



**UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI**  
**FACULTE DES SCIENCES et TECHNIQUES**  
**TANGER**

**Centre d'Etudes Doctorales : « Sciences et Techniques de l'Ingénieur »**  
**Formation Doctorale : « Sciences et Techniques de l'Ingénieur »**

**THESE DE DOCTORAT**

**Présentée**

**Pour l'obtention du**

**DOCTORAT EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'INGENIEUR**

**Par :**

**Amadou DIABAGATE**

**Discipline : Informatique**

**Spécialité : Intelligence Artificielle et Big Data Science**

**E-Gouvernement : modélisation d'un système d'information décisionnel intégrant les concepts de l'intelligence artificielle, de Big Data et de data science pour une gouvernance efficace des marchés publics**

**Soutenue le 21 mai devant le Jury**

Pr. Mohamed ESSAIDI	Université Mohammed V-Souissi, ENSIAS de Rabat	Président
Pr. Bernard DOUSSET	Université Paul Sabatier, Toulouse	Rapporteur
Pr. Abdelhadi FENNAN	Université Abdelmalek Essaâdi, FST de Tanger	Rapporteur
Pr. Abdelhadi AKHARIF	Université Abdelmalek Essaâdi, FST de Tanger	Rapporteur
Pr. Aziz SOULHI	Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat	Examineur
Dr. Karim ERROUAKI	ECO Capacity Exchange, Londres	Invité
Pr. Abdellah AZMANI	Université Abdelmalek Essaâdi, FST de Tanger	Co-Directeur de Thèse
Pr. Mohamed EL HARZLI	Université Abdelmalek Essaâdi, FST de Tanger	Directeur de Thèse



*DEDICACES*

*A mes très chers parents*

*A ma très chère communauté de Tanger*

*A tous ceux qui refusent de semer l'injustice, la haine et le désordre*

## REMERCIEMENTS

Ma gratitude profonde et première et mes remerciements s'adressent tout d'abord au Seigneur de l'univers, gloire et majesté à Lui, qui m'a permis par sa volonté et sa miséricorde de mener à bien les travaux de recherche dans le cadre de cette thèse de doctorat.

Je sais gré à mon co-directeur de thèse, Monsieur Abdellah AZMANI, professeur au département « Génie informatique » de la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger qui a guidé mes premiers pas dans la recherche scientifique. Son dévouement, sa vision, ses compétences et sa grande disponibilité, qui ont été déterminants dans l'aboutissement de cette thèse, ne sauraient être tus. Il m'a, en effet, proposé un sujet de thèse qui répond à des problématiques bien identifiées et qui m'a orienté vers des concepts qui s'inscrivent dans les tendances à venir. Si, d'une part, l'exigence académique a fait de lui un professeur qui guide et propose, la bonne attention a, d'autre part, fait de lui un ami qui assiste et conseille. Qu'il trouve ainsi et ici la sincère gratitude d'un doctorant reconnaissant.

Je tiens de même à traduire toute ma grande reconnaissance à mon directeur de thèse, Monsieur Mohamed El HARZLI, professeur au département « Génie électrique » de la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, pour m'avoir donné l'opportunité de m'inscrire en thèse, pour sa disponibilité ainsi que pour sa générosité. Aussi, je lui adresse mes remerciements pour les conseils et les différentes orientations qu'il m'a prodigués durant nos fructueux entretiens.

Je suis fortement reconnaissant à l'endroit des membres du jury pour toute l'attention accordée au présent travail et pour les remarques constructives qu'ils ont émises.

- Je suis particulièrement honoré de la présence de Monsieur Mohamed ESSAIDI, directeur de l'ENSIAS de Rabat, qui a bien voulu présider cette soutenance de thèse de doctorat.
- J'exprime mes profonds remerciements envers Monsieur Bernard DOUSSET, professeur éminent à l'université Paul Sabatier de Toulouse, pour le rôle de rapporteur qu'il a volontiers accepté.
- Dans le même registre, je tiens à exprimer toute ma gratitude à monsieur Abdelhadi FENNAN, professeur à l'Université Abdelmalek Essaâdi de Tanger (Faculté des Sciences et Techniques) d'avoir bien voulu faire partie des rapporteurs de mon mémoire de thèse de doctorat.
- La présence de monsieur Abdelhadi AKHARIF, professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Abdelmalek Essaâdi (Tanger), en tant que rapporteur de cette thèse de doctorat est pour moi une grande fierté.

- Je remercie sincèrement le professeur Aziz SOULHI de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat pour avoir bien voulu examiner mon travail de thèse.
- Ma profonde gratitude envers le Docteur Karim ERROUAKI, conseiller spécial à ECO Capacity Exchange (Londres), qui me fait l'honneur d'être parmi les membres du jury de la soutenance de ma thèse.

Que trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements mes professeurs, et en particulier ceux des départements d'informatique, de génie électrique et de mathématiques.

Je tiens, également, à traduire mon amitié et mes remerciements à mes amis doctorants du laboratoire LIST (Laboratoire Informatique, Système et Télécommunication) et du laboratoire de mathématiques pour les nombreux soutiens et les échanges fructueux que nous avons eus.

Mes remerciements vont également à l'endroit de toute personne physique ou morale ayant contribué de près ou de loin à la bonne conduite et à l'aboutissement de la présente thèse de doctorat.

## **E-Gouvernement : modélisation d'un système d'information décisionnel intégrant les concepts de l'intelligence artificielle, de Big Data et de data science pour une gouvernance efficace des marchés publics**

Directeur de thèse : **Pr. Mohamed EL HARZLI**

Co-Directeur de thèse : **Pr. Abdellah AZMANI**

---

### **RESUME**

Ce mémoire de thèse de doctorat propose, dans le cadre du gouvernement électronique plus précisément de l'économie numérique, un système d'information décisionnel et innovant pour une dématérialisation intelligente des marchés publics. Le secteur des marchés publics, qui représente un poids économique considérable, fait l'objet de multiples problèmes, qui entravent le processus de développement de nos pays, dont les plus importants demeurent le manque de transparence et la corruption. L'e-gouvernement, à travers la dématérialisation et l'intégration d'une intelligence artificielle, est incontestablement un excellent outil à même de résoudre tout ou partie des problèmes de ce secteur.

Dans cette dynamique, les méthodes scientifiques et technologiques de l'intelligence artificielle, les concepts de Big Data et les méthodes de data science ont été agrégés afin de mettre en place un système intelligent et robuste intégrant une plateforme décisionnelle riche et performante, en vue de contribuer à une bonne gouvernance des marchés publics et une bonne utilisation de l'argent public, ainsi qu'à la prospérité des Etats et des entreprises.

En ce qui concerne les méthodes scientifiques de l'intelligence artificielle, la logique floue et les méthodes d'analyse multicritère AHP et FAHP ont été agrégées en vue d'une évaluation intelligente des offres. Quant aux méthodes technologiques, d'une part, le paradigme multi-agents a été utilisé afin de tirer profit des nombreux avantages d'un système modulaire et, d'autre part, le recours à l'ingénierie ontologique a permis de faire une description sémantique exhaustive des ressources facilitant ainsi la communication entre les agents et l'exécution par ces derniers de leurs différentes tâches.

Pour remédier aux limites des SGBDR et doter notre solution informatique d'une plateforme décisionnelle efficace pour les pouvoirs publics, les administrations publiques, les entreprises et les citoyens, nous nous sommes appuyés sur les technologies du Big Data et les méthodes de data science pour stocker et faire des traitements et des analyses statistiques sur les données. Ainsi, un outil d'aide à la décision basé sur l'apprentissage statistique (machine) a été mis en place afin d'orienter les entreprises vers les marchés où le risque de ne pas l'emporter est faible. La plateforme décisionnelle intègre également un volet e-participation qui permet d'associer les citoyens à la gouvernance des marchés publics et aux choix des priorités publiques.

Cette thèse de doctorat met, aussi, en évidence plusieurs perspectives de recherche qui constituent des pistes potentielles à explorer.

### **Mots clés**

E-Gouvernement, E-administration, E-Gouvernance, Economie numérique, Marchés publics, Appels d'offres, Intelligence artificielle, Big Data, Data Science, Web sémantique, Ontologie, Système multi-agents, Apprentissage machine, Logique Floue, Analyse Multicritère

---

## **E-Government: modeling of a smart information system integrating the concepts of artificial intelligence, Big Data and data science for effective governance of public procurement**

Thesis director: **Pr. Mohamed EL HARZLI**

Thesis co-director: **Pr. Abdellah AZMANI**

---

### **ABSTRACT**

This doctoral thesis proposes, as part of e-government more precisely digital economy, an innovative information system dedicated to the smart dematerialization of public procurement. Public procurement sector, which represents a considerable economic weight, is the subject of many problems that hinder the development process of our countries, which the most important are lack of transparency and corruption. E-Government, through dematerialization and integration of an artificial intelligence, is undoubtedly an excellent tool capable of solving all or part of the problems of this sector.

In this dynamic, scientific and technological methods of artificial intelligence, the concepts of Big Data and the methods of data science were used to achieve a robust system integrating a rich and effective decision making component with a view to contributing to good governance of public procurement, a proper use of public money and the prosperity of states and businesses.

With regard to scientific methods of artificial intelligence, fuzzy logic and multi-criteria analysis methods AHP and FAHP have been aggregated for an intelligent evaluation of tenders. Regarding technological methods, on the one hand, the use of multi-agents paradigm aims to take advantage of the numerous benefits of a modular system and, on the other hand, the recourse to ontological engineering allowed an exhaustive semantic description of resources facilitating the communication between agents and the execution of their tasks.

To overcome the limitations of relational database management systems and provide the system with an efficient decision support platform for governments, public administrations, businesses and citizens, the technologies of Big Data and the methods of data science were used to store and perform statistical processing on the data generated in the context of public procurement. Thus, a decision-making tool based on supervised machine learning was developed to guide businesses towards contracts where the risk of not winning is low. This decision support platform integrates also an e-participation component, which allows taking into account the views of citizens on the governance of public procurement and the choices of public priorities.

This thesis also highlights several research prospects that constitute potential avenues to be explored.

### **Keywords**

E-Government, E-Administration, E-Governance, Digital Economic, Procurement, Tendering, Artificial Intelligence, Big Data, Data Science, Semantic Web, Ontology, Multi-Agents System, Machine Learning, Fuzzy Logic, Multi-criteria Analysis

## LISTE DES PUBLICATIONS

### *Revue internationale*

- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI: «Tendering process: improvement of analysis and evaluation of tenders based on the use of fuzzy logic and rule of proportion», International Journal of Computer Applications (IJCA), Volume 101 - No.14, September 2014.
- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI: «The choice of the best proposal in tendering based on the use of AHP method: case of procurement of IT master plan's realization», Internal Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS), Volume7-No.12, 2015.
- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI: «E-tendering: multi-agents decision support system for businesses integrating the concepts of machine learning», International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development (IJETED), Volume 6-No.5, 2015.
- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI: « Modeling of a multi-agents system for tendering integrating the concepts of ontology and Big Data», Global Journal of Computer Science (GJCS), Volume 5, No.2, 2015.
- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI: « Selection of the best tender for the realization of it master plan using fuzzy AHP», International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), **Article soumis**, 2015.

### *Conférences internationales*

- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI : « Dématérialisation des procédures d'appels d'offres : Proposition d'une méthode d'analyse et d'évaluation des offres », présentée à la 9<sup>ème</sup> Conférence internationale SITA (Systèmes Intelligents : Théories et Applications), 7-8 Mai 2014, Rabat, Maroc.
- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI : « E-gouvernance : Enjeux et risques de la dématérialisation des marchés publics et voie vers une smart dématérialisation », présentée au colloque international sur la Gouvernance, 08-10 Décembre 2014, Tétouan, Maroc.
- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI: « Modeling of a multi-agents system for tendering integrating the concepts of ontology and Big Data », présentée à la "3<sup>rd</sup> global conference on computer science, software, networks and engineering", 19-21 November 2015, Istanbul, Turquie.

### *Conférences nationales*

- Amadou DIABAGATE, Abdellah AZMANI, Mohamed EL HARZLI : « E-administration, étude préalable en vue de la proposition d'une solution aux problèmes des relations Administration-Entreprise », présentée à la 15<sup>ème</sup> journée scientifique de l'université AbdelMalek Essaadi, 20-21 Décembre 2013, Tétouan, Maroc.



## TABLE DES MATIERES

<b>Résumé.....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Liste des publications.....</b>	<b>7</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>8</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>15</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>16</b>
<b>Liste des acronymes .....</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>20</b>
<b>PARTIE I - CONTEXTE APPLICATIF : E-GOUVERNEMENT ET MARCHES PUBLICS.....</b>	<b>26</b>
<b>CHAPITRE I : LE GOUVERNEMENT ELECTRONIQUE.....</b>	<b>27</b>
<b>I- Introduction.....</b>	<b>27</b>
<b>II- Définition et compréhension de l’e-gouvernement .....</b>	<b>28</b>
II-1. Définition de l’e-gouvernement et de l’e-gouvernance.....	28
II-1.1. Définition de l’e-gouvernement .....	28
II-1.2. Définition de l’e-gouvernance .....	29
II-2. Les dimensions ou niveaux de l’e-gouvernement .....	29
II-2.1. Dimension Administration à Citoyen physique (Government to Citizen : G2C) .....	30
II-2.2. Dimension Administration à Administration (Government to Government: G2G).....	31
II-2.3. Dimension Administration à Entreprise (Government to Business: G2B) .....	31
II-2.4. Dimension Administration à Employé (Government to Employee: G2E) .....	31
II-3. Les phases d’évolution dans l’adoption de l’e-gouvernement .....	32
<b>III- Etat de l’art de l’adoption et du développement de l’e-gouvernement .....</b>	<b>33</b>
III-1. Etat de l’art de l’adoption de l’e-gouvernement dans les pays en voie de développement .....	34
III-1.1. E-gouvernement en Côte d’Ivoire.....	35
III-1.2. E-gouvernement au Maroc .....	36
III-1.3. E-gouvernement au Yémen .....	37
III-1.4. L’e-gouvernement en Bolivie .....	38
III-2. Etat de l’art de l’adoption de l’e-gouvernement dans les pays développés .....	39
III-2.1. E-gouvernement en Corée du Sud .....	39
III-2.2. E-gouvernement en Australie .....	40
III-2.3. E-gouvernement au Canada.....	41

III-2.4. E-gouvernement en Suède .....	42
<b>IV- Les avantages de l'e-gouvernement .....</b>	<b>42</b>
IV-1. Les avantages de l'e-gouvernement pour les citoyens physiques et moraux .....	42
IV-2. Les avantages pour les administrations publiques et leurs employés .....	43
<b>V- Les défis et barrières à l'adoption et au développement de l'e-gouvernement .....</b>	<b>44</b>
V-1. Défis et barrières techniques et technologiques .....	44
V-2. Défis et barrières politico-économiques, stratégiques et organisationnels .....	45
V-3. Défis et barrières humains, sociaux et culturels .....	46
V-4. Défis et barrières juridiques et légaux .....	47
<b>VI- Conclusion.....</b>	<b>47</b>
<b>CHAPITRE II : PRESENTATION DES MARCHES PUBLICS ET CADRAGE LOGIQUE DES APPELS D'OFFRES .....</b>	<b>48</b>
<b>I- Introduction.....</b>	<b>48</b>
<b>II- Présentation et compréhension des marchés publics .....</b>	<b>49</b>
II-1. Définition et types de marchés publics .....	49
II-1.1. Définition .....	49
II-1.2. Les différents types de marchés publics.....	49
II-2. Modes et procédures de passation des marchés publics.....	50
II-2.1. Les procédures non formalisées .....	50
II-2.2. Les procédures formalisées .....	50
<b>III- L'appel d'offres : mode naturel de passation des marchés publics.....</b>	<b>51</b>
III-1. Présentation des appels d'offres .....	51
III-2. Les étapes du processus d'appel d'offres .....	52
<b>IV- Cadrage logique des appels d'offres .....</b>	<b>57</b>
IV-1. Les problèmes du processus d'appel d'offres.....	57
IV-1.1. Construction de l'arbre à problèmes.....	57
IV-1.2. Analyse des problèmes des appels d'offres .....	59
IV-1.2.1. La corruption dans les appels d'offres.....	59
IV-1.2.2. Les anomalies et dysfonctionnements du processus d'appel d'offres .....	61
IV-1.2.3. Le manque de compétence des acteurs impliqués dans le processus d'appel d'offres.....	63
IV-2. Analyse des objectifs à atteindre pour une bonne gouvernance des appels d'offres .....	63
IV-2.1. L'arbre à solutions .....	65
IV-2.2. Etude des objectifs dans le cadre de l'amélioration du processus d'appel d'offres .....	65

IV-2.2.1. La réduction de la corruption dans la gestion des appels d'offres.....	65
IV-2.2.2. La réduction et/ou l'éradication des anomalies et dysfonctionnements dans le processus d'appel d'offres .....	66
IV-2.2.3. L'acquisition des compétences par les différents acteurs.....	67
<b>V- Conclusion .....</b>	<b>67</b>
<b>PARTIE II - PROPOSITION D'UN PROJET E-MARCHE PUBLIC ET RESULTATS SCIENTIFIQUES DES TRAVAUX DE RECHERCHE .....</b>	<b>68</b>
<b>CHAPITRE III : PROPOSITION D'UN PROJET DE GESTION DES MARCHES PUBLICS .....</b>	<b>69</b>
<b>I- Introduction.....</b>	<b>69</b>
<b>II- E-gouvernement et secteur des marchés publics .....</b>	<b>70</b>
II-1. Le principe de la dématérialisation .....	70
II-2. La dématérialisation des marchés publics.....	71
II-3. Les avantages de la dématérialisation des marchés publics.....	72
II-3.1. Plus de transparence dans la gestion des marchés publics .....	72
II-3.2. Réduction des coûts .....	72
II-3.3. Modernisation et efficacité du processus de passation des marchés .....	73
II-3.4. Gain de temps et de productivité.....	73
II-3.5. Meilleure communication et diffusion de l'information sur les marchés .....	73
II-3.6. Plus de concurrence et l'amélioration de la qualité des prestations .....	74
II-4. Les risques et barrières de la dématérialisation des marchés publics .....	74
II-4.1. Les risques internes .....	74
II-4.2. Les risques externes .....	75
II-4.3. Les risques technologiques .....	75
II-4.4. Les risques relatifs à la sécurité et au contrôle des données et des infrastructures .....	75
II-4.5. La résistance au changement et le manque de compétence chez certains acteurs .....	76
II-4.6. L'absence et le coût élevé des infrastructures.....	76
<b>III- Construction d'un projet de gestion des marchés publics.....</b>	<b>76</b>
III-1. L'élaboration du dossier d'appel d'offres.....	77
III-2. La création d'une bibliothèque de dossiers d'appel d'offres certifiés et normés.....	77
III-4. L'évaluation intelligente des offres .....	79
III-5. Le renforcement de la sécurité informatique .....	79
III-6. La gestion et le suivi de la réalisation des marchés et des périodes post-livraison et post-garantie .....	81
III-6.1. La gestion et le suivi de la réalisation du marché .....	81

III-6.2. La gestion et le suivi de la période post-livraison et post-garantie .....	82
III-7. La mise en place d'un module e-réputation.....	82
III-8. La création d'une plateforme décisionnelle dédiée à la gouvernance des marchés publics .....	82
III-9. Autres propositions pour une dématérialisation effective des marchés publics .....	83
<b>IV- Conclusion.....</b>	<b>84</b>
<b>CHAPITRE IV : LES RESULTATS SCIENTIFIQUES DES TRAVAUX DE RECHERCHE .....</b>	<b>85</b>
<b>I- Introduction.....</b>	<b>85</b>
<b>II- Proposition d'une méthode d'analyse et d'évaluation des offres .....</b>	<b>85</b>
<b>III- Utilisation de la logique floue pour une évaluation intelligente des offres.....</b>	<b>86</b>
III-1. Présentation de la logique floue et travaux de recherche connexes existants.....	87
III-2. Les étapes de paramétrage pour l'application de la logique floue.....	88
III-2.1. Variables d'entrée et de sortie .....	88
III-2.2. Définition des ensembles flous, des termes linguistiques et des fonctions d'appartenance .....	89
III-2.3. Construction de la base de règles d'inférence .....	90
III-4. La présentation des résultats obtenus.....	91
III-5. Exploitation des résultats obtenus.....	93
III-5.1. Principe d'exploitation des résultats.....	93
III-5.2. Quelques exemples de résultats .....	93
<b>IV- Utilisation de la méthode AHP pour l'évaluation des offres .....</b>	<b>94</b>
IV-1. Présentation de la méthode AHP et des travaux de recherche connexes existants.....	94
IV-2. Application aux marchés publics de réalisation de schéma directeur informatique.....	97
IV-2.1. Schéma directeur informatique.....	97
IV-2.2. Identification des critères d'attribution.....	98
IV-2.3. Construction des matrices de jugement et détermination des vecteurs de priorité.....	100
IV- 2.3.1. La matrice de jugement des critères et le vecteur de priorité associé.....	100
IV-2.3.2. Le tableau récapitulatif de l'étude des matrices de jugement des sous-critères .....	102
IV-2.4. L'étude des offres et la détermination de la meilleure proposition .....	102
<b>V- Utilisation de la méthode FAHP pour l'évaluation des offres .....</b>	<b>104</b>
V-1. Présentation de la méthode FAHP .....	104
V-1.1. Notions d'ensemble flou et de nombre flou.....	104
V-1.2. Méthode FAHP et travaux de recherche connexes existants .....	106
V-2. Application aux marchés publics de réalisation de schéma directeur informatique .....	108

IV-2.1. La construction des matrices de jugement et détermination des vecteurs de priorité.....	109
IV-2.1.1. La matrice de jugement des critères et le vecteur de priorité associé.....	109
IV-2.1.2. Le tableau récapitulatif de l'étude des matrices de jugement des sous-critères .....	109
IV-2.2. L'étude des offres et la détermination de la meilleure proposition .....	110
<b>VI- Apprentissage statistique (machine) : orientation des entreprises vers les marchés appropriés.....</b>	<b>112</b>
VI-1. Présentation de l'apprentissage statistique (machine) et travaux connexes existants .....	112
VI-2. Data Science, Big Data Science et Big Data Analytics .....	113
VI-3. Eléments fondamentaux de la modélisation statistique .....	114
VI-3.1. Les variables du modèle statistique .....	115
VI-3.2. La stratégie d'obtention des données.....	116
VI-3.3. L'approche adoptée pour le stockage et le traitement statistique des données.....	116
VI-4. Méthodes d'apprentissage statistique (machine) utilisées.....	117
VI-4.1. La régression logistique multinomiale (polytomique).....	117
VI-4.2. Les forêts aléatoires .....	119
VI-4.3. Les réseaux de neurones .....	120
VI-5. Codes pour l'exécution des différentes méthodes .....	122
VI-6. Mise en œuvre expérimentale et interprétation des résultats.....	125
VI-6.1. Obtention et description du jeu de données utilisé .....	125
VI-6.2. Analyse et interprétation des résultats.....	126
<b>VII- Conclusion.....</b>	<b>127</b>
<b>PARTIE III - MODELISATION INFORMATIQUE ET PROTOTYPAGE .....</b>	<b>128</b>
<b>CHAPITRE V : MODELISATION DU SYSTEME D'INFORMATION.....</b>	<b>129</b>
<b>I- Introduction.....</b>	<b>129</b>
<b>II- Les architectures du système proposé .....</b>	<b>129</b>
II-1. L'architecture générale du système.....	130
II-2. L'architecture détaillée du système.....	130
II-3.1. La couche interface Homme-Machine (IHM).....	132
II-3.2. La couche d'adaptation et d'évaluation .....	132
II-3.3. La couche sémantique.....	132
II-3.4. La couche physique et Big Data .....	132
<b>III- Les approches technologiques de la solution informatique proposée.....</b>	<b>133</b>
III-1. Approche basée sur les ontologies du web sémantique .....	134

III-1.1. Présentation de l'ontologie existante utilisée.....	134
III-1.2. Présentation de l'ontologie mise en place pour notre solution informatique.....	136
III-2. Approche système multi-agents : une composante maitresse de la solution proposée.....	141
III-2.1. Les rôles des agents de la couche IHM.....	142
III-2.2. Les rôles des agents de la couche d'adaptation et d'évaluation.....	144
III-2.3. Les rôles des agents de la couche sémantique .....	147
III-3. Approche Big Data : l'enjeu du stockage et du traitement des données volumineuses.....	147
III-3.1. Les différentes sources de données utilisées.....	148
III-3.1.1. Les entrepôts de données des institutions intervenant dans la gouvernance des marchés publics.....	149
III-3.1.2. Le web et les réseaux sociaux.....	149
III-3.1.3. Le référentiel de prix .....	150
III-3.1.4. Le système d'information proposé .....	150
III-3.2. Les rôles des membres de l'équipe Big Data.....	151
<b>IV- Les principales fonctionnalités du système .....</b>	<b>151</b>
IV-1. Génération des documents du dossier d'appel d'offres.....	151
IV-2. Evaluation intelligente et efficace des offres basée sur la méthode multicritère FAHP.....	153
IV-3. Outil d'aide à la décision basé sur les concepts de l'apprentissage machine pour l'orientation des entreprises.....	155
<b>V- Conclusion .....</b>	<b>157</b>
<b>CHAPITRE VI : PROTOTYPAGE DU SYSTEME D'INFORMATION .....</b>	<b>158</b>
<b>I- Introduction.....</b>	<b>158</b>
<b>II- Architecture technique du système SCIS4TP .....</b>	<b>158</b>
<b>III- Développement et manipulation de l'ontologie mise en place.....</b>	<b>160</b>
III-1. Cadre logiciel pour le développement de l'ontologie.....	160
III-2. Opérations sur l'ontologie mise en place.....	161
<b>IV- Développement des agents du système SCIS4TP .....</b>	<b>162</b>
IV-1. Cadre logiciel pour l'implémentation des agents du système SCIS4TP .....	163
IV-2. Codes illustratifs portant sur le développement des agents .....	164
IV-3. Comportement de l'agent évaluation des offres (AEO) .....	165
<b>V- Installation et utilisation des technologies Big Data et Data Science .....</b>	<b>167</b>
V-1. Installation et configuration de la distribution Big Data Cloudera .....	167
V-2. Mise en œuvre d'un exemple de l'approche e-participation des citoyens à la gouvernance des marchés publics.....	168

---

V-2.1. Récupération et préparation des données.....	169
V-2.2. Application de la visualisation des données (data visualisation).....	170
V-2.3. Application de l'analyse des médias sociaux (social media analytics) et de l'analyse des sentiments (sentiment analysis) .....	172
<b>VI- Conclusion.....</b>	<b>175</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>176</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>181</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>194</b>
Annexe 1 : Présentation des approches technologiques.....	195
Annexe 2 : Description détaillée des marchés publics.....	212
Annexe 3 : Description détaillée des appels d'offres.....	218
Annexe 4 : Autres éléments de la modélisation informatique .....	221
Annexe 5 : Les détails des calculs de l'application de la méthode AHP .....	224
Annexe 6 : Les détails des calculs de l'application de la méthode FAHP .....	229

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. 1: Classement de United Nations E-Government Survey 2014 .....	34
Tableau 1. 2: Les projets transversaux et sectoriels du projet « E-Gouv » ivoirien.....	35
Tableau 4. 1: Les variables linguistiques d'entrée .....	88
Tableau 4. 2: Les variables linguistiques de sortie .....	88
Tableau 4. 3: Base de règles d'inférence .....	90
Tableau 4. 4: Résultats donnés par le logiciel Matlab .....	93
Tableau 4. 5: Tableau d'équivalence des préférences .....	95
Tableau 4. 6: Tableau des indices IA.....	97
Tableau 4. 7: Quelques dossiers d'appel d'offres consultés .....	99
Tableau 4. 8: Matrice de jugement des critères .....	101
Tableau 4. 9: Détermination du vecteur de priorité .....	101
Tableau 4. 10: Calcul des indices de cohérence interne.....	101
Tableau 4. 11: Les poids des sous-critères.....	102
Tableau 4. 12: Comparaison des offres suivant le critère Prix (C1) .....	102
Tableau 4. 13: Les poids des offres suivant les sous-critères .....	103
Tableau 4. 14: Résultats de comparaison des offres suivant les critères.....	104
Tableau 4. 15: Echelle de conversion floue .....	107
Tableau 4. 16: Matrice de jugement des critères.....	109
Tableau 4. 17: Détermination du vecteur de priorité .....	109
Tableau 4. 18: Les poids des sous-critères.....	110
Tableau 4. 19: Comparaison des offres suivant le critère Prix (C1) .....	110
Tableau 4. 20: Les poids des offres suivant les sous-critères .....	111
Tableau 4. 21: Les résultats finaux de comparaison des offres.....	112
Tableau 4. 22 : Pourcentage d'observations bien classées suivant le nombre de neurones dans la couche cachée.....	126
Tableau 4. 23: Pourcentage d'observations bien classées suivant le nombre d'arbres .....	126
Tableau 4. 24: Pourcentage d'observations bien classées suivant la méthode utilisée .....	127
Tableau 5. 1 : Classes et propriétés de l'ontologie mise en place.....	138



## LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1: Les dimensions du gouvernement électronique.....	30
Figure 1. 2: Les niveaux ou phases d'évolution de l'e-gouvernement.....	32
Figure 2. 1: Arbre à problèmes des appels d'offres.....	58
Figure 2. 2: Arbre à solutions des problèmes des appels d'offres .....	64
Figure 3. 1: Les 5 grandes catégories de solutions informatiques dans le cycle de passation des marchés publics.....	71
Figure 4. 1: Le processus d'implémentation de la logique floue .....	87
Figure 4. 2: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «ConvNature ».....	89
Figure 4. 3: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «CompMontant» .....	89
Figure 4. 4: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «Ancienneté» .....	90
Figure 4. 5: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «RoleEnt» .....	90
Figure 4. 6: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «ConvNivInt» .....	90
Figure 4. 7: Fonction d'appartenance pour la variable de sortie «ContributionRef».....	90
Figure 4. 8: Fonction d'appartenance pour la variable de sortie «QualiteRef» .....	90
Figure 4. 9: La surface de variation de QualiteRef en fonction de CompMontant et Ancienneté.....	92
Figure 4. 10: La surface de variation de QualiteRef en fonction de ConvNature et CompMontant.....	92
Figure 4. 11: La surface de variation de ContributionRef en fonction de RoleEnt et ConNivInt.....	92
Figure 4. 12: La surface de variation QualiteRef en fonction de ConvNature et Ancienneté.....	92
Figure 4. 13: La variation des variables de sorties QualiteRef et ContributionRef .....	92
Figure 4. 14: Hiérarchie des critères et sous-critères d'attribution .....	100
Figure 4. 15: Nombre flou triangulaire .....	105
Figure 4. 16 : Intersection entre Sj et Si.....	108
Figure 4. 17: Perceptron multicouches .....	121
Figure 4. 18: Code pour la mise en œuvre de la régression logistique avec Mahout.....	123
Figure 4. 19: Code pour la mise en œuvre du perceptron multicouche avec Mahout.....	123
Figure 4. 20: Premier code pour la mise en œuvre des forêts aléatoires avec Mahout .....	124
Figure 4. 21: Deuxième code pour la mise en œuvre des forêts aléatoires avec Mahout .....	125
Figure 5. 1: Architecture générale du système.....	130
Figure 5. 2: Architecture détaillée du système.....	131
Figure 5. 3: Architecture en couches du système.....	133
Figure 5. 5: Représentation des classes et des relations entre les classes par l'outil OntoGraf .....	139
Figure 5. 6: Représentation de la classe Marché Public, ses sous-classes et les relations entre elles par l'outil OntoGraf .....	139
Figure 5. 7: Aperçu du fichier rdf de l'ontologie mise en place .....	140
Figure 5. 8: Représentation des agents du système.....	142
Figure 5. 9: Architecture de la plateforme Big Data et Data Science du système .....	148
Figure 5. 10: Interaction entre agents pour la génération du dossier d'appel d'offres.....	152
Figure 5. 11: Interaction entre agents pour l'évaluation des offres.....	154
Figure 5. 12: Le diagramme des séquences des interactions entre agents pour donner la probabilité de gagner un marché.....	156
Figure 6. 1 : Architecture technique du système.....	159
Figure 6. 2: Aperçu de l'éditeur Protégé implémentant l'ontologie développée pour notre système .....	160

Figure 6. 3: Exemples de Code SPARQL et SQL sur l'ontologie développée pour le système.....	161
Figure 6. 4: Exemple de code Java avec Jena pour la manipulation de l'ontologie du système .....	162
Figure 6. 5: Les agents du système sur la plateforme JADE .....	163
Figure 6. 6: Illustration d'échange de message ACL entre deux agents .....	164
Figure 6. 7: Code illustratif de la structure d'une classe héritant de la classe « agent » de JADE .....	165
Figure 6. 8: Code illustrant partiellement le comportement de l'agent AEO .....	166
Figure 6. 9: Les technologies Big Data intégrées dans Cloudera.....	167
Figure 6. 10 : Exemple de requête Hive sur Hue .....	168
Figure 6. 11: Code R pour la récupération et le nettoyage des tweets .....	169
Figure 6. 12: Code R pour la visualisation des données .....	171
Figure 6. 13: Le nuage de mots (wordcloud) représentant les mots les plus fréquents dans les tweets....	171
Figure 6. 14: Histogramme des mots les plus fréquents .....	172
Figure 6. 15: Code R pour l'analyse des sentiments (sentiment analysis).....	173
Figure 6. 16: Code R pour la visualisation des résultats sur un histogramme .....	174
Figure 6. 17: Histogramme des opinions .....	174
Figure A. 1: Les couches du web sémantique ( <a href="http://www.w3.org">http://www.w3.org</a> ).....	196
Figure A. 2: Structure d'un triplet RDF.....	197

**LISTE DES ACRONYMES**

AAS	Agent Apprentissage Statistique
ADSIB	Agencia para el Desarrollo de la Sociedad de la Información en Bolivia
AEO	Agent Evaluation des Offres
AGC	Agent Gestion de Contractualisation
AGDAO	Agent Génération du Dossier d'Appel d'Offres
AGPU	Agent Gestion des Profils Utilisateurs
AGR	Agent Gestion des Ressources
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIC	Agent Interface Commanditaire
AICAO	Agent Interface Commission d'Appel d'Offres
AIE	Agent Interface Entreprise
AO	Appel d'Offres
APL	Agent Planificateur
APLG	Agent Post-Livraison et Post-Garantie
ARO	Agent Réception des Offres
ASCR	Agent Suivi et Contrôle de Réalisation
ASI	Agent Sécurité Informatique
ASS	Agent Sélection des Soumissionnaires
CAO	Commission d'Appel d'Offres
CICG	Centre d'Information et de Communication Gouvernementale
DCMI	Dublin Core Metadata Initiative
EGDI	E-Government Development Index
ETI	Entreprise de Taille intermédiaire
FAHP	Fussy Analytic Hierarchy Process
FIPA	Foundation for intelligent Physical Agents
FIPA	Foundation of Intelligent Physical Agents
FIPA-ACL	FIPA Agent Communication Language
G2B	Government to Business
G2C	Government to Citizen
G2E	Government to Employee
G2G	Government to Government
GE	Grande Entreprise
IA	Intelligence Artificielle
JADE	Java Agent Development Environment
KQML	Knowledge Query of Manipulation Language

OBB	Out-Of-Bag
OCDE	Organisation pour la Coopération et le Développement des Etats
ONI	Office Nationale d'Identification
OWL	Ontology Web Language
PME	Petite et Moyenne Entreprise
RDF	Resource descriptive Framework
RDFS	Resource descriptive Framework Schema
SAEPC	Sous Agent Estimation Prix et Caution
SAF	Sous Agent FAHP
SAGL	Sous Agent Gestion Litige
SAJD	Sous Agent Jeux de Données
SAOPC	Sous Agent Ouverture des Candidatures et des Plis
SAPR	Sous Agent Proclamation des Résultats
SMA	Système Multi-Agents
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication
TPE	Très Petite Entreprise
UE	Union Européenne
UN (ONU)	United Nation (Organisation des Nations unis)
URI	Uniform Ressource Identifier

---

## INTRODUCTION GENERALE

---

Le gouvernement, en tant qu'acteur clé et légitime de la gouvernance publique, se doit de se doter des moyens nécessaires pour répondre aux attentes dont ont droit les personnes physiques et morales. Ainsi, tout au long de l'histoire, de nombreux systèmes et outils ont été inventés et utilisés pour rendre l'action gouvernementale plus efficace. Avec l'avènement des technologies de l'information et de la communication, l'action gouvernementale à tous les niveaux et dans tous les secteurs connaît une transformation radicale marquée par une forte amélioration de son efficacité. Les concepts d'e-gouvernement, d'e-administration et d'e-gouvernance se sont invités au cœur de la machine gouvernementale, et ce, dans les pays développés comme dans les pays en voie de développement.

Avec le développement technologique de nos sociétés, l'intégration et le développement de l'e-gouvernement est un processus irréversible. Ainsi pour Gupta et Jana, l'e-gouvernement n'est plus aujourd'hui une option mais une nécessité pour tout gouvernement soucieux d'une bonne gouvernance (Gupta et Jana, 2003). Les initiatives de gouvernement électronique se multiplient à travers le monde, tant ses avantages sont nombreux. Pour accélérer l'avènement d'un véritable gouvernement électronique, les entreprises, les organisations non gouvernementales, les universités, la société civile, conscientes des enjeux, font bloc autour du gouvernement dans de nombreux pays pour apporter leurs contributions.

Comme dans bien d'autres domaines, il existe de grandes différences entre les processus d'intégration et de développement de l'e-gouvernement dans les pays développés et dans les pays en voie de développement. Si la quasi-totalité des premiers ont atteint la phase de maturité de l'e-gouvernement, les seconds, dans leur grande majorité, sont dans une phase embryonnaire. Ce retard peut s'expliquer par le manque de financement, l'absence ou l'insuffisance d'infrastructures adéquates et de technologies de l'information et de la communication, notamment internet, surtout dans les milieux ruraux, l'analphabétisme numérique, la résistance au changement, l'absence d'un cadre juridique relatif aux activités électroniques, etc., (Lam, 2005; Khan et al., 2010; Ndou, 2004). Il faut à cela ajouter l'absence de prise de conscience des pouvoirs publics de l'importance

que peut avoir l'intégration de la culture des services et de l'économie numériques pour le développement de leurs pays. Bien qu'ayant atteint la phase de maturité, le processus de développement de l'e-gouvernement dans les pays développés connaît aussi des obstacles et des défis à relever notamment ceux de l'insécurité informatique et de l'adaptation aux changements rapides des technologies de l'information et de la communication (Al-Shehry et al, 2006 ; Lau, 2003).

Le champ d'application de l'e-gouvernement est vaste et il inclut de nombreux secteurs d'activités : l'agriculture, la santé, le commerce, la diplomatie, les marchés publics, l'éducation, etc.

Notre travail de thèse de doctorat s'inscrit dans la dynamique de l'e-gouvernement plus précisément de l'économie numérique en s'intéressant à la dématérialisation des marchés publics. Ces derniers représentent un poids économique considérable estimé à environ 20% du PIB mondial (Auriol, 2006). Le secteur des marchés publics, d'après les rapports des organismes internationaux, est dans tous les pays l'un des secteurs les plus corrompus engendrant une dilapidation des ressources financières publiques et freinant par conséquent le processus de développement de nos pays (Organisation for Economic Co-operation and Development and Asian Development Bank, 2008). Même les pays dit développés sont souvent éclaboussés par des affaires de corruption relatives aux marchés publics, plus ou moins médiatisées, impliquant des personnalités politiques, parfois au sommet de l'Etat.

Les problèmes liés à la gouvernance des marchés publics sont légion. Hormis la corruption galopante, d'autres problèmes gangrènent ce secteur tels que le choix légitime et logique des priorités, la mauvaise analyse et la mauvaise évaluation des offres, la part de subjectivité dans le code des marchés publics, l'attribution des marchés dominée par certaines entreprises, l'absence de mesures en faveur des petites et moyennes entreprises (PME). L'intégration de l'e-gouvernement via la dématérialisation des marchés publics est un véritable tremplin à la résolution de tout ou partie de ces problèmes (Oyediran et Akintola, 2011).

Les avantages de la dématérialisation des marchés publics sont nombreux à la fois pour les entreprises, les administrations publiques et les gouvernements incitant bon nombre parmi ces derniers à l'inscrire comme un axe majeur de leurs programmes d'e-gouvernement, de bonne

gouvernance et d'état de droit. Malheureusement, les pays en voie de développement accusent un très grand retard dans la mise en œuvre d'une politique de transparence de leurs marchés publics basée sur la dématérialisation pouvant leur permettre de tirer pleinement profit des investissements et de l'argent public.

Toutefois, nonobstant ses nombreux avantages, la dématérialisation des marchés publics présente des risques qui dissuadent certains acteurs et retardent son évolution (Parida et Sophonthummapharn, 2010). Ces risques peuvent être considérablement réduits si les différents acteurs prennent les précautions et les mesures adéquates et agissent de façon synergique.

Les marchés publics sont attribués via plusieurs modes de passation dont l'appel d'offres. Les autres modes sont utilisés, au détriment de l'appel d'offres, dans des conditions précises définies par la loi telles que :

- les cas des commandes directes dont les montants ne doivent pas dépasser une valeur spécifiquement limitée par la loi ;
- la mise en cause de la sécurité et la défense nationale ;
- l'urgence ;
- le fait qu'une seule entreprise a les capacités de réaliser le marché ;
- etc.

Ainsi, les travaux menés dans le cadre de cette thèse se focalisent sur l'appel d'offres qui est mode naturel de passation des marchés publics.

Ce travail de thèse est une contribution en vue d'une bonne gouvernance des marchés publics. En clair, Il s'agit de modéliser un système d'information qui intègre les concepts d'intelligence artificielle, de Big Data et de data science, capable de résoudre tout ou partie des problèmes relatifs à la passation des marchés publics.

En termes de concepts d'intelligence artificielle, les méthodes scientifiques et technologiques de cette discipline ont été utilisées. La logique floue, les méthodes multicritères d'aide à la décision AHP et FAHP ont été appliquées pour l'analyse et l'évaluation des offres qui est l'étape la plus cruciale dans le processus d'appel d'offres. L'utilisation de ces méthodes vise une évaluation intelligente, efficace et transparente des offres en vue d'en choisir la meilleure. Les systèmes

multi-agents et les ontologies du web sémantique constituent les méthodes technologiques utilisées. Le recours au paradigme multi-agents a pour objectif de tirer profit des nombreux avantages d'un système modulaire tels que la grande fiabilité, la grande rapidité, la maintenance aisée, la facilité de la modélisation et de la programmation. L'usage des ontologies du web sémantique a permis l'annotation et la bonne structuration des informations au sein de notre solution informatique tout en mettant à la disposition des agents logiciels un vocabulaire identique pour faciliter leurs communications et leurs interactions.

En ce qui concerne le Big Data et le data science, la solution que nous proposons dans le cadre de notre travail de thèse, intègre les infrastructures du Big Data en vue de l'installation d'un pipeline pour l'importation des données structurées et non-structurées et leur stockage. Ensuite, les techniques avancées de data science telles que l'apprentissage statistique, l'apprentissage machine, le traitement du langage naturel (natural language processing), la fouille de textes (text mining), l'analyse des médias sociaux (le social media analytics), l'analyse des sentiments (le sentiment analysis), la visualisation des données (data visualization), l'analyse des données (data analysis), etc., sont utilisées pour le traitement des données. L'utilisation de ces méthodes de la statistique (de data science) a pour objectif de mettre en place une plateforme décisionnelle robuste capable de guider les pouvoirs publics, les entreprises et les pouvoirs adjudicateurs dans la gouvernance des marchés publics. Cette plateforme intègre un volet très important qui est celui de l'e-participation des citoyens à la gouvernance des marchés publics. Il s'agit de récupérer les avis des citoyens avant, pendant et après la passation des marchés publics, sur les réseaux sociaux en particulier et internet en général, en vue de leurs traitements statistiques grâce aux méthodes de data science notamment l'analyse des sentiments pour sonder leurs opinions. L'apprentissage statistique (machine) supervisé a été utilisé pour mettre en place un outil d'aide à la décision pour les entreprises afin de guider celles-ci vers les marchés où leurs chances de l'emporter sont grandes.

Ce mémoire de thèse est subdivisé en trois grandes parties dont chacune est subdivisée en deux chapitres.

La première partie est dédiée au contexte applicatif de nos travaux de recherche et comprend les chapitres un et deux. **Le premier chapitre** définit le gouvernement électronique et précise la différence entre e-gouvernement, e-administration et e-gouvernance. Ce chapitre évoque,



également, les dimensions et les phases de l'e-gouvernement ainsi que l'état de l'art de son adoption et de son développement dans le monde. Il s'achève par les avantages de l'e-gouvernement ainsi que les défis et obstacles qui ralentissent son développement. **Le deuxième chapitre** porte sur les marchés publics. Il offre les éléments nécessaires pour comprendre les marchés publics tels que leur définition, leurs types, leurs modes de passation et les différents acteurs de leur gouvernance. Ce chapitre présente un cadrage logique des appels d'offres en tant que mode naturel de passation des marchés publics, mettant ainsi en exergue leurs problèmes et les solutions potentielles qu'on peut y apporter.

La deuxième partie amorce nos contributions scientifiques à travers les chapitres trois et quatre. **Le troisième chapitre** propose, dans le cadre de l'e-gouvernement, un projet de gestion informatique des marchés publics basé sur une smart dématérialisation, une évaluation intelligente des offres, une plateforme décisionnelle et une minimisation des risques. Ce projet de gestion constitue une véritable feuille de route et un socle solide pour nos travaux de recherche effectués dans le cadre de cette thèse et pour les travaux post-thèse. Ce chapitre aborde l'intégration de l'e-gouvernement dans le secteur des marchés publics, les avantages de celle-ci ainsi que les obstacles et risques qu'elle comporte. Il décrit, par la suite, les différents axes du projet proposé pour la gestion des marchés publics. **Le quatrième chapitre** présente les contributions scientifiques issues de nos travaux de recherche. Il débute par la proposition d'une méthode d'analyse et d'évaluation des offres que nous avons renforcée par l'utilisation de la logique floue pour l'évaluation des offres selon les critères d'attribution en traitant le cas du critère « référence ». Nous avons également consolidé le caractère intelligent de l'évaluation des offres par utilisation des méthodes multicritères d'aide à la décision (AHP et FAHP) et leur application sur une étude pour les marchés portant sur « la réalisation de schéma directeur informatique ». Ce chapitre prend fin par l'utilisation des méthodes d'apprentissage statistique (machine) supervisé en vue de la construction d'un outil décisionnel permettant de guider les entreprises vers les marchés qui leur sont les appropriés et les favorables lors des appels d'offres.

La troisième partie, qui comprend les chapitres cinq et six, porte sur la modélisation et le prototypage du système d'information que nous avons élaboré. **Le cinquième chapitre** porte sur la modélisation de la solution que nous avons conçue. Il débute par les différentes architectures et aborde par la suite la description de l'intégration de l'ingénierie ontologique, du paradigme multi-

agents et du Big Data. Ce chapitre s'achève par la présentation de certaines fonctionnalités de notre système d'information. **Le sixième chapitre** porte sur le prototypage du système d'information proposé. Primo, les technologies utilisées pour la construction et la manipulation des ontologies sont présentées ainsi que celles utilisées pour la construction des agents, la communication entre les agents et l'utilisation des ontologies par les agents. Secundo, les technologies utilisées pour le Big Data et le data science sont présentées. Ce chapitre s'achève avec la réalisation d'un exemple, en utilisant les méthodes de data science, sur l'approche e-participation des citoyens à la gouvernance des marchés publics.

Le paradigme multi-agents, les ontologies du web sémantique et le Big Data constituent les méthodes et concepts technologiques au cœur de la modélisation de notre système. Pour faciliter la compréhension de ceux-ci, nous avons préparé une synthèse que nous présentons dans l'annexe 1.

Au-delà des marchés publics, notre travail de thèse a été conduit avec un souci majeur, celui de rendre le système proposé adaptable à d'autres secteurs d'activités. En clair, il s'agit d'aboutir, plus tard, à un générateur de solutions informatiques intelligentes dans le cadre du gouvernement électronique en faisant usage des méthodes scientifiques et technologiques de l'intelligence artificielle et de data science.

# **PARTIE I - CONTEXTE APPLICATIF : E- GOUVERNEMENT ET MARCHES PUBLICS**

---

---

## CHAPITRE I : LE GOUVERNEMENT ELECTRONIQUE

---

### I- Introduction

Le gouvernement en tant qu'organe investi du pouvoir exécutif et ayant pour fonction essentielle la gestion administrative et politique d'un Etat, a pour responsabilité la mise en œuvre de toutes les mesures nécessaires pour assurer une bonne gouvernance administrative et politique. Ainsi, avec l'avènement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) et vu les nombreuses retombées positives de l'intégration de celles-ci dans la gestion des activités, et ce dans tous les secteurs, les gouvernements à travers le monde intègrent les NTIC dans l'organisation et l'exécution des fonctions gouvernementales.

Les pouvoirs publics, dans les pays développés comme dans ceux en voie de développement, ayant pris conscience du fait que l'e-gouvernement, de nos jours, conditionne le processus de développement de nos pays (Yadav et Singh, 2013), multiplient les initiatives et projets orientés e-gouvernement. Les organisations internationales apportent également leur contribution au processus de développement de l'e-gouvernement afin de bâtir un monde où les sociétés tirent pleinement profit de l'utilisation des technologies de l'informatique et de la communication. Les leaders mondiaux de l'e-gouvernement comme la Corée du sud apportent, dans le cadre de relations bilatérales, leur expertise aux pays en voie de développement<sup>1</sup>.

Ce chapitre a pour objectif une présentation et une investigation critique de l'e-gouvernement. Il débute en définissant les concepts d'e-gouvernement, d'e-administration et d'e-gouvernance tout en relevant les différences qui existent entre eux afin de lever les amalgames dans leur utilisation. Les différentes dimensions et phases de l'e-gouvernement sont ensuite présentées à la lumière de la revue de la littérature. Ce chapitre aborde l'état de l'art de l'adoption de l'e-gouvernement dans le monde, en prenant en compte plusieurs pays, tout en mettant l'accent sur le grand fossé qui existe entre les pays développés et ceux en voie de développement. Les nombreux avantages qui sous-tendent l'adoption de l'e-gouvernement sont évoqués. Il prend fin avec la mise en exergue des défis et barrières qui freinent le développement de l'e-gouvernement.

---

<sup>1</sup> La Corée du sud, dans le cadre de son programme d'aide au développement, a apporté son aide au Sri Lanka pour installer un e-service dédié aux impôts. Elle a également apporté son aide au Mali pour mettre sur pied un système de gouvernement électronique.

## **II- Définition et compréhension de l'e-gouvernement**

### **II-1. Définition de l'e-gouvernement et de l'e-gouvernance**

La gouvernance électronique (e-gouvernance), le gouvernement électronique (e-gouvernement) et l'administration électronique (e-administration) sont trois concepts nouveaux utilisés de façon interchangeable. S'il n'existe aucune différence entre e-gouvernement et e-administration, l'e-gouvernance est un concept beaucoup plus large qui englobe les deux autres (Howard, 2001 ; Bannister et Walsh, 2002). Dans le cadre de cette thèse, le terme e-gouvernance sera parfois utilisé pour désigner l'e-gouvernement.

#### **II-1.1. Définition de l'e-gouvernement**

Comme d'autres concepts contemporains, il existe plusieurs définitions de l'e-gouvernement provenant des organisations et du milieu de la recherche.

Pour la banque mondiale, l'e-gouvernement se réfère à : « l'utilisation par les agences gouvernementales des technologies de l'information (comme les réseaux étendus (WAN), l'Internet et l'informatique mobile) qui ont la capacité de transformer les relations avec les citoyens, les entreprises et d'autres agences gouvernementales. Ces technologies peuvent servir une variété de finalités : une meilleure prestation de services gouvernementaux aux citoyens, l'amélioration des interactions avec les entreprises et les industries, l'autonomisation des citoyens par l'accès à l'information ou une gestion efficace des services publics. Les avantages qui en résultent peuvent être : moins de corruption, plus de transparence, plus de commodité, la croissance des revenus et / ou la réduction des coûts. » (Banque Mondiale, 2011).

L'Organisation des Nations Unies (ONU) définit l'e-gouvernement comme étant : « l'utilisation et l'application des technologies de l'information dans l'administration publique pour rationaliser et intégrer les flux de travail et de processus, gérer efficacement les données et informations, améliorer la prestation de service public, ainsi qu'élargir les canaux de communication pour l'engagement et la responsabilisation des citoyens. » (United Nations E-government Survey, 2014).

L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), qui s'intéresse au gouvernement électronique, le définit comme étant : « l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication en général et de l'internet en particulier par les gouvernements en vue de rendre meilleurs les services et le fonctionnement des gouvernements » (OCDE, 2001).

Selon Carter et Bélanger, l'e-gouvernement consiste en : « l'utilisation des technologies de l'information pour permettre et améliorer l'efficacité avec laquelle les services gouvernementaux sont offerts aux citoyens, aux employés, aux entreprises et aux agences » (Carter et Bélanger, 2005).

Bhatnagar définit l'e-gouvernement comme : « le partage et la prestation de services aux citoyens et aux entreprises dans le but de réduire la corruption, renforcer la reddition de comptes, réduire le temps et les coûts, et accroître la transparence. » (Bhatnagar, 2002).

Au regard de toutes les définitions existantes, l'e-gouvernement peut être défini comme l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) en général et de l'internet en particulier pour offrir des services de qualité aux personnes physiques et morales, améliorer le fonctionnement interne des administrations, améliorer les interactions entre les services gouvernementaux et faciliter la tâche de leurs employés.

### **II-1.2. Définition de l'e-gouvernance**

Quant à la gouvernance électronique, l'UNESCO la définit comme étant : « l'utilisation par le secteur public des technologies de l'information et de la communication dans le but d'améliorer l'information et la prestation de services, en encourageant la participation des citoyens dans le processus de prise de décision et amener le gouvernement à rendre des comptes, à être plus transparent et plus efficace. L'e-gouvernance implique de nouveaux styles de leadership, de nouvelles façons de débattre et de faire de la politique et des investissements, de nouvelles façons d'accéder à l'éducation, d'écouter les citoyens, d'organiser et de fournir de l'information et des services. L'e-gouvernance est généralement considérée comme un concept plus large que l'e-gouvernement. L'e-gouvernance peut apporter de nouvelles conceptions de la citoyenneté, à la fois en termes de besoins et de responsabilités des citoyens. Son objectif est d'engager, activer et responsabiliser le citoyen. » (Palvia et Sharma, 2007). En 2011, L'UNESCO donne une définition plus concise selon laquelle l'e-gouvernance est l'utilisation des TIC par les différents acteurs de la société dans le but d'améliorer leur accès à l'information et de renforcer leurs capacités (Unesco, 2011).

Selon Backus, l'e-gouvernance se réfère à : « l'usage des moyens électroniques dans les interactions entre le gouvernement et les citoyens et entre le gouvernement et les entreprises, ainsi que dans les opérations internes du gouvernement afin de simplifier et d'améliorer les aspects démocratique, gouvernemental et commercial de la gouvernance" (Backus, 2001).

Contrairement à l'e-gouvernement qui est l'affaire des pouvoirs publics (l'utilisation des TIC par les gouvernements), l'e-gouvernance concerne ces derniers mais également les organisations privées telles que les entreprises, les organisations non gouvernementales (ONG), les associations, etc. En effet, ces derniers peuvent entreprendre leurs propres stratégies d'utilisation des TIC pour améliorer leur fonctionnement interne, offrir des services de qualité, faciliter les tâches de leurs employés et améliorer leurs interactions avec les autres organisations ; en un mot, faire usage des TIC dans leurs activités pour accéder à la bonne gouvernance.

### **II-2. Les dimensions ou niveaux de l'e-gouvernement**

L'e-gouvernement comprend quatre dimensions correspondant aux quatre types de relations existant entre les différents acteurs (Ndou, 2004; Al-Busaidy, 2011). La figure 1.1 représente ces quatre dimensions :

- dimension Administration-Administration (Government to Government : G2G) ;
- dimension Administration-Citoyen (Government to Citizen: G2C) ;

- dimension Administration-Entreprise (Government to Business: G2B) ;
- dimension Administration-Employé (Government to Employee: G2E).

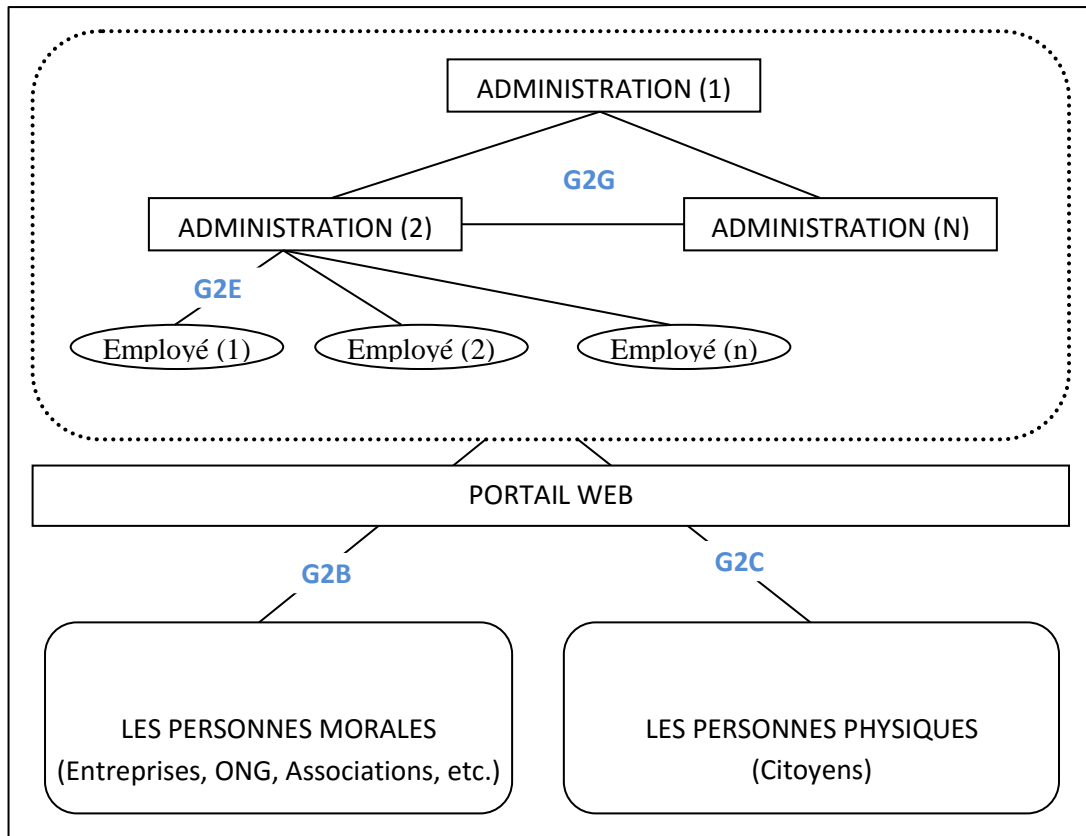


Figure 1. 1: Les dimensions du gouvernement électronique (Siau and Long, 2005)

### II-2.1. Dimension Administration à Citoyen physique (Government to Citizen : G2C)

Il s'agit de la première dimension de l'e-gouvernement et elle est toujours mise en avant lorsqu'il s'agit de définir l'e-gouvernement. Elle consiste à mettre en place tous les mécanismes électroniques permettant la facilitation des échanges entre les services étatiques et les citoyens afin de garantir à ces derniers des services de qualité (Zhi et Zhenhua, 2009).

On trouve dans cette dimension les portails informationnels, la dématérialisation des procédures administratives avec pour but la simplification des échanges, le développement de la transparence et la réduction des litiges entre l'administration et les citoyens.

Pour la concrétisation de cette dimension, de nombreux pays optent pour la mise en place d'un e-guichet unique qui renferme tous les services étatiques à l'endroit des citoyens partant de la simple information aux procédures administratives et au paiement des frais pour les services délivrés.

### **II-2.2. Dimension Administration à Administration (Government to Government: G2G)**

C'est une dimension maîtresse de l'e-gouvernement et elle consiste à assurer et contrôler l'échange de données et d'informations entre les services publics (ministères, directions générales, présidence, etc.) (Sang et al., 2009).

En d'autres termes, cette dimension de l'e-gouvernement s'intéresse à toutes les interactions possibles entre les services publics, entre les responsables de ces services par le biais d'infrastructures d'échange, d'annuaires, d'applications partagées, etc. L'objectif est de moderniser les services internes de la gestion publique à travers l'accroissement de l'efficacité, de la disponibilité et de l'accessibilité durant les échanges (Choudrie et al., 2004; Al-Joobri, 2006).

Comparativement aux trois autres dimensions, l'implémentation de celle-ci est très coûteuse financièrement (Werner, 2008).

### **II-2.3. Dimension Administration à Entreprise (Government to Business: G2B)**

Elle porte sur les différentes interactions entre les administrations publiques et les entreprises. Durant leur cycle de vie, les entreprises échangent énormément avec les services publics tels que le ministère de l'économie et des finances (trésor public, la direction générale des impôts, etc.), le ministère de l'industrie, le ministère de la justice, etc.

On trouve dans cette dimension de l'e-gouvernement les mêmes types de services et d'objectifs que dans celle dédiée aux relations entre gouvernement et citoyens, avec en plus la possibilité pour le gouvernement de simplifier le paiement des impôts, l'accès à la commande publique et par conséquent la participation à la croissance, tout en réduisant et en fiabilisant les procédures de traitement.

Il est à noter que l'ensemble de ces échanges doivent être, d'emblée, inscrits dans un environnement de sécurité et de confiance favorisant la prospérité économique des entreprises et de l'Etat (Liu et Tan, 2008).

### **II-2.4. Dimension Administration à Employé (Government to Employee: G2E)**

Vu l'importance des ressources humaines dans la bonne conduite des projets e-gouvernement, cette dimension a été ajoutée à celles précitées. Elle se focalise sur les relations entre les services gouvernementaux et leurs employés (Chourabi et Mellouli, 2011). Elle est utilisée par les gouvernements pour améliorer le processus interne de fonctionnement des services publics et favoriser la réduction des dépenses administratives. Les initiatives G2E consistent à donner aux employés l'accès à des formations sur l'utilisation des TIC, à des formations en ligne et les autorisations d'accès aux bases de données afin d'obtenir les informations dont ils ont besoin pour l'exécution de leurs tâches (Ndou, 2004).

Cette dimension de l'administration électronique peut être considérée comme une composante de la dimension G2G (Government to Government) mise en place pour améliorer la bureaucratie de façon quotidienne dans les services gouvernementaux et améliorer les transactions avec les citoyens physiques et moraux (Seifert et Petersen, 2002). Les initiatives G2E dans le



gouvernement électronique est un véritable tremplin pour les employés dans la gestion et la réalisation de leurs tâches.

### II-3. Les phases d'évolution dans l'adoption de l'e-gouvernement

Selon le département de l'économie et des affaires sociales de l'ONU, l'adoption de l'e-gouvernement passe par cinq phases : la phase de la publication de l'information sur des sites web statiques, la phase de la publication de l'information sur des sites web dynamiques, la phase des interactions entre les services publics et les usagers, la phase des transactions en ligne et la phase d'intégration des administrations (Drew, 2011). Vu la similarité des deux premières phases, on peut dégager quatre principales phases dans le processus d'adoption de l'e-gouvernement qui sont illustrées par la figure 1.2. La complexité, le coût financier et la satisfaction des utilisateurs augmentent lorsqu'on passe d'une phase à une phase supérieure (Alkhatib, 2013).

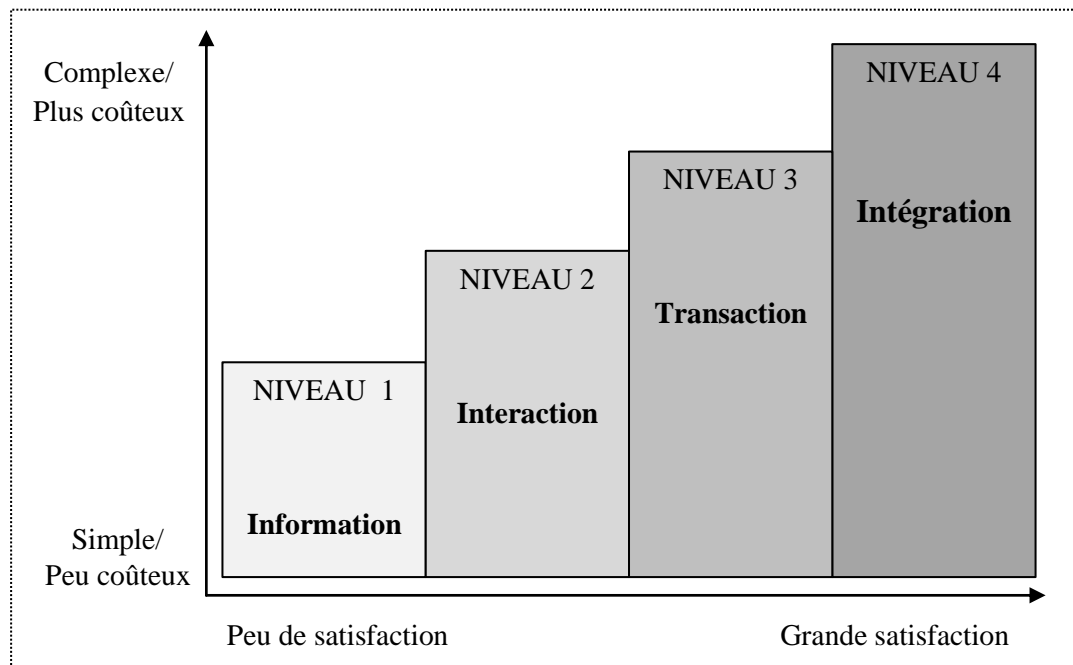


Figure 1. 2: Les niveaux ou phases d'évolution de l'e-gouvernement

- La phase de la publication des informations en ligne consiste en l'utilisation de sites statiques et dynamiques par les services gouvernementaux pour publier des informations telles que celles sur les procédures administratives, les lois et règlements, etc.
- La seconde phase est relative aux interactions entre les services publics et les usagers (citoyens et entreprises). Elle est généralement marquée par une passivité des services gouvernementaux, même si dans certaines situations ils répondent par des messages électroniques (courriels). Durant cette phase, les entreprises et les citoyens physiques peuvent remplir des formulaires en ligne, télécharger des applications et des formulaires à remplir dans le cadre de leurs procédures administratives.

- La troisième phase porte sur les transactions financières en ligne relatives aux procédures administratives. C'est une phase au cours de laquelle les entreprises et les citoyens physiques peuvent, dans le cadre de leurs procédures administratives, effectuer des paiements en ligne.
- La quatrième phase porte sur l'intégration complète des e-services à travers les administrations publiques permettant aux usagers de se focaliser sur le service plutôt que sur les administrations. L'information est partagée en toute sécurité entre les ministères et toutes les administrations publiques pour permettre l'intégration efficace de leurs fonctions afin de délivrer aux usagers des e-services de qualité.

### **III- Etat de l'art de l'adoption et du développement de l'e-gouvernement**

Les nombreux avantages de l'e-gouvernement incitent de plus en plus les pays en voie de développement à mettre en place, à l'instar des pays développés, des projets e-gouvernement. Toutefois, les premiers, contrairement aux seconds, font face à plus de difficultés dans le processus d'adoption et de mise en œuvre de l'e-gouvernement.

Pour mesurer le degré de l'intégration de l'e-gouvernement dans ces états membres, l'Organisation des Nations Unies (ONU), à travers son département d'économie et des affaires sociales, a mis en place un indice de développement de l'e-gouvernement (E-Government Development Index : EGDI). Dans le dernier classement (celui effectué en 2014), suivant cet indice, les pays développés devançant de loin ceux en voie de développement dans l'utilisation des TIC.

Le tableau 1.1 est tiré du classement 2014 et illustre un réel fossé. En témoigne la Tunisie qui est le premier pays africain en e-gouvernement dans ce classement et qui occupe la 75<sup>ième</sup> position.

Aucun pays africain ne figure dans le top 10 des pays ayant les indices de développement de l'e-gouvernement les plus élevés. Les raisons de ce retard sont multiples, on peut citer entre autres l'absence d'électricité dans de nombreuses zones rurales, des taux de possession d'ordinateur et de connexion internet très faibles, la cherté de l'abonnement à internet (Schuppan, 2009). Il faut ajouter à ces raisons, celles plus profondes à savoir la pauvreté, le manque d'infrastructures, l'absence de culture informatique, des budgets en matière de développement des TIC très faibles ou parfois inexistantes, etc.

Pour mener à bien cette étude sur l'état de l'art de l'adoption de l'e-gouvernement, les cas de pays développés et de pays en voie de développement pris sur les différents continents seront étudiés.

Tableau 1. 1: Classement de United Nations E-Government Survey 2014

Pays	Classement 2014	Indice EGDI
Corée du Sud	1	0.9462
Australie	2	0.9103
Singapour	3	0.9076
France	4	0.8938
Pays-Bas	5	0.8897
Japon	6	0.8874
Etats Unis d'Amérique	7	0.8748
Royaume-Uni	8	0.8695
Nouvelle Zélande	9	0.8644
Finlande	10	0.8449
Canada	11	0.8418
Suède	14	0.8225
Tunisie	75	0.5390
Ile Maurice	76	0.5338
Maroc	82	0.5060
Afrique du Sud	93	0.4869
Bolivie	103	0.4562
Yémen	150	0.2720
Côte d'Ivoire	171	0.2039
Birmanie	175	0.1869
Haïti	176	0.1809
Djibouti	184	0.1456
Somalie	193	0.0139

### III-1. Etat de l'art de l'adoption de l'e-gouvernement dans les pays en voie de développement

Les pays en voie de développement ayant saisi le caractère incontournable du gouvernement électronique dans un monde qui s'approprie de plus en plus des TIC, ont timidement entamé leur processus de développement de l'e-gouvernement. Les difficultés budgétaires, l'analphabétisme

et le manque d'infrastructures de base en matière de TIC rendent la tâche encore plus difficile. Toutefois, la volonté politique des dirigeants et les progrès récents donnent énormément d'espoir.

Dans cette sous-section, Il s'agit de présenter l'adoption de la gouvernance électronique dans quelques pays en voie de développement en particulier la Côte d'Ivoire, le Maroc, le Yémen et la Bolivie.

### III-1.1. E-gouvernement en Côte d'Ivoire

La cérémonie de lancement du projet phare de la gouvernance électronique dénommé « projet E-GOUV » s'est tenue le 03 octobre 2011 à Abidjan. Il faut souligner qu'avant ce projet, la Côte d'Ivoire a entamé ses initiatives d'e-administration en 2004 via le réseau piloté par le Centre d'Information et de Communication Gouvernementale (CICG) qui proposait, sur le site de l'Office National d'Identification (ONI) des informations sur la naturalisation, des textes de lois, divers documents sur le recensement et l'immigration en Côte d'Ivoire ainsi que des formulaires à télécharger.

Le projet E-GOUV est piloté par le Ministère de la Poste et des TIC et est doté d'un cadre institutionnel composé d'un comité de pilotage, d'un comité de suivi et d'un comité d'exécution. En raison de l'étendue de ce projet, une stratégie nationale a été mise en place impliquant tous les acteurs autour de deux axes principaux :

- l'axe e-administration qui vise à moderniser l'administration publique en la dotant d'outils efficaces, à même d'accroître la productivité des agents, tout en permettant une meilleure maîtrise des coûts ;
- l'axe e-service qui vise l'amélioration de la réactivité de l'administration et de la qualité des services offerts par l'administration publique aux citoyens et aux entreprises.

Ce projet ambitieux pour un pays en voie de développement est organisé en sous projets transversaux et sectoriels comme indiqué dans le tableau 1.2.

Tableau 1. 2: Les projets transversaux et sectoriels du projet « E-Gouv » ivoirien

LES PROJETS SECTORIELS	LES PROJETS TRANVERSAUX
e-Agriculture	Intranet gouvernemental
e-Justice	Organes institutionnels
e-Santé	Transposition des textes communautaires
e-Diplomatie	
e-Sécurité	
e-Foncier	
e-Education	

En ce qui concerne l'état d'avancement de l'e-gouvernement en Côte d'Ivoire, des progrès significatifs ont été accomplis. Toutefois, les efforts à faire sont légion pour atteindre un niveau

acceptable ; certains secteurs phares du gouvernement électronique sont dans une phase très embryonnaire et ne sont pas intégrés dans le projet E-GOUV: la dématérialisation des marchés publics, la dématérialisation de l'acquittement des charges fiscales et d'autres domaines. De plus, le pays reste très loin des phases les plus importantes à savoir celles des transactions financières en ligne et de l'intégration en ligne des fonctions des services publics.

### **III-1.2. E-gouvernement au Maroc**

Le Maroc a œuvré pour l'intégration de la gouvernance électronique à travers plusieurs projets et initiatives, preuve de la grande volonté politique des dirigeants du Royaume.

Dans le cadre de la « Stratégie e-Maroc », le Comité Stratégique pour le développement des Technologies de l'Information (CSTI) a été constitué en 1997 et reconduit en 2004 sous la présidence du ministre délégué auprès du premier ministre chargé des affaires économiques et générales. Le CSTI couvre tous les domaines relatifs au développement de la société de l'information et vise notamment la généralisation de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication pour en faire profiter tous les acteurs de la société (citoyens, entreprises et administrations) avec une triple exigence :

- développer les conditions d'une bonne gouvernance ;
- améliorer la relation entre l'Etat et les citoyens ;
- faciliter l'accès de tous à la connaissance et à la santé.

Le CSTI a mis en place 5 comités de travail thématiques. Le développement de l'administration électronique a été confié au Comité National eGouv dont l'objectif était de bâtir la stratégie d'administration électronique ou Programme e-Government, pour le Maroc à court et moyen termes. Ce programme e-gouvernement baptisé « Idarati » a eu un succès limité.

Une autre initiative dénommée « Maroc Numeric 2013 » a été lancée en octobre 2009 sous la présidence effective de Sa Majesté le Roi Mohammed VI. Ce projet contient quatre grandes priorités parmi lesquelles le vaste programme e-gouvernement constitué d'un portefeuille de 89 projets et services pilotés par différents organismes et administrations.

Les différents projets e-gouvernement entrepris par le Royaume ont principalement visé les objectifs suivants :

- la modernisation de l'administration et des collectivités locales aux services des citoyens et des entreprises ;
- la bonne gouvernance et l'amélioration de la productivité et de l'efficacité de l'administration ;
- la moralisation de la vie publique et l'accroissement de la transparence ;
- l'amélioration du rang du Maroc pour le hisser au niveau des autres pays émergents en matière de gouvernance électronique et atteindre leur niveau d'exploitation des services e-gouvernement.

Eu égard au succès très limité de la stratégie « Maroc Numeric 2013 », cette dernière a été élargie pour donner naissance à l'initiative « Maroc Numeric 2020 ».

Si le Maroc peut se féliciter des progrès accomplis et du rang qu'il occupe en Afrique (5<sup>ème</sup> pays africain derrière la Tunisie, l'Ile Maurice, l'Egypte et les Seychelles selon le classement de « United Nations E-Government Survey 2014 », son niveau reste très loin de celui des pays développés et même de celui de certains pays émergents comme la Malaisie (52<sup>ème</sup>) et la Hongrie (31<sup>ème</sup>). Cela est en partie dû au déphasage entre la volonté politique affichée et la mise en œuvre sur le terrain qui connaît une forte résistance de la part de certains administrateurs. Toutefois, plusieurs services en ligne ont émergés entre 2015 et 2016 (paiement de la vignette, déclaration et paiement de la TVA, déclaration fiscale des entreprises, portails de réclamation, etc.).

### **III-1.3. E-gouvernement au Yémen**

Le Yémen est un pays en voie de développement qui fait ses premiers pas dans la gouvernance électronique. Le gouvernement yéménite a lancé son projet phare de gouvernement électronique en 2002 avec un investissement global de 50 millions de dollar. Ce projet a été conçu pour s'étendre sur 10 ans et visait les objectifs suivants :

- offrir les services administratifs aux populations défavorisées et augmenter la densité de services téléphoniques ;
- se tenir au courant des tendances internationales dans le développement des TIC sur le plan international ;
- s'orienter vers les transactions financières électroniques et réduire les transactions en espèces ;
- établir les liaisons électroniques entre les différentes banques pour assurer la préservation de la monnaie nationale ;
- satisfaire les besoins locaux en matériels informatiques par l'installation d'une industrie d'assemblage des composants des ordinateurs au Yémen.

Parmi les réalisations majeures de ce projet, on compte la mise en place d'un portail web national dédié à la gouvernance électronique qui contient les liens vers les sites de nombreuses administrations publiques. Si ce projet ambitieux a permis au Yémen d'entamer un développement sérieux, ce dernier s'est avéré lent selon les différents rapports de « United Nations E-Government Survey » du département d'économie et des affaires sociales de l'ONU. Les raisons principales de ce succès limité sont (Al-Wazir et Zheng, 2012) :

- le manque de budget ;
- le manque de culture informatique ;
- la mauvaise priorisation des projets ;
- le manque de ressources humaines qualifiées pour gérer et mettre en œuvre les projets ;

- l'absence d'une vision centralisée et coordonnée : en dehors de ce projet, des services publics développent leurs propres projets d'administration électronique.

Le Yémen accuse un grand retard vu le rang qu'il occupe dans le classement mondial et comparativement au pays voisins de la région tels que l'Égypte (80<sup>ième</sup>), l'Arabie saoudite (36<sup>ième</sup>), l'Oman (48<sup>ième</sup>), etc. Cette situation risque fortement de s'aggraver avec la guerre civile que connaît ce pays depuis 2014.

#### **III-1.4. L'e-gouvernement en Bolivie**

La Bolivie, situé en Amérique latine, est mal classée en matière de gouvernement électronique. Pour rattraper ce retard, le gouvernement bolivien a pris un décret en 2002 portant création de l'Agence pour le Développement de la Société d'Information en Bolivie (ADSIB : Agencia para el Desarrollo de la Sociedad de la Información en Bolivia). Cette agence, depuis sa création, a entrepris de nombreux projets portant sur la vulgarisation des TIC en vue de faire du gouvernement électronique une réalité en Bolivie. Dans ce sens, en 2002, la responsabilité de lancer le programme « Bolivie en Ligne » a été confiée au vice-président de la république avec pour objectif d'intégrer tous les portails web des services publics, d'aider les organismes publics à concevoir de nouvelles pages web, d'uniformiser les pages web boliviennes, et de renforcer les systèmes informatiques des gouvernement locaux.

Malgré cette grande volonté politique, les résultats escomptés via cette première initiative n'ont pas été atteints et cela est dû, selon plusieurs experts, à des facteurs autres que la volonté politique tels que (Gascó, 2007) :

- le manque de ressources humaines qualifiées ;
- l'absence d'infrastructures adéquates.

Face à cette situation, l'Etat bolivien a défini une nouvelle stratégie nationale en 2005 qui avait pour objectif de continuer le processus de construction d'une société d'information.

Selon le dernier classement « United Nations E-Government Survey, la Bolivie occupe le 103<sup>ième</sup> rang mondial en matière de développement de l'e-gouvernement derrière les pays de l'Amérique latine comme le Brésil (57<sup>ième</sup>), l'Argentine (46<sup>ième</sup>), la Colombie (50<sup>ième</sup>), le Venezuela (67<sup>ième</sup>). Comme raisons de ce retard, on peut citer entre autres (Gascó, 2007) :

- la situation socio-économique de la Bolivie ;
- la faible connectivité à internet qui freine le succès des projets entrepris vu le nombre limité de personnes qui en bénéficient ;
- le manque de ressources humaines qualifiées ;
- la résistance au changement de la part des employés des services publics.

### **III-2. Etat de l'art de l'adoption de l'e-gouvernement dans les pays développés**

Les pays développés ont une large avance et l'une des raisons principales demeure la rareté des infrastructures des technologies de l'information et de communication (ligne téléphonique, ordinateur personnel, internet, etc.) dans les pays en voie de développement. A titre d'exemple, au moment où on comptait 416 ordinateurs pour 1000 personnes dans les pays développés, on comptait 6 ordinateurs pour 1000 personnes dans les pays en voie de développement (Banque mondiale, 2003a). Les cas d'adoption de l'e-gouvernement de quatre pays développés (Corée du Sud, Australie, Canada, Suède) sont abordés dans cette sous-section.

#### **III-2.1. E-gouvernement en Corée du Sud**

D'après les différents classements de « United Nation E-gouvernement », la Corée du Sud occupe constamment le premier rang mondial en matière de développement de l'e-gouvernement. Ce succès est le fruit de plusieurs projets et initiatives soigneusement conçus, planifiés et conduits durant les phases de réalisation (Noh, 2009). Déjà, entre 1978 et 1987, un vaste programme visant l'informatisation du travail dans les services publics a été conduit. Entre 1987 et 1996, un projet a été mis en œuvre dans l'objectif de connecter les différents services publics. Ces deux premières initiatives constituent la première phase de l'e-gouvernement en Corée du Sud.

Un autre projet phare a été conduit entre 1996 et 2000 pour consolider et étendre les deux premiers. Les deux objectifs de ce dernier, considéré comme le socle du gouvernement électronique en Corée du Sud, furent :

- la construction de réseaux à large bande à l'échelle nationale ;
- la promotion de l'informatisation.

Les fondations de la gouvernance électronique ayant été bâties et consolidées, les autorités sud-coréennes ont lancé la gouvernance électronique, entre 2001 et 2002, à travers de grandes initiatives portant sur 11 services en ligne. Entre 2003 et 2007, le processus d'adoption de la gouvernance électronique a été accéléré avec de vastes projets autour de 31 services en ligne.

A partir de 2008, la Corée du Sud a entamé la phase de maturité de l'adoption de la gouvernance électronique via de nouveaux services en ligne. Les facteurs clés de ce succès sont (Special Committee for e-Government Republic of Korea, 2003) :

- la forte volonté politique ;
- la participation du secteur privé qui s'est faite à travers de nombreux partenariats public-privé ayant impliqué des organisations non-gouvernementales, la société civile, des citoyens et les entreprises ;
- l'expertise et les efforts du comité de pilotage des projets de gouvernance électronique ;
- la bonne planification et la bonne priorisation des projets ;
- l'association des citoyens aux projets de création de services en ligne ;
- le partage de l'information ;
- la présence d'infrastructures de qualité ;



- l'utilisation des applications mobiles : des précautions ont été prises afin que ces services en ligne fonctionnent parfaitement avec les applications mobiles afin d'accroître le taux d'utilisation.

Le site internet principal du gouvernement électronique a été développé, de sorte à regrouper la quasi-totalité des services à l'endroit des citoyens physiques et moraux, et ce au plan national et local.

Nonobstant ce succès, l'adoption de l'e-gouvernement en Corée du Sud fait face à des problèmes tels que la cybercriminalité et l'addiction à internet surtout chez les jeunes.

### **III-2.2. E-gouvernement en Australie**

L'adoption de l'e-gouvernement en Australie est un succès plaçant le pays en deuxième position après la Corée du Sud dans le classement « United Nations E-Government Survey 2014 ».

En 1993, le gouvernement dirigé par le premier ministre Paul Keating, a mis en place un groupe d'experts pour enquêter et faire un rapport sur le développement et l'utilisation de la technologie à large bande dans toutes les sphères de la vie domestique et économique en Australie. Après avoir mis en place les fondations (les infrastructures et la réglementation juridique) de l'administration électronique, les premiers grands projets e-gouvernement ont débuté en 1997 sur instructions des autorités avec les objectifs suivants :

- la prestation de tous les services appropriés par voie électronique sur internet en 2001 ;
- La création d'un centre d'information du gouvernement comme principal point d'accès à l'information sur les services gouvernementaux, et, en consultation avec les États, le développement d'un « guichet unique d'accès » à l'information et aux services gouvernementaux en Australie ;
- l'établissement du paiement électronique comme moyens normaux pour les paiements du Commonwealth en 2000 ;
- la création d'un intranet à l'échelle gouvernementale capable d'assurer une communication en ligne sécurisée.

En 2004, le gouvernement fédéral a opéré un changement majeur dans le cadre de la gestion des activités liés à l'e-gouvernement en vue d'atteindre les objectifs suivant (NOIE, 2004) :

- l'augmentation de la diffusion des TIC et le développement des compétences chez les citoyens et les entreprises afin de réduire les obstacles économiques, sociaux et géographiques qui endiguent une pleine participation des acteurs ;
- le renforcement de la sécurité et de l'interopérabilité notamment au niveau de l'authentification, la confidentialité et la protection des consommateurs, afin de promouvoir la confiance dans les transactions en ligne ;
- l'accroissement de la collaboration au sein du gouvernement et entre le gouvernement, les citoyens et les entreprises ;
- l'amélioration de la productivité de la fonction publique et son efficacité ;

- une meilleure gestion de l'information et de la fourniture des services électroniques ;
- la création de l'environnement juridique et technologique pour l'e-commerce dans le contexte national et mondial.

D'autres projets verront le jour afin de consolider les acquis et développer la gouvernance électronique en Australie. Malgré ce succès, le pays fait face aux problèmes liés à la sécurité informatique.

### **III-2.3. E-gouvernement au Canada**

En 1999, le gouvernement canadien a dévoilé son objectif de «devenir un utilisateur modèle des technologies de l'information et de l'Internet» pour ses citoyens et a tenté, dès lors, d'atteindre cet objectif en mettant en ligne tous les services et informations gouvernementaux (Fraser, 2009). Cet engagement du gouvernement va permettre aux citoyens et aux entreprises d'avoir accès de façon sécurisée aux services et informations gouvernementaux.

D'autres efforts supplémentaires ont été faits par le gouvernement pour impliquer les citoyens et les entreprises et faire de la gouvernance électronique une réalité. Parmi ceux-ci, le développement d'un guide de portails web pour assurer l'accès des usagers de façon transparente aux services et informations gouvernementaux. En 2001, le site web canadien a été lancé offrant un point d'entrée unique aux citoyens vers 450 sites fédéraux comportant des emails de correspondance. L'ensemble de ces initiatives stratégiques ont permis de hisser le Canada dans le peloton de tête mondial des pays en termes d'e-gouvernement, et ce pendant 5 ans<sup>2</sup>. L'engagement ferme du gouvernement et des autres acteurs est devenu plus évident avec un financement de 800 millions de dollar investi entre 2000 et 2005 pour le développement de l'e-gouvernement.

En dehors du financement, le gouvernement a entrepris d'autres mesures pour offrir des services en ligne aux citoyens en veillant à la prise en compte des besoins et désirs de ceux-ci. Le gouvernement a également travaillé pour une forte implication des citoyens, des entreprises, des organisations non gouvernementales, des universités au processus de développement de l'e-gouvernement en créant des comités de consultation au sein desquels ces institutions pouvaient faire des propositions aux membres du gouvernement.

Nonobstant ce succès, le Canada décroît dans les classements récents, occupant la 11<sup>ième</sup> place dans le classement du département de l'économie et des affaires sociales de l'ONU et plusieurs pays tels que le Singapour (3<sup>ième</sup>), les Pays-Bas (5<sup>ième</sup>) et la Finlande (10<sup>ième</sup>) le devançant. Ce revirement peut s'expliquer par le fait que certains gouvernements canadiens ne font pas de la gouvernance électronique une priorité et par le fait que la croissance et l'innovation dans l'e-gouvernement deviennent de plus en plus difficiles à soutenir au fil des années car une idée de satisfaction du niveau atteint s'est installée<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Rapport du cabinet Accenture intitulé : The Government Executive Series. <http://www.accenture.com> (consulté en Août 2014).

<sup>3</sup> Rapport du cabinet Accenture : Delivering on the promise. [https://www.accenture.com/Global/Research\\_and\\_Insights/By\\_Industry/Government\\_and\\_Public\\_Service/default.htm](https://www.accenture.com/Global/Research_and_Insights/By_Industry/Government_and_Public_Service/default.htm) (consulté en Août 2014).

### **III-2.4. E-gouvernement en Suède**

La Suède est un pays modèle en matière de gouvernement électronique. Elle fait partie des pays les plus avancés dans ce domaine avec des niveaux parmi les plus élevés concernant l'accès aux TIC et la diffusion du haut débit. En 2012, la Suède occupait la septième place dans le classement mondial (ONU, 2012).

Avant les premières études des nations unies en 2008, la maturité de l'e-gouvernement en Suède a été mise en évidence dans plusieurs études comparatives (ONU, 2004). L'un des axes majeurs de l'e-gouvernement suédois consiste à renforcer la transparence et la participation des citoyens dans la prise de décisions et dans les processus décisionnels.

Les premières initiatives suédoises vont voir le jour depuis 1981 avec plusieurs projets de loi du gouvernement portant sur une politique coordonnée en matière des TIC. En 1997, un autre projet de loi destiné à favoriser la création d'une société d'information, a été proposé en vue d'une déduction fiscale permettant aux employés d'acheter des ordinateurs personnels par l'intermédiaire de leurs employeurs. Ce projet de loi devrait permettre d'accroître l'e-participation des citoyens et établir une base solide pour le lancement des services en ligne (Ilshammar et al, 2005).

Plusieurs services en ligne vont être lancés en prenant en compte les besoins des citoyens et des entreprises en vue de les rapprocher davantage des services publics. L'implication et la participation des citoyens et des entreprises demeurent au centre des projets suédois pour le développement de l'e-gouvernement.

## **IV- Les avantages de l'e-gouvernement**

Les avantages liés à l'intégration et au développement de l'e-gouvernement sont légion et incontestables (Warkentin et al., 2002) ce qui justifie l'intérêt qu'y accordent les pouvoirs publics, les citoyens, les entreprises, les institutions internationales, les organisations non gouvernementales (ONG) et la société civile.

### **IV-1. Les avantages de l'e-gouvernement pour les citoyens physiques et moraux**

La satisfaction des citoyens, des entreprises, des ONG, des associations et de la société tout entière, vis-à-vis des prestations administratives, demeure un objectif majeur pour tout gouvernement responsable. L'e-gouvernement est incontestablement un outil approprié pour atteindre cet objectif, et ce à travers les avantages suivants qu'il offre (Carter et Bélanger, 2005 ; Sandoval-Almazan et Gil-Garcia, 2012 ; Irani et al., 2008) :

- la grande accessibilité des services publics en tout temps (7 jours sur 7, 24 heures sur 24) et en tout lieu ;
- l'amélioration des services délivrés aux citoyens et aux entreprises ;
- la réduction des coûts financiers relatifs aux procédures car une procédure totalement dématérialisée coûte de loin moins chère qu'une procédure classique ;
- le gain de temps dû à la réduction de la bureaucratie et à la rapidité dans l'exécution des procédures administratives ;

- la réduction de la corruption et l'accroissement de la transparence par la suppression des échanges interhumains, source de corruption, l'accès direct au service en ligne sans intermédiaire, l'accès aux données personnelles ;
- l'offre en ligne de nouveaux services personnalisés aux citoyens et aux entreprises (par exemple le calcul en ligne des impôts, le suivi des procédures administratives en cours, la consultation de son dossier personnel, l'envoi par courriel d'informations sur-mesure, etc.) ;
- la rapidité de l'obtention d'information mieux ciblée ;
- l'accès aux informations régulièrement mises à jour sur le gouvernement et ses administrations et sur les procédures et services gouvernementaux ;
- l'accroissement de l'implication et de la participation des citoyens à la gouvernance de l'Etat (e-citoyenneté).

#### **IV-2. Les avantages pour les administrations publiques et leurs employés**

Les administrations publiques et leurs employés tirent aussi largement profit de l'adoption de l'administration électronique. Comme avantages pour les administrations publiques et les fonctionnaires de l'Etat, on peut citer entre autres (Sandoval-Almazan et Gil-Garcia, 2012 ; Irani et al., 2008 ; Chen et al, 2006 ; Scholl, 2006 ; Al-Kibsi et al., 2001) :

- l'amélioration du fonctionnement interne des services publics ;
- un canal très efficace pour le gouvernement pour partager les informations sur les administrations et leurs activités avec les citoyens ;
- l'allégement des charges et des tâches des employés ;
- la réduction des erreurs lors du traitement des procédures ;
- la modernisation du matériel de travail des employés dans les administrations publiques ;
- l'accroissement de la capacité de l'administration à offrir des services de qualité ;
- l'accroissement de la transparence et du gain de productivité des administrations publiques ;
- l'informatisation de l'ensemble du processus de traitement des procédures au niveau du back-office ;
- la facilitation de la communication, des échanges d'informations et de la collaboration entre les administrations ;
- le renforcement de la sécurité et de la confidentialité des échanges entre les hautes autorités (chef d'Etat, chef de gouvernement, ministres, etc.) ;
- une meilleure organisation et structuration des administrations et des procédures car, très souvent, l'informatisation des procédures, via l'adoption de l'e-gouvernement, va de pair avec une refonte complète des procédures et une réorganisation en profondeur de l'appareil gouvernemental ;
- le renforcement de la cohérence dans l'exercice du pouvoir et de la crédibilité des relations entre gouvernement et gouvernés, entre administration et administrés. En effet, les TIC

peuvent à un coût financier et humain très faible renforcer les fonctions de proximité, faciliter l'exécution en ligne de tâches administratives (téléchargement de formulaires, alertes diverses, échanges d'informations, inscription dans des registres, paiement sécurisé, etc.), dont le gouvernement, dans sa dimension administrative, a la charge en tant que prestataire de services à l'endroit des citoyens ;

- l'amélioration de la lutte contre toute forme de fraude.

## **V- Les défis et barrières à l'adoption et au développement de l'e-gouvernement**

Si l'e-gouvernement est inéluctablement un puissant moteur de croissance économique et sociale, il faut souligner que plusieurs défis et obstacles peuvent entraver son développement (Ndou, 2004 ; Schuppan, 2009). Ainsi, de nombreuses études réalisées ont montré des taux élevés d'échec dans les projets e-gouvernement entrepris à travers le monde. A titre d'exemple, en se basant sur une étude dans 40 pays émergents et en voie de développement dont le rapport a été soumis à l'université de Manchester pour une évaluation académique, Heeks a produit les estimations suivantes sur les projets e-gouvernement dans les pays émergents et dans les pays en voie de développement (Heeks, 2003) :

- 35 % des projets entrepris ont totalement échoué ;
- 50% des projets ont partiellement échoué ;
- 15 % des projets ont été des succès.

Ce taux d'échec élevé a été attribué, par Heeks, à plusieurs causes parmi lesquelles l'écart entre la conception des projets et la réalité du terrain. En effet, la transposition systématique dans les pays en voie de développement de projets, ayant réussi dans les pays développés sans tenir compte des réalités du terrain, constitue une cause d'échec de nombreux projets. Il en est de même pour la transposition systématique dans le secteur public de projets ayant parfaitement réussi dans le secteur privé sans tenir compte des différences existantes entre ces deux secteurs.

Les obstacles et défis de l'adoption de l'e-gouvernement sont nombreux et peuvent être regroupés en quatre groupes essentiels (Hwang et al., 2004) :

- défis et barrières techniques et technologiques ;
- défis et barrières politico-économiques, stratégiques et organisationnels ;
- défis et barrières humains, sociaux et culturels ;
- défis et barrières juridiques et légaux.

### **V-1. Défis et barrières techniques et technologiques**

Comme l'indique les définitions données plus haut, l'e-gouvernement consiste à utiliser les TIC, d'où la place centrale de celles-ci et de ses infrastructures pour son développement. Dans les pays développés comme ceux de l'OCDE, Lau indique, en 2003, un obstacle technique et technologique majeur qui est toujours d'actualité à savoir la rapidité de l'évolution des TIC (Lau, 2003). En effet, la rapidité avec laquelle les TIC évoluent engendre une grande incertitude chez les gouvernants

sur le bon fonctionnement dans le futur des systèmes informatiques et des e-services mis en place suite à de perpétuels changements technologiques.

Dans les pays en voie de développement, l'absence et l'insuffisance des TIC, surtout dans les milieux ruraux, engendrent une forte fracture numérique qui empêche une large partie des citoyens de bénéficier des e-services mis en place, endiguant ainsi l'évolution de l'e-administration (Ndou, 2004).

Le défi technique et technologique majeur présent dans tous les pays demeure celui de la sécurité informatique (Al-Shehry et al, 2006). Cette dernière englobe les aspects tels que l'authenticité des utilisateurs, l'intégrité des données, la confidentialité des informations, la non-répudiation des informations et la traçabilité. L'insécurité informatique est un véritable frein à l'e-gouvernement en particulier durant les opérations d'e-paiement relatives aux transactions financières. Les citoyens ont besoin d'une grande confiance quant à l'effectivité de la sécurité informatique pour entreprendre des transactions financières en ligne.

L'absence de certaines qualités techniques et technologiques au niveau des e-services telles que la facilité d'utilisation, la convivialité, l'agréabilité, l'ergonomie des interfaces, la sécurité informatique... peut fortement faire décroître le taux d'utilisation des e-services par les usagers (Gilbert et al, 2004).

Egalement, le manque d'interopérabilité, le manque de standardisation des formats de données et l'incompatibilité des standards en termes de technologie constituent des défis et obstacles majeurs à l'essor de l'e-gouvernement (Lau, 2005).

## **V-2. Défis et barrières politico-économiques, stratégiques et organisationnels**

Les facteurs politiques influencent énormément le développement de l'administration électronique. Les dirigeants politiques doivent prendre conscience de l'importance de l'e-gouvernement et avoir une forte volonté politique qui doit rester intacte malgré les changements de gouvernements à la tête des pays. Ils doivent s'assurer d'une diffusion large de l'information concernant les projets e-gouvernement auprès des services gouvernementaux et des citoyens moraux et physiques. En effet, la non-diffusion de l'information peut être une véritable barrière au développement de l'administration électronique.

Au niveau économique, les autorités ont également pour responsabilité de chercher et mettre à la disposition des initiatives en faveur de l'e-gouvernement le financement nécessaire pour leur bonne conduite. L'absence et/ou l'insuffisance du financement constitue l'un des grands obstacles surtout dans les pays en voie de développement (Lam, 2005) où les autorités par faute de moyens estiment à tort ou à raison le développement d'autres projets prioritaires tels que la construction des routes, des centres de santé et des logements sociaux, l'électrification, l'éducation, l'armement, etc. L'absence de contribution financière de la part du secteur privé constitue également un obstacle économique majeur. En effet, le secteur privé sud-coréen a joué un rôle essentiel dans le financement des initiatives e-gouvernement du pays contribuant ainsi à faire de leur pays le leader de l'e-gouvernement dans le monde.

La stratégie définie pour conduire le processus d'adoption et d'évolution de l'e-gouvernement est un facteur fondamental. En effet, la mise en place d'une stratégie appropriée qui épouse les réalités du pays est essentielle et nécessaire. Chaque projet ou initiative e-administration doit être inclus(e) dans une stratégie claire, bien conçue et bien analysée avec des objectifs clairement définis à court, moyen et long termes (Ndou, 2004). En termes d'obstacles stratégiques, il y a le fait de ne pas associer les citoyens (entreprises, citoyens physiques, etc.) à la conceptualisation et à la réalisation des projets. Le concept d'e-service centré sur le citoyen est mal compris dans certains pays. Heureusement que cette incompréhension est progressivement levée dans les pays en voie de développement où durant cette dernière décennie de nombreux projets ont été menés en associant le citoyen, tenant compte de ses besoins et désirs (Karavasilis et al., 2010). L'absence d'objectifs partagés, des jalons ou repères irréalistes et le manque de directives de mise en œuvre constituent également des obstacles stratégiques majeurs (Lau, 2005). Lors d'une étude sur l'e-gouvernement en Ile Maurice, Shalini a révélé comme obstacle stratégique l'utilisation de l'anglais au niveau des sites e-gouvernement alors que la langue natale des mauriciens est le Créole empêchant de nombreux citoyens de bénéficier des services offerts (Shalini, 2009).

Au niveau organisationnel, des administrations trop bureaucratiques et la complexité de la structure organisationnelle du gouvernement, souvent due au nombre élevé des administrations, peuvent être sources de nombreuses difficultés lors de l'implémentation des projets e-gouvernement (Sharifi et Zarei, 2004). Egalement, la réorganisation des procédures administratives et la coopération entre les services gouvernementaux, en vue d'une implémentation réussie des projets e-administration, constituent un défi majeur (Aicholzer et Schmutzer, 2000).

### **V-3. Défis et barrières humains, sociaux et culturels**

La finalité de l'e-gouvernement est l'utilisation des e-services par les citoyens en vue d'accroître la satisfaction de ces derniers. Toutefois, cette noble finalité est compromise par de nombreux obstacles humains, sociaux et culturels.

« L'analphabétisme numérique » chez les citoyens qui se caractérise par l'incapacité d'utiliser un ordinateur, l'internet et d'autres nouvelles technologies de l'information et de communication est l'un des obstacles majeurs à l'essor de l'e-gouvernement notamment dans les pays en voie de développement (Khan et al., 2010; Chen *et al.*, 2006). Egalement, le manque de confiance aux services en ligne chez les citoyens et l'absence de volonté de participation aux initiatives e-gouvernement chez ces derniers demeurent également des barrières significatives. Al Shehry et al évoquent la résistance au changement des citoyens dont certains préfèrent toujours utiliser les procédures traditionnelles comme une conséquence du manque de confiance aux services en ligne (Al-Shehry et al, 2006).

Les employés des services publics n'ont pas parfois les compétences nécessaires pour une utilisation adéquate des systèmes e-gouvernement afin de livrer aux citoyens les services dont ils ont besoin (Reffat, 2006). L'absence de formateurs pour assurer les formations aux employés est

de nature à aggraver ces problèmes de compétence au niveau des ressources humaines. La résistance au changement est également présente chez les employés des services publics, souvent due à la volonté de dissimuler leurs incompétences à utiliser les TIC et la paresse de l'apprentissage de nouveaux concepts et manières de travail.

#### **V-4. Défis et barrières juridiques et légaux**

L'adoption et le développement de l'e-gouvernement exige un cadre légal et juridique approprié. Cela implique l'amendement de projets de loi relatifs aux activités électroniques telles que les signatures électroniques, l'archivage électronique, la liberté d'information, la protection des données, la criminalité informatique, les droits de propriété intellectuelle et les questions de droits d'auteur (Ndou, 2004). Dans de nombreux pays surtout ceux en voie de développement, les lois sur les activités électroniques précitées n'existent pas encore ; ce qui entrave le développement de l'e-gouvernement. L'installation d'un cadre juridique permettant de garantir la vie privée, la sécurité et la reconnaissance juridique des interactions électroniques constitue un préalable pour un essor effectif de l'administration électronique.

#### **VI- Conclusion**

Ce chapitre, en débutant par les définitions des termes e-gouvernement, e-administration et e-gouvernance, vise leur bonne compréhension et apporte, au-delà, une réponse aux confusions existantes dans leur utilisation.

Le gouvernement en tant qu'acteur central de la gouvernance publique a pour obligation de mettre en œuvre toutes les mesures et actions nécessaires pour améliorer le fonctionnement interne des services publics et assurer la satisfaction des populations lors des procédures administratives. Le développement et l'adoption de l'e-gouvernement est aujourd'hui un processus irréversible dans les pays développés comme dans ceux en voie de développement, vu ses nombreux avantages et l'évolution technologiques de nos sociétés. Il est conjointement lié au développement socio-économique des pays.

L'état de l'art présenté dans ce chapitre sur l'adoption de l'e-gouvernement montre la grandeur du fossé entre les pays développés et ceux en voie de développement. Toutefois, les efforts, à encourager, effectués par les pays en voie de développement donnent énormément d'espoir.

Le développement de l'e-gouvernement dans le monde est entravé par différents barrières et obstacles qui demeurent surmontables si les différents acteurs agissent de façon synergique.

Le chapitre suivant présentera les marchés publics qui constituent le secteur d'application de l'e-gouvernement dans le cadre de notre thèse, objet du présent mémoire.



## CHAPITRE II : PRESENTATION DES MARCHES PUBLICS ET CADRAGE LOGIQUE DES APPELS D'OFFRES

---

### I- Introduction

Les activités du gouvernement étant très diverses et multiformes, l'intégration de l'e-gouvernement se fait par secteur d'activité et cela favorise sa bonne conduite et sa réussite. Ainsi, l'e-gouvernement s'applique aux secteurs tels que l'agriculture (e-agriculture), la santé (e-santé), l'état civil (e-état civil), le commerce (e-commerce), l'économie (économie numérique) dont fait partie les marchés publics (e-marché public), etc.

Dans cette thèse, le secteur des marchés publics a été choisi pour des raisons diverses dont les principales sont : lutter contre la corruption dans la gouvernance des marchés publics ; utiliser l'argent public de manière pertinente et efficace tout en évitant tout type de gaspillage, de dilapidation des budgets, d'enrichissement personnel de personnes exerçant un pouvoir ; favoriser le développement de nos pays surtout ceux en voie de développement ; favoriser la prospérité économique des entreprises surtout les PME et lutter contre la pauvreté.

Le secteur des marchés publics, selon l'organisation « Transparency International », est l'un des plus corrompus et cette corruption touche environ 20% à 30% des contrats de marchés publics dans le monde (Organisation for Economic Co-operation and Development and Asian Development Bank, 2008). Ce constat est plus alarmant en Afrique sub-saharienne où des études montrent que la corruption touche environ 70% des contrats et cela augmente le montant du marché de 20% à 30% par rapport à sa valeur réelle (Ameyaw et Mensah, 2013). Vu le poids économique des marchés publics, cette corruption est un véritable frein au processus de développement de nos pays surtout ceux en voie de développement.

En dehors de la corruption, la bonne gouvernance des marchés publics est entravée par d'autres problèmes tels que la mauvaise analyse et évaluation des offres, la lenteur des procédures de passation, l'inexistence ou l'inefficacité du système juridique pour les acteurs contestant l'attribution d'un marché, le fait que les marchés sont majoritairement attribués aux mêmes entreprises, la difficulté pour les PME d'accéder aux marchés, etc.

Ce chapitre débute par une présentation des marchés publics, des différents types de marchés publics et de leurs modes ou procédures de passation. En outre, le mode naturel de passation des marchés à savoir l'appel d'offres est présenté avec plus de détails en mettant l'accent sur ses types, les étapes qui le constituent, les critères d'attribution des marchés lors d'un appel d'offres et les méthodes d'analyse et d'évaluation des offres. Ce chapitre s'achève par le cadrage logique de l'appel d'offres en menant une analyse profonde de ses problèmes et en proposant des démarches pouvant permettre d'atteindre un certain nombre d'objectifs en vue d'améliorer la gouvernance des appels d'offres (des marchés publics).

## II- Présentation et compréhension des marchés publics

Les marchés publics constituent un marché de taille avec un poids économique considérable (Koning et van de Meerendonk, 2014), estimé à environ 20% du PIB mondial (Auriol, 2006). Ce qui explique le grand intérêt qu'accordent les gouvernements, les institutions internationales, les entreprises et d'autres organisations à la gouvernance des marchés publics.

### II-1. Définition et types de marchés publics

#### II-1.1. Définition

Toutes les administrations publiques ont besoin, pour pouvoir assurer leurs missions de services publics, d'acheter des biens ou des services ou de faire exécuter des travaux. Ces achats sous contrat, que l'on désigne par le terme «marchés publics», constituent un axe majeur des relations entre le gouvernement et les entreprises<sup>4</sup> et jouent un rôle considérable dans l'économie.

On appelle marché, tout contrat à titre onéreux conclu entre un maître d'ouvrage et une personne physique ou morale appelée entrepreneur, fournisseur ou prestataire de services ayant pour objet l'exécution de travaux, la livraison de fournitures ou la prestation de services.

Il peut être également défini comme étant un marché conclu entre un ou plusieurs opérateurs économiques (entités publiques ou privées exerçant une activité économique générant des dépenses publiques ou privées et dégageant des bénéfices financiers ou assurant la mise à disposition d'un service public) et un ou plusieurs pouvoirs adjudicateurs (Etat, collectivités territoriales, organismes de droit public et associations formées par ces collectivités ou organismes).

#### II-1.2. Les différents types de marchés publics

De par leur nature et leur objet, les marchés publics peuvent être regroupés en trois grandes catégories :

**Les marchés publics de travaux :** ce sont des marchés qui portent sur l'exécution ou la conception d'ouvrages ou de travaux tels que la construction de bâtiments, de routes et autres répondant à des besoins précisés par le pouvoir adjudicateur qui en exerce la maîtrise d'ouvrage.

**Les marchés publics de services :** ils portent sur la remise de prestations relevant des services « prioritaires » ou « non prioritaires ». Les services dits « prioritaires », prévus limitativement par les textes, sont soumis aux règles de passation de marchés de droit commun. Il s'agit par exemple des services d'entretien ou de réparation, des services de transport terrestre, de communications électroniques, de publicité, de voirie, d'études de marché, de formation, etc. Les autres services, jugés « non prioritaires », tels que les services d'hôtellerie et de restauration, de transports ferroviaires, les services juridiques, les services sociaux et sanitaires ou tout autre service peuvent être passés selon une procédure allégée.

---

<sup>4</sup> Les marchés publics constituent un débouché essentiel pour les entreprises qui fournissent aux administrations publiques les services, fournitures et travaux nécessaires pour leur fonctionnement.

**Les marchés publics de fourniture :** ce sont les marchés publics qui ont pour objet l'acquisition de fournitures et, à titre accessoire, des travaux de pose et d'installation de celles-ci et parfois de leur maintenance.

Ils recouvrent tous les marchés ne relevant pas des travaux ou services et portant sur l'achat, le crédit-bail, la location, la location-vente et la fourniture de produits.

## **II-2. Modes et procédures de passation des marchés publics**

Les marchés publics jouent un rôle important dans la vie socio-économique d'une nation et leur gestion constitue un grand défi, d'où la nécessité de mettre en place des procédures qui structurent l'attribution des marchés aux entreprises. Il existe plusieurs modes ou procédures d'attribution ou de passation de marchés. Ces modes de passation constituent le canal par lequel les entreprises ont accès aux marchés publics ce qui est vital pour leur croissance, leur prospérité et au-delà leur survie (Jurčík, 2013). L'appel d'offres, à cause de ses spécificités, s'est imposé comme le mode naturel de passation des marchés publics (Krasniqi, 2012).

### **II-2.1. Les procédures non formalisées**

Les procédures non-formalisées sont généralement déconseillées et elles ne doivent être utilisées que dans des circonstances très particulières. Elles sont caractérisées par la liberté qu'a le pouvoir adjudicateur dans le choix du prestataire et dans la détermination des règles de l'attribution du marché. Dans les codes juridiques de passation des marchés publics, on rencontre généralement deux types de procédures non formalisées.

#### **⇒ Procédure gré à gré**

C'est la procédure par laquelle le marché est passé librement, en dehors de toute publicité et mise en concurrence préalable. L'acheteur public peut donc directement s'adresser à l'entreprise de son choix.

#### **⇒ MAPA (Marchés à procédures adaptées)**

Ce sont des marchés dont les modalités sont librement fixées par le pouvoir adjudicateur en fonction de la nature et des caractéristiques du besoin à satisfaire, du nombre ou de la localisation des opérateurs économiques susceptibles d'y répondre ainsi que des circonstances de l'achat.

### **II-2.2. Les procédures formalisées**

Dans les procédures formalisées, les modalités d'attribution sont déterminées par le code des marchés publics que le pouvoir adjudicateur doit scrupuleusement respecter. Le nombre de procédures formalisées change d'un pays à un autre. Toutefois, on retrouve généralement comme procédures l'appel d'offres, les procédures négociées, le dialogue compétitif et le concours.

#### **⇒ L'appel d'offres**

C'est la procédure par laquelle le pouvoir adjudicateur met en concurrence plusieurs soumissionnaires et sélectionne le candidat uniquement au regard de critères objectifs préalablement définis et sans négociation possible. C'est le mode naturel de passation des

marchés et l'utilisation d'une autre procédure doit être justifiée par des raisons valables telles que l'urgence, le secret d'Etat, la sécurité nationale, le fait qu'une seule entreprise est capable de réaliser le marché, etc. L'appel d'offres sera présenté avec plus de détail dans la section III.

#### ⇒ **La procédure négociée**

C'est une procédure dans laquelle le pouvoir adjudicateur négocie les conditions du marché avec les opérateurs économiques, avec ou sans publicité et mise en concurrence préalable.

La personne responsable du marché dresse la liste des candidats invités à négocier et leur adresse une lettre de consultation. Après consultation des différentes propositions, des négociations sont engagées avec les candidats sélectionnés aux termes desquelles le marché est attribué par la personne responsable après avis de la commission chargée de piloter les procédures notamment l'analyse et l'évaluation des propositions.

#### ⇒ **Le dialogue compétitif**

C'est une procédure réservée aux marchés jugés complexes, dans lesquels le pouvoir adjudicateur ne peut objectivement pas définir à l'avance les ressources techniques dont il aura besoin ou établir le montage juridique ou financier de son offre. La particularité de cette procédure réside dans la mise en place d'un dialogue entre le responsable du marché et les candidats admis à faire une proposition. Au terme du dialogue, chaque entreprise candidate est invitée à remettre une offre finale formalisant les solutions proposées au cours du dialogue, afin que le pouvoir adjudicateur puisse choisir l'offre économiquement la plus avantageuse.

La personne responsable du marché présente à la commission d'appel d'offres un rapport détaillé du déroulement et du contenu des discussions. L'attribution du marché est faite par le représentant du pouvoir adjudicateur.

#### ⇒ **Le concours**

C'est une procédure utilisée par le pouvoir adjudicateur afin de choisir un projet et attribuer le marché au lauréat après une mise en concurrence et l'avis du jury du concours. Il faut noter que tous les participants malheureux du concours sont indemnisés en fonction de la qualité de leurs prestations. La procédure de concours peut être ouverte (toute entreprise peut y participer) ou restreinte (seul un groupe d'entreprises présélectionnées peut y participer). Le concours est généralement utilisé lors de prestation intellectuelle relevant de certains domaines tels que l'aménagement du territoire, la réalisation de grands édifices, l'urbanisme, l'ingénierie ou le traitement des données, etc.

### **III- L'appel d'offres : mode naturel de passation des marchés publics**

L'attribution des marchés publics constitue un enjeu économique majeur pour les Etats et pour les entreprises. Elle se fait à travers plusieurs modes de passation parmi lesquels l'appel d'offres qui est le mode naturel (Ameyaw et Mensah, 2013).

#### **III-1. Présentation des appels d'offres**

L'appel d'offres peut être défini comme un processus qui permet au commanditaire d'émettre une demande de travaux, de services ou de fournitures à l'endroit des entreprises (prestataires potentiels) et de choisir ensuite le prestataire après analyse, selon des critères prédéterminés

sans négociation, des différentes propositions (Woods, 2008). Le but est de mettre plusieurs entreprises en concurrence afin de choisir celle qui propose la meilleure offre.

On distingue principalement deux<sup>5</sup> types d'appels d'offres : les appels d'offres ouverts et les appels d'offres restreints (Kovacs, 2004).

#### ⇒ **L'appel d'offres ouvert**

Dans un appel d'offre ouvert, toute entreprise désireuse d'y participer peut remettre une offre. Théoriquement cela peut s'étendre aux entreprises du monde entier. C'est le mode privilégié de passation des marchés publics, ne pas l'utiliser au détriment de l'appel d'offres restreint doit être justifié, ce qui en fait le mode de passation le plus utilisé dans le processus d'attribution des marchés publics (De la Maza et Camblor, 2004).

L'appel d'offre ouvert donne l'opportunité aux nouvelles entreprises et à celles peu connues par le pouvoir adjudicateur d'y participer (Ogunsemi et Aje, 2006). Il est exécuté conformément aux procédures énoncées dans les lignes directrices de passation des marchés et détaillée dans les documents de l'appel d'offres.

#### ⇒ **L'appel d'offres restreint**

Quant à l'appel d'offres restreint, seules peuvent remettre des offres les entreprises qui y ont été autorisées après présélection. Bien que considéré comme une méthode concurrentielle d'attribution de marché, la concurrence est limitée aux seules entreprises présélectionnées ou invitées par le pouvoir adjudicateur.

Un processus doit être mis en place pour définir le nombre d'entreprises qui seront invitées ; ce nombre est cependant tributaire des dispositions du cadre juridique des marchés publics. Toute décision d'utiliser un appel d'offres restreint doit être conforme aux politiques et procédures régissant le système de passation des marchés.

Une caractéristique fondamentale de cette méthode est que la concurrence est limitée à un certain nombre d'entreprises, soit parce que seul un petit nombre d'entreprises sont en mesure de remplir les conditions, soit du fait que certaines conditions justifient l'utilisation d'un nombre limité d'entreprises afin de réduire le temps et le coût du processus de sélection (Laryea, 2008). L'appel d'offres restreint est utilisé dans de nombreux pays (Ng et Skitmore, 1999) à travers le monde pour les raisons précitées ou pour d'autres raisons valables et justifiables.

### **III-2. Les étapes du processus d'appel d'offres**

L'appel d'offre débute avec la préparation de l'offre et s'achève avec sa réalisation (Mohemad et al., 2010). Le processus d'appel d'offres comprend six principales étapes qui peuvent être classées en deux grands groupes : les étapes avant la réception des offres et celles après.

#### **III-2.1. La rédaction du cahier des charges**

---

<sup>5</sup> Dans certains pays, on classe les appels d'offres en trois catégories. La troisième catégorie est nommée « Appel d'offres avec présélection ». C'est une forme d'appel d'offres restreint dans la mesure où la seule différence réside dans la façon de présélectionner les entreprises soumissionnaires. Dans ces pays, on parle d'appel d'offres avec présélection lorsqu'il existe une procédure d'admission à la participation à l'appel d'offres basée sur des critères de présélection ; et la terminologie appel d'offres restreint est employée lorsque le maître d'ouvrage sélectionne un groupe d'entreprises sans passer par cette procédure d'admission.

Le cahier des charges est constitué de l'ensemble des besoins du commanditaire, c'est une description exhaustive et claire des besoins que l'entité adjudicatrice attend du fournisseur (Roux, 2007).

Elle permet de décrire les enjeux pour le commanditaire, les fonctionnalités et les usages attendus pour le service ou le produit ainsi que les exigences et les contraintes liées à la maîtrise d'ouvrage.

Recenser et bien exprimer les besoins qui constituent le cahier des charges ne sont pas des tâches toujours aisées à cause du manque de connaissances, souvent très techniques, qui nécessitent des compétences dans les domaines en rapport avec le marché.

### **III-2.2. La création des différents lots**

Certains besoins peuvent être groupés par lots indépendants mais pas forcément complémentaires. Les lots peuvent mettre en évidence les priorités du commanditaire lui permettant ainsi de programmer un ou plusieurs appels en une seule fois ou en plusieurs appels étalés dans le temps. De plus, cette division du marché en plusieurs lots a pour avantage la possibilité d'avoir les meilleures entreprises dans les différents domaines d'activités. Ce qui est de nature à accroître la qualité de la prestation. Toutefois, faire appel à plusieurs entreprises pour la conduite de la réalisation d'un marché peut poser le problème de la coordination des entreprises prestataires. Pour remédier à cela, le pouvoir adjudicateur peut faire appel à des structures extérieures pour la gestion de la coordination entre les entreprises prestataires (Roux, 2007).

### **III-2.3. La définition des critères de présélection et d'attribution**

Cette étape consiste, d'une part, à définir les critères de présélection pour choisir les soumissionnaires dans le cadre d'un appel d'offres restreint et, d'autre part, à définir les critères d'attribution sur lesquels on se basera pour analyser et évaluer les offres afin de les départager et d'en choisir la meilleure. Ces critères doivent être conçus de sorte à être non discriminatoires et en rapport avec l'objet du marché. Les critères de présélection et d'attribution généralement utilisés sont :

- le prix ;
- la qualité ;
- la valeur technique ;
- le caractère esthétique et fonctionnel ;
- les performances en matière de protection de l'environnement ;
- les performances en matière d'insertion professionnelle des publics en difficulté ;
- le coût global d'utilisation ;
- la rentabilité ;
- la compétence de l'équipe ;
- le caractère innovant ;
- le service après-vente et l'assistance technique ;
- le délai de livraison ou d'exécution ;

- les références (exemple de prestations déjà effectuées par le soumissionnaire et leur convergence avec l'objet du marché).

Les critères d'attribution doivent respecter certaines règles :

- ils doivent permettre de sélectionner la meilleure offre et être liés à l'objet du marché ;
- ils ne doivent pas être discriminatoires ;
- ils doivent être suffisamment précis ;
- ils doivent être annoncés en amont de la procédure ;
- ils doivent être pondérés ou à défaut hiérarchisés.

### **III-2.4. La sélection des soumissionnaires et la diffusion de l'appel d'offres**

La sélection des soumissionnaires ne concerne que les appels d'offres restreints. Elle consiste à évaluer les capacités des soumissionnaires potentiels à mener à bien la réalisation du marché afin de choisir les plus aptes (Hatush et Skitmore, 1997a). En clair, c'est une démarche qui permettra au pouvoir adjudicateur d'établir une liste des entreprises qui prendront part à l'appel d'offres.

Cette sélection se fait sur la base de critères techniques, financiers, managériaux tels que : la performance des équipements de l'entreprise, l'exécution de travaux de même type avec un montant n'étant pas comparativement très bas par rapport au montant du marché proposé, la fréquence des échecs et les retards dans la réalisation du type de marché proposé, la qualité des relations de l'entreprise avec les entreprises sous-traitantes et celles avec ses employés, etc., (Hatush et Skitmore, 1997a). Il faut noter qu'il est impérieux de dénombrer les critères de cette sélection car ils sont établis par le client en fonction de ses attentes et ses besoins.

La sélection des soumissionnaires n'est pas structurée par des normes claires, exemptes de toute ambiguïté entraînant une grande variation de ces normes, ce qui aboutit au fait que les entreprises sont différemment évaluées par divers commanditaires (Ng et Skitmore, 1999).

Après la sélection des soumissionnaires, l'appel d'offres est diffusé à travers plusieurs canaux tels que les sites internet, les journaux, les magazines, la radio (marchés de grandes envergures).

### **III-2.5. La réception, l'analyse et l'évaluation des offres**

Durant cette étape, les offres envoyées par les entreprises sous formes de plis matériels ou électroniques sont reçues. Les plis seront ouverts par les membres de la commission d'appel d'offres afin de procéder à l'analyse et à l'évaluation des offres, qui représente la phase la plus cruciale dans le processus d'appel d'offres (Mohamad et al., 2010). De nombreuses méthodes d'analyse et d'évaluation des offres ont été élaborées, elles permettent de comparer les offres, les coter et les classer (Rillaed, 2011).

L'analyse et l'évaluation se font en prenant chaque critère indépendamment, ce qui permet de varier les méthodes selon le critère envisagé. On distingue deux grandes familles de méthodes

d'analyses et d'évaluation des offres : les méthodes basées sur la pondération des critères et celles basées sur la hiérarchisation des critères (Rillaed, 2011).

⇒ **Les méthodes basées sur la pondération des critères**

On dénombre plusieurs méthodes basées sur la pondération des critères dont nous présentons deux qui sont les plus utilisées.

Soient les notations suivantes :

$$\begin{cases} \{O_i\}_{i=1,\dots,n} & \text{ensemble des offres} \\ \{X_j\}_{j=1,\dots,p} & \text{ensemble des critères} \\ R(O_i) & : \text{résultat de l'offre } O_i \\ N_{ij} & : \text{note de l'offre } O_i \text{ suivant le critère } X_j \\ n_j & : \text{l'indice de pondération du critère } X_j \end{cases}$$

- **Première méthode :** cette méthode est la plus simple, elle consiste à donner une note à chaque offre selon chaque critère. Ensuite pour une offre donnée, on fait une somme pondérée des notes obtenues suivant les différents critères. Cette somme représente le résultat total obtenu par l'offre. On fait de même pour les autres offres et on compare les totaux obtenus par les offres. La meilleure offre est celle ayant obtenu le total le plus élevé. Le résultat obtenu pour l'offre  $O_i$  est donné par (2.1) :

$$R(O_i) = \sum_{j=1}^p n_j N_{ij} \quad (2.1)$$

La meilleure offre ( $O_m$ ), suivant le critère  $X_j$  a pour note  $N_{mj}$  telle que :

$$N_{mj} = \text{Max}_{i=1,\dots,n} \{N_{ij}\}$$

La meilleure offre ( $O_M$ ) de l'appel d'offres a pour résultat  $R(O_M)$  tel que :

$$R(O_M) = \sum_{j=1}^p n_j N_{mj} = \text{Max}_{i=1,\dots,n} \left\{ R(O_i) = \sum_{j=1}^p n_j N_{ij} \right\} \quad (2.2)$$

- **Deuxième méthode :** cette méthode, dite relative, effectue une comparaison des offres suivant chaque critère et accorde à la meilleure offre 100% des points. Par la suite, la règle de proportionnalité est appliquée pour accorder les points aux autres offres. Elle garantit les principes de proportionnalité et d'égalité dans le traitement des offres.

Soit  $O_m^j$  la meilleure offre après comparaison des offres selon le critère  $X_j$  ( $N_{mj} = N_{max}^j$  ; où  $N_{max}^j$  est la note maximale).



$$O_m^j \Leftrightarrow N_{mj} = N_{max}^j$$

$$O_i^j \Leftrightarrow \frac{O_i^j}{O_m^j} * N_{mj} \quad \forall i \neq m$$

$\frac{O_i^j}{O_m^j}$  : le rapport de comparaison entre  $O_m^j$  et  $O_i^j$ .

$$R(O_i) = \sum_{j=1}^p \frac{O_i^j}{O_m^j} * N_{mj} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{le résultat de l'offre } O_i \\ \text{si on utilise la méthode} \\ \text{dite relative pour tous} \\ \text{les critères.} \end{array} \right. \quad (2.3)$$

La meilleure offre ( $O_M$ ) est l'offre telle que :

$$R(O_M) = \text{Max}_{i=1, \dots, n} \{R(O_i)\}$$

#### ⇒ Les méthodes basées sur la hiérarchisation des critères

La hiérarchisation des critères repose sur la mise en place d'un ordre hiérarchique entre les critères : on élabore une liste dans laquelle les critères sont présentés le plus souvent en ordre décroissant d'importance.

L'utilisation de la hiérarchisation doit être justifiée en démontrant qu'on ne peut utiliser la pondération compte tenu des spécificités du marché. La hiérarchisation est une méthode beaucoup plus simple que la pondération puisqu'elle consiste à effectuer les opérations suivantes :

- une notation des offres en fonction du premier critère par ordre décroissant d'importance ;
- un choix en fonction de ce seul critère, sauf s'il conduit à juger toutes les offres équivalentes, auquel cas la même opération est effectuée avec le second critère jusqu'à un critère permettant une discrimination des offres.

### III-2.6. Le choix du prestataire, la contractualisation et le suivi de la réalisation

C'est la dernière étape du processus d'appel d'offres. Le prestataire est finalement choisi et un délai est accordé aux autres soumissionnaires pour introduire des procédures de réclamation. Après ce délai, le contrat est signé pour la réalisation du marché. Cette phase ne se résume pas à signer le contrat, mais elle consiste en la mise en place d'un cadre contractuel qui organisera les relations futures entre le pouvoir adjudicateur et l'entreprise prestataire jusqu'à la réalisation du marché.

## **IV- Cadrage logique des appels d'offres**

### **IV-1. Les problèmes du processus d'appel d'offres**

La préférence de l'appel d'offres, au détriment des autres modes de passation des marchés publics, n'en fait pas un processus parfait, exempt de problèmes (Hatush et Skitmore, 1997b). Il peut être considéré comme le moindre mal permettant de satisfaire les entreprises en donnant la chance à chacune d'entre elles d'avoir le marché.

#### **IV-1.1. Construction de l'arbre à problèmes**

L'arbre à problèmes, représenté par la figure 2.1, est une schématisation des problèmes relatifs à la mauvaise gestion des appels d'offres. Nous illustrons à travers celui-ci, d'une part, les causes primaires et secondaires responsables des problèmes dans le processus d'appel d'offres et, d'autre part, les effets et les conséquences qui en découlent.

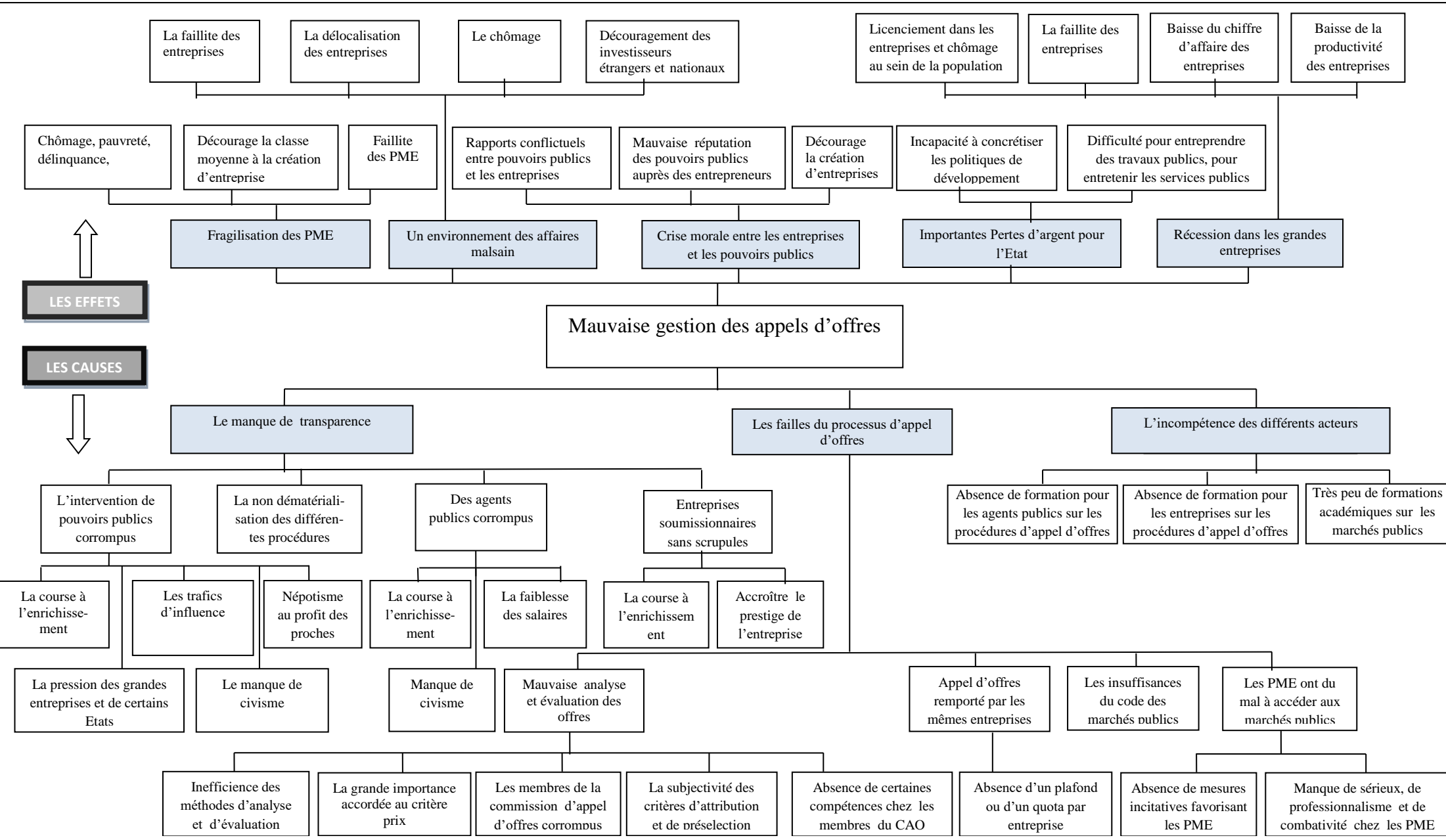


Figure 2. 1: Arbre à problèmes des appels d'offres

## IV-1.2. Analyse des problèmes des appels d'offres

### IV-1.2.1. La corruption dans les appels d'offres

Si les problèmes dans le processus d'appel d'offres sont légions, il faut souligner que le principal problème demeure la corruption (Auriol, 2004) qui peut intervenir à tous les niveaux lors d'un appel d'offres (Ameyaw et Mensah, 2013). Cette forme de corruption n'est pas seulement l'apanage des pays en voie de développement, elle existe aussi dans les pays développés<sup>6</sup>. Selon une étude menée par la banque mondiale le coût de la corruption dans les marchés publics en Afrique fut estimé à 149 milliards de dollar américain pour le compte de l'année 2003 (Banque Mondiale, 2003b). D'après une investigation de la commission européenne, portant sur la passation des marchés au niveau de cinq secteurs d'activité dans huit pays<sup>7</sup> de l'union européenne, le coût global de la corruption a été estimé entre 1,4 et 2,2 milliards d'euro en 2010 (Commission Européenne, 2013).

Selon les rapports de l'UNODC (United Nations Office on Drugs and Crime), la corruption dans les procédures d'appel d'offres se décline sous quatre principales formes :

- **les pratiques systématiques de corruption** : elles consistent à offrir, donner, recevoir ou solliciter, directement ou indirectement, quoi que ce soit en vue d'influencer l'action d'un agent public dans le processus de sélection ou d'exécution du marché ;
- **les pratiques de fraude** : elles consistent à effectuer une fausse déclaration ou omission de faits, par usage de l'autorité d'un agent public, en vue d'influencer le processus de sélection ou d'exécution d'un marché. Le trafic d'influence<sup>8</sup> est un type courant des pratiques frauduleuses ;
- **les pratiques de collusion** : il s'agit d'arrangements entre deux ou plusieurs soumissionnaires, avec ou sans le commanditaire, afin de fixer des montants non compétitifs (augmenter le montant des marchés) en leur faveur ;
- **les pratiques de coercition ou d'obstruction** : elles consistent à porter des préjudices ou à menacer de porter atteinte, directement ou indirectement, à des personnes ou à leurs biens afin d'influencer leurs participations au processus de passation ou à l'exécution d'un marché ;

Le versement de pot-de-vin, qu'on peut classer parmi les pratiques systématiques de corruption, demeure le type de corruption le plus répandu dans les appels d'offres (Ameyaw et Mensah, 2013). Selon l'organisation « Transparency International », les pertes liées aux échanges de pot-

---

<sup>6</sup> Au Japon (considéré comme un pays exemplaire en matière de lutte contre la corruption), le ministre responsable de l'Agence d'auto-défense, Fukushima Nukaga, a été cité dans une affaire de corruption concernant un marché public impliquant le groupe d'informatique et de télécommunication NEC (The Economist, 1998 ; <http://www.economist.com/node/173278>, consulté en septembre 2014)

<sup>7</sup> Les cinq secteurs sur lesquels a porté l'étude sont : les routes et les rails, l'eau et l'assainissement, la recherche et le développement, la formation et l'urbanisation. Les huit pays concernés par l'étude furent : la France, la Hongrie, l'Italie, la Lituanie, les Pays-Bas, la Pologne, la Roumanie et l'Espagne.

<sup>8</sup> Le trafic d'influence est un délit qui consiste, pour un dépositaire des pouvoirs publics, à recevoir des dons (argent, biens) de la part d'une personne physique ou morale, en échange de l'octroi ou de la promesse à cette dernière d'avantages divers (décoration, marché, emploi, arbitrage favorable, etc.).

de-vin dans la passation des marchés publics sont estimées à plus de 400 milliards de dollars par an dans le monde.

#### ⇒ **L'intervention de pouvoirs publics corrompus**

Les pouvoirs publics (chefs d'Etat, chefs de gouvernement, ministres, hautes autorités, etc.) ont une très grande responsabilité dans le phénomène de corruption dans la passation des marchés publics. De nombreuses accusations de corruption à l'encontre de responsables politiques et de bureaucrates des pays de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique) ont porté sur l'attribution de marchés publics (Auriol, 2004).

Les trafics d'influence constituent une forme de corruption qu'on retrouve généralement chez les pouvoirs publics. En effet, de hautes autorités perçoivent de nombreux dons et cadeaux de la part de certains Etats et grandes entreprises afin que ces derniers interviennent et facilitent leurs accès à des marchés fortement stratégiques et/ou avec des montants très élevés<sup>9</sup>.

Dans de nombreux pays, des responsables politiques et hauts fonctionnaires ont recours à des pratiques népotistes pour faire bénéficier des marchés à leurs proches et connaissances. Ils font usage de leurs positions officielles pour apporter une assistance aux personnes de leurs familles ou ceux avec qui ils ont les mêmes origines géographiques, ethniques, culturelles, etc., afin de leurs faire bénéficier d'un traitement privilégié au détriment des autres (Shah, 2006).

Ces pratiques ne sont pas forcément dues à un manque de civisme ou à une volonté de s'enrichir, elles peuvent avoir pour cause les pressions exercées par des grandes multinationales et par des Etats plus puissants. En effet, les puissances coloniales et leurs multinationales font pression sur les pouvoirs publics de leurs anciennes colonies, lors de la passation de marchés publics, afin de garder leurs influences géostratégique, économique et politique.

#### ⇒ **Les entreprises soumissionnaires sans scrupules**

Les entreprises soumissionnaires s'adonnent à plusieurs formes de corruption pour accéder aux marchés. Elles peuvent donner diverses formes de biens, directement ou indirectement, afin d'influencer les pouvoirs publics ou les agents publics dans le processus de sélection du prestataire ou dans l'exécution du marché (United Nations Office on Drugs and Crime, 2004). Ces pratiques se justifient par le fait que de nombreuses entreprises préfèrent avoir un marché en passant par la corruption plutôt que de le perdre surtout quand le montant du celui-ci est très élevé (Basheka, 2008).

Les entreprises peuvent utiliser leurs relations avec de hautes autorités afin que ces derniers interviennent en leur faveur dans l'attribution d'un marché en échange ou pas de récompense de diverses natures (Briody, 2004).

Les entreprises soumissionnaires font également recours à une autre forme de corruption qui consiste à trouver un arrangement entre elles, avec ou sans le pouvoir adjudicateur, afin d'établir des montants non compétitifs à leur avantage (United Nations Office on Drugs and Crime, 2004). Elles peuvent aussi s'arranger de sorte à partager les différents marchés. Ainsi, lorsqu'un

---

<sup>9</sup> Dick Cheney a usé de son poste de secrétaire à la défense pour influencer l'attribution de plusieurs marchés de défense à l'entreprise militaire Halliburton durant la guerre en Irak en 1991 (Hartung, 2012). Il est devenu, plus tard, le chef de la direction de l'entreprise Halliburton de 1995 à 2000.

marché selon leur arrangement appartient à une entreprise, les autres joueront le jeu en étant de faux adversaires. Ces pratiques de collusion mettent en cause les principes fondamentaux du processus d'appel d'offres et rendent les marchés coûteux pour le pouvoir adjudicateur.

Il arrive aussi que certaines entreprises s'adonnent à des pratiques ayant pour objectif de nuire à d'autres entreprises afin de les décourager ou d'empêcher leurs participations à des appels d'offres ou de nuire aux exécutions des marchés (United Nations Commission on International Trade Law, 2008).

#### ⇒ **Les agents publics corrompus**

Les agents publics sont responsables de la corruption, dite petite corruption ou corruption administrative, qui a, essentiellement, lieu lorsque les responsables d'entreprise rencontrent les agents publics dans les locaux des services publics. Ces derniers usent de leurs fonctions pour exiger des pots-de-vin ou des commissions occultes des entreprises sous menace de bloquer ou de faire traîner les procédures (Basheka, 2008). Les agents publics exigent parfois d'être payés afin d'accélérer les procédures et les décisions alors que les entreprises ont naturellement droit à ces facilités.

Cette forme de corruption, même si elle est qualifiée de petite, elle peut dans l'ensemble engendrer la perte d'importantes ressources financières (Shah, 2006) et créer un climat de tension entre les services publics, en charge de la passation des marchés, et les entreprises.

#### **IV-1.2.2. Les anomalies et dysfonctionnements du processus d'appel d'offres**

Le processus d'appel d'offres en lui-même regorge des anomalies, des dysfonctionnements qui mettent en mal la passation des marchés par appel d'offres.

#### ⇒ **Mauvaise analyse et évaluation des offres**

L'étape de l'analyse et de l'évaluation des offres est au cœur du processus d'appel d'offres car le choix de la meilleure offre en est fonction. De nombreuses raisons peuvent être à l'origine d'une mauvaise analyse et évaluation des offres.

D'abord, l'absence de certaines compétences chez les membres de la commission d'appel d'offres. En effet, si cette dernière a la possibilité de faire appel à un expert, il arrive fréquemment que dans de nombreux appels d'offres, elle n'use pas de cette possibilité alors qu'elle n'a pas en son sein de vrais spécialistes capables d'effectuer une bonne analyse des offres.

Aussi, la grande importance accordée au critère « prix » est source d'une mauvaise évaluation des offres. Beaucoup de marchés sont attribués à l'entreprise ayant proposé l'offre avec le prix le plus bas, ce qui emmène à s'interroger sur les intentions des services publics concernant le désir d'avoir des prestations de bonne qualité (Zadelhoff, 2014). En effet, la qualité d'une offre et de la prestation qui en suivra, n'est pas fondamentalement fonction du montant de l'offre ; pourtant dans de nombreux appels d'offres une trop grande importance est accordée au critère « prix ». Il est vrai que le souci d'une bonne gestion du budget de l'Etat impose le fait de chercher à minimiser les prix. Toutefois, il faut chercher à établir un rapport qualité/prix capable de garantir une bonne qualité des prestations lors de l'exécution des marchés publics. Pour ainsi éviter de mauvaises prestations qui ne répondront pas aux besoins de façon efficace à court,

moyen et long termes ; ce qui aura pour conséquence des dépenses publiques supplémentaires pour de nombreuses réparations voire la reprise des prestations.

De plus, il faut mentionner la part de subjectivité de certains critères d'attribution et de présélection.

Par ailleurs, il faut souligner le problème de l'inefficacité et l'inefficience des méthodes d'analyse et d'évaluation. Les méthodes utilisées présentent des insuffisances qui peuvent avoir des impacts négatifs sur le processus du choix de la meilleure offre. Les méthodes de pondération<sup>10</sup> sont préférées aux méthodes d'hierarchisation<sup>11</sup> car elles évaluent globalement les offres suivant l'ensemble des critères afin de les départager. Chaque entreprise candidate connaît avec précision l'appréciation qui est faite de son offre selon chaque critère. Quant aux méthodes de pondération, certaines ont pour inconvénient le fait de ne pas évaluer les offres de façon intrinsèque et d'autres ont pour inconvénient le fait de ne pas évaluer les offres relativement aux autres offres. La nécessité de proposer des méthodes plus performante s'impose, vu l'importance de l'étape de l'analyse et de l'évaluation des offres (cette question sera traitée dans le chapitre quatre, dédié à nos contributions scientifiques).

#### ⇒ **Les marchés attribués aux mêmes entreprises**

Dans de nombreux codes de marchés publics, rien n'empêche une entreprise de remporter tous les appels d'offres à partir du moment qu'elle propose les meilleures offres. Pourtant, les marchés publics représentent un débouché essentiel pour les autres entreprises et leur survie en dépend.

L'absence de règles limitant les marchés attribués à une entreprise afin d'en faire bénéficier d'autres, capables de réaliser des prestations presque similaires peut être source de différents entre les entreprises et les structures publiques. Cela peut également avoir de nombreuses répercussions négatives sur la vie économique des entreprises et au-delà sur la vie socio-économique du pays en entraînant la baisse des recettes fiscales suite à la faillite de plusieurs entreprises, le chômage et le grand banditisme suite au licenciement des employés.

#### ⇒ **Accès difficile des PME aux marchés publics**

Les PME sont essentielles dans la vie économique d'un pays surtout pour la classe moyenne et la classe défavorisée. Malheureusement, elles ont difficilement accès aux marchés publics.

Les services publics, accidentellement, lèvent la barre très haut au niveau des critères d'attribution des marchés et des critères de présélection des entreprises soumissionnaires, ce qui est très défavorable aux PME (Zadelhoff, 2014). C'est l'exemple du critère portant sur le chiffre d'affaire au niveau duquel, les services publics exigent parfois un chiffre d'affaire qui dépasse trois fois le montant du marché à réaliser. Il en est de même pour les cautions qui sont parfois très élevées.

---

<sup>10</sup> La pondération des critères consiste à attribuer un poids à chaque critère parmi les critères d'attribution.

<sup>11</sup> La hiérarchisation des critères repose sur la mise en place d'un ordre hiérarchique entre les critères : on élabore une liste dans laquelle les critères sont présentés le plus souvent en ordre décroissant d'importance.

De plus, les PME sont défavorisées dans les appels d'offres où le marché est en lot unique car ne disposant pas de toutes les compétences que requiert le marché, n'ayant pas les ressources financières et humaines nécessaires, etc. Le découpage d'un marché en plusieurs lots permet aux MPE d'avoir accès à des lots relevant de leurs spécialités et demandant moins de ressources financières, humaines, etc.

Par ailleurs, les PME font aussi face à des procédures et règles trop compliquées, coûteuses en temps et en argent dans le cadre de la passation des marchés publics par appel d'offres (Zadelhoff, 2014). La préparation des documents de l'offre, les procédures d'admission, l'attente des résultats, l'approbation du marché après la désignation du prestataire, la signature du contrat, etc., toutes ces procédures sont très coûteuses en temps et en argent pour les PME sans oublier les complications qui peuvent apparaître dans la compréhension de certains règlements.

#### **IV-1.2.3. Le manque de compétence des acteurs impliqués dans le processus d'appel d'offres**

Les acteurs impliqués dans la gestion du processus d'appel d'offres n'ont pas toujours les compétences nécessaires en la matière.

##### **⇒ Le manque de compétence chez les services publics**

En ce qui concerne les services publics, très souvent le maître d'ouvrage élabore un dossier d'appel d'offres qui comprend énormément de lacunes. Dans de nombreux cas, le prix qu'il fixe est très bas pour la réalisation de la prestation qu'il exige.

Il y a aussi le choix des critères d'attribution de marché et celui des critères de sélection des candidats ainsi que leurs pondérations ; soit les critères sont mal choisis soit la pondération est inadéquate.

##### **⇒ Le manque de compétence chez les entreprises**

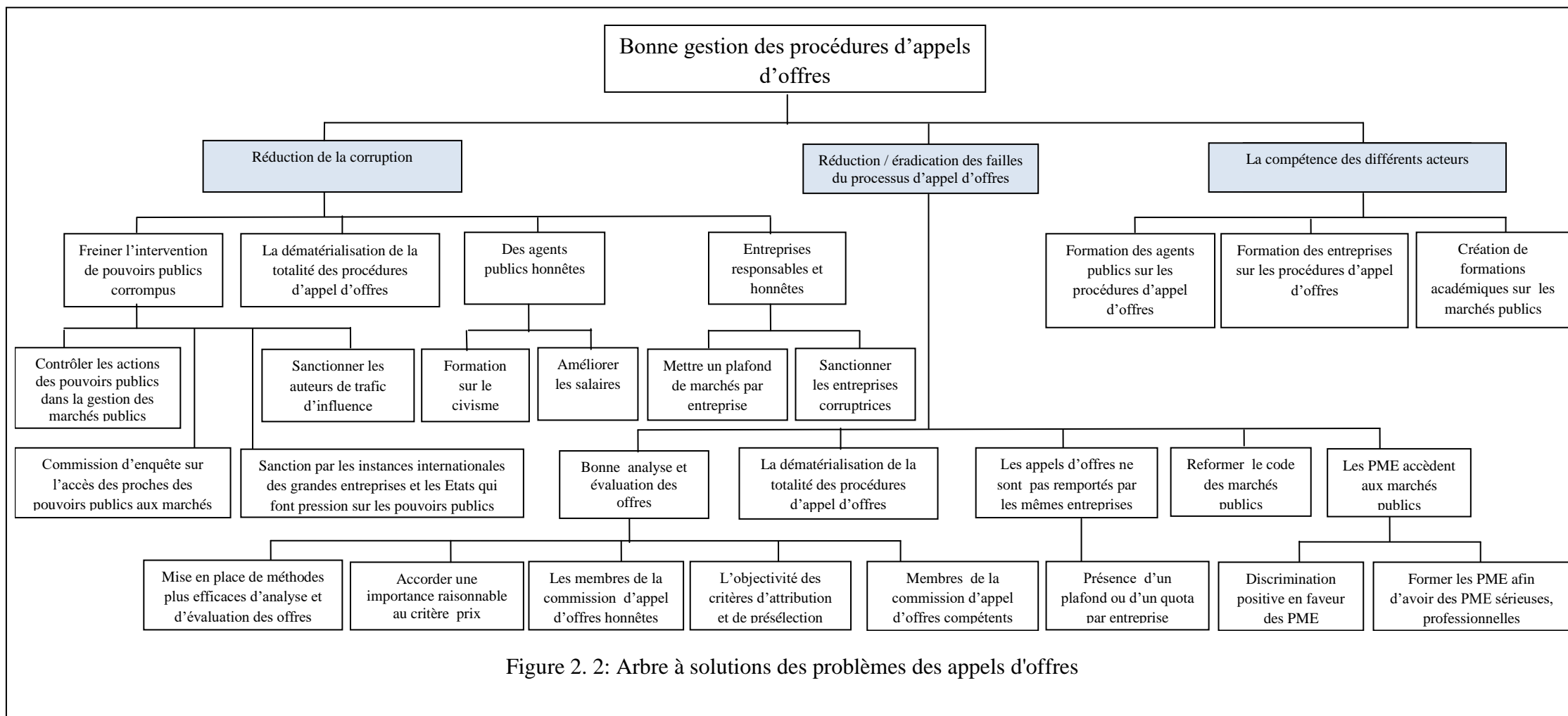
Le problème du manque de compétence dans les procédures d'appel d'offres se pose généralement chez les PME qui font leurs premiers pas dans la passation des marchés publics. En effet, les entreprises rencontrent des problèmes dans la compréhension des dispositions juridiques du code des marchés publics.

Par ailleurs, elles commettent souvent des maladroites dans la constitution de leurs dossiers de réponse aux appels d'offres.

#### **IV-2. Analyse des objectifs à atteindre pour une bonne gouvernance des appels d'offres**

Après une analyse des problèmes qui gangrènent la passation des marchés publics par appel d'offres, on cherchera dans cette partie à proposer des solutions afin d'atteindre les objectifs visés dans le cadre de l'amélioration des procédures d'appel d'offres.





#### **IV-2.1. L'arbre à solutions**

L'arbre à solutions (figure 2.2) résume les objectifs à atteindre pour parvenir à des procédures d'appel d'offres meilleures. Il met en évidence toutes les activités et actions potentielles à entreprendre pour atteindre ces objectifs.

#### **IV-2.2. Etude des objectifs dans le cadre de l'amélioration du processus d'appel d'offres**

Il s'agit de faire une analyse des voies et moyens pour atteindre les objectifs capables de contribuer à l'amélioration de la gouvernance des marchés publics. La dématérialisation des marchés publics, qui est moyen pour l'instauration d'une bonne gouvernance dans la gestion des marchés publics, sera traitée dans le chapitre III.

##### **IV-2.2.1. La réduction de la corruption dans la gestion des appels d'offres**

###### **⇒ Faire barrière aux pratiques de corruption des pouvoirs publics dans la gestion des marchés publics**

Les pouvoirs publics (chefs d'Etat, chef de gouvernement, ministres, hautes autorités, etc.) ont une très grande responsabilité dans la corruption qui sévit dans la gestion des marchés publics (Auriol, 2004). Ils sont responsables de ce qu'on qualifie de « grande corruption » dans les marchés publics qui engendre des pertes importantes d'argent pour l'Etat, freine le développement du pays et celui de nombreuses entreprises.

Ainsi, il est opportun de prendre les mesures adéquates pour faire barrière aux pratiques de corruption des pouvoirs publics dans les achats publics. Une première mesure serait la mise en place d'une commission chargée de la lutte contre la corruption dans les marchés publics. Parmi les missions de cette commission, contrôler les actions des autorités dans la passation des commandes publiques, mener des enquêtes sur l'accès des proches de ces derniers aux marchés publics.

Par ailleurs, des dispositions juridiques doivent être prises aux plans national et international. Ces dispositions permettront de sanctionner les autorités coupables de trafic d'influence ou de toute autre forme de corruption. Elles serviront aussi à sanctionner les Etats et les grandes entreprises qui utilisent des moyens de pression opaques pour obliger les pouvoirs publics d'un Etat à intervenir afin de leurs faciliter l'acquisition de marchés.

###### **⇒ Des entreprises et agents publics responsables et honnêtes**

Les entreprises et agents publics se rendent coupables de différentes formes de pratiques qui mettent en mal une gestion transparente des marchés publics. Pour y remédier, il faut inculquer aux entrepreneurs et aux agents publics les valeurs civiques et déontologiques.

Pour les agents publics, procéder au rehaussement des salaires car des salaires très bas et dérisoires peuvent être source de vulnérabilité face à la corruption.

Quant aux entreprises, le plafonnement du nombre de marchés par entreprise peut, dans une certaine mesure, décourager les pratiques de corruption. Aussi, il faut que la commission chargée de la transparence dans la gestion des marchés publics procède à des sanctions exemplaires à l'égard des entreprises et des fonctionnaires qui seront coupables de corruption.

#### **IV-2.2.2. La réduction et/ou l'éradication des anomalies et dysfonctionnements dans le processus d'appel d'offres**

##### **⇒ Elaboration d'un nouveau code des marchés publics**

Le code des marchés publics peut largement contribuer à la réduction des failles que présente le processus d'appel d'offres.

La législation doit garantir l'accès des PME aux marchés publics en prenant des mesures telles que la réservation d'un nombre de lots aux PME dans la conduite de marchés de grandes envergures. Elle pourrait aller plus loin dans cette discrimination positive en accordant un certain type de marchés uniquement aux PME qui font preuve de sérieux, de professionnalisme, de combativité, etc. Les autres PME, avec l'appui de l'Etat, pourront bénéficier d'une assistance et de formations leur permettant d'acquérir les aptitudes nécessaires afin qu'elles puissent bénéficier des marchés réservés aux PME voire des autres marchés.

Par ailleurs, la législation peut endiguer le problème de l'attribution des marchés aux mêmes entreprises en mettant en place un système de quota qui portera soit sur le nombre de marchés, soit sur le montant qu'une entreprise ne peut franchir durant une période.

Aussi, le code des marchés publics peut, à travers certaines dispositions juridiques, résoudre le problème de l'importance démesurée accordée au critère prix par rapport aux autres critères de sorte à garantir la qualité des prestations.

Concernant la commission d'appel d'offres, des réformes portant sur le code des marchés publics doivent être entreprises sur la composition des commissions d'appel d'offres afin que ces dernières disposent des compétences nécessaires pour une bonne analyse et une bonne évaluation des offres. Ces réformes peuvent, également, porter sur l'instauration de sanctions à l'égard des membres de la commissions d'appel d'offres pour certains types de pratiques. Ces sanctions constitueront des moyens de pression efficaces pouvant amener les membres de ladite commission à effectuer leur mission avec plus de professionnalisme et de sérieux.

##### **⇒ Une bonne analyse et une bonne évaluation des offres**

Hormis les réformes portant sur le code des marchés, d'autres actions peuvent être menées afin de garantir une bonne analyse et une bonne évaluation des offres.

Ainsi, il faut résoudre le problème de la subjectivité et de l'inadéquation des critères et des sous critères de présélection des soumissionnaires et de sélection de la meilleure offre en obligeant le maître d'ouvrage à associer des experts du domaine de l'objet du marché à l'élaboration du dossier d'appel d'offres surtout pour la rédaction du règlement de consultation. Ceci pour éviter des critères et des sous critères inadéquats n'étant pas soit liés à l'objet du marché, soit nécessaires dans le processus d'analyse et d'évaluation des offres. Pour éviter, aussi, les critères et sous critères subjectifs qui donnent lieu à de nombreuses façons de comprendre et de mener l'analyse et l'évaluation des offres.

De plus, il faut apporter des améliorations aux méthodes existantes d'analyse et d'évaluation afin de combler les insuffisances qu'elles comportent ou même mettre en place de nouvelles méthodes plus performantes. Cela peut se faire par l'utilisation de méthodes d'intelligence artificielle et d'aide à la décision, des mathématiques, etc.

#### **IV-2.2.3. L'acquisition des compétences par les différents acteurs**

La question de la compétence des différents acteurs en matière de passation des marchés par appel d'offres est essentielle pour une bonne conduite de celle-ci.

Ainsi, il faut mettre à la disposition des agents publics, en charge de la passation des marchés publics, des formations leur permettant d'acquérir les compétences nécessaires pour l'accomplissement de leurs tâches. Les personnels des entreprises, surtout ceux des PME, doivent également bénéficier de formation et d'assistance afin de leur permettre de gérer, de façon plus professionnelle et efficace, les différentes procédures d'appel d'offres.

En outre, la mise en place de formations académiques portant sur la gouvernance des marchés, dans les universités et grandes écoles, permettra de former de futurs entrepreneurs et agents publics disposant des capacités nécessaires pour la bonne gestion des procédures d'appel d'offres.

### **V- Conclusion**

Les marchés publics sont divisés en trois grandes catégories (marchés de travaux, de fournitures et de services) et sont attribués aux prestataires à travers plusieurs modes de passation. L'appel d'offres est le mode naturel de passation des marchés et ne pas l'utiliser requiert une justification valable.

Le cadrage logique effectué a permis de cerner les problèmes rongant le secteur des marchés publics dont le plus important demeure la corruption qui, dans ce secteur, a lieu dans tous les pays du monde même ceux réputés pour leur transparence.

Le cadrage logique a également permis de dégager des objectifs à atteindre afin d'accéder à une bonne gouvernance des marchés publics.

Le chapitre suivant présente l'e-gouvernement dans le secteur des marchés publics et s'appuie sur le cadrage logique effectué pour proposer, dans le cadre du gouvernement électronique, un projet de gestion des marchés publics visant à apporter des solutions aux différents problèmes évoqués.

**PARTIE II - PROPOSITION D'UN PROJET E-  
MARCHE PUBLIC ET RESULTATS  
SCIENTIFIQUES DES TRAVAUX DE  
RECHERCHE**

---

## **CHAPITRE III : PROPOSITION D'UN PROJET DE GESTION DES MARCHES PUBLICS**

### **PROJET BASE SUR UNE SMART DEMATERIALISATION, UNE EVALUATION INTELLIGENTE DES OFFRES, UNE PLATEFORME DECISIONNELLE ET UNE MINIMISATION DES RISQUES**

---

#### **I- Introduction**

L'intégration de l'e-gouvernement, dans le secteur des marchés publics, doit être conduite avec beaucoup de précaution, de compétence et d'expertise compte tenu du caractère hautement stratégique de ce secteur. L'e-gouvernement dans ce secteur porte essentiellement sur la dématérialisation des activités relatives à la gouvernance des marchés publics. Ce chapitre s'intéresse particulièrement à cette dématérialisation qui consiste à faire usage des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les procédures de passation des marchés publics.

Avec l'avènement des TIC, la dématérialisation des procédures de passation des marchés publics s'est imposée, grâce à ses nombreux résultats positifs, comme une solution incontestable à de nombreux problèmes dans ce secteur hautement stratégique (Oyediran et Akintola, 2011). En effet, les avantages qu'elle offre sont immenses à la fois pour les pouvoirs publics, les administrations publiques, les entreprises et, au-delà, la société tout entière. Son grand avantage est sa capacité à instaurer la transparence, ce qui fait d'elle un outil par excellence de lutte contre la corruption (Neupane et al., 2012) qui demeure le plus grand problème des marchés publics (Auriol, 2004).

Toutefois, nonobstant ses nombreux avantages, le processus de dématérialisation des marchés publics présente des risques et des obstacles qui dissuadent certains acteurs et retarde son évolution (Parida et Sophonthummapharn, 2010).

Pour poser le cadre de nos contributions au développement de l'e-gouvernement dans le secteur des marchés publics, notamment dans les procédures d'appel d'offres, nous avons élaboré un projet de gestion des marchés publics basée sur une smart dématérialisation, une évaluation intelligente des offres, la construction d'une plateforme décisionnelle intégrant un pipeline d'importation de données relatives aux marchés publics et une minimisation des risques. Les différentes contributions scientifiques et technologiques de nos travaux de recherche seront faites à la lumière de ce projet tout au long des chapitres à venir.

Ce projet de gestion des marchés publics constitue une feuille de route pour la présente thèse et pour nos travaux de recherche post-thèse.

## II- E-gouvernement et secteur des marchés publics

### II-1. Le principe de la dématérialisation

Avec l'évolution technologique et vu les enjeux qui la sous-tendent, la dématérialisation est un processus irréversible qui conditionne le développement de nos sociétés (Yadav et Singh, 2013).

La dématérialisation signifie le transfert sur support numérique des types d'information qui existaient jusque-là sous forme analogique, c'est-à-dire sur des supports dits traditionnels, le plus souvent le papier, mais aussi les CD, DVD, cassettes, etc., (Desaubry, 2009). Il convient de faire une différence entre les notions de dématérialisation, de digitalisation et de numérisation même si elles sont généralement utilisées comme étant identiques.

La numérisation et la digitalisation sont deux notions identiques et semblables à la dématérialisation dans le sens où elles sont utilisées pour désigner le fait de mettre un document physique sous une forme électronique (numérique). Par contre, le terme dématérialisation est préféré quand il s'agit de mettre sous format électronique (numérique) tout ou partie d'un processus métier y compris les documents relatifs audit processus.

Dans le processus de dématérialisation, il convient de préciser la notion d' « original ». Qu'un document soit sous forme papier ou électronique, on considère sa première version comme étant l'original. Toutefois, pour qu'un document électronique soit considéré comme original il faut qu'il respecte les deux conditions suivantes :

- les auteurs puissent être dûment identifiés ;
- l'effectivité de la garantie de l'intégrité du document.

La dématérialisation fait appel à la notion de signature électronique ou signature numérique. Dans le même esprit que la signature manuscrite, la signature électronique a pour but d'assurer l'intégrité d'un document électronique tout en authentifiant son auteur. Un mécanisme de signature numérique doit présenter les propriétés suivantes :

- permettre au lecteur d'un document d'identifier la personne ou l'organisme qui a apposé sa signature ;
- garantir que le document n'a pas été altéré entre l'instant où l'auteur l'a signé et le moment où le lecteur le consulte.

Pour ce faire, la signature électronique doit être :

- **authentique** : l'identité du signataire doit pouvoir être retrouvée de manière certaine ;
- **infalsifiable** : la signature ne peut pas être falsifiée. Quelqu'un ne peut se faire passer pour un autre ;
- **non réutilisable** : la signature n'est pas réutilisable. Elle fait partie du document signé et ne peut être déplacée sur un autre document ;
- **inaltérable** : un document signé est inaltérable. Une fois qu'il est signé, on ne peut plus le modifier ;
- **irrévocable** : la personne qui a signé ne peut le nier.

La dématérialisation globale ou totale consiste à remplacer totalement les supports traditionnels, par des supports numériques, dans l'ensemble des processus métiers d'une activité donnée. On parle aussi de « bureau sans papier » ou « zéro papier ». Le stade de dématérialisation totale est loin d'être atteint à cause des blocages psychologiques et le manque de confiance aux procédures dématérialisées. Si la dématérialisation totale est perçue comme le meilleur moyen d'en tirer pleinement profit, il faut noter que dans certaines activités il est préférable et bénéfique de ne pas opter pour une dématérialisation totale mais plutôt pour une dématérialisation partielle.

## II-2. La dématérialisation des marchés publics

La dématérialisation des marchés publics peut être définie comme l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC), en l'occurrence l'internet pour faciliter les différentes démarches relatives à la passation des marchés publics (Wu et al., 2007).

Avec le développement des TIC surtout de l'internet, les procédures dématérialisées prennent de plus en plus la place des procédures traditionnelles en format papier. Ainsi de nombreuses solutions informatiques de type Web ont été développées dans le cadre de la gestion des marchés publics. On dénombre cinq grandes catégories de solutions informatiques durant le cycle de passation des marchés publics.

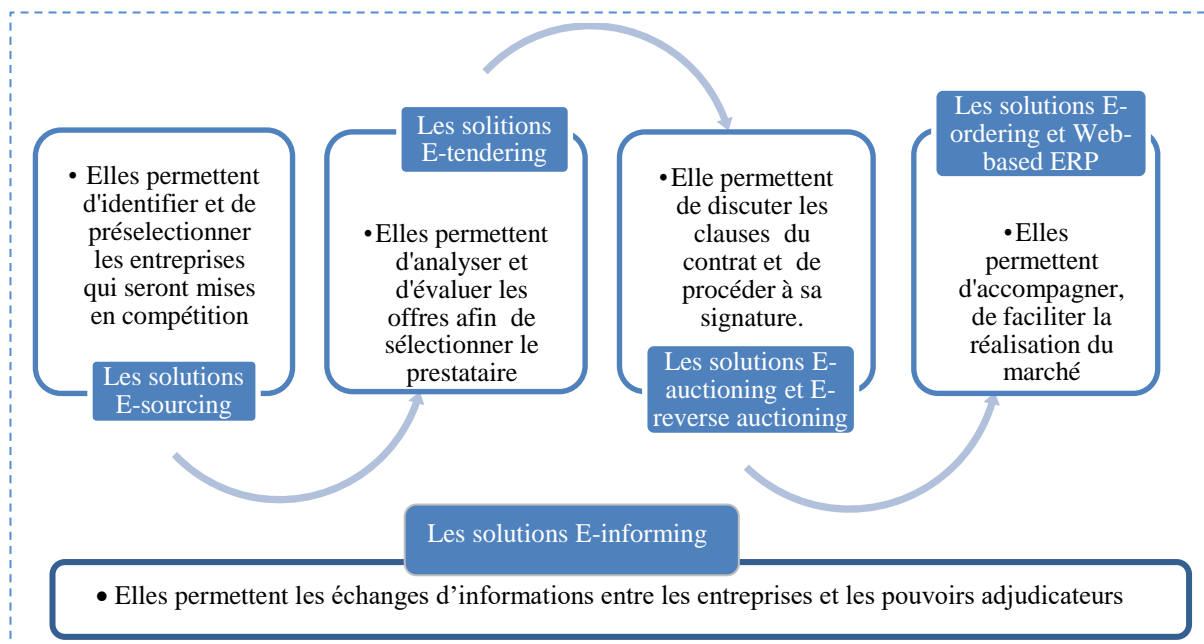


Figure 3. 1: Les 5 grandes catégories de solutions informatiques dans le cycle de passation des marchés publics

La catégorie « E-informing » regroupe les solutions informatiques portant sur la diffusion des marchés publics via internet et tous les autres types d'échanges d'information entre les entreprises et les pouvoirs adjudicateurs, et ce, tout au long du cycle de passation.



Le fossé reste très large entre les pays développés et ceux en voie de développement en ce qui concerne l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans le secteur des marchés publics. Certains pays en voie de développement n'ont pas encore entamé le recours aux procédures dématérialisées dans la gestion des marchés publics.

### **II-3. Les avantages de la dématérialisation des marchés publics**

Les avantages qui sous-tendent la dématérialisation des marchés publics expliquent la large adhésion et les efforts consentis par les pouvoirs publics et les entreprises pour en faire une réussite. Cette sous-section présente les principaux avantages de la dématérialisation des marchés publics.

#### **II-3.1. Plus de transparence dans la gestion des marchés publics**

Vu la corruption à grande échelle dans les marchés publics, le recours à la dématérialisation en vue de plus de transparence s'impose comme une nécessité. En effet, la dématérialisation permet de réduire les rencontres face à face au cours desquelles la plupart des demandes d'échange de pots-de-vin ont eu lieu (Pictet et Bollinger, 2008). Elle instaure les pratiques suivantes qui permettent de réduire considérablement les risques de corruption :

- élimination des interactions humaines directes, ce qui diminue les risques de corruption et augmente l'efficacité internes des structures chargées des marchés publics (Ndou, 2004) ;
- surveillance plus facile et efficace par les autorités publiques des activités liées à la passation des marchés publics (Aman et Kasimin, 2011 ; Kaliannan et Awang, 2009) ;
- réduction des pratiques de collusion entre les différents acteurs (Singh et al., 2006). Ces pratiques sont des arrangements entre deux ou plusieurs entreprises, avec ou sans le pouvoir adjudicateur, pour établir des montants non compétitifs en leur faveur. Cette forme de corruption rehausse les montants des marchés par rapport aux montants réels<sup>12</sup> ce qui entraîne un gaspillage de l'argent public. Les pratiques de collusion peuvent avoir lieu entre une entreprise et le pouvoir adjudicateur. Le pouvoir adjudicateur peut par exemple définir les critères d'attribution du marché afin que seule l'entreprise avec laquelle il a eu des arrangements puisse être capable de les remplir et donc de remporter le marché. Les entreprises peuvent également, entre elles, avoir des arrangements afin de se partager les marchés et faire un semblant de concurrence lors des appels d'offres. Toutes ces pratiques ont pour objectif de s'accaparer frauduleusement l'argent public pour le compte des entreprises et/ou des pouvoirs adjudicateurs.

#### **II-3.2. Réduction des coûts**

---

<sup>12</sup> Cette forme de corruption peut aller jusqu'à un partage des différents marchés par les entreprises en leur faveur. Ainsi, lorsqu'un marché selon leur arrangement appartient à une entreprise, les autres joueront le jeu en étant de faux adversaires avec des offres de faible qualité.

Contrairement aux procédures dématérialisées, les procédures en format papier coûtent plus chères à la fois pour les entreprises et pour les services publics. Le recours aux TIC permet de baisser considérablement les frais de recherche de marchés, de communication, de négociation, etc., (Subramaniam et Shaw, 2004).

De même, la dématérialisation permet aux entreprises et aux administrations publiques de réduire la main d'œuvre dans le processus de passation des marchés, ce qui équivaut à une réduction des coûts à courts, moyens et longs termes.

De plus, on a une baisse voire une annulation des frais postaux, de déplacements, d'achat de papier, d'achat de cartouches d'encre, de parc d'imprimantes et de photocopieurs, de coût d'archivage, etc. On estime qu'avec des procédures dématérialisées, les coûts sont globalement réduits au minimum de 50%<sup>13</sup> (Rozé, 2012).

### **II-3.3. Modernisation et efficacité du processus de passation des marchés**

La dématérialisation entraîne une modernisation du processus d'attribution des marchés par l'utilisation des moyens informatiques et l'intégration de nouvelles composantes<sup>14</sup> dont des systèmes d'information performants et hautement sécurisés, ce qui rend le travail plus agréable pour les différents acteurs.

Non seulement, les solutions informatiques mises en place dans le cadre de la dématérialisation présentent plusieurs outils capables de faire une analyse des marchés et des dépenses à faire durant les différentes procédures de passation mais aussi d'assurer d'autres activités stratégiques relatives aux marchés publics (Parida et Sophonthummapharn, 2010). La bonne utilisation de ces outils par les entreprises et les agents publics améliore considérablement l'intégralité du processus de passation des marchés.

La dématérialisation permet, également, la flexibilité et la rapidité du processus. En effet, les entreprises peuvent modifier et déposer leurs dossiers à la dernière minute. Quant aux services publics, ils peuvent procéder, en temps réel, à des modifications sur les différents marchés qu'ils souhaitent attribuer.

### **II-3.4. Gain de temps et de productivité**

Il y'a une grande différence en termes de gain de temps et de productivité entre une procédure en format papier et une procédure dématérialisée. Selon des études menées par l'entreprise française Bristol Myers Squibb (BMS), le temps pour l'envoi et la réception d'un dossier dématérialisé, à titre de réponse à un appel d'offres, est estimé à environ deux heures alors que celui d'un dossier papier est estimé à environ quatre jours (Rozé, 2010).

On a une baisse du temps de travail des employés des entreprises et des agents publics en charge des marchés publics (Trkman et McCormack, 2010) ; ce gain de temps peut être consacré à d'autres activités et cela permettra d'accroître la productivité des entreprises et des services publics.

### **II-3.5. Meilleure communication et diffusion de l'information sur les marchés**

---

<sup>13</sup> Aux USA, des études montrent, qu'avec la dématérialisation, les frais relatifs à la recherche de marchés, à la communication et à la négociation passent de 100 à 250 dollar américain à 10 à 30 dollar américain (Handfield et al., 2006).

<sup>14</sup> De nouveaux logiciels de travail, des ordinateurs, une connexion internet de débit élevé, etc.

Les pouvoirs adjudicateurs et les entreprises, par le biais des technologies de l'information et de la communication, peuvent échanger en temps réel des informations via plusieurs canaux tels que les messages électroniques (email), les vidéoconférences, le e-guichet, etc. Ces échanges d'informations, pour ce faire, ne demandent qu'une connexion internet et des ordinateurs ; choses que les entreprises et les services publics possèdent déjà, d'où l'absence de coûts supplémentaires pour les différents acteurs (Quayle, 2005).

La dématérialisation permet d'assurer une meilleure diffusion des informations sur les marchés publics avec des moyens qui garantissent un traitement égal des entreprises à l'accès à l'information. Cette diffusion permet également aux entreprises géographiquement éloignées d'être au même niveau d'information que les entreprises proches.

### **II-3.6. Plus de concurrence et l'amélioration de la qualité des prestations**

L'amélioration de la communication et de la diffusion de l'information, autour des appels d'offres, permet à plusieurs entreprises d'être informées sur les marchés publics à attribuer et d'avoir toutes les informations relatives aux procédures d'attribution, et ce, à temps. Ce qui favorise, d'une part, l'augmentation des entreprises concurrentes (Nepelski, 2006) et d'autre part, l'augmentation de la probabilité de participation d'entreprises performantes capables de faire des propositions de qualité élevée (Gardenal et al., 2013).

L'instauration de cette concurrence, due à la dématérialisation des procédures de passation, permettra de garantir la compétitivité des prix ainsi que la qualité des prestations. Ce qui permettra aux services gouvernementaux et aux populations de bénéficier des prestations de qualité.

## **II-4. Les risques et barrières de la dématérialisation des marchés publics**

Nonobstant ses nombreux avantages, le processus de dématérialisation des marchés publics présente des risques qui ralentissent son développement (Davila et al., 2003).

### **II-4.1. Les risques internes**

On rencontre ce type de risque aussi bien chez les entreprises que chez les services qui doivent prendre des précautions lors de la mise en œuvre d'applications informatiques dédiées aux marchés publics. Certaines entreprises et même des services publics doutent de leurs capacités à intégrer convenablement des procédures dématérialisées et à tirer pleinement profit (Davila et al., 2003). En effet, les entreprises et les services publics, pour la plupart, possèdent déjà des systèmes informatiques qui regorgent d'applications dédiées à la gestion des ressources humaines, à la comptabilité et à la finance, à la gestion des stocks, à la production, etc. ; et l'intégration d'une nouvelle application peut provoquer des dysfonctionnements dans le système informatique existant (Vanjoki, 2012).

En d'autres termes, la réussite de la mise en œuvre d'une application informatique, dédiée aux marchés publics, ne dépend pas uniquement de son bon fonctionnement mais de sa capacité à bien interagir avec les constituants du système informatique existant, afin de garantir le bon fonctionnement de celui-ci (Talluri, 2006).

Il faut, toutefois, noter que ce risque n'est pas propre à l'intégration d'une application dédiée à la dématérialisation des marchés publics mais à toute autre application qu'on souhaite intégrer à un système informatique existant.

#### **II-4.2. Les risques externes**

Les risques externes regroupent tous les risques qui interviennent lors des interactions entre les systèmes informatiques des entreprises et ceux des services publics<sup>15</sup>. En effet, la réussite des pratiques de dématérialisation des marchés publics est conditionnée par la capacité des différents systèmes informatiques à interagir convenablement entre eux. Ce qui suppose que les entreprises et les services publics doivent préalablement réussir l'intégration des applications pour la dématérialisation des marchés au sein de leurs différents systèmes informatiques.

Pour garantir la réussite des commandes publiques dématérialisées, les échanges entre les fournisseurs (entreprises) et les services publics jusqu'à la réalisation du marché, via leurs systèmes informatiques, doivent être assurés avec efficacité. Cela peut être coûteux pour les entreprises, surtout les petites et moyennes entreprises (PME) (Davila et al., 2003), qui ont des capacités financières limitées et qui ne sont pas certaines de compenser les fonds investis car ayant peu de chance d'avoir des marchés.

Aussi, le fait que bon nombre de services publics et d'entreprises n'utilisent pas les procédures dématérialisées peut être un motif valable de découragement pour certains acteurs à investir pleinement dans la dématérialisation afin de se doter de système informatique capable d'interagir efficacement avec les autres ; ce qui est de nature à accroître les risques externes.

#### **II-4.3. Les risques technologiques**

Ce type de risque porte sur les normes des technologies<sup>16</sup> utilisées dans le cadre de la dématérialisation des marchés. En effet, les services publics et les entreprises s'inquiètent du fait qu'il n'existe pas de normes largement adoptées sur les technologies utilisées qui répondent à leurs besoins. L'intégration et le fonctionnement de nombreux logiciels ont été compromis à cause de l'absence de normes largement acceptées sur les technologies utilisées (Davila et al., 2003).

Cette situation ralentit le développement du processus de dématérialisation des marchés et empêche de tirer profit de ses nombreux avantages.

Au vu de ce constat, une nécessité s'impose ; celle de mettre en place des normes claires acceptées et pratiquées par tous sur les technologies utilisées.

#### **II-4.4. Les risques relatifs à la sécurité et au contrôle des données et des infrastructures**

Compte tenu de la confidentialité et de la sensibilité des données des services publics et des entreprises, du respect des textes juridiques sur les transactions financières et de l'importance des montants de celles-ci, la sécurité informatique est une préoccupation majeure dans la dématérialisation des marchés publics (Arbin, 2006). Ne pas pouvoir l'assurer demeure un risque qui hante les entreprises et les pouvoirs publics.

---

<sup>15</sup> Chaque administration publique peut posséder une application dédiée à ses commandes publiques ou l'Etat, comme cela se passe dans de nombreux pays, peut mettre en place une structure centrale chargée de la gestion électronique de toutes les commandes publiques.

<sup>16</sup> Les technologies utilisées pour le transfert des données, la sécurité du réseau internet, ...

A travers le piratage informatique, il arrive que le système de sécurité ne soit pas capable d'identifier et d'authentifier des personnes se faisant passer pour des pouvoirs adjudicateurs qui demandent une prestation pour la réalisation d'un marché, ce qui expose les entreprises soumissionnaires à des manœuvres frauduleuses.

Aussi, il y a le risque d'accès, de récupération et d'exploitation des données confidentielles des entreprises. Pire, ces données peuvent être récupérées et exploitées par des entreprises concurrentes (Davila et al., 2003).

Les transactions financières relatives aux procédures en ligne pour l'attribution des marchés publics sont susceptibles d'être frauduleuses ou détournées si la sécurité informatique est défaillante (Birks et al., 2001).

Les entreprises et les services publics peuvent perdre le contrôle de leurs systèmes informatiques suite à des attaques de la part de hackers<sup>17</sup>, ce qui peut avoir de graves conséquences allant jusqu'à l'arrêt des activités (Davila et al., 2003).

#### **II-4.5. La résistance au changement et le manque de compétence chez certains acteurs**

La résistance au changement est l'un des plus grands obstacles à la dématérialisation des marchés (Eadie et al., 2007). Bon nombre d'acteurs (institutions publiques, entreprises) sont réticents quant au délaissement de leurs anciennes pratiques pour en adopter de nouvelles. Cette réticence s'accroît avec les risques et autres problèmes relatifs à l'adoption de procédures dématérialisées. Le personnel des entreprises et des administrations publiques en charge de la passation des marchés n'ont pas souvent les connaissances et compétences nécessaires. Cela peut s'expliquer par un personnel vieillissant profondément attaché aux procédures traditionnelles (Eadie et al., 2007) ou par un personnel n'ayant pas reçu les formations adéquates.

L'absence d'expertise empêche la dématérialisation de tout le processus de passation des marchés. Les étapes de la soumission des plis et de l'évaluation des offres restent à nos jours non dématérialisées dans de nombreux pays y compris des pays développés.

Le coût supplémentaire pour former le personnel à l'utilisation de procédures dématérialisées peut aussi être la cause du manque de compétence et d'expertise en matière de dématérialisation.

#### **II-4.6. L'absence et le coût élevé des infrastructures**

Les services publics et les entreprises ne disposent parfois pas des infrastructures technologiques nécessaires à la mise en place des procédures dématérialisées (Wong et Sloan, 2004) et ce constat est beaucoup plus frappant dans les pays en voie de développement.

Par ailleurs, il faut noter que certains acteurs n'ont pas les moyens de se procurer les infrastructures adéquates car cela peut être coûteux pour les entreprises surtout les petites et moyennes entreprises (PME) (Davila et al., 2003).

### **III- Construction d'un projet de gestion des marchés publics**

Il s'agit de construire un nouveau projet de gestion pour la passation des marchés publics via le mode naturel d'attribution à l'appel d'offres. Ce projet a pour but d'apporter des solutions à

---

<sup>17</sup> Personne qui cherche à contourner les protections d'un logiciel, à s'introduire frauduleusement dans un système ou un réseau informatique.

tout ou partie des problèmes de la passation des marchés publics. Il est constitué de huit principaux axes qui sont présentés ci-dessous.

### **III-1. L'élaboration du dossier d'appel d'offres**

Le dossier d'appel d'offres est une pièce maitresse dans le processus d'appel d'offres. Il est composé du règlement de consultation (qui contient les critères d'attribution et leurs pondérations), du cahier des prescriptions spéciales (cahier des charges) et de tous les autres documents nécessaires à la diffusion de l'appel d'offres par le commanditaire. Le dossier d'appel d'offres contient généralement les documents suivants :

- l'avis d'appel d'offres ou avis de publicité ou circulaire ;
- le cahier des prescriptions spéciales ;
- le modèle de l'acte d'engagement ;
- les plans et documents techniques ;
- le modèle du bordereau des prix ;
- le modèle du détail estimatif ;
- le modèle de la décomposition du montant global ;
- le modèle du cadre du sous-détail des prix ;
- le modèle de la déclaration sur l'honneur ;
- le règlement de consultation.

L'objectif est de mettre en place un système qui aidera les pouvoirs adjudicateurs à générer tous les documents constitutifs du dossier d'appel d'offres. Une telle démarche se focalisera sur le fait de générer le cahier des prescriptions spéciales, le règlement de consultations et les estimations des différents prix car les autres documents sont quasi-similaires pour tout type d'appel d'offres. Les plans et les documents techniques, si le processus d'attribution les exige, seront joints par le commanditaire pour compléter le dossier. Le système, pour générer les différents documents du dossier d'appel d'offres, s'appuiera sur une bibliothèque de modèles de dossiers d'appels d'offres certifiés et normés.

### **III-2. La création d'une bibliothèque de dossiers d'appel d'offres certifiés et normés**

Pour générer le dossier d'appel d'offres et ses documents constitutifs, le système offrira au commanditaire une bibliothèque de modèles de dossiers d'appels d'offres. Les modèles contenus dans cette bibliothèque seront regroupés en quatre grands groupes :

- **groupe des marchés de travaux** : ce groupe contient les modèles de dossiers d'appel d'offres relatifs aux marchés de travaux. Il sera subdivisé en sous-groupes suivant les différents types de marchés de travaux.
- **groupe des marchés de services** : ce groupe contient les modèles de dossiers d'appel d'offres relatifs aux marchés de services. Il sera également subdivisé en sous-groupes suivant les différents types de marchés de services.
- **groupe des marchés de fournitures** : il contient les modèles de dossiers d'appel d'offres en rapport avec les marchés de fournitures. Il sera aussi subdivisé en sous-groupes suivant les différents types de marchés de fournitures.

- **groupe neutre** : ce groupe contient un seul dossier d'appel d'offres qui ne contient que les documents vierges du dossier d'appels d'offres. Le pouvoir adjudicateur remplira entièrement en ligne ces documents.

L'unique modèle contenu dans le « groupe neutre » offre la possibilité au pouvoir adjudicateur d'élaborer entièrement son dossier d'appel d'offres lorsqu'il ne désire pas s'appuyer sur les modèles prédéfinis proposés par la bibliothèque.

Quant aux modèles de dossiers d'appels d'offres des trois premiers groupes, ils contiennent les documents remplis par défaut auxquels le commanditaire a la possibilité de faire toutes les modifications nécessaires pour affiner les afin de mieux les adapter à ses besoins et critères de présélection et d'attribution. Les graves incohérences lors des modifications seront signalées par un algorithme de la solution d'informatique.

Les modifications précitées porteront essentiellement sur le cahier des prescriptions spéciales et le règlement de consultation car les autres documents sont quasi-similaires. L'utilisation de la bibliothèque permettra au commanditaire de trouver un cahier de prescriptions spéciales et un règlement de consultation d'un marché semblable à celui qu'il souhaite attribuer sinon il pourra utiliser le dossier d'appel d'offres du « groupe neutre ».

Cette démarche consiste, d'une part, à largement simplifier la tâche aux pouvoirs adjudicateurs lors de la préparation du dossier d'appel d'offres et, d'autre part, à améliorer la qualité des dossiers d'appels d'offres qui reste un défi majeur dans la passation des marchés. En effet, les cahiers de prescriptions spéciales et les règlements de consultation proposés par les pouvoirs adjudicateurs contiennent parfois de nombreuses insuffisances (Zadelhoff, 2014).

La mise en place des modèles de la bibliothèque sera pilotée par des experts et les modèles établis seront certifiés et normés par un comité d'experts. La bibliothèque est enrichi par des exemples de documents ayant fait l'objet d'un appel d'offres et établis à partir des modèles de celles-ci. Les utilisateurs peuvent, en plus, des modèles préétablis s'appuyer sur ses exemples réels pour élaborer les documents de leurs dossiers d'appel d'offres.

### **III-3. Calcul logique des estimations des prix basé sur l'utilisation d'un référentiel de prix**

L'élaboration du bordereau des prix, du détail estimatif, du sous-détail des prix et de la décomposition du montant global nécessite une bonne connaissance des prix et une maîtrise des méthodes de calcul pour leur mise en place. Dans ce sens, un référentiel des prix à l'échelle nationale et/ou internationale sera mis en place contenant les prix des objets et services nécessaires à la réalisation des différents marchés. Le système quant à lui, intégrera les différentes méthodes de calcul nécessaires à l'élaboration des différents prix contenus dans lesdits documents.

Ce référentiel des prix permettra, d'une part, un calcul logique des estimations des prix afin de faciliter l'élaboration du bordereau des prix, du détail estimatif, du sous-détail estimatif et la décomposition du montant global, d'autre part, il constituera un outil efficace de lutte contre

les surfacturations qui peuvent intervenir dans le cadre d'un arrangement<sup>18</sup> entre le pouvoir adjudicateur et le prestataire (Singh et al., 2006).

#### **III-4. L'évaluation intelligente des offres**

Le recours à une évaluation intelligente dans le processus d'appel d'offres prend tout son sens dans l'importance de l'étape de l'analyse et de l'évaluation (Mohamad et al., 2010) des offres et des candidatures<sup>19</sup>. Si cette étape est la plus importante, elle demeure aussi la plus problématique elle peut engendrer une crise de confiance entre les différents acteurs. Le choix de la meilleure offre est fortement fonction de cette étape et elle constitue l'étape du processus d'appel d'offres où les risques de corruption sont très élevés (Ameyaw et Mensah, 2013).

La mise en place d'un système capable d'analyser et d'évaluer les offres en lieu et place des hommes permettra, d'une part, de réduire les tentatives de corruption et, d'autre part, d'éradiquer les erreurs humaines. Il permettra aussi d'accélérer les traitements des éléments de réponse concernés par cette étape en exploitant au mieux les puissances de calcul des machines. Pour mettre en place un tel système, nous nous appuyeront sur les méthodes d'intelligence artificielle et d'aide à la décision telles que AHP (Dalalah et al., 2010; Saaty, 1991), FAHP (Demirel et al., 2008; Osiro et al., 2014), la logique floue (Kaufmann et al., 2009; Mateus et al., 2010; Wulan et Petrovic, 2012), les réseaux de neurones (Yang et al., 2010), etc., qui permettent de conduire, de bout en bout, un processus d'évaluation et de classification de plusieurs objets afin d'en sélectionner les meilleurs ou le meilleur.

#### **III-5. Le renforcement de la sécurité informatique**

Le problème majeur lié à la dématérialisation des marchés publics demeure celui du déficit de sécurité, de confidentialité et de l'authenticité (Stephens et Valverde, 2013) des données et des informations stockées et échangées.

La sécurité informatique qui consiste essentiellement à garantir la confidentialité, l'intégrité des informations et des systèmes d'informations, à assurer la disponibilité et le transfert des informations (Stephens et Valverde, 2013) doit occuper une place de haute importance dans tout projet de dématérialisation. Ainsi, l'un des axes majeurs de ce projet est de mettre en place une solution très sécurisée capable de garantir la disponibilité, la confidentialité, l'intégrité des informations et du système d'information, d'assurer et de veiller à l'authenticité des informations échangées, de contrôler les accès au système, etc. Ci-dessous les grandes orientations de la sécurité informatique proposées par le projet.

##### **⇒ Sécurisation des bases de données :**

- les bases de données sont en lecture/insertion seules ;
- l'utilisateur (service public ou entreprise) du système n'a pas de privilèges (drop, add, truncate (table)) ni de privilèges (delete, replace, update) ;
- la mise à jour des champs se fait grâce à des states machines ;

<sup>18</sup> Ce genre d'arrangement fait partie des pratiques de corruption dites pratiques de collusion qui interviennent dans la passation des marchés publics.

<sup>19</sup> L'évaluation des candidatures dans les appels d'offres restreints.



- Les sauvegardes de données se font de plusieurs manières telles que :
  - l'utilisation de double disque et de backup déporté<sup>20</sup> sur la plateforme principale ;
  - l'utilisation de back-up sur la plateforme secondaire dans un lieu et chez un hébergeur différent.
  
- ⇒ **Sécurisation des enregistrements des utilisateurs institutionnels (services publics) :**
  - l'ajout d'un service public se fait par intégration et par une mise à jour au niveau d'un système ;
  - un service public pourra créer plusieurs comptes ;
  - un service public pourra attribuer des droits spécifiques à ses comptes ;
  - pour octroyer un mot de passe plus sécurisé, ce dernier est attribué par le système et il n'est pas modifiable par le service public ;
  - seul l'administrateur peut envoyer un email avec le nouveau mot de passe généré par le système ;
  - le service public ayant perdu son mot de passe, doit remplir un formulaire :
    - aussitôt son compte est bloqué ;
    - l'administrateur pourra le contacter par téléphone s'il suspecte que la demande est fausse ;
  - les mots de passe sont hashés en script<sup>21</sup>;
  - dès qu'un compte d'un service public est radié, le compte concerné perd son droit d'accès.
  
- ⇒ **Sécurisation des enregistrements des entreprises :**
  - une entreprise doit remplir via un site web une demande d'inscription ;
  - l'enregistrement d'une entreprise se fait par un administrateur ;
  - une fois l'inscription validée, l'entreprise ne peut plus changer ses données personnelles directement (Téléphone/email/adresse), elle devra passer par un formulaire spécifique ;
  - pour octroyer un mot de passe plus sécurisé, ce dernier est attribué par le système et il n'est pas modifiable par l'entreprise ;
  - seul l'administrateur peut envoyer un email avec le nouveau mot de passe généré par le système ;
  - l'entreprise ayant perdu son mot de passe, doit remplir un formulaire :
    - aussitôt son compte est bloqué ;
    - l'administrateur pourra le contacter par téléphone s'il suspecte que la demande est fausse ;
  - le mot de passe est généré automatiquement ;
  - le mot de passe est hashé en script ;

---

<sup>20</sup> Le backup déporté permet d'exporter une sauvegarde dans un autre lieu, ce qui protège les données contre le risque de vol et de tout sinistre survenant dans les installations (incendie, inondation, explosion, etc.).

<sup>21</sup> Le hachage est une technique de sécurité informatique utilisée pour protéger les mots de passe. Il consiste à chiffrer c'est à dire à "crypter" des chaînes de caractères.

- les droits d'accès et d'utilisation sont très limités, attribués par le système après validation et ne peuvent être changés ;
- dès qu'une entreprise est radiée, elle perd son droit d'accès.

⇒ **Sécurisation des mises à jour :**

- dès qu'un dossier est validé et programmé, on ne peut lui apporter des modifications ;
- dans la limite du possible, toute modification tardive doit faire l'objet d'une demande qui doit donner lieu à un processus précis ;
- dès qu'un objet est modifié par une procédure officielle, tous les acteurs référencés reçoivent une notification dans leur tableau de bord ;
- chaque dossier affiche les traces de son changement d'état et des interventions faites sur lui.

⇒ **Sécurisation des transferts :**

- le transfert se fera par voie SSL via internet, un certificat valide sera requis ;
- les différents acteurs internes (institution ayant son propre serveur) seront connectés par un VPN permanent ;
- la connexion VPN est cryptée.

### **III-6. La gestion et le suivi de la réalisation des marchés et des périodes post-livraison et post-garantie**

Il s'agit, dans le cadre de la passation des marchés, d'opérer un suivi et une gestion effectifs de la réalisation des marchés publics et d'aller au-delà de cette étape en prenant en compte les périodes post-livraison et post-garantie.

#### **III-6.1. La gestion et le suivi de la réalisation du marché**

Le choix de la meilleure offre ne garantit pas totalement l'absence de défaillances et de négligences lors de la réalisation du marché, d'où la nécessité de mener un suivi rigoureux de cette étape. Ainsi, les codes de marchés publics de nombreux pays<sup>22</sup> contiennent des dispositions juridiques instaurant et réglementant le suivi et le contrôle de l'exécution des marchés publics. Ce contrôle se fait par le maître d'ouvrage ou une autorité déléguée par lui qui peut être un expert indépendant, un cabinet, un bureau d'étude, etc. Mieux, les nouvelles législations en vigueur permettent de mener des audits pendant et à la fin de l'exécution des marchés.

Pour accroître l'efficacité du module e-réputation de ce projet de gestion des marchés publics (ce module est décrit dans le point III-7), les rapports et les données portant sur le suivi et le contrôle de l'exécution des marchés et ceux des audits seront envoyés au système. Ils permettront d'enrichir la base de données portant sur les comportements des entreprises lors de la réalisation des marchés.

---

<sup>22</sup> Les codes français, marocain des marchés publics ainsi que ceux de d'autres pays exigent un contrôle et un suivi de l'exécution des marchés.

### **III-6.2. La gestion et le suivi de la période post-livraison et post-garantie**

Le suivi des périodes post-livraison et post-garantie consiste à interpeler le prestataire sur certaines défaillances, dont il en serait responsable, que peuvent présenter sa prestation dans un futur proche ou lointain. Les rapports détaillés de ces interpellations seront stockés au sein du système et utilisés par le module e-réputation.

Une telle démarche aura, d'une part, pour effet de pousser les prestataires à livrer un travail de qualité et, d'autre part, elle permettra d'enrichir la base de données « black-list » des entreprises responsables de graves manquements.

Un travail similaire sera effectué pour les services publics, les entreprises peuvent, pendant la réalisation du marché et pendant les périodes post-livraison et post-garantie, envoyer des rapports sur les comportements des services publics.

### **III-7. La mise en place d'un module e-réputation**

Il s'agit d'avoir un outil en ligne sur les attitudes des différents acteurs de la passation des marchés publics. Cela consistera à mettre en place une base de données portant sur toutes les administrations publiques et toutes les entreprises nationales et internationales participant à la passation des marchés.

Cette base de données permettra de mettre en place un système centralisé capable de suivre les comportements des commanditaires et des entreprises afin de détecter ceux qui sont exemplaires et ceux qui ne le sont pas.

En clair, il s'agit de parvenir à un système centralisé performant d'e-réputation qui contribuera à l'instauration et au maintien de la transparence dans la passation des marchés publics car les différents acteurs seront forcés à l'exemplarité afin de ne pas ternir leurs réputations.

### **III-8. La création d'une plateforme décisionnelle dédiée à la gouvernance des marchés publics**

Les prises de décision dans la passation des marchés publics doivent être soigneusement menées compte tenu des intérêts en jeu. Ainsi, une plateforme décisionnelle pouvant guider les pouvoirs publics, les pouvoirs adjudicateurs et les entreprises dans la gouvernance des marchés publics est d'une importance capitale.

Il s'agit de faire usage des concepts mathématiques, statistiques et des concepts de Big Data et de data science pour offrir aux différents acteurs des outils d'aide à la décision.

En effet, des données sont générées dans le cadre de la passation des marchés publics et l'utilisation de celles-ci à des fins décisionnelles peut considérablement améliorer la gestion des marchés publics.

La statistique descriptive et la visualisation des données (data visualization) peuvent constituer d'excellents outils pour offrir, à partir des données générées, une compréhension effective de certains aspects de la gouvernance des marchés publics.

Dans le cadre du Big Data, les données générées sur les réseaux sociaux et sur internet peuvent être mises à contribution pour faire du data science et offrir aux pouvoirs publics les opinions

des citoyens sur leur gestion des marchés publics. Pour ce faire, les techniques de data science telles que le traitement du langage naturel (natural language processing), l'analyse des médias sociaux (social media analytics), l'analyse des sentiments (sentiment analysis), etc., peuvent être utilisées. Cette approche peut également être bénéfique pour les entreprises et les pouvoirs adjudicateurs dans la mesure où elle peut leur permettre d'appréhender les opinions des citoyens sur la qualité des différentes prestations.

Egalement des méthodes statistiques de prédiction, d'apprentissage statistique (machine) supervisé telles que les modèles de régression, les séries chronologiques, la régression logistique, les forêts aléatoires, les réseaux de neurones, etc., peuvent être utilisées dans l'objectif de guider les différents acteurs lors de la prise de décision. Les méthodes d'apprentissage statistique (machine) non-supervisé peuvent également être utilisées pour catégoriser les services publics, les entreprises, etc.

La mise en œuvre effective de ces différentes techniques statistiques, de Big Data et de data science peut créer une véritable plateforme décisionnelle dans le cadre de la gouvernance des marchés publics, ce qui aura des retombées positives pour les pouvoirs publics, les entreprises, les services publics et même les citoyens qui verront leurs opinions désormais prises en compte.

### **III-9. Autres propositions pour une dématérialisation effective des marchés publics**

Il s'agit de propositions permettant de résoudre certains problèmes de la dématérialisation des marchés publics qui peuvent trouver des solutions dans une forte volonté politique accompagnée d'investissements de capitaux, dans une bonne sensibilisation, une bonne planification et une bonne collaboration des différents acteurs, et ce, de façon permanente.

Les différents acteurs doivent travailler, de façon synergique, pour assurer la formation des personnels en vue de la compréhension des procédures dématérialisées et de leur utilisation. Ces formations doivent être amplifiées en vue d'accéder à une expertise qui facilitera l'intégration de logiciels dédiés à la dématérialisation des marchés dans les systèmes d'information des entreprises et des administrations publiques. Cette démarche mettra fin aux problèmes et risques internes évoqués et favorisera la résolution des problèmes et risques externes.

Par ailleurs, les différents acteurs doivent se concerter pour mettre en place des normes et des règles, acceptées et pratiquées par tous, afin de résoudre définitivement la question des problèmes liés aux normes technologiques.

Les gouvernements, les institutions financières et les grandes entreprises doivent accorder le financement nécessaire à l'acquisition des infrastructures pour les PME et les administrations publiques en vue de faire de la dématérialisation des marchés une réalité.

Il faut également conduire une sensibilisation expliquant les avantages et l'irréversibilité du processus de dématérialisation des marchés afin de briser la résistance au changement chez certains acteurs. Cette sensibilisation doit aussi porter sur l'explication à l'aide de preuves à l'appui des retombées positives notamment financières de tout processus de dématérialisation bien conçu, bien planifié et bien conduit en vue de dissuader les acteurs doutant encore de sa rentabilité et de son efficacité.

#### **IV- Conclusion**

L'adoption de l'e-gouvernement dans le secteur des marchés publics est diversement menée à travers le monde. Si dans certains pays notamment les pays développés l'e-marché public est une réalité, dans d'autres pays, en l'occurrence ceux en voie de développement, il est dans une phase embryonnaire, pire, il est souvent inexistant. L'adoption de l'e-gouvernement présente de nombreux avantages notamment celui de la réduction de la corruption. Elle présente également des risques qui heureusement peuvent être surmontés si les différents acteurs travaillent à cela.

Pour améliorer la gouvernance des marchés publics, nous proposons un projet de gestion des marchés publics dans le cadre du gouvernement électronique. Les chapitres suivants auront pour objectif de mettre en œuvre les axes majeurs de notre projet. Le prochain chapitre abordera l'utilisation des approches scientifiques de l'intelligence artificielle dans la mise en œuvre des axes portant sur l'évaluation intelligente des offres et la mise en place d'une plateforme décisionnelle.

---

## CHAPITRE IV : LES RESULTATS SCIENTIFIQUES DES TRAVAUX DE RECHERCHE

---

### I- Introduction

Ce présent chapitre aborde les fruits des travaux de recherche effectués en présentant en détails les résultats relatifs à l'utilisation des méthodes scientifiques de l'intelligence artificielle et de data science. Quant aux résultats issus des méthodes technologiques de l'intelligence artificielle, ils seront abordés dans le chapitre VI.

Deux axes majeurs du projet de gestion des marchés publics proposé sont abordés, à savoir l'évaluation intelligente des offres et la mise en place d'une plateforme décisionnelle dans le cadre de la gouvernance des marchés publics. L'évaluation des offres est une étape cruciale car des offres mal analysées et mal évaluées compromettront le choix de la meilleure offre, ce qui aura des conséquences négatives sur la qualité de la prestation, pire discréditera tout le processus d'appel d'offres comme mode de passation des marchés. La plateforme décisionnelle se veut être un ensemble d'outils d'aide à la décision mis à la disposition des pouvoirs publics, des entreprises et des services publics dans le cadre de leurs activités relatives aux marchés publics.

Ce chapitre commence par proposer une méthode de pondération pour l'analyse et l'évaluation des offres en prenant en compte à la fois l'évaluation intrinsèque des offres et l'évaluation relative des offres.

Dans le cadre de l'évaluation intelligente des offres, une première initiative a été conduite en utilisant la logique floue pour l'évaluation des offres suivant le critère d'attribution « référence ». Le principe établi pour l'analyse et l'évaluation des offres est basé sur l'utilisation des critères d'attribution (Watt et al., 2010) faisant de la sélection de la meilleure offre un problème multicritère d'aide à la décision. Ainsi, la méthode AHP a été utilisée dans un premier temps pour l'évaluation des offres et le cas particulier des marchés de réalisation de schéma directeur informatique a été étudié. La méthode FAHP, vue sa capacité de précision due à l'introduction de la théorie des ensembles flous, a été utilisée pour améliorer les résultats obtenus avec la méthode AHP.

Quant à l'axe portant sur la mise en place d'une plateforme décisionnelle pour les acteurs des marchés publics, l'apprentissage statistique (machine) supervisé dans un contexte Big Data a été introduit pour construire un classificateur performant et ce en testant les forêts aléatoires, les réseaux de neurones et la régression logistique. Ce classificateur a pour but de guider les entreprises vers les marchés à candidater lors des appels d'offres en prédisant les chances de gagner un marché par une entreprise en termes de probabilité.

### II- Proposition d'une méthode d'analyse et d'évaluation des offres

Le chapitre 2 présente les différentes méthodes d'analyse et d'évaluation des offres. Les méthodes de pondérations sont les plus utilisées lors des appels d'offres pour l'analyse et

l'évaluation des offres. Toutefois, ces méthodes présentent des insuffisances. Certaines d'entre elles ont pour inconvénient le fait de ne pas évaluer les offres de façon intrinsèque et d'autres celui de ne pas évaluer les offres les unes par rapport aux autres. Pour remédier à ces inconvénients, nous proposons une méthode d'analyse et d'évaluation des offres capable d'évaluer les offres de façon intrinsèque et de façon comparative (relative).

La démarche consiste à attribuer à chaque offre selon un critère donné une note (ou des points). Ensuite, la somme des notes (ou points) obtenues par chaque offre est calculée et le résultat est affecté à la meilleure offre. On utilise la règle de proportionnalité pour accorder les nouvelles notes (ou nouveaux points) aux autres offres. Cette nouvelle méthode a le mérite d'analyser et d'évaluer à la fois la valeur intrinsèque de l'offre et sa valeur relative par rapport aux autres offres.

Soit  $O_m^j$  la meilleure offre après comparaison des offres selon le critère  $X_j$  ( $N_{mj} = \text{Max}_{i=1, \dots, n} \{N_{ij}\}$ ). La somme des notes obtenues par les offres par rapport au critère  $X_j$  est :

$$S_j(N_{ij}) = \sum_{i=1}^n N_{ij} \quad (4.1)$$

Pour avoir les notes (points) des autres offres, la règle de proportionnalité est utilisée :

$$\begin{aligned} O_m^j &\Leftrightarrow S_j(N_{ij}) \\ O_i^j &\Leftrightarrow \frac{N_{ij}}{N_{mj}} * S_j(N_{ij}) \quad \forall i \neq m \end{aligned}$$

Si on utilise cette méthode pour tous les critères alors le résultat obtenu par l'offre  $O_i$  lors d'un appel d'offres donné est :

$$R(O_i) = \sum_{j=1}^p \frac{N_{ij}}{N_{mj}} * S_j(N_{ij}) \quad (4.2)$$

### III- Utilisation de la logique floue pour une évaluation intelligente des offres

Certains critères d'évaluation tels que la compétence de l'équipe, les références, etc., ne sont pas facilement quantifiables car l'information qu'ils véhiculent est souvent imprécise et incertaine. Ainsi, nous avons pensé à augmenter la marge de précision dans l'analyse et l'évaluation des offres par l'application des principes de la logique floue. Pour ce faire, nous nous intéressons particulièrement au critère « référence ». La même démarche peut être appliquée à d'autres critères. Etant donné que l'analyse et l'évaluation des offres se fait critère par critère, cette démarche basée sur la logique floue peut être appliquée à quelques critères ce qui permettra d'améliorer l'intégralité de l'étape de l'analyse et de l'évaluation des offres. Le critère d'attribution « référence » consiste à demander aux entreprises soumissionnaires

d'indiquer les prestations antérieures réalisées. Ce critère permet d'évaluer l'expérience et l'expertise des entreprises en compétition.

Deux approches sont couramment utilisées pour évaluer les références : la première consiste à attribuer la même note aux références apportées quelque soient leurs spécificités et la seconde consiste à prendre en compte certaines spécificités telles que l'ancienneté, le montant, etc., des références apportées. La seconde approche, sans doute meilleure que la première, peut être améliorée en élargissant le champ des spécificités à prendre en compte et en appliquant les principes de la logique floue.

### III-1. Présentation de la logique floue et travaux de recherche connexes existants

La logique floue est une méthode d'intelligence artificielle très répandue, basée sur la théorie des ensembles flous et qui vise à remédier aux limites de la logique classique ou logique booléenne (Zadeh, 1965). Si la logique booléenne ne permet qu'une appartenance totale ou une non-appartenance d'un élément à un ensemble, la logique floue permet d'associer à un élément un degré d'appartenance à un ensemble qui varie de 0 à 1, permettant ainsi une appartenance partielle d'un élément à un ensemble. La logique floue offre la capacité de traiter les problèmes complexes faisant intervenir l'incertitude.

Comme l'indique la figure 4.1, le processus d'implémentation de la logique floue comporte trois phases essentielles : la phase de fuzzification, celle de l'inférence et la phase de defuzzification. La phase de fuzzification consiste à transformer les variables d'entrée réelles en variables d'entrée floues. Durant la phase d'inférence, le moteur d'inférence se base sur les règles d'inférence contenues dans la base d'inférence pour déterminer les valeurs des variables de sortie floues. La phase de defuzzification permet de transformer les sorties floues en sorties réelles.

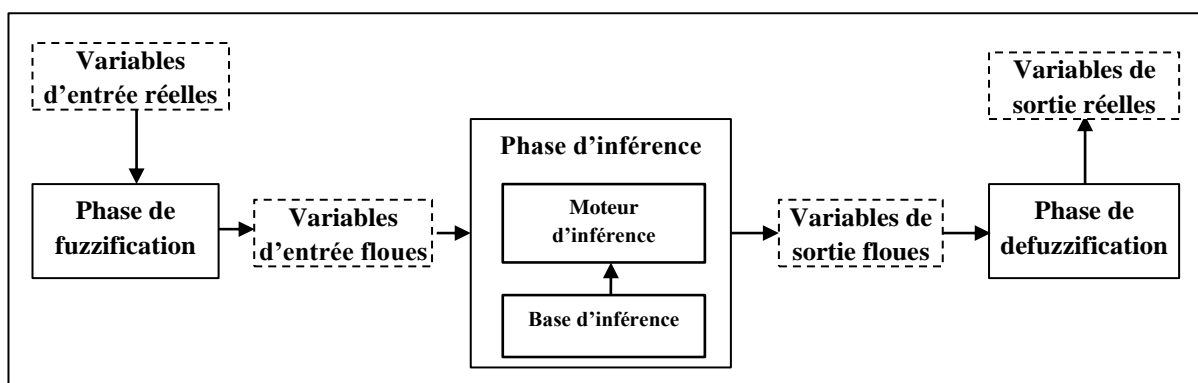


Figure 4. 1: Le processus d'implémentation de la logique floue

La logique floue est l'une des méthodes d'intelligence artificielle les plus utilisées dans les travaux de recherche. Warren, Beliakov et Zwaag ont mis en place un système d'aide à la décision basé sur la logique floue lors des pratiques cliniques dans le domaine de la santé (Warren et al., 2000). L'utilisation de cette méthode a permis de formaliser le traitement de l'incertitude au sein du système mis en place. Zhu et al ont utilisé la logique floue dans un système d'information géographique (Zhu et al., 2001). Elle a contribué à établir les relations existantes entre un sol et son environnement formatif. Oskoglou, dans le domaine de



l'enseignement, a utilisé la logique floue pour établir un modèle permettant d'évaluer les connaissances et les compétences des étudiants (Voskoglou, 2013).

Dans le domaine des achats et de la passation des marchés publics, on retrouve également des travaux de recherche qui intègrent la logique floue. Tsai et Chou ont travaillé sur la mise en place d'un négociateur flou dans les achats en ligne où les vendeurs proposent des offres (Tsai et Chou, 2011). Ce système flou permet à l'acheteur d'entamer des négociations en ligne avec les vendeurs. Mardas et Tsadiras ont développé un système basé sur la logique floue pour le suivi des marchés après leurs attributions dans l'Union Européenne (UE) (Mardas, 2015). Ce système permet d'évaluer le niveau de transparence et le respect du code des marchés publics tout au long de la période post attribution d'un marché. Notre contribution scientifique a consisté à étudier de façon plus profonde et détaillée l'évaluation des offres au niveau du critère « référence » en utilisant la logique floue (Diabagaté et al., 2014).

### III-2. Les étapes de paramétrage pour l'application de la logique floue

#### III-2.1. Variables d'entrée et de sortie

Les tableaux 4.1 et 4.2 présentent respectivement en détails les variables d'entrée et les variables de sorties.

Tableau 4. 1: Les variables linguistiques d'entrée

<i>Variables linguistiques</i>	<i>Signification</i>
ConvNature	Le degré de convergence de la nature de la référence et celle du marché soumis à appel d'offres. (L'univers de discours varie de 0 et 10.)
CompMontant	La comparaison du montant de la référence et celui du marché soumis à appel d'offres. (L'univers de discours varie de 0 à 10.)
Ancienneté	L'appréciation du caractère récent de la référence. (L'univers de discours varie de 0 à 10.)
RoleEnt	L'importance du rôle joué par l'entreprise dans la réalisation de la référence. (L'univers de discours varie de 0 à 5.)
ConvNivInt	La convergence entre le niveau ou les niveaux d'intervention de l'entreprise et la nature du marché soumis à appel d'offre. (L'univers de discours varie de 0 à 10.)

Tableau 4. 2: Les variables linguistiques de sortie

<i>Variables linguistiques</i>	<i>Signification</i>
QualiteRef	La qualité de la référence. (L'univers de discours varie de 0 à 5.)
ContributionEnt	La contribution de l'entreprise dans la réalisation de la référence. (L'univers de discours varie de 0 à 1.)

- La variable de sortie **QualiteRef** a pour variables d'entrée **CompMontant**, **ConvNature** et **Ancienneté**.
- La variable de sortie **ContributionRef** a pour variables d'entrée **RoleEnt** et **ConvNivInt**

Compte tenu des spécificités du domaine d'étude (les marchés publics) et du souci d'avoir un système flou qui s'adapte à tous les marchés, à tous les pays et à toutes les périodes ; les univers de discours ont été conçus de sorte à ne pas avoir d'unités de mesure. Il revient aux membres de la commission d'appel d'offres de donner les valeurs des offres suivant les univers de discours, et ce, à partir des valeurs réelles de celles-ci en appliquant la règle de proportionnalité. Quant aux bornes des univers de discours, elles ont été choisies, d'une part, conformément aux pratiques<sup>23</sup> courantes dans les appels d'offres, et d'autre part, de façon arbitraire.

### III-2.2. Définition des ensembles flous, des termes linguistiques et des fonctions d'appartenance

L'ensemble flou doit être défini pour chacune des variables d'entrée et pour chacune des variables de sortie. Il permet d'introduire la gradualité en définissant les grandeurs qualitatives à prendre en compte, en précisant quand elles sont vraies et quand elles sont fausses. Ces grandeurs deviendront les termes linguistiques de la base de règles.

La fonction d'appartenance fait correspondre à toute valeur d'entrée  $x$  son degré d'appartenance (valeur comprise entre 0 et 1) à l'ensemble flou. Les fonctions d'appartenance utilisées, dans cette étude, sont de formes trapézoïdales car elles sont plus appropriées pour les variables d'entrée et de sortie de l'étude du fait que ces dernières sont continuellement constantes sur des portions continues de leurs ensembles de définition (univers de discours).

Les figures 4.2 à 4.8 représentent les ensembles flous, les termes linguistiques et les fonctions d'appartenance des différentes variables de sortie et d'entrée.

#### ❖ Les variables linguistiques d'entrée

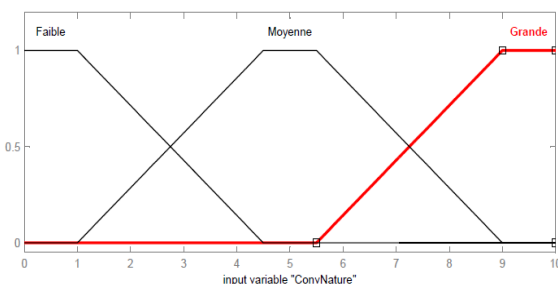


Figure 4. 3: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «ConvNature »

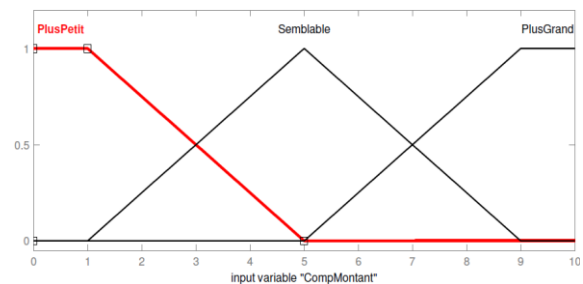


Figure 4. 2: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «CompMontant»

<sup>23</sup> L'univers de discours de la variable de sortie « QualiteRef » varie de 0 à 5 car, dans de nombreux appels d'offres, chaque référence apportée est notée sur 5. C'est le cas de la majorité des nombreux dossiers d'appels d'offres consultés dans le cadre de cette thèse.

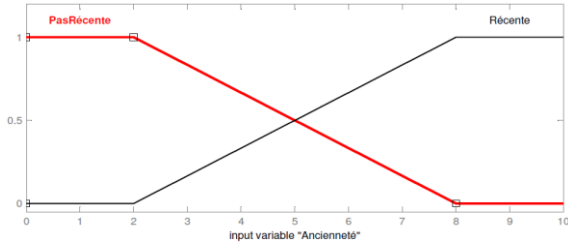


Figure 4. 5: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «Ancienneté»

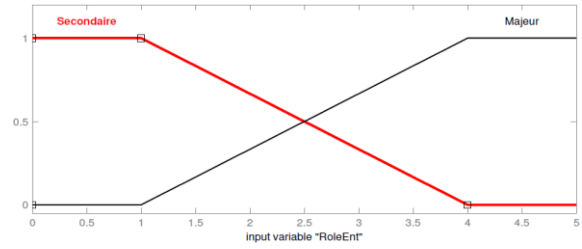


Figure 4. 4: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «RoleEnt»

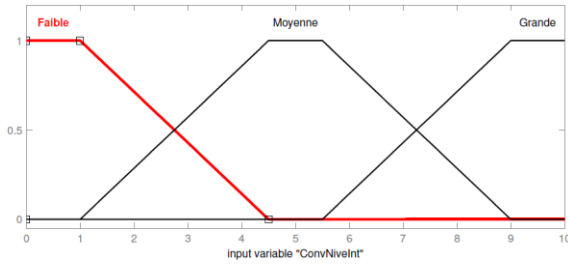


Figure 4. 6: Fonction d'appartenance pour la variable d'entrée «ConvNivInt»

❖ Les variables linguistiques de sortie

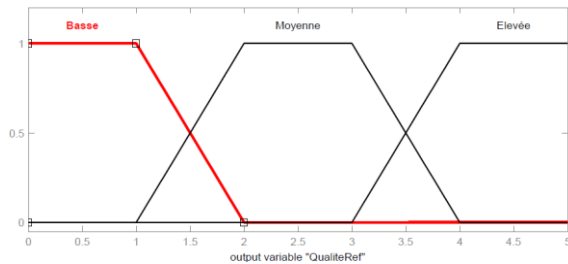


Figure 4. 8: Fonction d'appartenance pour la variable de sortie «QualiteRef»

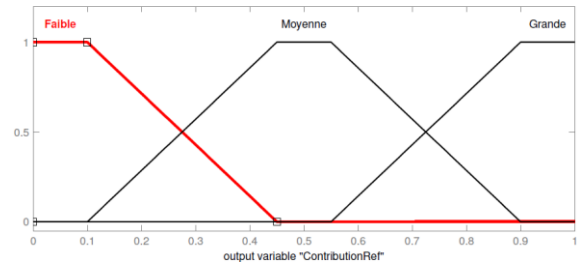


Figure 4. 7: Fonction d'appartenance pour la variable de sortie «ContributionRef»

III-2.3. Construction de la base de règles d'inférence

On appelle base de règles d'inférence, l'ensemble des différentes règles reliant les variables floues d'entrée d'un système aux variables floues de sortie de ce système. Les règles sont composées d'un prédicat et d'une conclusion. Un prédicat (de même pour une conclusion) est une combinaison de propositions par des opérateurs.

Dans notre cas, on propose la base suivante (tableau 4.3) qui peut être enrichie en ajoutant d'autres règles d'inférence.

Tableau 4. 3: Base de règles d'inférence

Règles	Enoncées des règles
R1	Si «RoleEnt» est <i>Majeur</i> ET «ConvNivInt» <i>Grande</i> ALORS «ContributionRef» est <i>Grande</i>
R2	Si «RoleEnt» est <i>Majeur</i> ET «ConvNivInt» <i>Moyenne</i> ALORS «ContributionRef» est <i>Moyenne</i>

R3	Si « <b>RoleEnt</b> » est <i>Majeur</i> ET « <b>ConvNivInt</b> » <i>Faible</i> ALORS « <b>ContributionRef</b> » est <i>Faible</i>
R4	Si « <b>RoleEnt</b> » est <i>Secondaire</i> ET « <b>ConvNivInt</b> » <i>Grande</i> ALORS la « <b>ContributionRef</b> » est <i>Moyenne</i>
R5	Si « <b>RoleEnt</b> » est <i>Secondaire</i> ET « <b>ConvNivInt</b> » <i>Moyenne</i> ALORS la « <b>ContributionRef</b> » est <i>Faible</i>
R6	Si « <b>RoleEnt</b> » est <i>Secondaire</i> ET « <b>ConvNivInt</b> » <i>Faible</i> ALORS la « <b>ContributionRef</b> » est <i>Faible</i>
R7	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>grande</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>semblable</i> ET « <b>Anciennté</b> » <i>Récente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Elevée</i>
R8	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>grande</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>semblable</i> ET « <b>Anciennté</b> » <i>PasRécente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Moyenne</i>
R9	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>grande</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusGrand</i> ET « <b>Anciennté</b> » <i>Récente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Elevée</i>
R10	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>grande</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusGrand</i> ET « <b>Anciennté</b> » <i>PasRécente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Moyenne</i>
R11	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>grande</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusPetit</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>Récente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Moyenne</i>
R12	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>grande</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusPetit</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>PasRécente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Basse</i>
R13	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>grande</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusPetit</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>PasRécente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Basse</i>
R14	Si « <b>ConvNature</b> » <i>Moyenne</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>semblable</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>PasRécente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Basse</i>
R15	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>Moyenne</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusGrand</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>Récente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Elevée</i>
R16	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>Moyenne</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusGrand</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>PasRécente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Moyenne</i>
R17	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>Moyenne</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusPetit</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>Récente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Moyenne</i>
R18	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>Moyenne</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusPetit</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>PasRécente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Basse</i>
R19	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>Faible</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusGrand</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>Récente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Moyenne</i>
R20	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>Faible</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusGrand</i> ET « <b>Anciennte</b> » <i>PasRécente</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Basse</i>
R21	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>Faible</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>semblable</i> ALORS « <b>QualiteRef</b> » est <i>Basse</i>
R22	Si « <b>ConvNature</b> » est <i>Faible</i> ET « <b>CompMontant</b> » <i>PlusPetit</i> ALORS la « <b>QualiteRef</b> » est <i>Faible</i>

#### III-4. La présentation des résultats obtenus

Compte tenu du caractère satisfaisant des résultats obtenus en se basant sur la méthode de Mamdani, nous avons gardé cette méthode, avec les options suivantes :

- la méthode «ET» est représentée par la fonction **Min** et la méthode «OU» par la fonction **Max** ;
- l'implication «ALORS» se fera par la fonction **Min** ;
- l'agrégation se fera par la fonction **Max** ;
- la défuzzification se fera en utilisant la méthode du **centre de gravité**.

Les figures 4.9, 4.10, 4.11 et 4.12 représentent les variations des deux variables de sorties en fonction des variables d'entrée.

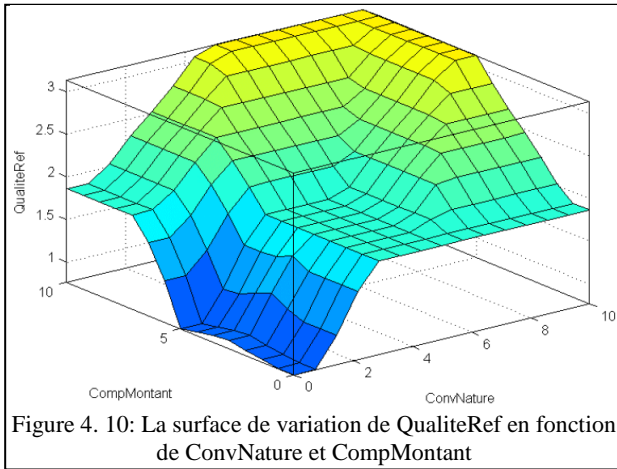


Figure 4. 10: La surface de variation de QualiteRef en fonction de ConvNature et CompMontant

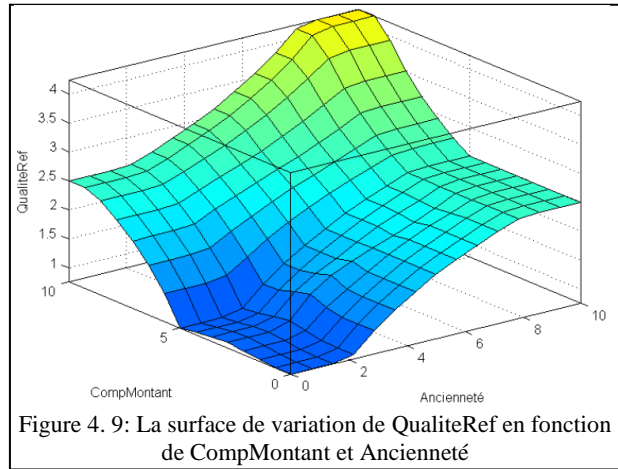


Figure 4. 9: La surface de variation de QualiteRef en fonction de CompMontant et Ancienneté

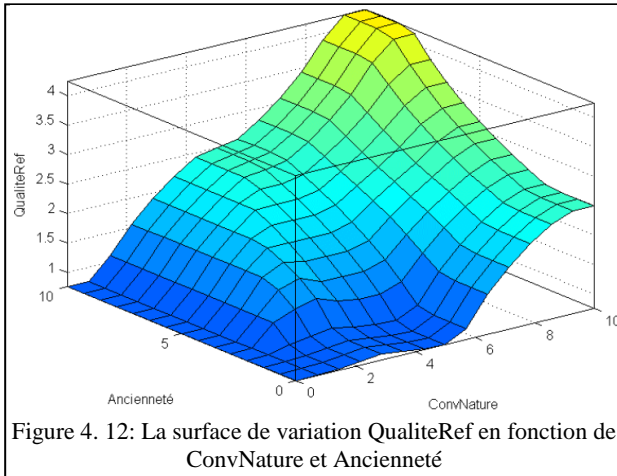


Figure 4. 12: La surface de variation QualiteRef en fonction de ConvNature et Ancienneté

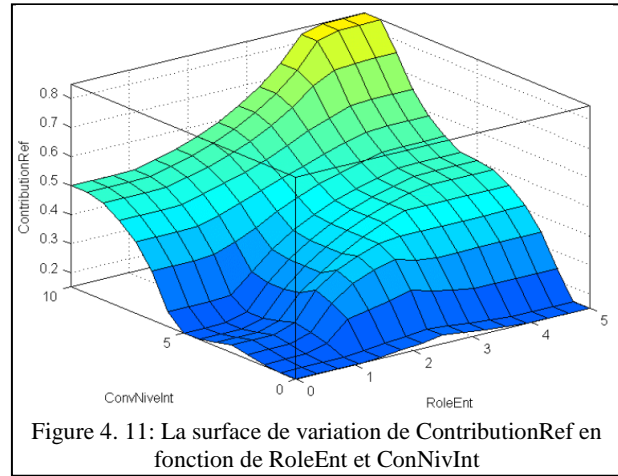


Figure 4. 11: La surface de variation de ContributionRef en fonction de RoleEnt et ConNivInt

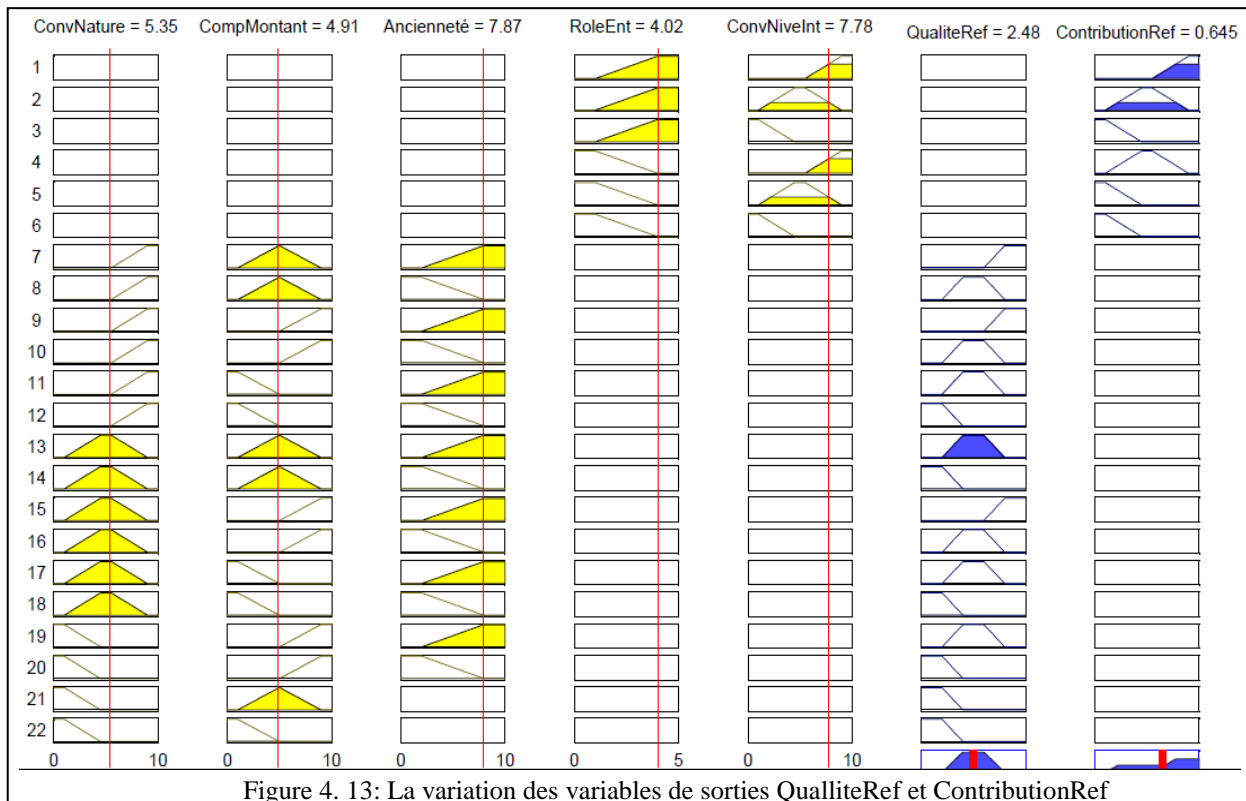


Figure 4. 13: La variation des variables de sorties QualiteRef et ContributionRef

### III-5. Exploitation des résultats obtenus

#### III-5.1. Principe d'exploitation des résultats

Le logiciel Matlab a été utilisé pour obtenir les différents résultats. Ces résultats seront exploités pour donner les notes des entreprises suivant le critère « référence » en suivant le procédé suivant :

Soient  $E_1, E_2, E_3, E_4, \dots, E_l, \dots, E_n$ , les  $n$  entreprises soumissionnaires.

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{lk}: \text{La } k^{\text{ième}} \text{ référence apportée par l'entreprise } E_l \\ Q_{lk}: \text{Le résultat obtenu par la } k^{\text{ième}} \text{ référence de} \\ \quad \text{l'entreprise } E_l \text{ au niveau de } \text{QualiteRef} \\ C_{lk}: \text{Le résultat obtenu par la } k^{\text{ième}} \text{ référence de} \\ \quad \text{l'entreprise } E_l \text{ au niveau de } \text{ContributionRef} \\ N(R_{lk}): \text{La note de l'entreprise } E_l \text{ pour la référence } R_{lk} \end{array} \right.$$

En considérant l'importance de la contribution de l'entreprise à la réalisation de la référence, on définit  $N(R_{lk})$  telle que :

$$N(R_{lk}) = C_{lk} * Q_{lk} \quad (4.3)$$

Soient  $q$  le nombre de références apportées par l'entreprise  $E_l$  et  $N_{lk}$  sa note obtenue pour le compte du critère d'attribution « référence ». On a :

$$N_{Rl} = \sum_{k=1}^q N(R_{lk}) = \sum_{k=1}^q C_{lk} * Q_{lk} \quad (4.4)$$

#### III-5.2. Quelques exemples de résultats

Dans le tableau 4.4, sont présentés quelques résultats donnés par le logiciel Matlab.

Tableau 4. 4: Résultats donnés par le logiciel Matlab

	<i>Référence A</i>	<i>Référence B</i>	<i>Référence C</i>
ConvNature	5	7,9	9
CompMontant	5	6	5
Ancienneté	7	5,5	9
RoleEnt	2,5	4	4,5
ConvNivInt	5	2,5	9
QualiteRef	2.5	4,09	4,24
ContributionRef	0,63	0,34	0,85
Note de la référence	1,57	1,41	3,59

Si les trois références ont été apportées par une même entreprise  $E_l$ , la note de l'entreprise suivant le critère « Référence » est :

$$N_{Rl} = \sum_{k=1}^3 N(R_{lk}) = 1,57 + 1,41 + 3,59 = 6,57$$

## **IV- Utilisation de la méthode AHP pour l'évaluation des offres**

### **IV-1. Présentation de la méthode AHP et des travaux de recherche connexes existants**

La méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) inventée par le mathématicien Thomas Lorie Saaty fait partie de la famille de méthodes multicritères d'aide à la décision MCDM (Multi-Criteria Decision-Making) (Saaty, 1987; Reza et al., 2011). AHP est une puissante et flexible méthode d'aide à la décision appliquée pour la résolution de problèmes simples ou complexes dans de nombreuses situations (Ahmad et Laplante, 2006; Dalalah et al., 2010).

L'un des principaux avantages de la méthode AHP est sa simplicité par rapport à bon nombre de méthodes d'aide à la décision (Syamsuddin et Hwang, 2009; Awasthi et Chauhan, 2011). Aussi, une de ces forces principale est sa capacité à traiter des critères quantitatifs et qualitatifs, et ce, dans un même problème (Rezaei et al., 2014; Syamsuddin et Hwang, 2009). Elle offre, par ailleurs, la possibilité d'établir une structure hiérarchisée des critères, ce qui permet au décideur de définir des critères et des sous-critères spécifiques facilitant la phase de définition des degrés de préférence (Franek et Kresta, 2014).

Il existe plusieurs méthodes multicritères d'aide à la décision parmi lesquelles AHP qui est très populaire et très appliquée pour la résolution de problèmes complexes notamment ceux portant sur la sélection de la meilleure offre (Hung et Fung, 2013). Akate et al ont développé une application web intégrant la méthode AHP pour évaluer les entreprises soumissionnaires de coulage en se basant sur dix-huit critères. Dans cette application, les entreprises s'enregistrent et saisissent les spécifications de leurs offres. Pour l'évaluation des offres soumises par les entreprises, les acheteurs déterminent l'importance relative des critères et font usage de la méthode AHP pour déterminer le vecteur poids contenant les poids des différents critères (Akarte, 2001). Atanasova-Pacemska, lapevski et Timovski ont proposé un outil d'aide à la décision pour le choix de l'offre économiquement la plus avantageuse lors de la passation des marchés d'acquisition d'équipements informatiques en particulier les ordinateurs bureaux. Dans leurs travaux, les critères d'attribution selon lesquels la sélection de la meilleure offre sera faite ont été choisis de sorte à être en conformité avec le code des marchés publics de la république de Macédoine (Atanasova-Pacemska et al., 2014).

Dans la littérature, nous n'avons pas trouvé de travaux de recherche qui traitent la sélection de la meilleure offre lors de l'attribution des marchés de réalisation de schéma directeur informatique. Cela reflète toute l'importance de ce travail qui peut être considéré comme une référence par les entreprises et les administrations publiques lors de la passation des marchés de réalisation de schéma directeur informatique.

La méthode AHP repose, d'une part, sur la construction d'une matrice de jugement, la détermination d'un vecteur de priorité contenant les poids des critères, l'étude de la cohérence de la matrice de jugement et d'autre part, sur une étude comparative des alternatives pour en choisir la meilleure (Saaty, 1987; Saaty, 1991).

#### **⇒ Procédé de construction de la matrice de jugement**

Dans la matrice de jugement, le décideur définit les préférences qu'il a vis-à-vis de chaque couple de critères et de chaque couple de sous-critères d'un critère donné (Franek et Kresta,

2014; Pedrycz et Song, 2014). Ces préférences, qui sont exprimées sous forme verbale, sont traduites sous forme numérique conformément au tableau 4.5 (Jalao et al., 2014; Deng et al., 2014).

Tableau 4. 5: Tableau d'équivalence des préférences

Echelles verbales	Echelles numériques
Les deux critères sont égaux	1
Un critère domine modérément l'autre (un peu plus important)	3
Un critère domine fortement l'autre (plus important)	5
Un critère domine très fortement l'autre (beaucoup plus important)	7
Un critère est absolument dominant (absolument plus important)	9
Les valeurs intermédiaires pour affiner les jugements	2, 4, 6, 8

Soient  $w_1, w_2, \dots, w_p$  les degrés d'importance des  $p$  critères, la matrice de comparaison des critères, notée  $A$ , s'écrit de la façon suivante:

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & \dots & w_1/w_p \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ w_p/w_1 & \dots & \dots & \dots & w_p/w_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & \dots & w_1/w_p \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ w_p/w_1 & \dots & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

En posant  $c_{jm} = w_j/w_m \quad \forall j, m = 1, \dots, p$ , on a :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & c_{12} & \dots & \dots & c_{1p} \\ c_{21} & 1 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ c_{p1} & \dots & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix} = (c_{jm})_{1 \leq j, m \leq p} \quad \text{avec } c_{jm} = 1/c_{mj} \quad \forall j, m \quad (4.6)$$

#### ⇒ Procédé de détermination du vecteur de priorité

On aborde la synthétisation de la matrice de jugement des critères (Saaty, 1991) en définissant  $S_m$  tel que :

$$S_m = \sum_{j=1}^p c_{jm} \quad \forall m = 1, \dots, p \quad (4.7)$$

On définit  $t_{jm}$  tel que :

$$t_{jm} = c_{jm}/S_m \quad \forall j, m = 1, \dots, p \quad (4.8)$$

Pour classer les critères par ordre de priorité, on définit la priorité  $P_j$  tel que :



$$\tilde{P}_j = \sum_{m=1}^p t_{jm}; P_j = \frac{1}{p} * \tilde{P}_j \quad \forall j = 1, \dots, p \quad (4.9)$$

Le critère le plus important  $X_M$  a pour priorité  $P_M$  telle que :

$$P_M = \frac{1}{p} \sum_{m=1}^p t_{Mm} = \text{Max}_{j=1, \dots, p} \left\{ P_j = \frac{1}{p} \sum_{m=1}^p t_{jm} \right\}$$

#### ⇒ Étude de la cohérence de la matrice de jugement

Après la construction des matrices de jugement et la détermination des vecteurs de priorité, vient l'étude la cohérence (Saaty, 1987, 1991; Aguaron et al., 2003) de chaque matrice. Pour ce faire, un ratio est calculé pour traduire le degré de cohérence. Un ratio plus grand que 0,1 indique un niveau trop élevé d'incohérence (Deng et al., 2014; Tang et al., 2014).

On définit  $T$  et  $T_R$  tels que :

$$T = (T_j)_{1 \leq j \leq p}^T = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_p \end{pmatrix} = P_1 * \begin{pmatrix} c_{11} \\ c_{21} \\ \vdots \\ c_{p1} \end{pmatrix} + P_2 * \begin{pmatrix} c_{12} \\ c_{22} \\ \vdots \\ c_{p2} \end{pmatrix} + \dots + P_p * \begin{pmatrix} c_{1p} \\ c_{2p} \\ \vdots \\ c_{pp} \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

$$T = \sum_{j=1}^p P_j * C_j \quad \text{avec } C_j = \begin{pmatrix} c_{1j} \\ c_{2j} \\ \vdots \\ c_{pj} \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

$$T_R = \begin{pmatrix} T_{R1} \\ T_{R2} \\ \vdots \\ T_{Rp} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_1/P_1 \\ T_2/P_2 \\ \vdots \\ T_p/P_p \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p T_{Rj} \quad (4.13)$$

L'indice de cohérence  $IC$  est défini par :

$$IC = \frac{\lambda_{max} - p}{p-1} \quad (4.14)$$

Le ratio de cohérence est défini par :

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (4.15)$$

L'indice aléatoire  $IA$  représente un ratio de cohérence ( $RC$ ) moyen pour un grand nombre de matrices de jugement générées aléatoirement, et ce, en fonction du nombre de critères<sup>24</sup>. En mettant en place la méthode AHP, Saaty a proposé un tableau, contenant les  $IA$  en fonction du nombre de critères, dont les premières observations sont données dans le tableau 4.6 (Saaty, 1991; Zejli et al., 2012; Lai et al., 2011):

Tableau 4. 6: Tableau des indices  $IA$ 

$p$	3	4	5	6	7	8	9	10
$IA$	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

#### IV-2. Application aux marchés publics de réalisation de schéma directeur informatique

La méthode AHP est beaucoup utilisée dans les problèmes de sélection de la meilleure proposition parmi plusieurs. Notre étude consiste à lui donner un nouveau champ d'application à savoir la passation des marchés publics de réalisation de schéma directeur informatique. Les organismes (entreprises, administrations publics, etc.) utilisent de plus en plus les schémas directeurs informatiques pour la conduite du développement de leurs systèmes informatiques qui sont des éléments essentiels de leurs fonctionnements. Ainsi, les marchés publics et privés de réalisation de schéma directeur informatique deviennent de plus en plus fréquents et l'appel d'offres est utilisé comme mode de passation de ces marchés.

L'objet de ce travail est de proposer un outil d'aide à la décision qui permet de sélectionner la meilleure offre lors de l'attribution des marchés de réalisation de schéma directeur informatique.

##### IV-2.1. Schéma directeur informatique

Le schéma directeur informatique est un plan stratégique destiné à piloter le développement de l'informatique dans un organisme (institution publique, entreprise privée, etc.). Il permet d'avoir un outil informatique qui répond aux options stratégiques de la direction générale. Il a pour point de départ la stratégie d'un organisme pour aboutir à la définition d'une cible en matière d'informatique et de système d'information.

De nos jours, de nombreux organismes ayant pris conscience de l'importance de la planification et du développement de leurs systèmes d'information font de plus en plus recours à l'élaboration d'un schéma directeur informatique (Sarencheh et Bigham, 2013). La réalisation d'un schéma directeur informatique vise plusieurs objectifs tels que :

- l'urbanisation du système informatique ;
- la modernisation des infrastructures informatiques (matériels et logiciels) ;
- la réduction des coûts des infrastructures informatiques ;
- l'accompagnement du lancement de projets stratégiques ;
- la création d'indicateur de suivi ;
- le déploiement multi-sites du système informatique.

<sup>24</sup> L'ordre des matrices aléatoirement générées est égal au nombre de critères impliqués dans la mise en œuvre de la méthode AHP.

Les principales étapes dans la réalisation d'un schéma directeur informatique consistent à prendre connaissance de la stratégie, effectuer un bilan de l'existant, exprimer les besoins, définir des priorités, élaborer des scénarios cibles et définir un plan d'action pour atteindre la cible retenue.

Après sa réalisation, le schéma directeur informatique est un document qui comprend généralement :

- **une description des processus métiers de l'organisme** : cette description est facilement représentée par une cartographie des processus métiers ;
- **une cartographie du système d'information et son architecture fonctionnelle** : la cartographie résume l'ensemble des flux d'échanges de données entre les blocs fonctionnels. L'architecture fonctionnelle présente l'agencement des grandes fonctions entre elles et leurs interactions logiques ;
- **une description des processus informatiques** : pour répondre aux attentes métiers, l'informatique va aussi faire appel aux processus et son organisation sera résumée dans la cartographie des processus informatiques ;
- **l'architecture applicative** : c'est une représentation tournée sur l'organisation interne, le découpage en modules applicatifs du système informatique, les responsabilités de chaque module, la nature et la structure des relations entre les modules.
- **l'architecture technique** : c'est une représentation des différents éléments matériels et l'infrastructure dans laquelle le système informatique s'inscrit, les liaisons physiques et logiques entre ces éléments et les informations qui y circulent ;
- **un inventaire des technologies (matériels et logiciels) et des actifs informatiques avec** :
  - un inventaire des applications;
  - un inventaire des projets en cours ;
  - une cartographie des applications utilisées ;
  - l'architecture de base du système ;
  - une description de l'infrastructure existante ;
  - l'analyse des contrats en cours (développements, maintenance, infogérance, etc.).
- **une analyse technico-économique de l'opportunité d'informatiser tout ou partie d'un processus métier** : la raison d'une telle analyse est due au fait que l'informatisation complète d'un processus n'est pas toujours souhaitable.

#### **IV-2.2. Identification des critères d'attribution**

L'identification des critères, des sous-critères et de leur pondération est une étape cruciale dans la mise en œuvre de la méthode AHP. Dans cette étude, l'approche adoptée a été de consulter de nombreux dossiers d'appels d'offres pour extraire les expertises des experts sur les critères, les sous-critères et leurs pondérations. Ainsi, les dossiers d'appels d'offres de réalisation de schéma directeur provenant de plusieurs pays ont été consultés.

Le processus d'identification des critères a été fait en deux phases: dans la première phase, la consultation d'un premier groupe de plusieurs dossiers d'appel d'offres a permis à partir de

l'expertise des experts ayant participé à leurs rédactions de dresser une première liste des critères, des sous-critères et de leurs poids; un travail similaire a été conduit durant la seconde phase afin de consolider les résultats de la première phase et de dresser la liste définitive des critères, des sous-critères et de leurs poids. Le tableau 4.7 contient quelques-uns des nombreux dossiers d'appel d'offres ayant été consultés.

Tableau 4. 7: Quelques dossiers d'appel d'offres consultés

<b>Marchés</b>	<b>Pays</b>
Le dossier d'appel d'offres pour la réalisation du schéma directeur de l'ANAPEC (Agence Nationale pour la Promotion de l'Emploi et des Compétences).	Maroc
Le dossier d'appel d'offres pour la réalisation du schéma directeur informatique de l'agence des eaux de Loire-Bretagne pour la période 2013-2017.	France
Le dossier d'appel d'offres pour la réalisation du schéma directeur informatique du ministère de l'enseignement supérieur, de la formation professionnelle et de la recherche scientifique pour la période de 2012-2016	Maroc
Le dossier d'appel d'offres pour la réalisation du schéma directeur informatique de la banque centrale de Mauritanie.	Mauritanie
Le dossier d'appel d'offres pour la réalisation d'un schéma directeur informatique pour la surveillance sanitaire à Saint-Maurice.	Guyane
Le dossier d'appel d'offres pour la réalisation du schéma directeur informatique pour la ville de Pessac.	France
Le dossier d'appel d'offres pour la réalisation du schéma directeur informatique de MDJS (La Marocaine des Jeux et des Sports)	Maroc

Cette approche a permis, d'une part, d'identifier tous les critères et sous-critères et, d'autre part, de bien cerner le degré de préférence de chaque couple de critères et chaque couple de sous-critères. La figure 4.14 présente dans une structure hiérarchique tous les critères et sous-critères en vue de l'implémentation de la méthode AHP.

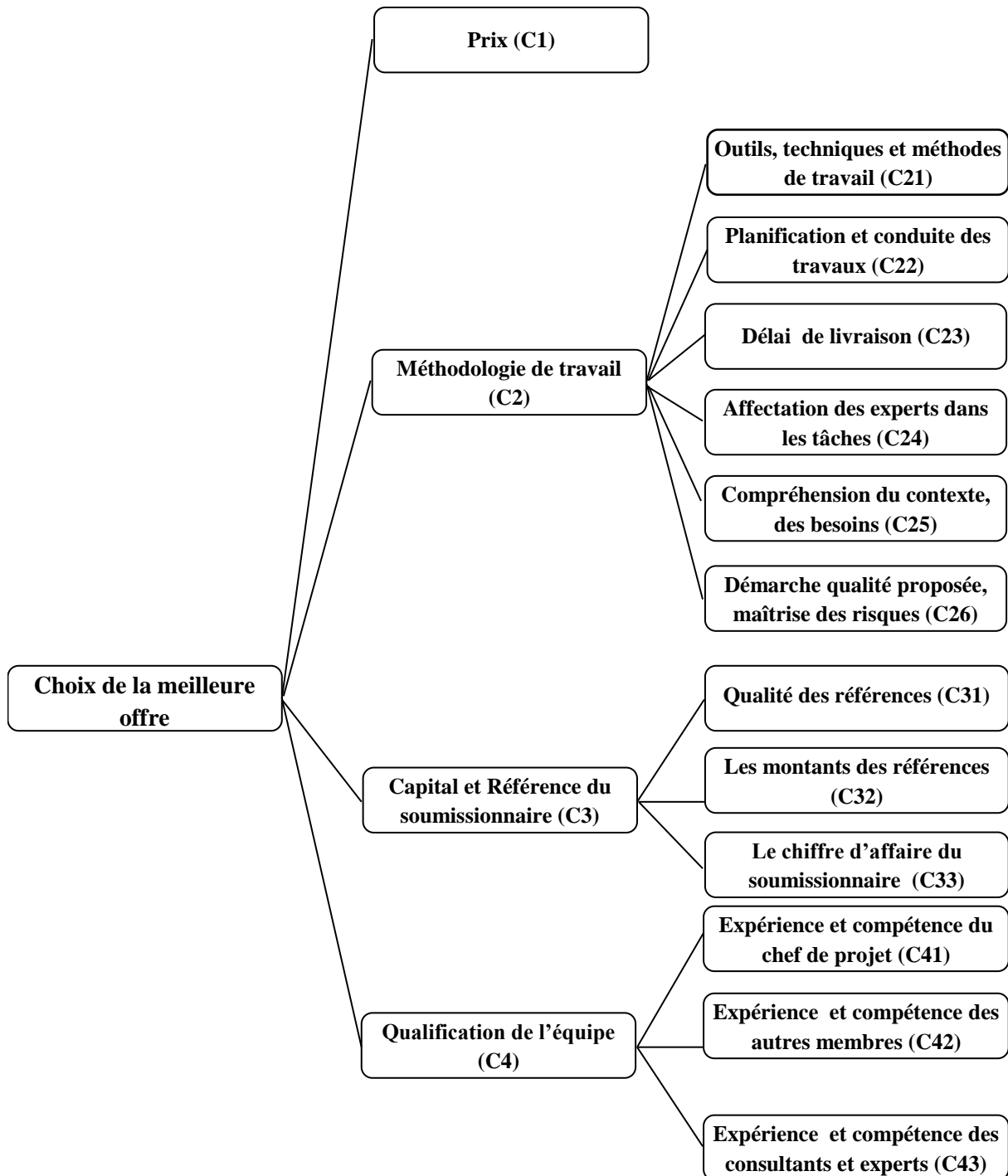


Figure 4. 14: Hiérarchie des critères et sous-critères d'attribution

### IV-2.3. Construction des matrices de jugement et détermination des vecteurs de priorité

#### IV- 2.3.1. La matrice de jugement des critères et le vecteur de priorité associé

Les tableaux 4.8 et 4.9 contiennent respectivement la matrice de jugement des critères et les différents calculs effectués pour obtenir le vecteur de priorité. Le critère le plus important est le critère « Prix » avec un poids de 0,61. Il est suivi des critères « Qualification de l'équipe » et « Méthodologie de travail » ayant respectivement des poids de 0,2 et 0,12. La matrice de

jugement a été obtenue à partir des pondérations des critères issues des dossiers d'appels d'offres consultés (quelques-uns sont présentés dans le tableau 4.7). Les valeurs présentes dans le tableau 4.9 relatives au calcul du vecteur de priorité (contenant les degrés de priorité des critères) sont obtenues à partir des équations 4.7, 4.8 et 4.9.

Tableau 4. 8: Matrice de jugement des critères

	Prix	Méthodologie de travail	Capital et Référence	Qualification de l'équipe
Prix	1	5	7	4
Méthodologie de travail	1/5	1	2	1/2
Capital et Référence	1/7	1/2	1	1/3
Qualification de l'équipe	1/4	2	3	1

Tableau 4. 9: Détermination du vecteur de priorité

Critères	$t_{j1}$	$t_{j2}$	$t_{j3}$	$t_{j4}$	$\tilde{P}_j$	Priorité ( $P_j$ )
Prix	0,63	0,59	0,54	0,66	2,44	0,61
Méthodologie de travail	0,13	0,12	0,15	0,09	0,48	0,12
Capital et Référence	0,09	0,06	0,08	0,06	0,28	0,07
Qualification de l'équipe	0,16	0,24	0,23	0,17	0,79	0,2

Le tableau 4.10 contient les résultats relatifs à l'étude de la cohérence interne de la matrice de jugement. Le ratio de cohérence est très inférieur à 0,1, ce qui implique un degré de cohérence très satisfaisant.

Tableau 4. 10: Calcul des indices de cohérence interne

$P_1 * C_1$	$P_2 * C_2$	$P_3 * C_3$	$P_4 * C_4$	$T_j$	$T_{R_j}$
0,61	0,60	0,49	0,79	2,50	4,10
0,12	0,12	0,14	0,10	0,48	4,00
0,09	0,06	0,07	0,07	0,28	4,03
0,15	0,24	0,21	0,20	0,80	4,05
$\lambda_{max} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 T_{R_j} = 4,05 ; IC = \frac{\lambda_{max} - 4}{4 - 1} = 0,02$					
$IA = 0,9 , \text{ on a } RC = \frac{IC}{IA} = 0,02$					

#### IV-2.3.2. Le tableau récapitulatif de l'étude des matrices de jugement des sous-critères

Pour les critères ayant des sous-critères, les poids des offres ont été calculés au niveau de chaque sous-critère. Ces poids sont consignés dans le tableau 4.11. Les matrices de comparaison des sous-critères des différents critères et le processus de détermination des vecteurs de priorités associées sont présents dans l'annexe 5. Le critère « Prix » ne figure pas dans le tableau 4.11 car n'ayant pas de sous-critère.

Tableau 4. 11: Les poids des sous-critères

<b>Méthodologie de travail</b>						
Sous critère	C21	C22	C23	C24	C25	C26
Poids du sous critère	0,44	0,11	0,04	0,07	0,28	0,06
<b>Capital et Référence</b>						
Sous critère	C31	C32	C33			
Poids du sous critère	0,65	0,10	0,25			
<b>Qualification de l'équipe</b>						
Sous critère	C41	C42	C43			
Poids du sous critère	0,19	0,72	0,08			

#### IV-2.4. L'étude des offres et la détermination de la meilleure proposition

Il s'agit de faire un test avec trois offres  $O_1$ ,  $O_2$  et  $O_3$ . Le tableau 4.12 donne la comparaison des trois offres au niveau du critère « prix » et leurs poids.

Pour les critères ayant des sous-critères, les poids des offres sont déterminés au niveau de chaque sous-critère (Rezaei et al., 2014; Rahmani et al., 2012). Ensuite, une étude globale et récapitulative est effectuée pour déterminer la meilleure offre (Lee et al., 2012; Shen et al., 2013). Le tableau 4.13 contient les poids des offres suivant les sous-critères de chaque critère. Les détails sur les matrices de comparaisons des offres au niveau des sous-critères des critères sont présents dans l'annexe 5.

Tableau 4. 12: Comparaison des offres suivant le critère Prix (C1)

$C_1$	$O_1$	$O_2$	$O_3$	<b>Poids des offres</b>
$O_1$	1	2	5	0,59
$O_2$	½	1	2	0,28
$O_3$	1/5	½	1	0,13

Tableau 4. 13: Les poids des offres suivant les sous-critères

<b>Méthodologie de travail</b>							
Sous critère	C21	C22	C23	C24	C25	C26	
Poids du sous critère	0,44	0,11	0,04	0,07	0,28	0,06	
Alternative	Poids des alternatives suivant les sous critères						Poids de l'alternative
$O_1$	0,68	0,75	0,08	0,60	0,18	0,63	0,51
$O_2$	0,24	0,16	0,32	0,30	0,74	0,11	0,37
$O_3$	0,08	0,09	0,60	0,10	0,09	0,26	0,12
<b>Capital et Référence</b>							
Sous critère	C31	C32	C33				
Poids du sous critère	0,65	0,10	0,25				
Alternative	Poids des alternatives suivant les sous critères						Poids de l'alternative
$O_1$	0,73	0,58	0,08				0,55
$O_2$	0,18	0,31	0,24				0,21
$O_3$	0,09	0,11	0,68				0,24
<b>Qualification de l'équipe</b>							
Sous critère	C41	C42	C43				
Poids du sous critère	0,19	0,72	0,08				
Alternative	Poids des alternatives suivant les sous critères						Poids de l'alternative
$O_1$	0,09	0,58	0,67				0,49
$O_2$	0,62	0,31	0,22				0,36
$O_3$	0,29	0,11	0,11				0,15

Les résultats finaux de la comparaison des offres selon les critères sont contenus dans le tableau 4.14. L'offre  $O_1$  est la meilleure avec un score de 0.56.



Tableau 4. 14: Résultats de comparaison des offres suivant les critères

	$O_1$	$O_2$	$O_3$	Poids des critères
C1	0,59	0,28	0,13	0,61
C2	0,51	0,37	0,12	0,12
C3	0,55	0,21	0,24	0,07
C4	0,49	0,36	0,15	0,20
Scores des offres	0,56	0,30	0,14	

A l'instar des autres marchés publics et privés, la passation des marchés de réalisation de schéma directeur informatique est aussi confrontée à la problématique du choix de la meilleure offre parmi celles proposées par les soumissionnaires. Le présent travail est une réponse à cette problématique à travers la proposition d'un outil d'aide à la décision soigneusement conçu pour faciliter le choix de la meilleure offre. Une telle démarche permettra de mettre fin à la crise de confiance entre pouvoirs adjudicateurs et entreprises soumissionnaires et de garantir des prestations de qualité.

En outre, à l'ère où les organismes privés comme publics disposent presque tous d'un système d'information, le nombre de marchés de réalisation de schéma directeur informatique s'accroît considérablement, ce qui traduit toute l'importance d'un tel outil d'aide à la décision.

## V- Utilisation de la méthode FAHP pour l'évaluation des offres

### V-1. Présentation de la méthode FAHP

La méthode FAHP est une méthode multicritère d'aide à la décision combinant la méthode AHP et les concepts d'ensemble flou (Avikal et al., 2014) et elle est très utilisée dans de nombreux problèmes par les décideurs (Lima Junior et al., 2014).

#### V-1.1. Notions d'ensemble flou et de nombre flou

La notion d'ensemble flou a été introduite pour la première fois en 1965 par Lofti Zadeh pour corriger les limites de la logique classique dues à l'imprécision et au flou (Zadeh, 1965). Un ensemble flou  $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$  est un ensemble de couples tel que  $X$  est un sous-ensemble de l'ensemble  $R$  des nombres réels,  $\mu_A(x)$  est une fonction d'appartenance qui assigne à chaque objet  $x$  son degré d'appartenance entre 0 et 1 à l'ensemble flou.

Depuis son introduction, la notion d'ensemble flou est largement utilisée dans la résolution de nombreux problèmes dans lesquels les décideurs ont besoin d'analyser et traiter des informations (données) floues et imprécises (Osiro et al., 2014; Hung et Fung, 2013).

Un nombre flou  $M = \{(x, \mu_M(x)) | x \in X\}$  est un cas particulier d'ensemble flou où la fonction d'appartenance obéit aux conditions de normalité ( $\sup \mu_M(x) = 1, \forall x \in X$ ) et de convexité ( $\mu_M(\gamma x_1 + (1 - \gamma)x_2) \geq \min\{\mu_M(x_1), \mu_M(x_2)\}, \forall x_1 \text{ et } x_2 \in \text{et } \forall \gamma \in [0,1]$ ) (Lima Junior et al., 2014; Zimmermann, 2010). Il existe plusieurs types de nombre flou dont les plus utilisés sont les nombres flous triangulaires et trapézoïdaux (Hung et Fung, 2013). Etant donné qu'on utilisera dans cet travail la méthode FAHP développée par CHANG qui utilise les nombres flous triangulaires (Chang, 1996), ces derniers seront utilisés pour présenter les propriétés des nombres flous.

Soit un nombre flou triangulaire, noté  $M = (l, m, u)$ , sa fonction d'appartenance est définie par :

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x}{m-l} - \frac{l}{m-l}; & x \in [l, m] \\ \frac{x}{m-u} - \frac{u}{m-u}; & x \in [m, u] \\ 0, & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (4.16)$$



Figure 4. 15: Nombre flou triangulaire

Où  $l \leq m \leq u$ ,  $l$  et  $u$  sont respectivement la plus petite valeur et la plus grande valeur du support de  $M$  et  $m$  la valeur médiane de  $M$ . Le support de  $M$  est l'ensemble des éléments  $\{x \in R / l < x < u\}$ . Si  $l = m = u$  alors, par convention,  $M$  n'est pas un nombre flou.

Considérons deux nombres flous  $M_1$  et  $M_2$ ,  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  et  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ . Les règles principales portant sur leurs opérations mathématiques sont les suivantes :

$$1. (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (4.17)$$

$$2. (l_1, m_1, u_1) \odot (l_2, m_2, u_2) \approx (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (4.18)$$

$$3. \lambda \odot (l_1, m_1, u_1) = (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1) \quad \lambda > 0, \lambda \in R \quad (4.19)$$

$$4. (l_1, m_1, u_1)^{-1} \approx (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (4.20)$$

### V-1.2. Méthode FAHP et travaux de recherche connexes existants

Si la méthode AHP est fréquemment utilisée pour la résolution des problèmes multicritères d'aide à la décision, il faut noter, qu'à elle seule, elle contient certaines insuffisances. En particulier, le fait que son efficacité est réduite dans la résolution de problèmes dans lesquels les informations sont floues et imprécises (Hung et Fung, 2013). Pour remédier à cette situation, la méthode FAHP, associant la méthode AHP et les d'ensembles flous, est appliquée pour la prise de décision dans les problèmes où les informations (les données) sont floues (Demirel et al., 2008; Osiro et al., 2014; Zejli et al., 2012). Il existe plusieurs méthodes FAHP, la première fut proposée en 1983 par Van Laarhoven et Pedrycz (Demirel et al., 2008). Buyukorzkan, Kahraman et Ruan ont, lors d'une étude comparative, mis en évidence les structures théoriques, les avantages et les inconvénients de toutes méthodes FAHP (Buyukorzkan et al. 2004). La méthode FAHP proposée par GHANG a un double avantage, celui d'avoir une grande similarité avec la méthode de base AHP et celui de requérir peu de calculs lors de son implémentation ; ce qui fait qu'une grande partie des applications récentes de FAHP utilisent cette méthode (Hung et Fung, 2013). Ainsi, dans ce travail, la méthode de CHANG a été utilisée vu ses avantages.

La méthode FAHP a été utilisée dans de nombreux travaux portant sur la sélection de la meilleure offre qui est généralement un problème multicritères. Chan et Kumar ont mis en place un modèle basé sur la méthode FAHP que les organismes peuvent utiliser pour sélectionner la meilleure offre en prenant en considération les risques (Chan et Kumar, 2007). Ertugrul et Karakasoglu ont utilisé la méthode FAHP pour la sélection de l'entreprise qui propose la meilleure offre pour les marchés de textile en Turquie (Ertugrul et Karakasoglu, 2006). Tas a utilisé la méthode FAHP pour le traitement efficace des critères qualitatifs et quantitatifs utilisés dans la sélection du prestataire pour les marchés de l'industrie pharmaceutique. Pour cette étude, 4 principaux critères et 13 sous-critères ont été identifiées pour évaluer les offres (Tas, 2012). Shaw et al ont développé une approche intégrée basée sur la méthode FAHP et la programmation linéaire multi-objectifs floue pour la sélection du prestataire approprié dans les marchés relatifs à la chaîne logistique en prenant en compte la question de l'émission en carbone (Shaw et al., 2012).

Dans la revue de la littérature, aucun travail de recherche portant sur l'utilisation de la méthode FAHP pour la sélection de la meilleure offre lors de la passation des marchés de réalisation de schéma directeur informatique n'a été trouvé. D'où l'utilité de notre contribution scientifique qui peut servir d'outil d'aide à la décision pour les entreprises et les services publics.

Nous commençons par présenter les concepts théoriques des grandes étapes de l'application de la méthode FAHP.

#### ⇒ Construction de la matrice de jugement

Soit  $\tilde{A}$  la matrice de jugement,  $\tilde{A}$  est définie par :

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & \cdots & M_{1m} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ M_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & M_{nm} \end{pmatrix} = (M_{ij})_{1 \leq i \leq n; 1 \leq j \leq m} \text{ avec } M_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (4.21)$$

Dans la matrice de jugement  $\tilde{A}$ , le décideur définit les préférences qu'il a vis-à-vis de chaque couple de critères et de chaque couple de sous critères d'un critère donné (Franek et Kresta, 2014; Pedrycz et Song, 2014). Ces préférences, exprimées verbalement, seront converties sous forme de nombres flous (Jalao et al., 2014; Deng et al., 2014). Pour la méthode de CHANG, on peut utiliser l'échelle de conversion du tableau 4.15 (Demirel et al., 2008).

Tableau 4. 15: Echelle de conversion floue

Échelle verbale	Échelle numérique flou	Échelle numérique flou réciproque
Égalité parfaitement	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Importance presque égale	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Un peu plus important	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Plus important	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Fortement plus important	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Très fortement plus important	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

#### ⇒ Détermination des valeurs des intervalles synthétiques flous

Tout d'abord, on procède à la détermination des valeurs des intervalles synthétiques flous pour chaque critère par la formule suivante :

$$S_i \approx \sum_{j=1}^m M_{ij} \odot \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} \quad (4.22)$$

Avec:

$$\sum_{j=1}^m M_{ij} = \left( \sum_{j=1}^m l_{ij}, \sum_{j=1}^m m_{ij}, \sum_{j=1}^m u_{ij} \right) \quad (4.23)$$

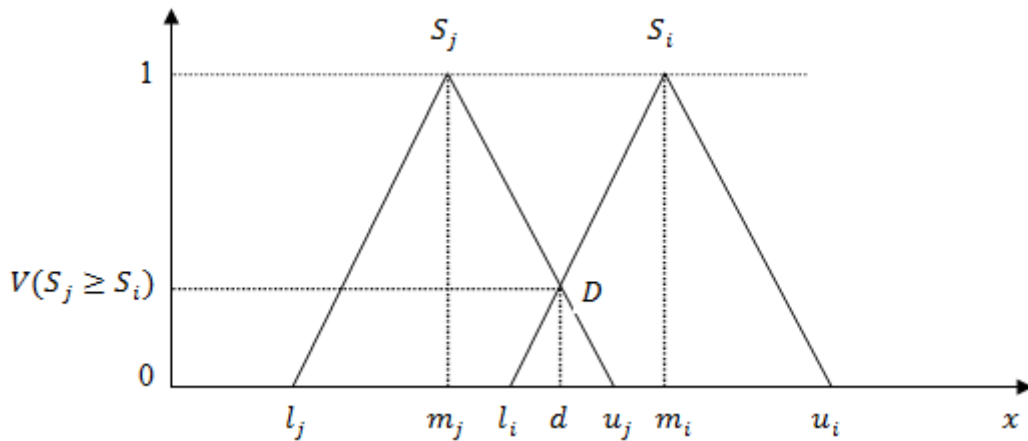
$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_{ij} \right) \quad (4.24)$$

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} \approx \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}} \right) \quad (2.25)$$

#### ⇒ Calcul des degrés de possibilité de supériorité

Les valeurs des  $S_i$  sont comparées et le degré de possibilité de  $S_j = (l_j, m_j, u_j) \geq S_i = (l_i, m_i, u_i)$  noté  $V(S_j \geq S_i)$  est calculé. Ce calcul est fait en utilisant la formule suivante :

$$V(S_j \geq S_i) = \begin{cases} 1; & \text{si } m_j \geq m_i \\ 0; & \text{si } l_i \geq u_j \\ \frac{l_i - u_j}{(m_i - u_j) - (m_i - l_i)}; & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (4.26)$$

Figure 4. 16 : Intersection entre  $S_j$  et  $S_i$ 

Le degré de possibilité pour qu'un nombre flou  $M$  soit supérieur à  $k$  nombre flou  $M_s$  ( $s = 1, 2, \dots, k$ ) est défini par :

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= [V(M \geq M_1), V(M \geq M_2), \dots, V(M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i) \text{ avec } i = 1, 2, \dots, k. \end{aligned} \quad (4.27)$$

⇒ **Détermination du vecteur poids**

Pour comparer  $S_i$  et  $S_j$ , il faut obtenir  $V(S_j \geq S_i)$  et  $V(S_i \geq S_j)$ . On pose :

$$d'(C_i) = \min V(S_i \geq S_k) \text{ avec } k = 1, 2, \dots, n \text{ et } k \neq i \quad (4.28)$$

Ainsi, le vecteur donnant les poids des éléments (critères) est donné par :

$$W' = (d'(C_1), d'(C_2), \dots, d'(C_n))^T \quad (4.29)$$

Avec  $C_1, C_2, \dots, C_n$  les  $n$  éléments (critères).

On procède à la normalisation pour obtenir le vecteur poids normalisé défini par :

$$W = (d(C_1), d(C_2), \dots, d(C_n))^T \quad (4.30)$$

## V-2. Application aux marchés publics de réalisation de schéma directeur informatique

Il s'agit d'améliorer l'outil proposé basé sur l'utilisation de la méthode AHP en introduisant les concepts d'ensembles flous afin de remédier aux limites de la logique classique. En ce sens, la méthode FAHP proposée par Chang sera utilisée.

## IV-2.1. La construction des matrices de jugement et détermination des vecteurs de priorité

### IV-2.1.1. La matrice de jugement des critères et le vecteur de priorité associé

Les tableaux 4.16 et 4.17 contiennent respectivement la matrice de jugement des critères et les différents calculs effectués pour obtenir le vecteur de priorité. Le critère le plus important est le critère « Prix » avec un poids de 0,51. Il est suivi des critères « Qualification de l'équipe » et « Méthodologie de travail » ayant respectivement des poids de 0,19 et 0,18.

Tableau 4. 16: Matrice de jugement des critères

	Prix			Méthodologie De travail			Capital et Référence			Qualification de l'équipe		
Prix	1	1	1	3/2	2	5/2	2	5/2	3	3/2	2	5/2
Méthodologie De travail	2/5	1/2	2/3	1	1	1	1/2	1/1	3/2	2/3	1	2
Capital et Référence	1/3	2/5	1/2	2/3	1	2	1	1	1	1/2	2/3	1
Qualification de l'équipe	2/5	1/2	2/3	1/2	1/1	3/2	1	3/2	2	1	1	1

Tableau 4. 17: Détermination du vecteur de priorité

Critère		Lower(Si)	Middle(Si)	Upper(Si)	d'(Si)	Normalisation
<b>C1</b>	S1	0,25	0,42	0,64	1	0,51
<b>C2</b>	S2	0,11	0,19	0,37	0,35	0,18
<b>C3</b>	S3	0,10	0,17	0,32	0,22	0,11
<b>C4</b>	S4	0,12	0,22	0,37	0,38	0,19

### IV-2.1.2. Le tableau récapitulatif de l'étude des matrices de jugement des sous-critères

Pour les critères ayant des sous-critères, les poids des offres ont été calculés au niveau de chaque sous-critère. Ces poids sont consignés dans le tableau 4.18. Les matrices de comparaison des sous-critères pour les différents critères et le processus de détermination des vecteurs de priorité associés sont présentes dans l'annexe 6. Le critère « Prix » ne figure pas dans ce tableau car n'ayant pas de sous-critère.

Tableau 4. 18: Les poids des sous-critères

<b>Méthodologie de travail</b>						
Sous critère	C21	C22	C23	C24	C25	C26
Poids du sous critère	0,30	0,12	0,086	0,11	0,26	0,11
<b>Capital et Référence</b>						
Sous critère	C31	C32	C33			
Poids du sous critère	0,56	0,10	0,34			
<b>Qualification de l'équipe</b>						
Sous critère	C41	C42	C43			
Poids du sous critère	0,34	0,56	0,10			

#### IV-2.2. L'étude des offres et la détermination de la meilleure proposition

A l'instar de la section portant sur la méthode AHP, un test sera effectué en considérant les mêmes offres  $O_1$ ,  $O_2$  et  $O_3$ . Le tableau 4.19 donne la comparaison des trois offres au niveau du critère « prix » et leurs poids. Le tableau 4.20 contient les poids des offres suivant les sous-critères de chaque critère. Les détails sur les matrices de comparaison des offres au niveau des sous-critères des trois autres critères sont présents dans l'annexe 6.

Tableau 4. 19: Comparaison des offres suivant le critère Prix (C1)

$C1$	$O_1$			$O_2$			$O_3$			Poids des offres
$O_1$	1	1	1/2	1	3/2	3/2	2	5/2	1	1
$O_2$	1	2	1	1	1	1/2	1	3/2	1	0,79
$O_3$	1/2	2/3	2/3	1	2	1	1	1	1/2	0,64

Tableau 4. 20: Les poids des offres suivant les sous-critères

<b>Méthodologie de travail</b>							
Sous critère	C21	C22	C23	C24	C25	C26	
Poids du sous critère	0,30	0,12	0,09	0,11	0,26	0,11	
Offres	Poids des offres suivant les sous critères						Poids des offres
$O_1$	1	1	0,10	0,91	0,11	1	0,68
$O_2$	0,47	0,11	1	1	1	0,48	0,67
$O_3$	0	0,20	1	0,31	0,20	0,68	0,28
<b>Capital et Référence</b>							
Offres	C31	C32	C33				
Poids du sous critère	0,56	0,10	0,34				
Offres	Poids des offres suivant les sous critères						Poids de offres
$O_1$	1	1	0				0,66
$O_2$	0,36	0,84	0,47				0,44
$O_3$	0,33	0,17	1				0,55
<b>Qualification de l'équipe</b>							
Sous critère	C41	C42	C43				
Poids du sous critère	0,34	0,56	0,10				
Offres	Poids des offres suivant les sous critères						Poids de offres
$O_1$	0	1	1				0,66
$O_2$	1	0,90	0,50				0,90
$O_3$	0,76	0,79	0,50				0,75

Les résultats finaux de la comparaison des offres selon les critères sont contenus dans le tableau 4.21. L'offre  $O_1$  est la meilleure avec un score de 0,84.



Tableau 4. 21: Les résultats finaux de comparaison des offres

	$O_1$	$O_2$	$O_3$	Poids des critères
C1	1	0,79	0,64	0,51
C2	0,69	0,67	0,28	0,18
C3	0,66	0,44	0,55	0,11
C4	0,66	0,90	0,75	0,19
Scores des offres	0,84	0,75	0,59	

On remarque que les méthodes AHP et FAHP offrent le même classement des offres même si les scores obtenus par les offres changent. Les écarts entre les offres sont plus réduits dans le cas de l'application de la méthode FAHP.

## VI- Apprentissage statistique (machine) : orientation des entreprises vers les marchés appropriés

### VI-1. Présentation de l'apprentissage statistique (machine) et travaux connexes existants

L'apprentissage statistique désigne un ensemble de méthodes qui vise à analyser, interpréter et prédire un phénomène en se basant sur un échantillon d'observations décrites par  $J$  variables appelées variables explicatives. Soit  $\mathcal{L}_n = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$  un échantillon d'apprentissage ; c'est-à-dire une suite de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées (i.i.d) de même loi qu'un vecteur aléatoire  $(X, Y)$  de loi inconnue. Notons  $\mathbf{X}$  et  $\mathbf{Y}$  les espaces auxquels appartiennent respectivement les variables aléatoires  $X$  et  $Y$ .

Il existe deux types d'apprentissage statistique, l'apprentissage non supervisé et celui dit supervisé. Le but de l'apprentissage non supervisé consiste à déterminer automatiquement des catégories sur l'ensemble des observations en les regroupant en fonction de leur ressemblance et ce indépendamment de la variable aléatoire  $Y$ . Quant à l'apprentissage supervisé, il nécessite la présence de la variable  $Y$ . Pour toute nouvelle entrée  $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbf{X}$ , le but de l'apprentissage statistique supervisé est de prédire  $\hat{y} \in \mathbf{Y}$ . En fonction de l'espace  $\mathbf{Y}$ , on parlera de:

- régression si  $y \in \mathbb{R}$  ;
- classification ou discrimination si  $y \in \{C_k\}_{1 \leq k \leq K}$  ou les  $C_k$  représentent les différentes classes (catégories).

Notre étude porte sur l'apprentissage statistique supervisé dans le cadre de la classification avec pour objectif de prédire en termes de probabilité la classe de l'entreprise qui remportera un marché soumis à appel d'offres.

Dans la revue de la littérature, de nombreux travaux de recherche portent sur l'accès des entreprises, en particulier des PME, aux marchés publics. Ainsi, en 2011, l'agence suédoise de l'économie et du développement régional a conduit une étude dont les conclusions ont montré que seulement 12% des TPE (Très Petites Entreprises) ont participé à la passation des marchés publics sur les 12 derniers mois et seulement 43% des PME (Petite et Moyenne Entreprises) y ont participé (Tillväxtverket, 2011). Panga et Kazungu ont mené une étude sur l'accès des PME aux marchés publics en Tanzanie. L'objectif de cette étude est de les rendre compétitive en les guidant dans la bonne utilisation des réformes juridiques facilitant leur accès aux marchés publics. La statistique descriptive a été utilisée lors de cette étude qui, en plus de guider les entreprises, fait l'état des lieux des défis et opportunités auxquels font face les PME dans la passation des marchés publics (Panga et Kazungu, 2015). Bee-Lan, Derek et Hing-Po ont étudié le comportement des entreprises quant à leurs décisions de soumettre ou non une offre lors d'un appel d'offres. Ils ont comparé les résultats des cas des entreprises soumissionnaires de Hong-Kong et de Singapour en périodes de récession et en période de croissance. Dans cette étude, ils ont fait usage des concepts d'apprentissage statistique via l'utilisation de la régression logistique pour construire un classificateur capable de modéliser la probabilité qu'une entreprise soumissionne remporte un appel d'offres, et ce en période de croissance et en période de récession (Been-Lan et al., 2008). Stake a mené une étude sur les mesures pouvant permettre d'accroître la participation des PME aux marchés publics et les conséquences de ces mesures pour les PME et les grandes entreprises. Cette étude a été conduite en utilisant la régression logistique polytomique et un jeu de données représentatif de tous les marchés publics publiés en 2007 et 2008 en Suède (Stake, 2014).

La contribution de notre travail consiste, d'une part, en l'utilisation de plusieurs méthodes d'apprentissage statistique en vue d'en choisir la meilleure pour la construction d'un classificateur capable de donner la probabilité de remporter un marché et, d'autre part, à l'intégration de ce classificateur au sein d'un système multi-agents.

## **VI-2. Data Science, Big Data Science et Big Data Analytics**

Le terme data science est utilisé pour désigner un champ interdisciplinaire permettant de découvrir des connaissances à partir de donnée (Jifa et Lingling, 2014). Pour y parvenir, cette nouvelle discipline fait appel à deux disciplines scientifiques majeures à savoir les mathématiques (en général la statistique) et l'informatique et à cela s'ajoute l'expertise dans un domaine d'application donné (Shi et al., 2014).

Les branches des mathématiques, de la statistique et de l'informatique utilisées en data science sont nombreuses, on peut citer entre autres le traitement de signal, les modèles probabilistes, l'apprentissage statistique, l'apprentissage machine, la fouille des données (data mining), le traitement du langage naturel (natural language processing), la fouille de textes (text mining), le web scraping, l'analyse des media sociaux (social web analytics), l'analyse des sentiments (sentiment analysis), la programmation informatique, la modélisation de l'incertitude, l'entreposage des données (data warehousing), la visualisation des données (data visualization), l'informatique haute performance, etc.

La statistique est au cœur du data science car c'est elle qui offre les méthodes scientifiques de traitement de données. Ainsi le statisticien peut aisément se familiariser avec le data science en s'appropriant les concepts et outils de cette nouvelle discipline (Besse et al., 2014). Vu le besoin

croissant de data scientists et le rapprochement entre data science et statistique, de nombreuses propositions stipulent l'intégration du data science dans les filières de formation des statisticiens (Hardin et al., 2014).

Le terme « data scientist » est utilisé pour désigner un spécialiste en data science. Le data scientist se distingue par son aisance avec les mathématiques notamment la statistique et ses compétences en informatique notamment en développement informatique. Toutefois, compte tenu de l'interdisciplinarité du data science, un travail collaboratif entre des personnes de compétences différentes (statisticien, informaticien, spécialiste du domaine d'application) s'impose comme l'approche idéale.

L'expression « Big Data Science » est utilisée lorsqu'on applique des méthodes de data science sur des données volumineuses (Big Data). Dans un tel contexte, la pratique du data science exige l'intégration de d'autres disciplines informatiques tels que les réseaux informatiques, le cluster computing, le grid computing, le cloud computing, etc. L'intégration de ces disciplines renforce davantage la nécessité de l'approche collaborative via une équipe de personnes de compétences différentes dans la pratique du data science.

Le « Big Data Analytics » peut être défini comme un ensemble de technologies offrant des méthodes d'analyse pouvant être utilisées pour analyser de grandes masses de données complexes afin d'accroître la performance, et ce, à plusieurs niveaux (Kwon et al., 2014). Le Big Data Analytics constitue une technologie innovante permettant aux data scientists et divers autres utilisateurs le traitement de grands volumes de données de sources hétérogènes. Les outils du Big Data Analytics bien que fonctionnant dans un cadre global peuvent également être utilisés indépendamment à des fins spécifiques comme la vérification des algorithmes conçus par les data scientists. Des logiciels perfectionnés sont utilisés pour le traitement des données mais ils deviennent inefficaces lorsque les données deviennent très volumineuses. En conséquence, de nouveaux concepts et outils technologiques capables de créer et de gérer de grands environnements d'analyse de données tels que Mahout, Hive, Hadoop, MapReduce, etc., ont vu le jour. Ces technologies constituent un cadre logiciel open-source qui est utilisé pour traiter d'énormes ensembles de données.

### **VI-3. Eléments fondamentaux de la modélisation statistique**

Nous souhaitons mettre en place un outil décisionnel pour les entreprises en vue d'orienter celles-ci vers des marchés spécifiques. Cette démarche est salutaire pour les très petites entreprises (TPE) et les petites et moyennes entreprises (PME) qui disposent de ressources très limitées et dont de nombreuses études soulignent leurs difficultés à accéder aux marchés publics (Karjalainen et Kemppainen, 2008; Loader, 2015). La préparation d'un dossier pour répondre à un appel d'offres demande du temps, des ressources humaines et est généralement coûteuse (Swarnkar et al., 2009). Ainsi, une entreprise doit éviter de soumissionner pour un marché pour lequel ses chances de l'emporter sont faibles, cela est d'autant plus vrai pour les TPE et les PME. De plus, de nombreuses entreprises succombent au découragement lorsqu'elles participent à plusieurs appels d'offres sans succès, ce qui peut être dû à une mauvaise orientation vers les marchés à candidater.

### VI-3.1. Les variables du modèle statistique

On définit les différentes variables qui influencent l'accès à un marché public comme les variables indépendantes de notre modèle. La variable dépendante porte sur les différentes catégories d'entreprises.

#### ⇒ la variable dépendante du modèle : catégorisation des entreprises

Il existe plusieurs catégorisations des entreprises. Celle qui nous intéresse est la catégorisation par la taille qui repose sur deux critères principaux :

- Le nombre d'employés (salariés) de l'entreprise ;
- Le chiffre d'affaire annuel ou le total du bilan.

Les bornes indiquées de ces deux éléments varient en fonction des pays. Si dans la législation française la catégorie des PME représente les entreprises ayant au plus 250 salariés ; aux USA, elle représente les entreprises ayant au plus 500 salariés.

Dans le cadre de notre travail, la classification sera faite conformément aux recommandations du manuel de FRASCATI adopté par l'OCDE (OCDE, 2003) et utilisé par de nombreux pays pour la classification des entreprises selon la taille. La classification adoptée est la suivante :

- Très Petite Entreprise (TPE) ;
- Petite et Moyenne Entreprise (PME) ;
- Entreprise de Taille Intermédiaire (ETI) ;
- Grande Entreprise (GE).

#### ⇒ Les variables indépendantes du modèle

Les variables indépendantes utilisées dans le modèle pour discriminer les différentes classes sont :

- le montant du marché ;
- le type de marché ;
- le délai de livraison ;
- le chiffre d'affaire requis pour être soumissionnaire ;
- la distance géographique entre le commanditaire et le fournisseur ;
- l'année d'attribution ;
- l'entité publique : il s'agit des ministères, de la présidence, etc.

Les cinq premières variables ont été évoquées dans de nombreuses études comme étant des facteurs pouvant influencer les chances de remporter un marché (Swarnkar et al., 2009). La variable « Année d'attribution » a été introduite car, durant ces dernières années, de nombreux pays mettent progressivement en place des politiques pour faciliter l'accès des TPE et des PME aux marchés publics (Jurčík, 2013). On peut donc légitimement penser que les chances d'une TPE ou d'une PME de remporter un marché augmentent avec l'année. Quant à la variable « Entité Publique », elle a été introduite pour prendre en compte le fait que certaines entités publiques accordent très rarement les marchés aux TPE et aux PME.

### **VI-3.2. La stratégie d'obtention des données**

Les méthodes d'apprentissage statistique exigent la présence d'un jeu de données qui est divisé en deux parties, une pour l'apprentissage et l'autre pour tester le modèle statistique établi (Fatima et Hamid, 2009; Hu et al., 2015; Kourou et al., 2015). Ce test est important car il nous permet de cerner la capacité du modèle à classer de nouvelles données en dehors de celles sur lesquelles l'apprentissage a été effectué.

Le jeu de données doit contenir les variables du modèle ou les variables permettant de les créer. Plus le jeu de données est représentatif du phénomène étudié et volumineux plus le modèle établi est performant. Ainsi, nous opterons pour un jeu de données contenant les marchés conclus sur plusieurs années. Deux acteurs clés de la gouvernance des marchés publics participeront à la mise en place du jeu de données :

- le trésor public : il possède toutes les informations sur les marchés conclus, et ce, sur de nombreuses années ;
- la direction des marchés publics : elle dispose d'informations sur les nouveaux marchés à soumettre.

### **VI-3.3. L'approche adoptée pour le stockage et le traitement statistique des données**

Deux approches s'offrent au statisticien (data scientist) pour le traitement statistique des données. L'utilisation d'une seule machine lorsque les nombres d'observations et de variables ne sont pas élevés ou l'utilisation d'un cluster composé de plusieurs machines lorsqu'ils sont élevés (Ma et al., 2014; Chu et al., 2007; Fan et Liu, 2013). Ainsi, de nombreux chercheurs en apprentissage statistique (machine) recommandent l'utilisation d'une plateforme distribuée composée de plusieurs machines pour le traitement statistique lorsque le nombre d'observations et de variables dans un jeu de données dépasse respectivement 100.000 observations et une vingtaine de variables (Kotsiantis et al., 2007).

La plupart des algorithmes d'apprentissage statistique actuels sont coûteux en calcul et nécessitent la présence de toutes les données dans la mémoire vive, ce qui est clairement intenable pour une seule machine. Par conséquent, lors d'un traitement statistique, on considère que nous sommes dans un contexte Big Data lorsque la mémoire vive d'une seule machine ne permet pas de charger toutes les données et les opérations à effectuer (Kotsiantis et al., 2007).

De nos jours, les logiciels de statistique comme R proposent des packages pour le traitement de données volumineuses sur une seule machine, toutefois cela reste limité. Les concepteurs du package bigmemory de R dédié au traitement de données volumineuses recommandent une architecture distribuée selon le paradigme MapReduce pour plus d'efficacité lorsque la taille des données dévient de plus en plus grande (Emerson et al., 2013).

Etant donné que le jeu de données dans notre étude comprendra tous les marchés publics conclus sur 10 à 20 ans voire plus, nous aurons des millions d'observations et plusieurs variables. A titre d'exemple, d'après les chiffres publiés par le ministère français de l'économie et des finances via son service OEAP<sup>25</sup> (Observatoire Economique de l'Achat Public) en collaboration avec le trésor public, 1.270.253 marchés ont été conclus entre 2004 et 2013 soit

---

<sup>25</sup> <http://www.economie.gouv.fr/daj/oeap-recensement-economique-achat-public> (consulté en mars 2015)

en moyenne 127.025 marchés par ans. Au Canada, d'après les chiffres<sup>26</sup> offerts par le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 3.794.771 marchés ont été conclus entre 2003 et 2012 soit en moyenne 379.477 marché par ans. De ce fait, nous aurons des millions d'observations à traiter auxquelles s'ajouteront des centaines de milliers chaque année.

Ainsi, nous optons pour une architecture distribuée en vue d'un traitement parallèle des données à travers un cluster composé de plusieurs machines. Pour les analyses statistiques sur les données, les outils comme Python, R, RHadoop, Mahout gèrent parfaitement les traitements statistiques de façon parallèle sur plusieurs machines. Dans cette étude, nous utiliserons Mahout car sa performance, due à son caractère évolutif, augmente au fur et à mesure que la taille des données augmente ce qui n'est pas le cas pour d'autres outils d'apprentissage statistique (Owen et al., 2012). En effet, lorsque la taille des données augmente, le temps de traitement et la mémoire vive requise augmentent rapidement de façon non linéaire sur les outils statistiques non évolutifs.

L'apprentissage machine distribué, conformément au paradigme MapReduce, consiste à diviser le jeu de données en plusieurs blocs, faire les traitements sur les différents blocs parallèlement et combiner les résultats à la fin (Srimathi et al., 2006).

#### VI-4. Méthodes d'apprentissage statistique (machine) utilisées

Dans l'apprentissage statistique, le choix de la méthode est une question qui revient très souvent. Pour répondre à cette préoccupation, la meilleure démarche est de mettre en œuvre les différentes méthodes pour chaque problème donné et d'en choisir la meilleure.

Dans notre étude, trois méthodes très utilisées en apprentissage statistique et donnant généralement de bon résultats ont été utilisées à savoir la régression logistique multinomiale, les forêts aléatoires et les réseaux de neurones (Zhou et al., 2015; Gu et al., 2013). Nous envisageons d'utiliser ultérieurement d'autres méthodes de classification supervisée telles que l'analyse discriminante et la méthode SVM (Support Vector Machine)<sup>27</sup>. L'objectif est de comparer les résultats issus de l'application de ces méthodes afin d'en déterminer la meilleure dans le contexte de notre étude.

##### VI-4.1. La régression logistique multinomiale (polytomique)

La régression logistique multinomiale ou polytomique généralise la régression logistique binaire en traitant les problèmes où la variable dépendante prend  $K (K > 2)$  modalités (Pal, 2012; Shehadeh et al., 2012).

L'objectif consiste à modéliser la probabilité d'appartenance d'un individu à une modalité  $y_k$  (la classe associée est  $C_k$ ) de la variable dépendante. Cette probabilité peut être définie comme suit:

$$\psi_k(x) = P(Y = y_k/X(x)) \text{ avec } \sum_{k=1}^K \psi_k(x) = 1 \quad (4.31)$$

<sup>26</sup>[http://www.tbs-sct.gc.ca/pubs\\_pol/dcgpubs/con\\_data/siglistfra.asp](http://www.tbs-sct.gc.ca/pubs_pol/dcgpubs/con_data/siglistfra.asp) (consulté en mars 2015)

<sup>27</sup> Les machines à vecteurs de support (ou séparateurs à vaste marge) en français

Le principe de la régression logistique multinomiale consiste à modéliser  $(K - 1)$  rapport de probabilité appelés odds. Pour ce faire, une modalité est prise comme référence et les logits sont exprimés par rapport à cette référence.

Considérons la modalité  $y_K$  de la dernière classe  $C_K$  comme étant la modalité de référence. Alors, les logits  $\Psi_k$  des autres modalités  $y_k$  s'écrivent comme suit :

$$\Psi_k = \ln \frac{\psi_k}{\psi_K} = \alpha_{0,k} + \alpha_{1,k}X_1 + \alpha_{2,k}X_2 + \dots + \alpha_{J,k}X_J, \text{ avec } k \in \{1, 2, \dots, K - 1\} \quad (4.32)$$

Si la variable dépendante présente  $K$  modalités et si on a  $J$  variables indépendantes dans le modèle alors le nombre de coefficients à estimer est  $(K - 1) * (J - 1)$ . L'estimation de ces coefficients se fait à travers l'optimisation de la fonction log-vraisemblance définie comme suit :

$$LL = \sum_{i=1}^n (y_1(x_i) \ln \psi_1(x_i) + \dots + y_K(x_i) \ln \psi_K(x_i)) \quad (4.33)$$

Pour l'évaluation de la qualité globale du modèle, on s'intéresse au modèle trivial réduit uniquement aux constantes. Soient  $n$  la taille de l'échantillon et  $n_k$  le nombre d'observations dans l'échantillon présentant la modalité  $y_k$ . Au niveau du modèle trivial, on a :

$$y_k(x_i) = n_k \text{ et } \psi_k(x_i) = \frac{n_k}{n}; \forall k = 1, 2, \dots, K \text{ et } \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (4.34)$$

La fonction log-vraisemblance du modèle trivial est, ainsi, définie comme suit :

$$LL_0 = \sum_{k=1}^K n_k \ln \left( \frac{n_k}{n} \right) \quad (4.35)$$

le pseudo  $R^2$  de Mc Fadden et le test du rapport de vraisemblance sont utilisés pour conclure sur la qualité globale de la régression.

Le pseudo  $R^2$  de Mc Fadden noté  $R_{MF}^2$  s'obtient à partir de la formule suivante :

$$R_{MF}^2 = 1 - \frac{LL}{LL_0} \quad (4.36)$$

Le pseudo  $R^2$  de Mc Fadden est compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 1, plus le modèle est parfait et plus il est proche de 0, plus la qualité du modèle est mauvaise.

La statistique pour le test du rapport de vraisemblance notée  $LR$  est égale à la différence de la déviance du modèle trivial et celle du modèle étudié :

$$LR = D_0 - D = (2 * LL_0) - (2 * LL) \quad (4.37)$$

Elle suit une loi de de khi-deux ( $\chi^2$ ) de degré de liberté :

$$ddl_0 - ddl = [n - (K - 1)] - [n - ((K - 1) * (J + 1))] = (K - 1) * J \quad (4.38)$$

$ddl_0$ : le degré de liberté de la déviance  $D_0$  du modèle trivial

$ddl$ : le degré de liberté de la déviance  $D$  du modèle étudié

La région critique du test au seuil  $\alpha$  correspond aux valeurs de la statistique de test vérifiant :

$$LR > \chi_{1-\alpha}^2(ddl_0 - ddl) \quad (4.39)$$

L'étude de la significativité des différents coefficients est une étape importante car liée à l'étude de la significativité des variables. Les variables qui ne sont pas significatives dans les différents logits peuvent être exclues du modèle. Quant à celles qui sont significatives dans tous les logits ou dans certains logits, elles doivent être gardées car leurs rôles sont déterminants dans la caractérisation des modalités de la variable dépendante. La statistique de Wald permet de juger la significativité des différents coefficients du modèle. Egalement, en fixant la valeur de la variable  $X_j$  à 0 et en l'excluant du modèle, on obtient un autre modèle dont on calcul la déviance. La différence de la déviance obtenue et celle de la déviance du modèle global donne une statistique du rapport de vraisemblance  $LR_j$  qui permet de tester la significativité du coefficient de la variable  $X_j$  (Malekipirbazari et Aksakalli, 2015). Le même principe est appliqué pour les autres coefficients du modèle.

#### VI-4.2. Les forêts aléatoires

Les forêts aléatoires constituent une nouvelle méthode d'apprentissage statistique mise en place par Léo Breiman (Breiman, 2001). Cette nouvelle technique d'apprentissage statistique s'appuie sur le Bagging. Ce dernier consiste à diviser l'échantillon d'apprentissage en plusieurs sous-échantillons, à appliquer une méthode de prédiction<sup>28</sup> sur chacun d'eux et à agréger les résultats obtenus (Malekipirbazari et Aksakalli, 2015). Les forêts aléatoires constituent une amélioration du Bagging et elles se différencient de ce dernier par le fait que le nombre  $q$  de variables utilisées au niveau de chaque sous-échantillon est inférieur à  $J$  (le nombre total de variables), ce qui n'est pas le cas du Bagging où  $q = J$ . Cette diminution du nombre de variables permet d'avoir des résultats meilleurs (James et al., 2013).

Dans l'article fondateur des forêts aléatoires publié par Leo Breiman, il définit les forêts aléatoires de la façon suivante :

Soit  $\{\hat{h}(\cdot, \Theta_1), \dots, \hat{h}(\cdot, \Theta_q)\}$  une collection de prédicteurs par arbre, où  $(\Theta_1, \dots, \dots, \Theta_q)$  est une suite de variables aléatoires i.i.d (identiques et indépendamment distribuées), indépendante de l'échantillon d'apprentissage  $\mathcal{L}_n$ . Le prédicteur des forêts aléatoires est obtenu par agrégation de cette collection de prédicteurs.

Le terme « forêt aléatoire » vient du fait que les prédicteurs individuels sont, ici, explicitement des prédicteurs par arbre, et du fait que chaque arbre dépend d'une variable aléatoire supplémentaire (c'est-à-dire en plus de  $\mathcal{L}_n$ ). Une forêt aléatoire est l'agrégation d'une collection d'arbres aléatoires (Genuer, 2010).

La prédiction  $\hat{y}_i$  pour une nouvelle entrée  $x_i$  dans le cas d'une régression est donnée par :

<sup>28</sup> Les méthodes de prédiction utilisées par les forêts aléatoires pour la classification sont les arbres de décisions.



$$\hat{y}_i = \hat{h}_{rf}^q(x_i) = \frac{1}{q} \sum_{l=1}^q \hat{h}(x_i, \theta_l) \quad (4.40)$$

Soit  $\hat{C}_t(x_i)$  la classe prédite par le  $t^{ième}$  arbre de la forêt aléatoire, alors la prédiction de la classe pour une nouvelle entrée  $x_i$  dans le cas d'une classification est :

$$\hat{C}_k(x_i) = \text{vote majoritaire de l'ensemble } \{\hat{C}_t(x_i)\}_{1 \leq t \leq q} \quad (4.41)$$

Les forêts aléatoires constituent une famille de méthodes ; la méthode proposée par Leo Breimen appelée Random Forests-RI, que nous utiliserons, a été largement utilisée dans de nombreuses applications grâce à son utilisation facile et de ses performances exceptionnelles (Genuer, 2010).

Hormis la construction d'un prédicteur, l'algorithme des forêts aléatoires calcule une estimation de son erreur de généralisation appelée erreur Out-Of-Bag (OOB). Soit  $(x_i, y_i)$  une observation de l'échantillon  $\mathcal{L}_n$ . Considérons l'ensemble des arbres construits sur les sous-échantillons ne contenant pas cette observation (l'ensemble de ces sous-échantillons constituent l'échantillon OOB). On utilise uniquement les prédictions des sous-échantillons de l'échantillon OOB pour construire une prédiction  $\hat{Y}_{iOOB}$  de  $y_i$ .

Dans le cas d'une régression, l'erreur Out-Of-Bag qui est l'erreur commise par les prédictions est obtenue par la formule suivante :

$$E_{OOB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_{iOOB} - y_i)^2 \quad (4.42)$$

Dans le cas d'une classification, elle est obtenue par :

$$E_{OOB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \text{ avec } T_i = \begin{cases} 1 & \text{si } \hat{Y}_{iOOB} \neq y_i \\ 0 & \text{si } \hat{Y}_{iOOB} = y_i \end{cases} \quad (4.43)$$

Considérons une variable  $X_j$ , un sous-échantillon  $\mathcal{L}_n^{\theta_l}$  et l'échantillon  $OOB_l$  associé. Calculons  $E_{OOB}^l$  l'erreur commise sur  $OOB_l$  par l'arbre construit sur  $\mathcal{L}_n^{\theta_l}$ . On procède à une permutation aléatoire des valeurs de la variable  $X_j$  dans l'échantillon  $OOB_l$  pour obtenir un échantillon perturbé  $\overline{OOB}_l^j$ . On calcule l'erreur de l'échantillon perturbé  $\overline{OOB}_l^j$  qu'on note  $E_{\overline{OOB}_l^j}^l$ . La même opération est effectuée pour tous les sous-échantillons. L'importance de la variable  $X_j$  qu'on note  $Imp(X_j)$  est :

$$Imp(X_j) = \frac{1}{q} \sum_{l=1}^q (E_{\overline{OOB}_l^j}^l - E_{OOB}^l) \quad (4.44)$$

### VI-4.3. Les réseaux de neurones

Un réseau de neurones est une structure composée de plusieurs neurones connectés entre eux et échangeant des informations via des connexions qui les relient. L'information, affectée d'un

coefficient de pondération  $\omega_{ij}$ , est transmise d'un neurone  $i$  à un neurone  $j$  via la connexion qui les lie.

Il existe plusieurs types de réseaux de neurones. Nous présenterons le perceptron multicouche que nous utiliserons dans notre étude pour les raisons suivantes :

- il est très répandu et donne de bons résultats (Kumar et Thenmozhi, 2006b; Were et al., 2015) ;
- il est le seul modèle implémenté par presque tous les logiciels et outils statistiques ;
- c'est le seul modèle neuronal implémenté, actuellement, par Mahout<sup>29</sup>.

Les perceptrons multicouches sont organisés en couches successives et chacune d'elle comprend des neurones qui ne sont pas connectés entre eux. Ci-dessous, la figure 4.17 représente un perceptron multicouche avec deux couches cachées :

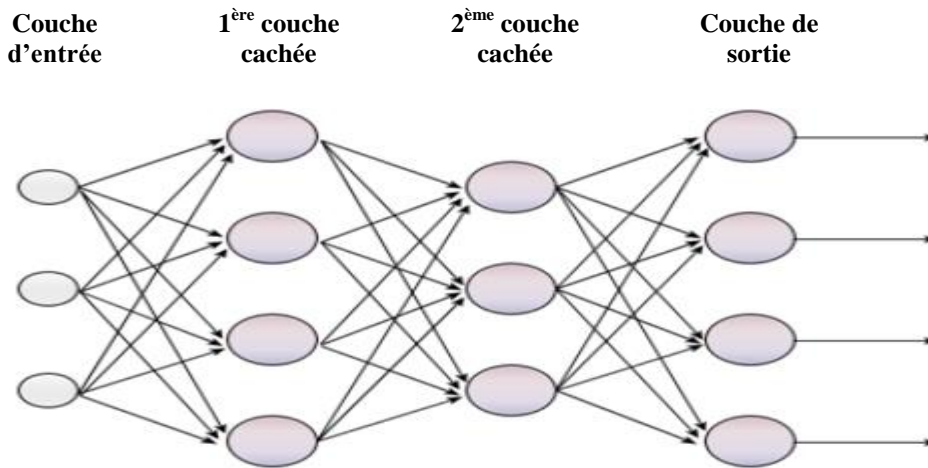


Figure 4. 17: Perceptron multicouches

Considérons les notations suivantes :

- $O$  : l'ensemble des états possibles des neurones ;
- $o_i$  : l'état du neurone  $i$ , où  $o_i \in O$  ;
- $f_i$  : la fonction de transfert associée au neurone  $i$  ;
- $s_i$  : l'entrée du neurone  $i$ ,  $s_i \in \mathbb{R}$  ;
- $\omega_{ij}$  : le poids de la connexion du neurone  $j$  vers le neurone  $i$  ;  $\omega_{ij} \in W$  l'ensemble des poids du perceptron multicouche.

Lorsque le neurone  $i$  reçoit les informations de  $n_i$  neurones, il effectue l'opération suivante pour définir son état :

$$o_i = f_i(s_i) \quad \text{avec} \quad s_i = \left( \sum_{j=1}^{n_i} \omega_{ij} * o_j \right) - \omega_{i0} \quad (4.44)$$

<sup>29</sup> <https://mahout.apache.org/users/basics/algorithms.html> (consultée en mars 2015).

$\omega_{i0}$  : est un poids supplémentaire appelé coefficient de biais lié au biais qu'on notera  $o_0$  tel que  $o_0 = -1$ . Notons que  $\omega_{i0} \in W$ .

Considérons que la première couche qui est la couche d'entrée possède  $n$  neurones et la dernière couche qui est la couche de sortie possède  $K$  neurones. Les états des neurones de la première couche et de la dernière couche peuvent respectivement être représentés par les vecteurs  $x = (x_1, \dots, x_n)$  et  $y = (y_1, \dots, y_K)$ . Ainsi, le perceptron multicouche peut être modélisé par la fonction suivante  $F$  :

$$\begin{aligned} \mathbb{R}^n &\rightarrow \mathbb{R}^K \\ x &\mapsto y = F(W, x) \end{aligned} \quad (4.45)$$

A l'instar des forêts aléatoires, le perceptron multicouche peut être utilisé pour des problèmes de classification et de régression. Nous présentons ses propriétés dans le cadre de la classification qui est le but de notre étude.

Pour la classification, le perceptron multicouche est appliqué en effectuant un codage de la variable dépendante permettant de représenter les différentes classes. Supposons  $x$  une entrée, la classe associée à  $x$  est représentée par un vecteur  $y = (y_1, \dots, y_n)$  dont les composantes ne peuvent prendre que deux valeurs  $a$  ou  $b$ . Le vecteur qui code la classe  $C_k$  a toutes ses coordonnées égales à  $b$  exceptée la  $k^{\text{ième}}$  qui prend la valeur  $a$ . Le perceptron multicouche approxime l'espérance mathématique de la variable aléatoire conditionnelle  $Y/x$ . L'approximation de l'espérance mathématique de la variable conditionnelle  $Y/x$  pour la  $k^{\text{ième}}$  composante est donnée par :

$$E(Y/x)_k = a * P(C_k/x) + b * (1 - P(C_k/x)) \quad (4.46)$$

$P(C_k/x)$  représente la probabilité à postériori de l'appartenance de l'observation  $x$  à la classe  $C_k$ . L'état d'un neurone  $k$  de la couche de sortie en fin d'apprentissage est une approximation de l'espérance mathématique  $E(Y/x)_k$ .

### VI-5. Codes pour l'exécution des différentes méthodes

La régression logistique, le modèle neuronal perceptron multicouches et les forêts aléatoires sont implémentés par Mahout et d'autres bibliothèques libres dédiées à l'apprentissage statistique (machine). Ci-dessous, nous présentons les codes pour l'exécution des différentes méthodes au niveau d'un cluster hadoop.

#### ⇒ Le code pour l'exécution de la régression logistique polytomique

Présentement, Mahout ne dispose pas de package permettant d'effectuer la régression logistique de façon distribuée sur plusieurs machines. Nous utiliserons le package Java « WinVectorLogistic.Hadoop0.20.2.jar » développé par la compagnie « Win-Vecteur LLC » qui permet d'effectuer la régression logistique (binaire et polytomique) au niveau d'un cluster Hadoop en utilisant le paradigme MapReduce.

```

#Chargement des données dans les fichiers hdfs
hadoop dfs -mkdir mydata
hadoop dfs -put training.csv mydata
hadoop dfs -put testing.csv mydata

#Générer des métadonnées (informations) sur le jeu de données d'apprentissage
hadoop jar ...\mahout-0.9\mahout-core-0.9-job.jar org.apache.mahout.classifier.df.tools.Describe -p
mydata/training.csv
-f mydata/training.info -d 702 N L

#Mise en place du modèle
hadoop jar WinVectorLogistic.Hadoop0.20.2.jar logistictrain training.csv "StatutEnt ~ Annee + Entite.Pub
+ Nat.Marche + Montant" mydata/model.ser

#Tester le modèle sur le jeu de donnée test
hadoop jar WinVectorLogistic.Hadoop0.20.2.jar logisticcore model.ser testing.csv mydata/Resultats.txt

#Affichage des résultants contenus dans le dossier DResultats
hadoop dfs -text mydata/part-r-00000

```

Figure 4. 18: Code pour la mise en œuvre de la régression logistique avec Mahout

#### ⇒ Le code pour l'exécution du perceptron multicouche (MLP)

Mahout implémente le perceptron multicouche sur une seule machine mais pas au niveau d'un cluster composé de plusieurs machines. Toutefois, vu que Mahout permet de traiter efficacement un grand nombre d'observations sur une seule machine (Owen, 2012), nous appliquerons le perceptron multicouche sur une seule machine avec Mahout aussi longtemps que la taille du jeu de données le permet.

```

#Chargement des données dans les fichiers hdfs
hadoop dfs -mkdir mydata
hadoop dfs -put training.csv mydata
hadoop dfs -put testing.csv mydata

#Générer des métadonnées (informations) sur le jeu de données d'apprentissage
hadoop jar ...\mahout-0.9\mahout-core-0.9-job.jar org.apache.mahout.classifier.df.tools.Describe -p
mydata/training.csv
-f mydata/training.info -d 702 N L

#Mise en place du modèle
hadoop jar org.apache.mahout.classifier.mlp.TrainMultilayerPerceptron
-i /mydata/training.csv -labels Oui Non -mo /mydata/model_mpl.model -ls 4 6 4 -l 0.2 -m 0.35 -r 0.0001

# Tester le modèle sur le jeu de donnée test
hadoop jar org.apache.mahout.classifier.mlp.RunMultilayerPerceptron
-i /mydata/testing.csv -mo /mydata/model_plr.model -o /mydata/labelResult.txt

#Affichage des résultants contenus dans le dossier mydata
hadoop dfs -text mvdata/part-r-00000

```

Figure 4. 19: Code pour la mise en œuvre du perceptron multicouche avec Mahout

### ⇒ Le code pour l'exécution des forêts aléatoire

Mahout permet d'implémenter la méthode des forêts aléatoires en mode distribué à travers plusieurs machines en utilisant le code de la figure 4.20 via l'invite de commande.

```
#Chargement des données dans les fichiers hdfs
hadoop dfs -mkdir mydata
hadoop dfs -put training.csv mydata
hadoop dfs -put testing.csv mydata

#Générer des métadonnées (informations) sur le jeu de données d'apprentissage
hadoop jar ...mahout-0.9mahout-core-0.9-job.jar org.apache.mahout.classifier.df.tools.Describe -p
mydata/training.csv
-f mydata/training.info -d 702 N L

# Mise en place du modèle
hadoop jar mahout-examples-0.9-job.jar org.apache.mahout.classifier.df.mapreduce.BuildForest -
Dmapred.max.split.size=1874231 -d mydata/training.csv -ds mydata/training.info -sl 5 -p -t 1000 -o
mydata/final-forest

#Tester le modèle sur le jeu de données test
hadoopjar mahout-examples-0.9-job.jar org.apache.mahout.classifier.df.mapreduce.TestForest -i
mydata/testing.csv
-ds /training.info -m mydata/final-forest -a -mr-o mydata/final-prediction.txt

#Affichage des résultants contenus dans le dossier mydata
hadoop dfs -text mydata/part-r-00000
```

Figure 4. 20: Premier code pour la mise en œuvre des forêts aléatoires avec Mahout

Les codes présentés permettent d'implémenter les différentes méthodes utilisées par Mahout à travers une invite de commande. Toutefois, ces méthodes peuvent être implémentées via un programme écrit en java. Le code de la figure 4.21 donne un aperçu des packages et des méthodes principales pour la mise en œuvre des forêts aléatoires en utilisant un programme écrit en java.

```

package com.bdmahout.tendering;

##Importation des packages Hadoop et Mahout
import org.apache.hadoop.conf.Configuration;
import org.apache.hadoop.fs.Path;
import org.apache.mahout.classifier.df.DecisionForest;
import org.apache.mahout.classifier.df.node.Node;
import org.apache.mahout.common.RandomUtils;
.....
import java.util.Random;
import org.uncommons.maths.Maths;

public class App {

    ## Méthode pour construire le modèle
    private static DecisionForest buildForest(int numberOfTrees, Data data) { }

    ## Méthode principale
    public static void main(String[] args) throws IOException, DescriptorException { }

    ## Méthode pour générer les métadonnées qui décrivent le jeu de données
    private static String buildDescriptor(int numberOfFeatures) { }

    ## Méthode pour sauvegarder les arbres
    private static void saveTree(int numberOfTrees, DecisionForest forest) throws IOException { }

    ## Méthode qui effectue l'essentiel des calculs
    public static void runIteration(int numberOfTrees, String[] trainDataValues, String[] testDataValues,
String descriptor) throws DescriptorException, IOException { }

    ## Méthode pour charger les données
    private static Data loadData(String[] sData, String descriptor) throws DescriptorException { }

}

```

Figure 4. 21: Deuxième code pour la mise en œuvre des forêts aléatoires avec Mahout

## VI-6. Mise en œuvre expérimentale et interprétation des résultats

L'objectif de cette sous-section consiste à mettre en œuvre un cas pratique de l'approche apprentissage statistique proposée.

### VI-6.1. Obtention et description du jeu de données utilisé

Pour la mise en pratique de l'approche proposée, il nous faut des données fiables sur plusieurs marchés publics conclus sur une période de 10 à 20 ans voire plus. Pour le moment, nos efforts pour obtenir un jeu de données qui répond aux exigences de notre approche n'ont pas donné les résultats escomptés. Toutefois, nous avons pu obtenir sur le site gouvernemental français [data.gouv.fr](http://data.gouv.fr), des fichiers<sup>30</sup> csv et excel contenant les données sur quelques milliers de marchés

<sup>30</sup> Les fichiers en question peuvent être téléchargés sur cette page web : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/liste-des-marches-publics-conclus/> (consulté en Mars 2015).

publics conclus entre 2011 et 2013. Après épuration des trois fichiers, nous avons retenu 4335 marchés publics conclus entre 2011 et 2013.

Ce fichier contient quatre des sept variables indépendantes de notre modèle :

- Année d'attribution du marché ;
- Le montant du marché ;
- L'entité publique ayant bénéficié du marché (ministères, présidence, services du premier ministre, etc.) ;
- Le type de marché.

Quant à la variable dépendante, elle ne contient que deux modalités (PME ou Non-PME).

Le jeu de données a été divisé en deux parties, une dédiée à l'apprentissage (la construction du modèle) et l'autre au test (pour tester le modèle établi en le confrontant à de nouvelles données). Le jeu de données pour l'apprentissage comprend 70% des observations soit 3034 observations et le jeu de données pour tester le modèle comprend 30% des observations soit 1301 observations.

#### VI-6.2. Analyse et interprétation des résultats

L'étude de la performance des méthodes utilisées se fera à travers leurs capacités à bien classer les observations.

Pour le réseau de neurones, nous avons fait varier le nombre de neurones dans la couche cachée. Les résultats consignés dans le tableau 4.22 nous montrent que le meilleur nombre de neurones dans la couche cachée est 6 avec un taux d'observations bien classées égal à 70,16.

Tableau 4. 22 : Pourcentage d'observations bien classées suivant le nombre de neurones dans la couche cachée

	Nombre de neurones dans la couche cachée						
Pourcentage de bien classées	3	4	5	6	7	8	9
	65,81	67,79	69,28	<b>70,16</b>	67,86	67,73	67,45

Pour les forêts aléatoires, plus on augmente le nombre d'arbres plus l'erreur de classement diminue faiblement comme illustré dans le tableau 4.23. Pour notre cas, nous nous sommes limités à 1.000 arbres. Le nombre de variables par arbre est 2 (racine carrée du nombre total de variables) comme cela est recommandé pour la classification supervisée avec les forêts aléatoires.

Tableau 4. 23: Pourcentage d'observations bien classées suivant le nombre d'arbres

	Nombre d'arbres				
Pourcentage de bien classées	50	100	500	750	1000
	79,82	79,88	80,05	80,11	<b>80,14</b>

Le tableau 4.24 récapitule le pourcentage d'observations bien classées pour le jeu de données dédié à l'apprentissage et pour celui dédié au test. La colonne « Total » représente le pourcentage d'observations bien classées sur les deux jeux de données.

Tableau 4. 24: Pourcentage d'observations bien classées suivant la méthode utilisée

	<b>Phase d'apprentissage</b>	<b>Phase de test</b>	<b>Total</b>
<b>Régression logistique</b>	<b>64,34</b>	<b>65,10</b>	<b>64,57</b>
<b>Les réseaux de neurones</b>	<b>69,31</b>	<b>71,00</b>	<b>70,16</b>
<b>Les forêts aléatoires</b>	<b>80,06</b>	<b>80,32</b>	<b>80,14</b>

On remarque que la méthode des forêts aléatoires connue pour ses résultats exceptionnels devance en termes de performance les autres dans notre étude. Elle devance en performance les réseaux de neurones et la régression logistique respectivement de 9,98% et 15,57%. De même, la méthode de réseau de neurones utilisée donne de meilleurs résultats par rapport à la régression logistique en la devançant de 5,59% en termes de performance.

## **VII- Conclusion**

Ce chapitre est le début de la concrétisation du projet établi pour la gestion des marchés publics. Deux axes majeurs de ce projet y ont été traités à savoir l'évaluation intelligente des offres et la construction d'une plateforme décisionnelle basée sur l'utilisation des techniques statistiques et de data science.

Dans un premier temps, une méthode d'évaluation des offres a été proposée afin d'évaluer à la fois les offres de façon intrinsèque et de façon relative. La logique floue a été introduite pour l'évaluation des offres, plus précisément au niveau du critère « référence ». Le même travail peut être effectué au niveau de d'autres critères tels que la compétence de l'équipe qui se chargera d'effectuer la prestation. L'application de la logique floue au niveau de certains critères pour remédier aux limites de la logique classique peut considérablement améliorer le processus d'évaluation des offres.

Les méthodes multicritères d'aide à la décision AHP et FAHP ont également été abordées et appliquées pour l'évaluation des offres dans le cadre de la passation des marchés de réalisation de schéma directeur informatique. Compte tenu de la performance de la méthode FAHP, elle sera intégrée dans le système d'informatique proposé dans le chapitre VI.

Dans le cadre de la construction de la plateforme décisionnelle, l'apprentissage statistique via l'utilisation de méthodes d'apprentissage supervisé pouvant être implémentées dans un contexte Big Data a permis d'élaborer un classificateur qui aidera les entreprises à s'orienter vers les marchés où le risque de ne pas l'emporter est faible. C'est un outil salubre pour les entreprises surtout les TPE et les PME qui disposent de ressources très limitées.



## **PARTIE III - MODELISATION INFORMATIQUE ET PROTOTYPAGE**

---

# CHAPITRE V : MODELISATION DU SYSTEME D'INFORMATION

## ET DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DES COMPOSANTES

---

### I- Introduction

L'objectif de ce travail de thèse consiste à la mise en place d'un système d'information dédié à la gouvernance des marchés publics et cela passe nécessairement par une phase de modélisation informatique. La modélisation de cette solution s'appuie essentiellement sur des méthodes technologiques de l'intelligence artificielle et sur les technologies du Big Data et de data science. Le chapitre portant sur la présentation et la compréhension de ces méthodes et concepts technologiques a été mis en annexe (voir annexe 1).

En termes de méthodes technologiques de l'intelligence artificielle, les ontologies du web sémantique ont été utilisées pour la structuration et le partage des informations au sein du système via un langage commun. Dans ce sens, une approche mono-ontologique qui repose sur l'utilisation d'une ontologie riche et exhaustive des marchés publics a été adoptée. Cela a consisté à modifier une ontologie existante portant sur la dématérialisation des marchés publics afin de mieux l'adapter au contexte applicatif. La réalisation de l'ontologie existante utilisée a été financée par le ministère espagnol de l'industrie, du commerce et du tourisme. En outre, le paradigme multi-agents a été instauré au cœur de la solution informatique proposée afin de tirer profit des nombreux avantages qu'offre un système multi-agents de par sa modularité.

Les nouvelles infrastructures technologiques (capteurs, réseaux sociaux, satellites, entrepôts et bases de données, etc.) utilisées de nos jours ont favorisé l'avènement d'une nouvelle révolution qui est celle de la multiplicité des sources de données et du caractère volumineux des données générées (Yang et al., 2015). Ce déluge de données appelé Big Data auquel on assiste pose le défi de leur stockage mais surtout de leur analyse et de leur traitement. La gouvernance des marchés publics n'est pas en marge de cette révolution. Ainsi, le système qu'on propose intègre, d'une part, les technologies<sup>31</sup> de Big Data afin de stocker les données volumineuses et non volumineuses, structurées et non structurées et d'autre part les outils<sup>32</sup> de data science pour l'analyse et le traitement statistique des données stockées.

### II- Les architectures du système proposé

Cette sous-section présente l'architecture générale, l'architecture détaillée et l'architecture en couches du système proposé.

---

<sup>31</sup> Hadoop et son écosystème (Pig, Hive, Hbase, Sqoop, Flume,...) sont utilisés comme technologies Big Data.

<sup>32</sup> Les outils de data science proposés sont R, Mahout et les modules data science de Python.

## II-1. L'architecture générale du système

La figure 5.1 présente l'architecture générale du système proposé en mettant en exergue les trois axes technologiques à savoir les ontologies du web sémantique via une ontologie sur la dématérialisation des marchés publics, le paradigme multi-agents et les technologies Big Data et data science. Elle illustre aussi les différents utilisateurs ainsi que les principales actions effectuées par ces derniers.

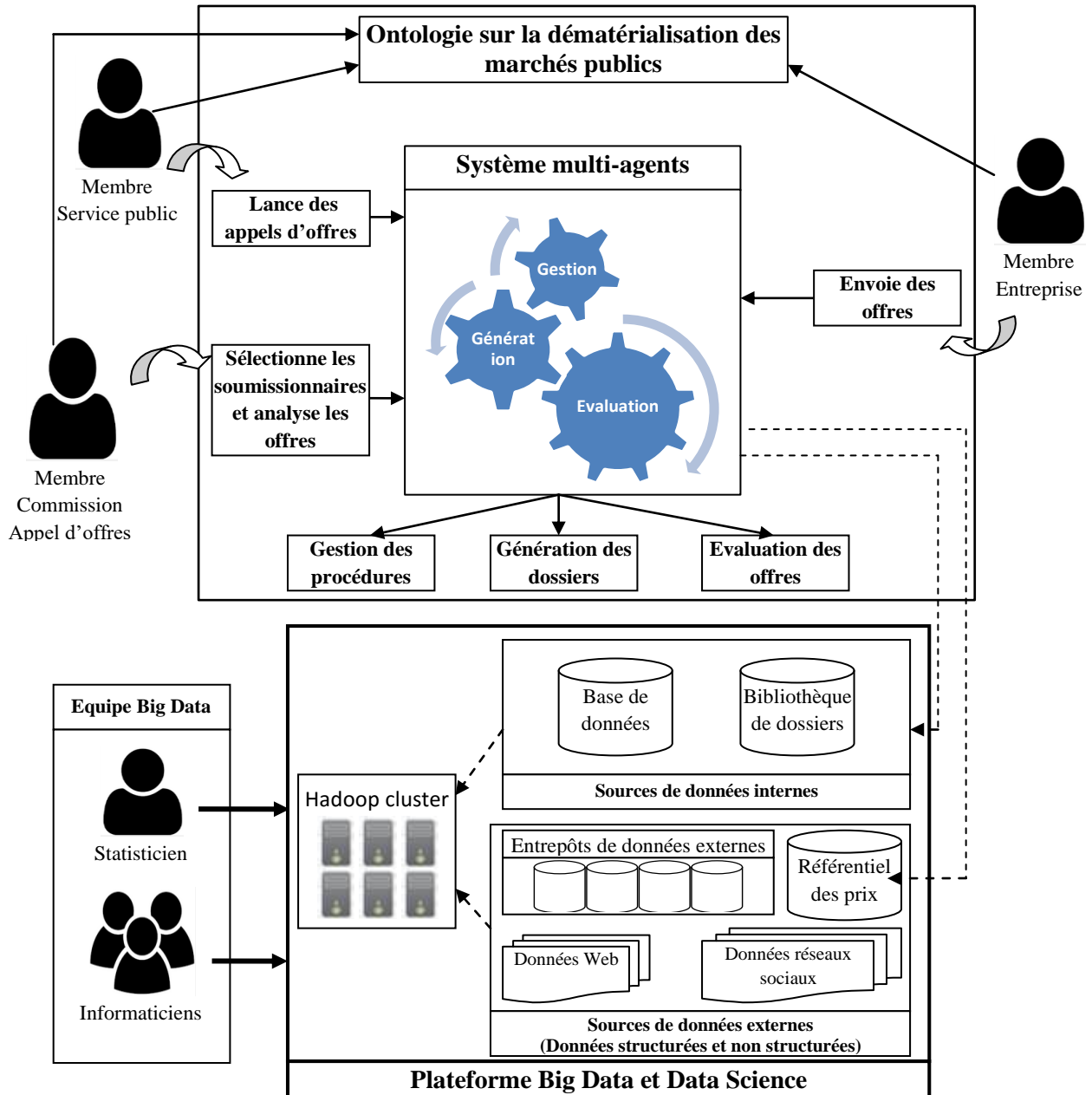


Figure 5. 1: Architecture générale du système

## II-2. L'architecture détaillée du système

La figure 5.2 illustre avec plus de détails l'architecture générale de la figure 5.1 en mettant en évidence les principaux agents qui coopèrent pour mettre en œuvre les différentes fonctionnalités du système.

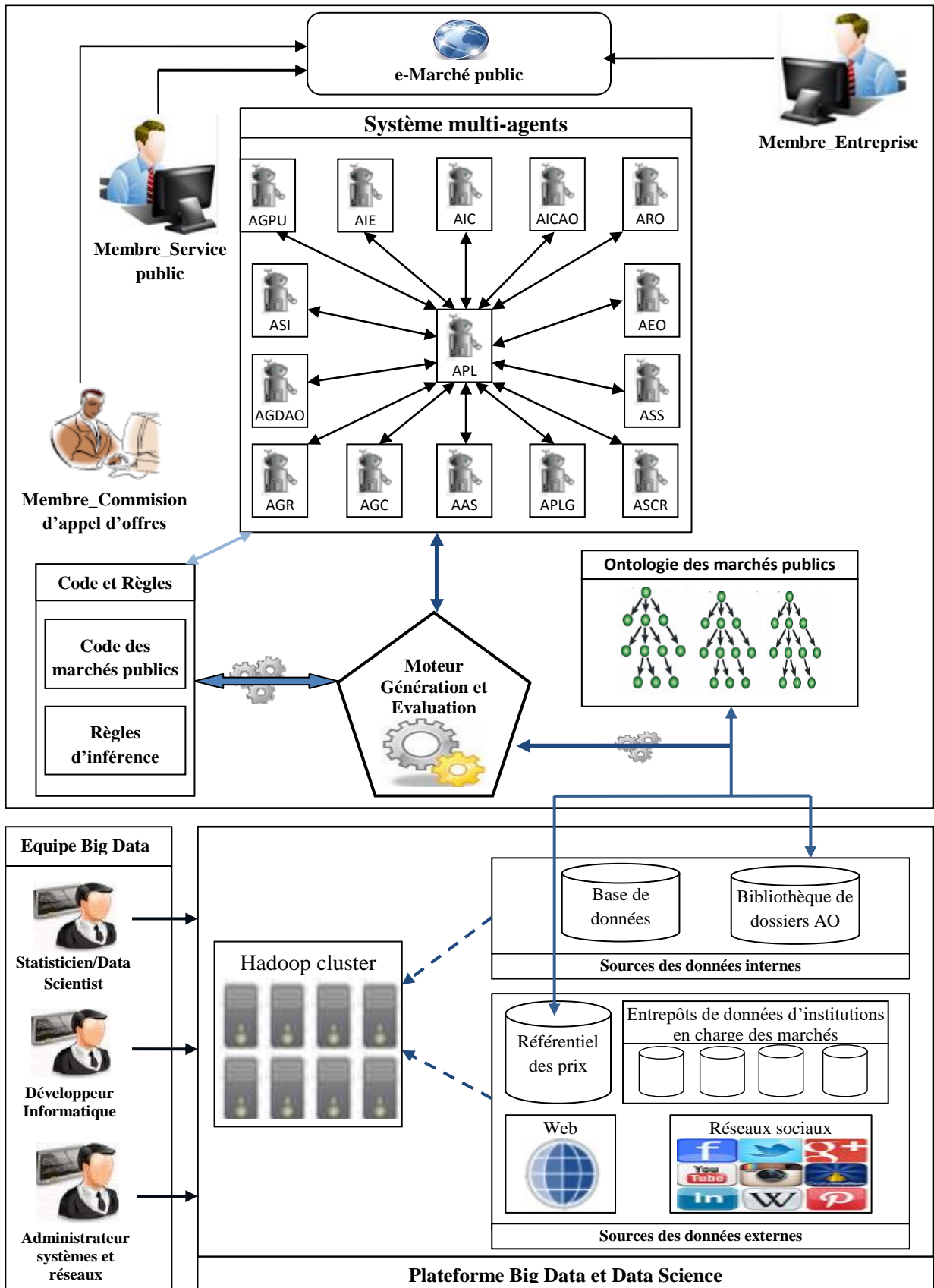


Figure 5. 2: Architecture détaillée du système

### II-3. Les différentes couches de l'architecture du système

Pour la réalisation de notre système, nous avons opté pour une architecture multi-agents avec plusieurs couches. Le système est composé des quatre couches suivantes:

- la couche interface homme-machine (IHM) ;
- la couche adaptation et évaluation ;
- la couche sémantique ;
- la couche physique et Big Data.

L'architecture de notre système peut être divisée en deux grandes parties. La première partie qui renferme les trois premières couches est gérée par des agents qui interagissent entre eux. Chaque couche de cette partie est gérée par un groupe d'agents bien spécifiques.

Quant à la seconde partie constituée de la couche physique et Big Data, elle ne renferme aucun agent. Les tâches soumises par les membres de l'équipe Big Data seront exécutées au niveau du cluster Hadoop via l'utilisation de Hadoop Core et des composantes de l'écosystème de Hadoop, des modules et packages de R et Python.

#### II-3.1. La couche interface Homme-Machine (IHM)

La couche IHM permet d'assurer les interactions entre le système et les différents utilisateurs en offrant les différentes interfaces nécessaires à la réalisation des actions de ces derniers. Les requêtes soumises par les utilisateurs sont capturées par les agents qui gèrent cette couche.

#### II-3.2. La couche d'adaptation et d'évaluation

La couche d'adaptation et d'évaluation représente la cheville ouvrière de notre système. Elle gère la génération des documents du dossier d'appel d'offres, la sélection des soumissionnaires dans le cadre d'un appel d'offres restreint avec présélection, l'analyse et l'évaluation des offres, les dépôts des recours, le suivi de la réalisation du marché, la gestion de la période post-garantie et post-livraison.

#### II-3.3. La couche sémantique

Cette couche est pour notre système le cadre de modélisation de façon formelle et sémantique des différentes informations à travers l'utilisation de l'ontologie mise en place, ce qui favorise la réduction de la distance entre les requêtes des différents utilisateurs et les ressources (bibliothèque de dossiers d'appels d'offres, référentiel des prix) stockées dans l'entrepôt de données.

#### II-3.4. La couche physique et Big Data

Cette couche renferme toutes les sources de données (structurées et non structurées) de notre système. On peut les diviser en deux grands groupes : les sources internes qui sont issues de notre système à savoir la bibliothèque de dossiers d'appels d'offres, les référentiels des prix et la base de données qui stocke les données issues de notre système; les sources externes qui sont le web, les réseaux sociaux, les entrepôts de données des institutions qui interviennent dans la passation des marchés publics.

Les données provenant de ces sources représentent un grand volume d'informations hétérogènes qui croissent rapidement, d'où la nécessité de l'intégration des concepts de Big Data dans notre système.

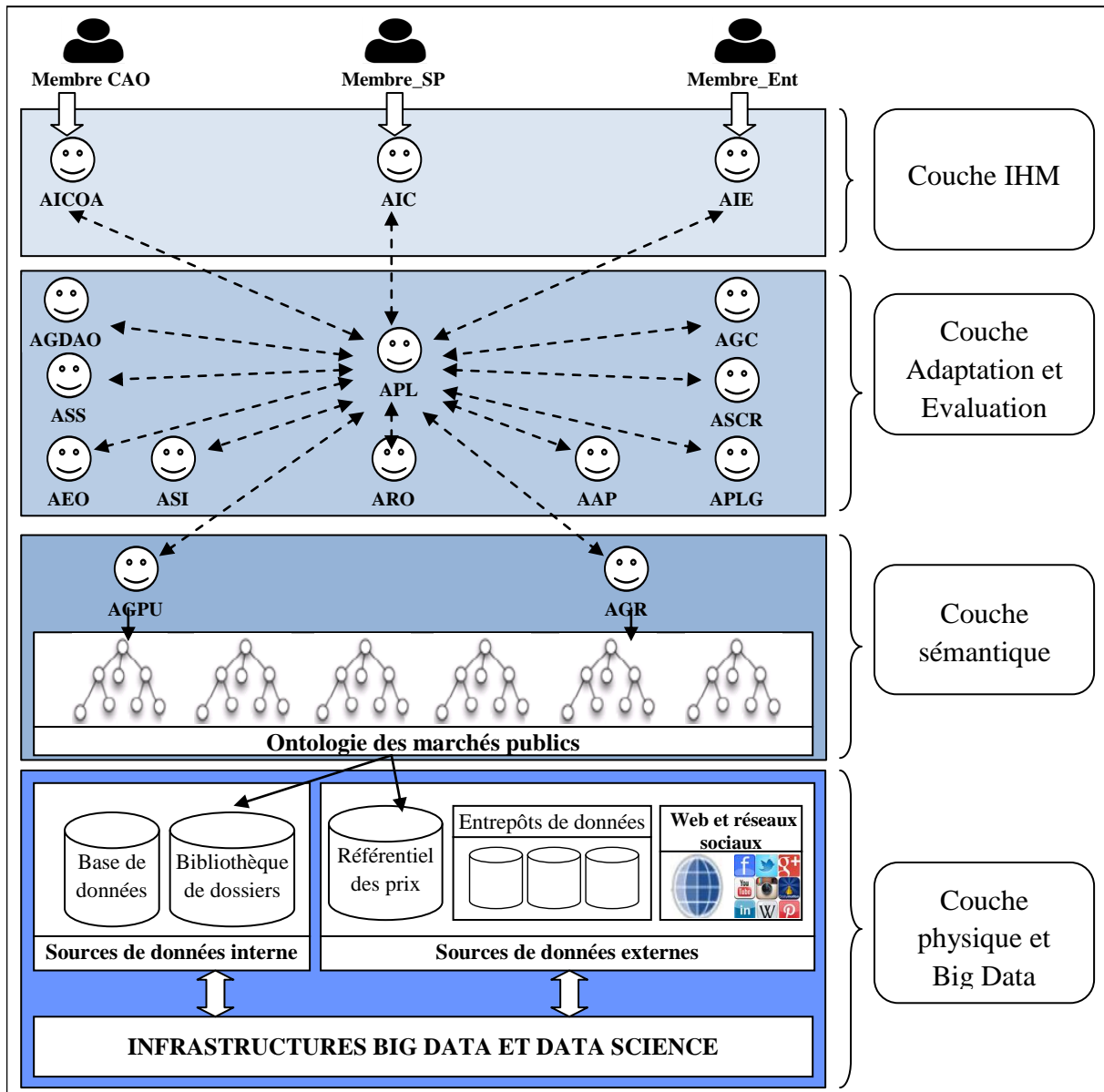


Figure 5. 3: Architecture en couches du système

### III- Les approches technologiques de la solution informatique proposée

Pour la mise en place de notre système, nous avons fait appel à des approches informatiques poussées, à des techniques d'intelligence artificielle, au Big Data et au data science.

En termes d'approches informatiques, l'ingénierie de la connaissance à travers les ontologies du web sémantique a été utilisée en vue d'avoir une description sémantique complète de

l'information partagée et de favoriser une bonne communication entre les différentes composantes de la solution proposée. De plus, pour avoir un système modulaire, gage de fiabilité, de rapidité et d'éventuelle extensibilité, les systèmes multi-agents ont été incorporés. Enfin, pour stocker et tirer profit des données structurées et non structurées générées par notre système et d'autres sources de données telles que les systèmes d'autres structures en charge des marchés publics, les réseaux sociaux, etc., le Big Data et le data science ont été intégrés dans la solution proposée.

Concernant les techniques d'intelligence artificielle et de l'apprentissage statistique, la méthode multicritère d'aide à la décision FAHP a été intégrée pour le choix de la meilleure offre et les forêts aléatoires seront utilisées pour orienter les entreprises vers les marchés appropriés.

### **III-1. Approche basée sur les ontologies du web sémantique**

Pour bénéficier de l'un des grands avantages de l'ingénierie ontologique à savoir la réutilisation des ontologies existantes, nous avons obtenu, à travers nos recherches, plusieurs ontologies de référence pouvant nous permettre de construire une ontologie pour les marchés publics adaptée à la solution informatique que nous souhaitons mettre en place. L'utilisation des ontologies permettra l'annotation et la bonne structuration des informations au sein de notre système tout en mettant à la disposition des différents agents du système un vocabulaire identique et conjoint.

En offrant une sémantique complète des différentes activités et procédures tout au long de la passation d'un marché public, les ontologies permettront à notre système de fournir d'énormes commodités et aisances lors de la constitution du dossier d'appel d'offres, du dépôt des offres, de l'évaluation des offres, de la signature et de l'exécution du contrat, etc.

#### **III-1.1. Présentation de l'ontologie existante utilisée**

Pour construire notre ontologie, nous nous baserons en partie sur l'ontologie PPROC (Public Procurement Ontology) à laquelle nous apporterons des modifications pour mieux l'adapter à notre solution informatique. Les modifications ont consisté à ajouter de nouvelles classes et propriétés à l'ontologie existante. Cette dernière, très riche, porte sur la dématérialisation des marchés publics et son développement a été financé par le ministère espagnol de l'industrie, du commerce et du tourisme avec la participation d'experts dans le domaine des marchés publics. Elle a été développée dans le cadre du projet CONTSEM<sup>33</sup> en vue d'une gestion optimale des achats publics dématérialisés.

L'ontologie PPROC a été développée en utilisant plusieurs ontologies existantes à savoir :

- **Organization Ontology (ORG)<sup>34</sup> ;**
- **Simple Knowledge Organization System (SKOS)<sup>35</sup>;**
- **Good Relations Ontology (GR)<sup>36</sup> ;**
- **Public Contract Ontology (PCO)<sup>37</sup>;**

---

<sup>33</sup> CONTSEM (Optimisation des achats publics par l'utilisation des techniques du web sémantique).

<sup>34</sup> <http://www.w3.org/ns/org#> (consulté en décembre 2014).

<sup>35</sup> <http://www.w3.org/2004/02/skos/core#> (consulté en décembre 2014).

<sup>36</sup> <http://purl.org/goodrelations/v1#> (consulté en décembre 2014).

<sup>37</sup> <http://purl.org/procurement/public-contracts#> (consulté en décembre 2014).

- **Friend Of A Friend Ontology (FOAF)<sup>38</sup>.**

L'ontologie **ORG** est une ontologie qui décrit la structure organisationnelle d'une institution. Dans notre système, cette ontologie sera utilisée pour une description exhaustive des services publics, des entreprises, de la commission d'appel d'offres ainsi que les structures organisationnelles de ces institutions impliquées dans la passation des marchés publics.

L'ontologie **SKOS** est une ontologie qui fournit un modèle pour exprimer la structure de base et le contenu des schémas conceptuels (vocabulaires ou documentaires structurés) pour une publication facile de ces derniers en vue de leur utilisation dans le cadre du web sémantique. SKOS a été financé par la communauté européenne (actuelle union européenne) dans le cadre du projet SWAD-Europe (Sémantique Web Advanced Développent for Europe). Cette ontologie sera exploitée par notre système pour la catégorisation des différents objets.

L'ontologie **GR** est dédiée à la base au commerce électronique mais elle est également utilisée à d'autres fins telles que l'optimisation des moteurs de recherche, la gestion des informations sur les produits au sein d'une ou plusieurs entreprises, etc. Elle a été adoptée par de grandes structures comme Google, Yahoo, Renault, etc. Elle est fondamentale dans la mise en place d'une ontologie sur la dématérialisation des marchés publics (Distinto et al.). Elle sera exploitée dans notre architecture pour la spécification des prix, la description des services publics, des entreprises et des offres.

L'ontologie **PCO** porte sur les marchés publics et elle a été développée dans le cadre du projet tchèque LOD2 financé en partie par l'union européenne à travers le programme de travail sur les technologies de l'information et de la communication dénommé FP7. Contrairement à l'ontologie PPROC, celle-ci décrit les marchés publics sans rentrer dans les détails.

L'ontologie **FOAF** est une ontologie développée pour décrire de façon exhaustive les personnes physiques et morales ainsi que les relations existant entre elles. Cette ontologie est très utilisée dans le web sémantique. Elle sera exploitée pour exprimer les informations sur les membres de la commission d'appel d'offres et les documents utilisés sur le système.

L'ontologie PPROC utilise également les schémas<sup>39</sup> ci-dessous pour la structuration des documents et des données sur le web :

- **Dublin Core<sup>40</sup> (DCTERMS);**
- **Schema.org<sup>41</sup> (S);**
- **Le schema XML<sup>42</sup> (XSD).**

**Le schéma Dublin Core** a été présenté pour la première fois en 1995 et il est présentement maintenu par l'organisation DCMI (Dublin Core Metadata Initiative). Il consiste en un ensemble de propriétés prédéfinies dédiées à la description des documents. En clair, ce schéma

---

<sup>38</sup> <http://xmlns.com/foaf/0.1/> (consulté en décembre 2014).

<sup>39</sup> Un schéma est une technique de structuration des documents et des données sur le web.

<sup>40</sup> <http://purl.org/dc/terms/> (consulté en décembre 2014).

<sup>41</sup> <http://schema.org> (consulté en décembre 2014).

<sup>42</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> (consulté en décembre 2014).



permet de générer des métadonnées relatives aux documents sur le web. Dans notre système, il sera exploité pour générer les métadonnées sur tous les documents relatifs à la passation des marchés publics.

**Le schéma schema.org** a été initié en juin 2011 par Bing, Google et Yahoo en vue de la création d'un cadre commun de schémas pour structurer le balisage des données sur les pages web. Les grands moteurs de recherche l'utilisent pour décrire et extraire des informations structurées sur le web. Il sera exploité pour décrire le lieu de réalisation du marché, les différentes rencontres entre les membres de la commission d'appel d'offres et les informations sur les contacts des organisations (services publics, entreprises).

**Le schéma XML** est un langage de description de format de document XML. Ce schéma permet, d'une part, de définir la structure et le type du contenu d'un document XML et, d'autre part, de vérifier la validité de ce document. Son utilisation permettra de définir le type de certaines données utilisées au sein de notre système telles que le nombre de lots, le poids d'un critère d'attribution, etc.

### **III-1.2. Présentation de l'ontologie mise en place pour notre solution informatique**

Le schéma de la figure 5.4 représente une vue générale de notre ontologie avec quelques classes et propriétés. Ce schéma fait également ressortir les quatre grands groupes de classes présents dans cette ontologie :

- Le groupe des classes relatives à un marché ;
- Le groupe des classes relatives aux procédures de passation d'un marché ;
- Le groupe des classes relatives aux différents acteurs lors de la passation d'un marché ;
- Le groupe des classes relatives à l'exécution d'un marché.

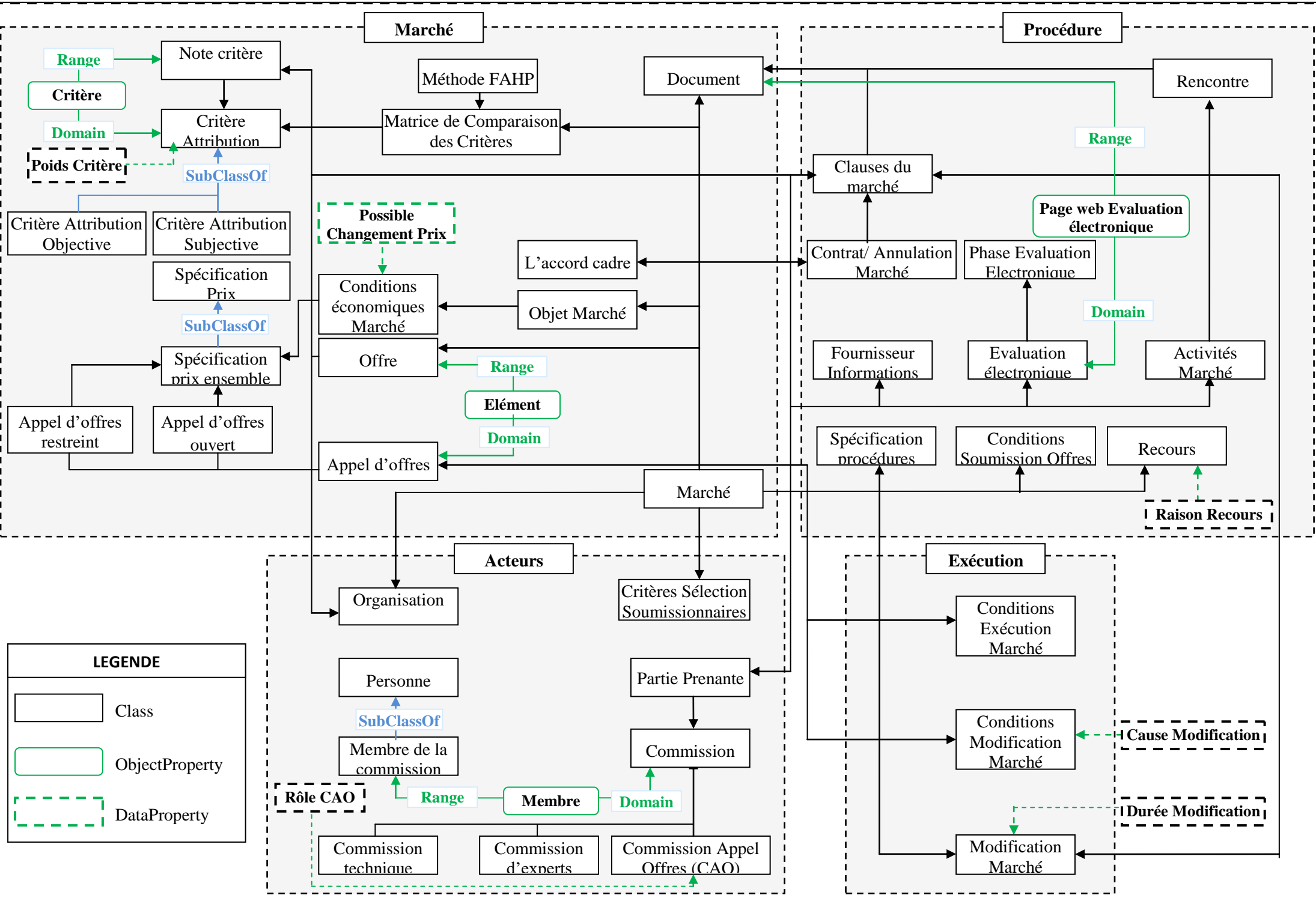


Figure 5. 4: Vue générale de l'ontologie de la dématérialisation des marchés

Tableau 5. 1 : Classes et propriétés de l'ontologie mise en place

Les classes et propriétés de l'ontologie mise en place		
Les classes	Les propriétés	Les propriétés des données
<p>Class hierarchy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Thing <ul style="list-style-type: none"> <li>foaf:Document</li> <li>foaf:Person</li> <li>gr:Offering</li> <li>gr:Price specification'</li> <li>org:Organization</li> <li>pc:Award criteria combination'</li> <li>pc:Award criterion'</li> <li>pc:Contract</li> <li>pc:Tender</li> <li>'pproc:Contract activites'</li> <li>'pproc:Contract additional obligations'</li> <li>'pproc:Contract bodies'</li> <li>'pproc:Contract economic conditions'</li> <li>'pproc:Contract execution conditions'</li> <li>'pproc:Contract modification'</li> <li>'pproc:Contract modification conditions'</li> <li>'pproc:Contract object'</li> <li>'pproc:Contract or procedure extinction'</li> <li>'pproc:Contract procedure'</li> <li>'pproc:Contract temporal conditions'</li> <li>'pproc:Contracting body agreement'</li> <li>'pproc:Criterion score'</li> <li>'pproc:Electronic auction'</li> <li>'pproc:Electronic Evaluation'</li> <li>'pproc:Framework agreement or dynamic'</li> <li>'pproc:Information provider'</li> <li>'pproc:Notice</li> <li>'pproc:Remedy</li> </ul> </li> </ul>	<p>Object property hierarchy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>topObjectProperty <ul style="list-style-type: none"> <li>foaf:Member</li> <li>'gr:Price specification'</li> <li>'pc:Award criteria combination'</li> <li>'pc:Award criterion'</li> <li>'pc:Contracting authority'</li> <li>pc:Lot</li> <li>'pc:On behalf of'</li> <li>'pc:Submitted tender'</li> <li>pc:Supplier</li> <li>'pproc:Additional object of contract'</li> <li>'pproc:Award agreement'</li> <li>'pproc:Briefing</li> <li>'pproc:Committee</li> <li>'pproc:Complementary contract'</li> <li>'pproc:Contract activities'</li> <li>'pproc:Contract additional obligations'</li> <li>'pproc:Contract bodies'</li> <li>'pproc:Contract economic conditions'</li> <li>'pproc:Contract execution conditions'</li> <li>'pproc:Contract modification'</li> <li>'pproc:Contract modification conditions'</li> <li>'pproc:Contract or procedure extinction'</li> <li>'pproc:Contract procedure specifications'</li> <li>'pproc:Contract temporal conditions'</li> <li>'pproc:Contracting body'</li> <li>'pproc:Contracting body agreement'</li> <li>'pproc:Criterion</li> <li>'pproc:Criterion score'</li> <li>'pproc:Delegating authority'</li> </ul> </li> </ul>	<p>Data property hierarchy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>topDataProperty <ul style="list-style-type: none"> <li>dcterms:Date</li> <li>dcterms:Description</li> <li>dcterms:Title</li> <li>'pc:Criterion name'</li> <li>'pc:Criterion weight'</li> <li>'pproc:Advertisement amount'</li> <li>'pproc:Assumption protecting the chosen'</li> <li>'pproc:Compulsory means for execution'</li> <li>'pproc:Construction subsidies'</li> <li>'pproc:Criterion evaluation mode'</li> <li>'pproc:Criterion maximum and minimum'</li> <li>'pproc:Duration</li> <li>'pproc:Duration change'</li> <li>'pproc:Early tramitation'</li> <li>'pproc:End mode'</li> <li>'pproc:Execution requeriments'</li> <li>'pproc:Expected cause modification'</li> <li>'pproc:Extinction cause'</li> <li>'pproc:Final financial guarantee'</li> <li>'pproc:Is negotiable'</li> <li>'pproc:Maximum budget change'</li> <li>'pproc:Maximum final price change'</li> <li>'pproc:Maximum number of invitations'</li> <li>'pproc:Maximum number of operators'</li> <li>'pproc:Maximum subcontracting'</li> <li>'pproc:Minimum number of invitations'</li> <li>'pproc:Minimum number of operators'</li> <li>'pproc:Minimum subcontracting'</li> <li>'pproc:Modification reason'</li> <li>'pproc:Modification scope'</li> </ul> </li> </ul>

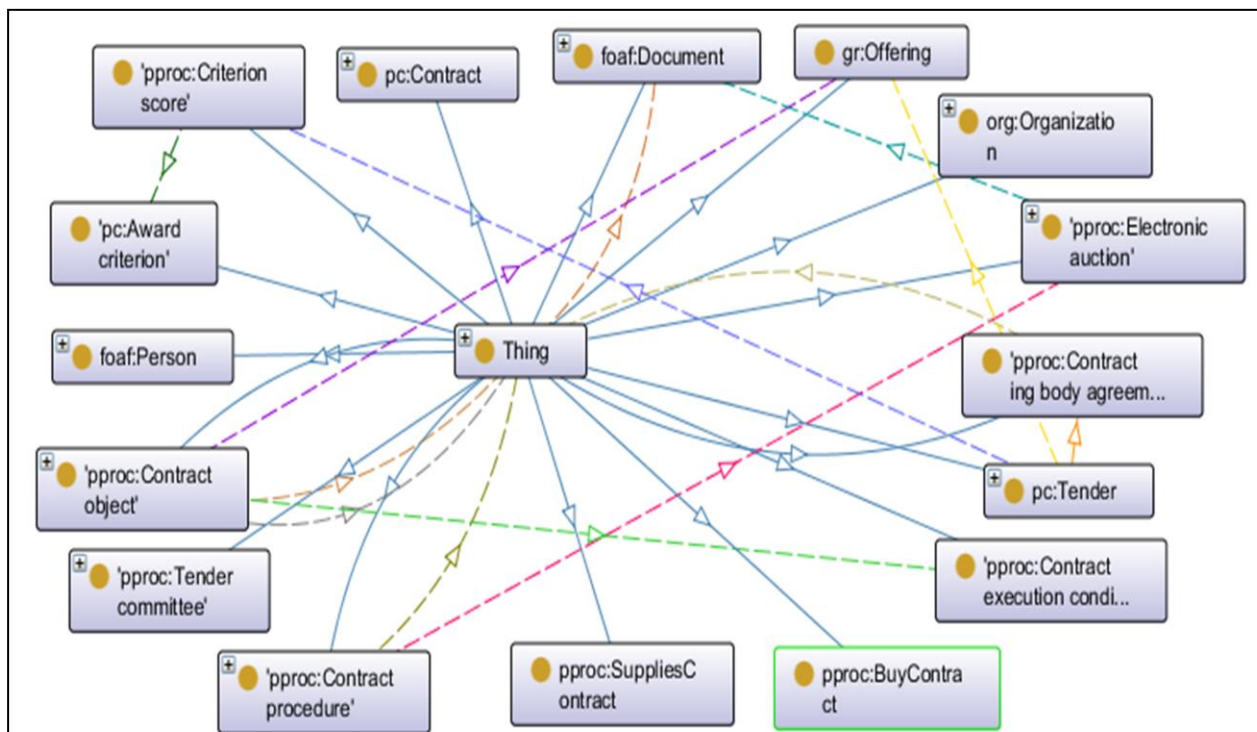


Figure 5. 5: Représentation de certaines classes et des relations entre elles par l’outil OntoGraf

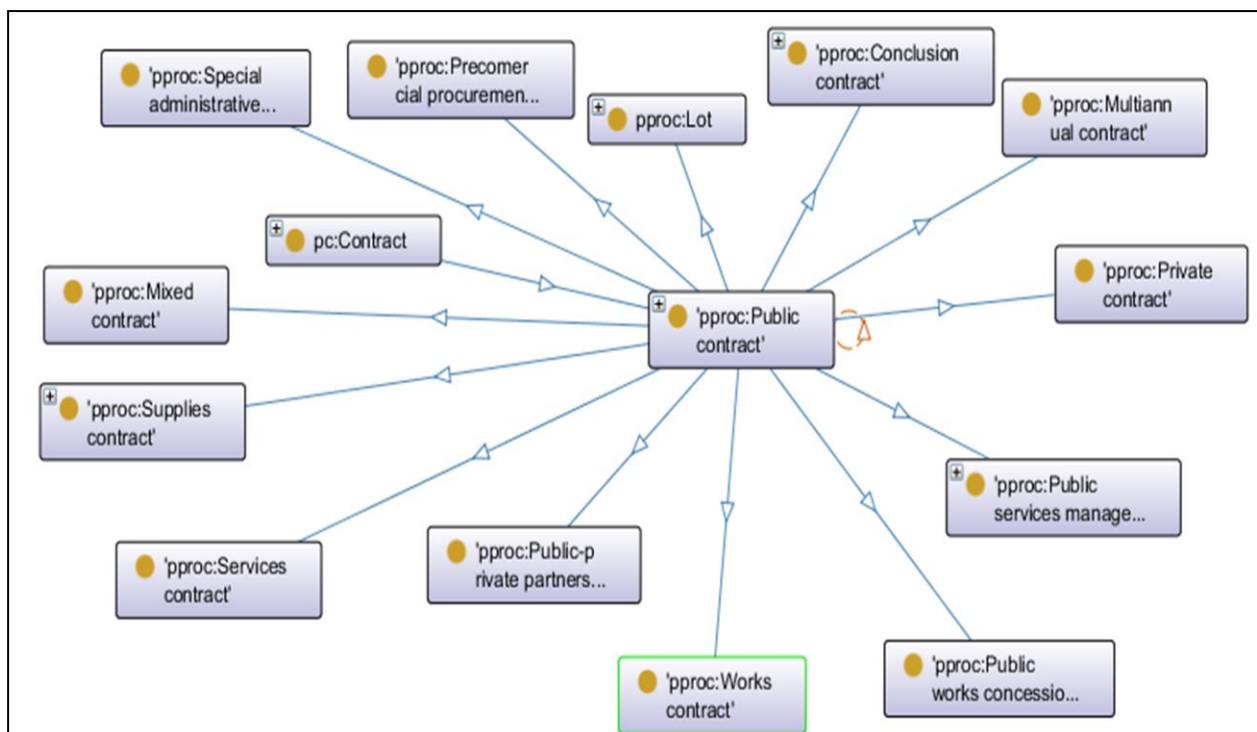


Figure 5. 6: Représentation de la classe Marché Public et certaines de ses sous-classes par l’outil OntoGraf

```

.....
<!-- //////////////////////////////////////////////////Object Properties////////////////////////////////////-->
  <!-- AwardAgreement -->
  <ObjectProperty rdf:about="&pproc;awardAgreement">
    <rdfs:label xml:lang="en">Award agreement</rdfs:label>
    <rdfs:comment xml:lang="en">Points to the body .....</rdfs:comment>
    <rdfs:range rdf:resource="&pproc;ContractingBodyAgreement"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="&pc;Tender"/>
  </ObjectProperty>
.....
<!-- ////////////////////////////////////////////////// Data properties //////////////////////////////////-->
  <!-- CriterionEvaluationMode -->
  <DatatypeProperty rdf:about="&pproc;criterionEvaluationMode">
    <rdfs:label xml:lang="en">Criterion evaluation mode</rdfs:label>
    <rdfs:comment xml:lang="en">Property textually describing .....</rdfs:comment>
    <rdfs:domain rdf:resource="&pc;AwardCriterion"/>
    <rdfs:range rdf:resource="&xsd:string"/>
  </DatatypeProperty>
.....
<!-- //////////////////////////////////////////////////Classes////////////////////////////////////-->
  <!-- AcceptedTender -->
  <Class rdf:about="&pproc;AcceptedTender">
    <rdfs:label xml:lang="en">Accepted tender</rdfs:label>
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&pc;Tender"/>
    <disjointWith rdf:resource="&pproc;ExcludedTender"/>
    <rdfs:comment xml:lang="en">Class describing the tenders .....</rdfs:comment>
  </Class>

```

Figure 5. 7: Aperçu du fichier rdf de l'ontologie mise en place

### III-2. Approche système multi-agents : une composante maitresse de la solution proposée

Dans la mise en place de notre solution, nous avons opté pour un système modulaire basé sur l'utilisation d'agents logiciels, d'où le recours au système multi-agents. Il existe un lien très étroit entre les systèmes multi-agents et les ontologies du web sémantique qui consiste en l'utilisation des ontologies dans le fonctionnement d'un système multi-agents (Gandon, 2012). Pour communiquer et coopérer entre eux en vue de la résolution d'un problème, les agents utilisent les ontologies comme langage commun et partagé. Les exemples d'utilisation conjointe des ontologies et des systèmes multi-agents sont très fréquents dans la mise en place des web services (Greenwood et al., 2007).

Les avantages du recours à un système multi-agents sont nombreux. Primo, il offre à notre solution une grande fiabilité due à la redondance et une grande rapidité en raison du partage et du parallélisme lors de l'exécution des différentes tâches par les agents. Secundo, la maintenance, la modélisation et la programmation deviennent plus aisées ce qui facilite la réalisation de notre solution et son extension lors de l'incorporation de nouvelles composantes.

Pour tirer profit de tous ces avantages, nous avons opté pour un système modulaire dans lequel des entités logicielles autonomes et intelligentes interagissent. Pour ce faire, nous avons conçu les agents ci-dessous afin d'assurer l'intégralité des tâches tout au long du processus de passation d'un marché par appel d'offres :

- Agent Interface Entreprise (AIE) ;
- Agent Interface Commanditaire (AIC) ;
- Agent Interface Commission d'Appel d'Offres (AICAO) ;
- Agent Planificateur (APL) ;
- Agent Génération du Dossier d'Appel d'Offres (AGDAO) ;
  - Sous Agent Estimation Prix et Caution (SAEPC) ;
- Agent Sélection des Soumissionnaires (ASS) ;
- Agent Réception des Offres (ARO) ;
- Agent Evaluation des Offres (AEO) ;
  - Sous Agent Ouverture des Candidatures et des Plis (SAOCP) ;
  - Sous Agent FAHP (SAF) ;
- Agent Gestion de Contractualisation (AGC) ;
  - Sous Agent Proclamation des Résultats (SAPR) ;
  - Sous Agent Gestion Litige (SAGL) ;
- Agent Suivi et Contrôle de Réalisation (ASCR) ;
- Agent Post-Livraison et Post-Garantie (APLG) ;
- Agent Apprentissage Statistique (AAS) ;
  - Sous Agent Jeux de Données (SAJD) ;
- Agent Sécurité Informatique (ASI) ;
- Agent Gestion des Profils Utilisateurs (AGPU) ;
- Agent Gestion des Ressources (AGR).

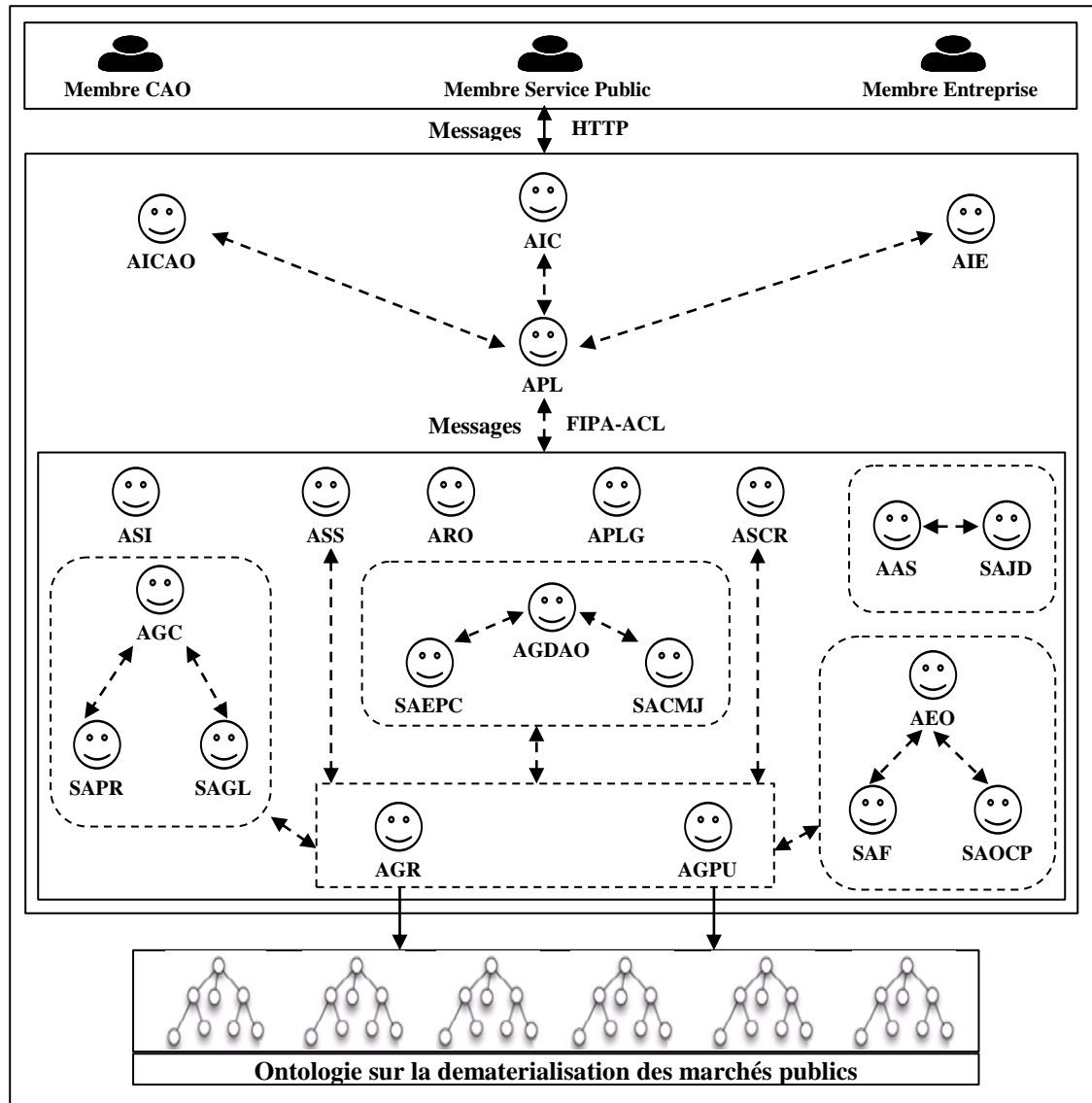


Figure 5. 8: Représentation des agents du système

Les agents et sous agents de notre système sont localisés dans les trois premières couches. Chaque agent dispose en son sein d'un système de communication conçu selon le standard FIPA-ACL afin d'interagir avec les agents appartenant à sa couche ou à une autre couche.

### III-2.1. Les rôles des agents de la couche IHM

La couche IHM qui permet aux différents utilisateurs d'interagir avec le système est gérée par trois agents :

#### ⇒ Agent Interface Commanditaire (AIC)

Cet agent permet au commanditaire de transmettre ses requêtes au système. Les requêtes sont identifiées et capturées par l'agent AIC qui les transmet à l'agent planificateur de la couche

d'adaptation et d'évaluation. Le service public (commanditaire) communique avec l'interface homme machine en effectuant les actions suivantes :

- authentification du commanditaire ;
- insertion d'informations pour l'élaboration d'un dossier d'appel d'offres ;
- publication de l'appel d'offres ;
- désignation des soumissionnaires dans le cadre d'un appel d'offres restreint sans phase de présélection ;
- participation à la rencontre d'ouverture des plis ;
- signature du contrat ;
- insertion d'information sur la phase de réalisation du marché ;
- soumission des rapports et informations sur les audits ;
- attribution d'une note à l'entreprise qui a réalisé le marché.

#### ⇒ **Agent Interface Entreprise (AIE)**

A l'instar des commanditaires, les entreprises transmettent des requêtes au système qui sont identifiées et capturées par l'agent AIE qui les transmet par la suite à l'agent planificateur de la couche d'adaptation et d'évaluation. Lors des interactions avec le système, l'entreprise peut effectuer les actions suivantes :

- authentification de l'entreprise ;
- soumission du dossier de candidature ;
- soumission du dossier de réponse composé de plis ;
- paiement des frais d'obtention du dossier d'appel d'offres ;
- paiement de la caution ;
- participation à la rencontre d'ouverture des plis ;
- dépôt de plainte (recours) ;
- signature du contrat ;
- insertion d'information sur la réalisation du marché.

#### ⇒ **Agent Interface Commission Appel d'Offre (AICAO)**

Les membres de la commission d'appel d'offres transmettent des requêtes au système qui sont identifiées et capturées par l'agent AICAO qui les transmet par la suite à l'agent planificateur. Tous les membres de la commission peuvent accéder au compte de la commission d'appel d'offres mais seul le président peut faire des modifications.

Lors des échanges avec le système, les membres peuvent effectuer les actions suivantes :

- authentification des membres de la commission d'appel d'offres ;
- insertion par le président des informations sur les entreprises sélectionnées (les soumissionnaires) ;



- vérification des informations par les autres membres sans pouvoir effectuer des modifications ;
- participation à l'ouverture des plis ;
- insertion des informations du rapport de l'évaluation des dossiers administratifs des soumissionnaires ;
- insertion des informations en vue de la génération des matrices de comparaison des offres après leur analyse ;
- vérification des informations par les autres membres sans pouvoir effectuer des modifications ;
- consultation et validation des résultats de l'évaluation et du classement des offres fournis par le système.

### **III-2.2. Les rôles des agents de la couche d'adaptation et d'évaluation**

Cette couche est au cœur de notre système. Elle gère les activités principales du processus de passation d'un marché par appel d'offres à savoir la génération du dossier d'appel d'offres, la sélection des soumissionnaires, l'analyse et l'évaluation des offres, les dépôts des recours, le suivi de la réalisation du marché et la gestion de la période post-garantie et post-livraison.

La fonction la plus importante de cette couche porte sur la phase la plus cruciale dans le processus d'appel d'offres à savoir l'analyse et l'évaluation des offres. En effet, cette couche implémente le module FAHP qui permet d'évaluer les offres et d'en désigner la meilleure en se basant sur la méthode multicritères d'aide à la décision FAHP. Elle est gérée par la majorité des agents de notre système.

#### **⇒ Agent Planificateur (APL)**

Cet agent s'assure du bon fonctionnement du système en planifiant les différentes tâches et en les affectant aux différents agents lors de la génération des documents du dossier d'appel d'offres, de la sélection des soumissionnaires, de l'analyse et de l'évaluation des offres, du dépôt des recours, de la signature du contrat, du suivi de la réalisation du marché et de la gestion post-garantie et post-livraison.

#### **⇒ Agent Génération du Dossier d'Appel d'Offres (AGDAO)**

La génération des documents constituant le dossier d'appel d'offres est l'une des fonctions principales de notre système d'où l'importance de cet agent. Ce dernier utilise la bibliothèque de dossiers d'appel d'offres qui contient des dossiers d'appel d'offres relatifs aux trois grandes catégories de marchés. Il suggère un dossier d'appel d'offres au commanditaire vu les spécificités du marché que ce dernier souhaite attribuer. Le commanditaire peut procéder à des modifications sur le dossier suggéré. Après les modifications, le dossier final est enregistré dans la bibliothèque. Pour permettre ces modifications, l'agent AGDAO collabore avec deux sous agents :

- Sous Agent Construction Matrices de Jugement (SACMJ) ;
- Sous Agent Estimation Prix et Caution (SAEPC).

Le sous agent SAMJ est chargé d'assister le commanditaire pour la construction des matrices de jugement des critères et des sous-critères conformément au cahier des prescriptions spéciales. Ces matrices seront utilisées pour la mise en place de la méthode d'aide à la décision FAHP.

Le sous agent SAEPC joue un rôle très important, il lit le référentiel des prix pour estimer le montant du marché ; ensuite, il calcule la caution que doivent payer les entreprises soumissionnaires.

⇒ **Agent Réception des Offres (ARO)**

L'agent ARO est chargé de la réception des offres (contenant les différents plis) soumises par les entreprises. Il est en étroite collaboration avec l'agent AIC (Agent Interface Entreprise) dans la réalisation de cette tâche. Il transmet les offres reçues à l'agent AEO (Agent Evaluation des offres).

⇒ **Agent Sélection des Soumissionnaire (ASS)**

Cet agent intervient dans le cadre d'un appel d'offres restreint. S'il s'agit d'un appel d'offres restreint sans procédures de présélection, il enregistre les soumissionnaires désignés par le commanditaire. Dans le cadre d'un appel d'offres restreint avec procédure de sélection des soumissionnaires, cet agent capture et enregistre les requêtes portant sur le rapport de la commission d'appel d'offres sur les soumissionnaires retenues et dresse par la suite une liste de ces derniers.

⇒ **Agent Evaluation des Offres (AEO)**

Le rôle joué par cet agent est déterminant dans le système que nous proposons. Pour cause, il intervient au niveau de la phase la plus cruciale dans le processus d'appel d'offres. L'agent AEO utilise deux principaux sous agents:

- Sous Agent Ouverture des Candidatures et des Plis (SAOCP) ;
- Sous Agent FAHP (SAF).

Le sous agent SAOCP est sollicité, d'une part, lors de l'ouverture des candidatures pour les appels d'offres restreints et, d'autre part, lors de l'ouverture des plis des soumissionnaires.

Quant au sous agent FAHP, il est sollicité pour la mise en œuvre du module FAHP pour le choix de la meilleure offre. Il utilise les critères et leurs pondérations contenus dans le cahier des prescriptions spéciales pour générer la matrice de comparaison des critères. Il utilise, également, les requêtes des membres de la commission d'appel d'offres pour générer les matrices de comparaison des offres. Il met en œuvre l'algorithme de la méthode FAHP pour générer un classement des offres.

⇒ **Agent Gestion de Contractualisation (AGC)**

Après validation du classement des offres par la commission d'appel d'offres, l'agent AGC est sollicité pour la signature du contrat portant attribution du marché. Il utilise deux sous agents :

- Sous Agent Proclamation des Résultats (SAPR) ;
- Sous Agent Gestion Litige (SAGL).

Le premier sous agent SAPR proclame les résultats sur le système. Quant au sous agent SAGL, il enregistre les recours et plaintes des entreprises après proclamation des résultats. Lorsque qu'un ou des soumissionnaires contestent les résultats, le traitement du litige se fait en dehors du système auprès des juridictions compétentes.

Après traitement du litige, le commanditaire et le prestataire signe le contrat électroniquement sur le système.

#### ⇒ **Agent Suivi et Contrôle de Réalisation (ASCR)**

Cet agent intervient lors du suivi et du contrôle de l'exécution du marché en identifiant et en capturant toutes les requêtes envoyées par les commanditaires et les entreprises lors des activités relatives à la réalisation des marchés.

#### ⇒ **Agent Post-Livraison et Post-Garantie (APLG)**

Il intervient après la réalisation du marché et la livraison des fournitures, du service et des travaux. Les requêtes soumises par les entreprises et les commanditaires sont capturées et gérées par cet agent durant les phases post-livraison et post-garantie.

#### ⇒ **Agent Apprentissage Statistique (AAS)**

Vu l'importance du jeu de données et de sa mise à jour, l'agent AAS possède le sous agent SAJD (Sous Agent Jeux de Données) qui est chargé de la gestion du jeu de données conçu dans le cadre de l'apprentissage statistique (machine) en y ajoutant les nouvelles observations.

Les programmes développés par le statisticien et le développeur informatique sont intégrés à l'agent AAS. La modularité que nous offrent les systèmes multi-agents nous permet de modifier cet agent chaque fois que cela est nécessaire en lui intégrant des programmes mis en place par l'équipe Big Data, et ce sans mettre en cause le fonctionnement du système global. Ainsi, l'agent AAS peut mettre en œuvre la méthode d'apprentissage statistique sur la dernière version du jeu de données pour construire le modèle.

Chaque fois qu'une entreprise s'intéresse à un marché, il interagit avec l'agent AIE (Agent Interface Entreprise) pour donner les chances de remporter le marché en termes de probabilité par les différentes catégories d'entreprise (TPE, PME, ETI, GE).

#### ⇒ **Agent Sécurité Informatique (ASI)**

La sécurité informatique est un enjeu de grande envergure dans le fonctionnement d'un tel système. L'Agent Sécurité Informatique (ASI) a pour mission de garantir tous les aspects de la sécurité que sont :

- **l'authenticité des utilisateurs** : s'assurer de l'identité des utilisateurs lors des accès aux espaces de travail et lors des transactions ;
- **l'intégrité des données** : vérifier que les données n'ont pas subi des altérations de façon fortuite ou malveillante durant les transactions et le stockage ;

- **la confidentialité des informations** : garantir le fait que seules les personnes autorisées ont accès aux données et informations qui leur sont destinées ;
- **la disponibilité des services et des ressources** : garantir l'accessibilité des services et des ressources ;
- **la non-répudiation des transactions** : garantir le fait que les opérations effectuées ne puissent être niées ou remises en cause ;
- **la traçabilité** : enregistrer tous les mouvements et actions effectués de sorte à les rendre exploitables.

### III-2.3. Les rôles des agents de la couche sémantique

La modélisation formelle et sémantique des différentes informations à travers l'utilisation de l'ontologie mise en place se fait au niveau de cette couche. Elle assure la réduction de la distance entre les requêtes des différents utilisateurs et les ressources stockées dans l'entrepôt de données. La gestion de cette couche se fait par les deux agents suivants :

#### ⇒ **Agent Gestion des Profils Utilisateurs (AGPU)**

Le rôle de l'agent AGPU porte sur l'initialisation, la mémorisation et le traitement des profils des services publics, des entreprises et des membres de la commission d'appel d'offres. Il ajoute une nouvelle entreprise, un nouveau service public ainsi que les membres de la commission d'appel d'offres. Cet agent interagit avec les trois agents de la couche interface (IHM) via l'agent APL.

#### ⇒ **Agent Gestion des Ressources (AGR)**

Cet agent gère la bibliothèque des dossiers d'appel d'offres et le référentiel des prix. Il interagit avec l'agent AGDAO lors de la génération du dossier d'appel d'offres en cherchant dans la bibliothèque pour trouver le dossier dont les caractéristiques sont proches de celles du marché que le commanditaire souhaite attribuer. Cet agent interroge également le référentiel des prix lors de la génération du dossier d'appel d'offres.

### III-3. Approche Big Data : l'enjeu du stockage et du traitement des données volumineuses

La composante Big Data joue un rôle très important dans le système que nous proposons. Des données volumineuses et hétérogènes qui croissent très rapidement sont générées dans le contexte de la passation des marchés publics à travers plusieurs sources de données telles que les référentiels des prix, le web et les réseaux sociaux, les systèmes d'information des institutions en charge des marchés publics qui contiennent des données sur des millions de marchés conclus, etc. Le stockage et surtout le traitement de ces données constituent des enjeux de taille pour les différents acteurs. La figure 5.9 illustre une vue détaillée de la plateforme Big Data de notre système :

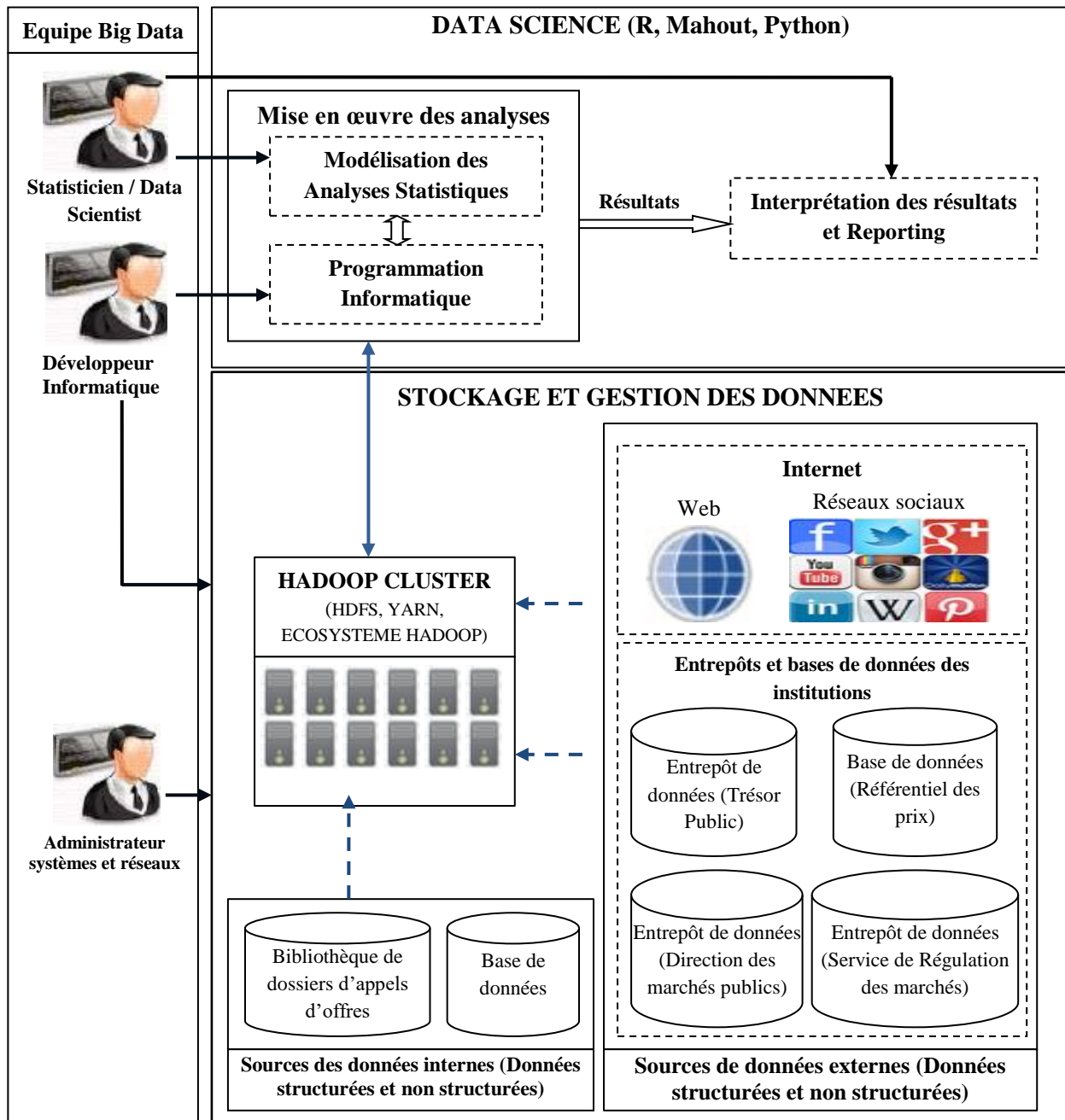


Figure 5. 9: Architecture de la plateforme Big Data et Data Science du système

### III-3.1. Les différentes sources de données utilisées

Plusieurs sources de données seront mises à contribution dans l'approche Big Data proposée. L'intégration du Big Data dans notre système se justifie, d'une part, par le fait que ces sources de données contiennent des données volumineuses (structurées et non structurées) présentant une

grande vélocité et, d'autre part, par les résultats qui peuvent être issus de leur traitement à des fins décisionnelles.

### **III-3.1.1. Les entrepôts de données des institutions intervenant dans la gouvernance des marchés publics**

Plusieurs institutions étatiques comme privées interviennent dans la passation des marchés publics. Dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous intéresserons aux trésors publics, aux directions générales des marchés publics et aux organes de contrôle et de régulation des marchés publics.

#### **⇒ Le trésor public**

Le trésor public est un acteur clé de la passation des marchés. En effet, d'une part, l'entreprise à qui est attribué un marché doit justifier auprès de cet organe l'acquittement de ces charges fiscales et, d'autre part, c'est le trésor public qui paie l'entreprise après la prestation. Ainsi, cette institution détient une grande quantité d'informations (données) sur les entreprises, les services publics et les marchés conclus et réalisés.

#### **⇒ La direction générale des marchés publics**

Cet organe, rattaché au ministère de l'économie et des finances, est l'une des pièces maîtresses de la gouvernance des marchés publics vu ses importantes missions à savoir :

- l'élaboration du plan général annuel de passation des marchés publics ;
- l'élaboration de rapports périodiques sur l'exécution du plan général annuel des marchés publics ;
- l'élaboration du montant prévisionnel pour tous les marchés du plan général annuel ;
- le contrôle de la mise en œuvre du plan général annuel des marchés publics.

Cette institution possède une masse de données importante sur plusieurs années concernant tous les marchés passés par l'Etat.

#### **⇒ L'organe de contrôle et de régulation des marchés publics**

Dans de nombreux pays tels que le Sénégal, la Côte d'Ivoire, la France, la Mauritanie, le Gabon, etc., des organes indépendants dotés de l'autonomie financière et de gestion ont été créés. Ces derniers, généralement nommés Autorité (ou Service) de Régulation des Marchés Publics (ARMP ou ASMP), ont pour objectif d'assurer la régulation, le suivi et l'évaluation du système de passation des marchés publics et des délégations des services publics.

### **III-3.1.2. Le web et les réseaux sociaux**

Le déluge de données engendré par le web et les réseaux sociaux constitue une source de données fondamentale pour le Big Data (Yang et al., 2015). L'approche consiste à associer les citoyens à la gouvernance des marchés publics en récupérant toutes les informations sur les marchés publics

laissées par ces derniers sur le web et les réseaux sociaux tels que Twitter, Facebook, Youtube, etc., qui sont très riches en informations (données) (Huang et al., 2015).

La prise en compte de l'avis des citoyens dans la gouvernance des marchés publics est presque inexistante dans de nombreux pays. Notre objectif consiste à associer les citoyens à la gestion des marchés publics en prenant en compte leurs avis avant, pendant et après la réalisation d'un marché, et ce, via l'utilisation des données du web et des réseaux sociaux.

### **III-3.1.3. Le référentiel de prix**

L'estimation du montant d'un marché constitue un enjeu économique de premier ordre dans la passation des marchés publics (Ishii et al., 2014). En effet, de nombreux marchés sont surestimés et cela entraîne une dilapidation des ressources de l'Etat. Pour remédier à cette situation, des pays comme la Corée du Sud possèdent des systèmes d'estimation des prix (Kim et al., 2011) utilisant des référentiels de prix.

Pour apporter plus de transparence dans l'estimation des prix, nous proposons la mise en place d'un référentiel de prix international mis en place et entretenu par une entreprise privée qui sera appelée à rendre compte suite à d'éventuelles dérives.

Ce référentiel de prix donne les prix des différents objets par pays. De même, dans chaque pays les prix sont donnés par région et par ville.

Un tel référentiel constitue une source de données par excellence dans un contexte Big Data et data science. En effet, d'une part, il offre une masse volumineuse de données et, d'autre part, ces données évoluent avec une grande vélocité vu le nombre d'objets à ajouter et les changements des prix des objets.

Dans le système que nous proposons, ce référentiel de prix sera utilisé par l'agent AGDAO et ses sous agents chargés de la génération du dossier d'appel d'offres.

### **III-3.1.4. Le système d'information proposé**

La solution que nous proposons contient une base de données pour stocker les informations insérées par les utilisateurs et celles générées par le système lors de son fonctionnement. Egalement, le système contient une bibliothèque contenant un nombre important de dossiers d'appels d'offres qui est régulièrement enrichie. Les raisons de la considération du système proposé comme source de données dans l'approche Big Data sont les suivantes :

- le volume des données : les entreprises nationales et internationales participent aux appels d'offres. Les procédures d'appels d'offres exigent de nombreux documents et des centaines de milliers de marchés sont attribués par appels d'offres chaque année ;
- la variété des données : les entreprises peuvent soumettre des données de sources hétérogènes (simple document, image, vidéo). La solution informatique à mettre en place sera conçue de sorte que les entreprises puissent envoyer des documents, des vidéos et des images pour présenter leurs entreprises, leurs offres, etc.

### **III-3.2. Les rôles des membres de l'équipe Big Data**

Pour la gestion d'une plateforme Big Data, il faut une équipe de plusieurs personnes, chacune ayant des compétences précises. Ces membres collaborent pour déployer les infrastructures techniques, intégrer les données issues des différentes sources et procéder à leur analyse et traitement.

L'administrateur systèmes et réseaux est chargé d'installer, de configurer et de gérer les infrastructures techniques pour le stockage des données en veillant à leur bon fonctionnement.

Le développeur informatique est chargé de mettre en œuvre les différentes requêtes pour l'importation des données des différentes sources vers le cluster Hadoop composé de plusieurs nœuds (machines).

Pour le volet data science, le statisticien (data scientist) met en œuvre les méthodes de data science et le développeur informatique l'assiste dans la programmation des différentes méthodes et leurs exécutions. Après l'obtention des résultats, le statisticien intervient pour l'analyse et l'interprétation de ces derniers.

## **IV-Les principales fonctionnalités du système**

Nous procédons à une description de trois fonctionnalités clés de notre système à savoir la génération du dossier d'appel d'offres, l'évaluation intelligente des offres et l'outil décisionnel proposé pour orienter les entreprises vers les marchés à candidater.

Il s'agit surtout, d'une part, de montrer comment les agents du système travaillent et collaborent entre eux pour mettre en œuvre ces trois fonctionnalités clés et, d'autre part, comment certains résultats scientifiques de nos travaux de recherche sont utilisés dans le fonctionnement du système.

### **IV-1. Génération des documents du dossier d'appel d'offres**

La préparation du dossier d'appel d'offres est la première étape dans le processus de passation d'un marché (Mohamad et al., 2010). Sa réussite est déterminante pour la suite. Vu l'importance de cette étape et les difficultés que les services publics ont à mettre en place les dossiers d'appel d'offres, notre système offre un cadre de génération desdits dossiers en se basant sur une bibliothèque de dossiers d'appel d'offres. Le système permet au service public (commanditaire) de faire les modifications nécessaires sur le dossier qu'on lui propose.

Au sein de notre système, six agents et deux sous-agents travaillent et coopèrent pour la réussite de cette étape. La figure 5.10 illustre le processus de génération du dossier d'appel d'offres.



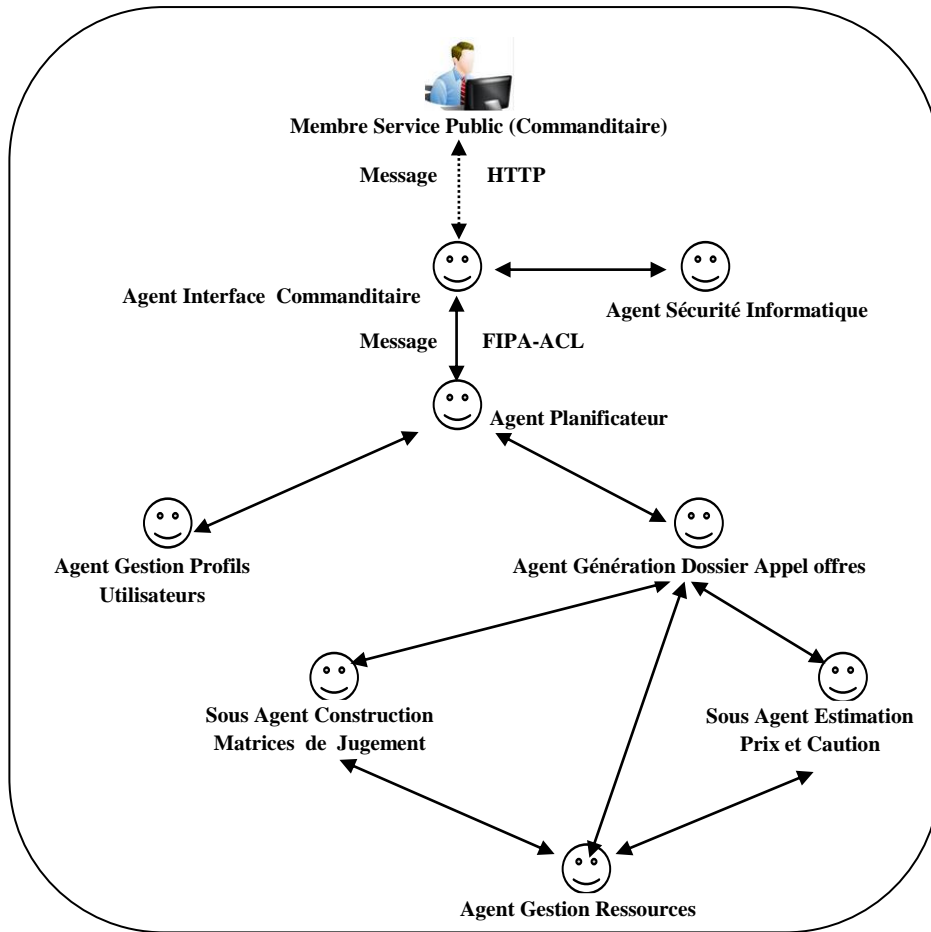


Figure 5. 10: Interaction entre agents pour la génération du dossier d'appel d'offres

Pour préparer un dossier d'appel d'offres, le service public se connecte au système à travers un de ses membres et donne des informations sur le marché. L'Agent Interface Commanditaire (AIC) et l'Agent Sécurité Informatique (ASI) collaborent lors de cette connexion. L'Agent AIC sollicite l'Agent Planificateur (APL) qui à son tour sollicite l'Agent Gestion Profils Utilisateurs (AGPU) pour obtenir le profil de l'entreprise et l'Agent Génération du Dossier Appel d'Offres (AGDAO) pour la génération du dossier d'appel d'offres.

L'agent AGDAO collabore avec l'Agent Gestion des Ressources (AGR) pour trouver dans la bibliothèque de dossiers d'appel d'offres le dossier le plus conforme aux attentes du service public.

L'agent AGDAO fait appel à son Sous Agent Estimation Prix et Caution (SAEPC) pour une mise à jour des prix en consultant le référentiel des prix et ce par l'intermédiaire de l'agent AGR.

Une interface est préparée par l'agent AIC pour :

- présenter le dossier généré au commanditaire tout en lui permettant de faire des modifications ;
- remplir les matrices de jugement préparées par le Sous Agent Construction Matrices Jugement (SACMJ).

Cette interface permet au service public d'utiliser des termes linguistiques pour comparer les critères et sous-critères. Ces termes linguistiques seront convertis en nombres flous par le sous agent SACMJ pour la construction des matrices de jugement qui seront utilisées lors de l'implémentation de la méthode FAHP. Cette conversion est faite par l'agent SACMJ selon le tableau 4.15 (Demirel et al., 2008) (voir page 103).

A la fin des différentes modifications, le dossier d'appel d'offres est généré et il contient les documents suivants :

- les matrices de comparaison des critères et sous-critères ;
- l'avis d'appel d'offres ou avis de publicité ou circulaire ;
- le cahier des prescriptions spéciales ;
- le modèle de l'acte d'engagement ;
- les plans et documents techniques ;
- le modèle du bordereau des prix ;
- le modèle du détail estimatif ;
- le modèle de la décomposition du montant global ;
- le modèle du cadre du sous-détail des prix ;
- le modèle de la déclaration sur l'honneur ;
- le règlement de consultation.

#### **IV-2. Evaluation intelligente et efficace des offres basée sur la méthode multicritère FAHP**

Parmi les résultats scientifiques de nos travaux de recherche, la méthode multicritère d'aide à la décision FAHP a été choisie pour l'évaluation des offres. La mise en œuvre de cette méthode nécessite la construction des matrices de jugement des critères et des sous-critères et des matrices de comparaison des offres.

Les matrices de jugement de critères et sous-critères sont construites lors de la génération du dossier d'appel d'offres et elles sont enregistrées avec le dossier d'appel d'offres dans la bibliothèque.

Quant aux matrices de comparaison des offres, l'Agent Evaluation des Offres (AEO) fait appel au Sous Agent Construction Matrice Jugement (SACMJ). L'Agent Interface Commission Appel d'Offres (AICAO) prépare une interface permettant aux membres de la commission d'appel d'offres d'utiliser des termes linguistiques pour comparer les offres suivant les différents critères et les sous critères. Le sous agent SACMJ fera une conversion des termes linguistiques en nombres

flous pour obtenir les matrices de comparaison des offres qui seront enregistrées dans l'entrepôt de données.

Le Sous Agent FAHP (SAF) chargé de l'implémentation de la méthode FAHP interagit avec l'Agent Gestion des Ressources (AGR) pour récupérer les matrices de jugement des critères et sous-critères ainsi que les matrices de comparaison des offres pour la mise en œuvre de l'algorithme de la méthode FAHP à l'issue de laquelle les offres sont classées de la meilleure à la moins bonne.

L'agent AEO transmet les résultats à l'Agent Planificateur (APL) qui, à son tour, les transmet à l'agent AICAO. Ce dernier crée une interface afin de mettre à la disposition des membres de la commission d'appel d'offres les résultats de l'évaluation des offres (le classement des offres).

Le quatrième chapitre qui porte sur les résultats de nos travaux de recherche décrit la méthode FAHP et donne un exemple détaillé de l'évaluation des offres à l'aide de cette méthode. La figure 5.11 présente les différentes interactions entre les agents lors de l'évaluation des offres.

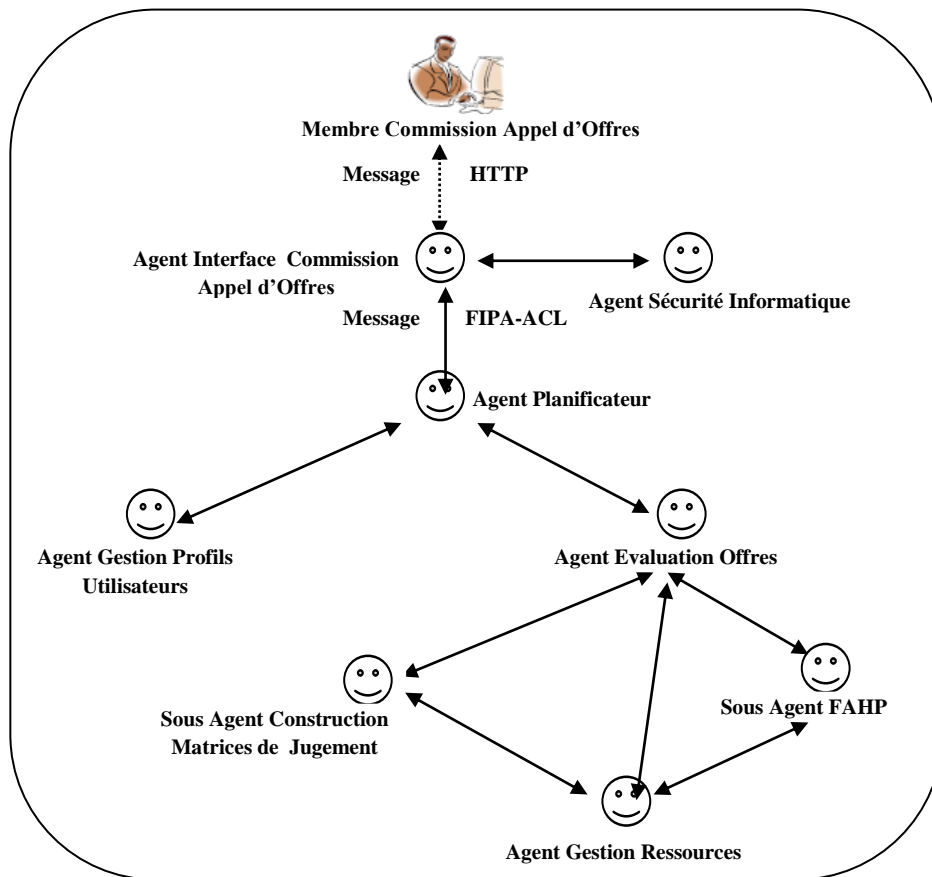


Figure 5. 11: Interaction entre agents pour l'évaluation des offres

### **IV-3. Outil d'aide à la décision basé sur les concepts de l'apprentissage machine pour l'orientation des entreprises**

La mise en place d'un cadre décisionnel dans un domaine tel que la passation des marchés publics qui influence fortement le développement de nos pays (Ameyaw et al., 2012) est une initiative salubre. Dans ce sens, vu la contribution des entreprises dans l'économie de nos pays, nous avons décidé de proposer à ces dernières un outil décisionnel pour les orienter vers les marchés à candidater. L'approche consiste à diviser les entreprises en catégorie et d'user de la meilleure méthode de classification supervisée après avoir comparé plusieurs pour construire un modèle et prédire les probabilités de remporter un marché donné par les différentes catégories d'entreprises (TPE, PME, ETI, GE). Le chapitre IV expose de façon détaillée cette approche.

Pour l'intégration de cette approche dans notre système afin de l'automatiser via l'utilisation d'agents logiciels, le travail en amont est effectué par le statisticien (data scientist) et le développeur informatique de l'équipe Big Data. Le statisticien modélise statistiquement l'approche en définissant la variable dépendante et les variables indépendantes. En collaboration avec le développeur informatique, ils mettent en place le jeu de données et écrivent les codes d'implémentation des méthodes de classification supervisée. Ils mettent en œuvre les différentes méthodes et le statisticien analyse et interprète les résultats pour comparer les méthodes et déterminer la meilleure.

Le code de la meilleure méthode est incorporé dans l'Agent Apprentissage Statistique (AAS) et la mise à jour du jeu de données, en ajoutant les nouveaux marchés conclus, est confiée à son sous agent SAJD (Sous Agent Jeux de Données). Ces deux agents se chargeront d'automatiser l'outil décisionnel mis en place. Le sous agent SAJD met à jour le jeu de données et l'agent AAS construit le modèle à partir du jeu de données et fait les prévisions en donnant les probabilités pour qu'un marché soit remporté par les différentes catégories d'entreprises, et ce, chaque fois qu'une entreprise sollicite ce service de notre système.

Le diagramme de séquences de la figure 5.12 illustre le processus de fonctionnement de cet outil décisionnel ainsi que les différentes interactions entre les agents du système y participant.

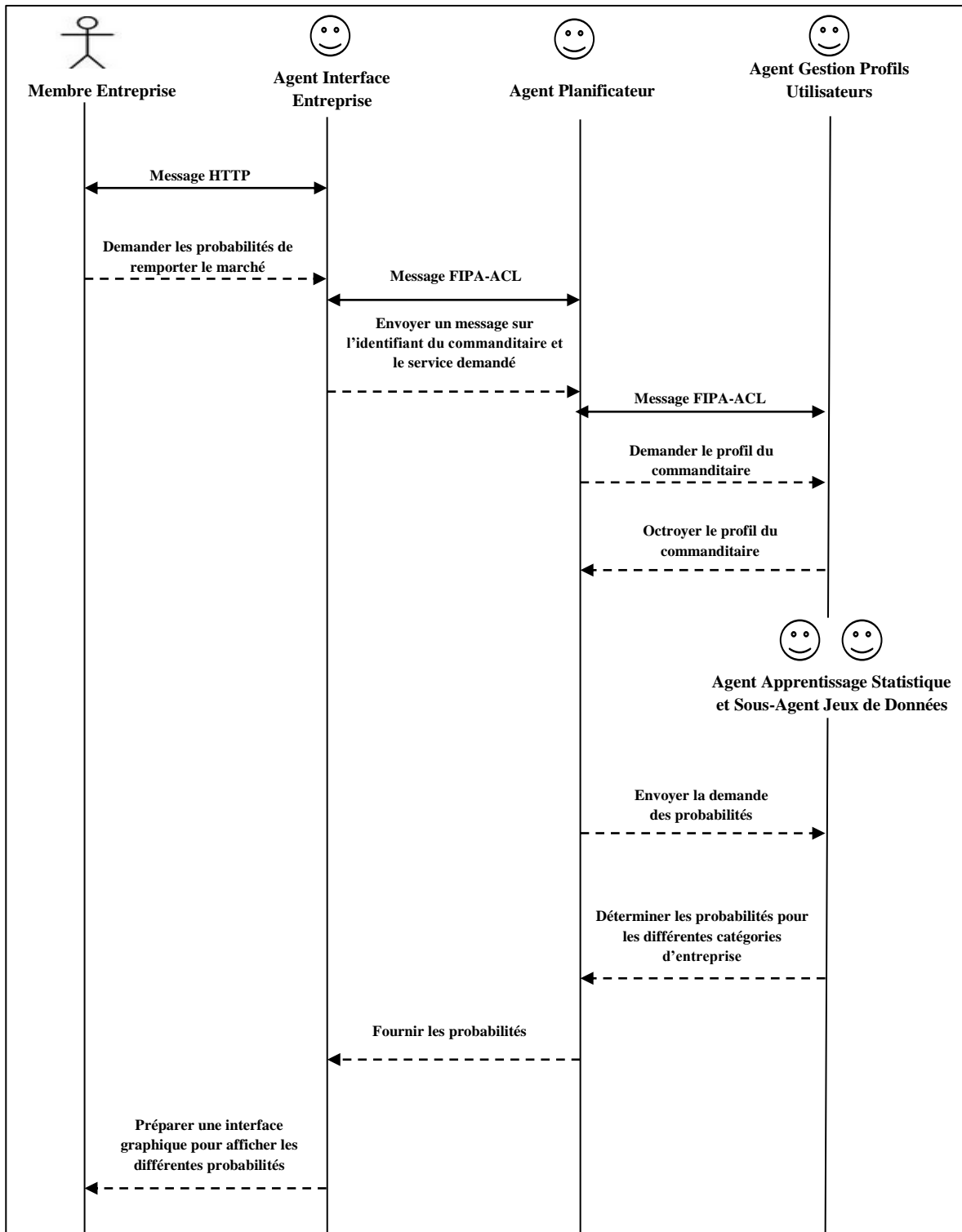


Figure 5. 12: Le diagramme des séquences des interactions entre agents pour donner la probabilité de gagner un marché

## V- Conclusion

Ce chapitre a débuté par la présentation de l'architecture générale, de l'architecture détaillée et de l'architecture en couche de la solution informatique. Ensuite, les détails sur l'intégration des différentes approches technologiques ont été présentés. L'ontologie existante utilisée, les différentes ontologies qui la composent et les modifications qui ont été apportées pour l'adapter à notre solution ont été décrites. Les agents du système, leurs rôles et les interactions entre eux pour la réalisation des différents objectifs que vise le système proposé ont été mis en exergue. L'approche Big Data a aussi été présentée en mettant l'accent sur les membres de l'équipe Big Data, les différentes sources de données, les technologies big data et les méthodes de data science mises à contribution pour construire un pipeline d'importation des données et une plateforme décisionnelle pour leur traitement et leur analyse.

Ce chapitre a également abordé les détails de la modélisation de quelques fonctionnalités clés du système proposé, à savoir la génération du dossier d'appel d'offres, l'évaluation intelligente des offres et l'outil décisionnel intégrant les concepts d'apprentissage machine pour l'orientation des entreprises vers les marchés où leurs chances de l'emporter sont élevées.

Cette solution informatique a été modélisée de sorte à lui donner toutes les aptitudes pour :

- assurer une smart dématérialisation du processus de passation des marchés publics ;
- garantir une évaluation intelligente des offres ;
- supporter le déploiement et l'utilisation d'une plateforme décisionnelle qui s'appuie sur les technologies du Big Data et sur l'usage des techniques de data science telles que l'analyse des données, l'apprentissage statistique, l'apprentissage machine, le traitement du langage naturel (natural language processing), l'analyse des sentiments (sentiment analysis), l'analyse des medias sociaux (social media analytics), la visualisation des données (data visualization), etc., pour le traitement et l'analyse des données;
- minimiser les risques surtout ceux liés à la sécurité informatique.

Le chapitre suivant, consacré au prototypage, abordera le développement de la solution informatique proposée afin de concrétiser les différents résultats scientifiques et technologiques de nos travaux de recherche.

## **CHAPITRE VI : PROTOTYPAGE DU SYSTEME D'INFORMATION**

### **SCIS4TP: Smart and Collaborative Information System for Transparent Procurement**

---

#### **I- Introduction**

Pour donner corps aux méthodes scientifiques et technologiques utilisées, nous avons jugé important de consacrer un chapitre au prototypage du système que nous nommons SCIS4TP (Smart and Collaborative Information System for Transparent Procurement). Il s'agit dans ce chapitre, d'une part, de présenter les outils (logiciels) utilisés et, d'autre part, d'illustrer quelques portions de codes et quelques résultats.

Ainsi, pour les ontologies du web sémantique, le recours au logiciel Protégé a permis de représenter l'ontologie existante PPROC (Public Procurement Ontology) portant sur la dématérialisation des marchés publics. Ce même logiciel a été utilisé pour la manipulation et la modification de cette ontologie afin d'aboutir à une nouvelle qui épouse parfaitement les spécificités de la solution informatique que nous souhaitons mettre en place.

En ce qui concerne le paradigme multi-agents, la plateforme Jade a été utilisée pour l'implémentation des agents et le framework Jena pour la manipulation des ontologies par les agents. Le moteur de règles Jess, entièrement développé en Java, a été introduit afin de faciliter le processus décisionnel chez les agents. Jess s'intègre parfaitement avec Jade, ses classes et méthodes s'intègrent aux classes et méthodes de Jade qui permettent de définir les comportements des agents.

Quant à l'approche Big Data, nous avons mis en place notre propre distribution composée de Hadoop Core et des outils de l'écosystème de Hadoop indispensables pour faire du data science (Hive, Pig, Mahout, Flume, Sqoop). De plus, la distribution la plus mature pour le Big Data à savoir Cloudera a été utilisée. Dans le cadre de la mise en place de la plateforme décisionnelle proposée en vue de faire du data science, R, Python et Apache Mahout ont été utilisés. Les packages de R pour le data science ont été utilisés pour mettre en œuvre un exemple de l'approche e-participation des citoyens à la gouvernance des marchés publics, et ce en faisant usage de l'analyse des medias sociaux (social media analytics), de l'analyse des sentiments (sentiment analysis) et de la visualisation des données (data visualization).

#### **II- Architecture technique du système SCIS4TP**

La figure 6.1 présente l'architecture technique du système d'information mis en place. Tous les outils technologiques (logiciels, frameworks, etc) utilisés pour l'implémentation des ontologies du web sémantique, le système multi-agents, le Big Data et le data science y sont représentés.

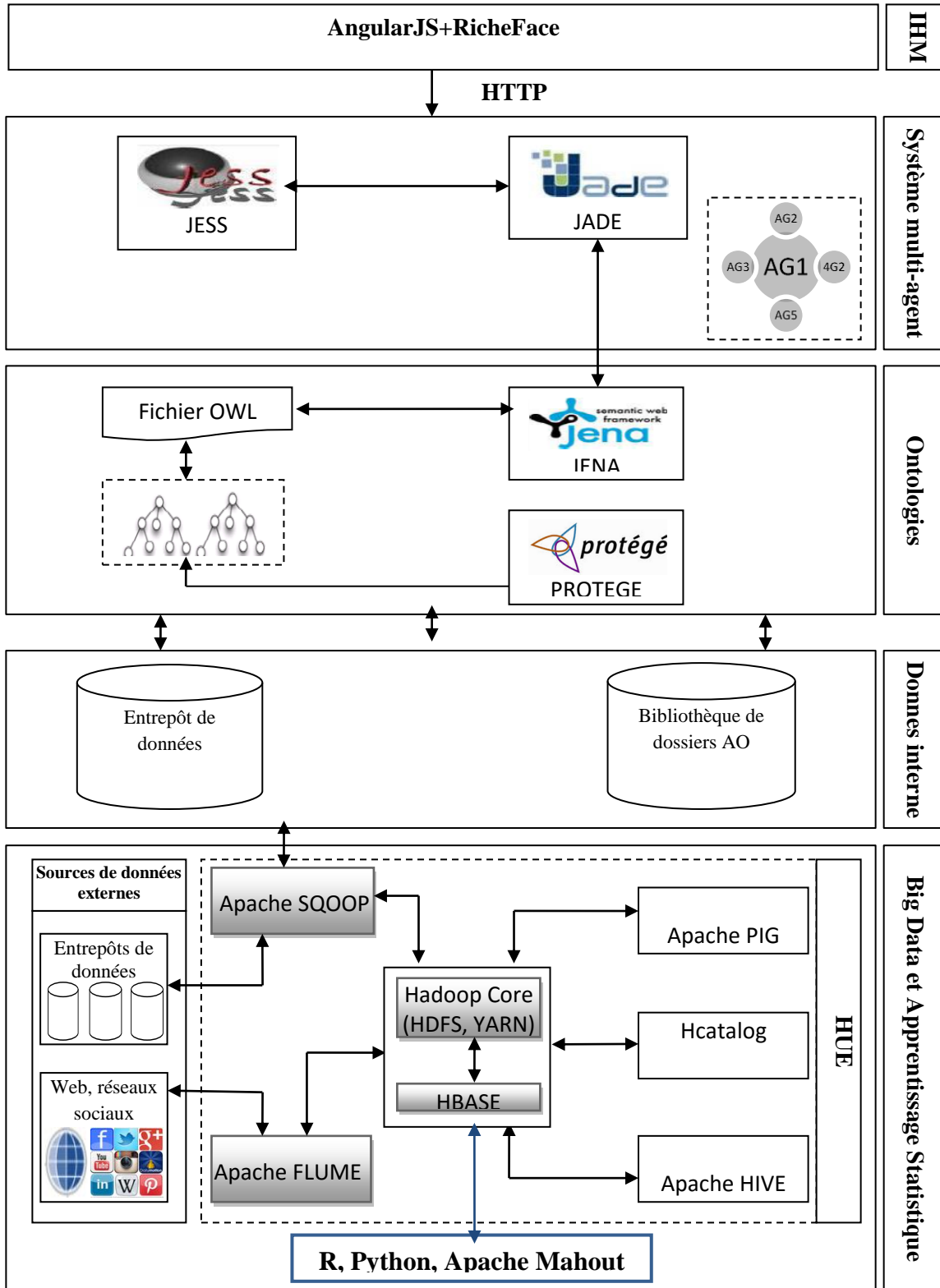


Figure 6. 1 : Architecture technique du système



### III- Développement et manipulation de l'ontologie mise en place

#### III-1. Cadre logiciel pour le développement de l'ontologie

Pour importer les ontologies existantes et faire des modifications en vue d'obtenir l'ontologie de notre solution informatique, nous avons mené une étude des éditeurs existants tels que SWOOP, OilEd, Protégé, Ontolingua.

A l'issue de cette étude, notre choix s'est porté sur l'éditeur Protégé pour les raisons suivantes :

- conformité et respect des recommandations W3C ;
- extensibilité : de nombreux Plugins sont ajoutés à Protégé pour son amélioration, facilitant la construction et l'exploitation des ontologies ;
- interface de travail riche et conviviale ;
- exportation des ontologies existantes sous les différents langages du web sémantique.

L'ontologie existante PPROC, après téléchargement, a été importée sur le logiciel Protégé pour les modifications afin de l'adapter au système que nous souhaitons mettre en place.

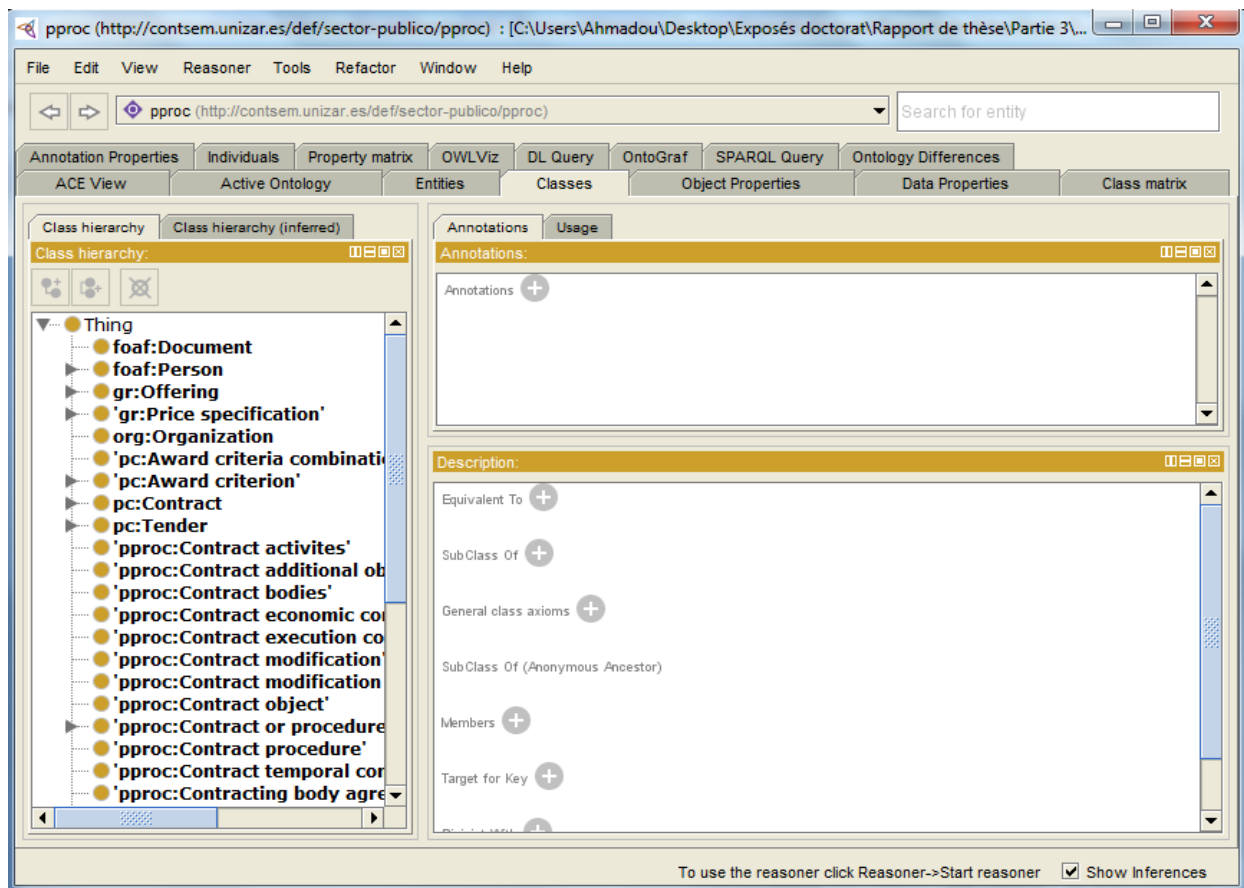


Figure 6. 2: Aperçu de l'éditeur Protégé implémentant l'ontologie développée pour notre système

### III-2. Opérations sur l'ontologie mise en place

Les langages SPARQL, SQL et le langage Java associé au Framework Jena constituent les trois principaux moyens utilisés pour effectuer des manipulations sur l'ontologie développée pour notre système. Le code de la figure 6.3 permet de sélectionner tous les marchés lancés par un service public en 2015 en utilisant les langages SPARQL et SQL.

```
#####
##### SPARQL #####
PREFIX ontology.e-procurement : < http://.../ontology_e-procurement.owl#>
SELECT ? Contract ?Year
WHERE {
    ?Contract ontology.e-procurement: hasName "Nom du service public"
    ?Contract ontology.e-procurement: hasYear ?Year
    Filter (?Year = 2015)
}

#####
##### SQL #####
Select Contract
From Administration, Contract, Year, Initiate
WHERE {
    Administration.Id-Administration = Initiate.Id-administration
    and Initiate.Id-Contract = Contract.Id-Contract
    and Year = 2015
}
```

Figure 6. 3: Exemples de Code SPARQL et SQL sur l'ontologie développée pour le système

Le framework Jena développé en Java sera aussi utilisé pour la manipulation des ontologies notamment par les agents du système. Ce dernier doit être installé sur un IDE java, dans notre cas l'IDE Eclipse a été utilisé. Cette méthode d'interrogation et de manipulation des ontologies nécessite des compétences en programmation Java.

La figure 6.4 offre un exemple de code java permettant de faire une requête en vue de sélectionner tous les marchés lancés par un service public durant l'année 2015.

```

import com.hp.hpl.jena.datatypes.xsd.XSDDatatype;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.Model;
import com.hp.hpl.jena.query.Query;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
.
.
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.Resource;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;

public class administrationContract {
.
.
private static final Logger log = Logger.getLogger("ontology.e.procurement ");

    public static void main(String[] args) {

        Result Model m = ModelFactory.createDefaultModel();
        // Lire le fichier de l'ontology
        FileManager.get().readModel(m, ontology.e.procurement_file);
        log.debug(m.size());
        Result String ontology.e.procurement = "http://.../
ontology.e.procurement#";
        .
        .
        // code de la requête
        Result String queryString = prolog1 + NL + prolog2 + NL +
"SELECT ?Contract ?Year WHERE
    {?Contract ontology.e-procurement: hasName "Nom du service public"
     ?Contract ontology.e-procurement: hasYear ?Year
     Filter (?Year = 2015)}";
        ..
    }
}

```

Figure 6. 4: Exemple de code Java avec Jena pour la manipulation de l'ontologie du système

#### IV- Développement des agents du système SCIS4TP

Le paradigme multi-agents est une composante de l'intelligence artificielle distribuée. Le principe de base est de distribuer des tâches sur plusieurs agents où chaque agent est associé à la résolution d'un sous-problème (Lahoud, 2013). Ces agents coopèrent et interagissent afin d'atteindre la résolution du problème global (le but à atteindre). Les interactions qui se traduisent par la communication et la négociation sont indispensables dans le fonctionnement d'un système multi-agents.

La modularité qu'offre un système multi-agents est source de nombreux avantages (rapidité, extensibilité, efficacité, etc.). Ainsi, pour la mise en place de notre solution qui se veut intelligente

dans le but de renforcer le processus de dématérialisation des procédures de passation des marchés, nous avons fait usage du paradigme multi-agents.

#### IV-1. Cadre logiciel pour l'implémentation des agents du système SCIS4TP

Plusieurs plateformes existent pour l'implémentation des agents telles que Zeus, Agentbuilder, JADE, Jack, AgentTool, ABLE, INGENIAS, Madkit, etc. Après analyse de ces plateformes, notre choix s'est porté sur la plateforme JADE pour sa bonne documentation, les grandes possibilités offertes au niveau de l'implémentation des agents et le fait que le développement des agents implémentés sur JADE se fait avec le langage Java.

Pour l'implémentation des agents, JADE offre des fonctionnalités comme :

- la distribution du système multi-agents sur plusieurs machines pouvant avoir des systèmes d'exploitation différents ;
- l'ajout automatique d'agents FIPA pour la communication : l'agent AMS (Agent Management System), l'agent DF (Directory Facilitator), l'agent ACC (Agent Communication Channel) ;
- Java API pour l'envoi et la réception des messages ;
- une librairie de protocoles d'interaction FIPA.

La figure 6.5 présente la fenêtre principale qui affiche les différents agents de notre système.

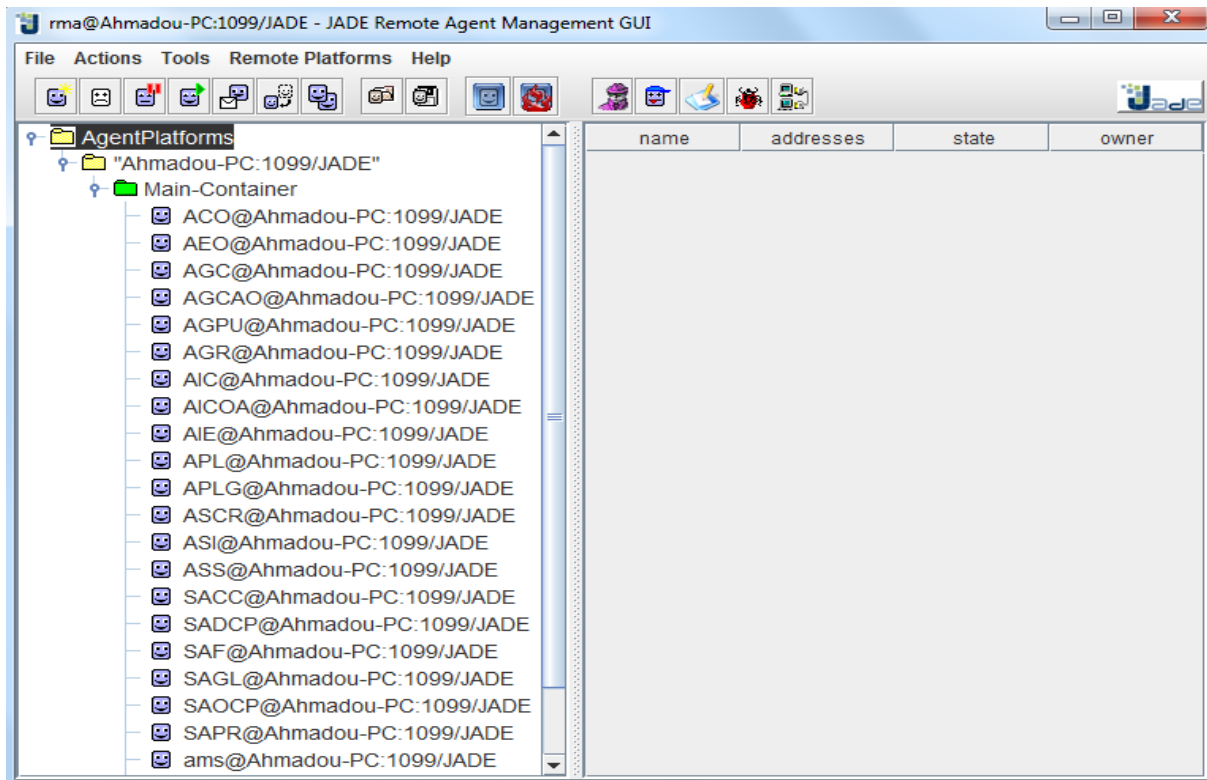


Figure 6. 5: Les agents du système sur la plateforme JADE

## IV-2. Codes illustratifs portant sur le développement des agents

La plateforme JADE utilise des packages développés en langage Java pour la mise en œuvre d'un système multi-agents. Ces packages facilitent le développement des agents et la communication entre ces derniers via des messages. La figure 6.6 illustre l'utilisation des classes du package `java.lang.acl` et des méthodes de celles-ci pour l'échange de messages entre deux agents du système proposé.

```
package MesAgents;

import jade.core.*;
import jade.lang.acl.ACLMessage;

public class Message extends Agent {

    public void action(){

        ACLMessage msg=new ACLMessage(ACLMessage.INFORM);

        /*Le contenu du message (le message est envoyé par l'agent
        "AgentSender")*/

        Object[]ob={AgentSender.getMethode();AgentSender.getCritere();
        AgentSender.PoidsCritere()};

        msg.setContentObject(ob);

        /* Liste des agents destinataires (le message est envoyé
        à l'agent planificateur APL)*/
        msg.addReceiver(new AID("APL", AID.ISLOCALNAME));

        // Envoyer le message à l'agent planificateur
        send(msg);
    }
}
```

Figure 6. 6: Illustration d'échange de message ACL entre deux agents

La figure 6.7 présente la structure d'une classe qui hérite de la classe « Agent » de la plateforme JADE.

```

package MesAgents;

import jade.core.*;
import jade.core.behaviours.*;

public class Struc_Agent extends Agent {

    //#####Les Méthodes #####//
    //***** Méthode d'initialisation *****//
    protected void setup(){

    //#####Les comportements de l'agent #####//
    //***** Premier comportement *****//
    addBehaviour(new Type_de_Behaviour(this) {
        // CyclicBehaviour, OneShotBehaviour,... sont des type de Behaviour
        public void action() {
            // .....Les détails sur le comportement.....//
        }
    } );
    .

    //##### Nieme comportement #####//
    addBehaviour(new Type_de_Behaviour(this) {
        public void action() {
            // .....Les détails sur le comportement.....//
        }
    } );
    }

} // Fin classe Struc_Agent

```

Figure 6. 7: Code illustratif de la structure d'une classe héritant de la classe « agent » de JADE

Dans la structure de la figure 6.7, on remarque la présence de la classe « Behaviours ». Cette dernière joue un rôle important dans le fonctionnement des agents car l'implémentation de méthodes pour l'exécution des tâches spécifiques par les agents se fait via son utilisation.

### IV-3. Comportement de l'agent évaluation des offres (AEO)

L'agent AEO (Agent Evalueur des Offres) joue un rôle important au sein du système car il intervient dans la phase de l'analyse et de l'évaluation des offres. Lors de cette phase, cet agent effectue plusieurs tâches en collaboration avec ses sous-agents et d'autres agents du système. La figure 6.8 illustre partiellement en langage java les différents comportements de l'agent AEO.

```

package MesAgents;

import jade.core.*;
import jade.core.behaviours.*;
import jade.lang.acl.MessageTemplate;
import jade.lang.acl.MessageTemplate.MatchExpression;
import jade.lang.acl.ACLMessage;

public class AEO extends Agent {
//***** lignes de codes *****//

/*Classe interne pour l'identification des messages provenant de l'Agent
Réception des offres(ARO)*/
private class AROMessages implements MessageTemplate.MatchExpression {
    public boolean Identifier(ACLMessage msg) {
        //La méthode retourne « true » si l'agent correspondant est ARO
    }
} // Fin de la classe interne

/** Template pour messages provenant de l'agent ARO**/
// Méthode permettant à l'agent ARO d'envoyer des messages d'informations
sur les offres reçues à l'agent AEO
private MessageTemplate MsgEnvoieOffre=MessageTemplate.and(
    MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.INFORM,
    new MessageTemplate(new AROMessages())));

/* Classe interne pour identifier les messages du Sous Agent FAHP (SAF)*/
// Methode permettant à l'agent ARO d'envoyer les informations sur les offres
reçues à l'agent AEO
private class SAFMessages implements MessageTemplate.MatchExpression {
    public boolean Identifier(ACLMessage msg) {
        //La méthode retourne « true » si l'agent correspondant est SAF
    }
} // Fin classe interne

/** Template pour messages provenant de l'agent SAF**/
// Méthode permettant à l'agent SAF d'envoyer des informations sur
les résultats de l'application de la méthode FAHP à l'agent AEO
private MessageTemplate MsgEnvResultatFAHP=MessageTemplate.and(
    MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.INFORM,
    new MessageTemplate(new SAFMessages())));

/* Définition de la méthode setup() */
protected void setup(){
/** Définir un comportement pour l'agent AEO **/
addBehaviour(new CyclicBehaviour(this) {
    public void action() {}
    });
} // Définir d'autres comportements*/
} //fin setup()
//***** Lignes de codes *****//
}

```

Figure 6. 8: Code illustrant partiellement le comportement de l'agent AEO

## V- Installation et utilisation des technologies Big Data et Data Science

Pour la mise en place de la plateforme, nous avons fait un tour des distributions Big Data existantes Talend, Cloudera, Hortonwork, MapR, etc.

Notre choix s'est porté sur la distribution Cloudera pour la simple raison qu'elle est incontestablement la plus mature. De nombreux grands groupes tels que Samsung, Nokia, Watern Union, Ebay, MasterCard, Commonwealth Bank, etc., l'utilisent. Nous nous appuyerons sur cette dernière pour mettre en place notre plateforme.

### V-1. Installation et configuration de la distribution Big Data Cloudera

Pour la partie pratique du Big Data, la distribution Cloudera a été installée. La connexion à Cloudera Manager nous permet :

- d'accéder à Hadoop Core et aux différentes composantes de l'écosystème de Hadoop et de les manipuler (mise en arrêt, démarrage, etc.) ;
- de voir l'état de notre cluster, d'y ajouter ou d'en supprimer des machines.

La figure 6.9 présente les différentes composantes de Hadoop Core, celles de son écosystème, et d'autres technologies Big Data telles que Spark et Hue.

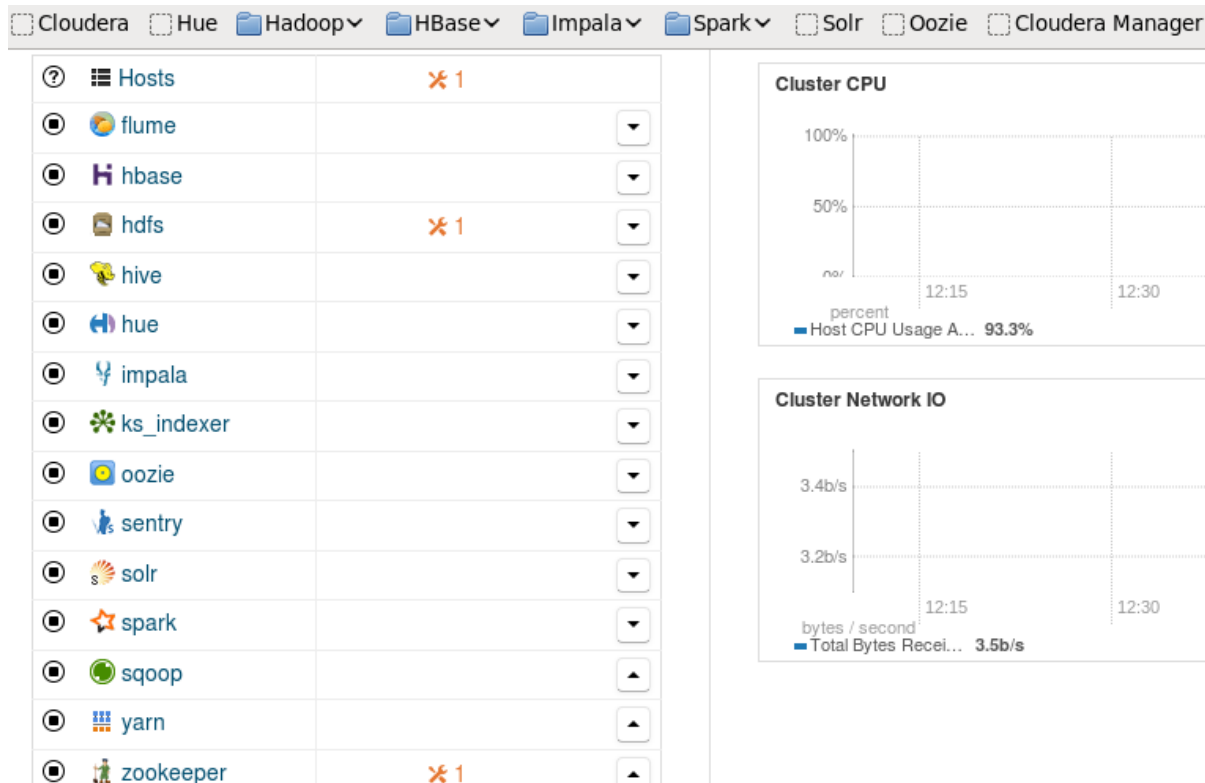


Figure 6. 9: Les technologies Big Data intégrées dans Cloudera



Le GUI Hue a été développé par Cloudera et offre une interface qui permet d'interagir avec bon nombre de projets de l'écosystème de Hadoop. La figure 6.10 montre l'exemple d'un code Hive permettant de faire une requête qui sélectionne les 200.000 premières lignes de la table **Marche\_Public** et de stocker les résultats dans un fichier HDFS dans le repertoire **Big\_Data**.

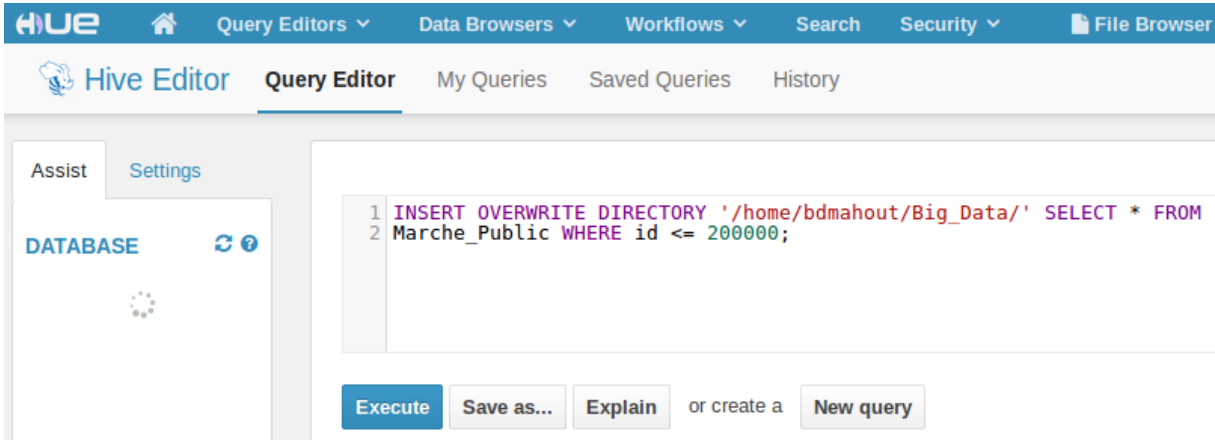


Figure 6. 10 : Exemple de requête Hive sur Hue

## V-2. Mise en œuvre d'un exemple de l'approche e-participation des citoyens à la gouvernance des marchés publics

Cette approche consiste à utiliser les techniques de data science pour analyser les avis des citoyens sur les marchés publics. Elle a pour finalités de prendre en compte ces avis et de faire des citoyens de nouveaux acteurs de la gouvernance des marchés publics.

Pour la mise en œuvre de cette approche, nous avons choisi R et ses packages dédiés au data science notamment ceux dédiés au traitement du langage naturel (natural language processing), à la fouille de textes (text mining), à l'analyse des medias sociaux (social media analytics), à l'analyse des sentiments (sentiment analysis) et à la visualisation des données (data visualization). Il faut souligner que le langage R et ses packages de data science constituent aujourd'hui une référence en la matière<sup>43</sup>. Les principaux packages utilisés sont :

- TwitteR : un package qui permet de connecter R à Twitter et de récupérer ses données ;
- NLP : package de R dédié au traitement du langage naturel ;
- tm : package populaire et très utilisé pour la fouille de texte (text mining) ;
- ggplot2 : package de R dédié à la visualisation des données (data visualization)<sup>44</sup>;
- sentiment : package de R pour l'analyse des sentiments (sentiment analysis) qui intègre les concepts de l'apprentissage machine (machine learning).

<sup>43</sup> Python et R sont aujourd'hui les plateformes open source les plus utilisées en data science. De nombreux articles tentent de les comparer. Il est parfois souhaitable, en fonction de la nature d'un projet, de les utiliser ensemble.

<sup>44</sup> Le package ggplot2 de R constitue une référence dans le domaine de la visualisation des données (data visualization).

A titre d'exemple, nous prendrons les tweets portant sur le projet de construction du troisième aéroport d'Istanbul. Ce dernier est mal perçu par une catégorie de personnes et d'association qui estiment qu'il constitue une menace pour l'environnement. Il s'agit dans cet exemple de récupérer les tweets des citoyens sur ce projet et de cerner leurs opinions (opinion neutre, opinion positive, opinion négative).

### V-2.1. Récupération et préparation des données

```
#Load the packages
library(twitter)
library(RColorBrewer)
library(wordcloud)
library(ggplot2)
library(NLP)
library(tm)
library(devtools)
library(Rstem)
library(sentiment)

#File required for windows user
download.file(url="http://curl.haxx.se/ca/cacert.pem", destfile="cacert.pem")

#Access keys to twitter documentation
consumer_key <- '*****'
consumer_secret <- '*****'
access_token <- '*****'
access_secret <- '*****'
setup_twitter_oauth(consumer_key, consumer_secret, access_token, access_secret)

##### Charger the tweets #####
Marche_P <- searchTwitter("Istanbul New Airport", n=100, lang = 'en')

#save tweets as text
Marche_P_text <- sapply(Marche_P, function(x) x$getText())

##### Nettoyer et préparer les tweets pour l'analyse #####
# remove retweet entities
Marche_P_text = gsub("(RT|via)((?:\\b\\W*@\\w+)+)", "", Marche_P_text)

# remove at people
Marche_P_text = gsub("@\\w+", "", Marche_P_text)
.
.
# Enregistrer les tweets dans un fichier .csv
write.csv(Marche_P_text, file = 'C:/Users/Ahmadou/Dropbox/Marche_P_text.csv',
          row.names=F)
```

Figure 6. 11: Code R pour la récupération et le nettoyage des tweets

Le code de la figure 6.11 permet de se connecter à la documentation de Twitter à travers nos identifiants, de charger les tweets relatifs à des mots clés et mots-dièse (hashtags) précis, de nettoyer et préparer les tweets pour les traitements statistiques, de les enregistrer sur notre machine dans un fichier .csv.

### **V-2.2. Application de la visualisation des données (data visualisation)**

Avec le développement de l'informatique, les entreprises, les administrations publiques, les réseaux sociaux, les capteurs, les satellites, etc., engrangent actuellement dans tous les domaines (économie, finance, marketing, industrie, distribution, etc.) des quantités énormes de données.

La visualisation des données (data visualization) est une méthode de data science qui consiste à élaborer des représentations graphiques à partir des données afin d'améliorer la compréhension, la communication et la prise de décision. En d'autres termes, c'est l'art et la pratique de la collecte, de l'analyse et de la représentation graphique de l'information (données). Ce n'est pas une technique nouvelle mais il devient, de nos jours, de plus en plus importante en raison de la place qu'il occupe dans les systèmes décisionnels et son utilisation dans le Big Data et le traitement du langage naturel (natural language processing). En effet, pour les décideurs, qui en grande partie ne sont pas statisticiens, la visualisation des données leur permet d'avoir une bonne lisibilité d'une situation donnée.

L'application de la visualisation des données (data visualization) dans cet exemple consiste à élaborer quelques représentations graphiques. Ainsi, après le nettoyage et la préparation des tweets pour les analyses, l'étape de la visualisation des données permettra de mieux comprendre les tweets via une représentation d'informations clés. La figure 6.12 illustre le code R utilisé pour faire de la visualisation des données sur le corpus<sup>45</sup> contenant l'ensemble des tweets récoltés. Le nuage de mots (wordcloud)<sup>46</sup>, très prisé dans la fouille de textes (text mining), a été utilisé pour représenter les mots les plus fréquents (figure 6.13). De plus, un histogramme (figure 6.14) a été réalisé pour mettre en évidence les mots ayant une fréquence égale au moins à 30.

---

<sup>45</sup> Un corpus est un ensemble de documents (textes, images, vidéo).

<sup>46</sup>Le nuage de mots (wordcloud) est une représentation graphique qui permet de représenter les mots les plus fréquents d'un document (texte) ou d'un ensemble de documents. La taille des mots sur un nuage de mots varie en fonction de leurs fréquences (plus un mot est fréquent plus sa taille est grande et vis-versa).

```
##### Data visualization : wordcloud, histogram #####
#Créer un corpus
Marche_P_text_corpus <- Corpus(VectorSource(Marche_P_text))

#Faire un Wordcloud
Marche_P_text_corpus <- tm_map(Marche_P_text_corpus,
function(x)removeWords(x,stopwords()))
pal2 <- brewer.pal(8,"Dark2")
wordcloud(Marche_P_text_corpus, min.freq=2,max.words=300, colors=pal2)

#Construire un tdm (term document matrix)
tdm <- TermDocumentMatrix(Marche_P_text_corpus)

#Les mots les plus fréquents
(tt <- findFreqTerms(tdm, lowfreq=30))

# Compter le nombre d'occurrence des mots les plus frequents
termFrequency <- rowSums(as.matrix(tdm[tt,]))
termFrequency

# Construire un histogramme
qplot(names(termFrequency), termFrequency, geom="bar", stat="identity")
```

Figure 6. 12: Code R pour la visualisation des données



Figure 6. 13: Le nuage de mots (wordcloud) représentant les mots les plus fréquents dans les tweets

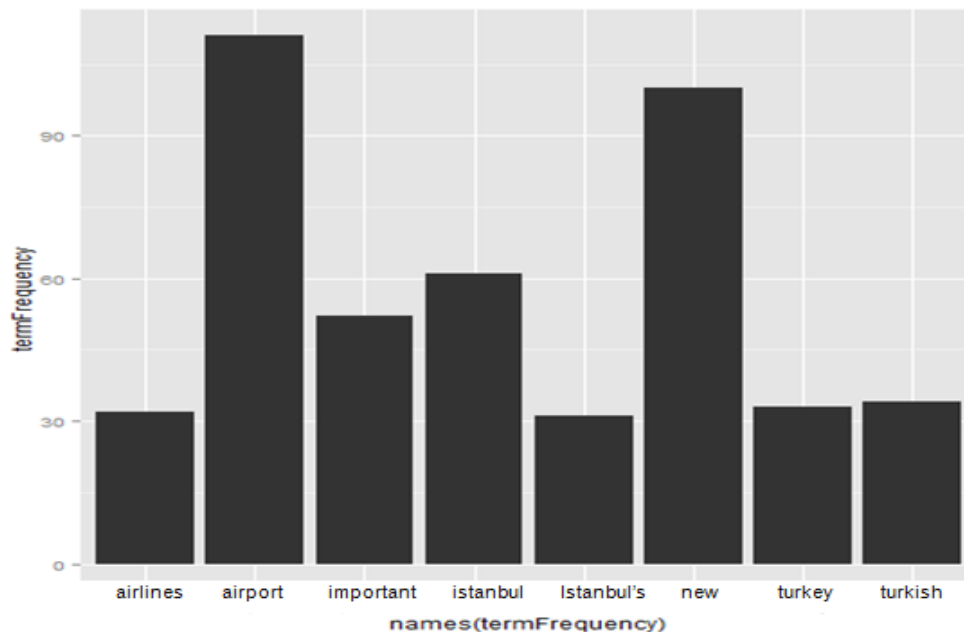


Figure 6. 14: Histogramme des mots les plus fréquents

L'histogramme et le wordcloud montrent tous les deux que les mots « airport » et « new » sont les plus fréquents.

### V-2.3. Application de l'analyse des médias sociaux (social media analytics) et de l'analyse des sentiments (sentiment analysis)

L'approche e-participation du système proposé SCIS4TP consistant à associer les citoyens à la gouvernance des marchés publics est un cas typique de l'analyse des médias sociaux. Cette dernière renferme l'ensemble des pratiques permettant de recueillir les données des blogs, des réseaux et médias sociaux (Twitter, Facebook, Instagram, Youtube, linkedIn, Flickr, etc.) et de les analyser à des fins descriptives et décisionnelles. Appelée aussi social media intelligence, elle est utilisée par les professionnels de nombreux domaines : commerce, marketing, politique (la gestion de la réputation), vente, etc. Son utilisation la plus répandue consiste à cerner les opinions (les sentiments) des utilisateurs des blogs, des medias et des réseaux sociaux, ce qui établit un lien étroit entre l'analyse des médias sociaux et l'analyse des sentiments (sentiment analysis).

Les êtres humains, de façon générale et naturelle, ont toujours une opinion sur une situation donnée. L'analyse des sentiments (sentiment analysis) est une méthode de data science qui a pour objet l'analyse des opinions, des sentiments, des attitudes, des émotions à partir du langage écrit (texte). Ce qui fait d'elle une méthode appartenant à la grande famille des méthodes du traitement de langage naturel (natural language processing) et de la fouille des textes (text mining)<sup>47</sup>.

L'analyse des sentiments est une méthode récente. Cela s'explique par le fait que les statisticiens avaient l'habitude d'utiliser les enquêtes et les sondages d'opinion pour cerner les avis des

<sup>47</sup> Le text mining est une branche du natural language processing dédiée essentiellement à l'analyse des textes.

personnes sur une situation donnée, l'inexistence de méthodes statistiques d'extraction des opinions à partir de documents écrits (textes) et l'inexistence d'ordinateurs puissants capable de stocker et mettre en œuvre des méthodes gourmandes en termes de calculs. L'analyse des sentiments a connu son essor avec l'avènement et le développement du web et des réseaux sociaux, l'accessibilité à des ordinateurs plus puissants au niveau de la capacité de stockage et de la mémoire vive et les avancées dans les méthodes statistiques.

De nos jours, de simples citoyens, des entreprises, des pouvoirs publics, des hommes politiques, etc., font usage de l'analyse des sentiments pour cerner les opinions sur un sujet donné. De nombreux outils ont été développés permettant de mettre en œuvre ses méthodes parmi lesquels des packages de R et des modules de Python qui ont l'avantage d'être gratuits.

On utilisera le package « sentiment » de R qui intègre la méthode d'apprentissage statistique « Naives Naves ». L'utilisation de cette méthode, très utilisée pour la classification supervisée des données semi-structurées, permettra de classer les tweets suivant trois classes : positive, neutre, négative.

La figure 6.15 présente le code R pour la mise en œuvre de la fonction «classify\_polarity» et pour le comptage du nombre d'occurrences des trois types de modalités (négatif, neutre, positif) auxquelles appartiennent les tweets.

```
##### Sentiment analysis (polarity) #####
# classify polarity
class_pol = classify_polarity(Marche_P_text, algorithm="bayes")
# get polarity best fit
polarity = class_pol[,4]

# data frame with results
sent_df = data.frame(Marche_P_text, polarity=polarity, stringsAsFactors=FALSE)

# Nombre d'occurrences des modalités dans "Polarity"
table(sent_df[2])
```

Figure 6. 15: Code R pour l'analyse des sentiments (sentiment analysis)

Le package « sentiment » de R contient deux principales fonctions dédiées à l'analyse des sentiments (classify\_molaritiy et classify\_emotion<sup>48</sup>). La fonction classify\_polarity permet de classer un texte selon qu'il soit négatif, neutre ou positif en utilisant plusieurs techniques parmi

<sup>48</sup> Cette fonction permet d'analyser un texte et de le classer selon différents types d'émotions : anger, disgust, fear, joy, sadness, and surprise.

lesquelles le classifieur naïf bayésien comme méthode d'apprentissage statistique ou un algorithme de vote.

La figure 7.16 présente le code permettant de faire de la visualisation des données. Sur l'ensemble des tweets recueillis, 95% sont positifs à l'égard du projet de construction du troisième aéroport d'Istanbul, 4% sont négatifs et 1% est neutre. Si cette tendance se confirme avec un nombre plus grand de tweets, les pouvoirs politiques peuvent utiliser ce résultat comme argument pour justifier l'adhésion des citoyens à ce projet. La figure 6.17 affiche un histogramme portant sur la polarité des opinions issues des tweets.

```
# data visualization: plot distribution of polarity
ggplot(sent_df, aes(x=polarity)) +
  geom_bar(aes(y2=..count.., fill=polarity)) +
  scale_fill_brewer(palette="RdYy") +
  labs(x="polarity categories", y="number of tweets")
ggtitle("Sentiment Analysis: histogram of opinion (e-paprticipation)") +
  theme(plot.title = element_text(size=12))
```

Figure 6. 16: Code R pour la visualisation des résultats sur un histogramme

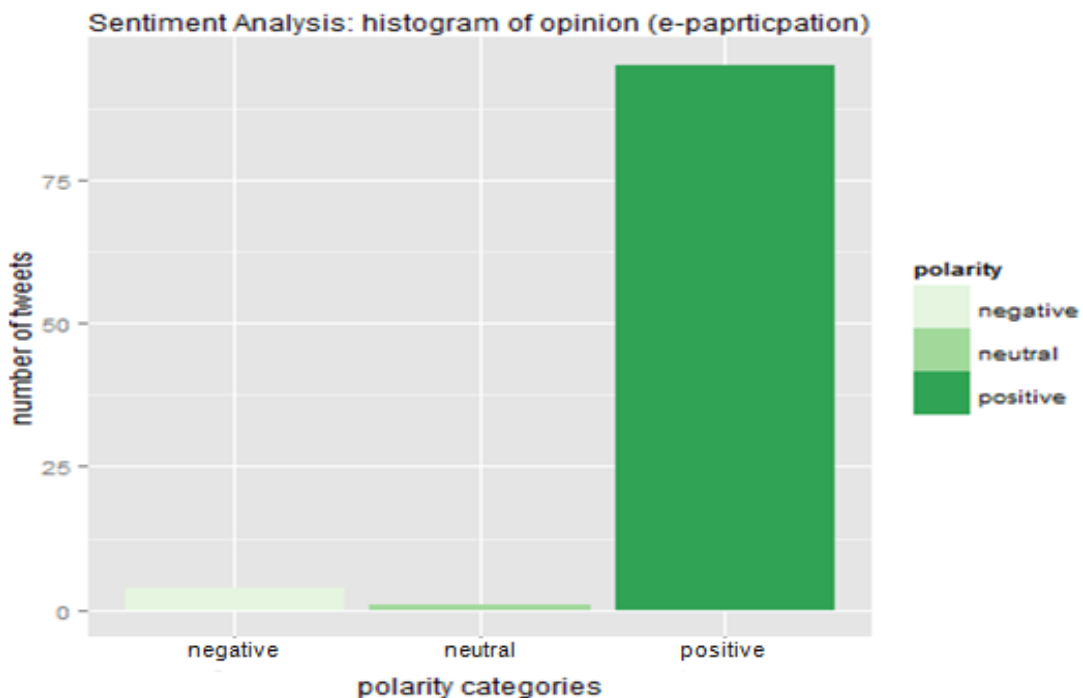


Figure 6. 17: Histogramme des opinions

## **VI- Conclusion**

Ce chapitre tire son importance dans l'aspect applicatif de nos travaux de recherche. Les objectifs visés par tous les travaux de recherche réalisés durant cette thèse ne seront véritablement atteints qu'avec l'utilisation effective d'un prototype mettant en évidence nos résultats scientifiques et technologiques.

Ainsi, ce chapitre amorce la phase de prototypage en présentant de façon détaillée les technologies et logiciels qui seront utilisés tout au long de cette phase. Ainsi, l'usage de JADE et JESS a permis d'implémenter les agents et les sous-agents du système. Protégé et Jena ont été utilisés pour la manipulation de l'ontologie de la dématérialisation des marchés publics et pour l'utilisation de cette dernière par les agents. Les technologies Big Data et data science (cluster computing, Hadoop, écosystème de Hadoop, Cloudera, Python et R) ont permis la mise en place d'une plateforme décisionnelle.

Ce chapitre s'achève par un exemple de l'approche e-participation des citoyens à la gouvernance des marchés publics en utilisant le logiciel R. Ce dernier a permis, à travers ces packages, de récupérer des tweets et d'effectuer des analyses statistiques (data science) plus précisément l'analyse des sentiments (sentiment analysis) et la visualisation des données (data visualization) pour cerner et comprendre les opinions des citoyens.

Nos efforts futurs porteront sur la continuation de ce prototypage afin d'aboutir à une solution informatique dont tous les aspects et composantes sont entièrement opérationnels.



---

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

---

L'e-gouvernement, fort de ses résultats tangibles et incontestables, a connu une adoption fulgurante et son développement, à travers les différents pays, se fait de façon croissante malgré les obstacles et défis à relever. Les marchés publics ne sont pas restés en marge de ce nouveau phénomène qui touche de nombreux secteurs dont la responsabilité de la gestion incombe au gouvernement.

Ce travail de thèse a débuté dans un contexte beaucoup plus général qui consistait à apporter une contribution scientifique en vue d'une bonne conduite du travail gouvernemental et au-delà booster le processus de développement de nos pays. Il s'agissait essentiellement de la mise en place d'un système d'information intelligent pour atteindre l'objectif précité. Vu la multiplicité des secteurs d'activités dans lesquels le gouvernement intervient et par souci d'efficacité et d'objectivité, nous avons dû faire un choix entre différents secteurs tels que l'état civil, les marchés publics, les impôts, la diplomatie, la santé, etc. Notre choix s'est porté sur les marchés publics car la mauvaise gouvernance dans ce secteur constitue un véritable frein au processus de développement de nos pays. En effet, la corruption rampante et la gabegie que connaît ce secteur, et ce, dans tous les pays<sup>49</sup>, engendrent la perte d'importantes ressources financières. Hormis ceux précités, ce secteur connaît d'autres problèmes<sup>50</sup>. Le recours à l'e-gouvernement via la dématérialisation des marchés publics est incontestablement une solution à tout ou partie de ces problèmes. Dans cette dynamique, nos travaux de recherche ont débuté par une étude approfondie de l'e-gouvernement et un cadrage logique des marchés publics qui a permis, d'une part, de cerner les causes et les effets de la mauvaise gouvernance des marchés publics et, d'autre part, de dresser une liste de solutions potentielles.

Pour une bonne planification de notre contribution en vue de la résolution des problèmes qui gangrènent la gestion des marchés publics, un projet de gestion des marchés publics a été mis en

---

<sup>49</sup> La corruption dans les marchés publics touche tous les pays du monde (les pays en voie de développement comme ceux dits développés)

<sup>50</sup> Ces problèmes ont été largement évoqués dans le chapitre II.

place comprenant plusieurs axes. En faisant usage des méthodes de l'intelligence artificielle et de data science, les axes suivants ont été développés :

- L'évaluation intelligente des offres à travers la proposition d'une méthode d'analyse et d'évaluation des offres et l'utilisation de la logique floue. En ce sens, une méthode a été mise en place en vue d'une analyse et une évaluation intrinsèque et relative des offres. En amont, la logique floue a été introduite lors de l'évaluation des offres au niveau des critères. Le cas du critère « référence » a été traité en exemple. Les résultats obtenus ont été publiés dans l'article (Diabagaté et al., 2014).
- La méthode AHP a également été utilisée dans le cadre d'une évaluation intelligente des offres. Il s'agissait d'utiliser cette méthode multicritère d'aide à la décision très utilisée pour l'analyse et l'évaluation des alternatives dans la résolution d'un problème donné afin d'en choisir la meilleure. Dans cette approche, le cas des marchés de réalisation de schéma directeur informatique a été pris comme exemple et étudié de façon exhaustive. Les travaux relatifs à cette approche ont été publiés dans l'article (Diabagaté et al., 2015b).
- Pour améliorer l'approche basée sur l'utilisation de la méthode AHP, les concepts d'ensembles flous ont été introduits via l'utilisation de la méthode FAHP, ce qui a permis de remédier aux limites de la logique booléenne afin d'avoir une évaluation plus efficace des offres. Les résultats obtenus dans la mise en œuvre de cette approche ont été soumis à un journal international (Diabagaté et al., article soumis).
- Les méthodes technologiques de l'intelligence artificielle, à savoir le paradigme multi-agents et les ontologies du web sémantique ainsi que les concepts du Big Data ont été utilisés pour la modélisation d'un système d'information décisionnel en vue d'une gouvernance efficace des marchés publics. Les résultats portant sur la concrétisation de cette démarche ont été soumis à un journal international (Diabagaté et al., 2015c).
- Dans le cadre de la mise en place d'une plateforme décisionnelle, nous avons fait usage des méthodes de data science. L'apprentissage statistique (machine) a été utilisé pour

construire un classificateur qui divise les marchés conclus en quatre groupes : ceux ayant été remportés par les très petites entreprises (TPE), ceux remportés par les petites et moyennes entreprises (PME), ceux remportés par les entreprises de taille intermédiaire (ETI) et ceux remportés par les grandes entreprises (GE). Pour un nouveau marché soumis à appel d'offres, ce classificateur offre les probabilités pour que ce dernier soit remporté par les entreprises appartenant aux quatre groupes d'entreprises précités. Les différents travaux réalisés pour concrétiser cette contribution ont été publiés dans l'article (Diabagaté et al., 2015a).

- Dans la dynamique de la création d'une plateforme décisionnelle, un outil d'aide à la décision basé sur l'e-participation des citoyens à la gouvernance des marchés publics a été proposé. Il s'agit, dans un contexte Big Data, de récupérer les avis des citoyens sur la passation, la réalisation et la période post-livraison des marchés publics et faire des analyses statistiques sur ces données. Pour ce faire, les techniques de data science telles que l'analyse des medias sociaux (social media analytics), l'analyse des sentiments (sentiment analysis), le traitement du langage naturel (natural language processing), l'apprentissage machine (machine learning) et la visualisation des données (data visualization) ont été utilisées. Un exemple de cette approche est présenté dans le chapitre portant sur le prototypage.

Etant donné que l'objectif de ce travail est la mise en place d'un système d'information en vue d'une bonne gouvernance des marchés publics, nos travaux ont également porté sur l'utilisation de méthodes technologiques de l'intelligence artificielle et des concepts de Big Data. Dans ce sens, les ontologies du web sémantique et le paradigme multi-agents ont été utilisés. Les technologies du Big Data à savoir Hadoop et des éléments de son écosystème (Hive, Pig, Sqoop, Mahout, Hbase, etc.) ont été intégrés ainsi que les packages de R et les modules de Python dédiés au data science.

Durant les travaux de recherches effectués tout au long de cette thèse, d'autres pistes ont été explorées à savoir :

- L'utilisation des méthodes probabilistes telles que les chaînes de Markov, les réseaux bayésiens pour estimer la probabilité de faire un mauvais choix lors de l'analyse et de l'évaluation des offres : la mise en œuvre de cette approche est basée sur des critères tels

que la faillite du prestataire, le non-respect des délais, la qualité des livrables, les litiges potentiels.

- L'utilisation des k-plus proches voisins pour la sélection de la meilleure offre : il s'agit, dans un premier temps, de construire une offre modèle dans le cadre de l'analyse et de l'évaluation des offres ; secundo, la méthode des k-plus proches voisins est appliquée et la meilleure offre est celle qui sera plus proche de l'offre modèle.
- L'utilisation des algorithmes génétiques dans le processus du choix de la meilleure offre : cette méthode de l'intelligence artificielle sera utilisée en amont pour présélectionner un groupe d'offres en éliminant les offres de faible qualité.

Nos regards se tournent à présent vers les nombreux challenges relatifs aux travaux post-thèse. Ainsi, nous ambitionnons, dans les travaux futurs d'explorer les axes suivants :

- l'utilisation des approches sur lesquelles s'appuie la modélisation de ce système pour mettre en place un générateur performant de solutions e-gouvernement. A travers ce générateur, des systèmes modulaires utilisant les ontologies du web sémantique et doté d'une composante décisionnelle diversifiée et efficace faisant appel aux méthodes de data science (statistique), pourront être mis en place pour d'autres secteurs tels que les marchés privés, la santé, l'état civil, la logistique, le commerce, l'enseignement, etc.;
- le développement des autres axes du projet de gestion des marchés publics proposé dans le chapitre III tels que le volet e-réputation ;
- l'amélioration de l'outil d'aide à la décision pour les entreprises en utilisant un jeu de données contenant de nouvelles variables et constitué de tous les marchés publics conclus sur plusieurs années en vue de la construction d'un classificateur meilleur ;
- la construction d'un nouveau classificateur capable de donner la probabilité de gagner un marché en fonction d'une entreprise donnée et non d'un groupe d'entreprises en se basant, en partie, sur les éléments de modélisation du classificateur déjà mis en place ;

- l'amélioration du processus d'évaluation des offres en explorant d'autres méthodes d'intelligence artificielle.

La réalisation complète de tous les aspects du prototype et la concrétisation des perspectives précitées sont essentiels pour l'atteinte de notre objectif à savoir l'instauration de la bonne gouvernance dans la gestion des marchés publics à travers un système d'information intelligent.

Au-delà de la bonne gouvernance des marchés publics, nous cherchons à travers cette thèse à :

- contribuer à la prospérité économique des Etats et des entreprises surtout les très petites entreprise (TPE) et les petites et moyennes entreprise (PME);
- booster le processus de développement de nos pays notamment ceux en voie de développement ;
- réduire la pauvreté et contribuer à l'épanouissement et au bien-être des populations.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Aicholzer, G., et Schmutzer, R., 2000. Organizational challenges to the development of electronic government. Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. London, United Kingdom.
- Aguaron, J., Escobar, M.T., Moreno-Jiménez, J.M., 2003. Consistency stability intervals for a judgement in AHP decision support systems. *Eur. J. Oper. Res.* 145, 382–393.
- Ahmad, N., Laplante, P.A., 2006. Software project management tools: making a practical decision using AHP, in: *Software Engineering Workshop, 2006. SEW'06. 30th Annual IEEE/NASA. IEEE*, pp. 76–84.
- Akarte, M., Surendra, N., Ravi, B., et Rangaraj, N., 2001. Web based casting supplier evaluation using analytical hierarchy process. *Journal of the Operational Research Society*, vol. 52 , pp. 511–522.
- Al-Busaidy, M.M., 2011. Evaluating the institutional factors affecting e-government implementation. Brunel University, School of Information Systems, Computing and Mathematics.
- Al-Jboori, A., 2006. E-Government in Saudi Arabia: Can It Overcome Its Challenges?. *eGovernment Workshop*, Brunel University.
- AlKhatib, H., 2013. E-government systems success and user acceptance in developing countries: The role of perceived support quality. Brunel University Brunel Business School PhD Theses.
- Al-Kibsi, G., de Boer, K., Mourshed, M. et Rea, N. P., 2001. Putting Citizens On-line, not in Line. *The McKinsey Quarterly* 2, pp. 64-73
- Al-Shehry, A., Rogerson, S., Fairweather, N. et Prior, M., 2006. The Motivations for Change towards E-Government Adoption: Case Studies from Saudi Arabia. *eGov 2006, Proceedings of the E-Government Workshop 2006*. Brunel, London.
- Al-Wazir, A.A., Zheng, Z., 2012. E-government development in Yemen: assessment and solutions. *J Emerg Trends Comput Inf Sci* 3, 512–518.
- Aman,A et Kasimin.H, 2011. E-procurement implementation: a case of Malaysia government. *Transforming Government: People, Process and Policy*, Vol.5, No.4, pp.33-44.
- Ameyaw, C., Mensah, S., 2013. Curbing Corruption in the Public Procurement Process in Ghana. *Public Policy Adm. Res.* 3, 44–53.
- Ameyaw, C., Mensah, S., Osei-Tutu, E., 2012. Public procurement in Ghana: The implementation challenges to the public procurement law 2003 (Act 663). *Int. J. Constr. Supply Chain Manag.* 2, 55–65.
- Arbin, K., 2006. The electronic procurement adoption and usage model, in: *Proceedings of the 15th IPSERA Conference*, San Diego, US.
- Atanasova-Pacemska, T., Lapevski, M., Timovski, R., 2014. Analytical Hierarchical Process (AHP) method application in the process of selection and evaluation.

- Auriol, E., 2006. Corruption in procurement and public purchase. *Int. J. Ind. Organ.* 24, 867–885. doi:10.1016/j.ijindorg.2005.11.001
- Auriol, E., 2004. The Cost of Corruption in Procurement and Public Purchase.
- Avikal, S., Jain, R., Mishra, P.K., 2014. A Kano model, AHP and M-TOPSIS method-based technique for disassembly line balancing under fuzzy environment. *Appl. Soft Comput.* 25, 519–529. doi:10.1016/j.asoc.2014.08.002
- Awasthi, A., Chauhan, S.S., 2011. Using AHP and Dempster–Shafer theory for evaluating sustainable transport solutions. *Environ. Model. Softw.* 26, 787–796. doi:10.1016/j.envsoft.2010.11.010
- Backus, M., 2001. E-Governance and Developing Countries, Introduction and examples, Research Report, No. 3.
- Banque Mondiale, 2011, <http://web.worldbank.org/wbsite/external/topics/extinformationandcommunicationandtechnologies/extegovernment/0,contentMDK:20507153~menuPK:702592~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:702586,00.html>
- Banque Mondiale, 2003. <http://web.worldbank.org/wbsite/external/topics/extinformationandcommunicationandtechnologies/extegovernment/0,menuPK:702592~pagePK:149018~piPK:149093~theSitePK:702586,00.html>.
- Banque Mondiale, 2003. Ghana 2003 Country Procurement Assessment Report, Ghana Country Department, World Bank, Washington, DC.
- Bannister, F., Walsh, N., 2002, The virtual public servant: Ireland's public services broker. *Information Polity: The International Journal of Government & Democracy in the Information Age*, pp.115.
- Basheka, B.C., 2008. Economic and Political Determinants of Public Procurement Corruption in the Developing Countries: An Empirical Study from Uganda, in: 18 Th IPSERA Conference Supply Management–Towards an Academic. pp. 29.
- Bhatnagar, S. , 2002. E-government: Lessons from Implementation in Developing Countries. *Regional Development Dialogue*, United Nations Centre for Regional Development (UNCRD), Vol. 24.
- Berners-Lee, T., 1998. *Weaving the Web*. Harper Eds, San Francisco, 1998.
- Berners-Lee, T., et al., 2001, *The Semantic Web*, Scientific American.
- Been-Lan, O., Derek S, Hing-Po, L. 2008, A comparison of contractor's decision to bid behaviour according to different market environments, *Int. J. Project Management*, Vol.26(4), pp.439-447.
- Besse, P., Garivier, A., Loubes, J.M., 2014. *Big Data Analytics-Retour vers le Futur 3; De Statisticien à Data Scientist*.
- Birks C., Bond S., Radford M., 2001. *Guide to e-Procurement in the Public Sector: Cutting through the Hype*. Office of Government Commerce, HMSO, London.
- Bonabeau, E., Theraulaz, G., 1994. *Intelligence Collective*. Paris : Hermès.
- Briody, D., 2004. *The Halliburton agenda: the politics of oil and money*. Wiley, Hoboken, N.J.
- Breiman. L., 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 45 :5-32

- Brewer, A., 2000. Towards robust distributed systems. In: Proceedings of the nineteenth annual ACM symposium on Principles of distributed computing. PODC '00. Portland, Oregon, United States: ACM.
- Carter, L., Bélanger, F., 2005. The utilization of e-government services: Citizen trust, innovation and acceptance factors. *Information Systems Journal*, Vol. 15, pp. 5-25
- Chaib-draa, B., 1996. Interaction between agents in routine, familiar and unfamiliar situations. *International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, 1(5), pp. 7-20
- Chan, F. T. S., Kumar, N., 2007. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega International Journal of Management Science*, 35, pp. 417-431
- Chang, D.-Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur. J. Oper. Res.* 95, 649-655.
- Chen, Y., Chen, H., Huang, W., Ching, R., 2006. E-Government Strategies in Developed and Developing Countries: An Implementation Framework and Case Study. *Journal of Global Information Management* 14(1), pp. 23-46
- Chihoub, H., 2013. Managing Consistency for Big Data Applications on Clouds: Tradeoffs and Self-Adaptiveness. *Ecole Normale Supérieure de Cachan*.
- Choudrie, J., Ghinea, G., Weerakkody, V., 2004. Evaluating Global e-Government Sites: A view using Web Diagnostic Tools. *Electronic Journal of E-Government*, 2 (2). pp. 105-114.
- Chu, C., Kim, S.K., Lin, Y.-A., Yu, Y., Bradski, G., Ng, A.Y., Olukotun, K., 2007. Map-reduce for machine learning on multicore. *Adv. Neural Inf. Process. Syst.* 19, 281.
- Chourabi, H., Mellouli, S., 2011. e-government: integrated services framework. Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times. College Park, Maryland: ACM.
- Cohen, P. R., Levesque, H. J. 1995. Communicative actions for artificial agents. In Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS- 1), pp. 65-72, San Francisco, CA.
- Commission Européenne, 2013. Public Procurement: costs we pay for corruption. [http://ec.europa.eu/anti\\_fraud/documents/anti-fraud-policy/research-and-studies/pwc\\_olaf\\_study\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/anti_fraud/documents/anti-fraud-policy/research-and-studies/pwc_olaf_study_en.pdf), consulté en mars 2016.
- Dalalah, D., Al-Oqla, F., Hayajneh, M., 2010. Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of cranes. *Jordan J. Mech. Ind. Eng.* 4, 567-578.
- Davila, A., Gupta, M., Palmer, R., 2003. Moving Procurement Systems to the Internet: the Adoption and Use of E-Procurement Technology Models. *Eur. Manag. J.* 21, 11-23.
- De la Maza, J.C., Cambolor, R., 2004. Government procurement and free trade in the Americas. *Bueno Air. Argentine*, ISBN: 950-738-084- 1.
- DeCandia, G., 2007. Dynamo: amazon's highly available key-value store. In: Proceedings of twenty-first ACM SIGOPS symposium on Operating systems principles. SOSP '07. Stevenson, Washington, USA, pp. 205-220.



- Demirel, T., Demirel, N.Ç., Kahraman, C., 2008. Fuzzy analytic hierarchy process and its application, in: *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making*. Springer, pp. 53–83.
- Deng, X., Hu, Y., Deng, Y., Mahadevan, S., 2014. Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers. *Expert Syst. Appl.* 41, 156–167. doi:10.1016/j.eswa.2013.07.018
- Desaubry, L., 2009. La dématérialisation des dossiers documentaires : les enjeux et les techniques. Mémoire de titre professionnel, Institut National des Techniques de la documentation.
- Diabagaté, A., Azmani, A., EL Harzli, M., 2014. Tendering process: improvement of analysis and evaluation of tenders based on the use of fuzzy logic and rule of proportion. *International Journal of Computer Applications*, Vol. 101-No.14.
- Diabagaté, A., Azmani, A., EL Harzli, M., 2015a. E-tendering: multi-agents decision support system for businesses integrating the concepts of machine learning. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, Vol.6, No.5.
- Diabagaté, A., Azmani, A., EL Harzli, M., 2015b. The choice of the best proposal in tendering based on the use of AHP method: case of procurement of IT master plan's realization. *Internal Journal of Information Technology and Computer Science*, Vol.7, No.12.
- Diabagaté, A., Azmani, A., EL Harzli, M., 2015c. Modeling of a multi-agents system for tendering integrating the concepts of ontology and Big Data. *Global Journal of Computer Science*, Vol.5, No.2.
- Drew, M.A.S.J., 2011. E-government principles: implementation, advantages and challenges. *Int. J. Electron. Bus.* 9, 255–270.
- Durfee, E.H., Lesser, V.R., Corkill, D.D., 1989. Trends in cooperative distributed problem solving. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 1, pp. 63 –83.
- Eadie, R., Perera, S., Heaney, G., Carlisle, J., 2007. Drivers and barriers to public sector e-procurement within northern ireland's construction industry. Vol.12, pp.103-120.
- Emerson, J.W., Kane, M.J., Weston, S., 2013. Scalable Strategies for Computing with MassiveData. *J. Statistical Softw.* Vol. 10.
- Ertugrul, I., Karakasoglu, N., 2006. The fuzzy analytic hierarchy process for supplier selection and an application in a textile company. In *Proceedings of 5<sup>th</sup> international symposium on intelligent manufacturing systems*, pp. 195–207.
- Fagin, R., Halpern, I. Y., Moses, Y., Vardi, M. Y., 1995. *Reasoning about Knowledge*. the MIT Press : Cambridge, MA.
- Fan, J., Liu, H., 2013. Statistical analysis of big data on pharmacogenomics. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 65, 987–1000. doi:10.1016/j.addr.2013.04.008
- Fatima, M., Hamid, S., 2009. Comparaison de méthodes de classification réseau RBF, MLP et RVFLN1. *Damascus Univ. J.* Vol25-No2.
- Ferber, J., 1995. *Les Systemes Multi-Agents : Vers une intelligence collective*. InterEditions.
- Forrest, S., 1991. *Emergent Computation*, MIT Press, Cambridge : Elsevier.
- Franek, J., Kresta, A., 2014. Judgment Scales and Consistency Measure in AHP. *Procedia Econ. Finance* 12, 164–173. doi:10.1016/S2212-5671(14)00332-3
- Fraser, C., 2009. E-government: The Canadian experience.

- Gandon, F., Faron, O., Zucker, C., eCorby, O., 2012. *Le Web sémantique: comment lier les données et les schémas sur le Web?* Paris: Dunod.
- Gardenal, F., D'Angelo, A., Manzo, V., 2013. A model to measure e-procurement impacts on organizational performance. *J. public procure.* 13.
- Gascó, M., 2007. *Institutions (Also) Matter in E-Government: The Case of Bolivia.* RMA International Conference.
- Genuer, R., 2010. *Forêts aléatoires : aspects théoriques, sélection de variables et applications.* Thèse de doctorat, Université Paris-Sud XI.
- Gilbert, D., Balestrini, P., Littleboy, D., 2004. Barriers and Benefits in the Adoption of E-Government. *The International Journal of Public Sector Management* 17(4), pp.286-301.
- Greenwood, D., Lyell, M., Mallya, A., Suguri, H., 2007. The IEEE FIPA Approach to Integrating Software Agents and Web Services. *Proc. International Conference on Autonomus Agent (AAMAS'07).*
- Gruber, T. R., 1995. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing?. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vol. 43, n° 5, pp. 907–928.
- Gu, R., Shen, F., Huang, Y., 2013. A parallel computing platform for training large scale neural networks, in: *Big Data, 2013 IEEE International Conference on.* IEEE, pp. 376–384.
- Gupta, M. P., Jana, D., 2003. E-government evaluation: A framework and case study. *Government Information Quarterly*, 20, pp. 365-387.
- Hardin, J., Hoerl, R., Horton, N.J., Nolan, D., 2014. *Data Science in the Statistics Curricula: Preparing Students to “Think with Data.”* ArXiv Prepr. ArXiv14103127.
- Hartung, W.D., 2012. *The Military-Industrial Complex Revisited: Shifting Patterns of Military Contracting in the Post-9/11 Period.* Costs War.
- Hatush, Z., Skitmore, M., 1997. *Criteria for contractor selection*", *Construction Management and Economics*, Vol. 15 Iss: 1, pp.19 – 38.
- Hatush, Z., Skitmore, M., 1997b. *Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach.* *Constr. Manag. Econ.* 15, 327–340.
- Heeks, R., 2003b. *Most E-Government-for-Development Projects Fail: How Can Risks Be Reduced?.* iGovernment Working Paper Series. United Kingdom: Institute for Development Policy and Management, University of Manchester.
- Hitzler, P., Krötzsch, M., Rudolph, S., 2009. *Foundations of Semantic Web technologies.* Boca Raton: CRC Press.
- Howard, M., 2001. *E-Government across the globe: How will "e" change government?.* *Government Finance Review*, vol. 17, Issue 4, pp. 6-9.
- Huang, T., Lan, L., Fang, X., An, P., Min, J., Wang, F., 2015. *Promises and Challenges of Big Data Computing in Health Sciences.* *Big Data Res.* doi:10.1016/j.bdr.2015.02.002
- Hung, Q., Fung, J., 2013. *Prioritizing the Factor Weights Affecting Tourism Performance by FAHP.* *Int. J. Eng. Bus. Manag.* 1. doi:10.5772/57141

- Hu, W., Qian, Y., Soong, F.K., Wang, Y., 2015. Improved mispronunciation detection with deep neural network trained acoustic models and transfer learning based logistic regression classifiers. *Speech Commun.* 67, 154–166. doi:10.1016/j.specom.2014.12.008
- Hwang, M.S., Li C.T, Shen. J.J, CHU. Y.P., 2004. Challenges in e-government and security of information. *Information & Security*, vol.15, No.1, pp. 9-20.
- Foster, I., 2002. What is the Grid? - a three point checklist. In: *GRIDtoday 1.6*
- Foster, I., Kesselman, C., 1999. The grid. In: ed. by Ian Foster and Carl Kesselman. *Morgan Kaufmann Publishers Inc.*, Chap. Computational grids, pp. 15–51.
- IDC, 2013. World's data will grow by 50X in next decade, IDC study predicts. URL: [http://www.computerworld.com/s/article/9217988/World\\_s\\_data\\_will\\_grow\\_by\\_50X\\_in\\_next\\_decade\\_IDC\\_study\\_predicts](http://www.computerworld.com/s/article/9217988/World_s_data_will_grow_by_50X_in_next_decade_IDC_study_predicts).
- Ilshamar, L., Bjurström, A., Gronlund, A., 2005. Public E-Services in Sweden —Old Wine in New Bottles. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 17(2), pp.11–40
- Irani, Z., Love, P. E. D., Jones, S., 2008. Learning lessons from evaluating e-government: Reflective case experiences that support transformational government. *The Journal of Strategic Information Systems*, 17, pp. 155-164.
- Ishii, N., Takano, Y., Muraki, M., 2014. An order acceptance strategy under limited engineering man-hours for cost estimation in Engineering–Procurement–Construction projects. *Int. J. Proj. Manag.* 32, 519–528. doi:10.1016/j.ijproman.2013.07.009
- Jalao, E.R., Wu, T., Shunk, D., 2014. A stochastic AHP decision making methodology for imprecise preferences. *Inf. Sci.* 270, 192–203. doi:10.1016/j.ins.2014.02.077
- Jifa, G., Lingling, Z., 2014. Data, DIKW, Big Data and Data Science. *Procedia Comput. Sci.* 31, 814–821. doi:10.1016/j.procs.2014.05.332.
- Jurčík, R., 2013. Small and Medium Size Enterprises (SME) and public procurement.
- Kaliannan.M., Awang.H, 2009. ICT to enhance administrative performance: a case study from Malaysia. *International Journal of Business and Management*, Vol.3, No.5.
- Karavasilis, I., Zafiroopoulos, K., Vrana, V., 2010. Extending TAM to Understand E-Governance Adoption by Teachers in Greece. *Communications in Computer and Information Science*, vol. 112, pp. 57-68.
- Karjalainen, K., Kemppainen, K., 2008. The involvement of small- and medium-sized enterprises in public procurement: Impact of resource perceptions, electronic systems and enterprise size. *J. Purch. Supply Manag.* 14, 230–240. doi:10.1016/j.pursup.2008.08.003
- Kaufmann, M., Tobias, S., Schulin, R., 2009. Quality evaluation of restored soils with a fuzzy logic expert system. *Geoderma* 151, 290–302. doi:10.1016/j.geoderma.2009.04.018
- Khan, G.F., Moon, J., Rhee, C., Rho, J.J., 2010. E-government Skills Identification and Development: Toward a Staged-Based User-Centric Approach for Developing Countries. *Asia Pacific Journal of Information Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 1-31.
- Kim, J.W., Choi, S.Y., Kim, J., KIM, J.J., n.d. Study on a way to estimate reasonable cost of construction works-focused on formworks in Korea.

- Koning, P., van de Meerendonk, A., 2014. The impact of scoring weights on price and quality outcomes: An application to the procurement of Welfare-to-Work contracts. *Eur. Econ. Rev.* 71, 1–14. doi:10.1016/j.euroecorev.2014.06.017
- Kotsiantis, S.B., Zaharakis, I., Pintelas, P., 2007. Supervised machine learning: A review of classification techniques.
- Kourou, K., Exarchos, T.P., Exarchos, K.P., Karamouzis, M.V., Fotiadis, D.I., 2015. Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 13, 8–17. doi:10.1016/j.csbj.2014.11.005
- Kovacs, A., 2004. Enhancing procurement practices, Buxton: Kluwer Academic. in Ngobeni, S., 2004. An analysis of the tender process in national government in South Africa. Master thesis, South Africa.
- Krasniqi, S., 2012. Public procurement procedures and its cycles. *Int. J. Res. Rev. Appl. Sci.* 10.
- Kumar, M., Thenmozhi, M., 2006b. Forecasting stock index movement: A comparison of support vector machines and random forest, in: Indian Institute of Capital Markets 9th Capital Markets Conference Paper.
- Kwon, O., Lee, N., Shin, B., 2014. Data quality management, data usage experience and acquisition intention of big data analytics. *Int. J. Inf. Manag.* 34, 387–394. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2014.02.002
- Lahoud, I., 2013. Un système multi-agents pour la gestion des connaissances hétérogènes et distribuées. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
- Lai, W., Han-lun, L., Qi, L., Jing-yi, C., Yi-jiao, C., 2011. Study and implementation of fire sites planning based on GIS and AHP. *Procedia Eng.* 11, 486–495. doi:10.1016/j.proeng.2011.04.687
- Lam, W., 2005. Barriers to e-government integration. *Journal of Enterprise Information Management*, 18, 511-530.
- Laryea, S., 2008. The tendering process and performance analysis of a public building project in Ghana.
- Lau, E., 2003. Challenges for E-Government Development, 5th Global Forum on Reinventing Government. Mexico: Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD), 5.
- Lau, E., 2005. E-Government and the Drive for Growth and Equity. Proceedings of the Conference from E-Gov to I-Gov.
- Lee, S., Kim, W., Kim, Y.M., Oh, K.J., 2012. Using AHP to determine intangible priority factors for technology transfer adoption. *Expert Syst. Appl.* 39, 6388–6395. doi:10.1016/j.eswa.2011.12.030
- Lima Junior, F.R., Osiro, L., Carpinetti, L.C.R., 2014. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Appl. Soft Comput.* 21, 194–209. doi:10.1016/j.asoc.2014.03.014
- Liu, J., Tan, Y.H., 2008. Moral hazard and G2B control procedures redesign. The Proceedings of the 9th Annual International Digital Government Research Conference 2008, pp. 421-422.

- Loader, K., 2015. SME suppliers and the challenge of public procurement: Evidence revealed by a UK government online feedback facility. *J. Purch. Supply Manag.* 21, 103–112. doi:10.1016/j.pursup.2014.12.003
- Ma, C., Zhang, H.H., Wang, X., 2014. Machine learning for Big Data analytics in plants. *Trends Plant Sci.* 19, 798–808. doi:10.1016/j.tplants.2014.08.004
- Malekipirbazari, M., Aksakalli, V., 2015. Risk assessment in social lending via random forests. *Expert Syst. Appl.* 42, 4621–4631. doi:10.1016/j.eswa.2015.02.001
- Mardas, D., 2015. Monitoring Public Procurement Using a Fuzzy Logic System. *J. Stock Forex Trading* 04. doi:10.4172/2168-9458.1000139
- Mateus, R., Ferreira, J.A., Carreira, J., 2010. Full disclosure of tender evaluation models: Background and application in Portuguese public procurement. *J. Purch. Supply Manag.* 16, 206–215. doi:10.1016/j.pursup.2010.04.001
- McCarthy, J., 1980. Circumscription – A Form of Non-Monotonic Reasoning, *Artificial Intelligence*, 5: 13, 27–39.
- Mohamad, R., Hamdan, A.R., Othman, Z.A., Noor, N.M.M., 2010. Decision support systems (dss) in construction tendering processes. *ArXiv Prepr. ArXiv10043260*.
- Ndou, V.D., 2004. E-government for developing countries: opportunities and challenges. *The Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries*, Vol. 18 No.1, pp.1-24.
- Neches, R., 1991. Knowledge Representation Standards Effort. Forthcoming in the *AI Magazine*.
- Nepelski, D., 2006. The impact of e-procurement on the number of suppliers: where to move to? *DIW-Diskussionspapiere*.
- Neupane, A., Soar, J., Vaidya, K., Yong, J., 2012. Role of public e-procurement technology to reduce corruption in government procurement, in: *Proceedings of the 5th International Public Procurement Conference (IPPC5)*. Public Procurement Research Center, pp. 304–334.
- Ng, S., Skitmore, R., 1999. Client and consultant perspectives of prequalification criteria. *Build. Environ.* 34, 607–621. doi:10.1016/S0360-1323(98)00050-X
- Noh, Y.K., 200., ICT development in Korea, [www.tiaonline.org/gov\\_affairs/events/Young Noh\\_Presentation.ppt](http://www.tiaonline.org/gov_affairs/events/Young_Noh_Presentation.ppt)
- NOIE, 2002. Improving Confidence, Trust and Security. <http://www.noie.gov.au/projects>
- Ogunsemi.D.R., Aje. I.O., 2006. A model for contractors' selection in Nigeria. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, Vol. 11 Iss: 1, pp.33 – 44.
- OECD, 2003. *Manuel de Frascati 2002: Méthode type proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental, La mesure des activités scientifiques et technologiques*, OECD Publishing, Paris.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, Asian Development Bank, 2008. *Fighting bribery in public procurement in Asia and the Pacific: proceedings of the 7th Regional Seminar on making international anti-corruption standards operational*, Bali, 5-7 November 2007. OECD, Paris.

- ONU, 2004. Global E-government Readiness Report 2004: Towards Access for Opportunity. UNPAN/2004/11. New York: UN.
- ONU, 2012. United Nations E-Government Survey 2012: E-Government for the People, New York, United Nations, Department of Economic and Social affairs.
- ONU, 2014. United Nations E-Government Survey 2014: E-Government for the future we want, New York, United Nations, Department of Economic and Social affairs.
- Osiro, L., Lima-Junior, F.R., Carpinetti, L.C.R., 2014. A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development. *Int. J. Prod. Econ.* 153, 95–112. doi:10.1016/j.ijpe.2014.02.009
- Owen, S., Anil. R., Dunning, T., Friedman, T., 2012. Mahout in Action. New York : Manning Publications Co.
- Oyediran, O.S., Akintola, A.A., 2011. A survey of the state of the art of e-tendering in Nigeria.
- Pal, M., 2012. Multinomial logistic regression-based feature selection for hyperspectral data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 14, 214–220. doi:10.1016/j.jag.2011.09.014
- Palvial, C., Sharma S., 2007. E-Government and E-Governance: Definitions/ Domain Framework and Status around the World. in the book *Foundation of E-governement*.
- Panga, F.P., Kazungu, I., 2015. Empowering small and medium enterprises (smes) to harness public procurement opportunities experience from mwanza tanzania. *Int. J. of Economics, Commerce and Management*, Vol.3(3), pp. 1-14.
- Parida, V., Sophonthummapharn, K., 2010. The effect of benefits and risks on e-procurement implementation: an exploratory study of Swedish and Indian firms. *Int. J. Inf. Commun. Technol.* 2, 186–201.
- Pedrycz, W., Song, M., 2014. A granulation of linguistic information in AHP decision-making problems. *Inf. Fusion* 17, 93–101. doi:10.1016/j.inffus.2011.09.003
- Pictet.J., Bollinger.D., 2008. Extended use of the cards procedure as a simple elicitation technique for MAVT. Application to public procurement in Switzerland. *European Journal of Operational Research*, vol.185, No.3.
- Quayle, T., 2005. The (real) Management implications of e-procurement. *Journal of General Management*, Vol.31, No.1, pp. 23-39.
- Rahmani, N., Talebpour, A., Ahmadi, T., 2012. Developing a Multi Criteria Model for Stochastic IT Portfolio Selection by AHP Method. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 62, 1041–1045. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.177
- Reffat, R., 2006. Developing a Successful E-Government Affairs. Available from: [http://faculty.kfupm.edu.sa/ARCH/rabee/publications\\_files/03Reffat\\_eGov.pdf](http://faculty.kfupm.edu.sa/ARCH/rabee/publications_files/03Reffat_eGov.pdf)
- Reza, B., Sadiq, R., Hewage, K., 2011. Sustainability assessment of flooring systems in the city of Tehran: An AHP-based life cycle analysis. *Constr. Build. Mater.* 25, 2053–2066. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.041
- Rezaei, J., Fahim, P.B.M., Tavasszy, L., 2014. Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP. *Expert Syst. Appl.* 41, 8165–8179. doi:10.1016/j.eswa.2014.07.005

- Rillaed.M.V, 2011. Critères d'attribution - Choix, pondération, cotation et motivation. Mouvement Communal, Belgique.
- Roux. M, 2007. Appel d'offres, Rediger.Repondre.Analyser », Eddition d'organisation, EYROLLES, France, 202 pages.
- Roze, F., 2012. Dématérialisation des procédures de marchés publics et gain de productivité. *Le Pharmacien Hospitalier et Clinicien*, Vol.45, No.1, pp.34-38.
- Saaty, R.W., 1987. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Math. Model.* 9, 161–176.
- Saaty, T.L., 1991. Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process. *Behaviormetrika* 29, 1–9.
- Sandoval-Almazan, R., Gil-Garcia, J. R. 2012. Are government internet portals evolving towards more interaction, participation, and collaboration? Revisiting the rhetoric of e-government among municipalities. *Government Information Quarterly*, 29, Supplement 1, S72-S81.
- Sarencheh, S., Bigham, B. S., 2011. An applicable master plan to develop city's information technology infrastructure, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 3, pp. 840-847.
- SAS, 2013. Big Data – What Is It?. URL: <http://www.sas.com/big-data/>.
- Scholl, H., 2006. Electronic Government: Information Management Capacity, Organizational Capabilities, and the Sourcing Mix. *Government Information Quarterly* 23(1), pp. 73-96
- Schuppan, T., 2009. E-Government in developing countries: Experiences from sub-Saharan Africa. *Government Information Quarterly* 26(1), pp.118–127
- Seifert, J., Petersen, E., 2002. The Promise Of All Things E? Expectations and Challenges of Emergent E- Government. *Perspectives on Global Development and Technology*, 1, pp.193-213.
- Shah, A., 2006. Corruption and decentralized public governance. *World Bank Policy Res. Work. Pap.*
- Sharifi, H., Zarei, B., 2004. An adaptive Approach for Implementing E-Government in I.R. Iran. *Journal of Government Information* 30(5-6), pp. 600-619.
- Shehadeh, M., Ebrahimi, N., Ochigbo, A., 2012. Predicting the Type of Nanostructure Using Data Mining Techniques and Multinomial Logistic Regression. *Procedia Comput. Sci.* 12, 392–397. doi:10.1016/j.procs.2012.09.092
- Shalini, R., 2009. Are Mauritians ready for e-Government services?. *Government Information Quarterly* 26(3), pp. 536-539.
- Shaw, K., 2012. Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain," *Expert Systems With Applications*, vol.39, n°9, pp.8182–8192.
- Shen, L., Muduli, K., Barve, A., 2013. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. *Resour. Policy*. doi:10.1016/j.resourpol.2013.10.006

- Shi, Y., Yu, P.S., Zhu, Y., Tian, Y., 2014. Explore New Field of Data Science Under Big Data Era: Preface for ICDS 2014. *Procedia Comput. Sci.* 30, 1–3. doi:10.1016/j.procs.2014.05.374
- Siau, K., Long, Y., 2005. Synthesizing e-government stage models- a meta-synthesis based on meta-ethnography approach. *Industrial Management & Data Systems*, vol.105, pp.443-458
- Simonin, O., 2010. Contribution à la résolution collective de problème - Modèles d'auto-organisation par interactions directes et indirectes dans les SMA réactifs et robotiques. PhD thesis, Université Henri Poincaré (Nancy I).
- Singh, G., Naz, R., Smith, R.F.I., 2006. Exploring the Potential of e-Governance Applications for Reducing Corruption: The Case of the Indian Public Sector RD Pathak RS Prasad.
- Smith, M. K., Welty, C., McGuinness, D., 2004. OWL Web Ontology Language Guide. <http://www.w3.org/TR/owlguide/>
- Srimathi, C., Subaji, M., Baby, A.S., Raveendran, D., 2006. A study on distributed data mining frameworks.
- Special Committee for e-Government Republic of Korea, 2003, Disponible à partir du lien: <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/APCITY/UNPAN015126.pdf>
- Stake, J., SME participation and success in public procurement, Proceeding of Nordic Workshop in Industrial Organization, 2014
- Stephens, J., Valverde, R., 2013. Security of E-Procurement Transactions in Supply Chain Reengineering. *Comput. Inf. Sci.* 6. doi:10.5539/cis.v6n3p1
- Stonebraker, 2013, 3D data management: Controlling data volume, variety and velocity. URL: <http://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>.
- Studer, R., Benjamins, V.R., Fensel, D., 1998. Knowledge engineering: principles and methods. *Data Knowledge Engineering*, Elsevier Ltd, Volume 25, Issues 1-2, pp.161-197.
- Subramaniam, C., Shaw, M., 2004. The effects of process characteristics on the value of B2B E-procurement. *Inf. Technol. Manage.*, Vol. 5, pp. 161–180.
- Swarnkar, R., Chaube, A., Harding, J.A., Das, B.P., Tiwari, M.K., 2009. Prioritising tendering activities for small to medium-sized enterprises (SMEs).
- Syamsuddin, I., Hwang, J., 2009. The Application of AHP Model to Guide Decision Makers: A Case Study of E-banking Security. *IEEE*, pp. 1469–1473. doi:10.1109/ICCIT.2009.251
- Sycara, K. P., 1988. Resolving goal conflicts via negotiation. In *Proceedings of the 7th National Conference on Artificial Intelligence*, pages 245-250, St. Paul, Minnesota.
- Tillväxtverket, 2011. Offentlig upphandling - företagens deltagande, Stockholm.
- Talluri, S., Chung, W., Narasimhan, R., 2006. An optimization model for phased supplier integration into e-procurement system. *IIE Transactions*, Vol.38, No.5, pp. 389-399.
- Tang, Y., Sun, H., Yao, Q., Wang, Y., 2014. The selection of key technologies by the silicon photovoltaic industry based on the Delphi method and AHP (analytic hierarchy process): Case study of China. *Energy* 75, 474–482. doi:10.1016/j.energy.2014.08.003



- Tas, A., 2012. A Fuzzy AHP approach for selecting a global supplier in pharmaceutical industry. *Afr. J. Bus. Manag.*, vol. 6, n° 14.
- Taylan, O., Bafail, A.O., Abdulaal, R.M.S., Kabli, M.R., 2014. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Appl. Soft Comput.* 17, 105–116. doi:10.1016/j.asoc.2014.01.003
- Trkman, P., McCormack, K., 2010. Estimating the Benefits and Risks of Implementing E-Procurement. *IEEE Trans. Eng. Manag.* 57, 338–349. doi:10.1109/TEM.2009.2033046
- Tsai, K., Chou, F., 2011. Developing a Fuzzy Multi-attribute Matching and Negotiation Mechanism for Sealed-bid Online Reverse Auctions. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 6, 13–14. doi:10.4067/S0718-18762011000300007
- Unesco, [http://portal.unesco.org/ci/en/ev.phpURL\\_ID=3038&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/ci/en/ev.phpURL_ID=3038&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html), 2011.
- United Nations Commission on International Trade Law, 2008. Conference of the States Parties to the United Nations Conventions against Corruption: United Nations.
- UNODC, 2004. United Nations handbook on practical anti-corruption measures for prosecutors and investigators. <http://www.unodc.org/pdf/crime/corruption/Handbook.pdf>.
- Vanjoki, V., others, 2012. Problems related to the adoption of e-procurement for indirect purchases.
- Vigneron, J., 2013. Contribution des ontologies à la création de bases de connaissances pour la maîtrise des conformités réglementaires en santé, sécurité au travail et environnement. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Voskoglou, M., 2013. Fuzzy Logic as a Tool for Assessing Students' Knowledge and Skills. *Educ. Sci.* 3, 208–221. doi:10.3390/educsci3020208
- Warkentin, M., Gefen, D., Pavlou, P., Rose, G., 2002. Encouraging citizen adoption of e-government by building trust. *Electronic Markets*, 12, 157-162.
- Warren, J., Beliakov, G., Van der Zwaag, B., 2000. Fuzzy logic in clinical practice decision support systems, in: *System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on. IEEE*, p. 10–pp.
- Watt, D.J., Kayis, B., Willey, K., 2010. The relative importance of tender evaluation and contractor selection criteria. *Int. J. Proj. Manag.* 28, 51–60. doi:10.1016/j.ijproman.2009.04.003
- Werner, J., 2008, Accountability, Transparency and Citizen Trust in Government. (In Eds.) United Nations, CEPA, 8th Session, Disponible à partir du lien: <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/un-dpadm/unpan038687.pdf>.
- Were, K., Bui, D.T., Dick, Ø.B., Singh, B.R., 2015. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forests for predicting and mapping soil organic carbon stocks across an Afrotropical landscape. *Ecol. Indic.* 52, 394–403. doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.028
- Wong C., Sloan B., 2004. Use of ICT for e-procurement in the UK construction industry: a survey of SMES readiness, *ARCOM Proceedings Twentieth Annual Conference 2004* (Khosrowshami, F, editor) September 1-3 Vol. 1. 620 – 628.

- Woods. G.G., 2001. *Financial Management and cost accounting*”, Cape Town: University of Stellenbosch, 2001.
- Wooldridge, M., Jennings, N., Kinny, D., 1999. A methodology for agent-oriented analysis and design.
- Wu. F., Zsidisin.G.A., Ross.A.D., 2007. Antecedents and outcomes of e-procurement adoption: an integrative model. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.54, No.3, pp. 576-586.
- Wulan, M., Petrovic, D., 2012. A fuzzy logic based system for risk analysis and evaluation within enterprise collaborations. *Comput. Ind.* 63, 739–748. doi:10.1016/j.compind.2012.08.012
- Yadav, N., Singh, V.B., 2013. E-Governance: Past, Present and Future in India. *ArXiv Prepr. ArXiv13083323*.
- Yang, J., Qu, H., Zhou, L., 2010. Research on the evaluation methods of bid of construction project based on improved BP neural network. *WSEAS Trans. Comput.* 1, 93–102.
- Yang, M., Kiang, M., Shang, W., 2015. Filtering big data from social media – Building an early warning system for adverse drug reactions. *J. Biomed. Inform.* doi:10.1016/j.jbi.2015.01.011
- Zadeh, L.A., “Fuzzy Sets”. *Information Control*, vol. 8, 1965, pp. 338-353.
- Zadelhoff, L., 2014. The influence of a new public procurement directive on SME’s.
- Zejli, K., Azmani, A., KHALI ISSA, S., 2012. Applying Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) to Evaluate Factors Locating Emergency Logistics Platforms. *Int. J. Comput. Appl.* 57.
- Zhi, J. Zhenhua, Y., 2009. The Local e-Government Practice in China: A Survey of the G2C Practice of "Changxing County", *Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 2009 International Conference on, 26-27 Dec. 2009, pp. 548 – 551.
- Zhou, Q.-F., Zhou, H., Ning, Y.-P., Yang, F., Li, T., 2015. Two approaches for novelty detection using random forest. *Expert Syst. Appl.* 42, 4840–4850. doi:10.1016/j.eswa.2014.12.028
- Zhu, A.-X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., Simonson, D., 2001. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 1463–1472.
- Zimmermann, H.-J., 2010. Fuzzy set theory. *Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat.* 2, 317–332. doi:10.1002/wics.82.

# **ANNEXE**

---

# ANNEXE 1 : PRESENTATION DES APPROCHES TECHNOLOGIQUES

## (ONTOLOGIE DU WEB SEMANTIQUE, SYSTEME MULTI-AGENTS, BIG DATA)

### I- Introduction

De nos jours, les systèmes informatiques peuvent accroître leurs performances en faisant recours à de nombreux concepts informatiques avancés<sup>51</sup> en l'occurrence ceux issus de l'intelligence artificielle. En ce sens, afin de mettre en place un système d'information efficace dédié à une smart dématérialisation des marchés publics, deux méthodes technologiques de l'intelligence artificielle à savoir les ontologies du web sémantique et le paradigme multi-agents seront utilisées.

Avec l'essor des technologies numériques de l'information et de la communication en particulier d'internet, la quasi-totalité des solutions informatiques sont aujourd'hui de type web. Pour leur bon fonctionnement, les technologies du web sémantique (parmi lesquelles les ontologies) se proposent d'organiser les informations (données) afin d'améliorer la collaboration entre l'homme et la machine en enregistrant la description de toutes les ressources dans des formats interprétables par la machine.

Quant au paradigme multi-agents, il est de plus en plus utilisé dans la mise en place des systèmes complexes vu ses nombreux avantages tels que l'interaction entre les agents pour la réalisation des différentes tâches, la modularité, l'adaptation aux changements, l'autonomie des entités, etc. Cela permet d'aboutir à un réseau d'agents qui interagissent pour résoudre des problèmes qui sont au-delà des capacités individuelles ou des connaissances de chaque agent (Durfee et al., 1989).

L'apparition et le développement des technologies numériques de l'information et de la communication ont profondément changé le mode de vie de leurs usagers entraînant l'engendrement de quantité importante de données. Ce nouveau phénomène appelé Big Data est incontestablement une mine inestimable d'informations (données) dont le traitement peut jouer un rôle décisionnel majeur.

Ce chapitre présente les ontologies du web sémantique, le paradigme multi-agents et le Big Data qui constituent le socle technologique de la solution informatique que nous souhaitons mettre en place en vue d'améliorer la gouvernance des marchés publics.

### II- Les ontologies du web sémantique

Avec l'évolution des TIC, le web a pris une place considérable dans la vie des êtres humains. A travers le web, de nombreuses ressources (document, page web, etc.) sont partagées et stockées. Le web présente des capacités limitées car les logiciels et machines utilisent et manipulent les données sans aucune compréhension de celles-ci. Le web sémantique qui est une évolution du web

---

<sup>51</sup> Les systèmes experts, les systèmes multi-agents, la programmation par contrainte, les ontologies du web sémantique,... sont des concepts informatiques de l'intelligence artificielle capable d'accroître la performance des systèmes informatiques.

vient pour combler les lacunes de celui-ci en rendant explicite le contenu sémantique des ressources sur le web aux machines et agents logiciels en vue de faciliter leur exploitation. Le web sémantique est un ensemble de technologies parmi lesquelles les ontologies qui permettent une représentation de la connaissance (de l'information) en vue de la rendre compréhensible par les machines.

## II-1. Le web sémantique

### II-1.1. Définition et compréhension du web sémantique

Tim Berner Lee a introduit en 1998 le web sémantique avec pour objectif de structurer les informations disponibles sur le web (Berners-Lee, 1998). Ce dernier définit le web sémantique comme étant une extension du web courant, dans lequel on donne à une information un sens bien défini afin de permettre aux ordinateurs et aux personnes de travailler en collaboration (Berners-Lee et al., 2001). Selon Laublet et al., le web sémantique fait référence à la vision du web de demain dans lequel les utilisateurs devraient être déchargés d'une bonne partie de leurs tâches de recherche et d'exploitation des résultats, grâce aux capacités accrues des machines à accéder aux contenus des ressources et à effectuer des raisonnements sur ceux-ci (Laublet et al., 2002). En clair, il s'agit d'une architecture qui en utilisant les métadonnées des ressources sur le web favorise l'exploitation de celles-ci. Cette exploitation présente plusieurs avantages parmi lesquels la facilitation de la mise en œuvre de calculs et de raisonnements complexes tout en offrant la garantie sur leur validité.

L'architecture du web sémantique proposé par Tim Berners-Lee s'appuie sur une pyramide de langages qu'il propose pour la représentation des connaissances sur le web dans le respect des critères d'interopérabilité, de standardisation et de flexibilité. La figure A.1 illustre l'architecture proposée par Tim Berners-Lee dans laquelle les langages des couches supérieures doivent être des extensions de celles des couches inférieures.

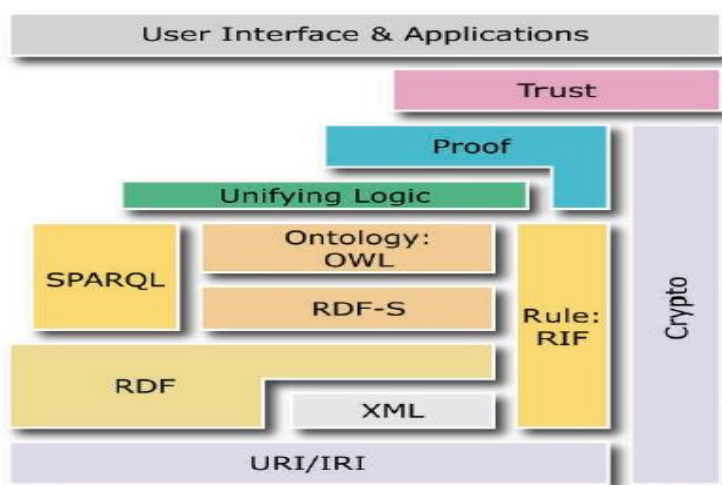


Figure A. 1: Les couches du web sémantique (<http://www.w3.org>)

## II-1.2. Les langages du web sémantique

### II-1.2.1. Langages de description et de représentation des ressources : RDF, RDFS et OWL

Le langage de description RDF (Resource Description Framework) offre un vocabulaire et permet l'encodage des données et des métadonnées des ressources disponibles sur le web. C'est un langage à partir duquel on peut représenter les informations dans le contexte du web sémantique. Le RDF est un modèle de description des ressources sur le web qui offre les instruments nécessaires afin d'automatiser le traitement de ces descriptions. Dans l'architecture proposée par Tim Berner, il se situe sur la couche d'identification des ressources<sup>52</sup> sur le web.

Mis en place par le Consortium W3C, le langage RDF est considéré comme le langage de base du web sémantique et il se focalise sur la description des ressources en permettant une standardisation des modèles, des langages et des syntaxes portant sur les descriptions (Gandon et al., 2012).

Un document structuré en RDF est un ensemble d'informations structurées sous forme de triplets (sujet, prédicat, objet) appelé **assertion**. Dans chaque assertion, « sujet » est une **ressource**, « prédicat » est une **propriété**, et « objet » est soit une ressource, soit un **littéral**. Une ressource est une entité qui peut être physique telle qu'un animal, un être humain, une voiture, une page web, une image, etc., ou abstraite telle qu'une qualité, une couleur, un sentiment, etc. Une propriété est un aspect ou une caractéristique spécifique utilisée pour la description d'une autre ressource. Les propriétés sont aussi considérées comme des ressources. Un littéral est une chaîne de caractères qui n'est pas interprétée par RDF.

Les triplets qui composent le document RDF peuvent être représentés par un graphe constitué d'un arc orienté du sujet à l'objet (Figure A.2). Le sujet et l'objet constituent les nœuds du graphe.

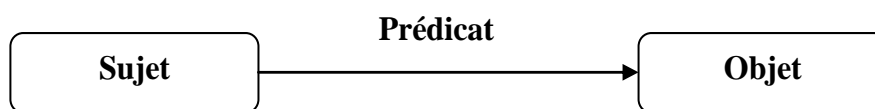


Figure A. 2: Structure d'un triplet RDF

Le langage RDFS (Resource Description Framework Scheme) est une extension sémantique du RDF qui permet la description du vocabulaire de ce dernier. Le schéma RDF (RDFS) offre les spécifications et les éléments de base permettant de définir les termes constituant les ontologies destinées à structurer les ressources RDF. En clair, le RDFS fournit des moyens pour spécifier la connaissance terminologique sous forme de hiérarchies de classes et de propriétés ainsi que leur interprétation sémantique (Hitzler et al., 2009). Il fournit les mécanismes pour décrire des groupes de ressources liées et les relations entre ces ressources qui servent à déterminer les spécificités d'autres ressources comme les domaines des propriétés.

<sup>52</sup> La couche URI (Uniform Resource Identifier).

Dans la quête d'un langage capable de représenter les ontologies avec plus d'expressivité, le langage OWL (Web Ontology Language) a été proposé pour remédier aux limites des langages RDF et RDFS. Contrairement à ces derniers qui se limitent à la description des classes et des propriétés, le langage OWL possède, en plus, des éléments qui permettent la comparaison des classes et des propriétés tels que l'identité, l'équivalence, le contraire, la cardinalité, la symétrie, la transitivité, la disjonction, etc. Cependant, pour éviter d'accroître l'effort de programmation et la complexité des calculs, les concepteurs du langage OWL ont opté pour une structuration de ce dernier en trois composantes inclusives à savoir OWL Lite, OWL DL, OWL Full.

Le sous langage OWL Lite, inclus dans l'OWL DL, est le plus simple et le moins expressif par rapport aux deux autres. Il vise une catégorie d'utilisateurs intéressés par une hiérarchie de classifications et de contraintes simples (Smith et al., 2004).

Avec un niveau d'expressivité plus importante, OWL DL (Description Logics), inclus dans l'OWL Full, et fondé sur la logique descriptive s'adapte mieux au traitement automatisé. En dépit de sa grande expressivité, OWL DL garantit la complétude des raisonnements en permettant la réalisation de tous les calculs, et ce, dans un temps fini.

L'OWL Full est le sous-langage le plus expressif. Ce haut niveau d'expressivité le rend plus complexe que les autres et rend plus difficile la complétude des calculs. Il est dédié aux contextes dans lesquels une description plus approfondie de l'ontologie est nécessaire. L'un de ses aspects intéressants est sa capacité à utiliser les langages OWL et RDFS en les combinant.

Les trois sous-langages que contient le langage OWL sont utilisés en fonction des besoins et des objectifs visés par l'utilisateur. Toutefois, le langage OWL DL semble être le meilleur compromis dans la mesure où il n'est pas trop complexe et nous offre un bon niveau d'expressivité tout en garantissant la complétude des calculs.

### **II-2.1.2. Langage d'interrogation des ontologies : SPARQL**

Le consortium W3C a mis en place le langage SPARQL (Simple Protocol And RDF Query Language) dans le but de manipuler les ontologies via un langage spécifique. Cette manipulation se fait via l'exécution de requêtes sur des fichiers de types RDF, RDFS et OWL. Inspiré du langage SQL mais adapté à la structure d'une base RDF, SPARQL est un langage d'interrogation qui est devenu une recommandation du consortium W3C depuis le 15 janvier 2008.

Le groupe de travail autour du langage SPARQL a produit une nouvelle recommandation W3C le 26 mars 2013 pour la version SPARQL 1.1. Cette nouvelle version comprend plusieurs spécifications parmi lesquelles :

- SPARQL1.1 Query Language permettant l'interrogation de graphes de type RDF ;

- SPARQL1.1 Update Language dédiée à la mise à jour et à la modification des graphes RDF ;
- SPARQL1.1 Protocol225 permettant la description du protocole par lequel se fait le transport des requêtes.

## II.2. Définition et compréhension des ontologies

L'ontologie est à l'origine une discipline de la philosophie qui s'intéresse à l'existence, à l'être en tant qu'être et aux catégories fondamentales de l'existant. Ontologie vient du grec *Ontos* qui veut dire ce qui existe (l'existant) et *Logos* qui veut dire étude, discours, etc. Ainsi, on peut traduire l'ontologie comme étant l'étude de l'être, de l'existence, etc.

Depuis trois décennies, les ontologies sont de plus en plus utilisées suite à leur intégration en informatique notamment en intelligence artificielle (Vigneron, 2013). En 1980, John McCarthy établit une description du rapprochement entre les travaux sur l'ontologie philosophique et ceux portant sur la construction de théories logiques des systèmes d'intelligence artificielle (McCarthy, 1980). Quelques années plus tard, Smith rapproche davantage les deux concepts, philosophique et informatique, en montrant les bénéfices d'un concept pour l'autre et vice versa (Smith, 2003). Le concept s'introduisit, donc, dans les systèmes informatiques et donne lieu à bon nombre de travaux sur la construction, la méthodologie, l'utilisation et l'intérêt des ontologies dans l'ingénierie de la connaissance (Vigneron, 2013).

### II.2.1. Définition des ontologies informatiques

Il existe plusieurs définitions des ontologies informatiques dont certaines offrent plus de précisions que d'autres. La première définition est proposée en 1991 par Neches qui définit une ontologie de la façon suivante : « une ontologie définit les termes et les relations de base du vocabulaire d'un domaine ainsi que les règles qui indiquent comment combiner les termes et les relations de façon à pouvoir étendre le vocabulaire » (Neches, 1991).

Les définitions les plus répandues sont celles de Tom Gruber (Gruber, 1993) qui décrit l'ontologie comme « une spécification explicite d'une conceptualisation » et celle donnée par Studer et al. (Studer et al., 1998) qui définissent une ontologie comme : « une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée ».

Dans leur définition, Studer et al enrichissent celle de Tom Gruber en ajoutant les notions de formalisation et de partage. La notion de formalisation indique que l'information peut être utilisée dans un système informatique, tandis que celle de partage indique l'importance de la connaissance consensuelle et de la réutilisation de cette connaissance.

En règle générale, la construction d'une ontologie répond aux besoins suivants (Vigneron, 2013):

- clarifier la structure des connaissances ;
- réduire les ambiguïtés conceptuelles et terminologiques ;
- permettre le partage des connaissances.



## II-2.2. Quelques typologies des ontologies

Il est possible de classer les ontologies selon plusieurs domaines tels que l'objet de conceptualisation, le niveau de détail et le niveau de formalisme de représentation. Chaque domaine contient un certain nombre de types d'ontologies.

### II-2.2.1. Typologie selon l'objet de conceptualisation

Cette typologie est très utilisée pour la classification et la représentation des ontologies. Elle comprend quatre niveaux:

- **ontologie de haut niveau (Top-level ontologies)** : Elles contiennent des concepts généraux. Elles sont réutilisables d'un domaine à un autre et permettent de réduire l'ambiguïté de la base de l'ontologie. Il existe un certain nombre d'ontologies de ce type, les plus connus étant l'ontologie du projet **Cyc** (projet d'intelligence artificielle visant à développer une ontologie globale et une base de connaissance générale, lancé en 1984 par Douglas Lenat) et du projet **Suggested Upper Merged Ontology (SUMO)** qui ont tous deux pour but de définir la connaissance générale du monde.
- **Ontologie de domaine** : s'il est à considérer une hiérarchie des ontologies, il est possible de décrire une ontologie de domaine comme une spécification d'une ontologie de haut niveau. Ces ontologies s'évertuent à préciser des domaines particuliers et peuvent être rattachées aux ontologies de haut niveau par un ou un ensemble de concepts de l'ontologie de haut niveau.
- **Ontologie de tâches** : elles sont utilisées pour décrire les concepts permettant la résolution de problème d'activités spécifiques. Elles contiennent des termes et relations permettant de décrire les solutions de problèmes. A noter que ces ontologies sont indépendantes du domaine.
- **Ontologie d'applications** : Un niveau plus précis encore est spécifié dans l'ontologie d'applications, ces ontologies décrivent de manière précise les activités spécifiques à un domaine d'application. Il est possible de considérer ces ontologies comme une union entre les ontologies de tâches et les ontologies de domaine.

### II-2.2.2. Typologie selon le niveau de détail

Selon la précision apportée dans l'ontologie, il est possible de définir deux types d'ontologies en rapport direct avec le détail apporté dans la description des ressources :

- **granularité large** : les ontologies de haut niveau ont une granularité large, compte tenu de la nature des informations décrites, la précision est très faible dans la profondeur de description ;
- **granularité fine** : au contraire du type précédent, ces ontologies sont très détaillées ou possèdent un vocabulaire plus riche permettant une description plus précise en utilisant par exemple les termes spécifiques aux activités recensées. Un fort engagement sémantique est intrinsèque à ce genre d'ontologies.

### II-2.2.3. Typologie selon le niveau de complétude

Selon le niveau de complétude, trois types d'ontologies sont généralement considérés :

- **niveau sémantique** : les concepts de ces ontologies respectent quatre principes différentiels (communauté avec l'ancêtre, différence par rapport à l'ancêtre (spécification), communauté avec les concepts de même niveau, différence avec ces concepts de même niveau) ;
- **niveau référentiel** : outre les spécifications énoncées au niveau sémantique, les concepts référentiels sont caractérisés par un terme dont la sémantique est définie par une extension d'objets. L'ontologie spécifie les objets du domaine qui peuvent être associés aux concepts. Ainsi, deux concepts référentiels sont identiques s'ils possèdent la même extension ;
- **niveau opérationnel** : en plus des spécifications énoncées ci-dessus, les concepts de ce niveau sont caractérisés par les opérations applicables permettant de générer des inférences.

### III- Le paradigme multi-agents

Depuis quelques décennies, la complexité des systèmes mis en place ne fait qu'accroître. Face à cette complexité croissante qui pose le problème de la gestion et de la conception desdits systèmes, la nécessité du recours à des systèmes décentralisés dans lesquels des entités logicielles autonomes interagissent entre elles devenait de plus en plus pressante. Les systèmes multi-agents qui se veulent être une approche proposant un environnement (système) dans lequel plusieurs composants appelés agents communiquent et coopèrent pour la résolution d'un ou de plusieurs problèmes en vue d'atteindre un objectif commun, s'impose comme une solution adéquate à cette nécessité. Cette nouvelle approche facilite l'intégration de nouvelles entités sans perturber le fonctionnement du système global.

#### III-1. Définition d'un agent

Le concept d'agent est utilisé dans de nombreux domaines et est généralement défini comme une entité autonome capable de réaliser des actions. Le concept d'agent est généralement défini selon le domaine d'application ce qui fait qu'il existe plusieurs définitions. Selon Ferber : « un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur lui-même et sur son environnement, qui, dans un univers multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents » (Ferber, 1995). Pour Wooldridge : « un agent est un système informatique qui est situé dans un environnement donné, et qui est capable d'agir de manière autonome dans cet environnement afin de répondre aux objectifs pour lesquels il a été conçu. » (Wooldridge, 1999). Si ces définitions ne sont pas similaires sur certains points, il semble se dégager dans la communauté multi-agents un consensus sur ce qui définit un agent. Ainsi, un agent est une entité :

- autonome : l'agent est capable d'agir de sa propre volonté, c'est-à-dire qu'il ne peut être contrôlé par une entité externe à lui-même et qu'il prend des décisions sur la base de son état interne. Cet état interne correspond à l'ensemble de ses perceptions, de ses connaissances et de ses croyances ;
- située dans un environnement : un agent est nécessairement immergé dans un environnement sur lequel il pourra agir. L'agent est également capable de percevoir son environnement afin de pouvoir réagir aux changements de celui-ci ;

- sociale : l'agent lorsqu'il rencontre d'autres agents est capable de communiquer et d'interagir avec eux. Ces interactions sont toujours effectuées à travers l'environnement (Simonin, 2010) ;
- pro-active : l'agent produit des décisions sur la base de son état interne et de ses perceptions ;
- réactif : un agent est capable de modifier son environnement au travers des actions qu'il effectue en fonction de la situation qu'il rencontre.

### **III-2. Les différents types d'agent**

Il existe fondamentalement deux types d'agents correspondant à deux types d'approches : l'approche réactive et l'approche cognitive. A ces deux types, on ajoute l'agent hybride (l'approche hybride).

#### **III-2.1. L'approche cognitive : agent cognitif**

L'approche cognitive se fonde, d'une part, sur l'utilisation de connaissances explicites, exprimées sous forme de symbole au moyen de règles et, d'autre part, sur la génération du raisonnement à base de logique, appliqué à toutes les actions que peut effectuer un agent. Les agents cognitifs possèdent une mémoire et une connaissance propre qui leur permet une représentation de leur environnement, des autres agents et de leurs capacités et compétences. Ces différentes propriétés permettent aux agents cognitifs de gérer leurs collaborations et interactions avec les autres agents du système et l'environnement dans lequel ils opèrent. L'agent cognitif dispose d'une représentation claire de ses objectifs à partir desquels il mène des raisonnements afin d'aboutir à des plans d'actions. Cette capacité de raisonnement sur des représentations du monde leur permet de mémoriser les situations, de les analyser, de procéder à des prévisions concernant les changements et de décider des comportements à adopter dans l'avenir.

Les agents cognitifs constituent des entités informatiques assez importantes et complexes vu le grand volume de connaissances nécessaire pour maintenir leur viabilité et leur fonctionnement.

#### **III-2.2. L'approche réactive : agent réactif**

Les agents dits réactifs sont caractérisés par des comportements simples, essentiellement des réponses aux stimuli de leur environnement. Les actions qu'ils effectuent dépendent de leurs perceptions car ne possédant pas de mémoire et n'ayant pas de représentation symbolique de leur environnement, d'eux-mêmes et des autres agents du système. C'est dans ce sens que Ferber déclare: « l'agent réactif contient une connaissance compilée des actions à effectuer. La simplicité de ses comportements témoigne plus de l'intelligence des concepteurs que de la sienne propre. » (Ferber, 1995).

Le développement des agents dits réactifs s'est fait à partir de l'hypothèse selon laquelle pour obtenir un système intelligent tous les agents ne doivent pas être nécessairement intelligents (donc complexes). Ainsi, la mise en place d'un système multi-agents peut se faire à partir d'agents, aux comportements réactifs à l'environnement, qui ne disposent pas de représentation de leur environnement et des autres agents du système. Ces comportements individuels simples venant de

plusieurs agents peuvent dans certaines circonstances aboutir à un comportement collectif sophistiqué.

Les sources d'inspiration de l'approche réactive sont nombreuses ; on peut citer entre autres les réseaux connexionnistes, la vie artificielle, l'étude des capacités calculatoires des systèmes complexes, l'éthologie (Forrest, 1991 ; Bonabeau et Theraulaz, 1994).

### **III-2.3. L'approche hybride : agent hybride**

En dehors des agents cognitifs (qui réagissent uniquement aux stimuli de l'environnement) et des agents réactifs (qui possèdent une représentation symbolique de l'environnement qui leur permet de planifier leurs actions), une autre approche combinant les deux précédentes est mise en avant afin d'obtenir une approche hybride.

Dans l'approche hybride, il est offert la possibilité de la conception et de la réalisation d'un agent composé de modules et propriétés qui gèrent l'aspect réactif (reflexe) et l'aspect cognitif (réfléchi), et ce, de façon indépendante.

### **III-3. De l'agent au système multi-agents**

Un système multi-agents (SMA) est un système distribué, composé d'un ensemble d'agents. Les SMA sont conçus et implantés idéalement comme un ensemble d'agents inter-agissants, le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence (Chaib-draa, 1996).

Un SMA est généralement caractérisé par les propriétés suivantes (Sycara, 1998):

- chaque agent a des informations ou des capacités de résolution de problèmes limitées, ainsi chaque agent a un point de vue partiel ;
- il n'y a aucun contrôle global du système multi-agents ;
- les données sont décentralisées ;
- le calcul est asynchrone.

Les SMA sont des systèmes idéaux pour représenter des problèmes possédant de multiples méthodes de résolution, de multiples perspectives et/ou de multiples solveurs. Ils possèdent les avantages traditionnels de la résolution distribuée et concurrente de problèmes comme la modularité, la vitesse (avec le parallélisme), et la fiabilité (dû à la redondance). Ils héritent aussi des bénéfices envisageables de l'Intelligence Artificielle comme le traitement symbolique (au niveau des connaissances), la facilité de maintenance, la réutilisation et la portabilité mais surtout, ils ont l'avantage de faire intervenir des schémas d'interaction sophistiqués. Les types courants d'interaction incluent la coopération (travailler ensemble à la résolution d'un but commun) ; la coordination (organiser la résolution d'un problème de telle sorte que les interactions nuisibles soient évitées ou que les interactions bénéfiques soient exploitées) ; et la négociation (parvenir à un accord acceptable pour toutes les parties concernées).

Les systèmes multi-agents représentent une nouvelle approche pour l'analyse, la conception et l'implantation des systèmes informatiques complexes. La vision basée sur des entités agents offre un puissant répertoire d'outils, de techniques, et de métaphores qui y ont le potentiel d'améliorer considérablement les systèmes logiciels.

Un système multi-agents se distingue d'une collection d'agents indépendants par le fait que les agents interagissent en communiquant via des langages de communications.

#### **III-4. La communication au sein d'un système multi-agents**

La communication permet aux agents d'échanger des informations afin de coordonner leurs activités. Parmi les langages développés pour supporter la communication inter-agents, on peut citer les langages KQML et FIPA<sup>53</sup>-ACL (Fagin et al., 1995).

Le langage KQML définit un ensemble de types de messages (appelés abusivement "performatifs") et des règles qui définissent les comportements suggérés pour les agents qui reçoivent ces messages.

Les types de messages de KQML sont de natures diverses : simples requêtes et assertions (ex. "ask", "tell"); instructions de routage de l'information ("forward" et "broadcast"); commandes persistantes ("subscribe", "monitor") et commandes qui permettent aux agents consommateurs de demander à des agents intermédiaires de trouver les agents fournisseurs pertinents ("advertise", "recommend", "recruit" and "broker"). Comme le font remarquer (Cohen et Levesque, 1995), le langage a été développé de façon ad-hoc pour les besoins des développeurs d'agents logiciels : le terme "performatif" a été utilisé pour nommer diverses commandes qui ont une certaine ressemblance avec des verbes utilisés de façon performative dans le langage naturel; l'interprétation sémantique actuelle de ces commandes n'est pas satisfaisante.

Ces dernières années, le langage KQML semble perdre du terrain au profit d'un autre plus riche sémantiquement à savoir le langage ACL (Agent Communication Language). Un langage mis de l'avant par l'organisme FIPA qui s'occupe de standardiser les communications entre agents. L'ACL est basé également sur la théorie du langage et a bénéficié grandement des résultats de recherche du KQML. Si toutefois, les deux langages se rapprochent au niveau des actes de langage, il n'en ait rien au niveau de la sémantique et il semble qu'un grand soin a été apporté au niveau du langage ACL. Ce dernier comprend vingt types de messages (performatifs) pouvant être regroupés comme suit:

- passage d'information : Inform, Inform-if, Inform-ref, Confirm, Disconfirm;
- réquisition d'information : Query-if, Query-ref, Subscribe;
- négociation : Accept-proposal, Cfp, Propose, Reject-proposal;
- distribution de tâches (ou exécution d'une action): Request, Request-when, Requestwhenever, Agree, Cancel, Refuse ;

---

<sup>53</sup> FIPA: Foundation of intelligent Physical Agent. FIPA est un organisme de normalisation d'IEEE Computer Society qui travaille sur la technologie agent et l'interopérabilité de ses normes avec d'autres technologies.

- manipulation des erreurs : Failure, Not-understood.

## **IV- Le Big Data**

Depuis quelques années, de nombreuses structures et organisations font face à une croissance exponentielle des données générées dans le cadre de leurs activités. En 2010, la taille totale de données produites a été estimée à plus d'un zettaoctet soit  $10^{21}$  octets alors qu'elle devrait augmenter plus de 40 fois en 2020 (IDC, 2013). Cette explosion de données, appelée Big Data, due à l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication, pose de nombreux défis à savoir le stockage, la gestion, le traitement de ces données, etc.

### **IV-1. Définition du Big Data**

Le Big Data est un terme utilisé pour désigner les ensembles de données volumineux et complexes composés de données structurées, semi-structurées et non structurées. Dans (Stonebraker, 2013), il est introduit selon le modèle des 3Vs (Volume, Vitesse, Variété). Depuis lors, d'autres modèles ont été proposés : le modèle 5Vs (Volume, Vitesse, Variété, Véracité et Valeur) et le modèle 7Vs (Volume, Vitesse, Variété, Variabilité, Véracité, Valeur et Visualisation). Toutefois, on considère être dans un contexte Big Data lorsqu'on a au minimum trois Vs à savoir le volume, la vitesse et la variété que nous expliquons ci-après.

#### **⇒ Volume (Volume)**

Aujourd'hui, la taille des données augmente de façon exponentielle. Plusieurs entreprises et organisations connaissent le phénomène de déluge de données en raison de multiples facteurs tels que le stockage de données recueillies au fil des ans, les données partagées dans les médias et sur les réseaux sociaux, celles recueillies par les capteurs et celles issues de la mise en œuvre du concept de l'internet des objets (Chihoub, 2013 ; Amazon, 2013). Stonebraker considère la propriété « Grand Volume » importante pour deux types d'analyses: les petites ou simples analyses et les grandes ou complexes analyses. Les petites et simples analyses comprennent les petites opérations telles que les requêtes SQL courantes (comptage, somme, max, min, et moyenne), tandis que les grandes analyses sont des opérations plus complexes qui peuvent être très coûteuses en termes de calcul sur des données volumineuses telles que la classification (clustering), les régressions, l'apprentissage statistique, l'apprentissage machine (Chihoub, 2013).

#### **⇒ Vitesse (Velocity)**

Pour de nombreuses organisations, le plus grand défi du Big Data n'est pas le grand volume des données mais plutôt la rapidité avec laquelle elles sont générées, capturées et surtout leur traitement rapide pour répondre aux demandes (SAS, 2013). Ainsi, des flux croissants de données doivent être analysés en temps réel. C'est l'exemple du commerce électronique, des compteurs intelligents, du placement d'annonces sur les pages web, etc., qui utilisent des applications qui doivent traiter rapidement les données, et ce, en temps réel (Chihoub, 2013).

#### **⇒ Variété (Variety)**

Les données générées, de nos jours, par les organisations (entreprises, services publics, etc.), par les réseaux sociaux, par les capteurs, à partir de l'internet des objets, etc., sont de trois types :

- les données structurées telles que celles de formats SGBD, tableaux excel, fichier CSV, etc.
- les données semi-structurées telles que les textes (tweets, contenu de documents pdf, etc.) ;
- les données non structurées telles que les images et les vidéos.

L'intégration de tous ces types de données surtout celles semi-structurées et non structurées, leur gestion (Chihoub, 2013), leur préparation pour leur traitement et analyse et leur traitement à des fins décisionnelles, et tout cela de façon efficace, reste un défi majeur.

## **IV-2. Les plateformes de stockages et de gestion des données dans le contexte Big Data**

Les systèmes de stockage traditionnels tels que les SGBD et les modèles traditionnels d'interrogation de données ne parviennent pas à répondre aux besoins du Big Data. Afin de remédier à ce problème, plusieurs solutions de stockage et de modèles de traitement de données ont été introduites (Chihoub, 2013).

### **IV-2.1. Les systèmes de fichiers parallèles (parallel file systems)**

On désigne par système de fichiers ou système de gestion de fichiers la manière de stocker et d'organiser les informations dans des fichiers, et ce, sur des mémoires dite secondaires telles que le disque dur, le CD-ROM, la clé USB, la disquette, etc. Ils permettent, également, la conservation d'importantes quantités de données ainsi que leur partage.

Un système de fichiers parallèle a pour but de permettre l'accès simultané de plusieurs personnes à un système de fichiers. Ils ont été introduits afin de surmonter le problème de l'évolutivité des systèmes de fichiers centralisés et les limites de tolérance de panne. Ils s'appuient sur des stockages décentralisés ayant les performances d'évolutivité avec un accès rapide aux données.

La conception massivement parallèle de cette classe de systèmes de fichiers permet la répartition des charges de travail sur plusieurs serveurs, qui pourraient être répartis sur de vastes zones, pour les accès aux données et parfois aux métadonnées, fournissant ainsi des performances évolutives. De plus, grâce à la réplication, les systèmes de fichiers peuvent avoir un accès plus rapide lors de la lecture des données à partir des répliques plus étroites (Chihoub, 2013). Il existe plusieurs systèmes de fichiers tels que GPFS, PVFS, Ceph, le système Google File, HDFS, etc.

### **IV-2.2. Les systèmes de stockage et de gestion de données du Big Data**

Au cours des dernières années, les SGBDR (Système de gestion des bases de données) ont montré leurs limites d'évolutivité face à des données de grandes tailles et hétérogènes. Le concept SGBDR et ses modèles de requêtes (principalement le SQL) sont basés sur la sémantique ACID (atomicité, cohérence, isolation, durabilité) qui depuis de nombreuses années ont été considérés comme inévitables afin de fournir un modèle "correct" (Chihoub, 2013). Cependant, avec la croissance

rapide d'applications, à l'ère du Big Data, imposer une telle sémantique présente des limites sans précédent (Brewer, 2000).

NoSQL, utilisé dans le contexte Big Data, est une nouvelles catégorie de système de gestion de données qui rejettent tout ou partie de la sémantique ACID pour fournir l'évolutivité, la disponibilité et la haute performance. L'approche NoSQL s'appuie sur un modèle de requête beaucoup plus simples que le SQL, où les accès se font à travers des clés et les données sont schématisées comme suit : clé/valeur ou clé/valeurs. Ceci permet aux données d'être stockées et servies de façon massivement distribuée en utilisant des algorithmes adéquats de distribution et des structures de données variées (Chihoub, 2013).

Aujourd'hui, l'approche NoSQL est utilisée par plusieurs systèmes de stockage tels que DynamoDB de Amazone, Big Table de Google, Cassandra de Twitter, Hbase de Facebook, etc., (DeCandia et al., 2007) qui se sont révélés être très efficaces pour la gestion des données à l'échelle de la planète. A ces derniers s'ajoutent d'autres systèmes de stockage tels que Accumulo, Berkeley DB de Oracle, CouchDB, MongoDB de SourceForge.net, Project Voldemort (LinkedIn), Redis, Neo4J, Oracle NoSQL, MySQL avec son moteur InnoDB et l'interface memcached qui a la particularité d'être une base de données relationnelle ayant une interface NoSQL, etc., (Chihoub, 2013).

Dans le contexte Big Data, on retrouve également le **NewSQL** qui est aussi une catégorie de systèmes de gestion de données mais relationnelles contrairement au NoSQL. Les systèmes NewSQL cherchent à fournir la même puissance évolutive que les systèmes NoSQL pour le traitement transactionnel en ligne (lecture-écriture), tout en maintenant les propriétés ACID d'un système de base de données traditionnelle. L'approche NewSQL est utilisée par les systèmes de stockage de données tels que VoltDB, Spanner, Clustrix, NuoDB, etc.

#### **IV-2.3. Les modèles de programmation dans le Big Data**

Il existe plusieurs modèles de programmation pour le Big Data tels que MapReduce, CUDA, Pthreads, PRAM, etc. MapReduce utilisé par les grands groupes tels que Google, Facebook, Twitter, Yahoo, Amazone, etc., et par plusieurs universités est l'un des modèles de programmation les plus utilisés. Il a été développé par Google et il fournit un traitement efficace pour les grandes masses de données, et ce, de façon massivement parallèle. Le modèle MapReduce est composé de deux principales phases: la phase de mappage et la phase de réduction. Les utilisateurs doivent spécifier une fonction de mappage qui divise l'entrée en sous-problèmes et génère des données intermédiaires sous forme de pair <clé,valeur>. Ces données intermédiaires sont en outre passées à une fonction de réduction spécifiée par les utilisateurs. La phase de réduction fusionne toutes les valeurs associées avec la même clé intermédiaire.

De nombreuses implémentations sont apparues depuis l'introduction de MapReduce et sa mise en œuvre au sein de Google. L'implémentation la plus populaire de MapReduce est Hadoop<sup>54</sup>. Ce

---

<sup>54</sup> Apache Hadoop. 2013. URL: <http://hadoop.apache.org/> (consulté en janvier 2015).



dernier a gagné un soutien important de plusieurs sociétés et organisations depuis son introduction, ce qui a fait de MapReduce un modèle efficace pour le traitement du Big Data (Chihoub, 2013). Le projet Hadoop est une collection open-source de sous-projets Apache qu'on peut diviser en deux grandes catégories à savoir Hadoop Core (composé de YARN, MapReduce, HDFS) et l'écosystème Hadoop (composé de Hbase, Flume, Hive, Pig, etc.). Hadoop est largement utilisé, de nos jours, dans les entreprises qui traitent de grandes masses de données. Yahoo! a été l'une des premières sociétés à sponsoriser Hadoop et à l'utiliser dans la production des données pour Yahoo! Web Research. En outre, les fournisseurs de cloud offrent à leurs clients des services basés sur Hadoop qui sont très simples à déployer et à mettre en production comme Amazon Elastic MapReduce (Chihoub, 2013).

MapReduce est devenu le modèle de traitement de données naturel pour le Big Data car il fournit évolutivité, disponibilité, performance et fiabilité. Les frameworks de MapReduce tels que Hadoop et les technologies de son écosystème sont en mesure de traiter efficacement les données à grande échelle pour remplacer les requêtes SQL généralement complexes. Dans ce contexte, une large gamme d'applications ont été développées autour de MapReduce telles que des applications d'interrogation de données distribuées, d'analyse de données, de tri parallèles, de classification de données, d'apprentissage machine, etc., (Chihoub, 2013).

### **IV-3. Les Infrastructures du Big Data**

La croissance rapide du Big Data nécessite des infrastructures efficaces et de nouveaux paradigmes informatiques afin de répondre aux exigences d'énormes volumes de données évoluant avec une grande vélocité. A ce jour, on dénombre trois infrastructures majeures offrant d'excellents moyens pour gérer les données volumineuses (Big Data) (Chihoub, 2013).

#### **IV-3.1. Les grappes de serveurs (Clusters computing)**

Il arrive parfois que les capacités de stockage et de mémoire vive requises font qu'une seule machine ne peut stocker les données et faire les traitements. Pour remédier à cet inconvénient, le cluster computing, qui permet de créer une plateforme composée de plusieurs ordinateurs connectés via des logiciels par le biais d'un réseau, a été introduit. Il s'agit d'associer plusieurs ordinateurs, appelés nœuds, pour aboutir à un seul système disponible<sup>55</sup> et plus performant, à faible coût, capable de stocker les données et supporter les différents traitements et analyses sur celles-ci. Depuis quatre décennies, les infrastructures<sup>56</sup> et concepts du cluster computing ont connu plusieurs étapes d'évolution ; ce qui permet de nos jours de construire des clusters performants et efficaces.

---

<sup>55</sup> La disponibilité se traduit par le fait que lorsqu'un nœud tombe en panne lors d'un traitement, d'autres nœuds sont capables de prendre la relève pour effectuer ce traitement en temps réel.

<sup>56</sup> Les systèmes d'exploitation Linux, les outils pour interconnexion des nœuds, les outils MPI (Message Passing Interface), etc.

Le calcul haut performance<sup>57</sup> a énormément contribué à l'essor du cluster computing car ce dernier permet la construction de superordinateurs composé de centaines voire de milliers de nœuds afin d'offrir de fortes puissances de calculs pour l'exécution, en parallèle, de programmes gourmands en termes de capacité de stockage et de mémoire vive.

Vu sa fonction, ses paradigmes et ses avantages, le cluster computing est une infrastructure idéale pour le Big Data. En effet, les données volumineuses générées de nos jours ont besoin d'être stockées et traitées par des systèmes qui offrent une grande disponibilité et de grandes capacité de stockage et de mémoire vive. De nos jours, Les clusters supportent des plateformes Big Data permettant d'accueillir de façon efficace de grands volumes de données. Cet emmagasinement des données se fait durant les traitements en temps réel des données avec un degré élevé de disponibilité des clusters. Les tailles de ces clusters peuvent varier de quelques dizaines de nœuds à des dizaines de milliers de nœuds (Chihoub, 2013).

### IV-3.2. Les Grids

A l'instar du cluster computing, le grid computing est une infrastructure utilisée dans le cadre du calcul à haute performance et du Big Data. Foster et Kesselman définissent un Grid comme « une infrastructure matérielle et logicielle qui fournit fiabilité, cohérence, omniprésente et un accès peu coûteux à des capacités de calcul haut de gamme » (Foster et Kesselman, 1999). En d'autres termes, il s'agit d'une infrastructure matérielle et logiciel, virtuelle, constitué de ressources informatiques qui généralement sont partagées, distribuées, hétérogènes, délocalisées et autonomes. Contrairement à un cluster qui est un ensemble de machines homogènes et localisées, le grid est un ensemble de ressources hétérogènes (ordinateurs, serveurs, clusters, etc) et délocalisées.

Les différentes ressources qui composent un grid sont organisées de sorte à être :

- *délocalisées*: ces ressources sont dans des endroits géographiquement différents ;
- *hétérogènes* : on retrouve différentes sortes de ressources (ordinateurs, plusieurs types de systèmes d'exploitations, des serveurs, etc.) ;
- *autonomes* : elles ne sont contrôler par une entité communes ;
- *partagées* : plusieurs personnes (individus ou institutions) peuvent avoir accès à ces ressources en vue de leur utilisation. Ces personnes appelées organisations virtuelles<sup>58</sup> se partagent l'usage des ressources du grid ;
- *coordonnées* : la gestion, l'organisation et la connexion des ressources se font en fonction des objectifs, des besoins et des contraintes ;
- *distribuées* : les ressources peuvent appartenir à plusieurs structures, organisations et réseaux et sont dans des emplacements différents.

---

<sup>57</sup> En anglais, HCP (High computing Performance)

<sup>58</sup> En anglais, virtuals organization (VO).

Le grid est une infrastructure idéale pour le Big Data car il permet d'utiliser à distance une infrastructure pour stocker et effectuer des traitements sur les données volumineuses, et ce, en offrant sa puissance en termes de capacités de stockage et de mémoire vive.

### IV-3.3. Le Cloud

Le cloud est une infrastructure qui a été rapidement adoptée par les organisations et les individus et son nombre d'utilisateurs ne fait qu'accroître. C'est une infrastructure qui offre des services de calcul, de stockage et de logiciel (application) à un client en lui permettant de payer en fonction de ce qu'il a utilisé. C'est une excellente opportunité car il permet d'accéder à des ressources matérielles et logicielles coûteuses sans les acheter et sans se soucier de leur entretien et leur maintenance. Le cloud offre trois principaux types de services :

- **les services IaaS (Infrastructures as a Service)** spécialisés dans la gestion des matériels et infrastructures informatiques ;
- **les services PaaS (Platform as a Service)** qui offrent des outils permettant aux utilisateurs du cloud de gérer leur propres applications ;
- **les services SaaS (Software as a Service)** offrent des applications et des logiciels aux utilisateurs pour effectuer de multiples tâches.

Depuis son apparition, le cloud computing a immédiatement été adopté par les applications Big Data. Pour de nombreuses organisations, l'acquisition de ressources selon un mode de paiement qui se fait au fur et à mesure afin de perfectionner leurs plateformes Big Data en cas de besoin, était depuis longtemps nécessaire, et les fournisseurs de cloud offrent exactement cela. En outre, la plupart des fournisseurs de cloud offrent des plateformes Big Data en tant que service. Ils permettent aux clients d'exécuter leurs applications sans se soucier de la gestion de l'infrastructure et son entretien coûteux. Aujourd'hui, il est tout à fait naturel pour les entreprises émergentes, telles que Netflix<sup>59</sup> qui offre un vidéo service à la demande, d'héberger et gérer toutes leurs données dans le cloud (Chihoub, 2013).

## V- Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif la présentation des méthodes et concepts technologiques sur lesquelles s'appuie le système d'information que nous souhaitons mettre en place dans le cadre de la gouvernance des marchés publics.

Les différentes méthodes technologiques de l'intelligence artificielle présentées à savoir les ontologies du web sémantique et les systèmes multi-agents sont aujourd'hui des outils de référence dans la modélisation et l'implémentation de systèmes complexes. L'objectif visé en faisant recours

---

<sup>59</sup> Benchmarking Cassandra Scalability on AWS - Over a million writes per second. 2013. URL:<http://techblog.netflix.com/2011/11/benchmarking-cassandra-scalabilityon.html> (consulté en janvier 2015).

à ces concepts et méthodes clés de l'intelligence artificielle et du génie logiciel est de proposer un système modulaire, performant et évolutif.

Pour l'introduction d'un véritable volet décisionnel qui tient compte des nouvelles avancées en ce qui concerne les sources de données (internet, capteurs, réseaux sociaux, web, etc.) et le traitement des données qui en sont générées, les technologies du Big Data présentées dans ce chapitre ont été utilisées.

## ANNEXE 2 : DESCRIPTION DETAILLEE DES MARCHES PUBLICS

LES NOTIONS ET OBJETS DANS LES MARCHES PUBLICS	
<b>Définition d'un marché</b>	<b>Un marché</b> est un contrat à titre onéreux conclu entre, d'une part, un maître d'ouvrage et, d'autre part, une personne physique ou morale appelée entrepreneur, fournisseur ou prestataire de services ayant pour objet l'exécution de travaux, la livraison de fournitures ou la prestation de services
<b>Type de Marchés publics</b>	<b>Marché de travaux</b> (Ce sont les marchés conclus avec des entrepreneurs qui ont pour objet soit l'exécution, soit conjointement la conception et l'exécution d'un ouvrage ou de travaux de bâtiment ou de génie civil répondant à des besoins précisés par le pouvoir adjudicateur ou l'entité adjudicatrice.)
	<b>Marché de services</b> (Ce sont les marchés conclus avec des prestataires de services qui ont pour objet la réalisation de prestations de services)
	<b>Marché de fournitures</b> (Ce sont les marchés conclus avec des fournisseurs qui ont pour objet l'achat, la prise en crédit-bail, la location ou la location-vente, de produits ou matériels)
<b>Terminologie générale des Marchés publics</b>	<b>Autorité compétente</b> (l'ordonnateur ou la personne déléguée par lui à l'effet d'approuver le marché)
	<b>Maître d'ouvrage</b> (l'administration qui, au nom de l'Etat, passe le marché avec l'entrepreneur, le fournisseur ou le prestataire de services)
	<b>Maître d'ouvrage délégué</b> (tout organisme public auquel sont confiées certaines missions du maître d'ouvrage. Appelé parfois maître d'œuvre)
	<b>Candidat</b> (toute personne physique ou morale qui participe à un appel d'offres dans sa phase antérieure à la remise des offres ou à une procédure négociée avant l'attribution du marché)
	<b>Soumissionnaire</b> (toute personne physique ou morale qui propose une offre en vue de la conclusion d'un marché)
	<b>Concurrent</b> (candidat ou soumissionnaire)
	<b>Attributaire</b> (soumissionnaire dont l'offre a été retenue avant la notification de l'approbation du marché)
	<b>Titulaire</b> (attributaire auquel a été notifiée l'approbation du marché)
	<b>Bordereau des prix</b> (document qui contient une décomposition par poste des prestations à exécuter et indique, pour chacun des postes, le prix applicable)
	<b>Détail estimatif</b> (document qui, pour un marché à prix unitaire, contient une décomposition des prestations à exécuter par poste et indique, pour chaque poste, la quantité présumés et le prix unitaire correspondant du bordereau des prix ; le détail estimatif et le bordereau des prix peuvent constituer un document unique)
	<b>Décomposition du montant global</b> (document qui, pour un marché à prix global, contient une répartition des prestations à exécuter par poste, effectuée sur la base de la nature de ces prestations ; il indique ou non les quantités forfaitaires pour les différents postes)
<b>Groupement</b> (deux ou plusieurs concurrents qui souscrivent à un engagement unique qui peut être soit conjoint soit solidaire)	

	<p><b>Engagement conjoint</b> (engagement vis-à-vis du maître d'ouvrage de chacun des membres du groupement, en cas de division en lots des travaux, fournitures ou services, à exécuter le ou les lots qui lui sont assignés. L'un d'entre eux, désigné dans l'acte d'engagement et dans le marché comme mandataire, est solidaire de chacun des autres membres et les représente jusqu'à la date de la réception définitive)</p>			
	<p><b>Engagement solidaire</b> (engagement vis-à-vis du maître d'ouvrage de chacun des membres du groupement pour la totalité du marché et qui doit pallier une éventuelle défaillance de ses partenaires ; l'un d'entre eux, désigné dans l'acte d'engagement ou marché comme mandataire, représente l'ensemble des membres du groupement jusqu'à la date de la réception définitive)</p>			
	<p><b>Prestation</b> (travaux, fournitures ou services)</p>			
	<p><b>Sous-détail des prix</b> (document qui fait apparaître, pour chacun des prix du bordereau, ou seulement pour ceux d'entre eux désignés dans le cahier des prescriptions spéciales, les quantités et le montant des matériaux et fournitures, de la main-d'œuvre, des frais de fonctionnement du matériel, des frais généraux, taxes et marges ; ce document n'a pas de valeur contractuelle sauf disposition contraire prévue dans le marché)</p>			
	<p><b>Marché pluriannuel</b> (C'est un marché qui s'étale sur plus d'une année budgétaire, à condition que les engagements de dépenses et les règlements qui en découlent demeurent respectivement dans les limites des crédits d'engagement et des crédits de paiement disponibles)</p>			
	<p><b>Marché fractionné</b> (C'est un type de marché utilisé lorsque les besoins ne sont pas connus avec précision ou que, les besoins étant connus, les conditions économiques, techniques ou financières ne permettent pas à la personne publique de s'engager immédiatement sur la totalité du programme envisagé. Les marchés cadres, les marchés à tranches conditionnelles et les marchés à bon de commandes sont des marchés fractionnés)</p>			
	<p><b>Marché cadre</b> (On appelle "marchés-cadre" un marché où la quantification et le rythme d'exécution d'une prestation, qui présente un caractère prévisible et permanent, ne peuvent être déterminés à l'avance)</p>			
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2"> <p><b>Marché à tranches conditionnelles</b> (C'est un marché où la prestation à réaliser peut être divisée en deux ou plusieurs tranches constituant chacune un ensemble cohérent, autonome et fonctionnel)</p> </td> <td> <p><b>une tranche ferme</b> (C'est la tranche couverte par les crédits disponibles, à exécuter dès la notification de l'approbation du marché)</p> </td> </tr> <tr> <td> <p><b>une ou plusieurs tranches conditionnelles</b> (C'est la tranche ou les tranches dont l'exécution est subordonnée d'une part, à la disponibilité des crédits et d'autre part à la conclusion d'un ou plusieurs avenants, dans les délais prévus par le marché) Avenant : modification introduite dans un contrat</p> </td> </tr> </table>	<p><b>Marché à tranches conditionnelles</b> (C'est un marché où la prestation à réaliser peut être divisée en deux ou plusieurs tranches constituant chacune un ensemble cohérent, autonome et fonctionnel)</p>	<p><b>une tranche ferme</b> (C'est la tranche couverte par les crédits disponibles, à exécuter dès la notification de l'approbation du marché)</p>	<p><b>une ou plusieurs tranches conditionnelles</b> (C'est la tranche ou les tranches dont l'exécution est subordonnée d'une part, à la disponibilité des crédits et d'autre part à la conclusion d'un ou plusieurs avenants, dans les délais prévus par le marché) Avenant : modification introduite dans un contrat</p>
<p><b>Marché à tranches conditionnelles</b> (C'est un marché où la prestation à réaliser peut être divisée en deux ou plusieurs tranches constituant chacune un ensemble cohérent, autonome et fonctionnel)</p>	<p><b>une tranche ferme</b> (C'est la tranche couverte par les crédits disponibles, à exécuter dès la notification de l'approbation du marché)</p>			
	<p><b>une ou plusieurs tranches conditionnelles</b> (C'est la tranche ou les tranches dont l'exécution est subordonnée d'une part, à la disponibilité des crédits et d'autre part à la conclusion d'un ou plusieurs avenants, dans les délais prévus par le marché) Avenant : modification introduite dans un contrat</p>			
	<p><b>Marché à bon de commande</b> (Un marché à bons de commande est un marché conclu avec un ou plusieurs opérateurs économiques et exécuté au fur et à mesure de l'émission de bons de commande)</p>			
	<p><b>Lot</b> (Un lot est une unité autonome d'un marché qui est attribué séparément. Chaque lot est considéré comme un marché)</p>			

	<b>Marché en lots séparés</b> (Le maître d'ouvrage peut, pour des raisons économiques, financières ou techniques, diviser la prestation en deux ou plusieurs lots, pouvant donner lieu chacun à un marché distinct)	
	<b>Marché en lot unique</b> (Appelé encore marché mono lot, c'est un marché qui est constitué d'un seul lot confié à une seule entreprise prestataire)	
	<b>Cahier des clauses administratives générales</b> (C'est un document qui contient l'ensemble des dispositions administratives applicables à tous les marchés de travaux, fournitures ou services ou à une catégorie particulière de ces marchés. Ces cahiers sont approuvés par décret)	
	<b>Cahier des prescriptions communes</b> C'est un document qui contient essentiellement les dispositions techniques applicables à tous les marchés portant sur une même nature de travaux, de fournitures ou de services ou à tous les marchés passés par un même département ministériel ou par un même service spécialisé)	
	<b>Cahier des prescriptions spéciales</b> (C'est un document qui contient les clauses propres à chaque marché et comportent la référence aux textes généraux applicables et l'indication des articles des cahiers des prescriptions communes et, le cas échéant, de ceux des cahiers des clauses administratives générales auxquels il est éventuellement dérogé en vertu des dispositions desdits cahiers. C'est la traduction du besoin de l'acheteur ; il peut s'agir de travaux, de fournitures ou de services)	
	<b>Objet des marchés</b> (L'objet du marché est la traduction du besoin de l'acheteur. Les prestations qui font l'objet des marchés doivent répondre exclusivement à la nature et à l'étendue des besoins à satisfaire)	
<b>Les types de prix des marchés publics</b>	<b>Marché à prix global</b> (C'est un marché dans lequel un prix forfaitaire couvre l'ensemble des prestations qui font l'objet du marché)	
	<b>Marché à prix unitaires</b> (C'est un marché dans lequel les prestations sont décomposées, sur la base d'un détail estimatif établi par le maître d'ouvrage, en différents postes avec indication pour chacun d'eux du prix unitaire proposé)	
	<b>Marché à prix mixtes</b> (Le marché est dit à prix mixtes lorsqu'il comprend des prestations rémunérées en partie sur la base d'un prix global et en partie sur la base de prix unitaires)	
	<b>Marché de travaux comportant des prestations sur dépenses contrôlées</b> (peuvent en outre, et à titre exceptionnel justifié par des considérations d'ordre technique imprévisibles au moment de leur passation, comporter des prestations rémunérées sur la base de dépenses contrôlées.)	
	<b>Marché à prix ferme</b> (Le prix du marché est ferme lorsqu'il ne peut être modifié à raison des variations économiques survenues pendant le délai de son exécution)	
	<b>Marché à prix révisable</b> (Le prix du marché est révisable lorsqu'il peut être modifié en raison des variations économiques en cours d'exécution de la prestation)	
<b>Les procédures de</b>	<b>Marché à prix provisoire</b> (Le marché est passé à prix provisoire lorsque l'exécution de la prestation doit être commencée alors que toutes les conditions indispensables à la détermination d'un prix initial définitif ne sont pas réunies)	
	<b>Les procédures formalisées</b> (L'organisation et le déroulement des	<b>Appel d'offres ouvert</b> (Dans un appel d'offre ouvert, toute entreprise désireuse d'y participer peut remettre une offre. Théoriquement cela peut s'étendre aux entreprises du monde entier)

<b>passation des marchés</b>	procédures formalisés est encadré par les textes régissant les marchés publics. Ce qui n'est pas le cas pour les procédures non formalisées)	<b>Appel d'offres restreint</b> (Quant à l'appel d'offres restreint, seules peuvent remettre des offres les entreprises qui y ont été autorisées après présélection. Bien que considéré comme une méthode concurrentielle d'attribution de marché, la concurrence est limitée aux seules entreprises présélectionnées ou invitées par l'entité adjudicatrice.)
		<b>Le dialogue compétitif</b> (C'est la procédure par laquelle, le maître d'ouvrage rentre en contact avec plusieurs entreprises afin qu'elle lui propose une solution dans le cadre de la réalisation d'un marché complexe)
		<b>La procédure négociée</b> (Le marché est dit négocié lorsque le maître d'ouvrage engage librement les discussions qui lui paraissent utiles avec le ou les candidats de son choix et attribue le marché au candidat qu'il a retenu. Le recours à la procédure négociée se fait sous des conditions défini par la loi).
		<b>Le concours</b> (Le concours est la procédure par laquelle le pouvoir adjudicateur choisit, après mise en concurrence et avis du jury mentionné, un plan ou un projet, avant d'attribuer à l'un des lauréats du concours un marché. Le concours peut être ouvert ou restreint. Les participants au concours sont indemnisés selon des modalités prévues par le règlement du concours. Le concours est parfois appelé <b>procédure ou marché de conception-réalisation</b> )
		<b>Prestation sur bon de commande</b> (C'est une modalité qui permet au maître d'ouvrage d'acquérir une prestation dans le cadre de la réalisation d'un marché. Le marché en question est alors un marché fractionné)
		<b>Système d'acquisition dynamique</b> (Un système d'acquisition dynamique est un processus d'acquisition entièrement électronique pour des achats d'usage courant, dont les caractéristiques généralement disponibles sur le marché satisfont aux besoins du pouvoir adjudicateur, limité dans le temps et ouvert pendant toute sa durée à tout opérateur économique satisfaisant aux critères de sélection et ayant présenté une offre indicative conforme au cahier des charges)
	<b>Les procédures non formalisées</b>	<b>Procédure ou Marché gré à gré</b> (C'est la procédure par laquelle le marché est passé librement, en dehors de toute publicité et mise en concurrence préalable. L'acheteur public peut donc directement s'adresser à l'entreprise de son choix.)
<b>MAPA</b> (Les marchés à procédure adaptée, sont des marchés dont les modalités sont librement fixées par le pouvoir adjudicateur en fonction de la nature et des caractéristiques du besoin à satisfaire, du nombre ou de la localisation des opérateurs économiques susceptibles d'y répondre ainsi que des circonstances de l'achat. Toutefois, ils doivent respecter les principes applicables à l'ensemble des marchés publics à savoir la liberté d'accès à la commande publique, d'égalité de traitement des candidats et la transparence des procédures.)		



<b>Approbation des marchés</b> <b>Principe</b> <b>Délai d'approbation</b>	<b>Principe</b> (Les marchés de travaux, fournitures ou services ne sont valables et définitifs qu'après leur approbation par l'autorité compétente)
	<b>Délai d'approbation</b> (L'approbation des marchés doit être notifiée à l'attributaire dans un délai qui varie en fonction des pays et ce à compter de la date fixée pour l'ouverture des plis ou de la date de la signature du marché par l'attributaire lorsqu'il est négocié)
<b>Dispositions particulières</b>	<b>Marché d'étude</b> (C'est un marché auquel le maître d'ouvrage a recours pour la réalisation d'études nécessaires qu'il ne peut effectuer par ses propres moyens)
	<b>Marché de définition</b> (Les marchés d'études peuvent être précédés de marchés de définition qui permettent de préciser les buts et les performances à atteindre, les techniques de base à utiliser, les moyens en personnel et en matériel à mettre en œuvre pour la réalisation des études, les éléments du prix, les différentes phases que peuvent comporter les études)
	<b>Préférence des entreprises nationales</b> (Elle consiste à favoriser dans des conditions définies par la législation les entreprises nationales aux entreprises étrangères. Cela se fait généralement lors de la phase d'analyse et d'évaluation des offres)
	<b>Sous-traitance</b> (La sous-traitance est un contrat écrit par lequel le titulaire confie l'exécution d'une partie de son marché à un tiers. Elle ne peut s'étendre à tout le marché)
	<b>Exclusion de la participation aux marchés</b> (Lorsque des actes frauduleux, des infractions réitérées ou des manquements graves aux engagements pris ont été relevés à la charge du titulaire, le ministre, sans préjudice des poursuites judiciaires et des sanctions dont le titulaire est passible, peut par décision motivée l'exclure temporairement ou définitivement de la participation aux marchés de son administration. Cette exclusion peut s'étendre à tous les marchés publics par décision du premier ministre)
	<b>Établissement des modèles des documents</b> (Une décision du premier ministre prise sur proposition de la commission des marchés arrêtera les modèles des pièces suivantes : l'acte d'engagement, le cadre du bordereau des prix et du détail estimatif, le cadre de la décomposition du montant global, le cadre du sous-détail des prix, la déclaration sur l'honneur, l'avis de publicité, la demande d'admission, la circulaire de consultation, le cadre du procès-verbal de l'appel d'offres ou du concours, le cadre du marché passé suivant les usages du commerce, le cadre du rapport de présentation du marché)
<b>Suivi et Contrôle de la gestion des marchés</b>	<b>Publication des programmes prévisionnels</b> (L'ordonnateur est tenu de faire publier au cours du premier trimestre de chaque année budgétaire, à titre indicatif et dans un but d'information, dans au moins un journal à diffusion nationale le programme prévisionnel qu'il envisage de lancer au titre de l'année budgétaire considérée)
	<b>Le chargé du suivi du marché</b> (Le maître d'ouvrage peut confier à un fonctionnaire dit personne chargée du suivi de l'exécution du marché la mission du suivi de l'exécution dudit marché lorsque son importance et sa complexité le justifient)
	<b>Rapport de présentation du marché (Pour tout marché public, le maître d'ouvrage doit établir un rapport de présentation du marché contenant :</b> la nature et l'étendue des besoins à satisfaire, l'exposé de l'économie générale du marché ainsi que le montant de son estimation, les motifs ayant déterminé le choix du mode de passation, la justification du choix des critères de sélection des candidatures et de jugement des offres la justification du choix de l'attributaire)

	<p><b>Rapport d'achèvement de l'exécution du marché</b> (Le maître d'ouvrage doit également établir un rapport contenant : l'objet du marché, les parties contractantes, la nature des prestations sous-traitées et l'identité des sous-traitants, le délai d'exécution en précisant les dates de commencement et d'achèvement des prestations et en justifiant les dépassements éventuels par rapport à la date initialement prévue pour l'achèvement, le (ou les) lieu (x) de réalisation, le bilan physique et financier faisant ressortir les changements intervenus au niveau du programme initial, les variations dans la masse et la nature des prestations, et, le cas échéant, la révision des prix)</p> <p><b>Contrôle et audit interne</b> (Les marchés et leurs avenants sont soumis, en dehors des contrôles institués par les textes généraux en matière de dépenses publiques, à des contrôles et audits internes définis par décisions du ministre concerné)</p>
--	--

## ANNEXE 3 : DESCRIPTION DETAILLEE DES APPELS D'OFFRES

LES NOTIONS ET OBJETS DANS LES APPELS D'OFFRES				
La conduite de l'appel d'offres par le maître d'ouvrage	Dossier d'appel d'offres	Avis d'appel d'offres ou avis de publicité ou circulaire		
		Le prix d'acquisition du dossier d'appel d'offres		
		Cahier des prescriptions spéciales		
		Modèle de l'acte d'engagement		
		Plans et documents techniques		
		Modèle du bordereau des prix		
		modèle du détail estimatif		
		Modèle de la décomposition du montant global		
		Modèle du cadre du sous-détail des prix		
		Modèle de la déclaration sur l'honneur		
		Règlement de consultation		
	La commission d'appel d'offres	Les membres de la commission	Des représentants du maître d'ouvrage dont le président	
			Un ou des représentants du ministère chargé des finances	
			Un ou des représentants du ministère du commerce	
		Autres membres	Sous-commission d'appel d'offres	
			Les experts	
		Les attributions de la commission	Séance d'examen des échantillons	
			Ouverture des plis des concurrents	
			Examen des dossiers administratifs et techniques	
			ouvertures et examen des offres financière et technique	
Élaboration des procès-verbaux				
Proclamation des résultats définitifs				
<b>La commission d'admission</b> (La commission d'admission des candidats est constituée dans les mêmes conditions et formes prévues à l'article 35 pour la commission de l'appel d'offres)				
<b>L'annulation de l'appel d'offres</b> (Le choix arrêté par la commission conformément aux articles précédents ne peut être modifié par l'autorité compétente. Toutefois, celle-ci peut ne pas donner suite à l'appel d'offres, et ordonner éventuellement de recommencer toute la procédure)				
La participation des entreprises	Quelques Définitions	Candidat (toute personne physique ou morale qui participe à un appel d'offres dans sa phase antérieure à la remise des offres ou à une procédure négociée avant l'attribution du marché)		
		Soumissionnaire (toute personne physique ou morale qui propose une offre en vue de la conclusion d'un marché)		
		Concurrent (candidat ou soumissionnaire)		
		Attributaire (soumissionnaire dont l'offre a été retenue avant la notification de l'approbation du marché)		
		Titulaire (attributaire auquel a été notifiée l'approbation du marché)		

		Le cautionnement (Les entreprises s'acquittent d'un cautionnement provisoire qui leurs est restitué à la fin de l'appel d'offres)		
	<b>Conditions de participation des entreprises</b>			
	<b>Accord entre entreprises</b>	Groupement (deux ou plusieurs concurrents qui souscrivent un engagement unique qui peut être soit conjoint soit solidaire)		
		Engagement conjoint (engagement vis-à-vis du maître d'ouvrage de chacun des membres du groupement, en cas de division en lots des travaux, fournitures ou services, à exécuter le ou les lots qui lui sont assignés. L'un d'entre eux, désigné dans l'acte d'engagement et dans le marché comme mandataire, est solidaire de chacun des autres membres et les représente jusqu'à la date de la réception définitive)		
		Engagement solidaire (engagement vis-à-vis du maître d'ouvrage de chacun des membres du groupement pour la totalité du marché et qui doit pallier une éventuelle défaillance de ses partenaires ; l'un d'entre eux, désigné dans l'acte d'engagement ou marché comme mandataire, représente l'ensemble des membres du groupement jusqu'à la date de la réception définitive)		
		Sous-traitance (La sous-traitance est un contrat écrit par lequel le titulaire confie l'exécution d'une partie de son marché à un tiers)		
	<b>Les plis (réponses) des entreprises</b>	Le pli	Le pli est le contenant du dossier de réponse d'une entreprise	
			Le pli comporte deux enveloppes: - une enveloppe comportant les dossiers administratif, technique et additif - Une enveloppe comportant les offres financière et technique	
		Les types de dossiers	Dossier administratif	Déclaration sur l'honneur
				récépissé du cautionnement provisoire
				Certificat d'immatriculation au registre de commerce
			Dossier technique	
Dossier additif				

	Les types d'offres	Offre financière	Acte d'engagement	
			Détail estimatif	
			Bordereau des prix	
			Décomposition du montant global	
		Offre technique		
		Offre variante		
		Retrait des plis		
	Délai de validité des offres			
	<b>Préférence des entreprises nationales</b>			
	<b>Exclusion de la participation aux appels d'offres</b>	Exclusion temporaire		
Exclusion définitive				
<b>Analyse et évaluation</b>	<b>Analyse et évaluation des candidatures (Critère de pré-qualification)</b>			
	<b>Analyse et évaluation des dossiers administratif, technique et additif</b>			
	<b>Analyse et évaluation des offres</b>	Critères d'évaluation des offres		
		Méthodes d'analyse et d'évaluation des offres	Méthodes de pondération des critères	
			Méthodes d'hierarchisation des critères	

## ANNEXE 4 : AUTRES ELEMENTS DE LA MODELISATION INFORMATIQUE

## • Diagramme de séquence illustrant le dépôt d'un appel d'offre

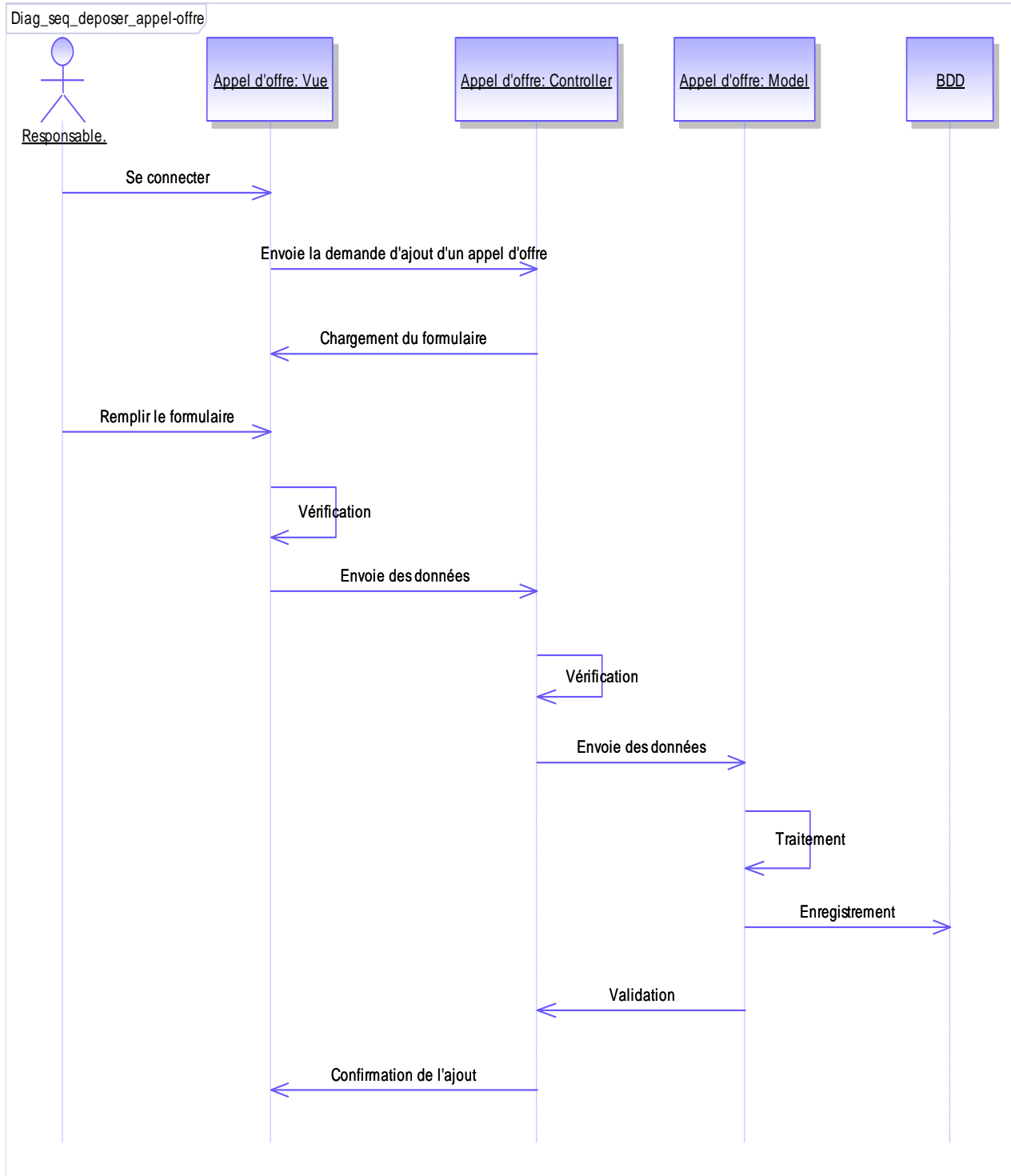


Figure: Diagramme de séquence pour déposer un appel d'offre

• Diagramme de séquence illustrant la modification d'un appel d'offre

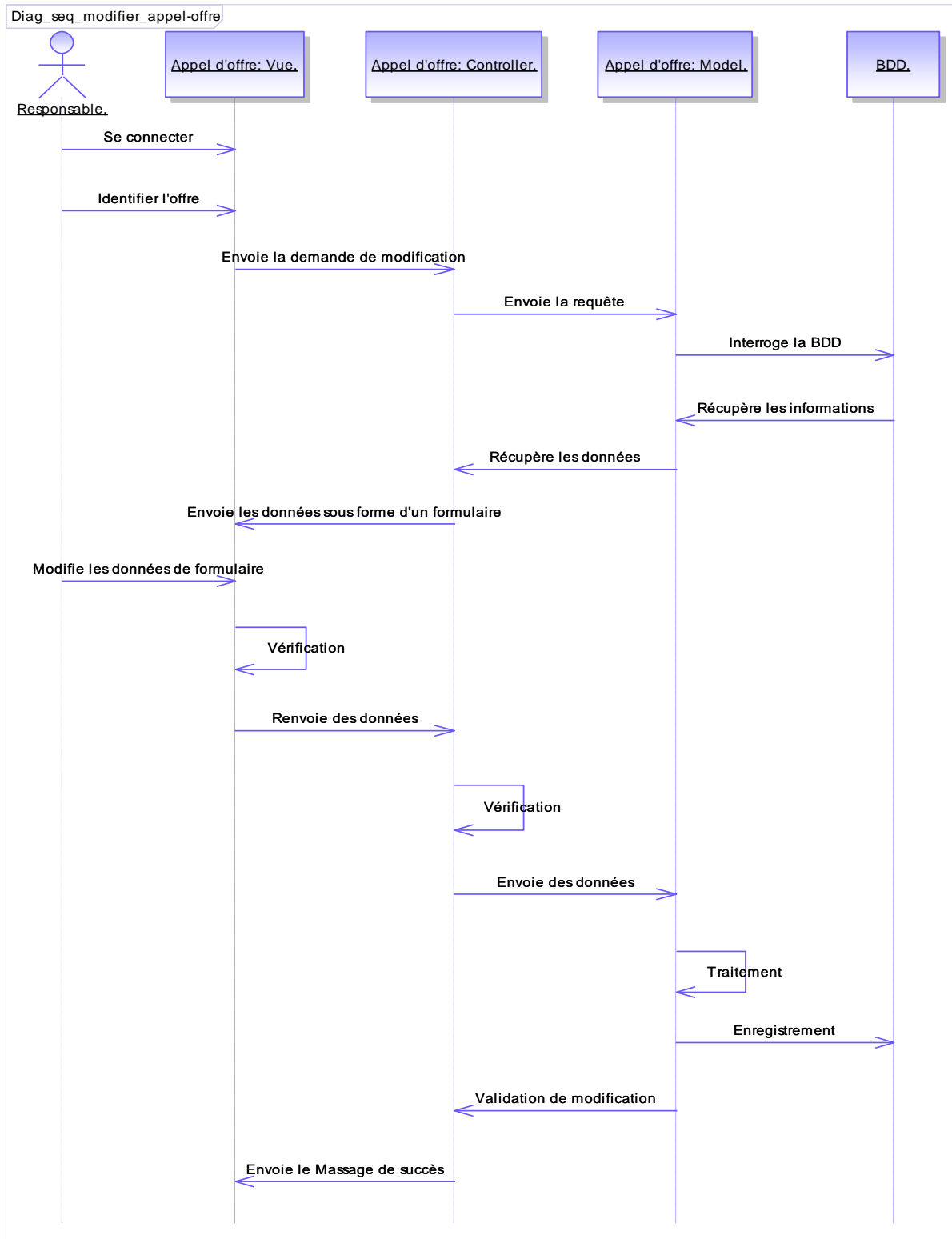


Figure: Diagramme de séquences pour modifier un appel d'offre

• Diagramme d'état-transition d'un appel d'offres

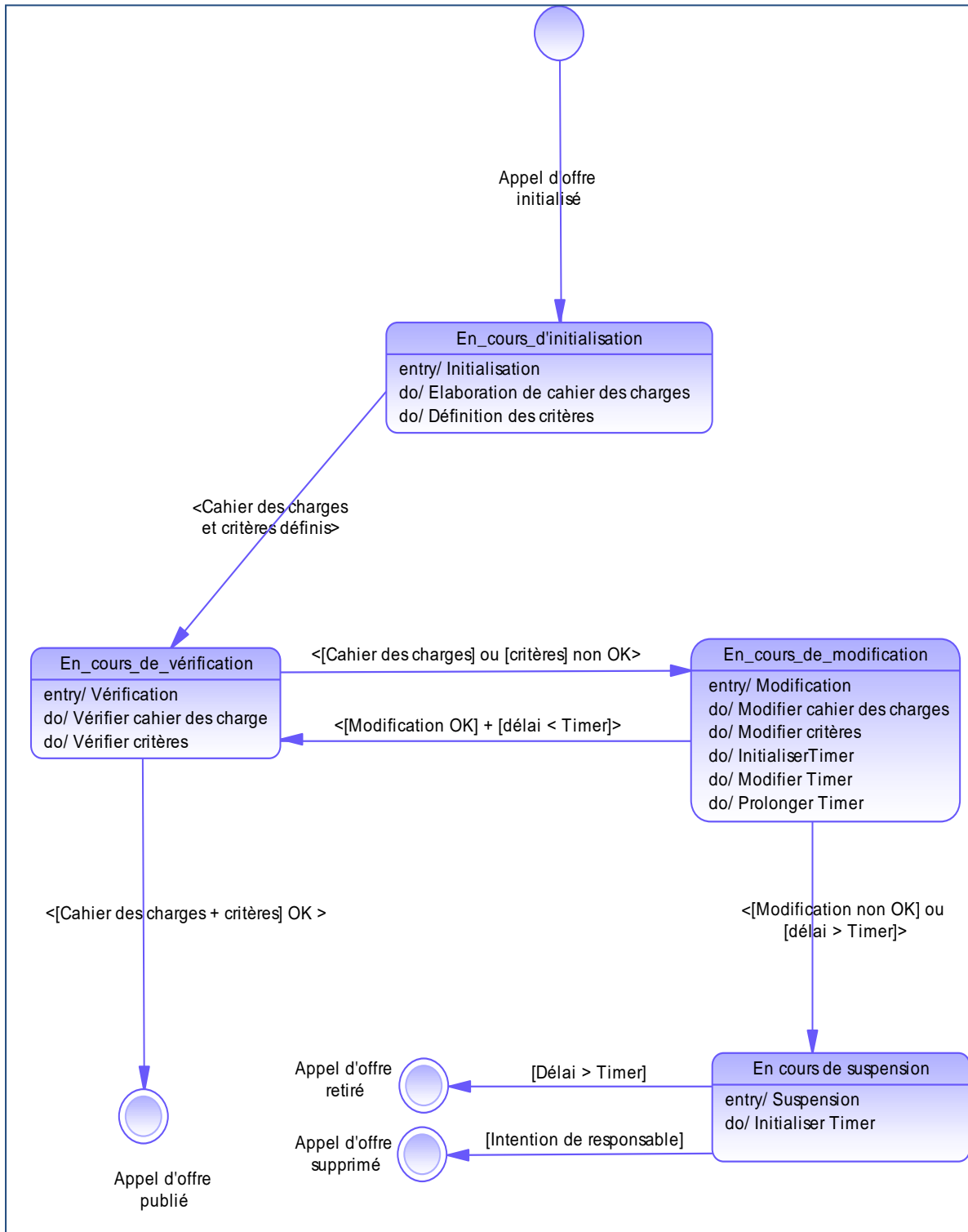


Figure: Diagramme d'état-transition pour l'appel d'offre



## ANNEXE 5 : LES DETAILS DES CALCULS DE L'APPLICATION DE LA METHODE AHP

### A- Matrices de jugement des sous-critères et détermination des vecteurs de priorité

- Le critère « Méthodologie de travail (C2) »

- Matrice de jugement et vecteur de priorité

	C21	C22	C23	C24	C25	C26
C21	1	5	8	6	2	8
C22	1/5	1	2	3	1/3	2
C23	1/8	½	1	½	1/5	½
C24	1/6	1/3	2	1	1/6	2
C25	1/2	3	5	6	1	5
C26	1/8	½	2	½	1/5	1

$t_{j1}$	$t_{j2}$	$t_{j3}$	$t_{j4}$	$t_{j5}$	$t_{j6}$	$\tilde{P}_j$	Priorité ( $P_j$ )
0,4724409	0,483870968	0,4	0,35294118	0,51282051	0,43243243	2,6545060	0,4424177
0,0944882	0,096774194	0,1	0,17647059	0,08547009	0,10810811	0,6613112	0,1102185
0,0590551	0,048387097	0,05	0,02941176	0,05128205	0,02702703	0,2651631	0,0441938
0,0787402	0,032258065	0,1	0,05882353	0,04273504	0,10810811	0,4206649	0,0701108
0,2362205	0,290322581	0,25	0,35294118	0,25641026	0,27027027	1,6561648	0,2760275
0,0590551	0,048387097	0,1	0,02941176	0,05128205	0,05405405	0,3421901	0,0570317

Le critère le plus important est le critère « Outils, techniques et méthode de travail (C21) » avec un poids de 0,44. Le critère le moins important est le critère « Délai de livraison (C23) » avec un poids de 0,04.

- Étude de la cohérence

$P_1 * C_1$	$P_2 * C_2$	$P_3 * C_3$	$P_4 * C_4$	$P_5 * C_5$	$P_6 * C_6$	$T_j$	$T_{R_j}$
0,44241767	0,55109264	0,45625345	0,4206649	0,55205492	0,45625345	2,87873702	6,506831
0,08848353	0,11021853	0,11406336	0,21033245	0,09200915	0,11406336	0,72917039	6,61567893
0,05530221	0,05510926	0,05703168	0,03505541	0,05520549	0,02851584	0,28621989	6,47646539
0,07373628	0,03673951	0,11406336	0,07011082	0,04600458	0,11406336	0,4547179	6,48570255
0,22120884	0,33065558	0,2851584	0,4206649	0,27602746	0,2851584	1,81887359	6,58946611
0,05530221	0,05510926	0,11406336	0,03505541	0,05520549	0,05703168	0,37176742	6,51861229
$\lambda_{max} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 T_{R_j} = 6,53212604$ ; $IC = \frac{\lambda_{max}-6}{6-1} = 0,10642521$							

$IA = 1,24$ , on a $RC = \frac{IC}{IA} = 0,08582678$
$RC$ étant très inférieur à 0,1 donc le degré de cohérence est très satisfaisant.

- **Le critère « Capital et Références du soumissionnaire (C3)»**

- **Matrice de jugement et vecteur de priorité**

	C31	C32	C33
C31	1	6	3
C32	1/6	1	1/3
C33	1/3	3	1

$t_{j1}$	$t_{j2}$	$t_{j3}$	$\tilde{P}_j$	Priorité ( $P_j$ )
0,6666667	0,6	0,69230769	1,9589744	0,6529915
0,1111111	0,1	0,07692308	0,2880342	0,0960114
0,2222222	0,3	0,23076923	0,7529915	0,2509972

Le critère le plus important est le critère « Qualité des références (C31) » avec un poids de 0,65. Le critère le moins important est le critère « Montant des références (C32) » avec un poids de 0,1.

- **Étude de la cohérence**

$P_1 * C_1$	$P_2 * C_2$	$P_3 * C_3$	$T_j$	$T_{R_j}$
0,65299145	0,57606838	0,75299145	1,98205128	3,03534031
0,10883191	0,0960114	0,08366572	0,28850902	3,0049456
0,21766382	0,28803419	0,25099715	0,75669516	3,01475596
$\lambda_{max} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 T_{R_j} = 3,01834729$ ; $IC = \frac{\lambda_{max}-3}{3-1} = 0,00917365$				
$IA = 0,58$ , on a $RC = \frac{IC}{IA} = 0,01581663$				
$RC$ étant très inférieur à 0,1 donc le degré de cohérence est très satisfaisant.				

- **Le critère «Qualification de l'équipe (C4)»**

- **Matrice de jugement et vecteur de priorité**

	C41	C42	C43
C41	1	1/5	3
C42	5	1	7
C43	1/3	1/7	1

$t_{j1}$	$t_{j2}$	$t_{j3}$	$\tilde{P}_j$	Priorité ( $P_j$ )
0,1578947	0,14893617	0,27272727	0,5795582	0,1931861
0,7894737	0,744680851	0,63636364	2,1705182	0,7235061
0,0526316	0,106382979	0,09090909	0,2499236	0,0833079

Le critère le plus important est le critère « Expérience et compétence des autres membres de l'équipe (C42) » avec un poids de 0,72. Le critère le moins important est le critère « Expérience et compétence des consultants et experts (C43) » avec un poids de 0,08.

○ **Étude de la cohérence**

$P_1 * C_1$	$P_2 * C_2$	$P_3 * C_3$	$T_j$	$T_{R_j}$
0,19318606	0,14470121	0,24992365	0,58781092	3,04271913
0,9659303	0,72350606	0,58315518	2,27259154	3,14108156
0,06439535	0,10335801	0,08330788	0,25106124	3,01365532
$\lambda_{max} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 T_{R_j} = 3,06581867; IC = \frac{\lambda_{max}-3}{3-1} = 0,03290934$				
$IA = 0,58, \text{ on a } RC = \frac{IC}{IA} = 0,05674023$				
RC étant très inférieur à 0,1 donc le degré de cohérence est très satisfaisant.				

**B- Comparaison des offres suivants les sous-critères**

• **Comparaison des offres suivant les sous-critères du critère « Méthodologie de travail (C2)»**

○ **Sous-critère C21**

C21	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C21}$
$O_1$	1	3	8	0,6815629
$O_2$	1/3	1	3	0,2364469
$O_3$	1/8	1/3	1	0,0819902

○ **Sous-critère C22**

C22	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C22}$
$O_1$	1	5	8	0,7504068
$O_2$	1/5	1	2	0,1622026
$O_3$	1/8	1/2	1	0,0873906

○ **Sous-critère C23**

<i>C23</i>	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C23}$
$O_1$	1	¼	1/7	0,0824043
$O_2$	4	1	1/2	0,3151245
$O_3$	7	2	1	0,6024712

○ **Sous-critère C24**

<i>C24</i>	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C24}$
$O_1$	1	2	6	0,6000000
$O_2$	1/2	1	3	0,3000000
$O_3$	1/6	1/3	1	0,1000000

○ **Sous-critère C25**

<i>C25</i>	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C25}$
$O_1$	1	1/5	2	0,1675941
$O_2$	5	1	7	0,7379705
$O_3$	1/2	1/7	1	0,0944354

○ **Sous-critère C26**

<i>C26</i>	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C26}$
$O_1$	1	7	2	0,6267081
$O_2$	1/7	1	1/2	0,1099379
$O_3$	1/2	2	1	0,2633540

- **Comparaison des offres suivant les sous-critères du critère « Capital et référence du soumissionnaire (C3) »**

○ **Sous-critère C31**

<i>C31</i>	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C31}$
$O_1$	1	4	8	0,7272727
$O_2$	1/4	1	2	0,1818182
$O_3$	1/8	½	1	0,0909091

○ **Sous-critère C32**

C32	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C32}$
$O_1$	1	2	5	0,5812636
$O_2$	1/2	1	3	0,3091503
$O_3$	1/5	1/3	1	0,1095861

○ **Sous-critère C33**

C33	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C33}$
$O_1$	1	1/3	1/8	0,0819902
$O_2$	3	1	1/3	0,2364469
$O_3$	8	3	1	0,6815629

• **Comparaison des offres suivant les sous-critères du critère « Qualification de l'équipe (C4) »**

○ **Sous-critère C41**

C41	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C41}$
$O_1$	1	1/7	1/3	0,0926219
$O_2$	7	1	2	0,6150198
$O_3$	3	1/2	1	0,2923584

○ **Sous-critère C42**

C42	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C42}$
$O_1$	1	2	5	0,5812636
$O_2$	1/2	1	3	0,3091503
$O_3$	1/5	1/3	1	0,1095861

○ **Sous-critère C43**

C43	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$W_{C43}$
$O_1$	1	3	6	0,6666667
$O_2$	1/3	1	2	0,2222222
$O_3$	1/6	1/2	1	0,1111111

## ANNEXE 6 : LES DETAILS DES CALCULS POUR L'APPLICATION DE LA METHODE FAHP

### A- Construction des matrices de jugement des sous-critères et détermination des vecteurs de priorité

- Le critère « Méthodologie de travail (C2) »

	C21			C22			C23			C24			C25			C26		
<b>C21</b>	1	1	1	3/2	2	5/2	2	5/2	3	3/2	2	5/2	1/2	1	3/2	2	5/2	3
<b>C22</b>	2/5	1/2	2/3	1	1	1	1/2	1	3/2	1	3/2	2	1/2	2/3	1	1/2	1	3/2
<b>C23</b>	1/3	2/5	1/2	2/3	1	2	1	1	1	2/5	1/2	2/3	2/5	1/2	2/3	2/3	1	2
<b>C24</b>	2/5	1/2	2/3	1/2	2/3	1	3/2	2	5/2	1	1	1	2/5	1/2	2/3	1/2	1	3/2
<b>C25</b>	2/3	1	2	1	3/2	2	3/2	2	5/2	3/2	2	5/2	1	1	1	3/2	2	5/2
<b>C26</b>	1/3	2/5	1/2	2/3	1	2	1/2	1	3/2	2/3	1	2	2/5	1/2	2/3	1	1	1

		Lower(Si)	Middle(Si)	Upper(Si)	d'(Si)	Normalisation
<b>C21</b>	<b>S1</b>	0,24056604	0,41147132	0,66942149	1	0,30042381
<b>C22</b>	<b>S2</b>	0,11037736	0,21197007	0,38016529	0,41167516	0,12367702
<b>C23</b>	<b>S3</b>	0,09811321	0,16458853	0,33884298	0,28472886	0,08553933
<b>C24</b>	<b>S4</b>	0,12169811	0,21197007	0,36363636	0,38152874	0,11462032
<b>C25</b>	<b>S5</b>	0,20283019	0,3553616	0,61983471	0,87112423	0,26170646
<b>C26</b>	<b>S6</b>	0,1009434	0,18329177	0,38016529	0,37957395	0,11403305

Le critère le plus important est le critère « Outils, techniques et méthode de travail (C21) » avec un poids de 0,3. Le critère le moins important est le critère « Délai de livraison (C23) » avec un poids de 0,08.

- Le critère « Capital et Références du soumissionnaire (C3) »

	C31			C32			C33		
<b>C31</b>	1	1	1	3/2	2	5/2	1	3/2	2
<b>C32</b>	2/5	1/2	2/3	1	1	1	1/2	2/3	1
<b>C33</b>	1/2	2/3	1	1	3/2	2	1	1	1

		Lower(Si)	Middle(Si)	Upper(Si)	d'(Si)	Normalisation
<b>C31</b>	S1	0,28767123	0,45762712	0,69620253	1	0,5583659
<b>C32</b>	S2	0,15616438	0,22033898	0,33755274	0,1737005	0,09698843
<b>C33</b>	S3	0,20547945	0,3220339	0,50632911	0,61723981	0,34464566

Le critère le plus important est le critère « Qualité des références (C31) » avec un poids de 0,558. Le critère le moins important est le critère « Montant des références (C32) » avec un poids de 0,096.

- **Le critère «Qualification de l'équipe (C4)»**

	C41			C42			C43		
C41	1	1	1	1/2	2/3	1	1	3/2	2
C42	1	3/2	2	1	1	1	3/2	2	5/2
C44	1/2	2/3	1	2/5	1/2	2/3	1	1	1

		Lower(Si)	Middle(Si)	Upper(Si)	d'(Si)	Normalisation
C41	S1	0,20547945	0,3220339	0,50632911	0,61723981	0,344645662
C42	S2	0,28767123	0,45762712	0,69620253	1	0,558365904
C43	S3	0,15616438	0,22033898	0,33755274	0,1737005	0,096988434

Le critère le plus important est le critère « Expérience et compétence des autres membres de l'équipe (C42) » avec un poids de 0,558. Le critère le moins important est le critère « Expérience et compétence des consultants et experts (C43) » avec un poids de 0,097.

## B- Comparaison des offres suivant les sous-critères

- **Comparaison des offres suivant les sous-critères du critère « Méthodologie de travail (C2)»**

- **Sous-critère C21**

C21	O <sub>1</sub>			O <sub>2</sub>			O <sub>3</sub>			W <sub>C21</sub>
O <sub>1</sub>	1	1	1	1	3/2	2	2	5/2	3	1
O <sub>2</sub>	1/2	2/3	1	1	1	1	1	3/2	2	0,47176335
O <sub>3</sub>	1/3	2/5	1/2	1/2	2/3	1	1	1	1	0

- **Sous-critère C22**

C22	O <sub>1</sub>			O <sub>2</sub>			O <sub>3</sub>			W <sub>C22</sub>
O <sub>1</sub>	1	1	1	3/2	2	5/2	2	5/2	3	1
O <sub>2</sub>	2/5	1/2	2/3	1	1	1	1/2	1	3/2	0,10878856
O <sub>3</sub>	1/3	2/5	1/2	2/3	1	2	1	1	1	0,20080496

○ **Sous-critère C23**

C23	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C23}$
$O_1$	1	1	1	1/2	2/3	1	1/3	2/5	1/2	0,09751968
$O_2$	1	3/2	2	1	1	1	3/2	2	5/2	1
$O_3$	2	5/2	3	1/2	1	3/2	1	1	1	1

○ **Sous-critère C24**

C24	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C24}$
$O_1$	1	1	1	1/2	2/3	1	3/2	2	5/2	0,90503166
$O_2$	1	3/2	2	1	1	1	1	3/2	2	1
$O_3$	2/5	1/2	2/3	1/2	2/3	1	1	1	1	0,3279433

○ **Sous-critère C25**

C25	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C25}$
$O_1$	1	1	1	2/5	1/2	2/3	1/2	1	3/2	0,10878856
$O_2$	3/2	2	5/2	1	1	1	2	5/2	3	1
$O_3$	2/3	1	2	1/3	2/5	1/2	1	1	1	0,20080496

○ **Sous-critère C26**

C26	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C26}$
$O_1$	1	1	1	2	5/2	3	1/2	1	3/2	1
$O_2$	1/3	2/5	1/2	1	1	1	2/3	1	2	0,48185232
$O_3$	2/3	1	2	1/2	1	3/2	1	1	1	0,68382465

- **Comparaison des offres suivant les sous-critères du critère « Capital et référence du soumissionnaire (C3)»**

○ **Sous-critère C31**

C31	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C31}$
$O_1$	1	1	1	1	3/2	2	2	5/2	3	1
$O_2$	1/2	2/3	1	1	1	1	1/2	1	3/2	0,35898565
$O_3$	1/3	2/5	1/2	2/3	1	2	1	1	1	0,33448191



○ **Sous-critère C32**

C32	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C32}$
$O_1$	1	1	1	1/2	1	3/2	3/2	2	5/2	1
$O_2$	2/3	1	2	1	1	1	1	3/2	2	0,8442623
$O_3$	5/2	1/2	2/3	1/2	2/3	1	1	1	1	0,17063492

○ **Sous-critère C33**

C33	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C33}$
$O_1$	1	1	1	1/2	2/3	1	1/3	2/5	1/2	0
$O_2$	1	3/2	2	1	1	1	1/2	2/3	1	0,47176335
$O_3$	2	5/2	3	1	3/2	2	1	1	1	1

● **Comparaison des offres suivant les sous-critères du critère « Qualification de l'équipe (C4) »**○ **Sous-critère C41**

C41	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C41}$
$O_1$	1	1	1	1/3	2/5	1/2	1	2/3	1/2	0
$O_2$	2	5/2	3	1	1	1	1/2	1	3/2	1
$O_3$	1	3/2	2	2/3	1	2	1	1	1	0,75627007

○ **Sous-critère C42**

C42	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C42}$
$O_1$	1	1	1	1/2	1	3/2	3/2	2	5/2	1
$O_2$	2/3	1	2	1	1	1	1	3/2	2	0,90447292
$O_3$	2/5	2	2/3	1/2	2/3	1	1	1	1	0,79474367

○ **Sous-critère C43**

C43	$O_1$			$O_2$			$O_3$			$W_{C43}$
$O_1$	1	1	1	1	3/2	2	3/2	2	5/2	1
$O_2$	1/2	2/3	1	1	1	1	1/2	1	3/2	0,49545631
$O_3$	2/5	1/2	2/3	2/3	1	2	1	1	1	0,50164894