augmenterait de 4% [40].

De ce qui précède, il résulte que la formation est, depuis longtemps, considérée comme un puissant levier permettant de développer les compétences du personnel et, donc, d'améliorer la performance organisationnelle. Les organisations dépensent des milliards, répartie entre les acteurs publics et privés, un coût important qui incite certains acteurs à parler d'investissement en formation [69]. Pourtant, l'évaluation de sa réelle efficacité et de son hypothétique rentabilité (en tant qu'investissement) demeure un vieux débat, un mystère non résolu. La section suivante présente les principaux problèmes liés à l'évaluation de la formation en entreprise.

1.2 Problématique

L'objectif de la formation en entreprise est d'avoir une influence positive sur la performance organisationnelle (augmentation du nombre d'unités vendues, une augmentation de la productivité, la réduction du taux d'absentéisme, diminution des pertes, la diminution du nombre d'erreurs dans les commandes, ...). Par conséquent, il est évident que les gestionnaires s'inquiètent quant à la rentabilité des investissements en formation ainsi que sur l'efficacité des ressources qui lui est dédié [70]. En effet, l'évaluation de la formation vise à vérifier si les efforts engagés sont traduits par des résultats à la hauteur des objectifs visés. Cependant, quand il est question de faire le lien entre les programmes d'apprentissage et les résultats des entreprises, les fonctions d'apprentissage organisationnel (service de valorisation des connaissances et compétences, ...) ont des antécédents de succès limité.

Selon Vijay Kumar et *al.* [95], seule une minorité d'organisations évaluent leurs programmes de formation, en raison de la difficulté inhérente, de l'absence d'instruments valides et modèles viables.

Selon Tony Bingham, Président et CEO de ASTD, mesurer l'impact de l'apprentissage

continue d'être l'un des aspects les plus difficiles de la fonction d'apprentissage (tiré de [3]). Le modèle d'évaluation le plus cité dans la littérature est le modèle à quatre niveaux de D. Kirkpatrick [47], auquel J. Phillips [65] ajoute un cinquième niveau, celui du rendement économique de la formation (figure 1.1). Cependant, les entreprises n'arrivent pas à utiliser ce modèle dans sa totalité.

En 2012, Saks et Burke [75] ont mené une recherche auprès de 150 membres d'une association canadienne de formation qui travaillaient pour des organisations comptant entre 500 et 1000 employés. Les auteurs révèlent que les entreprises mesurent beaucoup plus les réactions et les apprentissages, alors que seuls les comportements et les résultats sont positivement liés (corrélés) à un plus haut niveau de transfert des apprentissages.

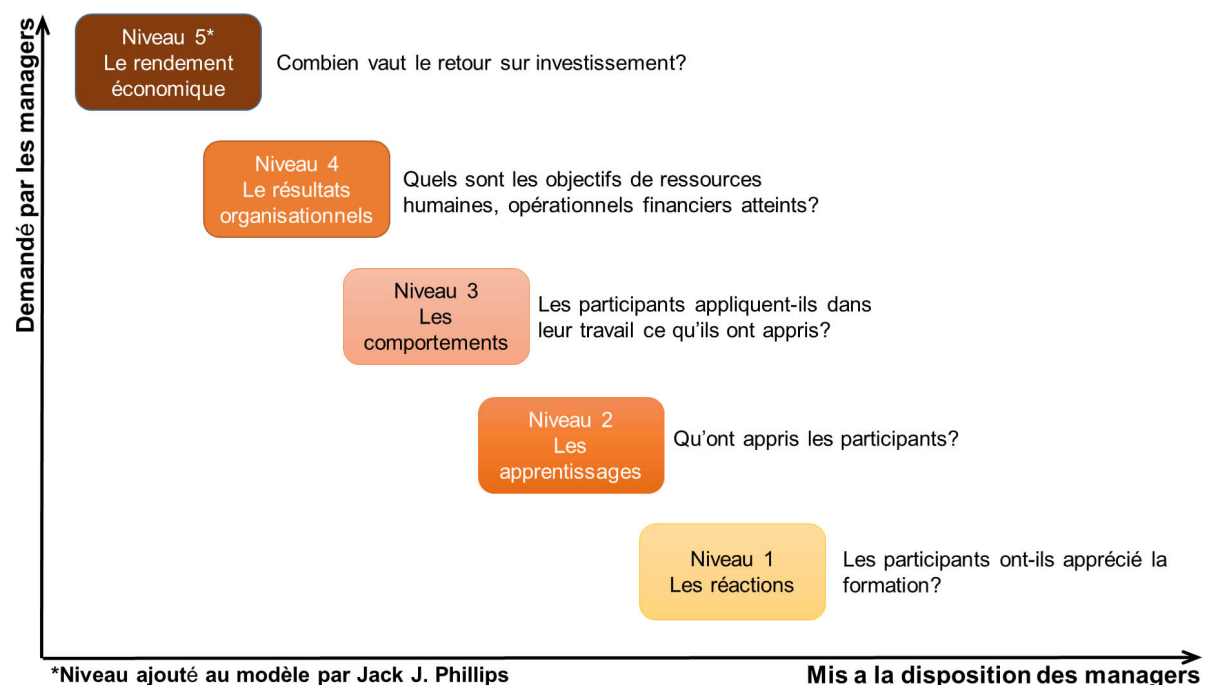


Figure 1.1 – Les 5 niveaux d'évaluation d'une formation (tiré de [22])

Une étude menée en 2009 par l'ASTD³, "*Value of Evaluation*", a révélé que le modèle

³L'ASTD et i4cp se sont associés pour étudier la question complexe de l'évaluation de la formation. Un total de 704 professionnels des ressources humaines et de la formation a complété un sondage en ligne en mai 2009, la majorité d'entre eux (85 pour cent) étaient des gestionnaires, des directeurs, des vice-présidents ou des dirigeants. L'échantillon a été réparti en fonction de la taille de la main-d'œuvre, du chiffre d'affaires annuel, et du type d'industrie.

à cinq niveaux de Kirkpatrick/Phillips est le modèle le plus couramment utilisé dans la pratique [3]. Les cinq niveaux comprennent *la réaction des participants* (niveau 1), *le niveau de l'apprentissage réalisé* (niveau 2), *les changements de comportement de l'apprenant* (niveau 3), *les résultats d'affaires provenant de la formation* (niveau 4), et *le retour sur investissement de la formation* (niveau 5). Selon cette étude, quatre-vingt-douze pour cent (92%) des répondants mesurent au moins le niveau 1 du modèle. Mais l'utilisation du modèle diminue considérablement avec chaque niveau supplémentaire. Cette tendance suppose que les gestionnaires ne saisissent pas pleinement la manière dont le modèle doit être utilisé.

Par ailleurs, les répondants citent de nombreux obstacles liés à l'évaluation de la formation :

- Difficulté d'isoler l'apprentissage comme un facteur qui a un impact sur les résultats de l'entreprise ;
- Absence d'un système d'évaluation utile dans les LMS ;
- Manque de données normalisées pour mieux comparer des projets de formation.

Le tableau 1.I résume les barrières (obstacles) et le pourcentage de répondants.

Tableau 1.I – Les obstacles à l'évaluation de la formation en entreprise (tiré de [3])

	Pourcentage des répondants qui voient ceux-ci comme des obstacles à un degré élevé ou très élevé	Corrélation avec l'indice de réussite de l'évaluation
Difficulté d'isoler l'impact de la formation sur les résultats par rapport à l'influence d'autres facteurs	51.7%	-.18
Manque de fonction d'évaluation utile dans les LMS	40.8%	-.21
Manque de données d'évaluation assez normalisée pour bien comparer les formations .	38.0%	-.2
Coût trop élevé pour mener des évaluations de niveau supérieur	32.2%	
Insouciance des dirigeants pour les données d'évaluation	24.1%	-.12
Difficulté d'interpréter les données d'évaluation pour la plupart des gens.	18.9%	
Manque de crédibilité des évaluations	14.5%	-.20

Chacune des barrières a été corrélée avec l'indice d'évaluation de réussite (Evaluation Success Index - ESI), un indice qui mesure l'ampleur avec laquelle les répondants croient que leurs mesures d'apprentissage sont un investissement rentable en temps et ressources (c'est-à-dire est-ce que ça vaut la peine d'évaluer). Le but de ces corrélations est de comprendre quels sont les obstacles les plus fortement associés à la réussite (ou l'échec) de l'évaluation.

La corrélation la plus forte avec l'ESI se produit lorsque les données d'évaluation ne sont pas assez normalisées pour bien comparer l'ensemble des fonctions d'apprentissage ($r = -.23$). En d'autres termes, plus les répondants affirment que leurs données d'évaluation ne peuvent pas être comparées facilement à d'autres, moins il est probable que le répondant signale qu'il fournit de l'effort pour évaluer le rendement de la formation.

Un autre obstacle avec une forte corrélation à l'ESI est "le manque de fonction d'évaluation utile" ($r = -.21$). Cette association négative suggère que plus les répondants croient que leurs LMS n'ont pas de fonction d'évaluation qui répond à leurs besoins, moins ils sont susceptibles de faire des efforts pour évaluer leur formation. Selon le rapport, un

système (LMS) qui n'aide pas les professionnels de la formation à avoir un aperçu clair de la réussite de leurs programmes de formation ne fait pas son travail.

D'autres recherches produisent ces mêmes thèmes récurrents quand il s'agit de la difficulté de mesurer l'apprentissage. L'enquête de *Chief Learning Officer*⁴ conclut que les obstacles les plus courants à l'évaluation efficace de l'apprentissage sont notamment le manque de ressources, d'intérêts, et de soutien des dirigeants [1]. Les entreprises trouvent tellement difficile d'isoler les effets de la formation dans les résultats nets qu'ils renoncent à essayer de calculer le retour sur investissement tout en disant que la connaissance de l'information ne vaut pas le temps et les efforts nécessaires pour mesurer [59].

En France, des sondages (voir tableau 0.II) réalisés par Formaeva⁵ [34] en 2010 et 2011 confirment le fait que les entreprises n'arrivent pas à évaluer leurs formations en utilisant le modèle à 5 étapes de Kirkpatrick et Phillip. En effet, les résultats montrent, sans surprise, que l'évaluation des réactions (niveau 1) reste la plus pratiquée, tant par les entreprises que par les organismes de formation. Plus l'on progresse dans la hiérarchie des niveaux, plus l'évaluation est rare (l'évaluation des niveaux 4 et 5 est quasiment anecdotique). Les difficultés méthodologiques sont mises en avant par les répondants, notamment pour l'évaluation des niveaux 3, 4 et 5. Cela tient notamment à la difficulté d'évaluer des formations plutôt managériales/comportementales et d'isoler l'effet de la formation dans les résultats.

L'évaluation n'est pas encore complètement intégrée au processus de formation : elle est encore considérée comme une étape "isolée" arrivant en fin de formation, donc non pleinement intégrée au processus de formation (ex : définition d'objectifs en amont de la formation, communication et utilisation des résultats en aval, etc.). Plusieurs répondants admettent des difficultés en matière d'implication des différents acteurs (ex : manque

⁴Le magazine *Chief Learning Officer* se focalise sur les solutions pour la productivité de l'entreprise. Source : <http://www.clomedia.com/publications/1>

⁵L'équipe Formaeva a développé une plateforme web d'évaluation des formations puissante, flexible et simple d'utilisation. Véritable outil de mesure de la qualité de service, Formaeva constitue le support d'une communication transparente entre les acteurs de la formation : participants, gestionnaires, formateurs, responsables formation, etc. Aujourd'hui, Formaeva fait se rencontrer les plus grandes entreprises françaises (Groupe La Poste, RATP, Banques Populaires, Arkema, Saint-Maclou, etc.) et les organismes de formation les plus attentifs à la qualité de leurs prestations.

d'implication des gestionnaires dans la préparation du départ en formation et dans le suivi du transfert des acquis, etc.). Cela est encore accentué par le fait que peu de répondants ont informatisé leur processus d'évaluation des formations, rendant difficiles l'administration des évaluations, leur partage et la communication des résultats.

Les auteurs de cette enquête ont remarqué que trop de formations sont initiées sans qu'un besoin réel n'ait été identifié en amont et que des objectifs de formation concrets (observables et mesurables en situation de travail) ne soient définis, que trop d'évaluations n'impliquent pas réellement les gestionnaires, que trop de résultats ne sont pas analysés, communiqués et exploités à bon escient, etc. Dans nombre d'esprits, l'évaluation est encore trop souvent limitée à un envoi de questionnaire, que l'on aurait parfois informatisé. Or, une évaluation pertinente et efficace de la formation devrait être pensée comme un processus structurant complètement l'action de formation.

Dans son article publié en 2014 [56], Monnot dégage les freins potentiels aux pratiques d'évaluation. L'auteur fait remarquer que, selon la littérature, la faiblesse des pratiques d'évaluation est due à l'absence de consensus autour d'un outil pratique. La prolifération des méthodologies d'évaluation conduit à une situation floue pour les dirigeants. En outre, l'évaluation comporte des coûts. Une évaluation rigoureuse comporte des exigences que peu d'entreprises peuvent satisfaire dans leurs pratiques courantes. Au regard de son coût, l'évaluation peut manquer d'intérêt si la formation n'a pas un caractère stratégique. Enfin, une des raisons du manque d'évaluation formelle est simplement l'absence dans l'organisation de gestionnaires aptes à identifier et à évaluer les changements marginaux de comportements.

1.3 Synthèse

Aujourd'hui plus que jamais, la formation et le développement des ressources humaines représentent des vecteurs importants pour assurer l'acquisition, le maintien et le renouvellement du capital compétence d'une entreprise. À cet effet, certains affirment que la formation constitue la solution de choix pour bon nombre d'organisations et leurs

dirigeants [77]. La formation constitue une solution de choix pour améliorer la performance d'une organisation, mais encore faut-il se doter d'une stratégie adéquate pour rentabiliser cet investissement. Le chapitre 2 présente les modèles d'évaluation du rendement de la formation en entreprise.

CHAPITRE 2

MODÈLES D'ÉVALUATION DU RENDEMENT DE LA FORMATION EN ENTREPRISE

Les investissements consacrés au développement des connaissances, des compétences et des qualifications de la main-d'œuvre, sont tout aussi importants pour la croissance économique que les dépenses dans le capital physique [39]. En effet, la décision d'investir dans la formation, au même titre que les autres types d'investissement, repose énormément sur la rentabilité globale des activités de l'entreprise. Par conséquent, la question du rendement de la formation et de sa mesure prend une importance grandissante. Dans ce chapitre, nous présentons la structure, les avantages et les limites des modèles les plus connus.

Les approches d'évaluation, les plus prédominantes, sont regroupées en deux catégories : *approches basées sur les buts (ou résultat)* et *approches basées sur les systèmes (ou processus)* [31]. Les évaluations basées sur les buts évaluent dans quelle mesure les programmes de formation rencontrent les buts ou objectifs prédéterminés dans le plan de programme de formation établi. Les modèles les plus influents de cette catégorie sont issus du modèle de Kirkpatrick (Carnevale et Schulz [19], Dixon [27], Gordon [38], Phillips [64]). Le travail de Kirkpatrick a aussi motivé beaucoup de travaux ultérieurs tels que : Bramley [15], Hamblin [41], Warr et al. [97].

Les évaluations basées sur les systèmes, quant à elles, servent à comprendre comment le programme fonctionne ainsi qu'à connaître ses forces et faiblesses. Elles permettent en plus de comprendre comment le programme génère les résultats obtenus. Eseryel[31] mentionne que les modèles les plus influents sont : le modèle CIPP (Context, Input, Process, Product)[83], l'approche TVS (Training Validation System) [33] et le modèle IPO (Input, Process, Output, Outcome)[18].

Par ailleurs, selon Dunberry et Pechard [29], il existe, également, deux principales catégories de pratiques d'évaluation de la formation : les *pratiques formelles* et les *pra-*

tiques informelles. Les pratiques formelles d'évaluation de la formation sont des pratiques structurées et explicites visant à établir un jugement sur la valeur d'un processus ou produit de la formation. Par exemple, l'utilisation d'un questionnaire en vue d'évaluer la satisfaction des participants à une activité, même si elle est occasionnelle, constitue une pratique formelle d'évaluation de la formation. Il en est de même de l'observation systématique du comportement d'un employé en poste de travail à l'aide d'une grille. Les pratiques informelles d'évaluation de la formation regroupent plutôt les pratiques spontanées, non structurées, implicites ou explicites, visant elles aussi à établir un jugement sur la valeur d'un processus ou produit de la formation. Par exemple, le jugement spontané, sans aucun support technique et non consigné d'un compagnon sur la performance de son apprenti constitue une pratique d'évaluation informelle. Il en est de même des propos recueillis dans le corridor par un responsable sur la qualité d'une activité de formation qui se termine.

Avant de présenter les modèles d'évaluations de la formation en entreprise, nous résumons dans la section suivante, les raisons qui, selon la littérature, motivent cette évaluation.

2.1 Pourquoi évaluer ?

Le concept de rendement de la formation couvre un spectre assez large, allant de la perception d'effet au calcul du retour sur investissement. Les ressources humaines représentent dans la plupart des organisations un des actifs les plus importants. Les connaissances des employés, leurs aptitudes, leurs expériences sont des facteurs concurrentiels déterminants pour les organisations.

Selon Mark et *al.* [54], l'évaluation de la formation dans l'entreprise vise principalement quatre buts :

1. *démontrer* la pertinence et la valeur de la formation ;
2. *améliorer* la qualité des programmes et de l'organisation de la formation ;

3. *vérifier* la conformité des programmes aux diverses attentes, normes ou standards ;
4. et *développer* ou tester des connaissances nouvelles.

Plusieurs autres auteurs font valoir différentes raisons d'évaluer. Kirkpatrick [47] en propose trois :

1. *justifier* l'existence du département de formation en démontrant sa contribution aux objectifs de l'entreprise ;
2. *décider* si l'on doit poursuivre ou arrêter les programmes de formation ;
3. *obtenir* de l'information sur comment améliorer les futurs programmes de formation.

Pour sa part, Phillips [66] identifie 10 raisons ou fonctions de l'évaluation :

1. *déterminer* l'atteinte des objectifs de formation ;
2. *identifier* les forces et faiblesses du processus de développement des ressources humaines ;
3. *comparer* les coûts et bénéfices d'un programme ;
4. *décider* qui devrait participer dans les prochains programmes ;
5. *tester* la clarté et la validité de certains tests, études de cas ou exercices ;
6. *identifier* quels participants ont le mieux réussi le programme ;
7. *rappeler* aux participants certains contenus du programme jugés importants ;
8. *recueillir* des données en vue de la mise en marche de futurs programmes ;
9. *déterminer* si le programme offre une solution adéquate au besoin identifié ;
10. *constituer* une base de données en appui à la prise de décision par les gestionnaires.

C'est donc dire qu'une entreprise qui évalue sa formation devrait être plus en mesure de constater et contrôler les résultats et d'améliorer de manière soutenue ses pratiques. Le modèle de Kirkpatrick étant le modèle le plus populaire et actuellement le plus utilisé [20], dans les prochaines sections, nous présentons quelques modèles d'évaluation les plus utilisés dans les entreprises, en commençant par celui de Kirkpatrick.

2.2 Modèle d'évaluation à 4 niveaux de Kirkpatrick

Les premières ébauches du modèle de Kirkpatrick sont apparues en 1959 avec une série de quatre articles sur l'évaluation des programmes de formation, publiés dans le journal "*Training and Development*". Ces quatre articles définissent les quatre niveaux d'évaluation qui auront plus tard une influence significative sur les pratiques des entreprises. Les quatre niveaux qui composent le modèle de Kirkpatrick sont représentés dans la figure 2.1.

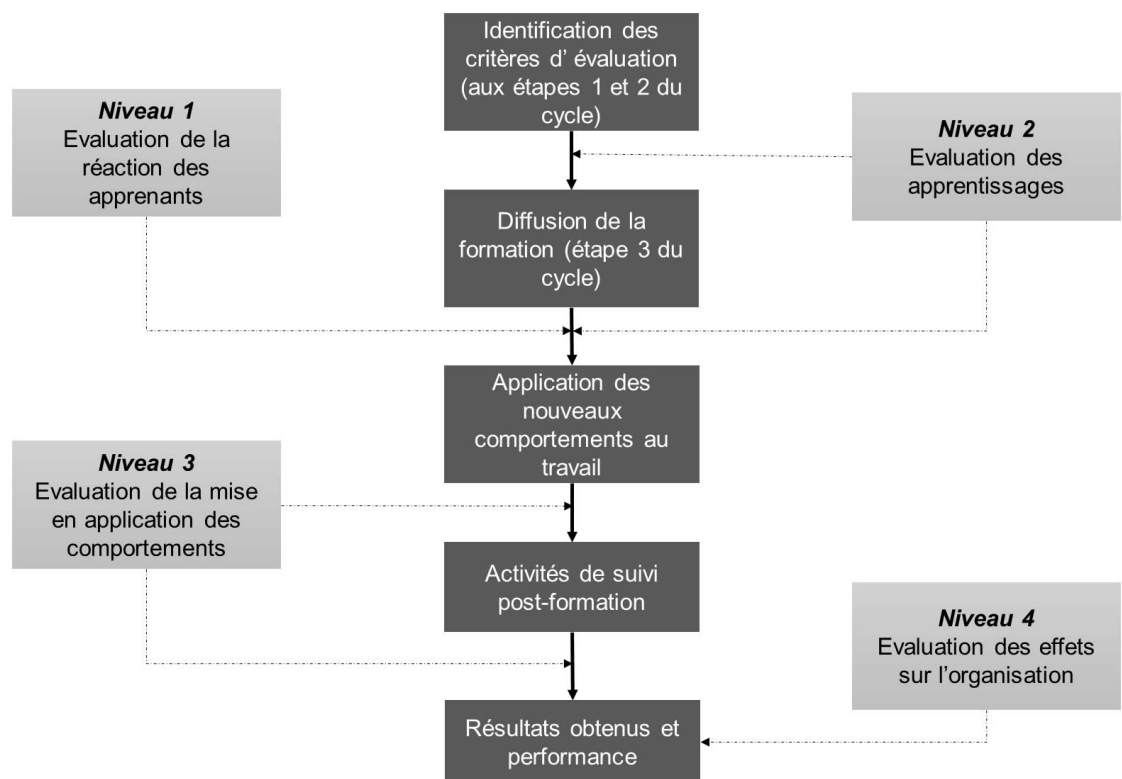


Figure 2.1 – Les quatre niveaux d'évaluation de Kirkpatrick (tiré de [70])

Niveau 1 - réaction des participants

Comment ont réagi les formés à l'issue de la formation ? Ont-ils apprécié celle-ci ? Sont-ils satisfaits ?

Ce premier niveau évalue la satisfaction des participants après la formation. Il est basé sur plusieurs aspects de la formation tels que : *objectifs, contenus, méthodes pédagogiques, style d'enseignement, et matériel disponible*. Les méthodes utilisées comprennent notamment des fiches d'évaluation du programme, des entrevues, des questionnaires et les commentaires formulés par les participants pendant le programme. On peut demander aux apprenants s'ils vont utiliser les nouvelles compétences acquises, s'ils prévoient de modifier leur comportement et s'ils prévoient une amélioration des résultats. *Ce niveau ne mesure pas ce qui est appris et n'assure pas la qualité des résultats découlant de l'apprentissage*. C'est le niveau le plus fréquemment utilisé (voir tableaux 0.I et 0.II).

Niveau 2 - Apprentissage

Qu'ont appris les formés à l'issue de la formation ? Quelles connaissances, habiletés et/ou attitudes (savoir, savoir-faire, savoir-être) ont été acquis ? Les objectifs pédagogiques ont-ils été atteints ?

Le deuxième niveau mesure l'"apprentissage" des participants en terme de connaissances, compétences et attitudes qui ont été acquises durant la formation. Les méthodes pouvant être utilisées comprennent les évaluations avant et après les cours, les observations formulées par les tuteurs, les gestionnaires et/ou les pairs, les évaluations en équipe et les auto-évaluations, les entrevues et les sondages. Ce niveau mesure plus précisément l'efficacité de la formation mais ne mesure pas si les participants ont aimé le programme, s'ils se comporteront différemment ou s'ils obtiendront les résultats escomptés.

Niveau 3 - Comportement

Est-ce que les formés utilisent ce qu'ils ont appris en formation à leur poste de travail ? Quels nouveaux comportements professionnels ont été adoptés ?

Le troisième niveau évalue les "changements de comportement" occasionnés par la formation et le transfert des apprentissages. Il est question de repérer les connaissances,

les compétences et les attitudes acquises durant la formation qui donnent lieu à une ré-utilisation dans la pratique professionnelle. Ces éléments sont difficile à mesurer et il est souvent impossible de prédire quand les changements de comportement se produiront. Le choix du moment et celui de la méthode d'évaluation sont donc des décisions importantes. Les méthodes pouvant être utilisées comprennent les évaluations avant et après les cours, les observations, les groupes de discussion, les entrevues, les sondages auprès de personnes observant les participants et les questionnaires.

Niveau 4 - Résultats

Quel est l'impact de la formation sur les résultats de l'entreprise ? Ex : diminution du taux d'absentéisme, des accidents de travail, augmentation du chiffre d'affaires, de la productivité, de la satisfaction clientèle, etc.

Le quatrième niveau est le niveau des "résultats" correspondant au calcul de diverses mesures élaborées en relation avec les objectifs de la formation et défini lors de la conception de ce dernier. Bien que les résultats du niveau 4 soient mesurés moins souvent que les autres, ils évaluent la raison globale justifiant le programme de formation. Les indicateurs pouvant être utilisés comprennent : *une productivité accrue, la satisfaction des clients, une réduction des coûts, une plus grande satisfaction de la part des employés et une diminution du roulement du personnel.*

Il est difficile de déterminer ces résultats et ils n'ont pas toujours de relation de cause à effet avec la formation. Ce niveau ne détermine pas si les participants ont aimé ou compris la formation ou si celle-ci a eu des incidences sur les comportements qu'ils privilégient. Des résultats positifs aux évaluations des niveaux 1, 2 et 3 peuvent cependant permettre de présager des résultats positifs au niveau 4. Le tableau 2.I résume les 4 niveaux du modèle de Kirkpatrick.

Tableau 2.I – Modèle de Kirkpatrick [48]

Niveau	Concept	Question traitée	Méthode et indicateurs
Réaction	Satisfaction	Quelle perception les participants ont-ils de la formation ?	Formulaires d'évaluation du programme, questionnaires et entretiens concernant la satisfaction quant à : l'organisation pédagogique, les supports, l'animation de la formation, etc. et plus rarement des avis sur : la densité des contenus, la maîtrise des contenus, la transférabilité des savoirs, etc.
Apprentissage	Connaissances	Ont-ils acquis les connaissances et compétences souhaitées lors de la formation ?	Examens de connaissance, Exercices traduisant une connaissance. Observation et entretiens, si possible avant et après la formation auto-évaluation par le stagiaire ou entre pairs. Observations par le formateur. Mesures et entretiens par le gestionnaire de formation ou le commanditaire (nécessité de définir les connaissances visées)
Comportement	Application de l'apprentissage dans les comportements	L'apprentissage des participants a-t-il changé leur comportement ?	Idem en se basant sur des savoir-faire, grille d'observation comportementale à effectuer après quelques mois (nécessité de définir les savoir-faire visés)
Résultats	Application dans l'activité visée ou répercussions pour le commanditaire	Y a-t-il un changement dans les pratiques et ce changement amène-t-il les résultats escomptés ?	Indicateurs de productivité, de rentabilité, de turnover et de coûts humains (nécessité de définir les indicateurs visés)

Habituellement, lorsque l'on parle d'évaluation à chaud, cela désigne fréquemment le niveau 1 (parfois le niveau 2), tandis que l'évaluation à froid concerne le niveau 3. Ce modèle a l'avantage d'évaluer plusieurs objectifs de la formation permettant ainsi d'ap-

préhender la complexité de l'action de formation [8]. Il a de plus ouvert la voie à de nombreux autres modèles. Du point de vue statistique, Arthur et *al.*[2] ont montré, dans une méta-analyse basée sur plus de 150 publications sur l'évaluation de formation, que les différents niveaux du modèle de Kirkpatrick sont effectivement affectés par la formation.

Bien que le modèle à quatre niveaux de Kirkpatrick soit largement reconnu et accepté, et même si un nombre important de méthodes d'évaluation y trouve leur base, beaucoup de critiques font valoir que cette méthode ne fournit pas les données requises par les questionnaires d'aujourd'hui, ce que le modèle de Phillips est supposé résoudre.

Afin de calculer le rendement de la formation, Phillips recommande l'utilisation d'un cinquième niveau au modèle de Kirkpatrick : **le rendement de la formation en entreprise**. Il a établi une méthodologie afin de convertir les données subjectives, objectives, tangibles et moins tangibles. Ainsi, il reprend les quatre niveaux de Kirkpatrick.

Le cinquième niveau augmenté de Phillips permet d'obtenir un montant annuel afin de déterminer la valeur des améliorations, laquelle équivaut au changement annuel dans la performance multiplié par l'unité de valeur attribuée. Pour ce faire, l'utilisateur doit prendre les données obtenues au niveau 4 du modèle initial de Kirkpatrick et les convertir en valeurs monétaires et par la suite, comparer ces résultats avec les coûts du programme de formation.

2.3 Modèle de retour sur investissement de Phillips

Le point de vue selon lequel la détermination du retour sur investissement (ROI) devrait être une priorité pour tous les responsables des ressources humaines est de plus en plus présent dans la littérature. L'intérêt croissant des organisations pour des preuves chiffrées de la contribution de la formation aux résultats d'affaires indiquerait que les entreprises seraient ainsi passées d'une attitude où la formation se justifie d'elle-même à une autre où la formation est dédiée à l'obtention de résultats ; Phillips est certainement un des promoteurs les plus visibles et constants de ce niveau d'évaluation.

Selon cet auteur, l'évaluation du retour sur investissement est nécessaire dans un contexte

où les entreprises consacrent des sommes importantes à la formation, où le niveau de compétition et de réduction des dépenses est élevé et où les départements de ressources humaines sont de plus en plus amenés à démontrer leur contribution aux résultats financiers de l'entreprise.

Niveau 5 - retour sur investissement

Les bénéfices et/ou économies réalisés sont-ils supérieurs au coût total de la formation (coûts directs et indirects) ? La formation a-t-elle généré un retour sur investissement ?

Selon le modèle de Phillips [63, 66, 67], le calcul du rendement de la formation est réalisé au moyen d'un processus détaillé comprenant : *la planification, la collecte et l'analyse des données* (voir figure 2.2). L'apport principal de Phillips est d'expliquer précisément comment réaliser ces étapes. Par exemple, pour que la récolte de données soit pertinente, Phillips conseille de suivre un protocole comportant au moins deux prises de mesure (une avant et une après la formation). Il suggère aussi de récolter une grande variété d'information sur les impacts de la formation tout en favorisant l'information facilement quantifiable en valeur monétaire, comme *une augmentation du nombre d'unités produites, une baisse du nombre de produits défectueux, une diminution du nombre d'accidents ou du temps d'arrêt d'une machine*, par exemple. La figure 2.2 montre le processus du calcul du rendement de la formation selon le modèle de Phillips.

Le processus commence par la **planification de l'évaluation** : où les objectifs sont développés et les décisions sont prises sur la façon dont les données seront collectées, traitées et analysées. **La collecte des données** est faite en fonction des niveaux d'évaluation de formation. Les données peuvent être de nature quantitative (qualité des produits, temps, coûts, etc.) ou qualitative (habitudes de travail, climat de travail, etc). Elles peuvent découler de comparaisons pre et post formation ou avec un groupe de contrôle.

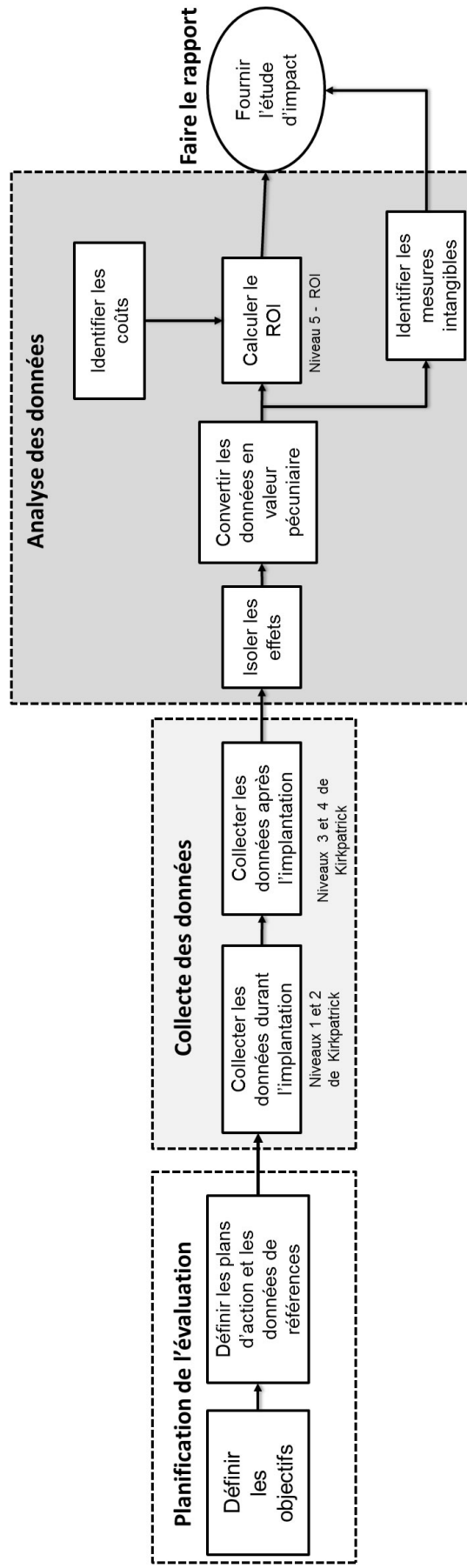


Figure 2.2 – Modèle du rendement de la formation de Phillips (tiré de [9])

Les questionnaires et entrevues sont conçus pour mesurer la valeur du programme par les participants et leurs supérieurs. La comparaison entre les deux entités permet d'établir l'impact de la formation.

Enfin, au niveau de l'**analyse des données**, nous avons les étapes cruciales suivantes :

Isolement des effets de la formation : cette étape consiste à isoler les facteurs ayant contribué à l'amélioration de la performance, des autres facteurs pouvant avoir les mêmes effets.

La quasi-impossibilité de distinguer les conséquences de la formation des autres facteurs pouvant influencer sur les résultats de l'entreprise a toujours été un obstacle de taille à l'évaluation des impacts de la formation. Plusieurs facteurs (tels que *les programmes de marketing, les programmes de bonis pour les employés, etc.*) peuvent avoir des conséquences sur les affaires après la mise en œuvre du programme de formation. Il est donc important d'appliquer une ou plusieurs stratégies d'isolement pour distinguer les conséquences de la formation des autres facteurs, aux fins de crédibilité. Phillips propose les stratégies suivantes pour isoler l'effet de la formation :

- **Groupe de contrôle** : les résultats de groupes pilotes de participants sont comparés aux résultats d'un groupe de contrôle qui ne participe pas au programme de formation. La comparaison des deux groupes fournit les données de performance. C'est le moyen le plus efficace d'isoler les répercussions de la formation.
- **Analyse de ligne directrice - ("*trend-line analysis*")** : une ligne est tracée entre la performance actuelle et la performance future en présumant que la performance présente se poursuive même sans formation. Après la formation, la performance post formation est comparée à la performance prédite. Il est à ce moment approprié d'attribuer toute amélioration à la formation. Ainsi, on projette de manière linéaire la performance sur la base de résultats passés, l'écart par rapport à cette projection pourra être attribué à la formation.

- **Prévision** : plus analytique et mathématique que l'analyse de la ligne directrice, la prévision requiert une équation linéaire pour calculer la valeur de l'amélioration anticipée de la performance. Les méthodes de prédiction des changements de performance permettent une estimation lorsque plus d'une variable ont pu avoir une influence sur la performance.
- **Estimations** : les estimations de l'impact de la formation par les participants, les superviseurs, les clients, les gestionnaires et les experts sont recueillies et comparées.
Les participants doivent quantifier les améliorations directement associées au programme de formation. Comme les participants ont reçu la formation et qu'ils participent personnellement à l'application des nouvelles habiletés et des nouvelles connaissances à leur travail, ils sont tout désignés pour évaluer les répercussions de la formation.
- **Décisions en groupe** : forme d'entrevue. De huit à douze participants à la formation sont réunis et des questions spécifiques leur sont posées. Un remue-méninges parmi les participants peut faire ressortir des données de haute qualité servant aux évaluations du niveau 3 (modèle de Kirkpatrick).
- **Sessions de suivi** : les participants sont contactés, deux à quatre mois, après la formation dans le but de constater leurs succès.

Conversion des données : cette étape consiste à chiffrer les coûts de la formation. Cette opération doit prendre en compte :

- ✓ le coût de conception et élaboration du programme, préférablement étalé sur sa durée de vie ;
- ✓ le coût de tout le matériel distribué aux participants ;
- ✓ le coût du formateur, incluant son temps de préparation et de formation ;
- ✓ le coût des locaux de formation ;
- ✓ les coûts de logements, repas et déplacements des participants, s'il y a lieu ;

- ✓ les salaires et avantages sociaux des participants ;
- ✓ les coûts d'encadrement et frais généraux attribués au programme ;
- ✓ les coûts éventuels d'analyse des besoins et d'évaluation.

Cette étape consiste aussi à attribuer une valeur à chaque élément de l'amélioration ayant été influencé par le programme de formation. Les augmentations de résultats (*augmentation des ventes, nombre d'unités produites*) sont converties en valeur monétaire à partir de leur contribution aux profits. La plupart des entreprises possèdent des valeurs standards pour ces éléments. Il existe plusieurs autres moyens d'aboutir à une valeur monétaire, notamment en convertissant la valeur des améliorations de qualité ou en utilisant les salaires des employés lorsque la formation a entraîné une économie de temps pour les employés.

Calcul du ROI : cette étape consiste à calculer soit le rapport bénéfice-coûts, soit le retour sur investissement. En effet, le terme "retour sur investissement" a commencé à être utilisé dans le domaine de l'évaluation de la formation au début des années quatre-vingt. En général, on parle de rendement financier, qui regroupent l'analyse Bénéfices-Coûts (*B/C*) et le Retour sur Capital Investi (*RCI*) qui constituent les deux façons les plus répandues de l'évaluer. Ces deux mesures du rendement financier répondent aux équations suivantes :

$$B/C = \frac{\text{Retombées du programme}}{\text{Coût total du programme}} \quad (2.1)$$

$$RCI \text{ ou } ROI = \frac{\text{Retombées du programme} - \text{Coût total du programme}}{\text{Coût total du programme}} \quad (2.2)$$

Determination des profits intangibles : en plus des avantages monétaires, la plupart des programmes de formation offrent également des retombées intangibles, non-monétaires. On appelle retombée intangible, tout avantage auquel il est difficile

d'associer une valeur monétaire. Selon Phillips, certains programmes, tels que les programmes de communications interpersonnelles, les programmes de développement d'une équipe, de leadership, de communications et de développement de la gestion, offrent des retombées intangibles (non-monétaires) plus importantes que les résultats tangibles (monétaires). Par conséquent, ces mesures doivent faire l'objet d'un suivi et être intégrées à l'évaluation générale. Dans les faits, tous les projets et programmes offrent des retombées intangibles, indépendamment de leur nature, de leur envergure et de leur contenu. Le défi consiste à les repérer et à les signaler. Comme variantes intangibles typiques, nous pouvons citer : *satisfaction au travail, amélioration du travail d'équipe, réduction du stress, engagement de l'employé, satisfaction accrue des clients, réduction des plaintes, réduction/évitement des conflits ou les divers effets sur le climat de travail.*

Le modèle du ROI de Phillips suggère d'utiliser le retour sur investissement (ROI) comme indicateur du rendement de la formation.

Une autre amélioration du modèle de Kirkpatrick a été apportée par Kraiger. En effet, pour répondre à la critique formulée à l'encontre du modèle de Kirkpatrick, selon laquelle ce modèle n'explique pas suffisamment ce qui doit être évalué, Kraiger et *al.* proposent une typologie des résultats d'apprentissage en s'appuyant sur les théories et les mesures de l'apprentissage[36].

2.4 Modèle basé sur les cibles d'évaluation de Kraiger

Basé sur des cibles d'évaluation, le modèle de Kraiger [49] permet d'identifier à la fois les variables à mesurer et les méthodes adéquates pour effectuer les mesures. Selon ce modèle, l'évaluation de la formation est un processus permettant la prise de décision, la rétroaction et le marketing. Le modèle met en relation les cibles et les éléments visés par l'évaluation. En effet, selon Kraiger, la toute première chose à déterminer est la raison motivant une évaluation ou l'intention poursuivie par l'évaluateur. Trop souvent les praticiens poursuivent une démarche d'évaluation mise en place par leur prédécesseur, sans

véritablement réfléchir à sa pertinence.

Sur le plan opérationnel, le modèle de Kraiger identifie trois (3) cibles d'évaluations, à savoir le contenu et le design de la formation, les changements chez les apprenants et les retombées organisationnelles (voir figure 2.3).

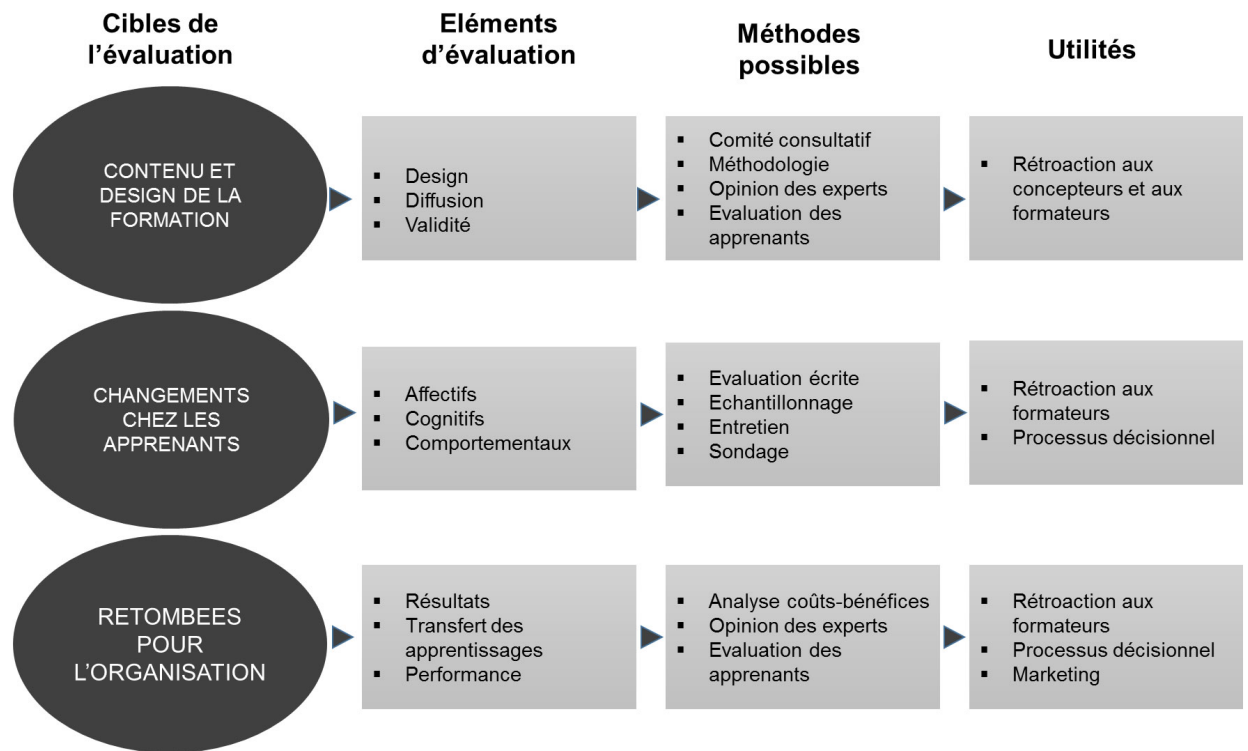


Figure 2.3 – Modèle basé sur les cibles d'évaluation (tiré de [70])

La première cible (le contenu et le design de la formation) vise à déterminer le niveau d'efficacité de la formation. Elle permet de porter un jugement sur la conception et la validité du contenu de la formation. Elle permet également de s'interroger sur la méthode de diffusion de la formation.

La deuxième cible (les changements chez les apprenants) vise à évaluer les changements survenus sur le plan des connaissances, des compétences et des attitudes des apprenants. Le modèle établit une distinction entre les changements ayant trait aux comportements et ceux ayant trait au rendement (troisième cible) du simple fait que la formation peut entraîner des changements comportementaux, sans nécessairement qu'ils se traduisent

par une amélioration du rendement. A l'inverse, la formation peut entraîner une amélioration du rendement sans que surviennent des modifications dans les comportements.

La troisième cible (les retombées organisationnelles) vise à recueillir toute information permettant d'établir, d'une part, que la formation a permis aux apprenants de bonifier leurs compétences et, d'autre part, que celles-ci ont à leur tour engendré une amélioration de leur rendement, le tout se traduisant par des bénéfices tangibles pour l'organisation. Pour évaluer les retombées organisationnelles, le modèle utilise des indicateurs de performance tels que : *climat de transfert, effet sur l'équipe (la direction, l'organisation), rendement sur capital investi, etc. . . .*

Le modèle conçoit l'évaluation de la formation comme un processus évolutif qui se transforme et s'adapte en fonction de l'analyse faite de la situation. Comparativement aux modèles précédents, celui-ci est le seul à considérer que l'évaluation d'une formation devrait toujours se faire en fonction de la question suivante : "*Quelle est la cible de l'évaluation ?*" Le modèle ne préconise pas une évaluation systématique des trois cibles. Au contraire, il invite à réfléchir sur les objectifs poursuivis par l'évaluation puis, selon cet objectif, à "cibler" l'évaluation en ne récoltant que l'information pertinente.

2.5 Limites des modèles d'évaluation

La formation est une stratégie clé pour le développement personnel et la réalisation des objectifs organisationnels. Les organisations et les pouvoirs publics investissent de grandes quantités de ressources dans la formation, mais ont rarement les données pour montrer les résultats de cet investissement. Seules quelques organisations évaluent la formation en profondeur à cause de la difficulté et le manque d'instruments valides et des modèles fiables [68].

En dépit de la qualité du modèle de Kirkpatrick, plusieurs limites ont été relevées. Selon Bates [8], il traiterait insuffisamment du contexte dans lequel a lieu la formation (prise en compte des besoins de formation, évaluation de la rentabilité, positionnement des acteurs). Le modèle serait peu utile pour prendre une décision quant à l'arrêt, la reconduite ou, surtout, l'optimisation d'une formation [36].

Le niveau 1 du modèle de Kirkpatrick est la forme la plus utilisée de l'évaluation alors qu'il a été prouvé qu'il est le moins précieux pour les organisations. Il est évident qu'il y a plus de valeur dans les connaissances acquises, les comportements changés, et les résultats obtenus que dans les réactions des participants. Ainsi, la question qu'on doit se poser est de savoir **pourquoi les entreprises n'évaluent pas leurs programmes aux niveaux supérieurs ?**

La barrière qui se profile le plus souvent est la *difficulté d'isoler l'apprentissage* comme un facteur qui a une incidence sur les résultats, surtout pour les niveaux 4 et 5. La seconde barrière, citée par les répondants, est l'*absence d'un système d'évaluation* utile avec le système de gestion de l'apprentissage. Une barrière supplémentaire, révélée, est que les *données d'évaluation ne sont pas suffisamment standardisées* pour pouvoir comparer différentes fonctions.

Les résultats des sondages confirment une autre critique portant sur le dilemme simple/complex. Au niveau du modèle de Kirkpatrick, ce dilemme se traduit par le fait que : les formateurs utilisent principalement les résultats obtenus aux niveaux 1 (réaction/satisfaction) et 2 (apprentissage) comme preuve de réussite de la formation, tandis que la mesure exacte des impacts de formation sur la performance, celle que les administrateurs souhaiteraient obtenir, est beaucoup plus difficile à calculer [37].

À cela Kraiger [49] ajoute d'autres limites :

1. les construits utilisés, tels que la satisfaction ou l'apprentissage, ne sont pas clairement définis, se révélant plus complexes qu'il n'apparaît ;
2. une application stricte de l'approche amène des comportements illogiques, comme ne pas évaluer les apprentissages avant d'avoir confirmé une réaction positive alors que les participants ne sont peut-être plus disponibles ;
3. l'approche présume des relations entre les résultats de la formation qui ne se confirment pas, comme c'est le cas entre la satisfaction et l'apprentissage ;
4. l'approche ne tient pas compte du but de l'évaluation, en incitant à évaluer les quatre niveaux, alors que dans certains cas l'évaluation d'autres critères seraient

plus pertinente en regard des besoins de l'entreprise.

Concernant le modèle de Phillips, plusieurs auteurs relèvent des difficultés liées aux différentes étapes du processus d'évaluation du rendement (voir figure 2.2).

Selon Barrett et Hövels (dans [23]), le calcul du ROI est incertain, car plusieurs raisons peuvent rendre difficile l'expression monétaire des avantages produits par une formation. Par exemple, les données peuvent s'avérer difficiles à récolter ou n'être disponibles qu'en quantité limitée, les compétences acquises par les personnes formées peuvent se déprécier avec le temps, ce qui pourrait biaiser la valeur du ROI obtenue, ou les personnes formées peuvent être amenées à changer d'emploi, ce qui rend impossible une évaluation post-formation du ROI.

Willyerd (dans [23]) considère la mesure du ROI comme un instantané tourné vers le passé puisqu'elle ne prend en compte que les bénéfices déjà produits par la formation au moment de l'évaluation. L'évaluation ne fait que fixer ce que la formation a déjà apporté, et non ce qu'elle pourra encore apporter. N'étant pas tournée vers l'avenir, elle n'est pas, selon Willyerd, un bon outil de diagnostic.

Nagle [58] estime que le processus d'évaluation du ROI est coûteux car il est complexe (le processus implique la participation d'un grand nombre d'acteurs) et long (il peut facilement durer plus d'un an). Il pense également qu'il est difficile d'obtenir une mesure fidèle puisque d'autres variables indépendantes de la formation vont influencer la performance mesurée.

Concernant les problèmes méthodologiques, McCain [55] a établi une liste des biais pouvant avoir un impact sur les résultats observés et dont un professionnel de la formation ne pense pas toujours. Nous pouvons citer le biais d'échantillon (sélection d'un échantillon non représentatif ou de taille trop petite), le biais dans les entretiens (s'assurer de la bonne compréhension des questions par exemple), le biais d'acquiescement ou de neutralité selon la présentation des questions.

La principale limite du modèle de Kraiger est commune à tous les modèles présentés jusqu'ici. Il prend bien en considération la manière dont la formation a été conçue et dont elle s'est déroulée, deux variables reconnues comme ayant une influence importante sur les résultats. Néanmoins, d'autres variables, liées aux participants ou à l'environnement

organisationnel, influencent également ces résultats. Ce modèle, tout comme les modèles précédents, n'en tient pas compte [23].

Dans son article, publié en 2002, Eseryel [31] présente une comparaison des principaux modèles basés sur les systèmes (CIPP, IPO et TVS) avec un modèle fondé sur les buts (Kirkpatrick). Le tableau 2.II resume les caractéristiques de ces différents modèles.

Tableau 2.II – Principaux modèles basés sur les systèmes (CIPP, IPO et TVS) avec le modèle fondé sur les buts de Kirkpatrick (tiré de [31])

Kirkpatrick	Modèle CIPP	Modèle IPO	Modèle TVS
1 <i>Réaction</i> : recueillir des données sur les réactions des participants à la fin du programme de formation	1 <i>Contexte</i> : obtenir des informations sur les besoins de formation et établir les objectifs du programme	1 <i>Entrées</i> : évaluation des indicateurs de performance du système tels que les qualifications des employées, la disponibilité des matériaux, la pertinence de la formation, etc.	1 <i>Situation</i> : collecte de données de pré-formation afin de s'assurer des niveaux de performance actuels de l'entreprise et de définir le niveau de performance éventuel désiré.
2 <i>Apprentissage</i> : évaluer si les objectifs d'apprentissage du programme sont satisfaits	2 <i>Entrées</i> : identifier les stratégies éducatives les plus susceptibles d'atteindre le résultat souhaité	2 <i>Processus</i> : englobe la planification, la conception, le développement et le programme de formation	2 <i>Intervention</i> : identifier ce qui explique la différence entre la performance actuelle et celle désirée, afin de déterminer si la formation est la solution au problème.
3 <i>Comportement</i> : évaluer les changements de performance au travail à la suite de la formation	3 <i>Processus</i> : évaluation de la mise en œuvre du programme d'éducation	3 <i>Sorties</i> : collecte de données résultant des interventions de formation	3 <i>Impacts</i> : évaluer la différence des données recueillies avant et après la formation.
4 <i>Résultats</i> : évaluer les coûts par rapport aux avantages des programmes de formation, à savoir l'impact organisationnel en termes de réduction des coûts, amélioration de la qualité du travail, augmentation de la quantité de travail.	4 <i>Produits</i> : collecte d'informations concernant les résultats et vérifier si les changements visés ont eu lieu.	4 <i>Résultats</i> : résultats à long terme associés à l'amélioration de la rentabilité de la société, sa profitabilité et sa compétitivité.	4 <i>Valeur</i> : mesurer les différences au niveau de la qualité, de la productivité, du service ou des ventes ; le tout exprimé en dollars.

Selon Eseryel, les modèles basés sur les buts comme Kirkpatrick peuvent aider les utilisateurs à penser aux buts qu'ils recherchent dans l'évaluation, toutefois ces modèles

ne définissent pas les étapes nécessaires pour atteindre les objectifs et n'indiquent pas comment utiliser les résultats afin d'améliorer la formation. Les formateurs utilisent ces modèles sans prendre le temps d'évaluer leurs besoins et leurs ressources et sans déterminer comment ils vont faire pour isoler les résultats. Compte tenu de l'apparente simplicité de ces modèles, il arrive souvent que les utilisateurs n'appliquent pas toutes les étapes du modèle et n'évaluent que le niveau 1 et 2 du modèle de Kirkpatrick. La difficulté est dans la sélection et la mise en œuvre de méthodes d'évaluation appropriées (quantitative, qualitative, ou mixte).

L'auteur affirme que les modèles basés sur les systèmes semblent être plus utiles en termes de réflexion sur le contexte et la situation globale mais ils ne peuvent représenter les interactions entre le design (conception du projet) et l'évaluation de formation. Il fait remarquer que peu de ces modèles fournissent les descriptions détaillées des processus impliqués dans chaque étape. Aucun ne fournit des outils pour l'évaluation. En outre, ces modèles ne tiennent pas compte du processus collaboratif d'évaluation (les différents rôles et responsabilités que les gens peuvent jouer pendant le processus d'évaluation).

Les organisations sont toujours à la recherche de moyens pour démontrer la valeur croissante de la formation, en particulier dans le climat économique actuel. Au regard de ce qui précède, il va de soi qu'une approche plus "sur mesure" de l'évaluation et moins limitée à la seule formation est de loin susceptible de mieux profiter à l'organisation dans ses processus de prise de décision. Et ce, non seulement pour les décisions qui concernent la formation, mais aussi celles qui conditionnent la performance effective des employés en poste de travail, la gestion générale des ressources humaines et la productivité de l'entreprise [29]. Ainsi, il semble judicieux de modéliser le processus d'apprentissage comme un processus d'affaire à part entière de l'entreprise, afin d'assurer une vision globale et une prise de décision fidèle aux objectifs de l'entreprise.

2.6 Synthèse

Il existe une multitude de modèles d'évaluation de la formation en entreprise. Selon la littérature académique, les principaux modèles peuvent être regroupés en deux catégories : (1) les modèles centrés sur les résultats, qui suggèrent d'évaluer en priorité les différents types de résultats que peut produire une formation, et (2) les modèles centrés sur les processus, qui invitent à porter l'évaluation sur d'autres éléments d'une formation tels que les besoins auxquels elle répond ou la manière dont elle a été conçue. S'il est parfois difficile de juger de la qualité d'un modèle, nous avons identifié différents apports et limites aux modèles existants.

Parmi les modèles existants, le modèle de Kirkpatrick a le mérite de simplifier le processus d'évaluation en distinguant les différents résultats produits par une formation. Il propose aussi des solutions pour réaliser une évaluation de chaque résultat. Malheureusement, il demeure incomplet à certains niveaux et rarement appliqué dans son entièreté. Le modèle du ROI de Phillips suggère d'utiliser le retour sur investissement (ROI) comme indicateur du rendement de la formation. Il énumère toutes les étapes nécessaires à l'évaluation de ce ROI, de la planification de l'évaluation à l'analyse des résultats. Ce processus d'évaluation reste malgré tout long, complexe et coûteux.

Le modèle basé sur la prise de décision de Kraiger propose de réfléchir sur les objectifs visés par l'évaluation et de ne récolter que l'information utile à l'atteinte de ces objectifs. Néanmoins, il ne tient pas compte de toutes les variables pouvant influencer les résultats. Il ressort de la comparaison des modèles trois principales dimensions d'une formation qui sont pertinentes à évaluer [23] :

1. *Les effets de la formation sur le comportement au travail des personnes formées* : nombreux scientifiques reconnaissent que c'est à ce niveau que se joue le succès d'une formation. En effet, les bénéfices dégagés par une formation ne seront importants que si le changement de comportement est important. Mais l'impact d'une formation sur les comportements est très variable. De plus, de nombreuses variables, internes et externes à la formation, vont influencer cet impact.
2. *Le rendement de la formation* : il est considéré par de nombreux scientifiques

comme l'information la plus utile pour les gestionnaires de la formation car elle les aide à démontrer aux dirigeants la valeur ajoutée des activités de formation qu'ils mettent en place.

3. *Les différentes variables pouvant influencer ces résultats* : ces variables correspondent aussi bien à la manière dont les objectifs ont été définis, à l'adéquation de ces objectifs avec les ressources investies dans la formation qu'à la qualité du déroulement de la formation. L'identification de ces variables et l'évaluation de leurs effets permettent de comprendre pourquoi les résultats d'une formation sont bons ou mauvais.

Dans cette thèse, nous proposons une méthode regroupant toutes les trois dimensions liées à la gestion des programmes de formation et un système à l'appui de cette méthode. Le chapitre 3 présente notre modèle de gestion de la formation en entreprise : *AM2O - Analyse, Modélisation, Monitoring, Optimisation*.

CHAPITRE 3

NOTRE APPROCHE : ANALYSE, MODÉLISATION, MONITORING, OPTIMISATION - AM2O

Ce chapitre présente les étapes de notre modèle de gestion des projets de formation en entreprise. La formation est un outil stratégique de développement. Ainsi, elle est induite par un projet, à l'origine duquel il y a un problème à résoudre :

- **Problème social** : *il est nécessaire de diminuer le nombre de chômeurs en proposant notamment des formations spécifiques pour les aider à trouver du travail ;*
- **Problème d'entreprise** : *l'introduction de nouvelles machines nécessite la mise en œuvre d'une formation pour leur utilisation ;*
- **Problème individuel** : *telle personne souhaite acquérir de nouvelles connaissances afin d'accroître sa mobilité professionnelle.*

Tout problème de performance ne peut être résolu avec la formation, mais un projet de formation judicieusement appliqué peut stimuler les compétences et améliorer le rendement au travail. La plupart des entreprises ont besoin de savoir comment calculer et améliorer l'impact de la formation sur la performance globale de l'entreprise.

Lorsque les coûts de formation sont observés avec un œil critique, de nombreuses organisations se rendent compte qu'elles n'ont tout simplement pas assez de ressources financières pour former tous les employés. Elles ont besoin de concentrer leurs dépenses de formation sur les rôles qui sont les plus essentiels à la réussite de l'entreprise et qui retournent le plus de valeur. Pour cette raison, il est important de clarifier les points importants dont dépend le succès, établir des critères de performance et se concentrer sur les formations qui s'alignent à ces critères. L'impact de la formation sur la performance peut être évalué en comparant la performance avant et après la formation. Le fait de baser la stratégie de formation sur les objectifs de performance de l'entreprise fournit un moyen logique de lier la formation à des résultats nets [57].

Le succès enregistré par les solutions de gestion de processus d'affaire [35] (*Business Process Management* - BPM) dans la gestion des processus de l'entreprise nous a incité à réutiliser ce concept pour gérer les activités de formation. Un tel scénario suppose que les activités de formation en entreprise doivent être considérées comme des processus d'affaires. En fait, la conception et l'exécution d'un programme de formation sont basées sur un ensemble d'étapes commençant par la formulation d'une demande et finissant par la mise en œuvre de nouvelles compétences. Toutes ces étapes, en ordre chronologique, constituent un processus comme n'importe quel autre processus d'affaires, et peuvent conduire à des gains en capital si chaque étape est correctement mise en œuvre. Ainsi, ils peuvent être gérés à l'aide de BPM.

La gestion des processus d'affaires est une approche globale et systématique de la conception de l'organisation. Son objectif est simple : rendre l'entreprise efficace, flexible et compétitive tout en produisant des biens et des services de qualité à un moindre coût. *Un processus d'affaire est une séquence ordonnée et chronologique de tâches destinées à produire un résultat à valeur ajoutée pour les clients, les actionnaires et les employés de l'organisation* [16]. La notion de processus d'affaires a toujours été présente dans les entreprises quelque soit la taille de leur structure organisationnelle. BPM représente une stratégie de gestion et d'amélioration de la performance d'entreprise en optimisant en permanence les processus d'affaires dans un cycle en boucle fermée de modélisation, d'exécution et de mesure. Une étude récente de Gartner confirme l'importance du BPM comme étant la solution prioritaire pour l'amélioration des processus d'affaires [35]. Il est largement considéré comme la priorité des priorités dans les organisations qui veulent survivre sur les marchés concurrentiels actuels. Il s'agit d'une méthode structurée de *compréhension*, de *documentation*, de *modélisation*, de *analyse*, de *simulation*, de *exécution* et d'évolution constante des processus d'affaires et toutes les ressources pertinentes en fonction de leur capacité à ajouter de la valeur pour l'entreprise [72].

La tâche principale de BPM est de créer l'alignement entre les composantes processus : entrée, sortie, ressources, structure du processus, et les objectifs du processus. Si un tel alignement est réalisé, la performance du processus global de l'organisation devrait augmenter à la fois en termes de qualité de processus (par exemple : *moins de déchets*

(perte), temps d'inactivité, reprise) et quantité (exemple : plus court temps de cycle, ajustement plus rapide aux changements environnementaux).

Le cycle de vie des processus d'affaires décrit la succession des activités conduisant à la mise en œuvre d'une démarche de gestion de processus dans une organisation. Ce cycle est réparti en trois grandes parties :

- L'élaboration des processus d'affaires.
- La mise en œuvre des processus d'affaires.
- Le contrôle et la supervision des processus d'affaires.

Le cycle de vie décrit un processus itératif (voir figure 3.1) incorporant les principes de la gestion menant à reconsidérer le mode de fonctionnement de l'organisation face aux nombreux changements environnementaux en adoptant une structure flexible et performante. Cette performance est évaluée sur divers critères comme *le gain de compétitivité, de productivité, de réduction des coûts, d'amélioration de la qualité, etc.* La réussite d'une telle démarche dépend du niveau de maîtrise de ces trois parties du cycle de vie des processus d'affaires.

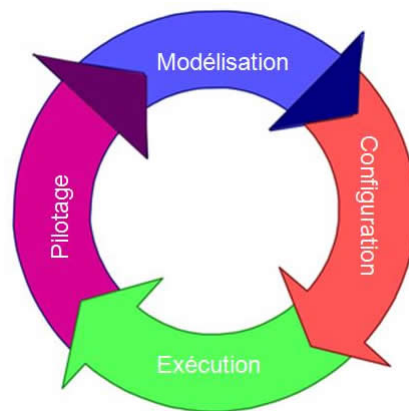


Figure 3.1 – Cycle de vie de la gestion des processus d'affaires (adapté de [90])

Ainsi, dans ce chapitre, nous proposons une méthodologie, en quatre étapes, pour la gestion de programmes de formation en entreprise. Elle consiste à *analyser* les besoins

de formation, *modéliser* les processus, *surveiller* l'avancement des projets de formation, tout en garantissant les objectifs escomptés, et à *optimiser* le rendement par une série de simulations [86, 89, 92]. Ces quatre étapes sont illustrées sur la figure 3.2.

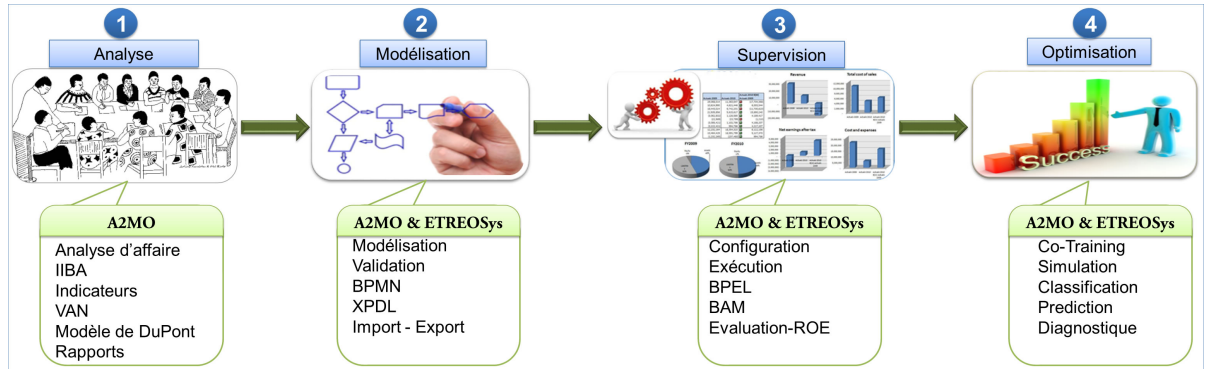


Figure 3.2 – Gestion des programmes de formation en entreprise [87]

Cette méthode résout le problème lié à la difficulté d'isoler les effets de la formation sur le rendement financier et social de l'entreprise (voir chapitres 1 et 2).

3.1 Analyse du besoin de formation

La formation en entreprise couvre le développement personnel des salariés, de l'entreprise et ses services (voir figure 3.3). Elle se compose d'une série d'actions spécifiques destinées à résoudre un problème auquel l'entreprise est confrontée.

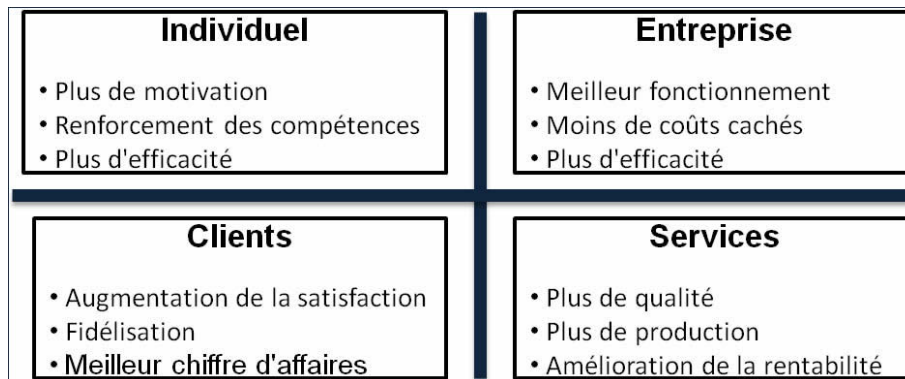


Figure 3.3 – Impacts d'un projet de formation intégrée [5]

Selon Rivard et Lauzier [70], un besoin de formation en entreprise se définit par l'écart entre ce qui est (la situation actuelle) et ce qui devrait être (la situation souhaitée). Il est donc nécessaire d'éviter de lancer trop rapidement un processus de formation avant d'avoir bien évalué la nature du problème soulevé dans l'entreprise.

Les entreprises confient, souvent, l'analyse des besoins de formation à des entreprises spécialisées dans un domaine particulier et offrant des programmes de formation normalisés sur des sujets spécifiques [4, 7, 96]. Leur contribution à l'identification des besoins de formation est alors biaisée par le type de solutions qu'ils peuvent offrir. Cela se traduit généralement par des résultats moins bons [17].

Les résultats d'une étude menée par van Eerde et *al.* [94], avec 96 entreprises, démontrent qu'une analyse rigoureuse des besoins de formation conduit à une plus grande perception de l'utilité de la formation, ce qui en retour a un effet positif sur l'efficacité de l'organisation. Par conséquent, la première étape de AM2O se concentre sur l'analyse de la demande de formation et sa relation avec des éléments de performance de l'entreprise. Cette étape nécessite un certain nombre d'actions telles que : consultations pour explorer la demande, définition d'un plan de changement, analyse des besoins, définition des objectifs, et définition des indicateurs de performance. Pour cela, nous utilisons un processus d'analyse de l'entreprise basé sur le guide de l'Institut international d'analyse d'affaires (IIBA - *International Institute of Business Analysis*) [45].

IIBA maintient et publie un référentiel contenant une description des activités liées à l'analyse d'affaires. Le référentiel est publié dans un livre intitulé "*A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge*". Ce dernier établit une description des activités types de l'analyse d'affaire en six chapitres (voir figure 3.4) :

1. L'analyse de la situation initiale de l'entreprise ;
2. La planification et gestion des pré-requis, des besoins et des attentes ;
3. La récolte des informations ;
4. L'analyse et la documentation des besoins et des attentes ;
5. La communication des informations aux parties prenantes ;

6. L'évaluation et la validation des solutions proposées.

La détermination des besoins dépend de la forme et de la structure de la demande. Le guide de l'IIBA nous permet de répondre à plusieurs questions telles que : *Pourquoi voudriez-vous former les employés ? Quels sont les besoins qui ont été identifiés ? Quelles sont les attentes ? Comment la réalisation des objectifs sera-t-elle évaluée ?*

IIBA propose une classification initiale des formes d'expression des besoins et des attentes en six niveaux :

- *Les attentes d'affaires et besoins* exprimés au plus haut niveau de la hiérarchie comme les demandes d'objectifs d'affaires à atteindre et les besoins spécifiques de l'entreprise. Ces attentes présentent formellement les informations justifiant le démarrage ou l'arrêt des projets comme les mesures d'évaluation de leur succès ou de leur échec.
- *Les besoins des utilisateurs* correspondent à une description des interactions entre eux et les systèmes. Ce type de besoin réalise le lien entre les attentes et les autres types de besoins.
- *Les besoins fonctionnels* décrivent les comportements et les informations de la solution proposée.
- *Les besoins de qualité de service* décrivent les conditions indirectement relatives aux comportements exprimés dans les besoins fonctionnels de la solution. Les conditions et contraintes environnementales les complètent en conservant la solution opérationnelle.
- *Les limites et les contraintes* liées à la nature du problème en dehors des besoins fonctionnels d'une solution impactant ou limitant la conception de la solution.
- *Les besoins de mise en oeuvre et des capacités* d'une solution facilitant la transition de l'entreprise de sa situation initiale à une situation améliorée.

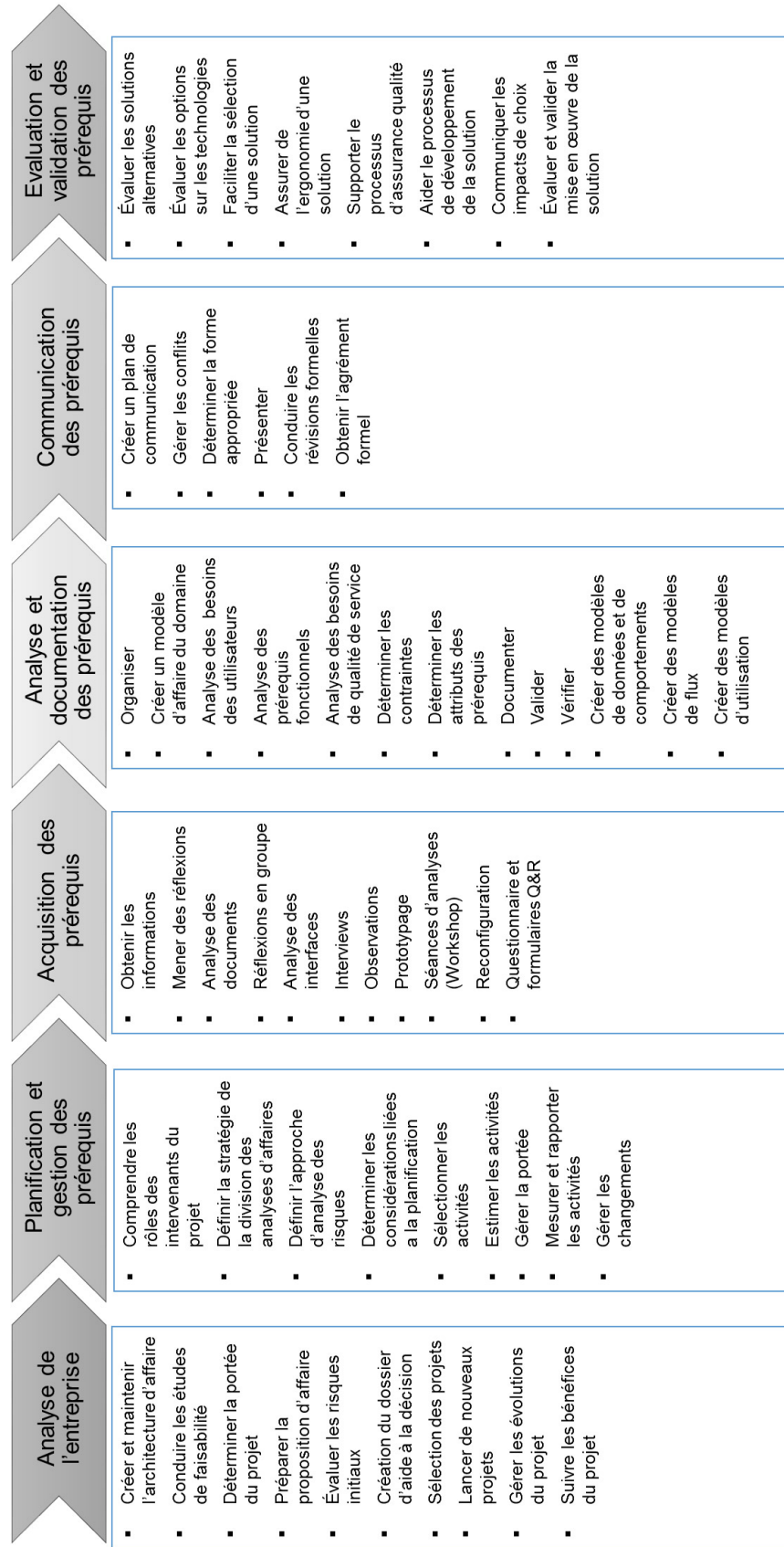


Figure 3.4 – Chapitres et tâches du guide de l'IIBA [16]

Les besoins et attentes de l'organisation représentent le sujet principal de l'analyse d'affaire. L'analyse de la situation courante produit un rapport dans lequel figure une présentation structurée des informations récoltées et les détails concernant les objectifs à atteindre, les moyens et ressources disponibles, les propositions d'améliorations, les risques et impacts potentiels. La direction de l'entreprise juge ainsi les forces, faiblesses, opportunités et risques pour l'organisation. En validant le contenu du rapport, la direction de l'entreprise choisit de poursuivre la démarche en initiant la planification d'un projet.

Le regroupement des informations collectées reflète l'organisation et le mode de fonctionnement de l'entreprise pour une affaire ciblée. Le nombre important d'intervenants, de tâches, d'interactions et d'échange de messages rendent éventuellement difficile la compréhension au premier regard des informations collectées. La maîtrise des processus d'affaires nécessite alors une simplification de cette réalité en structurant l'information sous forme de modèles employés dans toutes les étapes du cycle de vie des processus d'affaires. Ainsi, il devient important d'utiliser un modèle qui représente une abstraction de la réalité et permettant de réduire la complexité naturelle d'un phénomène.

Un modèle se compose de deux éléments associés : le sujet principal et ses caractéristiques l'influençant dans un contexte déterminé ou sous certaines conditions. Cette situation rapportée aux modèles de processus d'affaires implique de considérer les processus comme le phénomène étudié et leur environnement comme la caractéristique fondamentale influençant son résultat. Un modèle de processus d'affaire repose ainsi sur l'identification des éléments essentiels à la conduite des affaires comme les facteurs endogènes et exogènes agissant directement sur les fluctuations du mode de fonctionnement de l'entreprise.

Dans cette étape d'analyse, la direction de l'organisation fixe les objectifs de haut niveau en fonction de sa vision des affaires. Ces objectifs sont ensuite formulés en des objectifs de niveaux inférieurs jusqu'à atteindre les processus d'affaires opérationnels. Un objectif atteint répond à des critères de succès exprimés avec des indicateurs offrant un moyen de mesure et de vérification des écarts aux valeurs initialement fixées.

La traduction d'un objectif en indicateurs dépend de sa formulation. Par exemple, l'ob-

jectif "...faire plus de résultats l'année prochaine..." est éventuellement soumis à des interprétations diverses. Généralement, ces interprétations se traduisent en plusieurs indicateurs répartis entre les entités ou fonctions de l'organisation comme la fonction financière, la production, les ressources humaines, etc. Il existe deux types d'indicateurs de performance dans une relation de cause à effet :

- Les indicateurs affectés directement au résultat des actions déjà exécutées comme les indicateurs financiers de l'entreprise.
- Les indicateurs influençant ou pilotant les indicateurs de la première catégorie. Par exemple, le "nombre de produits vendus" influence directement l'indicateur "chiffre d'affaires".

Il existe deux catégories d'indicateurs : les indicateurs *qualitatifs* comme les valeurs sociales et les indicateurs *quantitatifs* prenant une forme numérique ou symbolique.

Les indicateurs, en *mesurant la performance de l'organisation*, jouent un rôle important dans la vérification de son alignement à sa stratégie. On les déduit soit directement des objectifs, soit des facteurs clés de succès influençant la réussite de la stratégie.

Dans notre approche, la description du rendement intangible de la formation se fait sur la base des valeurs des indicateurs qualitatifs. Comme ces indicateurs sont directement liés à un nombre donné d'objectifs à atteindre, alors l'atteinte (ou la non atteinte) de ces objectifs sera déduite des valeurs des indicateurs correspondants. Le même raisonnement s'applique au calcul du rendement financier (tangible) de la formation.

Selon Malassingne [53], tout objectif impulse le progrès et tout progrès change les repères quotidiens. Ainsi, la définition d'un objectif s'annonce comme capitale car elle révèle la mesure de l'effort à fournir par les différents acteurs.

Les objectifs mettent en jeu des opérations de nature différente :

Les objectifs de performance ciblent généralement les gains à réaliser. Ils engagent le manager ou le chef de service dans une relation de mieux faire, de mieux produire, en y incluant si possible le mieux-être. À lui de les traduire en indicateurs pertinents qui impliqueront leur réussite ;

Les objectifs pédagogiques visent essentiellement des connaissances à acquérir et engagent le formateur et le commanditaire. À eux de traduire les objectifs de performance en connaissances accessibles, sans oublier de les lier à des exercices pratiques ;

Les objectifs de transfert facilitent la transposition des nouvelles connaissances à la situation professionnelle ; ils permettent la réussite de l'acte pédagogique et appellent toute la compétence du formateur ;

Les objectifs opérationnels décrivent le changement de comportement qui doit être maîtrisé en situation de travail. Par exemple une formation à "*la participation en réunion de travail*" ne deviendra efficace que traduite en objectifs opérationnels : "*pendant 3 mois, formuler une proposition à chaque réunion*".

Pour mieux comprendre, prenons l'exemple suivant (tiré de [53]) :

Dans une entreprise, le personnel administratif fait intervenir la maintenance informatique pour des pannes mineures telles que des arrêts d'imprimantes occasionnés par des bourrages de papier... Il a donc été décidé de faire suivre au personnel concerné une formation de maintenance bureautique de premier niveau. L'action de formation se décline en plusieurs types d'objectifs :

Objectif de performance : *diminuer de 5% les interventions du personnel informatique dans les bureaux ;*

Objectifs pédagogiques : *identifier les n périphériques (clavier, souris, imprimante) d'un ordinateur ; connaître les n principaux réglages élémentaires ;*

Objectifs de transfert : *tester tous les réglages proposés dans le programme ; revenir aux réglages initiaux à l'aide d'un memo ;*

Objectifs opérationnels : *effectuer les n opérations conformes à la remise en route d'une imprimante bloquée.*

Le tableau 3.I montre une synthèse des caractéristiques de ces différents objectifs.

Tableau 3.I – Les caractéristiques des objectifs [53]

	Caractéristiques	Acteurs	Démarche
Objectifs de performance	Résultats attendus en termes de gains	Direction, managers, chefs de service	EFFICIENCE
Objectifs pédagogiques	Connaissances à acquérir, exprimées de façon mesurable ou observable pour atteindre l'objectif de performance	Formateurs, service de formation	MESURE DE L'EFFICACITÉ
Objectifs de transfert	Simulations ou exercices pratiques pendant la formation permettant l'atteinte des objectifs pédagogiques	Formateurs, service de formation	
Objectifs opérationnels	Mise en pratique en situation de travail des objectifs pédagogiques	Chefs de service, chef d'équipe, formateurs	

Cette première étape d'AM2O fournit les modèles de processus, les informations nécessaires à la configuration de ces modèles, et les valeurs initiales des indicateurs. Elle assure l'alignement du programme de formation avec la stratégie de croissance de l'entreprise. À cette étape, nous estimons la Valeur Actuelle Nette (VAN) de l'investissement en formation avant le début du programme de formation. Pour cela, nous combinons la formule de la VAN [12, 42] avec la méthode d'analyse financière de DuPont [11, 78, 79]. Lorsqu'une entreprise ou un investisseur veut s'engager dans un projet ou un investissement, il est important de faire une estimation de la rentabilité du projet ou de l'investissement. VAN est une formule utilisée pour déterminer la valeur présente de la somme actualisée de tous les flux de trésorerie reçu du projet. Il compare la valeur d'un dollar d'aujourd'hui à la valeur de ce même dollar dans l'avenir, en prenant en compte l'inflation. La formule pour la somme actualisée de tous les flux de trésorerie peut être comme

suit :

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (3.1)$$

T est le nombre d'années, C_t est le flux de trésorerie (cash-flow) à l'instant t , r est le taux (taux de rendement qui pourrait être obtenu sur un investissement dans les marchés financiers présentant des risques similaires - c'est le taux d'intérêt) et C_0 est l'investissement initial.

Le cash-flow est le mouvement de flux monétaire dans ou hors d'une entreprise, d'un projet ou d'un produit financier. Il est généralement mesuré au cours d'une période de temps finie. La mesure du cash-flow peut être utilisée pour calculer d'autres paramètres qui donnent des informations sur la valeur et la situation de l'entreprise. Pour l'actualisation des cash-flows on utilise un taux qui reflète le taux de rendement requis pour le projet d'investissement et qui prend en compte l'inflation des prix et les risques spécifiques au projet. Ce taux d'actualisation doit également couvrir le taux d'intérêt dans la mesure où l'investissement initial serait emprunté.

Par exemple : pour améliorer le rendement de son service d'expédition, un entrepôt de fruits et légumes d'une entreprise donnée (entreprise X) organise des séances de formation pour ses employés sur l'utilisation des scanners.

L'analyse du besoin de formation permet de découvrir que l'entreprise X veut simplement augmenter son retour aux investisseurs. Pour cela, l'entreprise X doit réduire le coût des erreurs dans le traitement des commandes et augmenter le nombre de commandes traité par heure dans le service d'expédition.

L'analyse de la situation courante de l'entreprise permet d'obtenir le bilan financier simplifié présenté dans le tableau 3.II :

Tableau 3.II – Exemple de bilan financier simplifié

Bénéfice net	Ventes	Actifs	Avoirs
1 000 000 \$	10 000 000 \$	8 000 000 \$	4 000 000 \$

En outre, les erreurs dans les commandes coûtent en moyenne 200 000\$ à l'entreprise. Le coût de la formation est de 500 000\$.

L'entreprise X estime que la formation va réduire le coût des erreurs d'au moins 50%.

Aussi, l'augmentation du nombre de commandes traitées par heure aura une influence positive sur les ventes et le bénéfice net. Cette augmentation permettra également d'économiser le salaire des saisonniers, le coût de leur recrutement et de leur formation (exemple 150 000\$). Ces informations peuvent être utilisées pour estimer la VAN de l'investissement en formation avant que le programme ne commence.

Dans le cas de l'entreprise X, en supposant que la formation génère un revenu constant, pour un risque constant de 10%, nous avons la VAN suivante :

$$NPV = \frac{100000 + 150000}{1.1} + \frac{250000}{1.1^2} + \dots + \frac{250000}{1.1^T} - 500000 \quad (3.2)$$

Selon le calcul précédent, nous constatons que la valeur de la VAN ne sera positive qu'à partir de la troisième année.

En supposant que la formation génère un revenu constant, le cash-flow peut être considéré comme une perpétuité. La perpétuité peut être calculé par une formule simplifiée :

$$\text{Valeur actuelle de la perpétuité} = \frac{A}{r} \quad (3.3)$$

Où A représente le paiement périodique fixe et r est le taux d'intérêt. Dans ce cas, on aura $\frac{250000\$}{0.10} = 2500000\$$

Ainsi, dans ce cas, la VAN du projet dépasse largement les coûts (2 500 000 \$ > 500 000 \$) ce qui signifie que l'entreprise a un rendement positif et la décision d'investir peut être justifiée.

Normalement, plusieurs aspects des états financiers sont affectés par la formation ce qui rend plus difficile d'estimer l'impact sur le bénéfice. Par conséquent, contrairement à l'exemple précédent qui était simple, dans les cas plus complexes, le calcul de la VAN d'un investissement dans la formation se fait en cinq étapes (voir la figure 3.5).

En effet, l'utilisation du guide de l'IIBA produit des indicateurs (ratios) permettant d'évaluer la réussite de la formation. Ces ratios peuvent être utilisés dans la décomposition (premier et deuxième niveau) du modèle de DuPont afin de calculer le flux monétaire lié à l'investissement en formation.



Figure 3.5 – Procédure d’estimation de la rentabilité de l’investissement en formation

L’analyse de DuPont [13] est une méthode de mesure de la performance qui a été utilisée par la société DuPont dans les années 1920. Selon Soliman [81], les composants de DuPont représentent une forme progressive et viable d’informations sur les caractéristiques de fonctionnement d’une entreprise. Avec cette méthode, les actifs sont mesurés à leur valeur comptable brute plutôt que sur la valeur nette comptable afin de produire un rendement plus élevé sur les fonds propres (*Return On Equity - ROE*). Il s’agit d’un système d’analyse de ratio qui permet rapidement de déterminer si une entreprise utilise tous les moyens à sa disposition pour atteindre son objectif financier. L’analyse DuPont permet de localiser la partie de l’entreprise qui est sous-performant (si le ROE n’est pas satisfaisante). Cette analyse nous indique que le rendement des capitaux propres est affecté par trois sous-ratios :

- rentabilisation maximale des opérations : mesurée par la marge nette ;
- gestion maximale et efficace des actifs : mesurée par la rotation des actifs ;
- utilisation optimale du levier financier : mesurée par le multiplicateur de fonds propres.

$$ROE = \text{Marge nette} * \text{Rotation de l’actif} * \text{Lever financier} \quad (3.4)$$

$$ROE = \frac{\text{Bénéfice net}}{\text{Fonds propres}} \left\{ \begin{array}{l} \text{Marge nette} = \frac{\text{Bénéfice net}}{\text{ventes nettes}} \\ \text{Rotation de l’actif} = \frac{\text{ventes nettes}}{\text{actif total}} \\ \text{Lever financier} = \frac{\text{actif total}}{\text{Fonds propres}} \end{array} \right.$$

Par exemple, en utilisant le tableau 3.II, on obtient le ROE suivant :

$$ROE = \frac{10^6}{10^7} * \frac{10^7}{8 * 10^6} * \frac{8 * 10^6}{4 * 10^6} = 0.25$$

Le résultat du calcul du ROE signifie que chaque dollar investi dans l'entreprise, par les actionnaires, génère 25% (25 ¢) de profit.

Le ratio de la marge nette est un indicateur comptable de la rentabilité globale des opérations. Il tient compte des frais d'exploitation, des charges reliées au financement, des charges reliées à l'impôt, etc.

Pour mesurer l'efficacité à gérer l'ensemble des actifs, il suffit de calculer le chiffre d'affaires réalisé pour chaque dollar investi dans l'actif (cet investissement peut être pour la formation des employés). Le ratio de la rotation de l'actif permet d'effectuer ce calcul. Il tient compte de la rotation de l'encaisse, la rotation des comptes clients, la rotation des stocks, du délai de perception des fournisseurs, du cycle de conversion de l'encaisse, de la rotation des immobilisations (à long terme), etc.

Concernant l'effet de levier, il faut bien noter qu'on parle d'optimisation et non de maximisation. Plus la valeur de ce ratio est grande, plus l'actif sera important par rapport à l'avoir et, par simple déduction logique, plus le niveau d'endettement sera grand. Il permet d'analyser la capacité à supporter l'endettement (couverture des intérêts, couverture du fardeau de la dette) et d'analyser des liquidités de l'entreprise.

Une meilleure analyse du projet de formation permet d'associer des indicateurs, fournis par la première étape de notre approche, à certains ratios de la décomposition de DuPont. Cela aidera à identifier l'impact exact de la formation sur le rendement des fonds propres (en particulier sur le bénéfice net). Une analyse comparative avec le scénario sans investissement en formation nous permet d'isoler le cash-flow pertinent pour être utilisé dans la formule de la VAN.

En outre, comme chacun des trois ratios se décompose en points encore plus petits, il est possible de mesurer l'effet de la formation sur un ratio financier très précis et ensuite en mesurer l'impact sur le rendement, ce qui nous aide à bien faire la VAN et à calculer efficacement le rendement du projet.

Si on reprend l'exemple de l'entreprise X, la réduction du coût des erreurs et l'augmentation du nombre de commandes traitées par heure ont un impact sur le ratio de la marge nette et celui de la rotation de l'actif. Ainsi, à partir de la décomposition du modèle de DuPont, si on estime que les améliorations dues à la formation ont augmenté

le rendement des fonds propres de β (donc le bénéfice net de β) alors on peut utiliser la formule de la VAN pour connaître les gains futurs de l'investissement en formation selon l'équation suivante.

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{\beta * \text{Bénéfice net}}{(1+r)^t} - C_0 \quad (3.5)$$

Selon la valeur de la VAN, supérieure ou inférieure à un seuil fixé par l'entreprise, on décide de financer ou pas le projet de formation.

3.2 Modélisation

Un modèle de processus est un élément d'un langage de processus qui est conforme à des règles d'un méta-modèle de processus (par exemple une grammaire pour les langages linéaires de procédés : *XPDL*, *BPEL*, etc., ou une structure graphique pour les langages visuels tels que les *graphes BPMN*, *diagrammes d'activités UML* et *réseau de Pétri*).

Cette étape nous permet de modéliser un processus d'affaires en utilisant des objets graphiques développés par Workflow Management Coalition¹. Dans ce langage de modélisation, nous utilisons deux types d'objets : les nœuds et les flux (voir figure 3.6). Le nœud est classifié en deux catégories : tâche et condition. Une tâche, graphiquement représentée par un rectangle, représente le travail à être fait pour réaliser quelques objectifs. Une condition, graphiquement représentée par un cercle, est utilisée pour construire les structures de choix. Un flux lie deux nœuds dans le graphe et est graphiquement représenté par une flèche.

Un modèle de processus est la définition formelle d'un processus d'affaires. Pour la gestion de projets de formation, il existe au moins deux modèles de processus : le modèle de processus lié à la planification de la formation (curriculum) et le modèle de processus lié aux étapes de la collecte de données et de l'évaluation du rendement de la formation.

¹Fondée en 1993, Workflow Management Coalition (WfMC) est une organisation mondiale de développeurs, consultants, analystes, ainsi que universitaires et de chercheurs engagés dans le workflow et BPM (www.wfmc.org). Le but de la WfMC est de développer des standards dans le domaine de workflow en collaboration avec les acteurs principaux

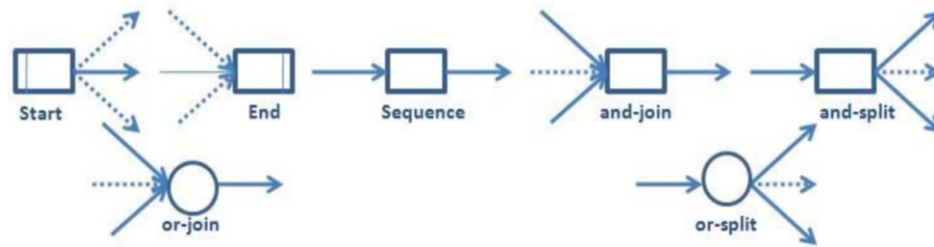


Figure 3.6 – Les objets du langage de modélisation [90, 91]

La planification de la formation est une représentation graphique de l'organisation de la formation (plan du cours). Pour illustrer cette notion, prenons l'exemple d'une entreprise qui voudrait améliorer les performances de son département des relations clientèles. Pour cela, l'entreprise voudrait que les employés, de ce département, puissent faire une analyse complexe des comportements du consommateur et communiquer les résultats aux gestionnaires et les conseiller en matière stratégique. Ainsi, les employés doivent suivre une formation sur le comportement du consommateur. La figure 3.7 montre un modèle de processus du planning de cette formation.

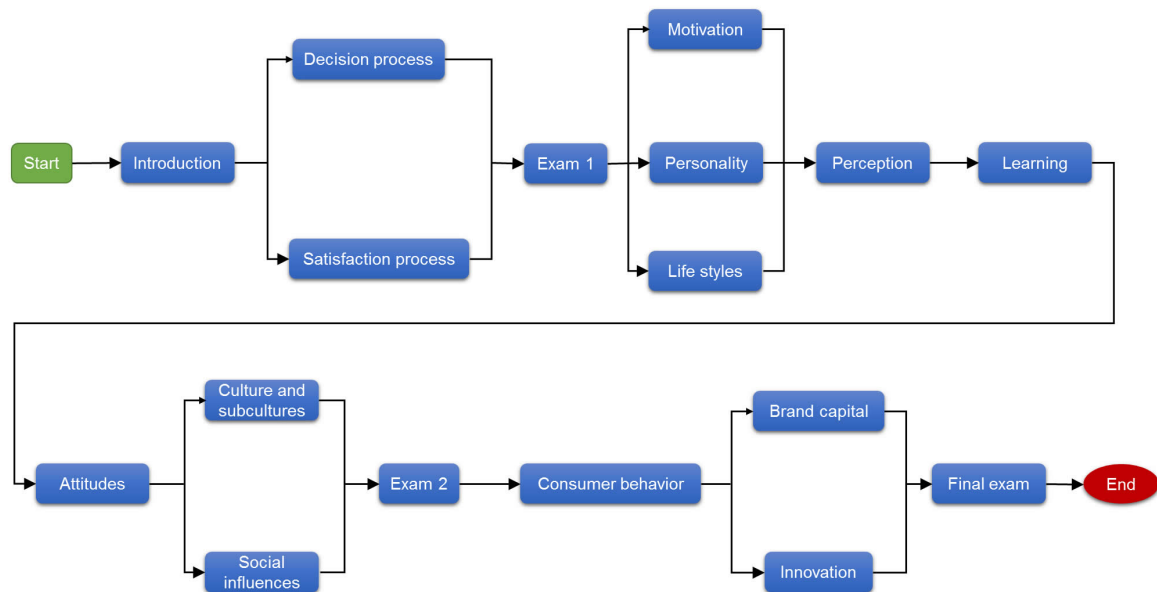


Figure 3.7 – Un modèle de processus possibles pour la planification de la formation : comportement du consommateur

La figure 3.7 est basée sur la description des contenus de formation à partir d'un langage standard de conception de contenu (par exemple : *Sharable Content Object Reference Model - SCORM²*). Il est possible d'avoir plus de granularité en fonction de l'activité (par exemple, il peut y avoir un modèle de processus correspondant à la décomposition de l'activité processus de décision. Idem pour l'activité Perception).

Dans AM2O, nous associons à ce graphique : les acteurs de chaque étape et leurs rôles, la description des données entrants et sortants, l'aspect temporel et les indicateurs de performance liés à la conduite de la formation (voir étape 3.1). Comme indicateurs, nous pouvons citer : *état émotionnel moyen par apprenant, état émotionnel moyen par session de formation, état émotionnel général par formation, satisfaction de l'organisation par rapport au programme de formation, satisfaction quant au contenu, satisfaction envers le formateur, pertinence de la perception, utilité de la formation, capacité de la formation pour atteindre les objectifs de l'entreprise, note de l'examen, score moyen de l'apprentissage, ...*

²<http://scorm.com/scorm-explained/>

La planification de la collecte et de l'évaluation de la formation est une représentation des étapes de collecte d'informations, avant, pendant et après la formation (figure 3.8). Dans AM2O, pour chaque étape (activité du processus de la figure 3.8), nous définissons les moyens de collecte, les dates, les objectifs, les acteurs et les indicateurs correspondants. Toutes ces informations sont conservées dans le système ETREOSys (voir chapitre 4) pour faciliter la gestion du programme de formation. Par conséquent, en plus des indicateurs déjà mentionnés, nous définissons d'autres indicateurs permettant d'estimer l'atteinte des objectifs de formation en entreprise. Ces indicateurs sont liés à la vie des employés dans l'entreprise avant et après la formation. Nous pouvons citer, par exemple : *augmentation du degré d'innovation d'un employé, augmentation du degré d'innovation dans l'entreprise en général, amélioration de la qualité du produit, climat au travail, nombre de réunions du comité, fidélité des clients, bénéfice par employé,...*

Nous isolons également les indicateurs qui peuvent influencer ceux précédemment discutés (avec ou sans programme de formation). Par exemple : *taux de rotation du personnel, taux d'absentéisme des employés, nombre d'absences par employé, coût de la rotation, coût engendré par l'absentéisme, degré de satisfaction au travail, degré d'initiative personnelle, productivité du personnel, niveau de la collaboration entre les employés au sein de l'entreprise, niveau de collaboration par employé et ainsi de suite.*



Figure 3.8 – Un modèle de processus possibles pour l'évaluation de la formation

Pour le cas particulier de la formation modélisée dans la figure 3.7, il faut tenir compte de l'influence d'éléments environnementaux sur le comportement du consommateur tels la culture, les groupes de référence, les classes sociales ou encore la famille. Par conséquent, il faut définir des indicateurs permettant d'isoler l'influence de ces éléments externes.

Le modèle de processus lié à l'évaluation fixe les périodes de collecte d'information afin de procéder à des évaluations et/ou des simulations conduisant à prédire la tendance des résultats. Ces dernières informations permettront de prendre des décisions menant à la réussite du programme de formation. Grâce aux indicateurs, le modèle de processus lié à l'évaluation permettra de réagir en temps réel pour écarter toute situation conduisant à l'échec de la formation (non-réalisation des objectifs). Pour cela, il suffit simplement de comparer les valeurs initiales, les valeurs collectées et les attentes de l'entreprise.

L'objectif d'un modèle de processus est de produire des spécifications de haut niveau indépendants du logiciel de gestion des instances et leur exécution. Il est essentiel que les modèles de processus capturent non seulement les besoins de l'entreprise, mais assurent aussi une exécution avec succès. Ainsi, ils doivent être correctement modélisés avant qu'ils ne soient mis en œuvre dans un système de gestion de processus.

En effet, le déploiement de modèles non validés peut conduire les applications à base de ces processus à des états d'incohérence et peut même provoquer des pannes très critiques sans la moindre possibilité de reprise. Autrement dit, si un modèle de processus est mis en production avant d'être correctement vérifié, il pourrait échouer durant l'exécution et causer une perte considérable à l'entreprise.

L'utilisation des modèles de processus non valides (mauvaises combinaisons d'objets de la figure 3.6) conduit à deux types de conflit structurel [14, 32, 51, 52, 61, 62, 73, 74, 93] : impasse (*deadlock*) et manque de synchronisation (*lack of synchronization*) (voir figure 3.9).

Les conflits sémantiques se produisent en raison de la non-conformité (manque d'alignement stratégique) avec les besoins d'affaires.

Pour vérifier la validité syntaxique ou structurelle, nous analysons la structure du modèle de processus. Pour cela, nous utilisons une version simplifiée et améliorée de l'algorithme hybride de Touré et *al.* [90]. D'autre part, pour vérifier la validité sémantique, nous devons analyser les informations traitées par les tâches (nœuds d'activités) et le comportement de celles-ci (dans la section 3.1, des précautions doivent être prises pour éviter les conflits sémantiques).

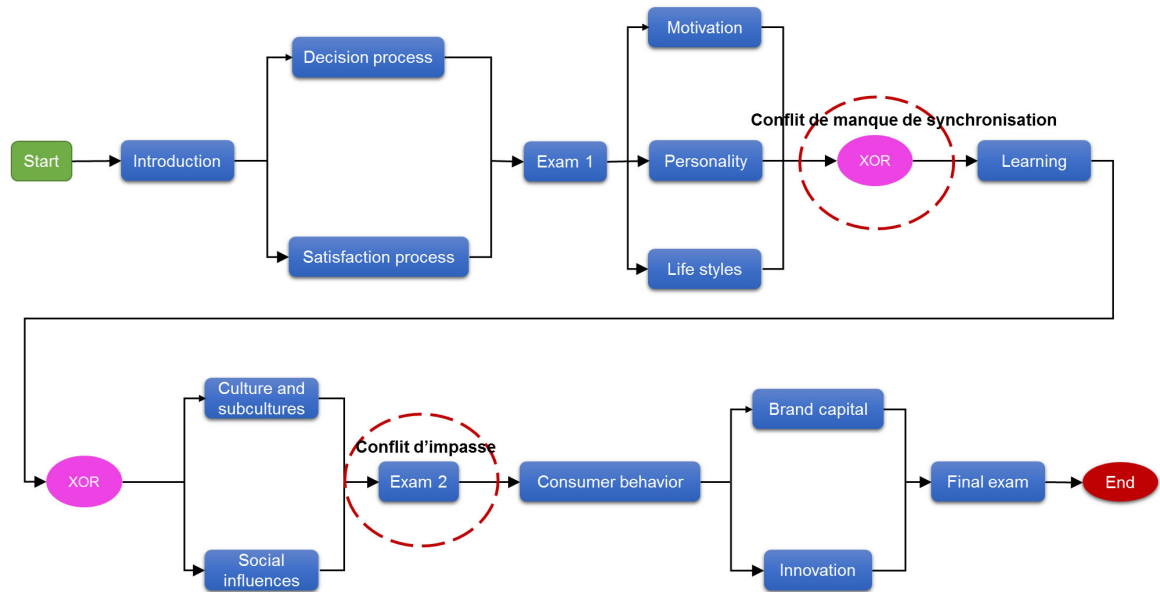


Figure 3.9 – Un modèle de processus de planification de la formation avec des conflits structurels "Comportement du consommateur".

Dans un modèle de processus, un conflit structurel est engendré par un nœud join. Par conséquent, pour détecter un conflit dans un modèle de processus, il suffit de localiser la combinaison split-join non valide. Cependant, cette localisation peut être très complexe quand on passe à l'échelle (graphe trop grand), il est donc important de réduire la taille du graphe selon la définition 3.5, tout en préservant l'ordre de nœud.

Un modèle de processus est un graphe orienté (définition 3.1) constitué de tâches (activités), d'arcs (transitions) et d'éléments de décision (opérateurs de choix et de synchronisation).

Définition 3.1 (Graphe de processus). *Un graphe de processus est un 6-uplet $G = (N, T, T^S, T^E, C, F)$:*

- N est un ensemble fini de nœuds ;
- $T \subseteq N$ est un ensemble fini de tâches ;
- $T^S \subseteq T$ est un ensemble singleton de tâche de début ;
- $T^E \subseteq T$ est un ensemble singleton de tâche finale ;
- $C \subseteq N$ est un ensemble fini des nœuds de synchronisation de type $\{\text{and-split, or-split, and-join, or-join}\}$;
- $N = T \cup C$ et
- $F \subseteq N \times N$ est la relation de flux de contrôle. La relation F définit un graphe (N, F) orienté avec des nœuds N (activités) et des arcs F (transitions).

Un sous-graphe d'instance de processus (définition 3.2) représente un sous-ensemble des tâches de processus qui peuvent être exécutées pour une instance particulière d'un processus.

Définition 3.2 (Sous-graphe d'instance de processus). *Un sous-graphe d'instance d'un processus G est un graphe de processus G' constitué d'un sous ensemble de nœuds du graphe G qui peuvent être instanciés durant une exécution du graphe de processus G .*

Définition 3.3 (Graphe de processus avec impasse). *Un graphe de processus contient une impasse (deadlock) s'il produit un sous-graphe d'instance qui contient sur un même chemin le patron régulier suivant $(\text{or-split})t^*(\text{and-join})$ où t est une tâche et t^* un chemin contenant une suite (éventuellement vide) de tâches (voir figure 3.9).*

Définition 3.4 (Graphe de processus avec manque de synchronisation). *Un graphe de processus manque de synchronisation (lack of synchronization) s'il produit un sous-graphe d'instance qui contient sur un même chemin le patron régulier suivant $(\text{and-split})t^*(\text{or-join})$ où t est une tâche et t^* un chemin contenant une suite (éventuellement vide) de tâches (voir figure 3.9).*

Définition 3.5 (Réduction de graphe de processus). *Réduction de graphe de processus consiste à supprimer les structures correctes dans le graphique en respectant l'ordonnement de nœud et faire en sorte que cette suppression ne crée pas de nouveaux conflits ou ne supprime pas les conflits existants.*

L'objectif de la réduction est de supprimer des structures valables pour vérifier la correction du graphe. Une transformation de graphe qui introduit de nouveaux objets ou modifie l'ordre des nœuds, ne constitue donc pas une règle de réduction parce l'intégrité du graphe n'est pas respectée.

Pour mieux exprimer la syntaxe et la sémantique de notre formalisation, on associe à chaque objet (instance d'un concept) (exemple, graphe de procédé, nœud, tâche, transition, etc.) des attributs. Ces attributs pourraient être des valeurs singulières, des ensembles d'autres valeurs ou des objets (instances d'autres concepts). Nous utiliserons ces attributs pour spécifier des structures de modélisation, les critères et les algorithmes de validation de modèle de procédés. L'attribut d'un objet est accessible en utilisant le nom de l'attribut suivi du nom de l'objet entre crochets, exemple $a[o] = v$, où a représente le nom d'un attribut particulier de l'objet o et v représente la valeur de l'attribut. Si la valeur d'un attribut est une valeur singulière, son nom commence par une lettre alphabétique minuscule. Si la valeur est un ensemble, le nom commence par une majuscule. Ci-dessous, un ensemble de règles sémantiques de notre formalisation :

- La taille d'un graphe représente le nombre total de ses nœuds et transitions :
 $size[G] = size[N] + size[F]$;
- Pour chaque transition $f \in F$:
 - $fromNode[f] = n \in N$ représente le nœud d'origine de la transition f ;
 - $toNode[f] = n \in N$ représente le nœud destination de la transition f .
- Pour chaque nœud $n \in N$:
 - $nodeType[n] \in \{T\hat{A}CHE, CHOIX\}$ représente le type du nœud n . Ainsi, $\forall n$,

$n \in T \Rightarrow nodeType[n] = T\hat{A}C H E$ et $n \in C \Rightarrow nodeType[n] = C H O I X$;

- $dout[n]$ = degré de sortie de n : le nombre de transitions sortantes de n ;
- $din[n]$ = degré d'entrée de n : le nombre de transitions entrantes à n ;
- $InNodes[n] = \{m \in N / mFn\}$ est l'ensemble des nœuds entrants à n ;
- $OutNodes[n] = \{m \in N / nFm\}$ est l'ensemble des nœuds sortants de n ;
- $InTrans[n] = \{f / f \in F \text{ et } toNode[f] = n\}$: l'ensemble des transitions entrantes à n ;
- $OutTrans[n] = \{f / f \in F \text{ et } fromNode[f] = n\}$: l'ensemble des transitions sortantes de n ;

Avant de développer l'algorithme de vérification à base de réduction de graphe, quelques hypothèses de validation syntaxiques de base sont de rigueur. L'hypothèse 3.1 stipule que le graphe de processus G ne contient qu'un nœud de début et qu'un nœud de fin.

Hypothèse 3.1 (Unicité des tâches de début et de fin). T^S et T^E sont des singletons :

- $T^S = \{t^s\}$;
- $T^E = \{t^e\}$.

L'hypothèse de base 3.2 stipule qu'un graphe de processus G est bien formé : tous ses nœuds ont des nœuds adjacents entrants et sortants sauf les nœuds de début et de fin, chaque nœud est sur un chemin du nœud de début vers le nœud de fin et entre deux nœuds, il existe au plus une seule transition.

Hypothèse 3.2 (Graphe de processus bien formé). *Un graphe de processus G doit être bien formé :*

- *Toute tâche a un prédécesseur sauf la tâche de début t^s : $\forall t \in T, InNodes[t] = \emptyset$ si et seulement si $t \in T^S$ ($din[t^s] = 0 \wedge (\forall t \in T, t \neq t^s \Rightarrow din[t] > 0)$);*
- *Toute tâche a un successeur sauf la tâche de fin t^e : $\forall t \in T, OutNodes[t] = \emptyset$ si et seulement si $t \in T^E$ ($dout[t^e] = 0 \wedge (\forall t \in T, t \neq t^e \Rightarrow dout[t] > 0)$);*
- *G est connexe : $\forall n \in N, t^s F^* n$ et $n F^* t^e$;*
- *G est élémentaire : $\forall n_1, n_2 \in N, f_1(n_1, n_2), f_2(n_1, n_2) \in F^2 \Rightarrow f_1 = f_2$.*

L'hypothèse de base 3.3 stipule que le graphe de processus G ne contient pas d'utilisation unaire des nœuds and-split, or-split en sortie et des nœuds or-join et and-join en entrée.

Hypothèse 3.3 (n-arité des nœuds de choix/synchronisation). *Les nœuds de type CHOIX ne sont pas utilisés dans des structures séquentielles : $\forall n \in C, dout[n, ndeType[n] = split] > 1$ et $din[n, nodeType[n] = join] > 1$.*

L'hypothèse 3.4 stipule que le graphe de processus G est un graphe orienté sans circuit.

Hypothèse 3.4 (Acyclicité du graphe de procédé). *Un graphe de processus G doit être sans circuit :*

- *G ne contient pas de boucle-reflexive : $\forall n_i, n_j \in N, n_i F n_j \Rightarrow n_i \neq n_j$;*
- *et plus généralement, G ne contient pas de circuit : $\forall n_i, n_j \in N, n_i F^* n_j \Rightarrow (\forall n_k \in N, n_j F^* n_k \Rightarrow n_k \neq n_i)$.*

Dans le reste nous considérons seulement des graphes de processus qui respectent les hypothèses syntaxiques 3.1, 3.2, 3.3 et 3.4.

Ainsi, afin d'assurer la validité de la structure des modèles de processus, nous utilisons un algorithme basé sur quatre (4) règles :

R₁ - Règle de Réduction Séquentielle (Sequential) Si le nœud courant forme une structure séquentielle, c'est-à-dire, qu'il a exactement un flux entrant et un flux sortant, la règle séquentielle supprime le nœud courant du graphe et supprime sa transition sortante (la transition entrante du nœud supprimé pointerà sur le nœud sortant de ce dernier. G est un graphe où $f_1(n_1, n), f_2(n, n_2) \in F^2 \Rightarrow_{R_1} G ::= G'(N \setminus \{n\}, F \cup \{f(n_1, n_2)\} \setminus \{f_1, f_2\})$) (voir figure 3.10).

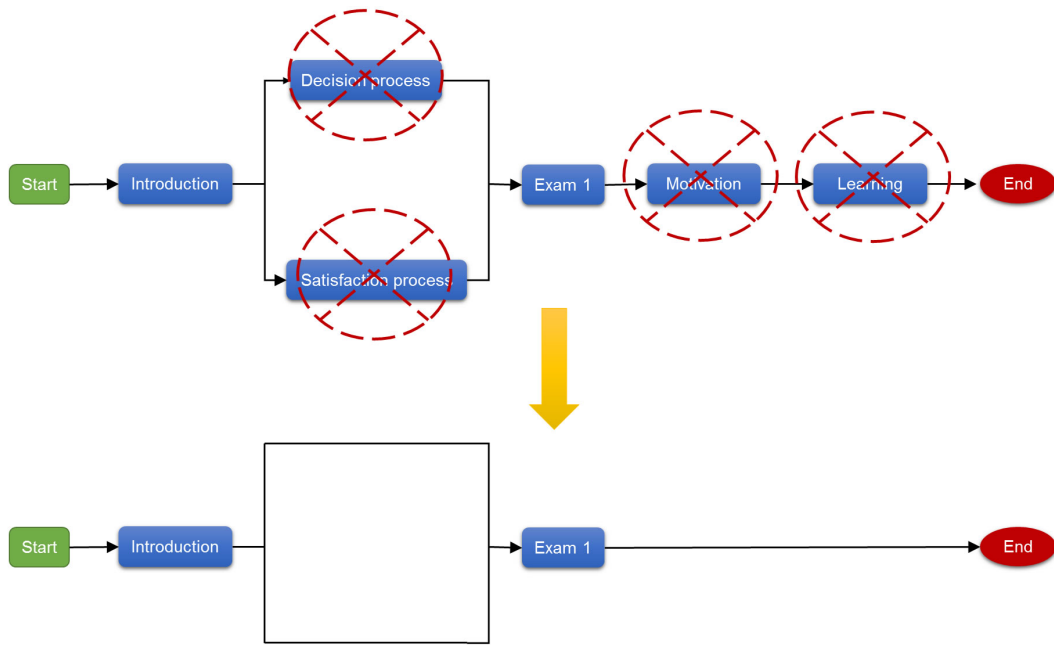


Figure 3.10 – Exemple d’application de la règle R_1 . Cette règle supprime toutes les structures séquentielles dans le graphe.

La figure 3.10 montre un exemple d’application de la règle de réduction séquentielle. Elle supprime les tâches *Motivation*, *Learning*, *Decision process* et *Satisfaction process* pour obtenir un graphe réduit de (START) à (END).

R₂ - Règle de Réduction d'Adjacence (Adjacent) La règle de réduction d'adjacence cible deux types de composants. Si le nœud courant n'est pas supprimé selon la règle de réduction **séquentielle**, cela signifie qu'il forme une structure (i) split ($dout[n] > 1$) ou (ii) join ($din[n] > 1$).

(i) fusion des structures split : Si le nœud courant forme une structure split ($dout[n] > 1$) et possède une seule transition entrante ($din[n] = 1$) et si le nœud courant est du même type que son nœud prédécesseur ($InNodes[n]$ est aussi un split du même type booléen), la règle déplace les transitions sortantes du nœud courant au nœud prédécesseur et supprime le nœud courant (associativité des and-split entre eux et associativité des or-split entre eux) : $\forall n_1, n_2, n_3 \in N, (or-split(or-split(n_1, n_2), n_3) \Rightarrow_{R_2} or-split(n_1, n_2, n_3))$ et $(and-split(and-split(n_1, n_2), n_3) \Rightarrow_{R_2} and-split(n_1, n_2, n_3))$;

(ii) fusion des structures join : Sinon si le nœud courant forme une structure join ($din[n] > 1$) et possède une seule transition sortante ($dout[n] = 1$) et si le nœud courant est du même type que son nœud successeur ($OutNodes[n]$ est aussi un join du même type booléen), la règle déplace les transitions entrantes du nœud courant au nœud de successeur et supprime le nœud courant (associativité des and-join entre eux et associativité des or-join entre eux) : $\forall n_1, n_2, n_3 \in N, (or-join(or-join(n_1, n_2), n_3) \Rightarrow_{R_2} or-join(n_1, n_2, n_3))$ et $(and-join(and-join(n_1, n_2), n_3) \Rightarrow_{R_2} and-join(n_1, n_2, n_3))$.

La figure 3.11 montre un exemple où la règle **d'adjacence** supprime les nœuds *Decision process et Life styles* pour obtenir un graphe réduit de (START) à (END). L'application de la règle de réduction **séquentielle** sur (*Motivation, Personality, Satisfaction process et Learning*) réduira encore le graphe.

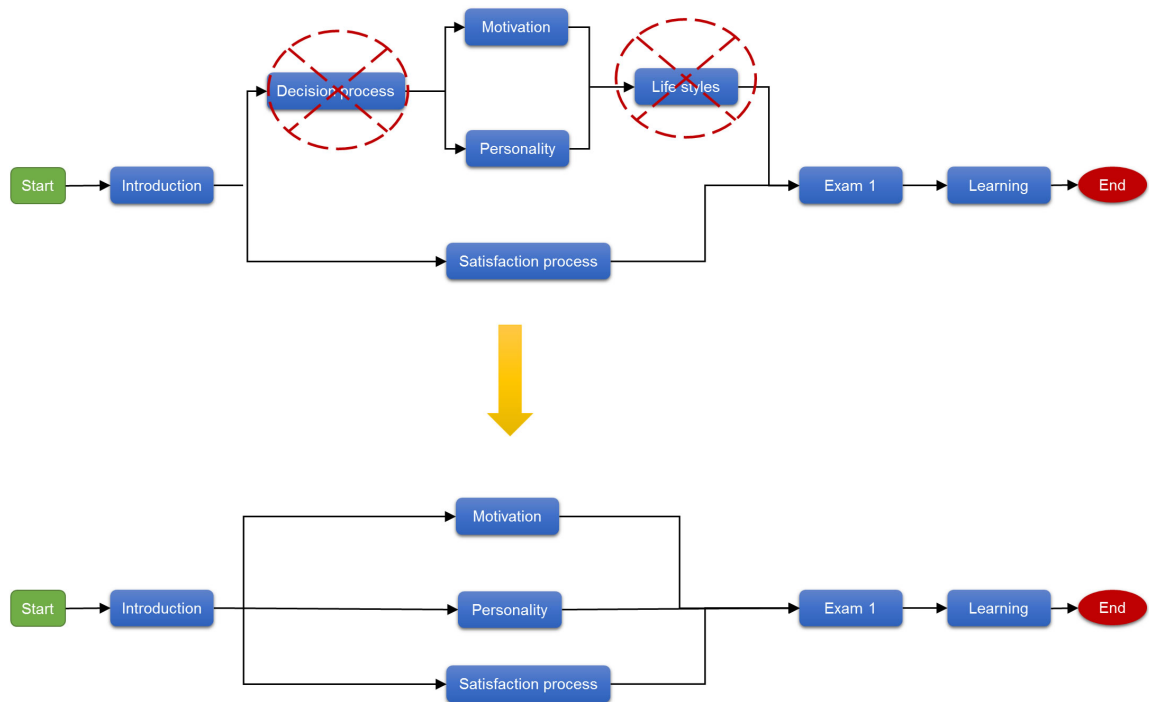


Figure 3.11 – Exemple d’application de la règle de réduction d’adjacence R_2 . Cette règle supprime toutes les structures d’adjacence dans le graphe.

R_3 - Règle de Réduction Fermée (Closed) L’application de règles de réduction séquentielle et d’adjacence introduit généralement des déformations du graphe de processus. Des nœuds du même type peuvent avoir plus qu’une transition entre eux (le graphe de processus devient donc non élémentaire). La règle de réduction fermée supprime toutes les transitions entre de tels nœuds sauf une seule. G est un graphe où $f_1(n_1, n_2), f_2(n_1, n_2) \in F^2 \Rightarrow_{R_3} G ::= G'(N, F \setminus \{f_2\})$ (figure 3.12)

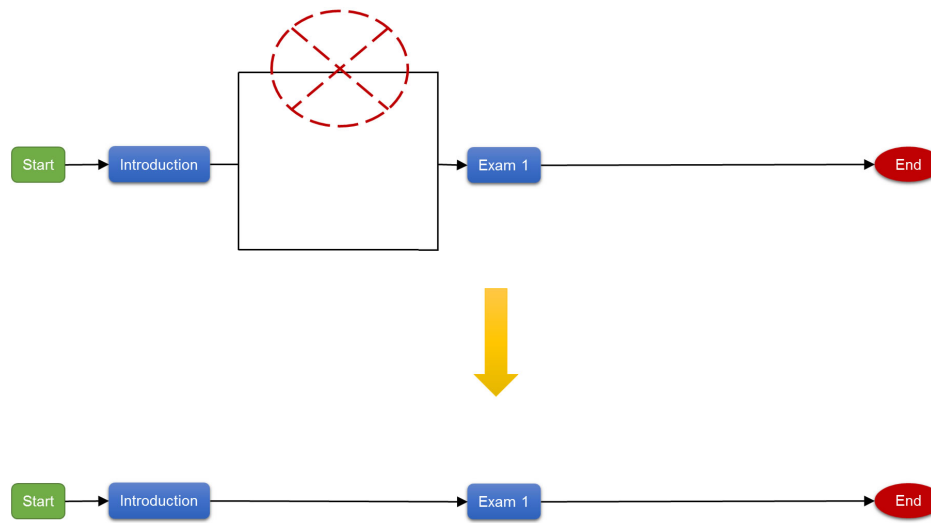


Figure 3.12 – Exemple d’application de la règle de réduction fermée R_3 .

Après l’application des règles précédentes, nous obtenons soit un graphe vide (un graphe qui ne contient que les nœuds START et END), ou un graphe split-join (voir Définition 3.6). Dans le premier cas, le graphe original est sans conflit structurel. Dans le cas d’un graphe split-join, la règle 4 consiste à parcourir le graphe réduit résultant pour chercher des nœuds join non corrects.

Définition 3.6 (Graphe split-join). *Un graphe split-join est un graphe qui ne contient que des combinaisons de nœuds split et join adjacents. Ce type de graphe n’est pas réductible à l’aide des règles de réduction de graphe (Voir figure 3.13).*

R_4 - Règle des combinaisons (split-join) valides Pour chaque nœud join, trouver le premier split S_0 commun à tous les chemins menant au nœud join considéré.

- Si le nœud courant est de type or-join, la combinaison split-join est valide si (selon l’activation transitions sortantes de S_0) une et une seule des transitions entrantes ($InTrans[]$) est activée. Sinon, il y a un conflit de manque de synchronisation (voir figure 3.13).
- Si le nœud courant est de type and-join, la combinaison split-join est valide si (selon l’activation transitions sortantes de S_0) toutes les transitions entrantes ($InTrans[]$) sont activées. Sinon, il y a un conflit d’impasse (voir figure 3.13).

L'application de la règle R_4 sur le processus représenté sur la figure 3.13 est résumée dans le tableau suivant (Tableau 3.III).

En observant le tableau 3.III, on se rend compte que pour vérifier l'exactitude d'un nœud join, on s'intéresse aux nœuds split (entre le split S_0 et le nœud join courant) qui apparaissent dans au moins deux chemins menant au nœud join courant. Par exemple : la correction du nœud "Personality" dépend du nœud " C_1 ". La correction du nœud " C_5 " dépend du nœud " C_2 ".

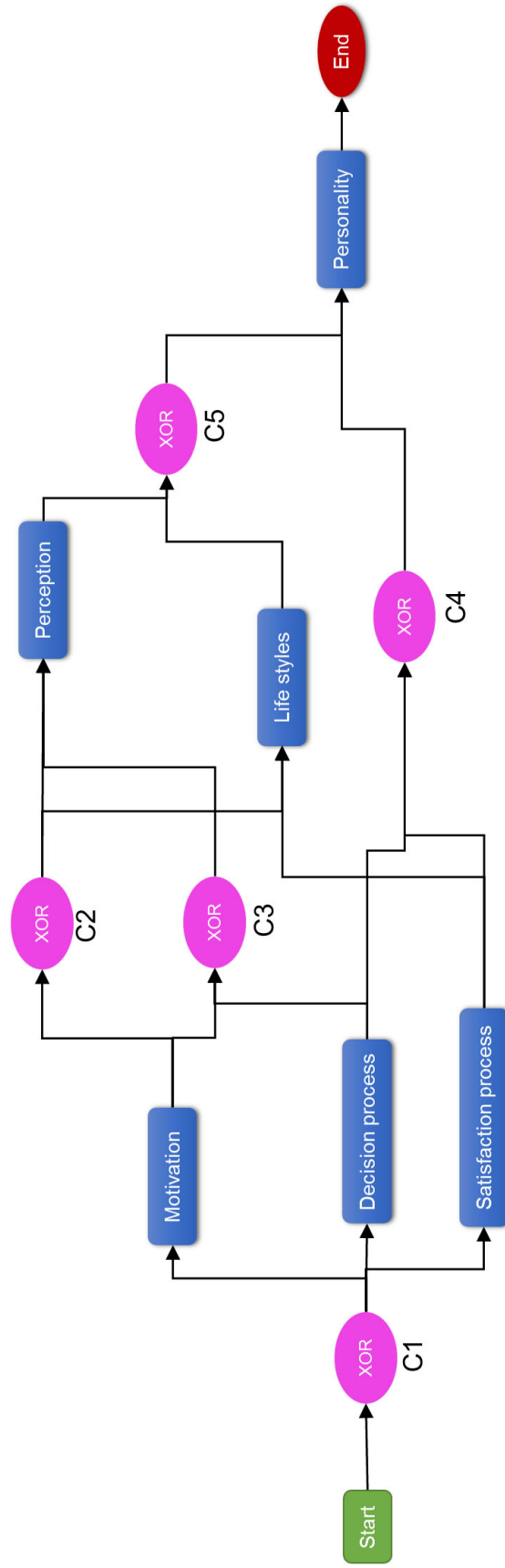


Figure 3.13 – Exemple d'un graphe split-join.

Tableau 3.III – Application de la règle R_4

Nœud Join (type)	Split (type)	S_0	Chemins de parcours	Observation	Conclusion
C_4 (XOR)	C_1 (XOR)		$C_1 \rightarrow$ Decision Process $\rightarrow C_4$	Un seul flux entrant est activé	C_4 est un nœud join correct
			$C_1 \rightarrow$ Satisfaction Process $\rightarrow C_4$		
Life Styles (And)	C_1 (XOR)		$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_2 \rightarrow$ Life Styles	Un seul flux entrant est activé	Life Styles est un nœud join incorrect (Impasse)
			$C_1 \rightarrow$ Satisfaction Process \rightarrow Life Styles		
C_3 (XOR)	C_1 (XOR)		$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_3$	Un seul flux entrant est activé	C_3 est un nœud join correct
			$C_1 \rightarrow$ Decision Process $\rightarrow C_3$		
Perception (And)	C_1 (XOR)		$C_1 \rightarrow$ Decision Process $\rightarrow C_3 \rightarrow$ Perception	Possibilité d'avoir un flux entrant activé	Possibilité d'avoir un conflit structurel d'impasse
			$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_2 \rightarrow$ Perception		
			$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_3 \rightarrow$ Perception		
C_5 (XOR)	C_1 (XOR)		$C_1 \rightarrow$ Satisfaction Process \rightarrow Life Styles $\rightarrow C_5$	Possibilité d'avoir deux flux entrants activés.	Possibilité d'avoir un conflit structurel de manque de synchronisation
			$C_1 \rightarrow$ Decision Process $\rightarrow C_3 \rightarrow$ Perception $\rightarrow C_5$		
			$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_2 \rightarrow$ Perception $\rightarrow C_5$		
			$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_3 \rightarrow$ Perception $\rightarrow C_5$		
			$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_2 \rightarrow$ Life Styles $\rightarrow C_5$		
Personality (And)	C_1 (XOR)		$C_1 \rightarrow$ Satisfaction Process $\rightarrow C_4 \rightarrow$ Personality	Possibilité d'avoir un seul flux entrant activé	Possibilité d'avoir un conflit structurel d'impasse
			$C_1 \rightarrow$ Satisfaction Process \rightarrow Life Styles $\rightarrow C_5 \rightarrow$ Personality		
			$C_1 \rightarrow$ Decision Process $\rightarrow C_4 \rightarrow$ Personality		
			$C_1 \rightarrow$ Decision Process $\rightarrow C_3 \rightarrow$ Perception $\rightarrow C_5 \rightarrow$ Personality		
			$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_2 \rightarrow$ Perception $\rightarrow C_5 \rightarrow$ Personality		
			$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_3 \rightarrow$ Perception $\rightarrow C_5 \rightarrow$ Personality		
			$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_2 \rightarrow$ Life Styles $\rightarrow C_5 \rightarrow$ Personality		
$C_1 \rightarrow$ Motivation $\rightarrow C_3 \rightarrow$ Perception $\rightarrow C_5 \rightarrow$ Personality					

Les règles de réduction sont appliquées en visitant tous les nœuds du graphe et en vérifiant si une règle de réduction peut être appliquée. La complexité de l'algorithme dans le pire des cas (le cas où le graphe est complètement réductible par les règles de réduction) est $O((size(G))^2)$ où $size(G) = |N| + |F|$ représente le nombre de nœuds et de transition dans le modèle de processus [90]. La complexité en moyenne est beaucoup plus faible que $O((size(G))^2)$, car les premières itérations réduisent radicalement la taille du graphe.

Dans le cas où le graphe n'est pas réductible (graphe split-join), la règle R_4 doit être appliquée pour vérifier que tous les nœuds join sont corrects (sans conflit). Dans ce cas, nous serions obligés de traverser tout le graphe. Au final, dans le pire des cas, réduction $O(|K|^2) +$ traversée $O(|F'|^2)$ donne un algorithme en $O(|K|^2 + |F'|^2)$ où $|K|$ est le nombre de nœuds et de transition réductibles et $|F'|$ est le nombre de transitions dans le nouveau graphe (voir [90] pour plus de détail).

Un modèle de processus complètement valide est sans défauts structurels, cependant la réciproque est fautive. Si les conflits structurels représentent la source primaire d'erreurs dans les spécifications de processus, ils ne sont pas les seuls types d'erreurs possibles. En effet, le contexte d'exécution du processus peut également affecter l'exécution correcte du modèle de processus (par exemple, non respect de contraintes d'autorisation, non respect de contraintes temporelles, défaut de modélisation de flux de données (*data flow*), etc.). L'existence d'erreurs contextuelles dans un modèle de processus n'introduit pas et ne supprime pas des conflits structurels.

La validation contextuelle d'un modèle de processus consiste à vérifier la conformité du contexte du processus selon deux niveaux [10] :

1. la *conformité du modèle par rapport aux besoins* : (dite également validation à *priori* ou validation pré-exécution) vérifie si le modèle exprime correctement les intentions du concepteur, si le modèle respecte les contraintes et si le modèle capture avec précision le processus physique (réel) qu'il essaie de représenter.
2. la *conformité de l'exécution par rapport au modèle* : (dite également validation à

posteriori ou validation post-exécution) vérifie si le comportement du processus à l'exécution est conforme avec le modèle. Tout test appliqué à l'exécution dépend de cette validation .

La validation contextuelle de modèles de processus permet de vérifier l'absence de problèmes liés au contexte d'exécution (les informations pouvant circuler sur ses flux de contrôle, les différents scénarios de son exécution, les différents comportements réactifs propres à tout scénario de son exécution). Si la validation structurelle de modèle de processus est assez bien formalisée, la validation contextuelle demeure moins formalisée du fait que le contexte de processus est un concept assez riche et difficile à délimiter dans le cas général. Par conséquent, notre système (voir Chapitre 4) n'implémente que la vérification structurelle à travers son système de modélisation des processus d'affaires (voir 4.1).

Les première et deuxième étapes de AM2O sont importantes car elles assurent une gestion responsable du programme de formation et servent de base pour la réussite des étapes 3.3 et 3.4 qui suivent.

3.3 Monitoring (*Supervision*)

La supervision englobe le suivi des processus individuels, tels que des informations sur leur statut, et les statistiques sur la performance d'un ou plusieurs processus. Le degré de surveillance dépend de l'information que l'entreprise veut évaluer et analyser, et comment l'entreprise souhaite qu'elle soit suivie (*en temps réel, en temps quasi réel ou ad-hoc*). Cette tâche de suivi est réalisée par des outils de supervision des activités d'affaires (Business Activity Monitoring - BAM).

Cette étape de notre modèle consiste à contrôler la progression des processus. Un contrôle basé sur des indicateurs précis et pertinents afin d'avoir des tableaux de bord permettant de prendre rapidement les bonnes décisions quant à l'évolution du programme de formation. Selon Bach [5], le tableau de bord de la formation doit porter sur deux grandes dimensions : l'efficacité et l'efficacités. Le processus de formation est dit efficace s'il donne le maximum de résultats en consommant le minimum de ressources et il est dit

efficace s'il donne les résultats escomptés.

Le tableau de bord de l'efficience de la formation sera composé d'indicateurs de consommation de ressources et d'activités de production permettant de mesurer l'efficience de chacune des étapes du processus, ainsi que l'efficience générale du projet de formation. Les indicateurs suivants permettent de construire le tableau de bord de l'efficience d'un programme de formation : *temps consacré à l'identification et à l'analyse des besoins (temps combiné de l'employé, son supérieur et du directeur (manager) de la formation), utilité perçue de la formation/temps consacré, écart entre ce que les employés maîtrisent et ce qu'ils ont à maîtriser, niveau de formation adéquat pour réduire ou annuler l'écart (débutant, intermédiaire, avancé), mode de formation (externe, interne, coaching, e-learning, tutorat, etc.), temps de conception et d'élaboration du programme, etc.* Ces indicateurs peuvent être analysés par sexe, ancienneté, statut social, type de formation, ou unité opérationnelle (service, département, magasin, etc). Le tableau de bord de l'efficience se concentre soit sur l'efficience d'une formation, ou sur l'efficience globale du système de formation. Sa structure comprend le modèle d'évaluation de la formation et contient plus d'indicateurs que le tableau de bord de l'efficacité.

L'activité de supervision offre la possibilité de vérifier en temps réel l'exécution des tâches des processus. Les écarts observés entre les objectifs initiaux et les mesures sont traduits en demande de changements et d'amélioration pour réduire ces écarts. Elle identifie et enregistre également les incidents survenant durant l'exécution du processus. La supervision des processus d'affaires comporte diverses activités :

- L'insertion de sondes (points de repère) dans les processus d'affaires aux endroits indiqués sur les modèles de processus d'affaires.
- La mesure prélève les valeurs des différentes sondes. Elle produit éventuellement un tableau de bord sur lequel figure l'évolution des mesures dans le temps.
- La vérification des écarts entre les mesures réalisées et les objectifs fixés par les valeurs initiales des différents indicateurs. Cette vérification conduit éventuellement à introduire de nouvelles demandes de changements.

- La production de rapports comportant les mesures et les écarts transmis aux parties prenantes.

Le défi principal de la conception des tableaux de bord se résume dans la nécessité d'introduire une quantité importante d'informations dans un espace de présentation restreint en gardant l'efficacité du tableau de bord. Toutes informations présentes doivent être utiles aux parties prenantes. L'efficacité d'un tableau de bord se recherche en se concentrant sur son objectif principal : la communication. Il est nécessaire que les utilisateurs des tableaux de bord puissent comprendre rapidement les informations clairement présentées en toute simplicité. La durée de vie de tableau de bord conçu comme un assemblage de composants graphiques attrayants sans considération de l'importance du message à communiquer est généralement faible. Le tableau de bord est utile s'il renforce l'aide à la prise de décision sur le travail quotidien [16].

Cette étape de monitoring nous permet de calculer les avantages tangibles et intangibles de la formation (sans coûts additionnels) en utilisant les valeurs des indicateurs. Pour cela, nous comparons les valeurs des indicateurs avant et après la formation. Le calcul du rendement financier de la formation se fait selon le processus illustré par la figure 3.14.

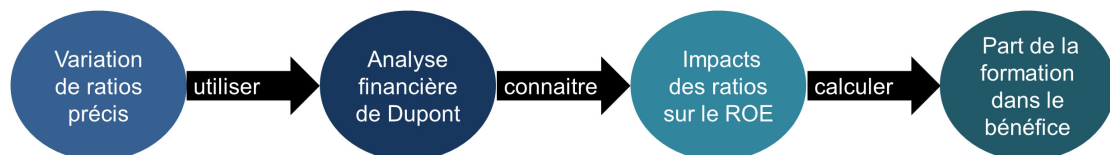


Figure 3.14 – Procédure de calcul du rendement de l'investissement en formation

Lorsqu'on décide de calculer le rendement financier de l'investissement en formation, on détermine l'écart entre les valeurs antérieures et courantes des indicateurs quantitatifs (ratios). En outre, les avantages intangibles peuvent être convertis en facteurs tangibles avec une bonne compréhension du bénéfice. Exemple : l'amélioration du moral des employés (intangibles) peut être convertie comme suit : *l'amélioration du moral des employés peut augmenter la rétention des employés, ce qui peut sauvegarder des coûts de recrutement et de formation des nouveaux employés. Basé sur la rotation des employés*

de l'année dernière, le département des ressources humaines peut fournir des chiffres concrets comme "Réduire le roulement des employés de 5% et économiser 5000\$ en coûts de recrutement des nouveaux".

En utilisant le modèle de DuPont (voir équation 3.4), on estime l'impact de la variation des indicateurs sur le rendement des fonds propres (donc sur le bénéfice net). Cette démarche permet de calculer la part de l'investissement en formation dans le bénéfice global de l'entreprise. En effet, comme nous l'avons dit plus haut, l'analyse de DuPont décompose le ROE (Return on Equity) en trois termes distincts :

- Le premier terme correspond à la **marge bénéficiaire et mesure la profitabilité** de l'entreprise. *Combien votre entreprise gagne-t-elle vraiment sur 1\$ de ventes ?*
- Le second terme calcule le **taux de rotation des actifs**. Il mesure la capacité de l'entreprise à transformer son actif économique en chiffres d'affaires. En somme, la capacité de l'entreprise à utiliser ses actifs de manière efficace.
- Le troisième terme correspond à l'**effet de levier financier**. L'effet de levier est estimé à l'aide du multiplicateur des fonds propres. Plus ce multiplicateur est élevé, plus le taux d'endettement est élevé.

Ces trois (3) ratios sont la base d'un diagnostic rapide. Ils permettent ainsi d'évaluer rapidement la profitabilité, l'effet de levier et l'efficacité d'utilisation des actifs. Ainsi, vous pouvez déterminer des axes d'amélioration. Par exemple, *un taux de rotation des actifs anormalement élevé ou bas, qui s'est détérioré par rapport à l'an passé pousse à regarder en détail le taux de rotation des stocks ou le délai de paiement des clients.*

Généralement, les indicateurs associés aux objectifs de formation en entreprise peuvent influencer les ratios de la marge bénéficiaire et/ou la rotation des actifs (augmentation des ventes, augmentation de la production, etc. . .). Ainsi la procédure présentée dans la figure 3.14 résume les étapes qui permettent d'isoler le rendement de la formation dans le bénéfice global de l'entreprise.

3.4 Optimisation

L'optimisation des processus d'affaires engendre une amélioration de la productivité et de la qualité des produits et services offerts aux clients. Dans cette étape de notre modèle, nous utilisons des algorithmes d'apprentissage machine pour :

1. *Classer* les projets de formation selon l'atteinte ou non de leur objectif (rentable ou non rentable) ;
2. *Prédire* la valeur de certains indicateurs ;
3. *Simuler* des situations pouvant mener à l'atteinte des objectifs du programme de formation.

Pour cela nous utilisons des algorithmes d'apprentissage supervisés : *régression logistique* et *réseau de neurones*. En outre, selon la quantité d'information dont nous disposons, nous utilisons la méthode d'apprentissage semi-supervisé basée sur le *co-training* (un célèbre paradigme d'apprentissage semi-supervisé [25, 44, 98]). Le but de l'apprentissage semi-supervisé est de comprendre comment la combinaison de données étiquetées et non-étiquetées peut modifier le comportement de l'apprentissage.

Cette étape, de AM2O, a besoin d'un ensemble de données (dataset). Comme les informations collectées lors des étapes du processus d'évaluation de la formation ne peuvent pas être directement utilisées par un algorithme d'apprentissage, nous réalisons un pré-traitement sur les valeurs des indicateurs afin d'avoir un ensemble de données D_n . Ce ensemble de données sera augmenté au fil des évaluations et des projets de formation.

$$D_n = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$$
$$\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, Z_i = (x^{(i)}, t^{(i)}) \text{ avec } x^{(i)} \in \mathbb{R}^d \text{ et } t^{(i)} \in \{0, 1\}$$

Chaque Z_i est associé à un programme de formation particulier dans l'entreprise. Les $x^{(i)}$ représentent les indicateurs liés à la formation. Ainsi, nous pouvons avoir des indicateurs qui prennent des valeurs numériques (par exemple, *nombre de réunions du comité*) et d'autres qui prennent des valeurs qualitatives (par exemple, *climat de travail*). Les $t^{(i)}$

représentent la classe de formation (*rentable ou non*) : rentable correspond à 1 et son opposé à 0. Le nombre de programmes de formation est **n** et le nombre d'indicateurs est **d**.

Il est évident qu'avant d'utiliser cet ensemble de données avec un algorithme d'apprentissage, il est nécessaire de faire un prétraitement pour normaliser ou standardiser, rendre discret ou encoder les entrées $x^{(i)}$.

Normaliser les entrées consiste à ramener toutes les valeurs des indicateurs dans l'intervalle [0,1], de façon linéaire, en faisant correspondre le minimum à 0 et le maximum à 1.

$$\tilde{x} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.6)$$

Standardiser les entrées consiste à soustraire à tous les éléments la moyenne (\bar{x}) du jeu de donnée et à diviser par l'écart type (σ).

$$\tilde{x} = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \text{ avec } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \text{ et } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.7)$$

Discrétiser les entrées consiste à ajouter un bit qui permet de donner des informations sur la qualité de la valeur de l'indicateur (par exemple si la valeur de l'indicateur est supérieure à un seuil fixé par l'entreprise ou par un expert humain, on met le bit à 1 sinon on le met à 0).

Encoder les entrées consiste à utiliser le codage *one-hot* sur les indicateurs qui prennent des valeurs qualitatives. Ainsi, un indicateur qui peut prendre par exemple (*très satisfait, satisfait, insatisfait* ou *très insatisfait*) sera encodé (0, 1, 0, 0) si sa valeur courante est *satisfait*.

Dans notre approche, l'objectif ultime de la classification est d'être capable de prédire l'atteinte ou non des objectifs de formation en observant le comportement des indicateurs. Par ailleurs, nous devons être capables de déterminer les indicateurs qui ont plus

de poids dans la réalisation des objectifs de formation. C'est pourquoi nous utilisons des méthodes paramétriques comme la régression logistique ou les réseaux de neurones (figure 3.15). Comme les indicateurs sont directement reliés aux objectifs de l'entreprise, leurs valeurs permettra de prendre des décisions allant dans le sens de la réussite du programme de formation.

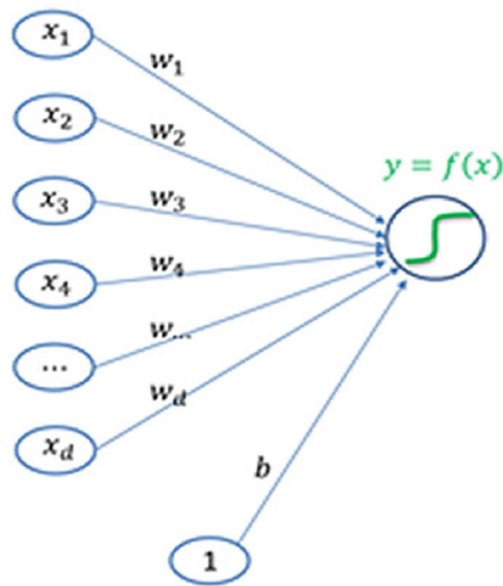


Figure 3.15 – Algorithme d'apprentissage machine pour la classification paramétrique et les simulations

Sur la figure 3.15, $w^{(i)}$ est le poids associé à l'indicateur $x^{(i)}$ et b est le biais associé à la collecte d'informations. Le succès (ou non) du programme de formation dépend des indicateurs $x^{(i)}$ et des paramètres cachés $w^{(i)}$ et b . En utilisant, par exemple, la régression logistique (l'un des modèles d'analyse multivariée les plus couramment utilisés [26, 30]), l'objectif consiste à estimer la probabilité conditionnelle :

$$y \cong P(t = 1|x) \text{ avec } y \in [0, 1]; t \in \{0, 1\} \text{ et } x \in \mathbb{R}^d \quad (3.8)$$

On obtient,

$$y = f_{\theta}(x) = f_{w,b}(x) = \text{sigmoid}(\langle w, x \rangle + b) = \frac{1}{1 + e^{-(\langle w, x \rangle + b)}} \quad (3.9)$$

avec $y \in [0, 1], x \in \mathbb{R}^d, w \in \mathbb{R}^d$ et $b \in \mathbb{R}$

Pour trouver la fonction $f_{w,b}(x)$, nous devons chercher les valeurs optimales des paramètres (w, b) qui minimisent le risque empirique (par un algorithme de *descente de gradient*³).

$$\theta^* = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} \widehat{R}(f_{\theta}, D_n) = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}(f_{\theta}(x^{(i)}), t^{(i)}) \quad (3.10)$$

$\theta = (w, b)$, $w \in \mathbb{R}^d$ et $b \in \mathbb{R}$

Pour la régression logistique :

$$\mathcal{L}(f_{\theta}(x), t) = t \ln(f_{\theta}(x)) + (1 - t) \ln(1 - f_{\theta}(x)) \quad (3.11)$$

L'optimisation consiste en une simulation permettant l'orientation du processus de formation vers l'atteinte des objectifs. Pour ce faire, nous utilisons des méthodes d'apprentissage semi-supervisé basé sur le co-training.

Pour mieux comprendre le processus de simulation, considérons les données du tableau 3.IV, générées aléatoirement à partir d'Excel, illustrant un ensemble d'information (indicateurs) collecté sur les employés (participant aux programmes de formations). Notons que dans le tableau 3.IV il manque certaines données correspondant aux employés pour lesquels la prochaine collecte (indicateur) n'a pas été faite. De même, il faut remarquer que l'indicateur 2 (ind2 dans le tableau) est un vecteur à trois colonnes résultant de l'encodage one-hot de la valeur (données qualitatives) du dit indicateur.

³Algorithme d'optimisation dont le principe est de partir d'un point aléatoire puis de se déplacer dans la direction de la plus forte pente. En appliquant un certain nombre d'itérations, l'algorithme converge vers une solution qui est un minimum local de f

Tableau 3.IV – Illustration des données collectées sur les employés participants aux programmes de formation (les données de ce tableau sont générées aléatoirement à partir d’Excel)

	Ind1	Ind2			Ind3	Ind4	Ind5	Ind6	Ind7
Emp1	42	0	1	0	57	41	36	13	38
Emp2	14	0	1	0	66	47	80	66	67
Emp3	79	1	0	0	46	21	38	78	?
Emp4	26	0	1	0	62	12	37	73	23
Emp5	61	1	0	0	31	22	75	63	?
Emp6	44	0	1	0	32	9	32	64	?
Emp7	68	0	1	0	48	14	29	58	7
Emp8	45	1	0	0	47	46	48	30	?
Emp9	73	1	0	0	56	53	47	31	?
Emp10	72	1	0	0	38	40	75	49	19
Emp11	49	0	1	0	19	52	65	12	28
Emp12	68	0	1	0	8	54	10	28	27
Emp13	61	0	1	0	20	21	11	81	?
Emp14	36	1	0	0	67	38	50	22	51
Emp15	43	1	0	0	85	49	61	84	?
Emp16	48	0	1	0	15	48	70	80	41

Dans ce tableau, **Emp** correspond à un employé et **ind** correspond à un indicateur

Le premier objectif de la simulation est de prédire la tendance des données manquantes. Pour cela nous utilisons du co-apprentissage. Cela consiste à utiliser les données complétées (étiquetées ou labélisées) avec les données manquantes pour trouver à la fois les paramètres cachés de l’algorithme d’apprentissage (pour la régression logistique les poids w et le biais b) et les cibles des données manquantes (la tendance des prochaines collectes).

Pour mener à bien cette opération de prédiction, nous appliquons un prétraitement aux données collectées. Ainsi en plus de l’encodage one-hot, nous standardisons toutes les entrées sauf celles qui sont en one-hot et les valeurs des indicateurs cibles (exemple indicateur 7 dans le tableau 3.V). Les valeurs des indicateurs cibles vont être discrétisées (en utilisant un seuil de classification défini par un expert) et nous les considérons comme cibles. Dans le tableau 3.IV, la cible est l’indicateur 7 (ind7). Par exemple si cet indicateur représente le nombre d’articles fabriqué par employé et que le seuil de classification

est 34, le résultat du prétraitement sera comme illustrer dans le tableau 3.V.

Tableau 3.V – Illustration des données issues du prétraitement par utilisation de la formule de standardisation et de la discrétisation des données cibles.

	Ind1	Ind2			Ind3	Ind4	Ind5	Ind6	Ind7
Emp1	-0.5408	0	1	0	0.62009	0.34595	-0.5355	-1.5263	1
Emp2	-2.0839	0	1	0	1.03541	0.71911	1.46966	0.54789	1
Emp3	1.49837	1	0	0	0.11248	-0.8979	-0.4443	1.01751	?
Emp4	-1.4226	0	1	0	0.85082	-1.4577	-0.4899	0.82184	0
Emp5	0.50635	1	0	0	-0.5797	-0.8357	1.2418	0.43049	?
Emp6	-0.4306	0	1	0	-0.5336	-1.6442	-0.7177	0.46962	?
Emp7	0.89214	0	1	0	0.20477	-1.3333	-0.8545	0.23481	0
Emp8	-0.3755	1	0	0	0.15863	0.65692	0.01139	-0.861	?
Emp9	1.1677	1	0	0	0.57395	1.09227	-0.0342	-0.8218	?
Emp10	1.11259	1	0	0	-0.2567	0.28376	1.2418	-0.1174	0
Emp11	-0.155	0	1	0	-1.1335	1.03008	0.7861	-1.5654	0
Emp12	0.89214	0	1	0	-1.6411	1.15447	-1.7203	-0.9392	0
Emp13	0.50635	0	1	0	-1.0873	-0.8979	-1.6747	1.13492	?
Emp14	-0.8715	1	0	0	1.08156	0.15937	0.10253	-1.1741	1
Emp15	-0.4857	1	0	0	1.91219	0.8435	0.60381	1.25232	?
Emp16	-0.2101	0	1	0	-1.3181	0.78131	1.01395	1.09578	1

Le processus de simulation se résume par le pseudocode suivant :

```

ENTRÉES: ensemble  $D_p$  des données labélisées, ensemble  $D_q$  des données non labélisées.
%%  $\theta = (w, b)$ 
FIN_SIMULATION  $\leftarrow$  false
VECTEUR_CLASSE  $\leftarrow$  vecteur de "?"
tantque !FIN_SIMULATION faire
     $\theta^* \leftarrow$  DESCENTE_GRADIENT( $D_p, \theta$ ).
    NOUVELLE_VECTEUR_CLASSE  $\leftarrow$  CLASSIFICATION( $D_q, \theta^*$ ).
    si (VECTEUR_CLASSE==NOUVELLE_VECTEUR_CLASSE) alors
        FIN_SIMULATION  $\leftarrow$  true
    sinon
        Ajouter les données nouvellement labélisées à  $D_p$ 
        Mise à jour de VECTEUR_CLASSE et de  $D_q$ 
        VECTEUR_CLASSE  $\leftarrow$  NOUVELLE_VECTEUR_CLASSE
         $\theta \leftarrow \theta^*$ 
    finsi
fin tantque
SORTIES: les paramètres  $w$  et  $b$ , les classes des données non labélisées
%% les classes représentent la tendance des prochaines données à collecter.

```

Le calcul des paramètres optimaux se fait avec une technique de descente de gradient. Le processus s'arrête lorsque la valeur des cibles ne change plus (après deux ou trois itérations consécutives). Pendant le processus de simulation, à chaque fois que la valeur d'une cible est trouvée (pas de changement après deux itérations) elle est rajoutée à l'ensemble d'entraînement qui permet de trouver les paramètres w et b tout en initialisant ces derniers avec leurs dernières valeurs optimales. Ainsi en plus des paramètres cachés de l'algorithme d'apprentissage, la simulation prédit la tendance des prochaines collectes. *Le deuxième objectif* de la simulation est de permettre à un utilisateur autorisé de pouvoir rentrer des valeurs dans le système et de voir le comportement de certains indicateurs cibles.

En définitive, les étapes de supervision (voir section 3.3) et d'optimisation permettent : d'améliorer l'efficacité personnelle, d'accélérer le processus de prise de décision, d'accélérer la résolution des problèmes dans l'organisation, de promouvoir l'apprentissage, de créer un avantage concurrentiel et d'aider à automatiser les processus de gestion.

3.5 Synthèse

Les entreprises vivent des changements technologiques à un rythme fulgurant en plus de devoir composer avec la mondialisation des marchés. Ces changements les poussent à modifier leur culture si elles veulent rester compétitives. La majorité des entreprises a aujourd'hui compris les avantages de la formation, et plusieurs d'entre elles y investissent temps et moyen financier.

Pour s'assurer d'investir et non de juste dépenser des ressources financières, il est primordial d'avoir des outils permettant de cerner tous les aspects du projet de formation. Dans ce chapitre nous avons présenté notre modèle de gestion des programmes de formation en entreprise : AM20 - Analyse, Modélisation, Monitoring, Optimisation.

AM20 répond aux difficultés que rencontrent les entreprises dans l'isolement des effets de la formation dans les résultats. Notre modèle est séparé en quatre étapes à savoir : l'analyse, la modélisation, le monitoring et l'optimisation.

L'analyse de la demande de formation nécessite un nombre donné d'actions telles que :

consultations pour explorer la demande, définition d'un plan de changement, analyse des besoins, définition des objectifs, et définition des indicateurs de performance. Cette étape permet de répondre à plusieurs questions telles que : *Pourquoi vouloir former les employés ? Quels sont les besoins qui ont été identifiés ? Quelles sont les attentes ? Comment la réalisation des objectifs sera-t-elle évaluée ? ...* Elle fournit les modèles de processus, les informations nécessaires à la configuration de ces modèles, et les valeurs initiales des indicateurs. Elle assure l'alignement du programme de formation avec la stratégie de croissance de l'entreprise.

L'étape de modélisation permet de modéliser un processus d'affaires en utilisant des objets graphiques développés par Workflow Management Coalition. Pour la gestion de projets de formation, il existe au moins deux modèles de processus : le modèle de processus lié à la planification de la formation (curriculum) et le modèle de processus lié aux étapes de la collecte de données et de l'évaluation du rendement de la formation. La planification de la formation est une représentation graphique de l'organisation de la formation (plan du cours). Le modèle de processus lié à l'évaluation fixe les périodes de collecte d'information afin de procéder à des évaluations et/ou des simulations conduisant à prédire la tendance des résultats. Ces dernières informations permettront de prendre des décisions menant à la réussite du programme de formation. Nous associons à ces graphiques : les acteurs de chaque étape et leurs rôles, la description des données entrants et sortants, l'aspect temporel et les indicateurs de performance liés à la conduite de la formation.

L'étape de monitoring consiste à contrôler la progression des processus. Un contrôle basé sur des indicateurs précis et pertinents afin d'avoir des tableaux de bord permettant de prendre rapidement les bonnes décisions quant à l'évolution du programme de formation. Lorsqu'on décide de calculer le rendement financier de l'investissement en formation, on détermine l'écart entre les valeurs antérieures et courantes des indicateurs quantitatifs (ratios). En outre, les avantages intangibles peuvent être convertis en facteurs tangibles avec une bonne compréhension du bénéfice.

L'étape d'optimisation permet de faire des simulations permettant de prédire la réussite ou non d'un programme de formation. Elle permet aussi de comprendre pourquoi un

programme réussi par rapport un autre. Pour cela, nous utilisons des algorithmes d'apprentissage supervisé et semi-supervisé.

Le modèle AM2O est doté d'un système informatique qui facilite son utilisation à partir de l'étape 2 (modélisation). AM2O et son système informatique ETREOSys permettent de répondre aux problèmes soulevés par les entreprises à travers divers enquêtes (ASTD, Formaeva, . . .). Dans le chapitre 4, nous présentons notre système de gestion des programmes de formation en entreprise.

CHAPITRE 4

NOTRE SYSTÈME : ENTERPRISE TRAINING PROGRAMS EVALUATION AND OPTIMIZATION SYSTEM - ETREOSYS

Pour faciliter la compréhension et l'utilisation du modèle AM2O, nous développons un système informatique nommé **ETREOSys** (Enterprise **T**Training program **E**valuation and **O**ptimization System) pour :

- Aider à la gestion des projets de formation dans l'entreprise et l'alignement entre les activités de formation et les besoins opérationnels ;
- Modéliser, valider et configurer des processus de formation ;
- Exécuter et superviser des projets de formation ;
- Aider au calcul des bénéfices tangibles et intangibles de la formation ;
- Classifier des programmes de formation ;
- Optimiser le rendement de la formation.

La figure 4.1 montre l'architecture simplifiée de ETREOSys. Elle présente les principaux modules qui implémentent les étapes de notre modèle de gestion des programmes de formation en entreprise (AM2O).

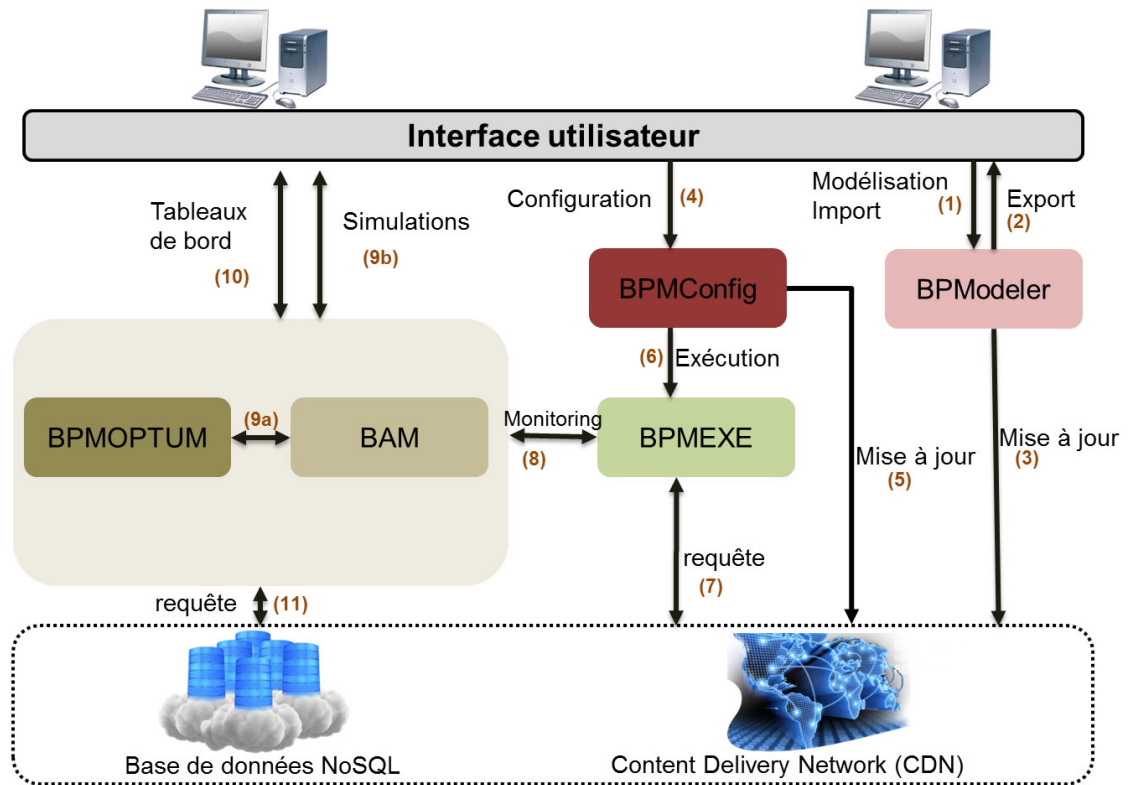


Figure 4.1 – Architecture de notre système de gestion des processus de formation en entreprise

Le fonctionnement de notre système est illustré par le diagramme suivant (figure 4.2). ETREOSys est une plateforme Web sécurisée permettant la collaboration et la mobilité dans la gestion des programmes de formation en entreprise. Il résout le problème d'absence de système d'évaluation utile.

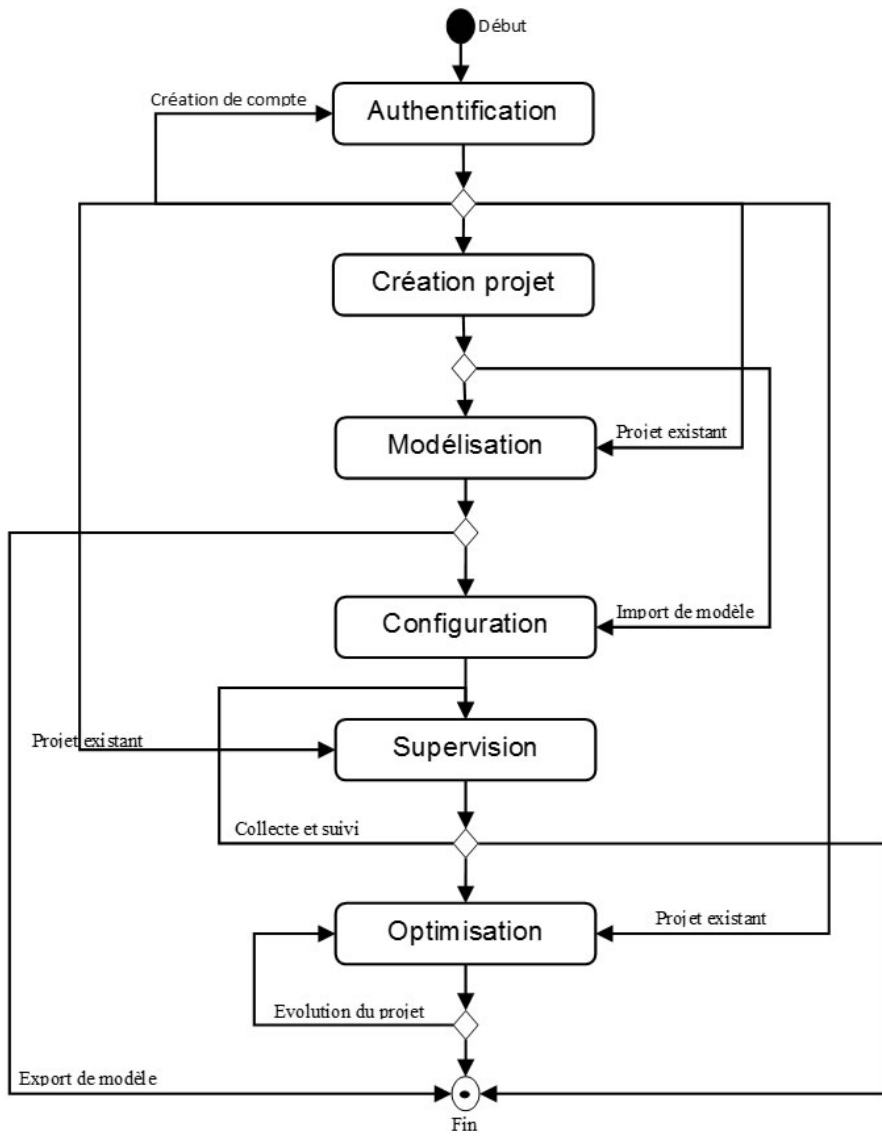


Figure 4.2 – Diagramme fonctionnel simplifié de ETREOSys

Tout utilisateur de ETREOSys doit s'authentifier (voir figure 4.3). Il doit également être associé à un profil spécifique défini par les droits d'accès qui lui sont attribués. Tout acteur doit être associé à une entreprise et à un (ou plusieurs) de formation.

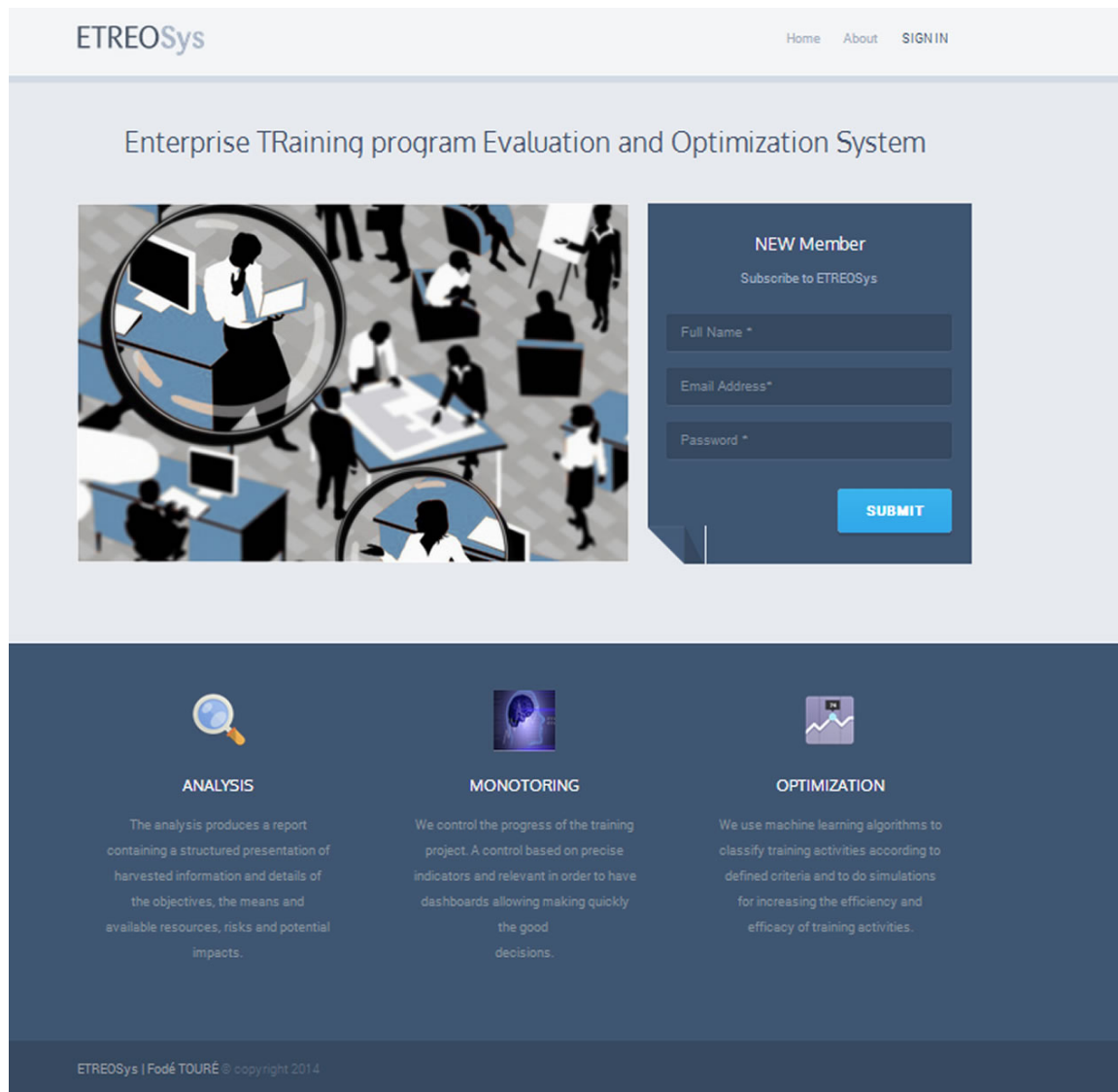


Figure 4.3 – Page d'accueil de ETREOSys

Le reste du diagramme fonctionnel de la plateforme ETREOSys est expliqué à travers les différents modules à savoir : le module de modélisation (BPMModeler), le module de configuration (BPMConfig), le module de monitoring (BAM) et le module d'optimisation (BPMOPTUM).

4.1 Module de modélisation

BPMModeler est le module qui implémente l'étape 2 de AM2O (voir 3.2). Il permet de dessiner des modèles de processus d'affaires provenant de l'analyse des besoins de formation (Voir Figure 4.4). Ainsi, il donne la possibilité de combiner plusieurs modèles de processus avec un projet de formation. Cela facilitera le suivi et la gestion de tous les aspects du projet de formation. BPMModeler peut être utilisé comme un plug-in pour étendre des BPMS (*Business Process Management System*) existants, en fournissant des modèles de processus dans des langages standards (*Business Process Model and Notation - BPMN*, *XML Process Definition Language - XPDL*, *Business Process Execution Language - BPEL ...*) ou pour la validation des modèles de processus issus de ces BPMS. Par conséquent, les modèles de processus utilisés dans ETREOSys peuvent être importés d'un autre BPMS (et validés), ou tout simplement modéliser à partir de BPMModeler.

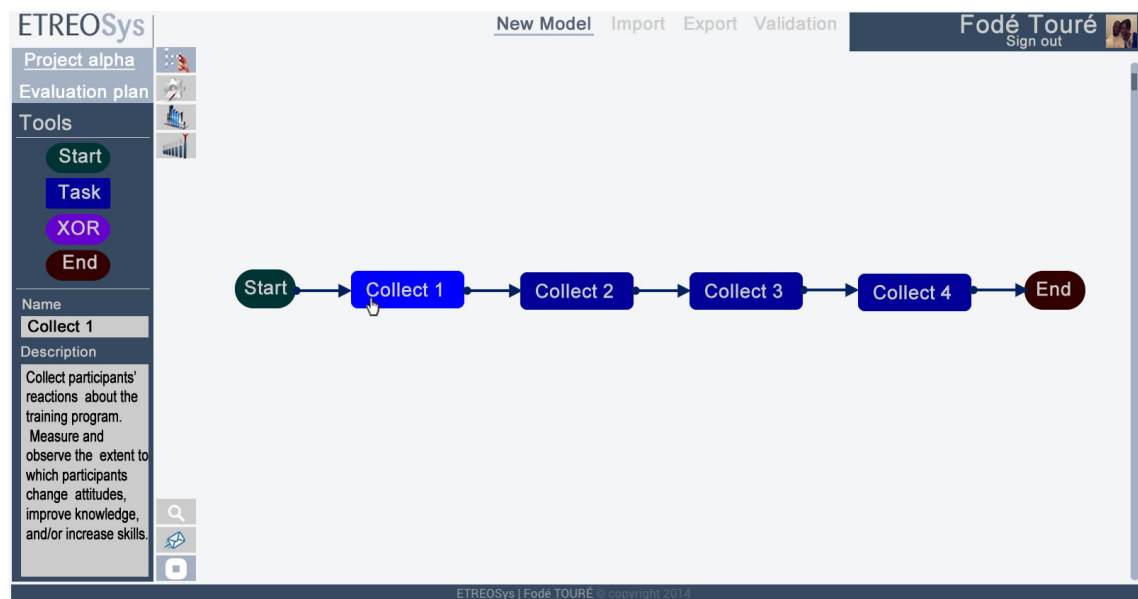


Figure 4.4 – Mock-up du module BPMModeler de ETREOSys [88]

Développé en HTML, JavaScript, CSS et PHP, le rôle de ce module est de transformer les modèles de processus issus de l'étape 1 (voir 3.1) de AM2O en graphe qui pourra être stocké dans un fichier XML ou en format JSON dans une base de données. Cela

facilitera le suivi et la conservation des données collectées avant, pendant et après le projet de formation. Chaque processus modélisé dans BPMModeler est associé à un projet de formation. Ce module permet aussi de valider la correction structurelle (voir 3.2) du modèle de processus avant la configuration.

4.2 Module de configuration

BPMConfig (figure 4.5) permet d’associer les rôles, les indicateurs et l’aspect temporel dans les modèles fournis par BPMModeler. Il permet également d’initialiser les valeurs des indicateurs en tenant compte de l’analyse de la situation actuelle de l’entreprise. Les données utilisées par ce module proviennent essentiellement de la phase 1 de AM2O (voir 3.1).

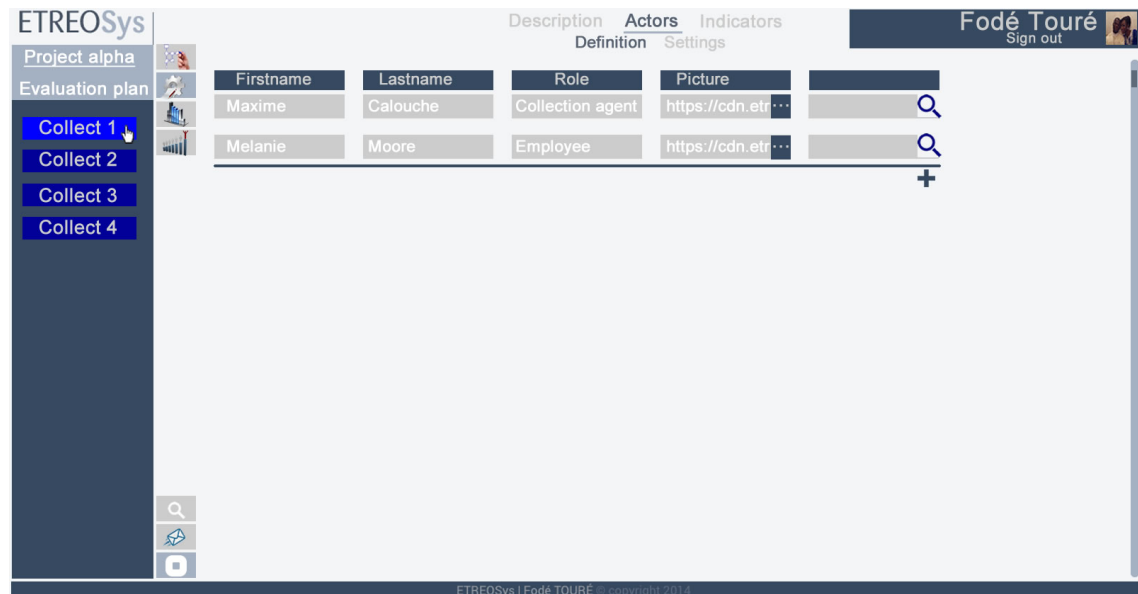


Figure 4.5 – Mock-up du module BPMConfig de ETREOSys [88]

En tenant compte des recommandations de l’étape 1 de AM2O (voir 3.1), ce module associe à chaque tâche : des acteurs et des indicateurs. La description de la tâche permet de définir les objectifs et les intervalles de temps qui permettent de déclencher (en utilisant Node.js) des actions spécifiques à la tâche. Pour les tâches liées à l’évaluation de la formation (collecte de données), une couleur unique est automatiquement attribuée

par BPMConfig. Cela permettra de se retrouver dans l'identification des informations collectées en relation avec cette tâche.

Chaque acteur associé à une tâche a un rôle et une image permettant de différencier visuellement plusieurs personnes. Selon le rapport issu de l'étape 1 (voir 3.1), plusieurs indicateurs peuvent être associés à une tâche. Ce module permet de les définir et de les configurer (*type, valeur initial, seuil de classification, ensemble de valeur possible,...*). Pour les tâches liées à l'évaluation de la formation, le module exige qu'on définisse un inducteur (ou plusieurs, mais un de préférence). Cette notion est un emprunt à la méthode ABC¹ (*Activity Based Costing*). Dans la méthode ABC, l'inducteur est ce qui cause l'effet, il traduit une causalité dans la consommation des ressources. Nous citons, à titre d'exemple, quelques inducteurs : nombre de composants, nombre de clients, heure de main d'œuvre, ... En fait, l'inducteur est un indicateur spécial. Dans le cas des tâches du processus d'évaluation de la formation, l'inducteur est un indicateur qui informe sur le degré d'atteinte des objectifs de la tâche (pour chaque acteur suivant la formation). Cette information permet de simplifier le tableau de bord principal du module de monitoring.

4.3 Module de monitoring

BPMEXE est l'instance d'exécution du projet de formation. Il contrôle tous les modèles de processus associés à un programme de formation spécifique et veille à ce que tout se passe comme prévu (selon le rapport de l'analyse des besoins de formation, voir 3.1). Il informe, par voie de notification (en temps réel) ou par e-mail (mode asynchrone), les parties prenantes sur les délais et les actions à mener. Ce module gère également les droits d'accès, les vues, les données visibles et les opérations autorisées en fonction du type d'utilisateur.

BAM (figure 4.6) est la mise en œuvre de la phase 3 de AM2O (voir 3.3). C'est le ta-

¹ABC est une approche d'évaluation de coûts et de suivi des activités, qui consiste à tracer la consommation des ressources et des coûts produits. Les ressources sont affectées à des activités et les activités aux objets de coûts. Source : <http://www.cgma.org/Resources/Tools/essential-tools/Pages/activity-based-costing.aspx?TestCookiesEnabled=redirect>

bleau de bord qui permet d’avoir une vision globale ou spécialisée sur l’évolution d’un processus ou d’un groupe d’indicateurs. Il offre les moyens de comparer les valeurs actuelles des indicateurs aux valeurs précédentes. BAM offre des outils pour la collecte de données et la mesure de l’écart entre la situation actuelle et l’objectif visé.



Figure 4.6 – Mock-up du module BAM de ETREOSys [88]

Le module de monitoring est organisé sous forme de tableau de bord principal et spécifique. Le tableau de bord principal regroupe les visuels sur l’évolution du projet de formation pour l’ensemble des participants. Le tableau de bord spécifique rassemble les informations concernant un seul employé.

Grace à un système de notification temps réel (utilisant node.js/socket.io) et asynchrone (email), les acteurs sont informés sur l’évolution des tâches et des différentes actions à entreprendre au bon moment (en tenant compte du planning des actions fournit par l’étape 1 de AM2O et enregistrer dans ETREOSys à partir du module de configuration). Les données fournies par ce module et celles fournies par l’analyse financière de Du-Pont permettront de calculer le rendement financier et social de la formation. En outre, un nouveau calcul de la VAN permettra d’évaluer le rendement futur de la formation à partir de l’instant courant.

Les données collectées dans ce module sont aussi utilisées dans les simulations réalisées dans le module d'optimisation.

4.4 Module d'optimisation

BPMOPTUM (figure 4.7) est le module qui implémente l'étape 4 de AM2O (voir 3.4). Il permet de faire un diagnostic de l'état d'avancement d'un projet de formation en utilisant les valeurs des indicateurs. Avec suffisamment de données et à l'aide d'algorithmes (régression logistique, réseau de neurones et co-apprentissage) d'apprentissage machine, ce module est capable de prédire le succès ou l'échec d'un projet en cours d'exécution. Cette fonction permet de corriger les erreurs et permettre l'atteinte des objectifs.



Figure 4.7 – Mock-up du module BPMOPTUM de ETREOSys [88]

Ce module est un système intelligent qui prédit l'évolution du programme de formation au fur et à mesure que l'on collecte des données. Avec suffisamment de données, le processus de prédiction commence dès la première collecte d'information en milieu de travail après la formation. Sur la figure 4.7, ETREOSys prédit la valeur de l'inducteur de la collecte 4 pour Mélanie et Brandon et l'inducteur de la collecte 3 pour Alex.

Ce module utilise l'apprentissage semi-supervisé en combinant les valeurs des indica-

teurs déjà collectés et celles des indicateurs de la prochaine collection. Le processus exige bien sûr un prétraitement des valeurs des indicateurs. En général, il suffit de discrétiser ou d'encoder en utilisant le codage one-hot (voir 3.4).

La réalisation de ce module est facilitée par le fait que le langage node.js (voir la section 4.5) contient plusieurs modules qui implémentent des algorithmes d'apprentissage machine (*node-svm*, *kmeans-js*, *learningjs*, *machine_learning*, *neural_network*, *node-weka*, etc).

La figure 4.8 illustre le test en local de la bibliothèque d'algorithmes d'apprentissage machine pour node.js : *machine_learning*.

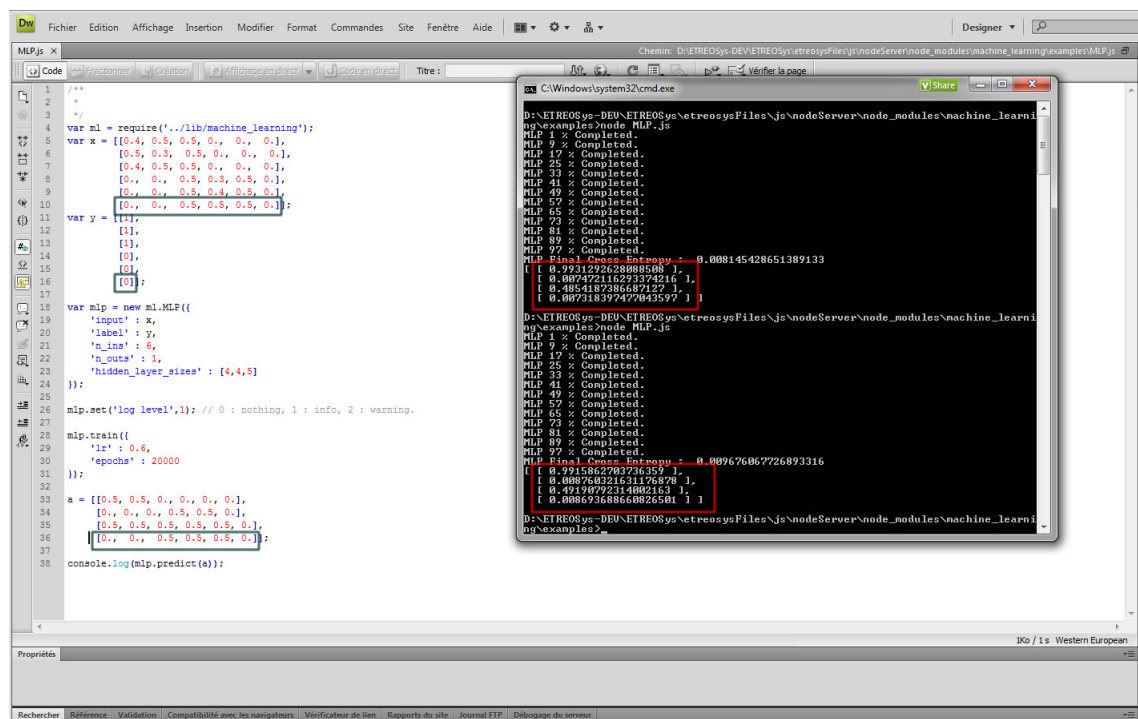


Figure 4.8 – Test en local de la bibliothèque machine_learning

Cette bibliothèque regroupe l'implémentation de plusieurs algorithmes (*régression logistique*, *perceptron multicouche*, *machine à vecteur de support*, *K plus proches voisins*, *arbre de décision*, *K-means*, etc.) qui permettent d'étendre les fonctionnalités d'une application à travers un script node.js. Des exemples de démonstration interactive de cette bibliothèque peuvent être consultés sur le lien suivant : http://joonku.com/project/machine_learning.

Étant donné que l'architecture de ETREOSys a été pensée pour être déployée sur des plateformes cloud, comme Windows Azure² ou Amazon Web Services³, la construction d'une infrastructure supportant tous ces modules ne serait pas une tâche ardue.

4.5 Technologies d'implémentation

ETREOSys est implémenté avec HTML, CSS, JavaScript, JQuery, Ajax, PHP, Framework Yii, Node.js, Socket.io, XML, services Cloud (Traffic Manager, Content Delivery Network, l'application Cloud, Virtual Machine, Virtual Network), Nginx serveur Web, Apache 2 serveur Web et base de données MongoDB. L'architecture des technologies utilisées pour le déploiement ETREOSys est représentée dans la figure suivante.

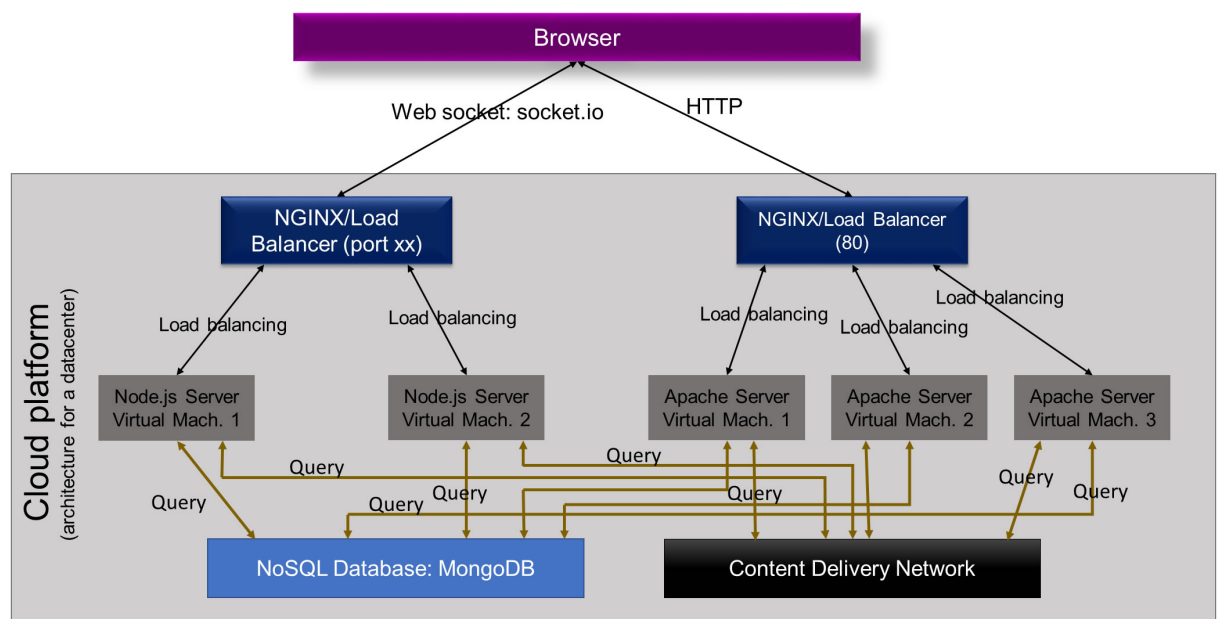


Figure 4.9 – Architecture des technologies utilisées pour le déploiement de ETREOSys

La structure principale de l'architecture de ETREOSys (voir figure 4.1) est implémen-

²Azure est une plateforme cloud ouverte et flexible qui vous permet de créer, déployer et gérer rapidement des applications à travers un réseau mondial de centres de données gérés par Microsoft. <https://azure.microsoft.com/fr-fr/>

³Amazon Web Services (AWS) est une collection de services informatiques distants fournis via internet par le groupe américain de commerce électronique Amazon.com. <http://aws.amazon.com/fr/>

tée en PHP. Nous utilisons le cadre (Framework) Yii ⁴ qui est écrit en PHP, basé sur la programmation orientée-objet (OOP - Object Oriented Programming) et le patron de conception MVC (*Modele-Vue-Contrôleur*). La figure 4.10 illustre le code source de la plateforme ETREOSys et sa structure de développement.

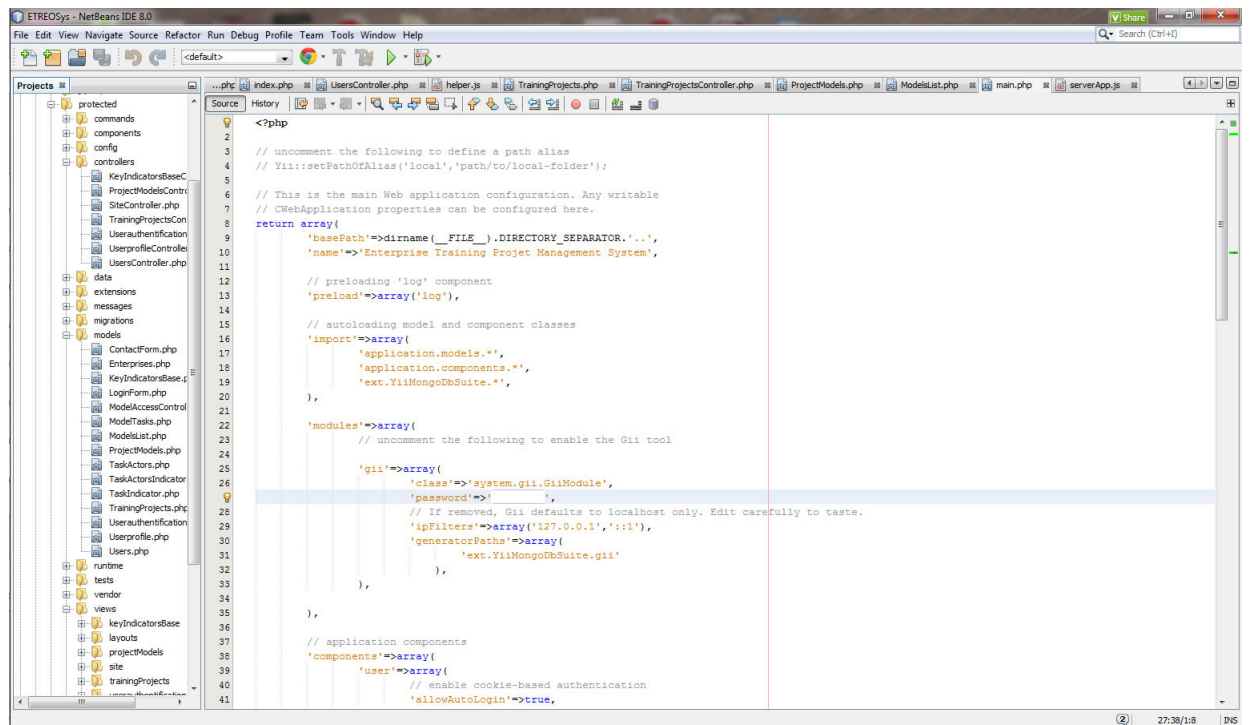


Figure 4.10 – La structure principale de ETREOSys est implémentée en PHP et utilise le framework Yii

À travers son générateur de codes, le framework Yii permet la génération des classes correspondant aux modèles de données de notre système (voir figure 4.11) et la génération des codes des contrôleurs et des vues correspondant aux quatre opérations de base (CRUD - *Create, Read, Update, Delete*), comme le montre la figure 4.12.

⁴<http://www.yiiframework.com/>

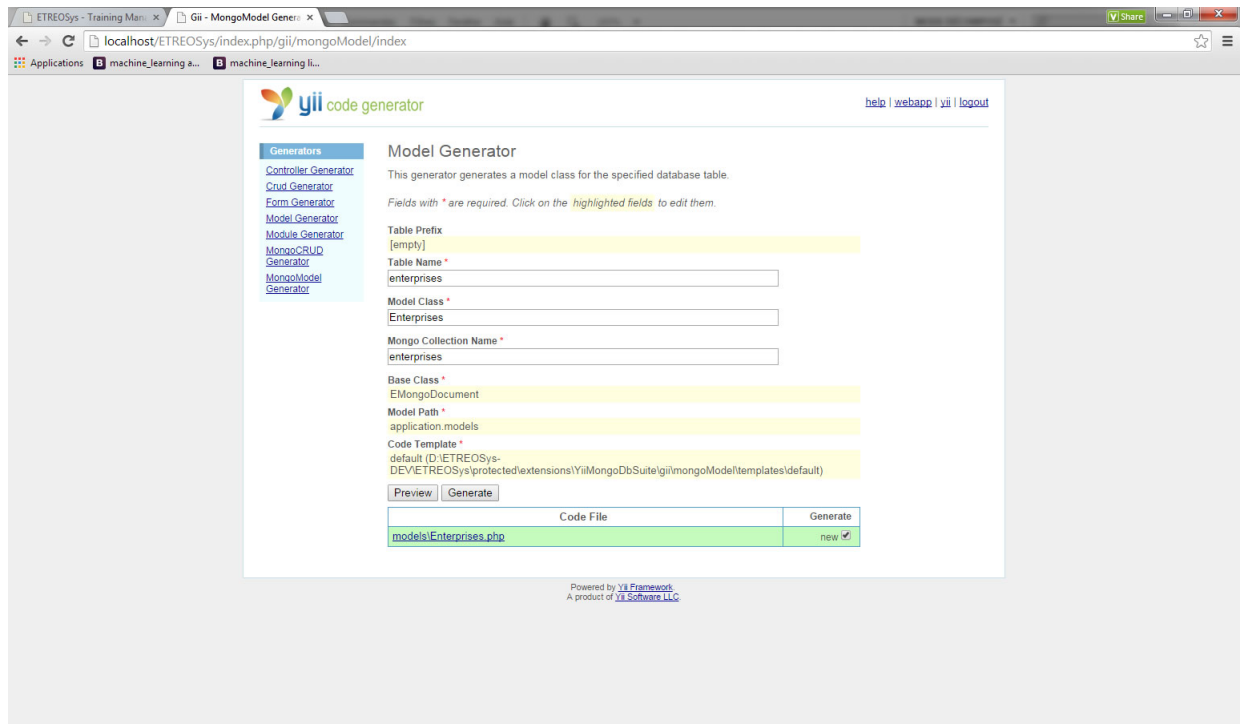


Figure 4.11 – Utilisation du framework Yii pour générer les classes des modèles

Node.js⁵ est une plateforme logicielle libre et événementielle en JavaScript orientée vers les applications réseau qui doivent pouvoir monter en charge. Node.js contient une bibliothèque de serveur HTTP intégrée, ce qui rend possible de faire tourner un serveur web sans avoir besoin d'un logiciel externe comme Apache, et permettant de mieux contrôler la façon dont le serveur web fonctionne.

L'une des utilités de node.js dans notre système est sa compatibilité avec JavaScript et le fait qu'on peut envoyer plusieurs types de données vers le serveur (allant des simples variables à des objets des très complexes au format JSON - *JavaScript Object Notation*⁶). Ce choix s'explique aussi par le fait que le format JSON est compatible au format BSON⁷ qu'utilise MongoDB (le système de bases de données NoSQL qu'utilise ETREOSys) pour stocker les données.

La figure 4.13 illustre la modélisation d'un processus dans ETREOSys et le stockage de

⁵<http://nodejs.org/>

⁶<http://json.org/>

⁷<http://www.mongodb.com/json-and-bson>

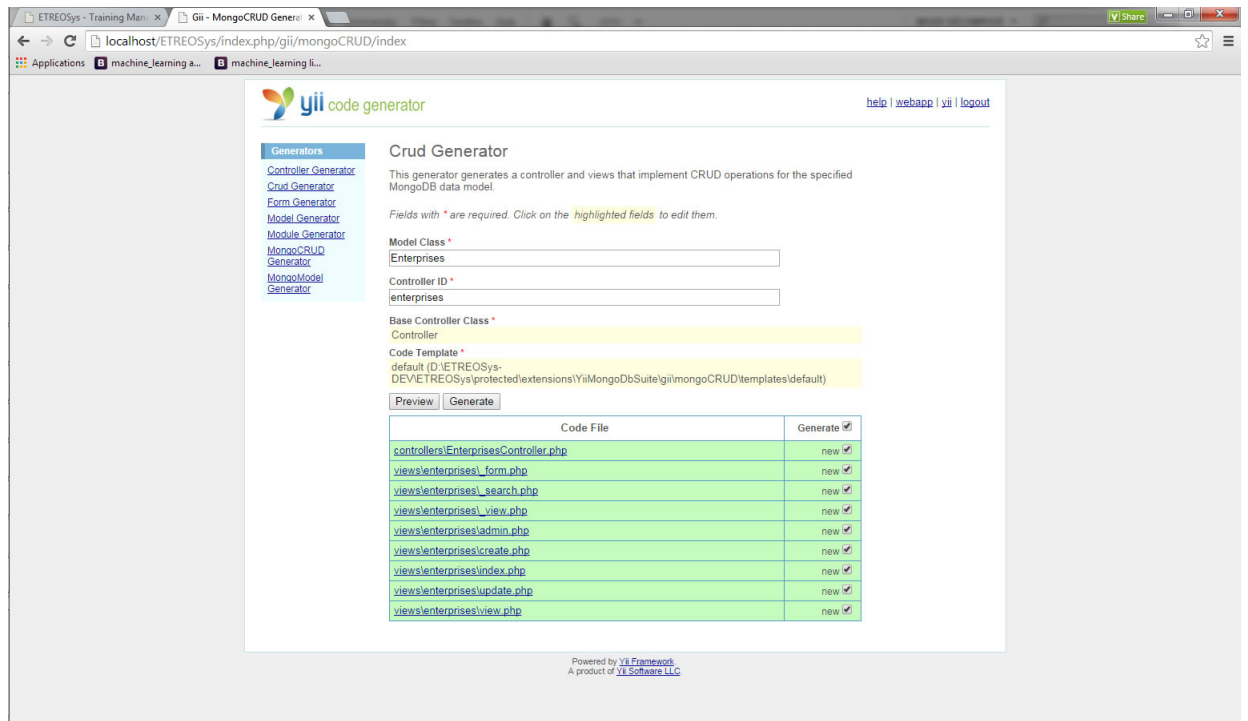


Figure 4.12 – Utilisation du framework Yii pour générer les contrôleurs et les vues

la structure complète du modèle (un graphe) en utilisant node.js. En effet, le stockage du modèle peut se faire soit dans un fichier (par exemple au format XML), soit dans une base de données.

Un stockage en XML n'est pas envisageable car l'architecture de déploiement (voir figure 4.9) contient plusieurs machines (dans des centres de données différentes) et les utilisateurs peuvent changer de lieu de connexion à tout moment. Le stockage de la structure complète du graphe dans la base de données sera mieux et c'est l'un des avantages de la base de données NoSQL (MongoDB). Nous attirons l'attention sur le fait que si nous utilisons une base de données relationnelle comme MySQL, ce stockage serait très difficile, voire impossible.

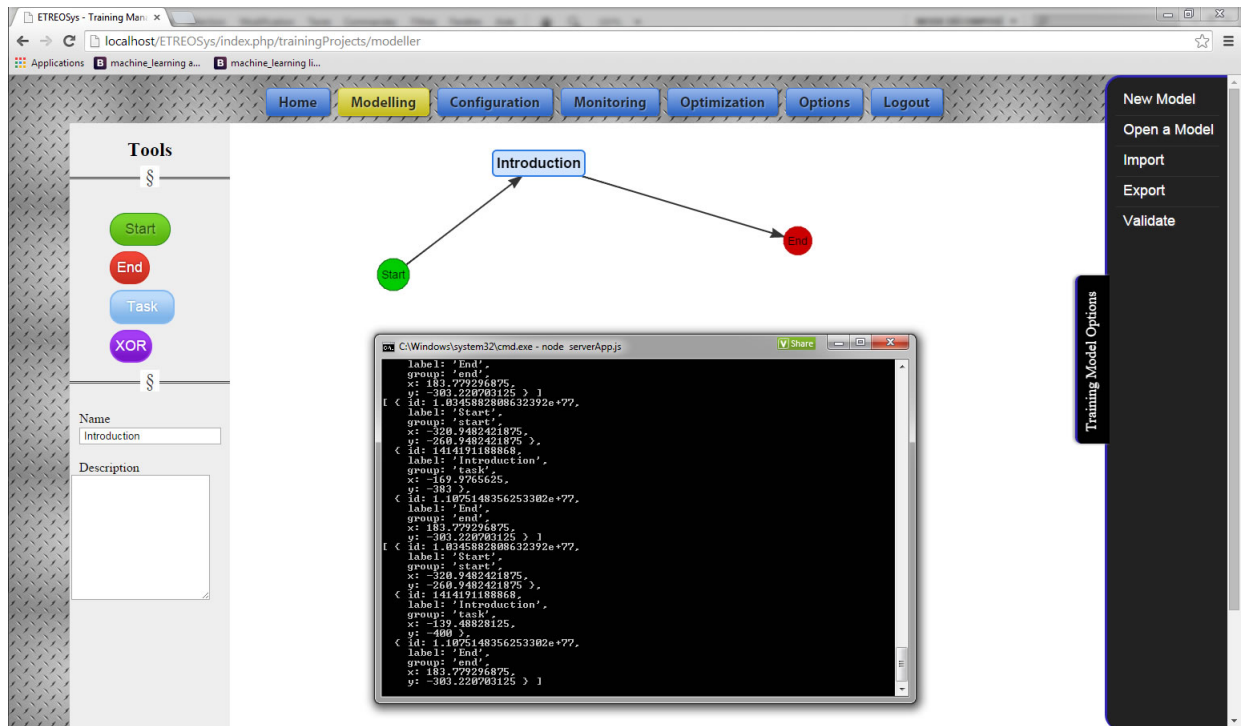


Figure 4.13 – Modélisation d’un processus dans ETREOSys et la structure complète du modèle dans un serveur node.js

Socket.io⁸ est une bibliothèque JavaScript pour les applications web en temps réel. Il permet en temps réel, la communication bi-directionnelle entre les clients et le serveur web. Il comporte deux parties : une bibliothèque côté client qui s’exécute dans le navigateur, et une bibliothèque côté serveur pour Node.js. Dans ETREOSys, nous utilisons Socket.io pour toutes les interactions temps réel entre le système et les utilisateurs.

MongoDB⁹ est un système de gestion de base de données orientée documents, répartisable sur un nombre quelconque d’ordinateurs et ne nécessitant pas de schéma prédéfini des données. Il est écrit en C++ et distribué sous licence AGPL. Il fait partie de la mouvance NoSQL¹⁰. La figure 4.14 montre les premières collections (tables) de la base de

⁸<http://socket.io/>

⁹<http://www.mongodb.org/>

¹⁰Catégorie de systèmes de gestion de base de données qui n’est plus fondée sur l’architecture classique des modèles relationnelles. L’unité logique n’y est plus la table, et les données ne sont en général pas manipulées avec SQL. <http://nosql-database.org/>

données de ETREOSys sur MongoLab ¹¹.

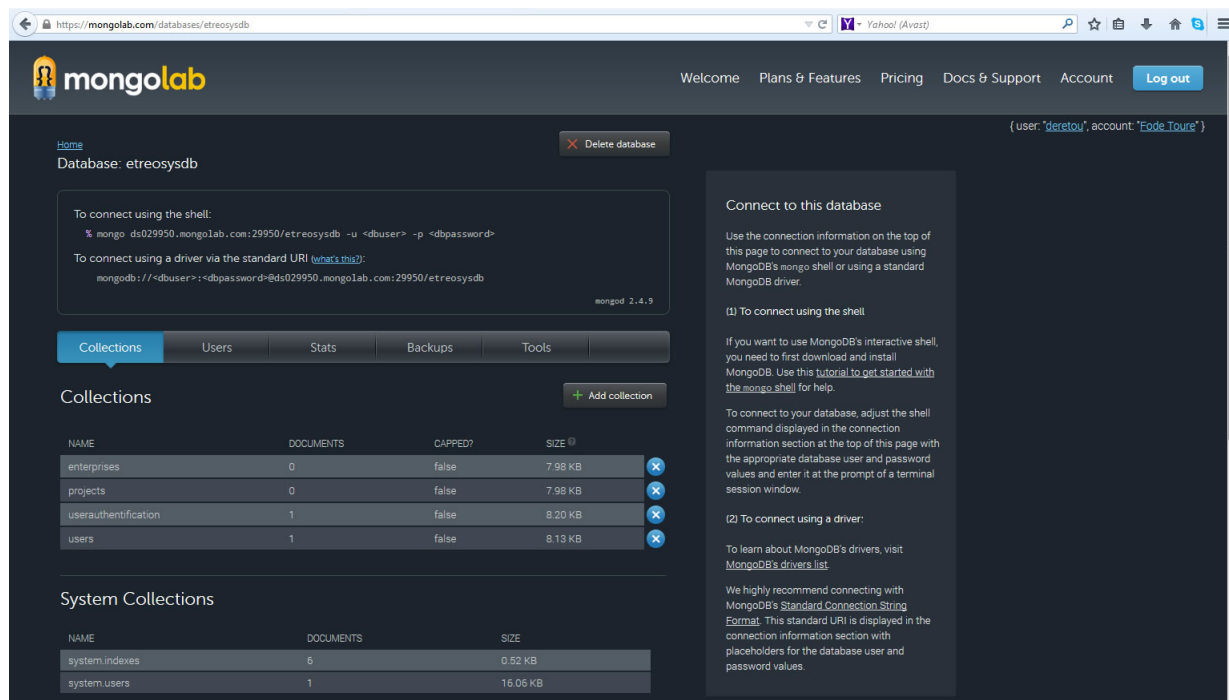


Figure 4.14 – Base de données de ETREOSys sur MongoLab

Nginx¹² est un serveur asynchrone par opposition aux serveurs synchrones où chaque requête est traitée par un processus dédié. Écrit pour les besoins d'un site à très fort trafic, il peut être configuré pour faire office de serveur proxy inverse Web. Dans l'architecture de déploiement de ETREOSys, NGINX est utilisé pour la répartition de charge (load balancing) entre les serveurs, comme le montre la figure 4.9.

4.6 Validation méthodologique

Dans cette section nous démontrons l'importance et l'utilité de notre méthode et du système qui lui est associé. Pour cela, nous comparons notre approche aux modèles existants, en particulier le modèle Kirkpatrick/Phillips qui est le modèle le plus utilisé (nous

¹¹MongoLab est une plate-forme entièrement MongoDB DBaaS (Database-as-a-Service) qui automatise les aspects opérationnels de la gestion de MongoDB dans le nuage (cloud). <https://mongolab.com/>

¹²<http://nginx.com/>

rappelons que le modèle de Kirkpatrick est considéré comme le modèle de référence pour l'évaluation de la formation en entreprise).

Étant donné que notre objectif est de répondre aux besoins des entreprises en matière de gestion des programmes de formation, cette démonstration sera appuyée par des critères de comparaison basés sur les résultats des enquêtes et sondages réalisés en milieu professionnel par l'ASTD et ic4p [3] et d'autres comme Corporate University Xchange [71] et Formaeva [34]. Les critères et leur définition sont :

Définition 4.1 (Efficience). *C'est le critère associé à un modèle d'évaluation qui donne le maximum de résultats en consommant un minimum de ressources. Un modèle efficace ne crée pas de coût additionnel pendant le processus de calcul du rendement de la formation.*

Définition 4.2 (Utilisabilité). *Ce critère désigne la facilité et la simplicité d'utiliser un modèle pour l'évaluation d'un programme de formation en entreprise. La complexité d'utiliser un modèle est une barrière qui empêche les entreprises d'évaluer efficacement leur programme de formation.*

Définition 4.3 (Implémentation). *Les enquêtes ont révélé que l'une des barrières qui empêchent les entreprises d'utiliser complètement les modèles existants est le manque de systèmes informatiques. Cela suppose qu'un modèle qui est implémenté à travers un système informatique a plus de chance d'être utilisé par les entreprises et les professionnels de la formation.*

Définition 4.4 (Diagnostic). *Ce critère désigne la capacité d'un modèle à établir les causes de la réussite ou de l'échec d'un programme de formation en entreprise. Un modèle qui est capable de fournir un diagnostic sur un programme de formation est un puissant outil d'aide à la décision.*

Définition 4.5 (Popularité). *Ce critère démontre le fait que de nombreuses entreprises utilisent un modèle ou que ce modèle est mieux connu qu'un autre.*

Le tableau 4.I, résume la comparaison entre notre contribution et le modèle Kirkpatrick/Phillip (cette appellation s’explique par le fait que le modèle à 5 niveaux est le modèle de Kirkpatrick auquel Phillip a ajouté le calcul du ROI).

Tableau 4.I – Comparaison de notre modèle au modèle Kirkpatrick/Phillips [87]

	Efficienc	Utilisabilité	Implémentation	Diagnostic	Popularité
Kirkpatrick/Phillips	Non	Non	Non	Non	Oui
AM2O-ETREOSys	Oui	Oui	Oui	Oui	Non

Le modèle de Kirkpatrick permet d’évaluer la formation à différents niveaux d’intégration des apprentissages. Il bénéficie également d’une grande reconnaissance auprès des professionnels de la formation [70]. Sa principale limite est le fait qu’il n’explique pas en quoi une formation est efficace ou inefficace [43, 76]. Du point de vue diagnostic, ce modèle d’évaluation n’indique pas comment améliorer la stratégie de formation utilisée.

Le modèle de Kirkpatrick/Phillips (et la majorité des modèles) n’intègre pas l’analyse d’affaires. Cette analyse doit se faire avant que les employés ne commencent leur formation. Ce constat est un handicap majeur pour le succès de l’évaluation de la formation et explique pourquoi les entreprises ne peuvent pas correctement et facilement appliquer le modèle de Kirkpatrick/Phillips (surtout à partir du niveau 3). En effet, les indicateurs utilisés au niveau 4 du modèle de Kirkpatrick devraient être connus au cours du processus d’analyse des besoins en formation (avant le début de la formation). Cette observation confirme le fait que le modèle de Kirkpatrick/Phillips ne fournit pas les informations nécessaires à une meilleure analyse et une évaluation adéquate de la formation.

Étant donné que le niveau 5 (ajouté par Phillips) utilise les données fournies par le niveau 4 de Kirkpatrick (voir figure 2.2), il hérite des lacunes et des faiblesses de ce dernier. En effet, Kirkpatrick recommande d’utiliser son modèle dans l’ordre hiérarchique (1, 2, 3, et 4). Par conséquent, étant donné que les données fournies ne sont pas suffisantes et compte tenu du retard dans la couverture de la gestion de la formation, le processus de calcul du retour sur investissement (niveau 5 de Phillips) devient compliqué et inutile en

raison du manque de données adéquates.

En outre, le modèle de Kirkpatrick/Phillips est très coûteux, car en plus des coûts d'opportunité engendrés par le processus de formation, il crée des coûts supplémentaires et démobilise une partie des salariés, par la création de groupes de contrôle, au cours du processus de calcul du retour sur investissement.

Le tableau 4.II montre la comparaison de notre modèle AM2O aux principaux modèles d'évaluation de la formation. Elle se base sur les résultats d'une étude comparative des modèles d'évaluations de la formation, réalisée par Chochard et Davoine [24].

Tableau 4.II – Objets des principaux modèles d'évaluation de la formation

Modèle	Kirkpatrick	CIPP	IPO	Phillips	Kraiger	AM2O
Objet de l'évaluation						
Les réactions	XX			XXX		XXX
Les apprentissages	XX		XX	XXX	XXX	XXX
Les comportements	XX		XX	XXX	X	XXX
Les résultats organisationnels	XX	XX	XX	XXX		XXX
Les résultats financiers	X	X	X	XXX		XXX
L'impact sociétal						XXX
Le contexte organisationnel		XX				XXX
Les inputs		XX	XXX			XXX
La conception de la formation		X	XXX		XX	XXX

Légende : X = orientation faible : présence de conseils et lignes directrices pour évaluer l'objet
 XX = orientation moyenne : de plus, présence de quelques conseils méthodes ou techniques d'évaluation, application à des cas de programme de formation
 XXX = orientation forte : de plus, méthodes et techniques détaillée d'évaluation de l'objet, identification de facteurs explicatifs

Selon Rivard et Lauzier [70], il est préférable d'adopter une méthodologie qui permet de corriger rapidement une stratégie de formation qui ne donne pas les résultats souhaités que de se retrouver dans une situation où on démontre que la formation donnée à tous les employés n'est finalement pas efficace.

Pour répondre aux besoins des entreprises nous proposons un modèle et système de gestion des projets de formation. Notre contribution consiste à analyser le besoin pour mieux appréhender les résultats qu'on pourrait attendre de la formation. Par l'intermédiaire du Professeure Kimiz Dalkir, de l'université de McGill, notre modèle a été présenté à plusieurs professionnels de la formation. Ces derniers trouvent très intéressante le fait d'aborder systématiquement la conception en même temps que l'évaluation des activités de formation. Raison pour laquelle, plusieurs entreprises (en ingénierie et aéronautique) ont manifesté leur volonté de participer à la mise en œuvre du modèle AM2O et du système ETREOSys.

La validation pratique (en entreprise) d'un modèle et d'un système complexe, comme le nôtre, demande du temps, des ressources financières, matérielles et humaines que nous ne possédons pas. En effet, cette validation requiert l'élaboration de fiches de collecte d'informations, la validation de la pertinence des informations collectées, l'extraction d'indicateurs, la recherche et l'observation des instances de ces indicateurs dans le fonctionnement de l'entreprise. Il est aussi question de concevoir des modèles de processus d'affaire, de décrire les acteurs, les rôles et de définir des plannings. En outre, le système ETREOSys devra être complètement développé (développer les front-end présentés dans les sections 4.1 à 4.4) et être déployé sur une infrastructure avec répartition de charge et supportant le passage en échelle. Il faut ajouter à tout cela, un nombre minimal de sept (7) à dix (10) projets de formation.

Avec les intérêts manifestés de certaines grandes entreprises Montréalaises, le défi de la validation pratique peut être relevé. Cette validation permettra de faciliter l'isolement et le calcul du rendement de la formation. Elle permettra également de connaître la tendance d'un projet de formation afin de prendre les décisions allant dans le sens de l'atteinte des objectifs de l'entreprise.

4.7 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre système de gestion de la formation en entreprise. ETREOSys répond au problème de manque de système informatique pour l'évaluation de la formation en entreprise. Selon les résultats de l'enquête de ASTD [3], les gestionnaires de formation (et les professionnels de la formation) seraient plus motivés à évaluer le rendement de la formation s'ils avaient un outil informatique à leur disposition. Nous répondons à cette sollicitation en leur offrant AM2O et ETREOSys.

ETREOSys est composé de quatre (4) principaux modules. Ces modules ne se contentent pas seulement d'évaluer le rendement de la formation mais ils assurent aussi une gestion globale des programmes de formation en entreprise. Les modules de ETREOSys sont fortement liés au modèle AM2O (voir chapitre 3) dans le sens où toutes les données collectées et les actions permises sont en relation avec le rapport de l'analyse des besoins en formation fournit par l'étape 1 de AM2O.

Le module BPMModeler modélise le projet de formation, BPMConfig le configure en fixant les paramètres d'une bonne observation du projet, BAM supervise et contrôle tous les aspects de l'évolution du projet et enfin BPMOPTUM analyse les données collectées durant les étapes du processus d'évaluation pour prédire l'orientation d'un projet de formation.

La structure principale de l'architecture de ETREOSys est implémentée en PHP et utilise le framework Yii. Dans la version actuelle de notre système, toutes les principales classes des modèles de données sont implémentées. Il en est de même pour les contrôleurs et les vues des opérations de base (CRUD). Le mécanisme d'authentification est implémenté et utilise les données stockées sur MongoLab. La modélisation des processus est réalisée en utilisant un plug-in JavaScript permettant de générer la structure des graphes au format JSON.

Pour une utilisation en milieu professionnel, de notre système, il reste à développer les front-end présentés dans les sections 4.1 à 4.4. Par conséquent, une réadaptation d'actions spécifiques dans les contrôleurs sera faite après l'intégration des nouveaux front-end.

CONCLUSION

Dans le climat économique actuel, la question sur la façon d'améliorer les performances de l'entreprise et de générer plus de revenus occupe une place prioritaire dans les stratégies des gestionnaires. L'amélioration des performances est réalisée quand un employé ou groupe d'employés apprend de nouvelles compétences. Ainsi, la différenciation sur la base des compétences, des connaissances et la motivation du personnel prend une importance croissante.

Les entreprises consacrent beaucoup de temps, d'efforts et de moyens financiers pour la formation en entreprise, comme le montrent les résultats des enquêtes annuelles réalisées par l'ASTD. En effet, les entreprises qui ont une forte capacité d'apprentissage ont tendance à être plus innovantes, et pour cette raison, elles sont plus productives et plus compétitives. Par conséquent, elles sont capables de s'adapter et d'être proactives dans un environnement économique incertain.

L'objectif de la formation en entreprise est d'avoir une influence positive sur la performance organisationnelle (*augmentation du nombre d'unités vendues, augmentation de la productivité, réduction du taux d'absentéisme, diminution des pertes, diminution du nombre d'erreurs dans les commandes*, etc). Cependant, l'évaluation de sa réelle efficacité et de son hypothétique rentabilité (en tant qu'investissement) demeure un vieux débat dans la littérature, un mystère non résolu. Les gestionnaires s'inquiètent quant à la rentabilité des investissements en formation ainsi que sur l'efficacité des ressources dédiées à la formation.

En raison des difficultés liées à l'utilisation des modèles - d'évaluation de la formation - existants, les entreprises ne peuvent pas estimer de façon concrète l'impact de la formation sur leur croissance économique et sociale. La *barrière* qui se profile le plus souvent est la difficulté d'isoler l'apprentissage comme un facteur qui a une incidence sur les résultats, surtout pour les niveaux 3, 4 et 5 du modèle combiné de Kirkpatrick/Phillips (le modèle le plus utilisé selon la littérature). La *seconde barrière*, citée par les répondants, est l'absence d'un système d'évaluation utile avec le système de gestion de l'apprentissage (Learning Management System). Une *barrière supplémentaire*, révélée, est que

les données d'évaluation ne sont pas suffisamment standardisées pour pouvoir comparer différentes fonctions d'apprentissage (formation).

Pour répondre aux besoins des entreprises, dans cette thèse, nous avons proposé un modèle (*Analyse, Modélisation, Monitoring et Optimisation* - AM2O) de gestion de projets de formation en entreprise, basée sur la gestion des processus d'affaires (*Business Process Management* - BPM). Notre modèle est inspiré de cette méthode (BPM), à travers la définition et le suivi d'indicateurs de performance, pour gérer tous les aspects de la formation en entreprise. AM2O répond principalement au besoin d'avoir une démarche permettant d'analyser et d'isoler les effets de la formation sur la vie sociale et économique d'une entreprise.

Sachant qu'une analyse rigoureuse des besoins de formation conduit à une plus grande perception de l'utilité de la formation, ce qui en retour a un effet positif sur l'efficacité de l'organisation, AM2O propose quatre étapes de gestion d'un programme de formation à savoir : l'analyse, la modélisation, le monitoring et l'optimisation.

L'*analyse de la demande* de formation nécessite un certain nombre d'actions telles que : la consultation pour explorer la demande, l'analyse des besoins, la définition des objectifs, et des indicateurs de performance. Cette étape permet de répondre à plusieurs questions telles que : *Pourquoi vouloir former les employés ? Quels sont les besoins qui ont été identifiés ? Quelles sont les attentes ? Comment la réalisation des objectifs sera-t-elle évaluée ?*... Cette étape fournit des modèles de processus, des informations nécessaires à la configuration de ces modèles, et les valeurs initiales des indicateurs. Elle assure l'alignement du programme de formation avec la stratégie de croissance de l'entreprise. En outre, la combinaison de la formule de la valeur actuelle nette avec l'analyse financière de DuPont permet d'estimer les gains futur de l'investissement en formation avant le début proprement dit de la dite formation. Cette analyse est précieuse pour la décision quant à l'intérêt de commencer ou non le projet de formation.

L'*étape de modélisation* permet de spécifier un processus d'affaires en utilisant des objets graphiques développés par Workflow Management Coalition. Pour la gestion de projets de formation, il existe au moins deux modèles de processus : le modèle de processus lié

à la planification de la formation (curriculum) et le modèle de processus lié aux étapes de la collecte de données et de l'évaluation du rendement de la formation. La planification de la formation est une représentation graphique de l'organisation de la formation (plan du cours). Le modèle de processus lié à l'évaluation fixe les périodes de collecte d'information afin de procéder à des évaluations et/ou des simulations conduisant à prédire la tendance des résultats. Ces dernières informations permettent de prendre des décisions menant à la réussite du programme de formation. Nous associons à ces graphiques : des acteurs et leurs rôles, la description des données entrantes et sortantes, l'aspect temporel et les indicateurs de performance liés à la conduite du programme de formation.

L'étape de monitoring consiste à contrôler la progression des processus. Un contrôle basé sur des indicateurs précis et pertinents afin d'avoir des tableaux de bord permettant de prendre rapidement les bonnes décisions quant à l'évolution du programme de formation. Lorsqu'on décide de calculer le rendement financier de l'investissement en formation, on détermine l'écart entre les valeurs antérieures et courantes des indicateurs quantitatifs (ratios). L'utilisation de l'analyse financière de DuPont permet d'associer un rendement monétaire à la formation. En outre, les avantages intangibles peuvent être convertis en facteurs tangibles avec une bonne compréhension du bénéfice.

L'étape d'optimisation permet de faire des simulations permettant de prédire la réussite ou non d'un programme de formation. Elle permet aussi de comprendre pourquoi un programme de formation réussit par rapport un autre. Pour cela, nous utilisons des algorithmes d'apprentissage supervisé et semi-supervisé : régression logistique, réseau de neurones, co-apprentissage.

ETREOSys répond au problème de manque de systèmes pour l'évaluation de la formation en entreprise. Selon les résultats de l'enquête de ASTD, les gestionnaires de formation (et les professionnels de la formation) seraient plus motivés à évaluer le rendement de la formation s'ils avaient un système informatique à leur disposition. Nous répondons à cette sollicitation en leur offrant AM2O et ETREOSys.

ETREOSys est composé de quatre (4) modules qui non seulement évaluent le rendement de la formation mais, assurent également une gestion globale des programmes de forma-

tion en entreprise. Le module BPMModeler modélise le projet de formation, BPMConfig le configure en fixant les paramètres d'une bonne observation du projet, le module BAM supervise et contrôle tous les aspects de l'évolution du projet et enfin BPMOPTUM analyse les données collectées durant les étapes du processus d'évaluation pour prédire l'orientation d'un projet de formation. Nous offrons un système qui utilise les technologies liées au big data (méga données) à savoir : base de données NoSQL, Node.js et les cloud services. La structure principale de l'architecture de ETREOSys est implémentée en PHP et utilise le framework Yii. Toutes les principales classes des modèles de données, les contrôleurs et les vues sont implémentées. Le mécanisme d'authentification est implémenté et utilise les données stockées sur MongoLab. La modélisation des processus est réalisée en utilisant un plug-in JavaScript permettant de générer la structure des graphes au format JSON.

Pour satisfaire à la demande du Directeur Général (DG), dans l'exemple de l'introduction, le Responsable Formation (RF) peut désormais utiliser le modèle AM2O et le système informatique qui lui est associé ETREOSys. Ainsi le DG sera convaincu de l'intérêt d'investir ou pas dans une formation donnée avant même le début du projet. En outre, une fois le programme de formation entamé, le DG sera informé de l'évolution du programme et il sera mis à sa disposition, tout un ensemble d'outils lui permettant de prendre des décisions utiles.

Notre modèle a été présenté à plusieurs professionnels de la formation. Ces derniers trouvent très intéressante le fait d'aborder systématiquement la conception en même temps que l'évaluation des activités de formation.. Raison pour laquelle, plusieurs entreprises ont manifesté leur volonté de participer à la mise en œuvre du modèle AM2O et du système ETREOSys.

Avec les intérêts manifestés par certaines grandes entreprises Montréalaises, la prochaine étape sera la validation pratique en milieu industriel de AM2O et ETREOSys. Cette validation consistera à élaborer des fiches de collecte d'informations, valider la pertinence

des informations collectées, extraire des indicateurs, chercher et observer les instances de ces indicateurs dans le fonctionnement de l'entreprise. Pour une utilisation en milieu professionnel, de notre système, il reste à développer les front-end présentés dans les sections 4.1 à 4.4. En outre, le système ETREOSys sera complètement déployé sur une infrastructure avec répartition de charge utilisant les services offerts par Windows Azure ou Amazon Web Services.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. Anderson. Overcoming analysis paralysis. *Chief Learning Officer*, 8(5):54–56, May 2009. Trade Publication.
- [2] W. Arthur Jr, W. Bennett Jr, P. S. Edens et S. T. Bell. Effectiveness of training in organizations : a meta-analysis of design and evaluation features. *Journal of Applied psychology*, 88(2):234, 2003.
- [3] ASTD. *The Value of Evaluation : Making Training Evaluations More Effective*. ASTD Press, 2009. ISBN 978-1-56286-563-4.
- [4] ASTD. *2013 State of the Industry Report*. ASTD Press, December 2013. ISBN 9781562869045. ASTD’s definitive review of workplace learning and development trends.
- [5] P. Bach. *Le management de projets de formation en entreprise, administration et organisation*. De Boeck & Larcier s.a., rue des Minimes 39, B-1000 Bruxelles., de boeck université édition, 2007. ISBN 978-2804152710.
- [6] A. Bailey. Un investissement rentable : Mettre l’investissement en formation en rapport avec les résultats d’entreprise et l’économie. Rapport de recherche, Centre du Savoir sur l’Apprentissage et le Milieu de Travail (CSAMT) du Conseil Canadien sur l’Apprentissage (CCA), 2007.
- [7] J. Barbazette. *Training Needs Assessment : Methods, Tools, and Techniques*. San Francisco, Pfeiffer, 2006. ISBN 978-0787975258.
- [8] R. Bates. A critical analysis of evaluation practice : the kirkpatrick model and the principle of beneficence. *Evaluation and program planning*, 27(3):341–347, 2004.
- [9] D. Beaupré, D. D’Hostingue et M. Trottier. Observation des tendances en matière d’évaluation du rendement de la formation en entreprise. *Rapport présenté au PSRA. Montréal, ESG-UQAM*, 2007.

- [10] D. R. Becker, M. and Smith. Model validation in planware. Dans *ICAPS 2005 Workshop on Verification and Validation of Model-Based Planning and Scheduling Systems, Monterey, California, 2005*.
- [11] S. Besley et E. Brigham. *Essentials of Managerial Finance*. Available Titles Aplia Series. Cengage Learning, 2007. ISBN 9780324422702. URL <http://books.google.ca/books?id=oi9s0jf4cv8C>.
- [12] R. B. Bey, R. H. Doersch et J.H. Patterson. *The net present value criterion : its impact on project scheduling*. 1981.
- [13] Z. Bodie, A. Kane et A.J. Marcus. *Essentials of Investments 9th Edition* .: 2012. URL <http://books.google.ca/books?id=Htr3AwAAQBAJ>.
- [14] D. Borrego, R. Eshuis, M. T. Gómez-López et R. M. Gasca. Diagnosing correctness of semantic workflow models. *Data & Knowledge Engineering*, 87:167–184, 2013.
- [15] P. Bramley. *Evaluating training effectiveness : benchmarking your training activity against best practice*. McGraw-Hill, 1996.
- [16] P. Briol. *Ingenierie Des Processus Metiers, de L'Elaboration A L'Exploitation*. Lulu Enterprises Incorporated, 2008. ISBN 9781409200406. URL <http://books.google.ca/books?id=BdF6Z4vh414C>.
- [17] J. Brown. Training needs assessment : A must for developing an effective training program. *Public Personnel Management*, 31(4):569–578, 2002.
- [18] D. S. Bushnell. Input, process, output : A model for evaluating training. *Training and Development journal*, 44(3):41–43, 1990.
- [19] A.P. Carnevale et E. R. Schulz. Return on investment : Accounting for training. *Training and Development journal*, 44(7), 1990.
- [20] B Chiron, S Bromley, A Ros et G Savoldelli. Évaluation des programmes de formation en simulation. Dans *La simulation en santé De la théorie à la pratique*, pages 277–286. Springer, 2013.

- [21] R. Chiva Gómez, J. Alegre Vidal, J. Pla Barber et C. Villar. Organisational learning capability, product innovation performance and export intensity. 2012.
- [22] Y. Chochard. Et si on évaluait le rendement de la formation en entreprise sur la base des compétences développées par le personnel ? présentation d'une nouvelle approche. *Bulletin de l'Observatoire Compétences-Emplois*, 1(2), octobre 2010. Évaluation du rendement de la formation en entreprise.
- [23] Y. Chochard. *Les Variables Influençant le Rendement des Formations Managériales : Une Étude de Cas Multiple Suisse par la Méthode de l'Analyse de l'Utilité*. Obtention du grade de docteur ès sciences économiques et sociales, Faculté des Sciences économiques et sociales de l'Université de Fribourg (Suisse), 2012.
- [24] Y. Chochard et E. Davoine. A quoi sert la formation managériale et comment évaluer son retour sur investissement ? analyse d'un cas d'évaluation dans une entreprise suisse. 2008.
- [25] M. Darnstädt, H. U. Simon et B. Szörényi. Supervised learning and co-training. *Theoretical Computer Science*, 519:68–87, 2014.
- [26] A. DeMaris et S. H. Selman. Logistic regression. Dans *Converting Data into Evidence*, pages 115–136. Springer, 2013.
- [27] N.M. Dixon. New routes to evaluation. *Training and Development*, 50(5):82–85, 1996.
- [28] B. Dostie. Estimating the returns to firm-sponsored on-the-job and classroom training. Rapport technique, Discussion paper series//Institut d'économie appliquée, HEC Montréal, 2010.
- [29] A. Dunberry et C. Péchard. L'évaluation de la formation dans l'entreprise : état de la question et perspectives. Rapport de recherche, Centre Interdisciplinaire de Recherche sur l'Éducation Permanente (CIRDEP), UQAM, 2007. Programme de Subvention à la Recherche Appliquée (PSRA) du Fonds National de Formation de la main d'Oeuvre (FNFMO) du Québec.

- [30] M El Sanharawi et F Naudet. Comprendre la régression logistique. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 36(8):710–715, 2013.
- [31] D. Eseryel. Approaches to evaluation of training : Theory & practice. *Educational Technology & Society*, 5(2):2002, 2002.
- [32] R. Eshuis et A. Kumar. An integer programming based approach for verification and diagnosis of workflows. *Data & Knowledge Engineering*, 69(8):816–835, 2010.
- [33] J. Fitz-Enz. Yes... you can weigh training's value. *Training*, 31(7):54–58, 1994.
- [34] Formaeva. Synthèse d'étude : Les pratiques d'évaluation des formations des entreprises françaises en 2011. Synthèse d'étude, Formaeva, 2011. Formaeva : Évaluer pour Mieux Former.
- [35] Gartner. Leading in times of transition. The 2010 CIO Agenda, 2010. Stamford, CA, USA.
- [36] D. Gilibert et I. Gillet. Revue des modèles en évaluation de formation : approches conceptuelles individuelles et sociales. *Pratiques psychologiques*, 16(3):217–238, 2010.
- [37] D. Goldwasser. Beyond ROI. *Training*, 38(1):82, 2001.
- [38] J. Gordon. Measuring the " goodness" of training. *Training*, 28(8):19–25, 1991.
- [39] W. Gu et A. Wong. *Les estimations du capital humain au Canada : approche fondée sur le revenu de la vie entière*. Statistique Canada, 2010.
- [40] Gymglish. Un euro en formation rapporte 13 euros à l'entreprise. <http://www.paperblog.fr/3127185/un-euro-en-formation-rapporte-13-euros-a-l-entreprise/>, 2010. Publié le 22 avril 2010, consulté le 11 août 2014.
- [41] A.C. Hamblin. Evaluation and control of training. *Industrial Training International*, 9(5):154–6, 1974.

- [42] M. H. Hao et K. Wang. Analysis on economic benefit of pavement layer based on net present value method. *Applied Mechanics and Materials*, 361:1735–1738, 2013.
- [43] E. F. Holton. The flawed four-level evaluation model. *Human Resource Development Quarterly*, 7(1):5–21, 1996. ISSN 1532-1096. URL <http://dx.doi.org/10.1002/hrdq.3920070103>.
- [44] J. X. Huang, J. Miao et B. He. High performance query expansion using adaptive co-training. *Information Processing & Management*, 49(2):441–453, 2013.
- [45] IIBA. *A guide to the Business Analysis Body of Knowledge (BABOK guide), version 2.0*. International Institute of Business Analysis, March 2009. ISBN 978-098112921.
- [46] D. L. Kirkpatrick. *Evaluating training programs : the four levels / Donald L. Kirkpatrick*. Berrett-Koehler ; Publishers Group West [distributeur], San Francisco : Emeryville, CA ;, 1st ed. édition, 1994. ISBN 1881052494.
- [47] D.L. Kirkpatrick. *Evaluating Training Programs : The Four Levels : Easyread Edition*. CreateSpace, 2009. ISBN 9781442955820. URL <http://books.google.ca/books?id=Um0SQcmMo44C>.
- [48] D.L. Kirkpatrick et J. D. Kirkpatrick. *Evaluating Training Programs : The Four Levels (3rd Edition)*. Berrett-Koehler Publishers, 3rd édition, January 2006. ISBN 1576753484. URL <http://www.amazon.com/exec/obidos/redirect?tag=citeulike07-20&path=ASIN/1576753484>.
- [49] K. Kraiger. *Decision-based Evaluation*. Numéro p. 331 à 375 dans HR4075 B. Maiden. Jossey-Bass, 2002. URL <http://books.google.ca/books?id=053VPgAACAAJ>.
- [50] J. Y. Le Louarn et J. Pottiez. Évaluer pour mieux former : comment évaluer efficacement ses formations ?, 2009. revue Personnel de l'ANDRH (Association Nationale des Directeurs des Ressources Humaines).

- [51] H. Lin, Z. Zhao, H. Li et Z. Chen. A novel graph reduction algorithm to identify structural conflicts. Dans *HICSS*, page 289, 2002.
- [52] R. Liu et A. Kumar. An analysis and taxonomy of unstructured workflows. Dans *Business Process Management*, pages 268–284, 2005.
- [53] P. Malassingne. *Mesurer l'efficacité de la formation : Evaluer le résultat et la rentabilité*. Livres outils - Formation. Eyrolles, 2011. ISBN 9782212130065. URL <http://books.google.ca/books?id=bDzyangdx5MC>.
- [54] M. M. Mark, G. T. Henry et G. Julnes. *Evaluation : an integrated framework for understanding, guiding, and improving public and nonprofit policies and programs / Melvin M. Mark, Gary T. Henry, George Julnes*. Jossey-Bass ; Wiley [distributeur] , San Francisco ; : [Chichester :, 2000. ISBN 0787948020 0787948020 0787948020. URL <http://www.loc.gov/catdir/toc/onix06/00010232.html>.
- [55] D. V. McCain. *Evaluation basics*. American Society for Training and Development, 2005.
- [56] A. Monnot. Les pratiques d'évaluation de la formation professionnelle et leurs déterminants dans les entreprises du sbf 120. *Management & Avenir*, (2):92–111, 2014.
- [57] C. Morrison. Beyond Kirkpatrick : The business value of organizational learning. Institute for Corporate Productivity (i4cp), The Productivity Blog, 2014. Published the January 21, 2014, visited the January 29, 2014.
- [58] B. Nagle. ROI gives a way to ROE. *Canadian HR Reporter*, 15(13):7, 2002.
- [59] J. Naughton. IOL : Determining the impact of learning. *Chief Learning Officer*, pages 32–36, 2008.
- [60] Y. Park et R. L. Jacobs. The influence of investment in workplace learning on learning outcomes and organizational performance. *Human Resource Development Quarterly*, 22(4):437–458, 2011.

- [61] S. Perumal et A. Mahanti. A graph-search based algorithm for verifying workflow graphs. Dans *DEXA Workshops*, pages 992–996. IEEE Computer Society, 2005. ISBN 0-7695-2424-9. URL <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/dexaw/dexaw2005.html#PerumalM05>.
- [62] S. Perumal et A. Mahanti. Applying graph search techniques for workflow verification. Dans *HICSS*, page 48, 2007.
- [63] J. J. Phillips. ROI : The search for best practices. *Training & Development*, 50(2): 42–47, 1996.
- [64] J. J. Phillips. A rational approach to evaluating training programs... including calculating ROI. *Journal of Lending and Credit Risk Management*, 79:43–50, 1997.
- [65] J. J. Phillips. *Return on investment in training and performance improvement programs*. Routledge, 2003.
- [66] J. J. Phillips et P. P. Phillips. Using action plans to measure ROI. *Performance Improvement*, 4:24–33, 2003.
- [67] J.J. Phillips et R.D. Stone. *How to Measure Training Results : A Practical Guide to Tracking the Six Key Indicators*. McGraw-Hill, hardcover édition, 2002. ISBN 0071387927.
- [68] P. Pineda. Evaluation of training in organisations : a proposal for an integrated model. *Journal of European Industrial Training*, 34(7):673–693, 2010.
- [69] J. Pottiez. *Évaluation de la performance de la formation en entreprise par une approche systémique*. Doctorat en science de gestion, Université des sciences et technologies de Lille, 2012.
- [70] P. Rivard et M. Lauzier. *La gestion de la formation et du développement des ressources humaine : Pour préserver et accroître le capital compétence de l'organisation, 2e édition*. Canadian Publishers Collection. Presses de l'Université du

Quebec, 2013. ISBN 9782760526112. URL <http://books.google.ca/books?id=jJgQHDHUi0gC>.

- [71] C. Rozwell. Forget ROI, measure time to competency to calculate learning value. Rapport technique, Gartner Research, 2009. G00169917.
- [72] S. Sadiq, M. Indulska, W. Bandara et S. Chong. Major issues in business process management : A vendor perspective. Dans F.B. Tan, J. Thong et L.J. Janczewski, éditeurs, *11th Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS 2007) : Managing Diversity in Digital Enterprises*, pages 40–47, Auckland, New Zealand, 2007. PACIS. URL <http://eprints.qut.edu.au/15572/>. The contents of this conference can be freely accessed online via the conference’s web page (see hypertext link).
- [73] S. Sadiq, W. Orłowska, M. E. and Sadiq et C. Foulger. Data flow and validation in workflow modelling. Dans *ADC '04 : Proceedings of the 15th Australasian database conference*, pages 207–214, Darlinghurst, Australia, Australia, 2004. Australian Computer Society, Inc.
- [74] W. Sadiq et M. E. Orłowska. Analyzing process models using graph reduction techniques. *Inf. Syst.*, 25(2):117–134, 2000. ISSN 0306-4379.
- [75] A. M. Saks et L. A. Burke. An investigation into the relationship between training evaluation and the transfer of training. *International Journal of Training and Development*, 16(2):118–127, 2012. ISSN 1468-2419. URL <http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-2419.2011.00397.x>.
- [76] A. M. Saks et R. R. Haccoun. *Managing Performance through Training and Development*. Nelson Education, 6th édition, 2013. ISBN 9780176507336.
- [77] E. Salas, S. I. Tannenbaum, K. Kraiger et K. A. Smith-Jentsch. The science of training and development in organizations : What matters in practice. *Psychological science in the public interest*, 13(2):74–101, 2012.

- [78] N. Schmidlin. *The Art of Company Valuation and Financial Statement Analysis : A Value Investor's Guide with Real-life Case Studies*. The Wiley Finance Series. Wiley, 2014. ISBN 9781118843048. URL <http://books.google.ca/books?id=AZhtAwAAQBAJ>.
- [79] B. Simkins et R. Simkins. *Energy Finance : Analysis and Valuation, Risk Management, and the Future of Energy*. Robert W. Kolb Series. Wiley, 2013. ISBN 9781118235980. URL <http://books.google.ca/books?id=N6qurssR4pgC>.
- [80] M. R. Smith et M. E. Gagnon. Les différences interprovinciales dans les pratiques de formation et leurs effets. Rapport de recherche, Programme de subvention à la recherche appliquée (PSRA)- Commission des partenaires du marché du travail (CPMT), 2010. McGill University.
- [81] M.T. Soliman. The use of DuPont analysis by market participants. *The Accounting Review*, 83(3):823–853, May 2008.
- [82] B. Strong, T. H. Davenport et L. Prusak. Organizational governance of knowledge and learning. *Knowledge and Process Management*, 15(2):150–157, 2008.
- [83] D. L. Stufflebeam. The relevance of the CIPP evaluation model for educational accountability. 1971.
- [84] M.J. Tippins et R. S. Sohi. It competency and firm performance : is organizational learning a missing link ? *Strategic Management Journal*, 24(8):745–761, 2003.
- [85] K. Toften et S. O. Olsen. Export market information use, organizational knowledge, and firm performance : a conceptual framework. *International Marketing Review*, 20(1):95–110, 2003.
- [86] F. Touré et A. Aïmeur. Evaluation of enterprise training programs using business process management. Dans Karl-Heinz Krempels et José Cordeiro, éditeurs, *WE-BIST*, pages 505–510. SciTePress, 2012. ISBN 978-989-8565-08-2.

- [87] F. Touré, A. Aïmeur et K. Dalkir. AM2O : an efficient approach for managing training in enterprise. 2014. 6th International Conference on Knowledge Management and Information Sharing (KMIS).
- [88] F. Touré, A. Aïmeur et K. Dalkir. ETREOSys : Towards an efficient web-based platform for managing training in enterprise. 2014. 4th International Symposium ISKO-Maghreb : Concepts and Tools for Knowledge Management.
- [89] F. Touré et E. Aïmeur. E-learning seen as an enterprise business process. *MCC SSI MCCSIS*, pages 76–83, 2011. IADIS International Conference : e-Commerce.
- [90] F. Touré, K. Baïna et K. Benali. An efficient algorithm for workflow graph structural verification. Dans Robert Meersman et Zahir Tari, éditeurs, *OTM Conferences (1)*, volume 5331 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 392–408. Springer, 2008. ISBN 978-3-540-88870-3.
- [91] F. Touré, K. Baïna et W. Gaaloul. Toward a hybrid algorithm for workflow graph structural verification. Dans José Cordeiro et Joaquim Filipe, éditeurs, *ICEIS (3-2)*, pages 442–447, 2008. ISBN 978-989-8111-38-8.
- [92] F. Touré, M. Selmi et A. Aïmeur. A2MO and ETREOSys - analyzing, modeling and validation of enterprise training programs. Dans Slimane Hammoudi, Leszek A. Maciaszek, José Cordeiro et Jan L. G. Dietz, éditeurs, *ICEIS (2)*, pages 310–316. SciTePress, 2013. ISBN 978-989-8565-60-0.
- [93] Wil M. P. van der Aalst, A. Hirnschall et H. M. W. (Eric) Verbeek. An alternative way to analyze workflow graphs. Dans *CAiSE*, pages 535–552, 2002.
- [94] W. van Eerde, K.C. Simon Tang et G. Talbot. The mediating role of training utility in the relationship between training needs assessment and organizational effectiveness. *The International Journal of Human Resource Management*, 19(1):63–73, 2008. URL <http://dx.doi.org/10.1080/09585190701763917>.

- [95] P. Vijay Kumar, MS Narayana et M Vidya Sagar. Evaluation of training in organizations : A proposal for an integrated model. *International Journal of Engineering & Management Sciences*, 3(1):77–84, 2012.
- [96] S. W. Villachica, D. A. Stepich et S. Rist. Surviving troubled times : Five best practices for training solutions. *Performance Improvement*, 50(3):9–17, 2011. ISSN 1930-8272. URL <http://dx.doi.org/10.1002/pfi.20201>.
- [97] P. Warr, M. Bird et N. Rackham. *Evaluation of management training : A practical framework, with cases, for evaluating training needs and results*. Gower Press, 1970.
- [98] Y. Zhang, J. Wen, X. Wang et Z. Jiang. Semi-supervised learning combining co-training with active learning. *Expert Systems with Applications*, 41(5):2372–2378, 2014.

Annexe I

Mes publications

Journal

Fodé Touré, Esma Aïmeur, Kimiz Dalkir (soumis en 2014). Towards an Efficient Tool for managing Training Projects in Enterprise. *Journal of Process and Knowledge Management*.

Conférences avec comité de lecture

Fodé Touré, Esma Aïmeur, Kimiz Dalkir. *ETREOSys : Towards an Efficient Web-based Platform for Managing Training in Enterprise*. In Proceedings of the 4th International Symposium ISKO-Maghreb : Concepts and Tools for Knowledge Management, November 9th and 10th, 2014, CERIST Algiers - Algeria.

Fodé Touré, Esma Aïmeur, Kimiz Dalkir. *AM2O : an Efficient Approach for Managing Training in Enterprise*. In Proceedings of the 6th International Conference on Knowledge Management and Information Sharing (KMIS), 21- 24 October 2014, Rome, Italy.

Fodé Touré, Mouna Selmi, Esma Aïmeur. *A2MO and ETREOSys : Analyzing, Modeling and Validation of Enterprise Training Programs*. In Proceedings of the 15th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 4 - 7 July 2013, Angers Loire Valley, France, pp. 310-316, SciTePres, DOI : 10.5220/0004558503100316.

Odilon Allognon, **Fodé Touré** and Esma Aimeur. *Learning by Challenging : a Social Network and Privacy Based Approach*. International Conference on Education & E-Learning Innovations, 1-3 July 2012, pp. 1-6, isbn 978-1-4673-2226-3

Fodé Touré, Esma Aïmeur. *Evaluation of enterprise training programs by using business process management*. WEBIST 2012 - Proceedings of the 8th International Conference on Web Information Systems and Technologies, 18 - 21 April, 2012, Porto - Portugal, pp. 505-510, SciTePres, isbn 978-989-8565-08-2.

Fodé Touré, Esma Aïmeur. *E-learning seen as an enterprise business process*. In Proceedings of

IADIS International Conference : e-Commerce 2011, Rome, Italy, 21 - 23 July 2011, pp. 76-83,
ISBN : 978-972-8939-51-9

Fodé Touré, Karim Baina, Khalid Benali. *An efficient algorithm for workflow graph structural verification*. In Proceedings of Coopis 2008 (16th International Conference on cooperative information systems, On the Move (DOA, ODBASE, CoopIS, GADA, IS), Monterrey, Mexico, LNCS 5331, pp 392-408, Springer Verlag, 2008.

Fodé Touré, Karim Baina. *Un algorithme hybride de vérification structurelle de graphe de workflow*. 5ème Conférence sur les Systèmes Intelligents : Théories et Applications (SITA'2008), INPT, Rabat, 5-7 Mai 2008

Fodé Touré, Karim Baina, Walid Gaaloul. *Towards a hybrid algorithm for workflow graph structural verification*. 10th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS'08), ICEIS (3-2) 2008 : 442-447, 12 - 16, June 2008, Barcelona, Spain.

Fodé Touré, Karim Baina. *Vers un algorithme hybride de vérification structurelle de graphe de workflow*. 1ère Conférence internationale sur les Systèmes d'Information et Intelligence Économique (SIIE'2008), Hammamet, Tunisie, 14-16 février 2008