

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>01</b>
----------	------------------------------	-----------

---

## **Chapitre 1**

# **La Gestion de Production Distribuée**

---

1	Introduction .....	04
2	Production et gestion de production .....	04
2.1	Définitions de Système de Production.....	04
2.2	Définitions de Gestion de Production.....	05
3	Description des différents types de production .....	07
3.1	Production continue .....	09
3.2	Production en ligne .....	09
3.3	Production par lot .....	09
3.4	Production en atelier spécialisé .....	09
3.5	Production par projet .....	09
4	Les caractéristiques des Systèmes de production.....	10
4.1	Flexibilité.....	10
4.2	Réactivité.....	11
4.3	Pro-activité.....	12
4.4	Robustesse .....	13
5	Décomposition du système de production .....	13
6	Typologie décisionnelle en gestion de production .....	15
6.1	Le niveau stratégique.....	16
6.2	Le niveau tactique.....	16
6.3	Le niveau opérationnel .....	16
7	Généralité sur l'ordonnancement .....	16
7.1	Définition de l'ordonnancement .....	17
7.2	Contraintes sur l'ordonnancement.....	17
7.3	Objectifs de l'ordonnancement.....	18
8	Pilotage et Ordonnancement .....	19
8.1	Notion de Pilotage .....	19
8.2	Pilotage et Ordonnancement.....	20
9	Conclusion.....	20

---

## **Chapitre 2**

# **Les Systèmes d'Aide à la Décision à base de Web**

---

1	Introduction .....	22
---	--------------------	----

---

2	Décision et aide à la décision .....	22
2.1	Décision .....	22
2.2	Processus de décision .....	23
2.3	Types de décision .....	25
2.4	Aide à la décision .....	26
3	Les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) .....	27
3.1	Définitions .....	27
3.2	Structure d'un Système Interactif d'Aide à la Décision (SIAD) .....	28
4	Décision collaborative .....	31
4.1	Concepts fondamentaux : définitions et processus existants .....	31
4.1.1	Définitions de la décision collaborative dans la littérature .....	31
4.1.2	Processus existants .....	31
4.1.3	Travaux actuels en décision collaborative .....	33
5	Classification des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) .....	35
5.1	Classement en fonction de niveau de décision .....	35
5.2	Classement en fonction de l'envergure de la décision .....	36
6	Les systèmes Interactifs d'aide à la décision à base de Web (Web-based DSS) .....	37
6.1	Définitions d'un SIAD à base de Web (Web-based DSS) .....	37
6.2	Les travaux de recherche récents dans le SIAD à base de Web (Web-based DSS) .....	39
6.2.1	Architectures et technologies .....	39
6.2.2	Applications et réalisations .....	41
6.3	Les bases du Web .....	42
6.3.1	Architecture Client-Serveur .....	42
6.3.2	URL .....	45
6.3.3	Hypertexte et Topologie du Web .....	45
6.4	La technologie du Web .....	46
6.4.1	HTTP .....	46
6.4.2	HTML .....	47
6.4.3	Feuilles de style CSS .....	48
6.4.4	XML .....	49
6.4.5	JavaScript/DOM .....	49
6.4.6	CGI et Perl .....	50
6.4.7	PHP .....	51
6.4.8	ASP .....	51
6.4.9	ActiveX .....	51
6.4.10	Flash .....	52
6.4.11	AJAX .....	52
7	Définition des Systèmes Multi-Agents (SMA) .....	53
8	Conclusion .....	54

---

## **Chapitre 3**

# **Les méthodes multicritères: AHP (Analytic Hierarchy Process)**

---

1	Introduction .....	55
2	Définitions .....	55
2.1	Alternative .....	55
2.2	Critère .....	55
2.3	Décision multicritère .....	56
2.4	Décideur.....	56
3	Définition de la méthode AHP .....	56
4	Le but de la méthode AHP .....	57
5	Caractéristiques de la méthode AHP.....	57
6	Démarche .....	57
7	Les étapes de l'application .....	58
8	Exemple d'application.....	62
8.1	Etablissement de la hiérarchie du problème .....	62
8.2	Etablissement des comparaisons binaires .....	63
8.2.1.	Elaboration de la matrice du premier niveau .....	63
8.2.2.	Elaboration de la matrice du deuxième niveau .....	64
8.3	Détermination des vecteurs propres .....	65
8.3.1.	Le vecteur propre de la matrice du premier niveau.....	65
8.3.2.	Les vecteurs propres des matrices du deuxième niveau .....	65
8.4	Vérification de cohérence .....	67
8.5	Elaboration des priorités finales .....	67
9	Avantages de la méthode AHP.....	68
10	Limites de la méthode AHP .....	68
11	Travaux connexes.....	69
12	Conclusion.....	70

---

## **Chapitre 4**

# **Contribution**

---

1	Introduction .....	72
2	Contributions.....	72

---

3	Architecture générale .....	73
4	Le processus décisionnel collaboratif .....	74
5	Description des agents.....	76
5.1	Structure de l'Agent Production (AP) .....	77
5.2	Structure de l'Agent Coordinateur (AC) .....	77
5.3	Rôle de l'Agent Evaluateur (AE) .....	78
5.4	Agent d'Ontologie .....	78
5.5	Notre ontologie de domaine .....	78
6	L'Agent Coordinateur et le raisonnement par cas.....	79
7	Diagramme de séquence de collaboration des utilisateurs.....	80
7.1	Scénario 1 : Solution cherchée par la Base de Cas (BC) .....	80
7.2	Scénario 2 : Solution trouvée à travers le réseau social par un seul AP.....	82
7.3	Scénario 3 : Solution trouvée à travers le réseau social par plusieurs AP.....	83
7.4	Scénario 4 : Solution non trouvée via le réseau social .....	86
8	Conclusion.....	88

---

## **Chapitre 5**

# **Mise en oeuvre (WEB-DSS)**

---

1	Introduction.....	89
2	Outils de développement.....	89
2.1	L'environnement de développement .....	89
2.1.1	Langage de programmation Java.....	89
2.1.2	Pourquoi Java .....	89
2.1.3	L'environnement NetBeans.....	90
2.1.4	Apache Tomcat .....	90
2.2	La plate forme JADE .....	91
2.3	WamServer .....	91
2.4	Dreamweaver.....	92
3	Evaluation et discussion .....	93
3.1	Estimation des cas résolus .....	94
3.2	Calcul de performance de l'agent .....	95
3.3	Evaluation de la convivialité de la plateforme (Via le questionnaire).....	96
3.4	Comparaison avec d'autres systèmes de diagnostic .....	100
4	Exemple d'application.....	101
5	Conclusion.....	108

---

---

<b>Conclusion Générale &amp; Perspectives .....</b>	109
<b>Références Bibliographiques.....</b>	113

---

# **Chapitre 1**

# **La Gestion de Production Distribuée**

---

Figure 1.1 : Domaine de la production et ses fonctions connexes [Blodel, 2002].....	05
Figure 1.2 : La gestion de production et les autres fonctions de l'entreprise [Hernandez Silva, 2008] .....	07
Figure 1.3 : Différents types de production [Lattanzio, 2006] .....	08
Figure 1.4 : Approche systémique du système de production [Trentesaux, 2001] [Taghezout, 2008] .....	14
Figure 1.5 : Classification hiérarchique de décisions [Deschaps, 1994] .....	15
Figure 1.6 : Structure d'objectifs [Grabot 98] .....	19
Figure 1.7 : Modèle de l'environnement d'un système de pilotage .....	20

---

# **Chapitre 2**

# **Les Systèmes d'Aide à la Décision à base de Web**

---

Figure 2.1 : Lien entre les mesures, la stratégie et la décision [Fernandez, 1999] .....	23
Figure 2.2 : Le modèle I.D.C [Marakas, 1999] .....	24
Figure 2.3 : Structure d'un SIAD selon Sprague [Sprague et Carlson, 1982] .....	29
Figure 2.4 : Structure d'un SIAD basé sur la connaissance selon Marakas [Marakas, 2003].....	30
Figure 2.5 : Modèle du processus de conception collaborative [Kvan 00] .....	32
Figure 2.6 : Modèle du processus de conception collaborative [Chiu 02] .....	32
Figure 2.7: Modèle du processus de décision collective [Laborie 06].....	33
Figure 2.8 : Technologie Client-Serveur .....	43
Figure 2.9 : Architecture Client-Serveur .....	44
Figure 2.10 : Architecture Client-Serveur du Web .....	44
Figure 2.11 : Topologie du Web .....	46
Figure 2.12 : Exemple de Système Multi-Agents (SMA) .....	53

---

# **Chapitre 3**

# **Les méthodes multicritères: AHP**

---

---

Figure 3.1 : Les étapes de l'application.....	58
Figure 3.2 : La hiérarchie du problème .....	59
Figure 3.3 : Structure hiérarchique par niveaux .....	63

---

## **Chapitre 4**

# **Contribution**

---

Figure 4.1 : Architecture générale .....	73
Figure 4.2 : Notre processus décisionnel collaboratif .....	76
Figure 4.3: Architecture interne de l'Agent Coordinateur .....	77
Figure 4.4 : Une vue partielle de l'ontologie de domaine créée dans Protégé 4.2.....	79
Figure 4.5 : Algorithme de coordination .....	80

---

## **Chapitre 5**

# **Mise en oeuvre (WEB-DSS)**

---

Figure 5.1 : Exécution temporelle des agents impliqués dans la résolution de problèmes .	93
Figure 5.2 : Résultats statistiques obtenus lors de l'exécution de notre système .....	94
Figure 5.3 : Performance des agents .....	96
Figure 5.4 : Réponses des opérateurs de statistiques de la plateforme collaborative.....	99
Figure 5.5 : Evaluation de la convivialité de la plateforme.....	100
Figure 5.6 : Machines en cours d'exécution.....	102
Figure 5.7 : Machines en panne .....	102
Figure 5.8 : Réception de la panne par l'agent coordinateur .....	103
Figure 5.9 : Les solutions de réception par agent coordinateur .....	103
Figure 5.10 : Matrice des critères de décision.....	104
Figure 5.11 : Comparaison des solutions par rapport au « Coût ».....	104
Figure 5.12 : Comparaison des solutions par rapport au « Temps de réparation ».....	105
Figure 5.13 : Comparaison des solutions par rapport au « Taux de réussite ».....	105
Figure 5.14 : Les préférences des critères. ....	106
Figure 5.15 : Le résultat par rapport aux critères. ....	106
Figure 5.16 : Le classement alternatif avec structure.....	107
Figure 5.17 : Résultats finaux sélectionnés par AE. ....	107
Figure 5.18 : La communication entre les agents via la plateforme JADE.....	108

## **Chapitre 3**

# **Les méthodes multicritères: AHP**

---

Tableau 3.1 : Exemple d'une matrice de comparaison par paire .....	60
Tableau 3.2 : Echelle de Satty [Fiat, 2007] .....	60
Tableau 3.3 : Les indices de cohérence aléatoire [Satty, 1984] .....	61
Tableau 3.4 : Les ratios de cohérence acceptable [Satty, 1984].....	62
Tableau 3.5 : Matrice du premier niveau des critères .....	63
Tableau 3.6 : Matrice du deuxième niveau selon les frais de scolarité .....	64
Tableau 3.7 : Matrice du deuxième niveau selon la proximité du réseau de transport .....	64
Tableau 3.8 : Matrice du deuxième niveau selon l'horaire du cours .....	64
Tableau 3.9 : Matrice du deuxième niveau selon les cours offerts .....	64
Tableau 3.10 : Matrice de comparaison binaire des critères .....	65
Tableau 3.11 : Matrice de comparaison binaire selon les frais de scolarité.....	65
Tableau 3.12 : Matrice de comparaison binaire selon la proximité du réseau de transport	66
Tableau 3.13 : Matrice de comparaison binaire selon l'horaire du cours .....	66
Tableau 3.14 : Matrice de comparaison binaire selon les cours offerts .....	66
Tableau 3.15 : Vérification de cohérence de la matrice premier niveau .....	67
Tableau 3.16 : Elaboration des priorités finales .....	67

---

## **Chapitre 5**

# **Mise en oeuvre (WEB-DSS)**

---

Tableau 5.1 : Temps estimé par chaque agent impliqué dans la résolution des problèmes	93
Tableau 5.2 : Quelques résultats sur l'exécution de notre système.....	94
Tableau 5.3 : Calcul de la performance de l'agent.....	96
Tableau 5.4 : Quelques questions pertinentes concernant l'accessibilité .....	97
Tableau 5.5 : Quelques questions pertinentes concernant la navigation.....	97
Tableau 5.6 : Quelques questions pertinentes concernant la conception .....	98
Tableau 5.7 : Quelques questions pertinentes concernant le contenu .....	98
Tableau 5.8 : Quelques questions pertinentes concernant la sécurité .....	98
Tableau 5.9 : Quelques questions pertinentes concernant la plateforme collaborative.....	99
Tableau 5.10 : Comparaison avec d'autres systèmes industriels [Bessedik, 2017] .....	101

# Introduction générale

La réussite d'une entreprise, quelque soit son envergure repose sur plusieurs facteurs, tel que l'existence d'un capital humain de qualité. En effet, l'homme est une ressource aussi, sinon plus, importante que l'argent. Les entreprises qui ne sont pas capables d'acquérir et de maintenir un capital humain compétent quelques soient les circonstances du marché ne peuvent survivre dans un environnement aussi mouvant que celui où se déroulent actuellement les affaires. **[Taghezout, 2011]**

Les petites et moyennes entreprises en Algérie n'échappent pas à cette règle. Au contraire elles ont démontré ces dernières années une volonté de s'investir dans le collaboratif.

L'objectif du travail collaboratif en entreprise est de réussir à faire coopérer et à allier des équipes autour d'un but commun, fournir un espace d'échange d'informations et de documents aux équipes. **[Taghezout, 2011]**

Favoriser le travail collaboratif est un objectif important dans une entreprise, car cela permet de réduire les impératifs liés à la synchronisation des emplois du temps et à la dispersion géographique des membres d'une équipe, amener les collaborateurs à communiquer, échanger, planifier ainsi que coordonner leur effort ensemble.

De plus, les compétences de chaque membre du groupe peuvent être valorisées et se complémenter avec celles des autres, l'entreprise gagne en productivité et le savoir-faire des membres est mieux exploité. Notre projet s'inscrit dans cette vision et aspire à faire progresser cet aspect en donnant aux managers un outil pour gérer et évaluer les compétences de chaque membre de ses équipes, ainsi qu'un moyen efficace pour l'aide à la décision.

Dans ce contexte, le travail collaboratif est un levier pour rapprocher les équipes qui n'ont pas forcément l'habitude de travailler ensemble, pour diminuer les coûts liés aux déplacements physiques, pour réduire le temps de mise sur le marché d'un produit, mais aussi et surtout pour garantir la qualité et la traçabilité des données relatives au produit.

## Problématique

Les systèmes d'aide à la décision gagnent une popularité accrue dans divers domaines, y compris des affaires, l'ingénierie, les militaires, et la médecine. Ils sont particulièrement précieux dans les situations dans lesquelles la quantité de l'information disponible est prohibitive pour l'intuition d'un décideur humain. Les systèmes d'aide à la décision peuvent faciliter des insuffisances cognitives humaines en intégrant de diverses sources d'information, en fournissant l'accès intelligent à la connaissance appropriée, et en facilitant le processus de structurer des décisions. Ils peuvent également soutenir le choix parmi des solutions de rechange bien définies et la construction aux approches formelles, telles que les méthodes de

sciences économiques d'ingénierie, de recherche opérationnelle, de statistiques, et de théorie de la décision. Ils peuvent également utiliser des méthodes d'intelligence artificielle pour aborder les problèmes heuristiques qui ne peuvent être résolus par des techniques formelles.

Nous proposons dans le cadre de cette thèse de traiter l'intégration du travail collaboratif dans un système d'aide à la décision basé sur les technologies WEB. Cette intégration soulève un certain nombre de problèmes d'organisation, de gestion de connaissances et de coordination entre les agents que nous utilisons pour modéliser les opérateurs et les ressources afin de mieux représenter un système de production distribué et dynamique.

### Contribution Majeure

Notre contribution majeure émane de la prise en conscience que la collaboration et l'intégration des outils de travail collaboratif ne peuvent qu'augmenter la productivité d'une entreprise.

Afin d'assurer le travail collaboratif, nous avons développé une plateforme collaborative nommée 'DSS Network'. Cette dernière est dotée de fonctionnalités permettant aux opérateurs humains (participants) d'effectuer des échanges de messages et le partage d'expériences pour la résolution de pannes liées aux ressources.

La prise de décision collaborative est un concept qui a progressivement émergé au cours des dernières années et qui a fait l'objet de nombreuses études dans différents domaines d'application telles que la conception, la gestion de production et l'allocation des ressources [Bessedik et al., 2015].

L'idée principale de cette thèse est d'utiliser des agents comme un moyen pratique pour la mise en œuvre d'un système d'aide à la décision basé sur les technologies WEB (WEB-DSS). Le système développé met l'accent sur l'établissement du diagnostic des ressources en considérant deux situations (l'exécution lancée par les agents ou les discussions entre agents humains opérant dans un cadre de travail collaboratif). Les contributions de cette étude sont résumées dans :

- D'abord, le SIAD à base de WEB (WEB-DSS) est lancé en se basant sur les agents, leur communication et leur interaction qui nous permettent d'exploiter les avantages d'une architecture distribuée. L'utilisation d'agents pour automatiser certaines tâches peut accélérer l'implémentation de WEB-DSS. Relativement comparé au problème, l'Agent Coordinateur (AC) exécute un algorithme de coordination, ce qui lui permet de gérer les interactions des agents à temps et d'empêcher ou de traiter les conflits.

- Ensuite, la plate-forme collaborative développée ('DSS Network') permet aux opérateurs humains de communiquer entre eux pour trouver la meilleure solution à une panne de ressources. La méthodologie AHP (Analytic Hierarchy Process) est ensuite appliquée pour faire un classement des solutions obtenues.

## Organisation de la thèse

La thèse comporte 5 chapitres, organisés comme suit :

- Une « **Introduction générale** » qui expose notre contexte d'étude, la problématique ainsi que la contribution. Nous introduisons à ce niveau notre motivation.

Les chapitres 1,2 et 3 constituent la première partie qui présente un état de l'art relatif aux domaines en lien avec notre travail.

- Le premier chapitre, « **La Gestion de Production Distribuée** » qui présente tout ce qui se rattache à la production dans son contexte le plus général, en faisant un tour d'horizon sur la gestion de production dynamique et distribuée ainsi que le pilotage dans le milieu industriel.
- Le deuxième chapitre, « **Les Systèmes d'Aide à la Décision à base de Web** » décrit tous les types de système d'aide à la décision et la décision collaborative.
- Le troisième chapitre, « **Les méthodes multicritères : AHP** » met le point sur la méthode AHP, son mode de fonctionnement et se termine par présenter les travaux connexes qui traitent cette méthode en particulier.

Les chapitres 4 et 5 sont regroupés dans la deuxième partie qui constitue notre contribution.

- Le quatrième chapitre, « **Contribution** » décrit notre approche, l'architecture de notre modèle et les agents utilisés ainsi que les outils utilisés pour le développement de l'application.
- Le cinquième chapitre, « **Mise en œuvre du système (WEB-DSS)** » présente un exemple de déroulement de notre application.

Le présent manuscrit se termine par une « **Conclusion générale** » qui conclut nos travaux et énumère quelques perspectives de recherche futures.

Deux annexes seront présentées enfin de ce document pour rappeler les notions des SMA et de coordination entre les agents.

# Chapitre 1

## La Gestion de Production Distribuée

## 1. Introduction

Les transformations actuelles exigent aux entreprises de pouvoir faire face simultanément à la concurrence et aux besoins du marché. La logique de production à moindre coût est efficace pour supporter la concurrence mais ne l'est plus lorsqu'il faut intégrer la dynamique du marché. Les systèmes de production doivent donc être capables d'établir un compromis entre les coûts de production et le besoin de flexibilité en termes de produits. Ce compromis peut être atteint notamment par une amélioration des performances du système de production en termes de réactivité et de flexibilité.

Aujourd'hui, la conception de la gestion de la production a bien sûr beaucoup évolué. La gestion de la production se place au cœur de la stratégie de l'entreprise. Pourquoi cela ? La réponse à cette question réside dans l'évolution des conditions de la compétitivité économique.

Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques rappels concernant les systèmes de production, notamment au niveau de la terminologie. Plusieurs définitions ont été proposées dans la littérature dont un nombre limité d'entre elles sont présentées ici.

## 2. Production et gestion de production

### 2.1. Définitions de système de production

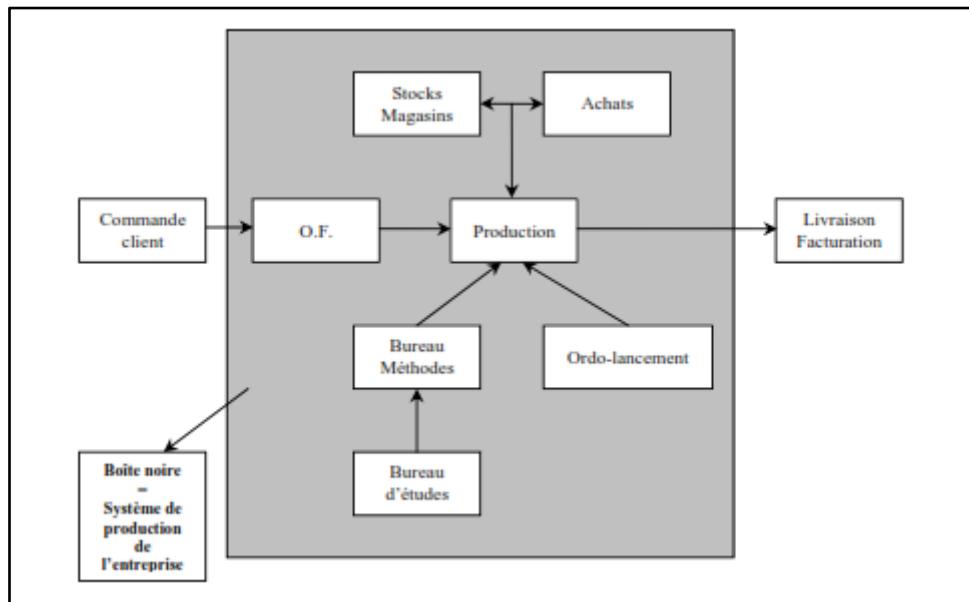
Avant de définir un système de production il semble judicieux de définir ces deux termes : *Système* et *Production*. Il existe de nombreuses définitions de « Système » selon le domaine concerné. Nous pouvons trouver la notion de système dans des domaines tels que la cybernétique, l'automatique, la biologie, etc. Parmi les définitions une semble être la plus adaptée au cadre de notre étude.

« *Un système est un ensemble d'éléments en interaction, orienté vers la réalisation d'un objectif, ces éléments pouvant être des hommes, des machines et des organes* » [Melèse, 1984].

D'un autre côté, la *Production* peut être définie comme « *une transformation de ressources appartenant à un système productif et conduisant à la création de biens ou de services* » [Giard, 2003].

Dans le cadre de notre travail, nous allons nous intéresser à la production au sein d'une entreprise manufacturière.

Une entreprise est une entité complexe composée de plusieurs fonctions formant un réseau où circulent des flux de nature différentes (matières, décisions, informations, capitaux,...). Selon [Blodel, 2002] le domaine de la production au sein d'une entreprise est représenté par le schéma de la **figure 1.1** :



**Figure 1.1** : Domaine de la production et ses fonctions connexes [Blodel, 2002]

D'une manière très générale, un système de production peut être défini comme un ensemble de moyens qui permettent la transformation de ressources en produits ou en services.

Un système de production a été défini par Dolgui et Proth [Dolgui et Proth, 2006] comme un ensemble des moyens déployés pour satisfaire un client, depuis l'enregistrement d'une commande jusqu'à sa livraison et l'encaissement de la facture correspondante.

Un système de production inclut donc, l'achat de la matière première et de ses composants, l'étude de marché, la formation, la fabrication, le conditionnement des produits finis, leur livraison, le service après-vente, pour ne citer que les principaux.

## 2.2. Définitions de gestion de production

[Baptiste et al., 2005] ainsi que [Giard, 2003] définissent la *Gestion de Production* comme une fonction ayant pour objet la recherche d'une organisation efficace de la production de biens et de services. En situant la production dans la perspective plus large

de la chaîne logistique, la définition de cette organisation doit aussi impérativement prendre en compte la maîtrise des flux entrants (approvisionnements) et celle des flux sortants (distribution) pour assurer le niveau de satisfaction globalement attendu par les clients.

L'interdépendance des problèmes conduit à porter autant d'attention à la définition des interfaces qui conditionnent les problèmes à résoudre qu'à la résolution de ces problèmes.

Quand on parle de gestion de production dans les entreprises, on fait constamment référence à des notions de flux : implantation en flux, flux poussés, flux tirés, flux tendus, flux logistiques...

La notion de flux est synonyme de mouvement, de circulation, d'évolution, de rapidité et donc d'efficacité.

En gestion de production, on s'intéresse plus particulièrement aux :

- Flux physiques : Approvisionnement, entrée et circulation des matières premières, des composants, des sous-ensembles, des pièces de rechange, sortie et distribution des produits finis, des stocks, des en-cours ...
- Flux d'information : suivi des données techniques, des commandes, des ordres de fabrication, des ordres d'approvisionnement, des ordres d'achat, des heures de main d'œuvre, des heures machines, des consommations de matière, des consommations de pièces brutes, des rebuts ...

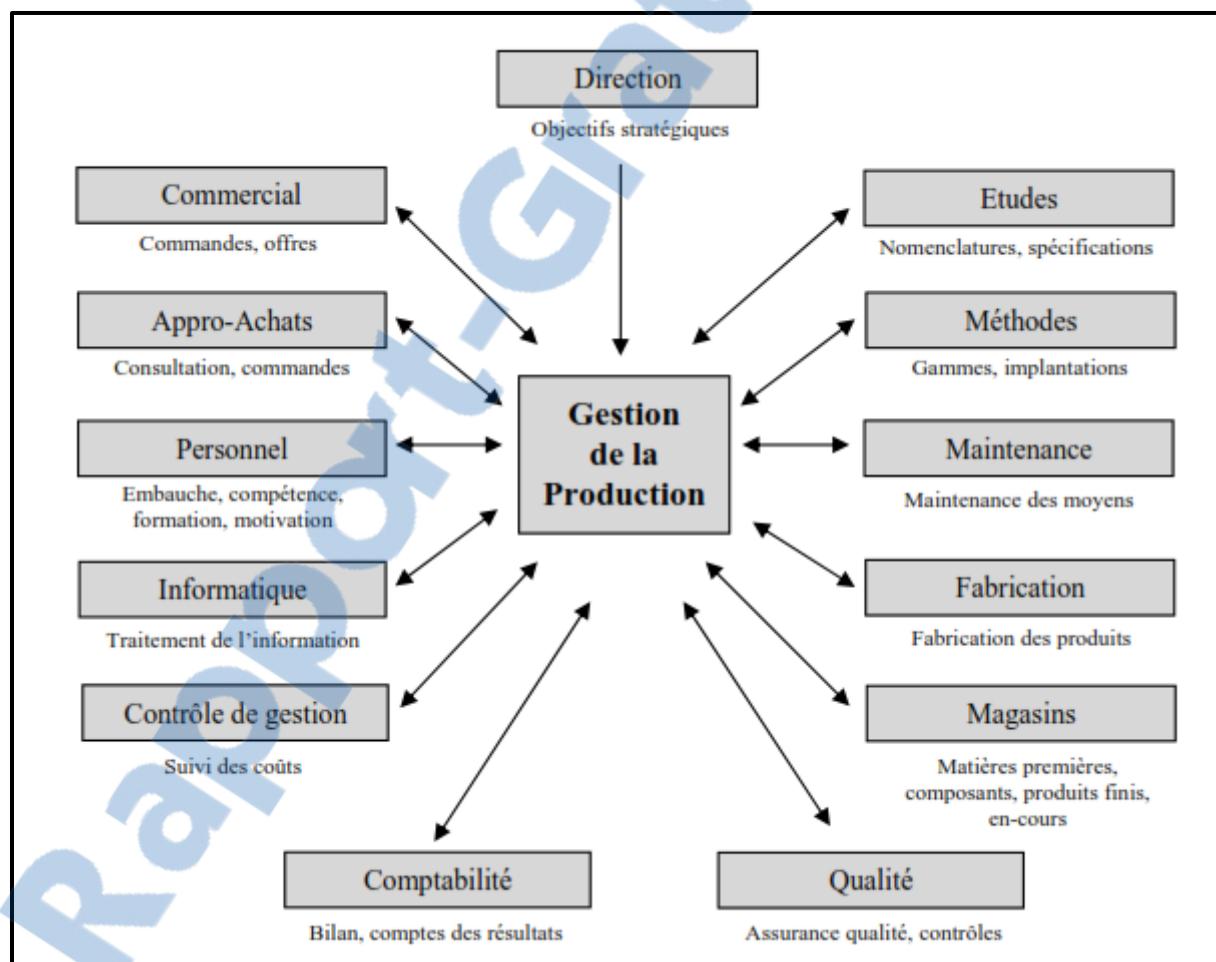
La préoccupation majeure de la gestion de production étant la satisfaction des clients, celle-ci se doit de chercher à maîtriser ses flux. Pour cela, elle doit :

- **Simplifier les flux physiques** en supprimant les opérations non génératrices de valeur vendable au sens valeur utile pour le client (par réimplantation des moyens de production).
- **Fluidifier et accélérer les flux physiques** en évitant les pannes machines, en diminuant les temps de changements de série, en améliorant la qualité des pièces, en développant

tant la polyvalence des hommes que le partenariat avec les fournisseurs et les distributeurs, en maîtrisant les flux de transports externes des produits...

- **Créer un système d'informations de gestion de production cohérent et pertinent** par un dialogue et une mise au point pour connaître et répondre aux besoins et aux attentes de chacun.

Le système de gestion de production d'une entreprise doit alors assurer l'organisation de son système de production afin de fabriquer les produits en quantités et en temps voulus, compte tenu des moyens disponibles dans le système physique. Il est alors clair que la gestion de la production doit impérativement interagir avec les autres fonctions de l'entreprise. (Figure 1.2)



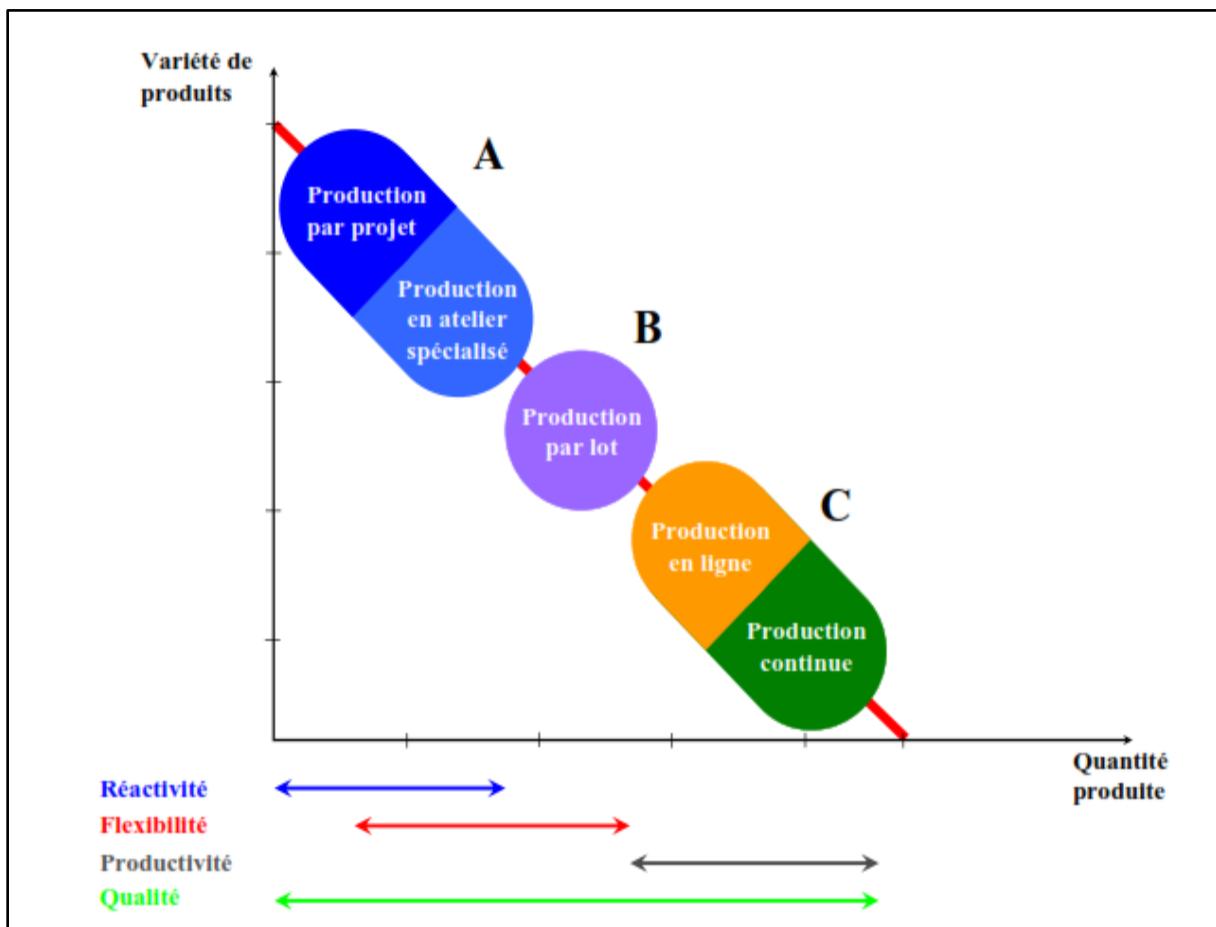
**Figure 1.2 : La gestion de production et les autres fonctions de l'entreprise [Hernandez Silva, 2007]**

### 3. Description des différents types de production

La **figure 1.3** positionne les différents types de production en fonction des critères suivants :

- le volume ou la quantité de produits fabriqués avec une plage de variation allant de la production unitaire jusqu'à la production de type continu (quantité exprimée en plusieurs milliers) ;
- la variété de produits avec une plage de variation allant du produit unique jusqu'à une multitude de variétés (variété exprimée en milliers).

Nous pouvons observer, dans la **figure 1.3**, trois sous-ensembles caractérisant les types de production. En effet, les types production par projet et production en atelier spécialisé sont regroupés car ils présentent de caractéristiques similaires. De la même manière, les types de production en ligne et production continue sont aggrégés car ils présentent également des caractéristiques identiques. Par contre, le type “production par lot” recense des caractéristiques identiques à la fois aux sous-ensembles A et C.



**Figure 1.3** : Différents types de production [Lattanzio, 2006]

### 3.1. Production continue

Ce type de production est utilisé pour des produits ayant une gamme opératoire fixe avec des changements techniques très rares. L'équipement productif est organisé et implanté suivant les étapes de fabrication du produit. Ceci illustre un flux continu de matières pendant la production.

### 3.2. Production en ligne

Ce type de production est utilisé pour produire une gamme étroite d'articles standards, semblables ou fortement similaires. Les volumes de production sont élevés, les moyens de production et de manutention sont dédiés et tous les produits suivent la même séquence opératoire.

### 3.3. Production par lot

Ce type de production s'adresse à des produits qui ont une conception similaire et une large gamme de quantités commandées. Les commandes sont habituellement récurrentes et la production peut être réalisée pour satisfaire une commande ou pour reconstituer le stock.

### 3.4. Production en atelier spécialisé

Ce type de production s'adresse à des organisations dans lesquelles les équipements de production similaires sont organisés par fonction. Chaque ordre de fabrication suit une gamme spécifique dans l'atelier. Ce type de production est utilisé pour réaliser des produits selon les spécifications de chaque client. Les opérations de fabrication sont conçues pour réaliser une large gamme de produits et sont exécutées à des postes fixes, utilisant des moyens universels.

### 3.5. Production par projet

Il s'agit d'un type de production d'articles ou de structures de grandes tailles, souvent unitaires, qui exige une capacité de conception à la commande. Ce type de procédé est très flexible et peut convenir à une large gamme de conceptions et de modifications de produits. La production par projet se fait habituellement autour du produit ; ce sont les ressources qui se déplacent autour du produit.

## 4. Les caractéristiques des systèmes de production

Le contexte économique dans lequel les entreprises évoluent aujourd’hui ne permet plus de produire efficacement à partir des systèmes de production basés sur les principes du Taylorisme, qui ont fait largement leurs preuves. Il nécessite des systèmes de production basés sur d’autres principes, ayant des nouvelles caractéristiques, telles que la flexibilité, la réactivité, la proactivité et la robustesse.

### 4.1. Flexibilité

L’évolution croissante des besoins d’une entreprise fait que la conception du système de production est de plus en plus orientée vers des familles de produits et non vers un seul type de produit. Les systèmes correspondants à une telle exigence doivent se révéler flexibles.

*La flexibilité d’un système de production se caractérise par sa capacité d’adaptation à la production des nouveaux produits pour lesquels le système n’a pas été étudié. Cela suppose une adaptation totale du système de production au produit courant (de la distribution des flux discrets de composants aux opérations qu’effectuent les moyens de production sur le produit).*

Plusieurs types de flexibilité [Abrudan, 1996], [Adamou, 1997] ont été mis en évidence suivant leurs incidences sur l’objectif qui est le produit fini et sur les moyens de production permettant la réalisation de ce produit.

- *flexibilité de produits* : offre la possibilité d’une reconfiguration du système pour la prise en compte d’un nouveau produit ou famille de produits permettant ainsi un gain de productivité ;
- *flexibilité de mélange* : c’est la possibilité de produire simultanément un ensemble de produits ayant des caractéristiques de base communes ; cette flexibilité peut être mesurée par le nombre de produits différents qui peuvent être fabriqués simultanément ;
- *flexibilité de quantité* : il s’agit de la capacité du système à faire face aux fluctuations de la quantité des produits à fabriquer en modifiant les rythmes, ainsi que les temps de passage et d’engagement des outils ;
- *flexibilité de routage* : offre au système les moyens d’un aiguillage plus souple, de façon à servir les différents segments de procédés libres ou sous - engagés ;

- *flexibilité d'ordre des opérations* : permet de changer l'ordre des opérations en cours de production (ce qui suppose l'existence d'une gamme principale et des gammes secondaires) ou de choisir la destination suivante après chaque opération ;
- *flexibilité d'expansion* : autorise une extension et une modification de l'architecture du système et elle exige une modélisation ;
- *flexibilité des ressources* : c'est la capacité des ressources à effectuer plusieurs tâches élémentaires et de permettre la reprogrammation.

En considérant les définitions données ci-dessus, nous pouvons déduire que la flexibilité est un facteur déterminant dans l'élaboration de la conception d'un système de production apte à fabriquer plusieurs variantes de produits. Malheureusement, une forte accentuation sur cette flexibilité engendre des investissements très élevés des ressources technologiques relevant de ce système, à cause de leur surdimensionnement à l'installation, et entraîne une baisse de productivité. Au cours de l'automatisation d'un système flexible de production il faut donc faire un compromis entre flexibilité et productivité.

## 4.2. Réactivité

Une exigence importante du client est de recevoir sa livraison dans les délais impartis et ce quel que soit le carnet de commande (variable). Satisfaire une telle exigence impose au système de production d'être réactif, c'est-à-dire capable de répondre rapidement et économiquement à un changement (fabrication multi-produit, introduction d'une commande urgente, modification d'une norme etc.) ou à un aléa. Ces aléas peuvent provenir soit du système de production (défaux d'alimentation, défauts de réalisations d'une tâche, pannes des machines, rebuts) soit de son environnement (approvisionnements des matières premières).

*La réactivité d'un système de production est définie comme l'aptitude à répondre (réagir) dans un temps requis aux changements de son environnement interne ou externe (aléa, situation nouvelle, perturbation, sollicitation, ...) par rapport au régime (fonctionnement) permanent (stable).*

La réactivité se pose en terme de mesure de la qualité d'une certaine performance du système de production. Celle-ci implique une maîtrise du système observé, une maîtrise du type de performance à évaluer et de la pertinence sémantique et logique des données et des

traitements mis en œuvre. Il est donc plus que nécessaire de disposer d'une excellente connaissance sur la composition interne du système, sa frontière, son environnement, ses interactions intra et extra système, ses aspects technologiques, humaines, opérationnels, organisationnels, décisionnels et économiques selon un horizon temporel d'évolution. On peut donc considérer des indicateurs de réactivité : un indicateur *d'a priori* en vue de l'évaluation d'une réactivité potentielle, un indicateur temps réel pour l'évaluation d'une activité courante et un indicateur *d'a posteriori* en vue d'une archive historique des réactivités considérées dans le passé. Selon leur niveau de considération, ses indicateurs sont de type spécifiques ou généraux, sélectifs ou universels (réactivité induite par les perturbations), absous ou relatifs (réactivité différentielle), instantanés ou cumulés, locaux ou globaux.

La réactivité d'un système de production impose une vision dynamique des événements qui se passent dans le système. Afin d'assurer cette propriété de réactivité du système de production, trois fonctions annexes s'avèrent nécessaires :

- *une fonction d'observation* qui collecte les variables nécessaires au suivi, afin de connaître l'état courant du système (disponibilité et état des produits, disponibilité et état des moyens de production) ;
- *une fonction de surveillance* qui détecte (suite au résultat d'une observation) et interprète les écarts et les changements entre le plan prévisionnel et le plan courant par anticipation ;
- *une fonction de correction* qui tente à tout instant de corriger les écarts entre ces plans, ce qui implique un ordonnancement dynamique.

### 4.3. Proactivité

Aujourd'hui, l'évolution rapide de l'environnement, la complexité croissante des processus de production conduisent à considérer comme nécessaire une adaptation permanente, dans un monde où l'aléa constitue la règle et non l'exception. La réactivité est donc nécessaire, mais elle n'est pas suffisante et les systèmes de production doivent présenter une nouvelle propriété : la proactivité.

*La proactivité d'un système de production se caractérise par ses capacités d'anticipation (prévoir et/ou provoquer) les changements d'état, d'apprentissage et d'enrichissement des connaissances (pour améliorer sa réactivité), d'adaptation ses règles de fonctionnement et par sa capacité de réorganisation reposant sur une architecture décentralisée et une délégation de responsabilité.*

Un système de production proactif est avant tout un système réactif. La proaction sous-entend l'existence de la réaction. La réaction consiste dans l'application de règles fixées, en réponse aux événements, tandis que la proaction, en considérant la définition donnée ci-dessus, ajuste en quelque sorte son environnement et modifie les règles de fonctionnement afin de gérer et maîtriser les aléas néfastes à la performance industrielle.

A côté des fonctions d'observation, de surveillance et de correction, nécessaires pour assurer la réactivité d'un système, la proactivité implique une quatrième fonction d'enrichissement des connaissances, qui permet d'améliorer les processus d'interprétation et de décision.

#### 4.4. Robustesse

Une autre exigence du client est d'acquérir sa commande avec la garantie d'une certaine qualité. Cela oblige le concepteur du système de production à imposer au système de production une certaine robustesse.

*La robustesse d'un système de production se définit par son aptitude à produire conformément aux résultats attendus. Cela suppose la garantie de l'obtention des performances souhaitées en présence d'incertitudes dans le système.*

L'acquisition de ces quatre propriétés est liée à une réorganisation notable du système de production existant, notamment au niveau de la conduite du système par la prise en compte des nouvelles approches.

### 5. Décomposition du système de production

Les systèmes de production peuvent être des systèmes très complexes et difficiles à gérer au vu de toutes leurs composantes fonctionnelles (fabrication, achat, distribution, maintenance...). Ils sont donc beaucoup étudiés, et ce depuis longtemps. Plusieurs approches

ont été envisagées dans le but de mieux comprendre leur fonctionnement et de mieux les appréhender.

L'application de la théorie des systèmes [Trentesaux, 2001] [Taghezout, 2008] aux systèmes de production suggère une décomposition de ces derniers en trois sous-systèmes (Figure 1.4) :

- le système d'information,
- le système de décision,
- le système physique de production.

Le **système de décision** contrôle le système physique de production. Il en coordonne et organise les activités en prenant des décisions basées sur les données transmises par le système d'information. Le rôle du **système d'information** est de collecter, stocker, traiter et transmettre des informations. Il intervient à l'interface entre les systèmes de décision et de production et à l'intérieur même du système de décision, pour la gestion des informations utilisées lors de prises de décision, et du système physique de production, pour la création et le stockage d'informations de suivi par exemple. L'association des parties des systèmes de décision et d'information concernant uniquement la production constitue le système de gestion de production.

Le **système physique de production** transforme les matières premières ou composantes en produits finis. Il est constitué de ressources humaines et physiques. Ses activités sont déclenchées et vérifiées par le système de gestion de production.

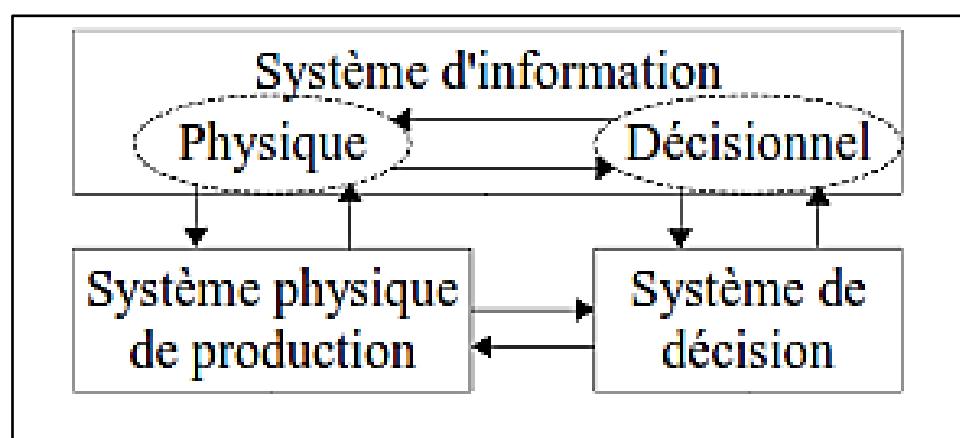


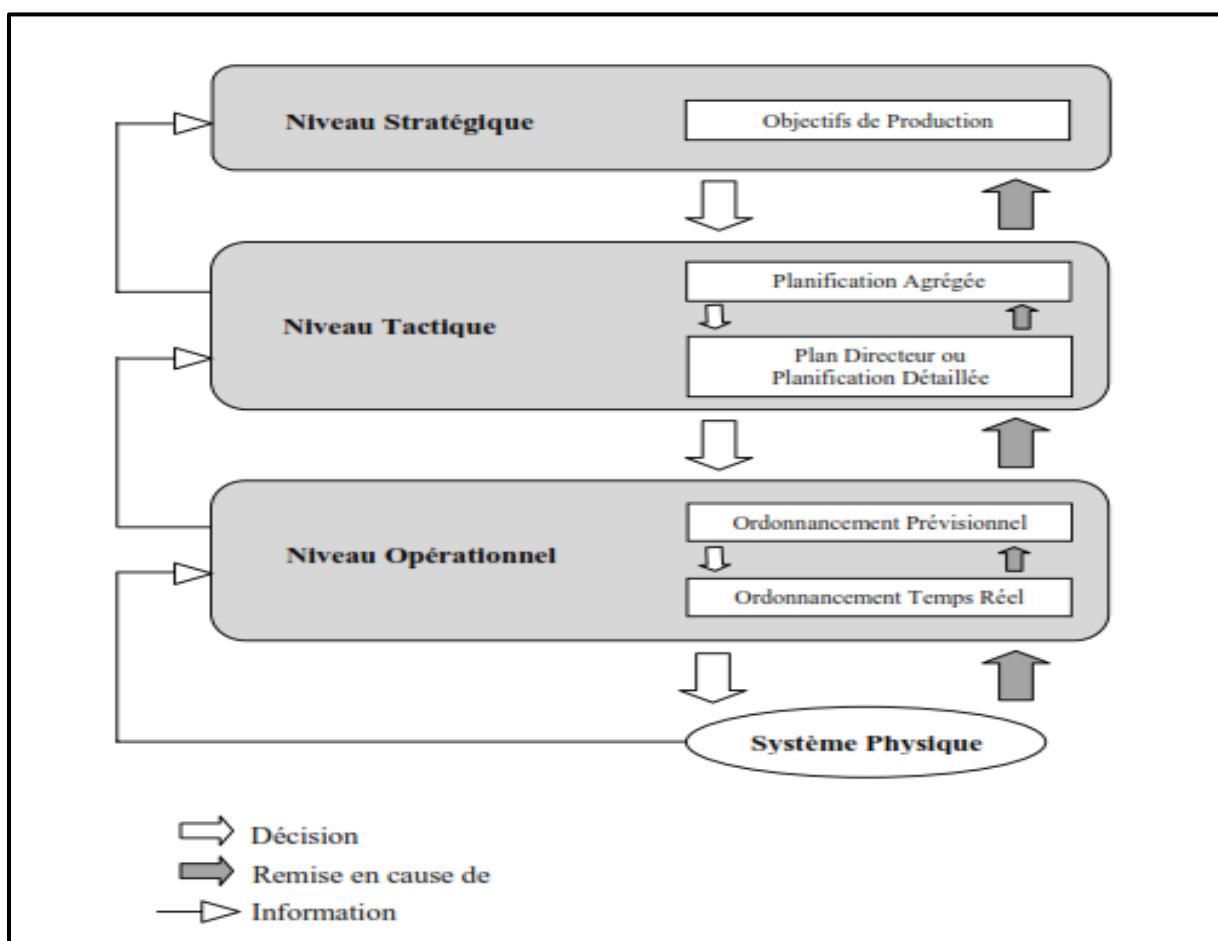
Figure 1.4 : Approche systémique du système de production [Trentesaux, 2001]

[Taghezout, 2008]

## 6. Typologie décisionnelle en gestion de production

Le système de gestion de production doit maintenir un certain niveau de productivité tout en restant compatible avec les contraintes commerciales, techniques, financières et sociales. Mais en raison de contraintes imposées par le marché et de la diversité des fonctions à assurer, celui-ci est souvent confronté à des prises de décisions possédant une forte combinatoire et surtout, incluant plusieurs problématiques différentes. C'est pourquoi les décisions de gestion sont souvent structurées en niveaux.

L'organisation des décisions prises par le système de gestion d'une unité de production s'inspire du modèle classique pyramidal, décomposant les décisions selon trois niveaux : stratégique, tactique et opérationnel [Anthony, 1965], [Bitran et Tirupati, 1993]. (Voir **figure 1.5**).



**Figure 1.5 : Classification hiérarchique de décisions [Deschamps, 1994]**

## 6.1. Le niveau stratégique

*Le niveau stratégique* élabore la stratégie au plus haut niveau en formulant une politique à long terme de l'entreprise (vision à plus de deux ans, en général) au niveau des moyens financiers, matériels et humains qui sont déterminés par une série de décisions, compte tenu d'objectifs techniques et économiques. Des exemples de ce type de décisions sont par exemple : la détermination de la taille et l'emplacement de nouvelles usines, l'acquisition d'équipements neufs, le choix de nouvelles gammes de produits, etc.

## 6.2. Le niveau tactique

*Le niveau tactique* assure l'organisation de la production en cohérence avec les décisions prises au niveau stratégique de façon à obtenir une utilisation efficace des ressources du système. Ce problème est complexe et nécessite généralement une décomposition. Par exemple, les décisions tactiques prises à moyen terme peuvent nécessiter une agrégation de la fabrication des produits en familles ou un fractionnement de la production en sous-ensembles ou lots.

## 6.3. Le niveau opérationnel

*Le niveau opérationnel* prend des décisions à court terme et à très court terme celles-ci, sont prises et / ou mises en œuvre par des agents de maîtrise ou d'exécution. Les données sont ici beaucoup plus détaillées. Les décisions prises à ce niveau concernent la prise en œuvre des moyens de l'atelier afin de produire, dans les délais, les quantités fixées au niveau supérieur, ce qui nécessite une désagrégation complète du plan si celui-ci a été construit par famille de produits. Les types de problème que l'on rencontre sont : l'ordonnancement de la production, la gestion du stockage, etc.

# 7. Généralité sur l'ordonnancement

Le plan de charge permet de vérifier si la charge occasionnée dans l'atelier par les commandes n'est pas supérieure à la capacité des ressources de l'atelier. Dans le cas contraire, des réajustements de charge (lissage) ou de capacité (sous-traitance, heures ou équipes supplémentaires) peuvent être faits. Les données sont transmises à la fonction ordonnancement que nous détaillons dans cette partie.

## 7.1. Définition de l'ordonnancement

L'**ordonnancement** est la programmation dans le temps de l'exécution d'une série de tâches (ou activités, opérations) sur un ensemble de ressources physiques (humaines et techniques), en cherchant à optimiser certains critères, financiers ou technologiques, et en respectant les contraintes de fabrication et d'organisation [GOTHA, 1993] [Esquirol et Lopez, 1999]. Les ordres de fabrication (OF), suggérés par le calcul des besoins, représentent chacun une requête pour fabriquer une quantité déterminée de pièces pour une date donnée. Ils constituent les données d'entrée de l'ordonnancement et permettent de définir, au moyen des gammes de fabrication, l'ensemble des tâches que la fonction ordonnancement doit planifier.

Une tâche est localisée dans le temps par une date de début et une durée ou une date de fin. Elle utilise une ou plusieurs ressources. Elle est dite préemptive si elle peut être interrompue, ou non préemptive si elle ne peut pas être interrompue. En sortie de la fonction ordonnancement, on obtient un planning, ou ordonnancement, qui restitue l'affectation des tâches fournies en entrée à des dates précises pour des durées déterminées sur les différentes ressources. Ce planning cherche à satisfaire des objectifs, en respectant le plus possible des contraintes que nous allons préciser.

La fonction ordonnancement est une fonction court terme, même si elle est parfois utilisée à moyen terme [Esquirol et Lopez, 1999]. Son horizon et sa période sont donc relativement courts. L'horizon d'un ordonnancement est en général d'une à trois semaines, la période varie de deux ou trois jours à une semaine.

## 7.2. Contraintes sur l'ordonnancement

On peut distinguer trois grandes catégories de contraintes : temporelles, technologiques et de ressources. Le premier type concerne les délais de fabrication imposés. Le deuxième type correspond aux contraintes technologiques, en général décrites dans les gammes de fabrication des produits. On y trouve des contraintes d'enchaînement temporel, mais aussi l'obligation d'utilisation de certaines ressources. Le dernier type de contraintes concerne la limitation de la quantité de ressources de chaque type. Ces contraintes distinguent les différents types de ressources, qui peuvent être disjonctives (elles n'exécutent qu'une seule tâche à la fois), ou cumulatives (elles peuvent exécuter plusieurs tâches en parallèle). Les

ressources n'ont pas la même disponibilité et pas la même capacité, celle-ci pouvant être modulée par la modification des calendriers d'utilisation ou l'emploi de ressources externes. Une ressource peut aussi être consommable, lorsque, après sa libération, elle n'est pas disponible en même quantité. Dans le cas contraire, elle est dite renouvelable.

On peut aussi distinguer les contraintes suivant qu'elles soient strictes ou pas. Les contraintes strictes sont des obligations à respecter alors que les contraintes dites « relâchables » (aussi appelées préférences) peuvent éventuellement n'être pas satisfaites.

### 7.3. Objectifs de l'ordonnancement

Le traitement de l'ordonnancement dans la littérature s'est tout d'abord orienté vers une optimisation monocritère. L'environnement manufacturier évoluant rapidement et la concurrence devenant de plus en plus acharnée, les objectifs des entreprises se sont diversifiés et le processus d'ordonnancement est devenu de plus en plus multicritère. Les critères que doit satisfaire un ordonnancement sont variés. D'une manière générale, on distingue plusieurs classes d'objectifs concernant un ordonnancement [Esquirol et Lopez, 1999] :

- *les objectifs liés au temps* : on trouve par exemple la minimisation du temps total d'exécution, du temps moyen d'achèvement, des durées totales de réglage ou des retards par rapport aux dates de livraison,
- les objectifs liés aux ressources : maximiser la charge d'une ressource ou minimiser le nombre de ressources nécessaires pour réaliser un ensemble de tâches sont des objectifs de ce type,
- les objectifs liés au coût : ces objectifs sont généralement de minimiser les coûts de lancement, de production, de stockage, de transport, etc,
- les objectifs liés à une énergie ou un débit.

Les objectifs à satisfaire au niveau de l'ordonnancement sont issus des objectifs globaux de l'entreprise, par décomposition. Cette décomposition conduit à une structure d'objectifs qui permet de gérer les contradictions et les compromis [Farhoodi, 1990] [Grabot, 1998]. Un exemple de structure d'objectifs est présenté **Figure 1.6**.

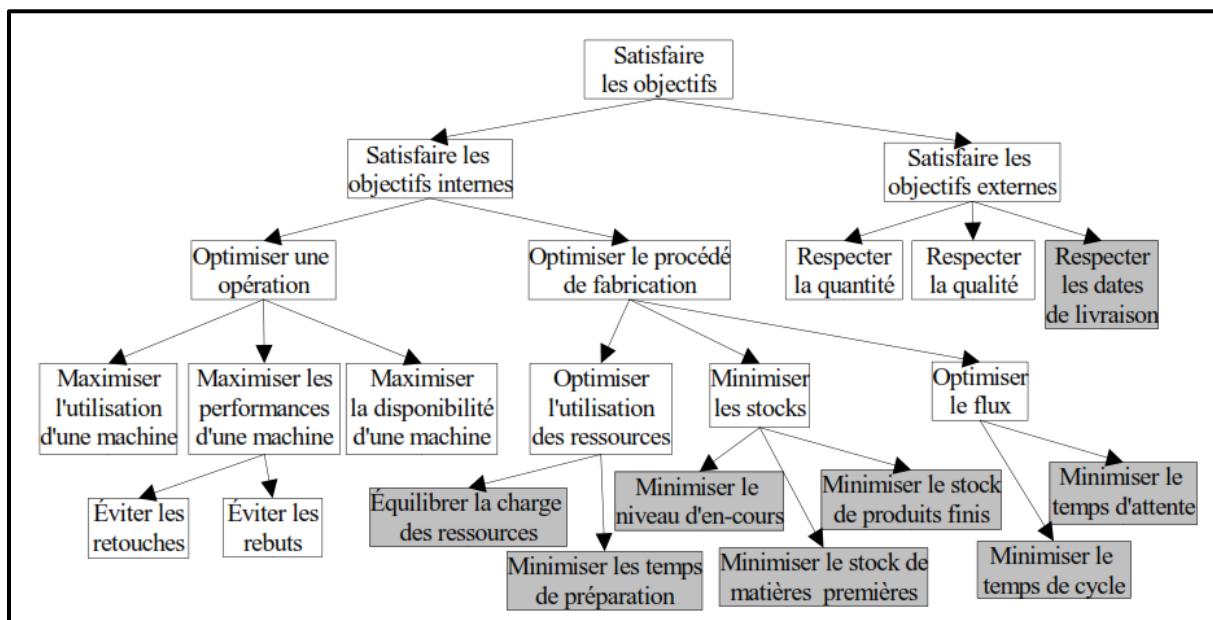


Figure 1.6 : Structure d'objectifs [Grabot 98]

Dans cet exemple de décomposition, les objectifs de haut niveau (stratégiques) sont séparés en objectifs externes, qui quantifient la relation entre l'entreprise et son environnement, et internes, qui évaluent les performances des ressources du système. On ne conserve ici que les objectifs concernant la fonction ordonnancement (grisés sur la **Figure 1.6**).

Chaque entreprise a ses propres critères, dépendants de sa politique, de son passé, de ses problèmes particuliers... Même si on y retrouve certains points communs, ces objectifs sont trop dépendants de la compagnie, de l'environnement manufacturier ou tout simplement de la personnalité et des habitudes du responsable de la production pour pouvoir être définitivement fixés dans les méthodes de résolution de problèmes d'ordonnancement.

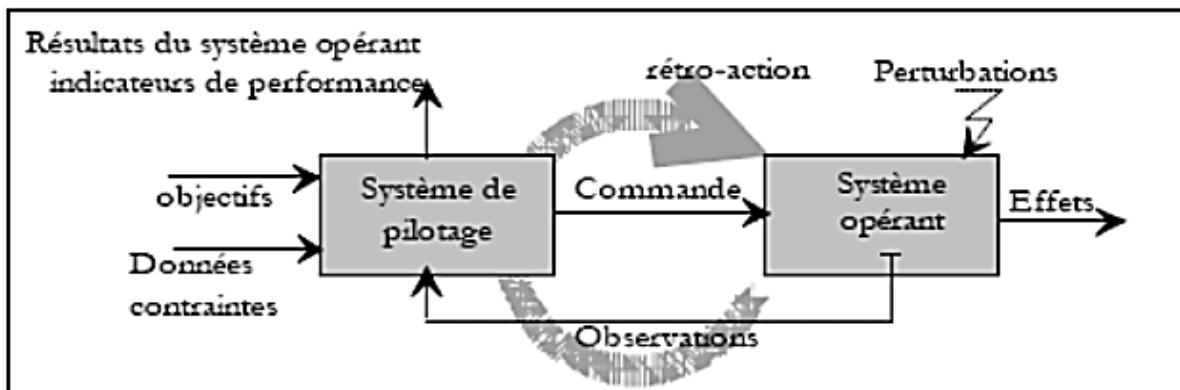
## 8. Pilotage et Ordonnancement

### 8.1. Notion de pilotage

A l'heure actuelle, il n'existe pas de définition unique ni stabilisée du terme pilotage. Une définition a été proposée dans les travaux de Trentesaux en 2000, dans laquelle il définit le pilotage comme suit :

"Le pilotage consiste à décider dynamiquement des consignes pertinentes à donner à un système soumis à perturbation pour atteindre un objectif donné décrit en termes de maîtrise de performances" [Trentesaux, 2002].

Le schéma proposé à la **figure 1.7** place le pilotage dans son environnement. Ici, le concept de pilotage concerne la définition et l'organisation des interrelations entre deux sous-systèmes : un sous-système physique (appelé système opérant) et sous-système de décision (appelé système de pilotage), conduisant à la mise en œuvre d'une boucle de rétroaction.



**Figure 1.7 :** Modèle de l'environnement d'un système de pilotage.

## 8.2. Pilotage et Ordonnancement

Parunak [Parunak, 1991] définit l'ordonnancement prévisionnel comme étant le : « sous ensemble du produit cartésien Quoi\*Où\*Quand pour un sous ensemble de tâches à réaliser ». On peut différencier les types de pilotage selon qu'un ordonnancement prévisionnel des tâches est réalisé ou non :

- **Pilotage sans ordonnancement prévisionnel** : les allocations se font en temps réel et de manière dynamique au fur et à mesure de l'évolution du système de production.
- **Pilotage à ordonnancement prévisionnel partiel** : seule une partie des tâches à réaliser sont planifiées a priori. Les autres sont allouées dynamiquement.
- **Pilotage à ordonnancement prévisionnel total** : toutes les tâches à réaliser sont allouées en amont du système de pilotage.

## 9. Conclusion

Les systèmes de production sont, par nature, complexes. Il est par ailleurs nécessaire de tenir compte des demandes réelles ou prévues à long et à moyen terme, pour pouvoir utiliser

au mieux les ressources disponibles. De plus, les événements aléatoires internes et externes qui interviennent constamment nécessitent de recalculer l'ordonnancement.

Ce premier chapitre a permis de présenter la fonction de gestion de production au cœur de notre étude : l'ordonnancement, le chapitre suivant est consacré à l'étude des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD).

# Chapitre 2

**Les systèmes d'aide à la  
décision à base de Web**

## 1. Introduction

Dans la vie quotidienne, nos décisions sont souvent prises sur la base d'intuitions et d'expériences passées. Elles sont issues d'heuristiques observables au travers de biais systématiques [Kahnemann et al., 1982]. Mais en réalité ce type de stratégies ne peut s'appliquer qu'à des problèmes familiers. Lorsque nous sommes confrontés à des situations nouvelles, la tâche de prise de décision devient beaucoup plus difficile. De nos jours, l'environnement des décideurs est de plus en plus complexe et évolue rapidement. La tendance est plutôt à l'accroissement de cette complexité. Cet accroissement est dû à plusieurs facteurs :

- La technologie de l'information et des ordinateurs,
- une complexité structurelle des décisions,
- une plus forte compétition,
- l'ouverture au marché international,
- etc.

Ainsi, pour acquérir de nouvelles parts de marché, l'entreprise doit mieux comprendre ses clients et être réactive pour identifier les nouveaux relais de croissance. Dès lors, l'entreprise doit davantage prendre en compte l'évolution du marché afin d'en détecter les opportunités et les menaces. C'est ce que [Le moigne, 1974] a confirmé en annonçant que, la prise et l'exécution des décisions sont les buts fondamentaux de toute organisation, de tout management; et que toute organisation dépend, structurellement, de la nature des décisions qui sont prises en son sein et non par des décideurs, qu'ils soient individuels ou collectifs.

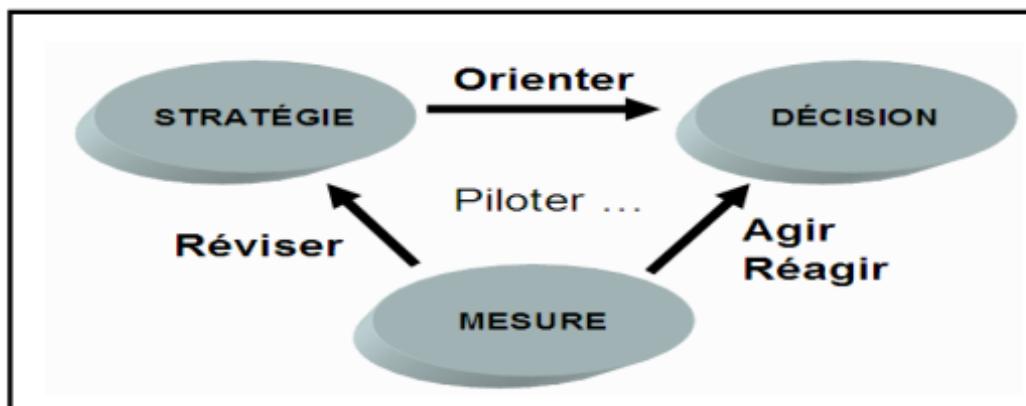
Ce chapitre présente les Systèmes d'Aide à la Décision (**SAD**), les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décisions (**SIAD**), la décision collaborative, et les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décisions à base de Web (**Web-based DSS : Web-based Decision Support System**), les concepts et les définitions de base qui leurs sont directement associés et les technologies Web.

## 2. Décision et aide à la décision

### 2.1. Décision

La plupart des écoles rationalistes analytiques définissent la décision comme étant un choix entre plusieurs alternatives. [Castles et al., 1971], par exemple, attribuent la définition suivante: « A decision is a conscious choice between at least two possible courses of action ».

[Mintzberg, 1973] a défini la décision, qu'elle soit individuelle ou collective, comme « l'engagement dans une action, c'est-à-dire une intention explicite d'agir ». Elle a pour but la résolution de problèmes qui se posent à l'organisation ou à l'individu; et elle peut correspondre à un changement de l'environnement (comportement réactif) ou au désir de saisir une opportunité et ainsi changer l'environnement (comportement d'anticipation). Dans le même sens, [Fernandez, 1999] a défini la décision par : « Décider, c'est prendre des risques certes mais c'est être en réaction face à un choix stratégique à prendre ».



**Figure 2.1** : Lien entre les mesures, la stratégie et la décision. [Fernandez, 1999]

La **Figure 2.1** parle d'elle-même. Selon Alain Fernandez, pour prendre une décision, il faut pouvoir mesurer. La mesure permettra de réviser la stratégie pour orienter la décision et ainsi d'agir ou de réagir.

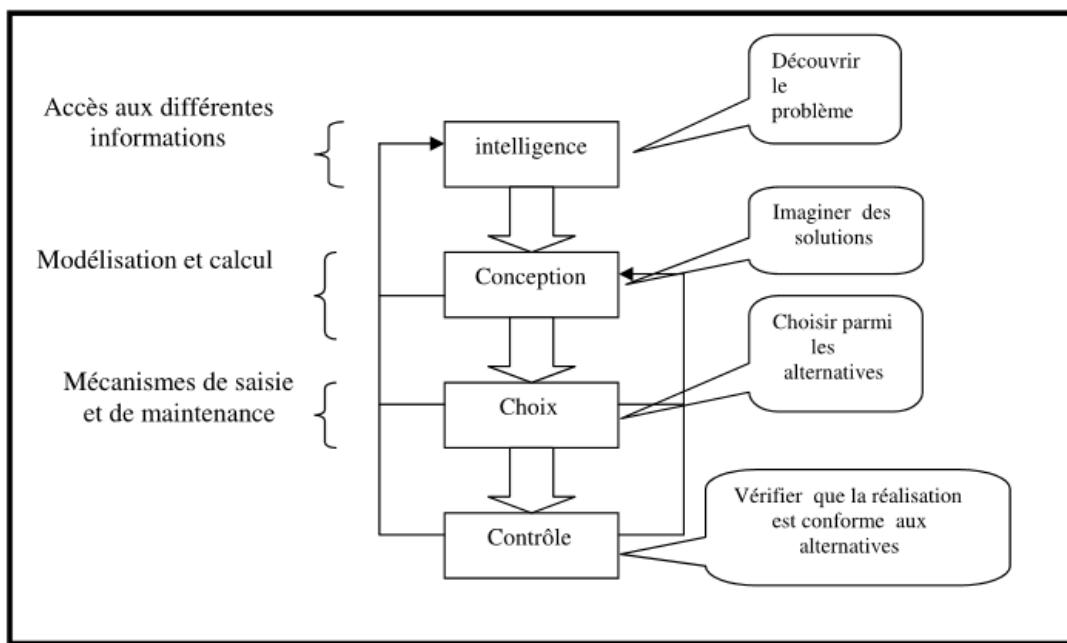
## 2. 2. Processus de décision

La décision ne se réduit pas à un simple choix à faire entre plusieurs alternatives. SIMON décrit un processus itératif dans le modèle I.D.C (Intelligence Design Choice) qui découpe le processus de décision en trois phases pour :

- Identifier dans l'environnement les facteurs que l'on considère sensibles.

- Organiser et modéliser les informations que le décideur a retenues de façon à disposer des solutions possibles pour résoudre son problème.
- Permettre au décideur de faire un choix parmi les solutions établies ou encore de faire une itération sur l'une des phases précédentes.

En effet, s'il n'a pas trouvé de solution satisfaisante après ces trois phases, on peut ajouter une phase de contrôle qui peut être mise en œuvre avant (à travers des solutions) ou après l'application de la décision.



**Figure 2.2 : Le modèle I.D.C. [Marakas, 1999]**

Simon (Simon, 1977) distingue trois phases dans le processus de décision :

- ⊕ **L'information ou le renseignement (intelligence)** : Recherche d'information en fonction des questions que se pose le décideur, définition du problème à résoudre, c'est-à-dire identification des objectifs ou buts, classification de celui-ci, décomposition du problème en sous-problèmes – beaucoup de problèmes complexes peuvent être divisés en sous-problèmes plus simples à résoudre qui aide à résoudre le problème plus complexe.
- ⊕ **La conception (design)** : la construction ou le choix d'un modèle du processus de décision, détermination des variables de décision, des variables incontrôlables, des

relations mathématiques ou symboliques ou qualitatives entre ces variables et construction de solutions.

■ **Le choix (choice)** : Le décideur choisit entre les différentes suites d'actions-solutions- qu'il a été capable de construire et d'identifier pendant la phase précédente. Cette étape se décompose en deux étapes : celle de recherche et celle d'évaluation. La phase de recherche peut être de type analytique (optimisation, toutes les alternatives sont atteintes), aveugle (recherche exhaustive ou partielle) et heuristique. Dans ces deux cas, seule une solution respectivement soit assez bonne, soit satisfaisante est fournie. Cette recherche est couplée avec une évaluation qui est l'étape finale qui amène à une recommandation solution.

### 2. 3. Types de décisions

Revenons sur les étapes de la décision (qui ont donc une signification plutôt logique que temporelle). Celles qui sont les plus souvent citées par les auteurs non réductionnistes sont :

- ❖ la perception
- ❖ la préparation
- ❖ la décision
- ❖ l'exécution

Leurs opinions sur l'importance de ces processus varient énormément. Cette variété de vues et de paradigmes s'explique en partie par le type de décision auquel ils s'intéressent. Les éléments ontologiques à l'aide desquels on pourrait définir des types de décision illustrent la richesse de ce concept. Ce sont [Clarke, 1993] :

- ➔ Objet de la décision : but, programme, opération, instrument,...
- ➔ Organe de décision : organisation, groupe, individu,....
- ➔ Type de prise de décision : routine, créatif, application d'un programme,...
- ➔ Portée de la décision : stratégique, tactique, opérationnelle,....
- ➔ Contrôle des éléments de la décision : bonne, moyenne,...

Sans discuter cette typologie en détail, nous affirmons que la différence structurelle entre certains types de décision peut être très grande. Cela explique en partie la divergence des

paradigmes en ce qui concerne la définition de ce qu'est une décision et de ce qu'un décideur sait faire.

Donc, on peut distinguer les types suivants de décisions :

- **Décisions non programmables** : La multiplicité des critères à prendre en compte décourage son utilisation,...
- Exemple** : choix du lieu d'implantation d'une machine à café.
- **Décisions programmables** : Comportent en général peu de paramètre, qui de plus sont le plus souvent aisément identifiables. On peut leur appliquer des procédures formalisées de résolution.
- Exemple** : gestion de stocks, traitement de commandes,...
- **Décisions structurées** : Sont des décisions pour lesquelles les informations nécessaires sont disponibles, les alternatives possibles énumérables et les mécanismes qui permettent de les évaluer connus.
- **Décisions non structurées** : Présentent des caractéristiques spécifiques. On peut distinguer trois types de complexité qui caractérisent ce type de décisions :
  - La complexité géographique (actuellement résolue par l'évolution du monde de la télécommunication et des réseaux).
  - La complexité imprévisible (due à l'incertitude).
  - La complexité dynamique, c'est-à-dire la prise en compte du caractère historique de la décision et de l'émergence. Cette complexité exige que la décision se prenne de façon dynamique.

## 2.4. Aide à la décision

Selon **Roy et Bouyssou** [Roy et Bouyssou, 1993], l'aide à la décision est définie comme étant l'activité de celui (homme d'étude) qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, cherche à obtenir des éléments de réponses aux questions que pose un intervenant (décideur) dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, à recommander ou simplement à favoriser un comportement de nature à accroître la

cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service duquel cet intervenant se trouve placé, d'autre part. par ailleurs, ils soulignent que l'aide à la décision contribue à construire et à faire partager des convictions.

### 3. Les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD)

Les SIAD ont été conçus pour résoudre des problèmes de décision peu ou mal structurée [Keen, 1978]. Ces problèmes possèdent les ou l'une des propriétés suivantes [Klein, 1971]:

- ✧ Les préférences, jugements, intuitions et l'expérience du décideur sont essentiels ;
- ✧ la recherche d'une solution implique un mélange de recherche d'information, de formalisation ou définition et structuration du problème, du calcul et de la manipulation de données ;
- ✧ la séquence des opérations ci-dessus n'est pas connue à l'avance parce qu'elle peut être fonction des données, être modifiée, peut ne donner que des résultats partiels, ou encore peut être fonction des préférences de l'utilisateur ;
- ✧ les critères pour la décision sont nombreux, en conflit et fortement dépendant de la perception de l'utilisateur ;
- ✧ la solution doit être obtenue en un temps limité ;
- ✧ le problème évolue rapidement.

#### 3.1. Définitions

Le concept de Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) a tout d'abord été introduit par l'école anglo-saxonne et est la traduction du concept de *Decision Support Systems (DSS)*.

De nombreuses définitions ont été proposées dans la littérature [Holtzman, 1989] [Marakas, 2003] [Simon, 1977] [Zaraté, 1991] [Turban, 1993], qualifiant un SIAD de système d'information interactif spécifiquement développé pour aider à la résolution d'un problème de décision.

Une des définitions les plus citées des Systèmes d'aide à la Décision est celle de **Keen et Scott-Morton** [Keen et Scott-Morton, 1978] : « Les systèmes d'aide à la décision font coupler les ressources intellectuelles des individus avec les capacités de l'ordinateur pour

améliorer la qualité des décisions. C'est un système d'aide informatique aux décideurs qui traitent des problèmes semi-structurés ». Dans ce sens, les SIAD impliquent l'utilisation d'ordinateurs pour :

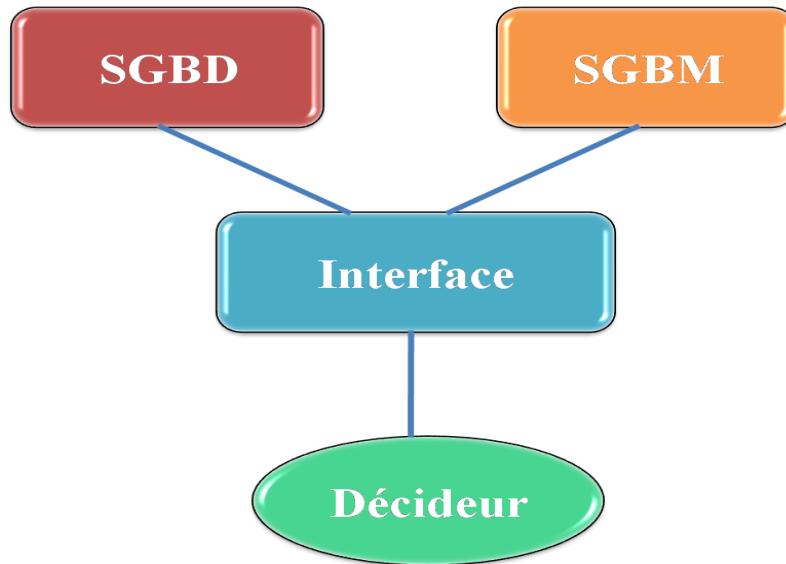
- Assister les décideurs dans leur processus de décision dans des tâches semi-structurées ;
- Aider plutôt que remplacer le jugement des décideurs ;
- Améliorer la qualité de la prise de décision plutôt que l'efficacité.

**Sprague et Carlson** [Sprague et Carlson, 1982] ont donné une définition très proche de celle proposée par **Keen et Scott-Morton** [Keen et Scott-Morton, 1978] : « Les SIAD peuvent être caractérisés comme des systèmes informatisés, interactifs, qui aident les décideurs en utilisant des données et des modèles pour résoudre des problèmes mal structurés ». leur définition repose sur les mots « données » et « modèles » qui fondent l'architecture des SIAD proposée par les mêmes auteurs.

D'une manière plus précise, **Turban** [Turban, 1995] définit un système d'aide à la décision comme un système d'information automatisé interactif, flexible, adaptable et spécifiquement développé pour aider à la résolution d'un problème de décision non structuré et améliorer la prise de décision. Il utilise des données, fournit une interface utilisateur simple et autorise l'utilisateur à développer ses propres idées ou points de vue. Il peut utiliser des modèles standards ou spécifiques, supporter les différentes phases de la prise de décision et inclure une base de connaissances.

### 3.2. Structure d'un Système Interactif d'Aide à la Décision (SIAD)

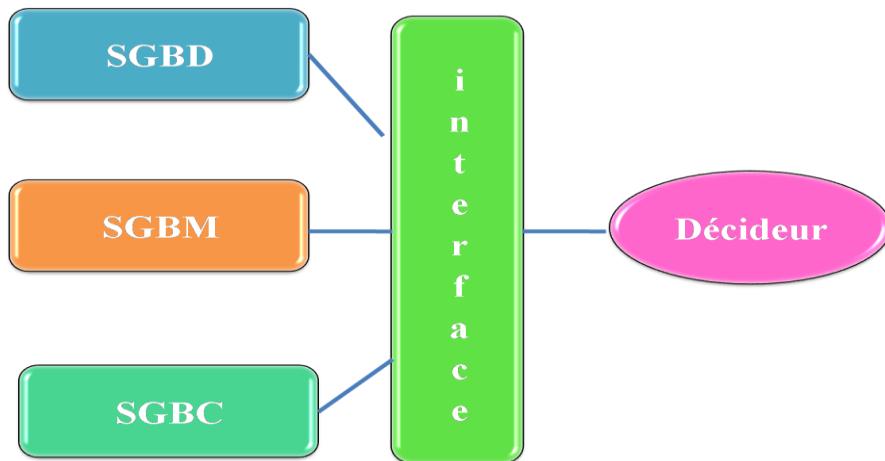
De la même manière que les définitions varient en fonction des auteurs, il n'existe pas d'architecture standard pour un SIAD. Chaque auteur reprend sous le terme de SIAD un ensemble plus ou moins étendu de composants. En effet, plusieurs architectures pour la conception de SIAD ont été proposées. **Sprague et Carlson** [Sprague et Carlson, 1982] identifient trois composants fondamentaux d'un SIAD (**Figure. 2.3**) : *l'interface homme-machine, un Système de Gestion de Bases de Données (SGBD) et un Système de Gestion de Bases de Modèles (SGBM)*.



**Figure 2.3 : Structure d'un SIAD selon Sprague [Sprague et Carlson, 1982]**

- ➔ **L'interface homme-machine** est un composant essentiel du SIAD. Elle permet à l'utilisateur de dialoguer avec les différents composants du système.
- ➔ **Le système de Gestion de Base de Données (SGBD)** assure la fonction de mémoire ; il stocke non seulement les données, de façon permanente ou temporaire, mais il gère également l'enregistrement de données volatiles ainsi que l'effacement de ces données selon le souhait de l'utilisateur.
- ➔ **Le Système de Gestion de Base de Modèles (SGBM)** contient l'ensemble des modèles et des procédures de calcul utilisé dans les différents traitements standards des données mis à disposition de l'utilisateur.

Cependant, cette structure n'est pas suffisante pour caractériser un SIAD et le différencier des systèmes d'information classiques. En se basant sur les diverses architectures existantes, **Marakas** [Marakas, 2003] propose une architecture générale faite de cinq parties distinctes : *le Système de Gestion de Base de Données (SGBD)*, *le Système de Gestion de Base de Modèles (SGBM)*, *le Système de Gestion de Base de Connaissances (SGBC)*, *l'interface utilisateur et les utilisateurs*. (**Figure. 2.4**)



**Figure 2.4 : Structure d'un SIAD basé sur la connaissance selon Marakas [Marakas, 2003]**

- ❖ **Un Système de Gestion de Base de Données (SGBD)** ainsi que la base de données associée qui stocke, organise, trie et remonte les données pertinentes pour un contexte particulier de décision ;
- ❖ **Un système de gestion de base de Modèles (SGBM)** ainsi que la base de modèles associée qui possède un rôle similaire au système gestionnaire de base de données excepté qu'il organise, trie, stocke les modèles quantitatifs de l'organisation ;
- ❖ **Un Système de Gestion de Base de Connaissances (SGBC)** qui remplit les tâches relatives à la reconnaissance de problèmes et à la génération de solutions finales ou intermédiaires aussi bien que des fonctions relatives à la gestion du processus de résolution de problèmes.
- ❖ **Interface utilisateur** qui est un élément clé des fonctionnalités du système global. Par l'intermédiaire des interfaces gérées par ce module, le décideur accède aux données et aux fonctions de calcul, et le système utilise le même système vecteur pour lui communiquer le résultat des manipulations qu'il a effectuées.
- ❖ **Un utilisateur** qui fait partie intégrante du processus de résolution de problème.

## 4. Décision collaborative

### 4.1 Concepts fondamentaux : définitions et processus existants

#### 4.1.1 Définitions de la décision collaborative dans la littérature

Dans le domaine de recherche dédié à l'informatique et aux outils collaboratifs (de type CSCW,...), Karacapilidis associe la décision collaborative à un processus "argumentatif" où chaque participant doit tenir compte des autres collaborants pour comprendre les contraintes et les solutions au problème posé, les intérêts et les priorités de chacun [Karacapilidis, 2001].

En intelligence artificielle et système multi-agents, Panzarasa propose la définition d'une prise de décision collaborative comme étant associée à un groupe d'agents distribués qui coopèrent pour atteindre des objectifs supérieurs aux capacités individuelles des agents. Une prise de décision collaborative est généralement associée à un mode de raisonnement distribué selon lequel un groupe d'agents travaillent en collaboration via un espace commun de recherche [Panzarasa, 2002].

En Sciences pour l'Ingénieur, Laborie définit l'activité de prise de décision collective comme une "convergence d'interactions cognitives et visuelles, planifiées ou opportunistes, où des personnes acceptent de se rassembler pour un objectif commun, dans une période définie, soit au même endroit, soit dans des endroits différents, dans le but de prendre des décisions" [Laborie, 2006].

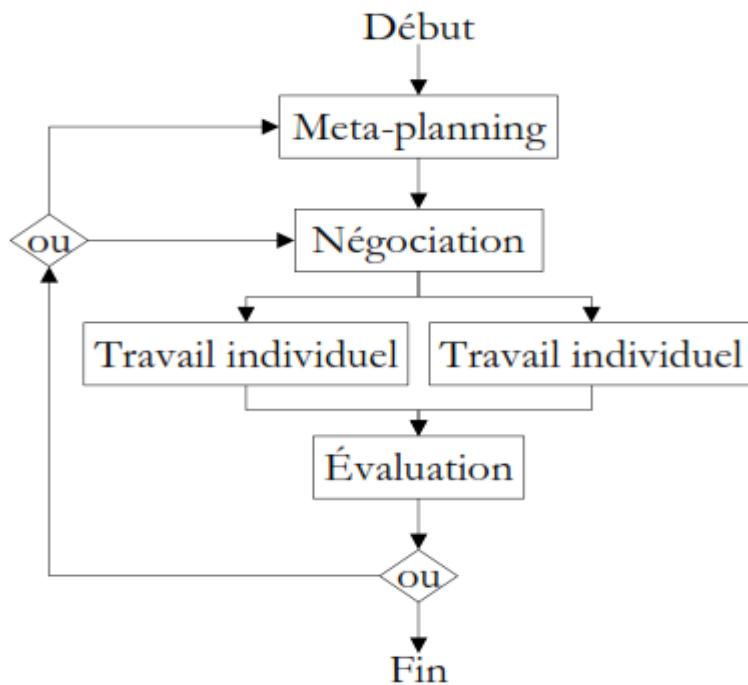
Dans le même domaine, Jankovic définit la décision collaborative comme une décision collective où chaque acteur a des objectifs différents et, souvent même, conflictuels avec les autres acteurs intervenant dans le processus de prise de décision [Jankovic, 2006].

#### 4.1.2 Processus existants

Le processus de décision collaborative traduit le déroulement d'une activité assez complexe, pour laquelle il est difficile de trouver une définition consensuelle. Les modèles de processus existants concernent, pour la plupart, l'activité de conception. Voici deux exemples suivis d'un autre modèle de décision collective plus générique.

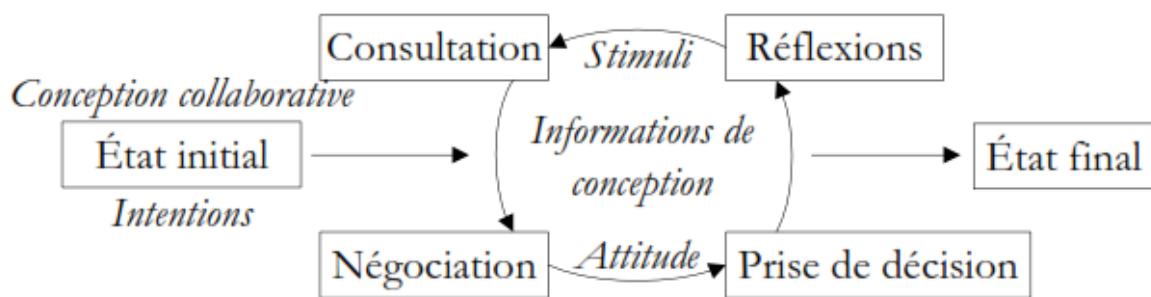
Kvan et Vera proposent un modèle de processus de conception collaborative [Kvan, 2000]. Ils décomposent l'activité de conception en une succession d'étapes individuelles

ou collectives (**Figure 2.5**). Ces auteurs considèrent que les acteurs de la collaboration peuvent travailler individuellement sur des portions du problème.



**Figure 2.5** Modèle du processus de conception collaborative [Kvan, 2000]

Chiu travaille également sur les processus de conception collaborative [Chiu, 2002] et propose un processus cyclique permettant de reboucler tant que l'objectif recherché n'est pas atteint (**Figure 2.6**).



**Figure 2.6** Modèle du processus de conception collaborative [Chiu, 2002]

Laborie propose également un modèle du processus de décision collective, en s'inspirant notamment du processus de Kvan et Vera mais en lui conférant un caractère plus générique. Sa représentation du processus de décision collective est résumée sur la **Figure 2.7**.

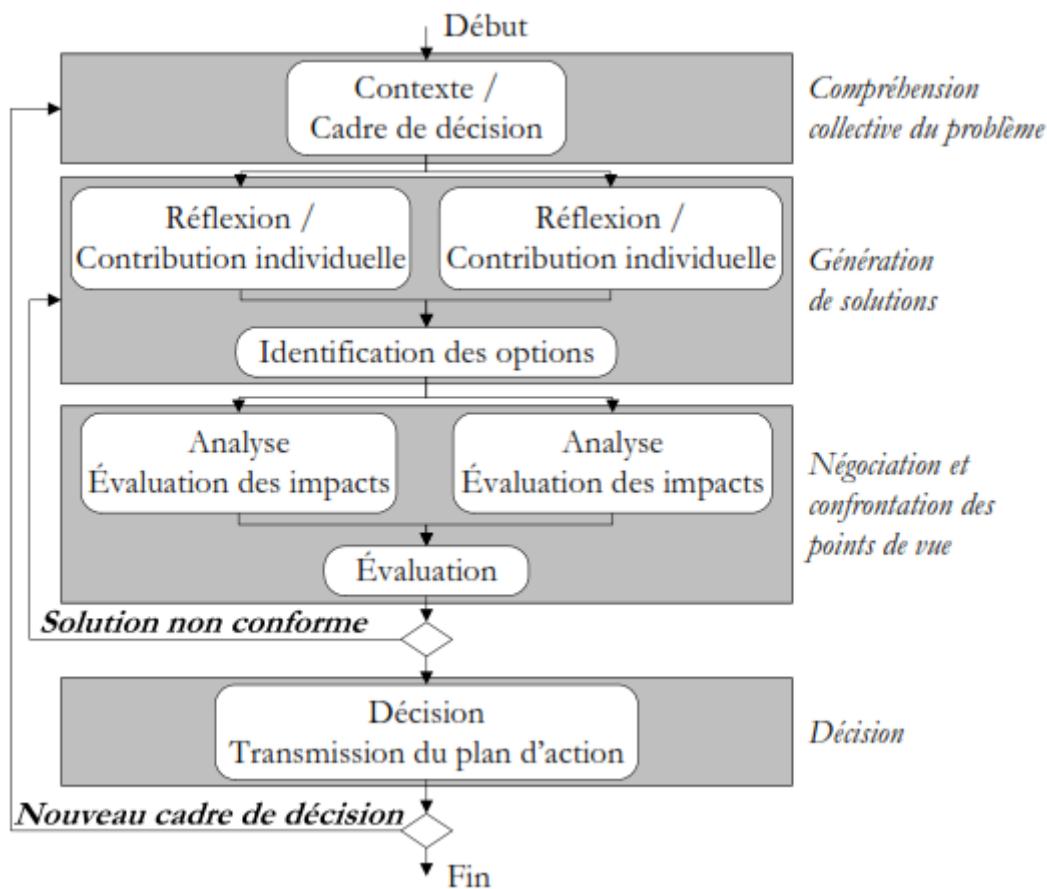


Figure 2.7 Modèle du processus de décision collective [Laborie, 2006]

#### 4.1.3 Travaux actuels en décision collaborative

L'actualité des travaux en décision collaborative peut être abordée de manière similaire à celle des travaux en décision ou en travail collaboratif.

Les approches théoriques de la décision s'intéressent également à la décision collaborative. Ryan s'est attaché à formuler une fonction d'utilité de la décision collaborative, avec l'objectif d'optimiser cette activité [Ryan, 2002]. Xiao se base sur la théorie des jeux propre à la décision afin de modéliser la décision collaborative dans le cadre de conception collaborative, intégrant ainsi l'aspect multidisciplinaire de la collaboration dans son approche de modélisation formelle [Xiao, 2005]. Limayem propose d'utiliser une méthode de tri appartenant aux méthodes d'aide à la décision afin d'aborder la décision collaborative en gestion de projet [Limayem, 2001].

Nous retrouvons les travaux appliqués aux activités industrielles de conception. Laborie s'intéresse à la décision collaborative appliquée au processus de conception concourante

dans le domaine aéronautique. Pour cela, il propose la mise en place de salles dédiées aux activités de conception avec un ensemble d'outils collaboratifs à disposition des acteurs intervenants **[Laborie, 2006]**.

Jankovic se positionne sur un domaine assez proche de celui Laborie avec l'automobile **[Jankovic, 2006]** mais cet auteur propose une approche plus conceptuelle, en définissant une méthodologie de modélisation des mécanismes de décision collaborative.

Dans ses travaux, Fu se concentre également sur la décision collaborative en conception. Cet auteur met en évidence les besoins en connaissances auxquels la décision collaborative fait appel, tout particulièrement en conception **[Fu, 2004]**.

L'évolution des modes de travail et l'avènement des TIC ont fait apparaître, depuis quelques années déjà, des travaux de recherche contribuant à la conception, l'intégration et l'utilisation d'outils informatiques, comme support au travail et à la décision collaborative. Ces travaux concernent également la préparation de l'implantation de ces outils aidant à la décision d'une équipe. Citons, par exemple, les travaux de Kronsteiner où les auteurs se concentrent sur une étude des besoins concernant les environnements mobiles supportant la décision collaborative **[Kronsteiner, 2005]**.

Dans ses travaux, Parsa présente l'utilisation d'un environnement Internet permettant de partager des connaissances dans le cadre de décisions collaboratives **[Parsa, 2007]**.

Dans **[Soubie, 2005]**, Soubie et Zaraté ont une approche conceptuelle de la décision collaborative, en analysant les mécanismes en présence dans les échanges collaboratifs. Ces auteurs intègrent la gestion des connaissances aux systèmes collaboratifs d'aide à la décision.

Les travaux de recherche en décision collaborative concernent plusieurs domaines applicatifs (l'automobile, l'aéronautique,...). Nous pouvons compléter avec les travaux de Chim abordant la décision collaborative via Internet et appliquée en construction **[Chim, 2004]**, ceux de Wambsganss sur la gestion du trafic aérien **[Wambsganss, 2001]** ou encore de Lario sur la décision collaborative dans la chaîne logistique **[Lario, 2003]**, le travail de Benkaddour sur la proposition d'un processus d'aide à la décision collaborative pour traiter les problèmes de diagnostic appliqués à l'industrie du non-tissé **[Benkaddour, 2016]**.

## 5. Classification des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD)

### 5.1. Classement en fonction du niveau de décision

Lorsqu'on ne prend en compte que le niveau de décision impliqué par un SID, on distingue quatre types de systèmes :

↳ **EIS "Executive Information System" (Systèmes d'information pour dirigeants)** : [Turban, 1993] définit l'EIS comme « un outil fournissant au décideur l'information utile qui lui permet de se focaliser sur les données critiques et d'avoir une bonne appréciation de l'organisation ».

[Millet et Mawhinney, 1992] considèrent l'EIS comme « un système qui intègre des informations en provenance de sources internes et externes permettant aux dirigeants de contrôler et de demander des informations d'importances vitales pour eux et présentées de façon personnalisée ».

Ce sont des applications de type tableau de bord destinées à mettre à la disposition des décideurs tout ou une partie des informations synthétisée et à jour dont ils ont besoin pour mener à bien leur mission.

Un EIS est composé des éléments suivants :

- Une base de données gérée par un SGBD.
- Un ensemble de programmes.
- Un ensemble d'interface de saisie.
- Des écrans d'affichage.

↳ **ESS "Executive Support System" (Systèmes d'aide pour dirigeants)** : L'ESS va au-delà de l'EIS car il inclue des outils de communication, d'analyse et d'intelligence.

Afin de mieux distinguer les deux systèmes, nous dirons que l'EIS est un outil permettant au décideur de se focaliser sur des données critiques pour obtenir une appréciation de l'organisation. L'ESS doit permettre l'analyse de ces données pour donner une appréciation du futur de l'organisation grâce aux modèles d'analyse. Le

passage de l'information à l'intelligence implique de pouvoir affecter le futur (axe temporel et visualisation des liens).

- ↳ **DSS "Decision Support System" (Systèmes d'aide à la décision)** : Est un système interactif qui aide le décideur à exploiter les données et les modèles pour trouver une solution à un problème non structuré et analyser l'effet d'éventuels changements de l'environnement sur l'organisation. Le but du DSS est d'aider la décision et non pas de remplacer le décideur. Toutefois, il doit permettre de faire de la planification stratégique, ainsi que de la budgétisation à long terme.
- ↳ **PSS "Planning Support System" (Systèmes d'aide à la planification)** : Permet au-delà d'un SIAD (DSS), une hiérarchisation et une analyse de la faisabilité des procédures ou décisions admises. Plus précisément, il doit offrir une assistance intelligente en permettant de :
  - Formuler les problèmes et les modèles.
  - Analyser les problèmes.
  - Interpréter et diagnostiquer les situations.
  - Formuler des plans d'actions.
  - Evaluer des hypothèses.
  - Contrôler les résultats des actions par rapport aux attentes.
  - Fournir des justifications et des explications.

## 5.2. Classement en fonction de l'envergure de la décision

Lorsqu'on ne prend en compte que l'envergure de la décision de SID (Système d'Information Décisionnel), ils peuvent être classés en trois catégories:

- **Le SID opérationnel:** Il évite la surcharge mentale de l'opérateur en lui proposant des solutions permettant de faire face rapidement à des situations complexes.
- **Le SID de gestion:** Il présente aux responsables opérationnels les indicateurs et alarmes quotidiens utiles au pilotage du travail des opérateurs.
- **Le SID stratégique:** Il présente aux dirigeants des séries chronologiques périodiques éclairant l'efficacité et le positionnement de l'entreprise (résultat, part de marché, tendances).

**L'interactivité :**

On peut distinguer deux modes de travail en décisionnel :

- ❖ **Le mode rapport (non interactif /absence de décideur):** Obtenir une information récurrente, correspond à une analyse prédéfinie.
- ❖ **Le mode interactif (présence de décideur):** Chercher une information en effectuant différentes analyses successives, les résultats de l'une amenant des questions nouvelles, qui demandent une nouvelle restitution de données.

## 6. Les systèmes Interactifs d'aide à la décision à base de Web (Web-based DSS)

Quand une structure d'un SIAD est construite à la base d'une technologie Web ou un accès à l'internet, il semble plus approprié d'appeler le système SIAD un *SIAD à base de Web*. À base de Web devrait se traduire par le fait que l'application entière est mise en œuvre en utilisant des technologies Web, y compris un serveur Web, HTML, CGI, PHP et peut-être un produit de base de données comme MySQL ou Oracle.

Les technologies web peuvent être utilisées pour mettre en œuvre toute catégorie de SIAD y compris les SIAD guidés par les communications, SIAD guidés par les données, SIAD guidés par les documents, SIAD guidés par la connaissance et les SIAD guidés par le modèle. À un moment donné, la plupart des systèmes étiquetés "SIAD à base de Web" ont été reliés à un entrepôt de données, mais ce n'est certainement plus le cas. Une simulation d'aide à la décision guidée par le modèle développée en Java peut être développée via le Web et peut utiliser ainsi un grand entrepôt de texte HTML/XML qui fait partie de SIAD guidé par les documents. Avec un SIAD à base de Web, aucun composant de l'application du système d'aide à la décision ne doit figurer sur l'ordinateur de client. Un navigateur Web et une connexion à Internet offrent les fonctionnalités d'aide à la décision à l'utilisateur. **Kuljis et Paul [Kuljis et Paul, 2001]** et **le Miller et d'autres** passent en revue sur le Web des études de simulation et de développements.

### 6.1. Définitions d'un SIAD à base de Web (Web-based DSS)

Les technologies Web sont utilisées pour améliorer la capacité de système d'aide à la décision par des modèles de décision, le traitement d'analyse en ligne (OLAP) et les outils d'extraction de données qui permettent la publication normalisée et le partage de

ressources de décision sur internet. Dans un système d'aide à la décision à base de Web, tous les processus décisionnels impliquant des opérations sont exécutés sur un serveur réseau d'ordre n afin de bénéficier la distribution de la prise de décision et l'indépendance de la plate forme, des périodes d'apprentissage plus courtes pour des utilisateurs déjà familiers avec les outils web et la navigation web, de la diffusion des logiciels à bas prix, la mise à jour des logiciels et la réutilisabilité de modules de décision et d'information sur internet grâce à une panoplie de protocoles normalisés. **[Huaiqing et al, 2002]**

### **Définition 1**

Selon **[Friedman, 2005]**, l'importance d'utiliser les SIAD à base de Web résulte de l'utilisation croissante de l'information disponible qui devrait être identifiée, contrôlée et accédée à distance en utilisant les outils à base de Web pour soutenir la réutilisabilité des modules de décision intégrés. De tels systèmes aident les entreprises globales à gérer et améliorer les processus de décision, le contrôle des processus, le service client, et rendre la nouvelle conception plus flexible.

En utilisant les SIAD à base de Web, les décideurs peuvent partager des modules de prise de décision ouverts sur internet en utilisant des protocoles normalisés tels que le HTTP, en un format normalisé comme XML ou DAML.

### **Définition 2**

D'après **[Shaw et al, 2002]**, les systèmes à base de Web sont considérés comme des "plates formes de choix" pour fournir l'aide à la décision tout en tenant compte de nombreuses considérations techniques, économiques et sociales. La migration vers les SIAD à base de Web, dénote un changement des générateurs des SIAD (ce qui permet aux utilisateurs de développer des applications spécifiques caractérisées par un déploiement limité, une rigidité à intégrer des orientations au travers des applications qui soulignent la réutilisation des applications et des composants. En déployant les capacités de Web, les bases de connaissances multiples et les techniques de traitement de la connaissance peuvent être utilisées. La conception des systèmes interactifs d'aide à la décision a été affectée par la disponibilité d'une large gamme d'outils du web, des techniques et des technologies. L'utilisation des outils de Web a permis de remodeler la description des relations entre les composants de l'information et les modules de décision de telle façon que la conception physique et la logique du SIAD, se trouvent affectées. En conséquence,

l'architecture fondamentale du SIAD à base de Web est passée des architectures centralisées, aux systèmes client-serveur, au web et aux systèmes répartis basés sur la technologie de réseau qui permettent l'intégration de grandes quantités de données et des outils d'aide à la décision provenant des sources hétérogènes pour la disposition (fourniture) d'informations à valeur ajoutée en utilisant la découverte de connaissance et les outils d'extraction de données.

### **Définition 3**

Les systèmes d'aide à la décision à base de web sont utilisés par des organisations comme outils aides à la décision pour les employés aussi bien que les clients. Il s'agit d'utiliser les SIAD à base de Web comme assistants pour aider les clients à configurer le produit et le service selon leurs besoins. Ce sont des SIAD grand public.

## **6.2. Les travaux de recherche récents dans le SIAD à base de Web (Web-based DSS)**

Cette section survole les différents travaux réalisés sur les SIAD à base de Web selon deux orientations : (6.2.1) architectures et technologies et (6.2.2) applications et réalisations.

### **6.2.1. Architectures et technologies**

Un certain nombre d'articles discutent les issues architecturales, les cadres, la rentabilité, et d'autres matières de technologie qui sont généralement applicables au SIAD à base de Web.

**Bharati et Chaudhury** [Bharati et Chaudhury, 2004 ] ont entrepris une étude empirique pour étudier la satisfaction de clients avec des systèmes interactifs d'aide à la décision à base de Web. Dans leur modèle conceptuel, ils ont proposé trois variables indépendantes (qualité de système, qualité de l'information, et présentation de l'information) qui ont influencé la satisfaction des utilisateurs (variable dépendante). Ils ont montré que la qualité de système et la qualité de l'information sont fortement corrélées avec la satisfaction des utilisateurs, mais la présentation de l'information n'a pas d'impact significatif sur la satisfaction des utilisateurs.

**Iyer et al.** [Iyer et al, 2005] se sont intéressés à la gestion du modèle pour l'aide à la décision dans un environnement de calcul où les données et les modèles d'entreprise sont distribués. Ils ont défini des couches de connaissances pour la gestion du modèle et ont proposé une architecture préliminaire pour un environnement virtuel d'affaires (VBE).

**Guntzer et al.** [Guntzer et al, 2007] ont proposé des modèles de service structurés qui emploient une variante de modèles structurés. Cette approche proposée peut aider les utilisateurs à trouver des ressources d'information disponibles comme un service en ligne dans un Intranet.

**Zhang et Goddard** [Zhang et Goddard, 2007] ont appliqué des architectures de logiciel à la conception des SIAD à base de Web. Une architecture multi-couches de logiciel a été proposée pour aider les développeurs à concevoir et mettre en application un SIAD dans un environnement distribué ; une telle architecture peut fournir une vue formelle et hiérarchique du SIAD qui aide la conception d'un SIAD à base de Web. En outre, les auteurs ont présenté un cadre à base de composant, 3CoFramework, pour aider l'exécution du SIAD.

**Mitra et Valente** [Mitra et Valente, 2007] ont fourni un aperçu sur l'optimisation à base de Web pour les SIAD guidés par les modèles. Leur étude a porté sur deux paradigmes (ASP et e-Services), et ont développé un fournisseur de service d'optimisation (OSP) " et le "WEBPOT " et ont trouvé de nouveaux avantages permis par l'implémentation du e-Service. Certains de ces avantages incluent la découverte de service, la gestion de service, et la gestion de qualité.

Pour récapituler, ces études discutent les métadonnées, la gestion du modèle, et la rentabilité pour le SIAD à base de Web. En outre, **Mitra et Valente** ont démontré que le SIAD à base de Web peut efficacement incorporer des modèles et des outils d'optimisation. Ces efforts d'aborder les questions fondamentales dans le calcul à base de Web sont les pierres angulaires essentielles pour l'usage pratique de l'aide à la décision à base de Web. La recherche précédente indique que (a) les utilisateurs de Web ont besoin de détaillées des informations sur le SIAD pour organiser et comprendre le contenu disponible, (b) les systèmes devrait être conçu pour inclure les constructions et les objets façonnés qui aident la livraison d'information de haute qualité, et (c) les nouvelles approches pour la gestion du modèle sont nécessaires pour faciliter le stockage, la

recherche, la récupération, l'assortiment, et la composition d'une bibliothèque des modèles de décision. Les avances de recherches dans ces secteurs seront critiques au développement des orientations et des possibilités pour établir un SIAD à base de Web efficace.

### 6.2.2. Applications et réalisations

Beaucoup de chercheurs et fournisseurs se sont intéressés à des études de cas basées sur les SIAD à base de Web et le développement des applications prototypes. **Kohli et al.** [Kohli et al, 2001] ont rapporté une étude de cas d'un SIAD à base de Web pour la gestion d'hôpital appelé système de Physician Profiling (PPS). Le PPS est un système de gestion de rapport de client (CRM) pour la gestion de rapport de médecin. Les auteurs ont démontré le développement du PPS et ont présenté une analyse coûts-avantages du projet.

**Ngai et Wat** [Ngai et Wat, 2005] ont développé et mis en application un SIAD à base de Web qui a employé un modèle basé sur la théorie des ensembles brouillée pour procéder à l'analyse de risque pour le développement du e-commerce. Les chefs de projet aidés par le prototype identifient, analysent, et donnent la priorité au risque impliqué dans un développement d'e-commerce. Dans leur prototype, le web browser sert de composant d'interface utilisateur et l'ensemble des modèles et des bases de données ont été hébergés par le serveur.

**Dong et al.** [Dong et al, 2004] ont développé un cadre de SIAD à base de Web pour le choix de brochure. Ils ont employé le traitement analytique en ligne (OLAP) et une machine virtuelle parallèle (PVM) pour améliorer l'exécution globale de leur prototype du système de choix de brochure à base de Web (WPSS). Puisque le web browser est le composant d'interface utilisateur et le serveur contient tous les modèles et des bases de données, le prototype permet aux ordinateurs multiples de manipuler un problème à grande échelle d'aide à la décision efficacement.

**[Sundarraj, 2004]** a identifié les questions clés dans les contrats d'entretien de gestion et a développé un prototype qui peut soutenir le procédé de la planification d'un directeur. L'avantage le plus important du prototype est étalonnage de la gestion des contrats d'entretien parce que le système à base de Web permet à beaucoup de directeurs d'accéder et employer à un système simple.

[Ray, 2007] a rapporté une étude de cas qui démontre l'exécution des technologies d'aide à la décision à base de Web. Il a discuté une application spécifique développée pour le département du Delaware du transport (De IDOT). Le système a utilisé un réseau à base d'outils d'optimisation et des systèmes interactifs d'aide à la décision spatiaux pour améliorer la gestion des mouvements de véhicules à poids excessifs.

**Delen et al.** [Delen et al, 2007] ont développé un SIAD à base de Web, appelé le gourou de Movie Forecast, pour aider des décideurs dans l'industrie du cinéma. Pour prévoir des reçus de caisse, le système proposé adopte un méta-modèle de fusion de l'information qui emploie le rendement d'un réseau neurologique, des arbres de décision, d'une régression logistique ordinale, et d'une analyse discriminante. Leur évaluation exploratoire du système a indiqué que les utilisateurs ont été satisfaits de sa rentabilité en termes de plénitude de qualité de l'information, de qualité de système, et d'utilisation (Cf, [Davis, 1989] [DeLone et McLean, 1992]).

[Janjua et al., 2012] ont proposé d'utiliser une sémantique formelle fondée sur l'argumentation pour un web DSS intelligent (Web @ IDSS). Ce dernier est capable de lancer des raisonnements sur des informations incomplètes et incohérentes. En outre, dans le projet présenté par [Banias et al., 2011], l'objectif principal de l'application DSS (DecodonDecision Support System) - DeconRCM - était l'identification de la stratégie optimale de gestion des déchets de construction et de démolition.

### 6.3. Les bases du Web

Le Web fait appel à un certain nombre de concepts de base. Nous verrons les trois plus importants dans cette première partie.

#### 6.3.1. Architecture Client-Serveur

Le WWW s'appuie sur la notion d'architecture Client-Serveur. Un serveur est une machine en général assez puissante qui fournit un ou plusieurs services (accès à des sources de données, applications...). Pour fournir ces services, elle fait tourner en permanence des programmes que l'on appelle aussi des serveurs en l'occurrence ce sont des serveurs Web ou serveurs HTTP. De l'autre coté les utilisateurs font tourner sur leur machine (machine cliente) un programme client qui, comme son nom l'indique va être demandeur de

services, en l'occurrence ce client est un navigateur Web qui va demander des pages Web à un serveur Web. Le dialogue entre le client et le serveur se compose donc de requêtes émises par le client et de réponses données par le serveur.

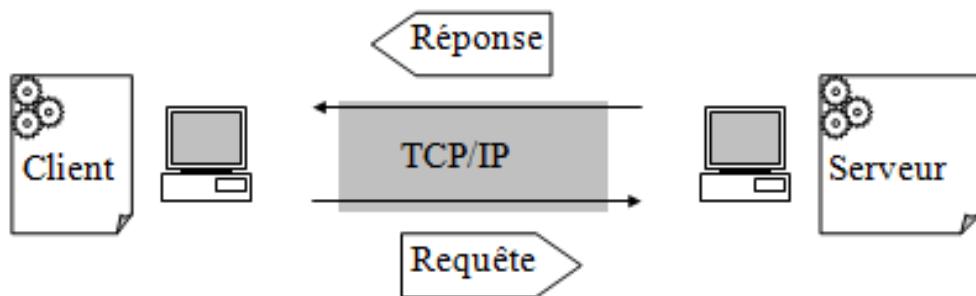


**Figure 2.8 : Technologie Client-Serveur**

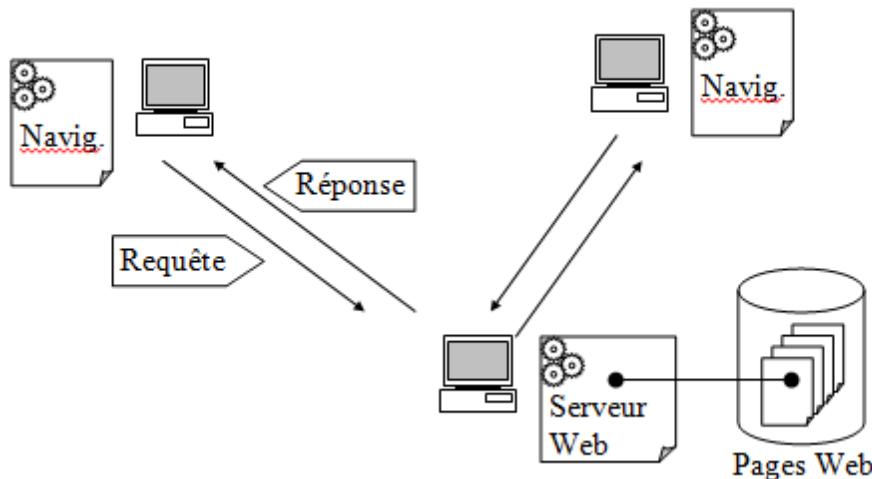
Le client est couramment appelé un navigateur (ou encore browser, fureteur ou butineur). Les navigateurs les plus connus étant Netscape, Internet Explorer, Lynx, Mosaic, Opera, Kfm. Les plus courant acceptent des extensions (Plug-In) permettant d'étendre leurs capacités (lire des vidéo, recevoir du son ou des films en flot continu, ...). Ils connaissent aussi fréquemment des langages évolués (JAVA, Javascript, VRML...) et permettent d'élargir le champ des possibilités de l'utilisation des pages Web. Les navigateurs sont des logiciels soigneusement étudiés pour faciliter et assister la navigation sur le Web. Ils proposent en standard des fonctionnalités d'historique pour revenir sur ses pas, une gestion des signets pour pouvoir garder ses pages préférées bien organisées et facilement accessibles, et plusieurs autres fonctions utilitaires et outils d'assistance.

Un serveur est une machine qui est capable de servir d'autres machines en fonction de leur requête, ces dernières sont appelées clients. Pour cela elle doit toujours être connectée au réseau et exécuter le démon (daemon) correspondant au service rendu. On appelle démon un programme qui tourne en tâche de fond sur une machine et le cas échéant répond à des requêtes qui lui sont adressées ou déclenche des actions en réponse à des événements ou un planning. Sur le Web les documents s'échangent selon le protocole HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) et le démon qui se charge de répondre aux requêtes des autres

machines se nomme **HTTPD** (*HyperText Transfer Protocol Daemon*). De la même façon un serveur offrant des fichiers via **FTP** est une machine sur laquelle tourne un serveur **FTP** encore appelé **démon FTPD** (*File Transfer Protocol Daemon*), de même pour l'e-mail, etc...



**Figure 2.9 : Architecture Client-Serveur**



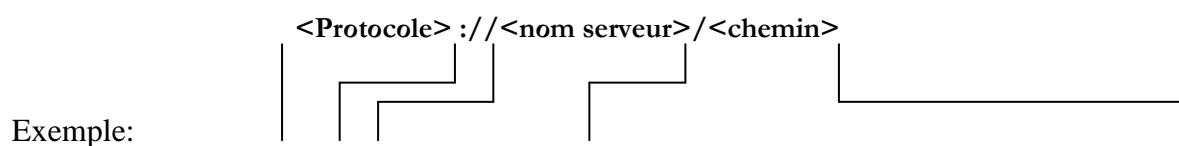
**Figure 2.10— Architecture Client-Serveur du Web**

Il y a deux cas : soit l'utilisateur cherche à visualiser une page disponible sur sa machine auquel cas le navigateur obtient le fichier par simple lecture directe sur un disque de la machine sur laquelle il s'exécute, soit l'utilisateur souhaite accéder à une page disponible sur une machine distante auquel cas le navigateur doit se connecter au serveur publiant cette page à travers le réseau. On se rappelle qu'Internet est l'infrastructure internet (interconnected networks = réseaux interconnectés) d'un réseau informatique mondial. Ce réseau mondial se compose de réseaux d'ordinateurs locaux interconnectés et dont les

échanges suivent les protocoles TCP, UDP et IP (*Transmission Control Protocol and Internet Protocol*) chaque ordinateur connecté étant adressé par un numéro IP ou un nom symbolique / nom de domaine. L'architecture client-serveur du Web repose sur ces bases en ce sens que le programme client (navigateur) se connecte au programme serveur (serveur Web) grâce aux protocoles TCP/IP et ainsi met en place une connexion bidirectionnelle fiable qu'il va utiliser pour obtenir les informations souhaitées (document, image et autres fichiers).

### 6.3.2. URL

Pour accéder à une page web il faut d'abord pouvoir décrire où elle se trouve. Pour repérer un document, un fichier, une source de données ... il faut développé la notation URL (Universal/Uniform Resource Locator). Un URL peut désigner un serveur ftp, un fichier sur votre disque, une image, une adresse courrier, et bien sûr une page Web publiée par un serveur http, c'est-à-dire un serveur de Web. En particulier, dans ce dernier cas l'URL contient le nom du protocole d'accès au fichier (HTTP, SHTTP), le nom du serveur (adresse IP ou nom symbolique), le chemin d'accès au fichier et bien sûr le nom du fichier :



<http://www-op.inria.fr/acacia/personnel/Fabien.Gandon/index.html>

### 6.3.3. Hypertexte et Topologie du Web

Le World Wide Web est un vaste ensemble de sources d'informations accessibles à travers le réseau Internet. Il est maintenant utilisé par tout le monde pour mettre en ligne (i.e. rendre accessible sur le Web via Internet) des documents et des services de tous horizons. L'information est présentée essentiellement sous forme de texte et d'images, mais le son, la vidéo... bref le multimédia étant en pleine explosion on commence à employer de plus en plus souvent le terme hypermédia au lieu d'hypertexte. On qualifie d'Hypertexte (terme et notion inventés par Ted Nelson en 1960) un document essentiellement textuel, dynamique, capable de changer et de réagir en fonction de certains événements comme par exemple un clic à la souris. Un tel document offre une très grande convivialité et la

tendance étant à élargir cette technique à d'autres médias (image, video, animations...) on parle maintenant d'hypermédia. Le langage permettant de décrire les pages Web est le **HTML** (*Hyper Text Markup Langage*). Ce langage à balise permet de doter certains mots, ou images d'une propriété d'hyperlien ou plus simplement de lien qui est constitué d'une adresse URL que vous atteindrez en cliquant dessus.

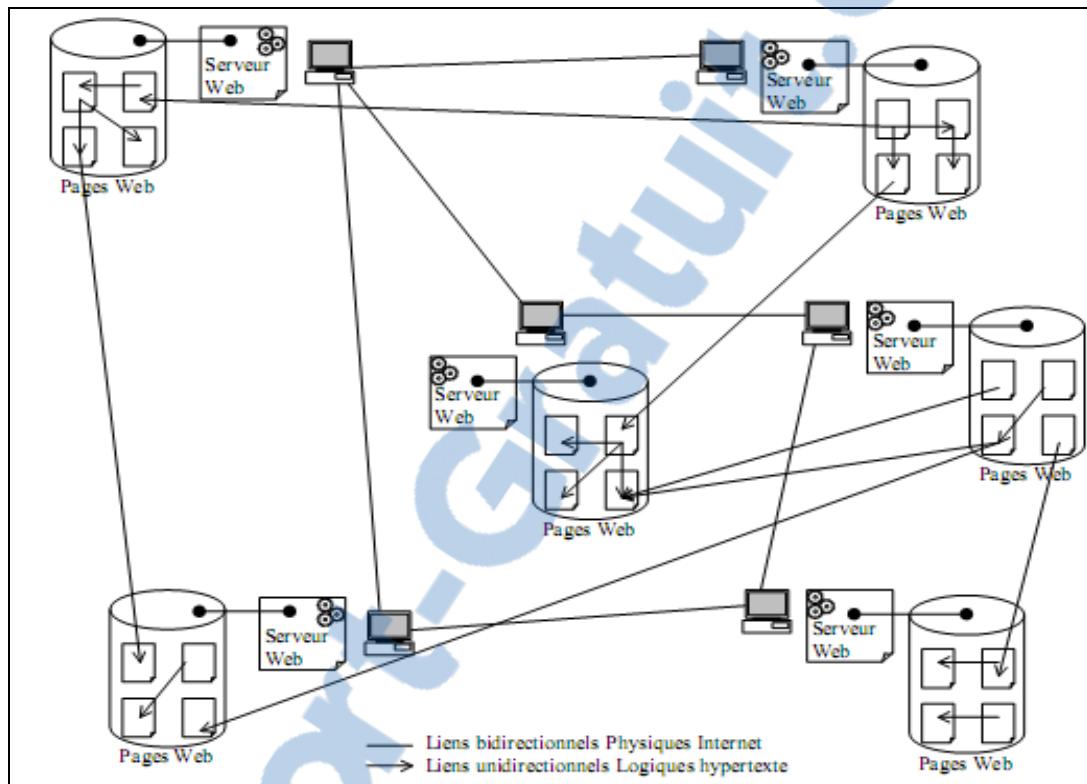


Figure 2.11 : Topologie du Web

## 6.4. La technologie du Web

Parmi les technologies Web, on peut citer :

### 6.4.1. HTTP

Le protocole de base du World Wide Web est **HTTP** (*HyperText Transfer Protocol*) qui peut être utilisé pour n'importe quelle application client-serveur impliquant de l'hypertexte. Ce protocole est capable d'assurer le transfert de texte, hypertexte, fichiers audio, images ou tout autre type d'information pouvant se mettre sous la forme d'un fichier.

Le scénario de dialogue classique entre un navigateur et un serveur Web est le suivant. Le navigateur Web client établit une connexion TCP avec le serveur Web qui contient la page qui l'intéresse. Une fois la connexion établie, le client émet une requête HTTP contenant une commande, une URL, et parfois d'autres informations. Lorsque le serveur Web reçoit la requête il essaie d'exécuter la commande qu'elle contient. Il retourne ensuite comme réponse le résultat obtenu qui peut être des données, un message d'erreur, et d'autres informations. Une fois que le client a reçu sa réponse la connexion est fermée et détruite.

Voici par exemple une requête émise par un navigateur dont l'utilisateur est "Fabien Gandon" et demandant à ce que le document html "cv.html" lui soit envoyé s'il a été modifié depuis le 31 juillet 1999 à 12:30:00.

GET cv.html	→ demande le document "cv.html"
Content-Type: text/html	→ précise que le document est du texte pur ou html
If-Modified-Since: 31 Jul 1999 12:30:00	→ n'envoyer le doc que s'il a été modifié depuis la date
From: Fabien Gandon <Fabien.Gandon@sophia.inria.fr>	→ la requête est émise par Fabien Gandon

#### 6.4.2. HTML

Le langage **HTML** (*HyperText Markup Language*) est utilisé sur le système de partage de l'information mondial WWW (World Wide Web) depuis 1990. Ce langage se compose d'un ensemble d'annotations, appelées étiquettes ou balises, qui permettent de créer et formater un document hypertexte. Un fichier HTML est un fichier texte ce qui a l'avantage de le rendre facilement lisible sur n'importe quelle plate-forme/ordinateur. Les balises du HTML sont insérées dans le texte du document et guident son affichage. Le navigateur interprète les commandes HTML contenues dans le document et en déduit le format d'affichage du document.

HTML est le langage standard d'édition de pages hypertexte pour le Web. Il existe plusieurs versions les plus communes et les plus supportées sont les versions 2.0 et 3.2. La toute dernière étant la version 4. Une page Web peut être créée directement avec un simple éditeur de texte en tapant des commandes HTML ou en utilisant un éditeur de page Web qui très souvent vous permettra de créer votre document de façon très conviviale et générera pour vous le code HTML correspondant sans que vous ayez à connaître ce langage.

Comme dans tous les langages il y a un minimum d'informations à donner dans le fichier HTML. Le fichier HTML minimum ressemble à ceci :

```
<HTML>                                         Titre du document
      <HEAD>
        <TITLE> Document bonjour </TITLE>           } En-tête du document
      </HEAD>
      <BODY>
        Bonjour.                                     } Corps du document
      </BODY>
    </HTML>
```

Les balises `<HTML>` et `</HTML>` stipulent que ce fichier texte est formaté selon le langage HTML et délimitent le contenu à interpréter.

Les balises `<HEAD>` et `</HEAD>` viennent du mot HEADER (Entête) et délimitent l'en-tête du document contenant son titre et des informations sur son contenu.

Les balises `<BODY>` et `</BODY>` délimitent le corps du document contenant le texte, son formatage les objets et les liens qu'il inclut.

#### 6.4.3. Feuilles de style CSS

Avec HTML vous définissez la structure fondamentale de vos pages Web, les éléments, les structures, les liens, les éléments référencés tels les graphiques, le multimédia etc... Mais HTML n'est en fait pas conçu pour donner de façon exacte comment un élément doit apparaître. Ainsi vous pouvez définir des titres en HTML en précisant qu'il s'agit d'un titre n°1. Mais vous ne pouvez pas décider en HTML dans quelle police et dans quelle taille ce titre doit être représenté. Le navigateur WWW prend cela en charge lors de l'affichage. Il utilise pour ce faire un mélange de réglages de base que peut entreprendre l'utilisateur et de représentations programmées de façon fixe d'éléments distincts HTML.

C'est ici que les Cascading Style Sheets (CSS) (feuilles de style en cascade) entrent en scène. Il s'agit d'un langage de programmation directement complémentaire qui fut développé spécialement pour le HTML. Il s'imbrique sans heurt dans le HTML et permet le formatage ad libitum d'éléments séparés HTML. À l'aide de feuilles de style CSS vous pouvez par exemple déterminer que tous les titres N° 1 aient une taille de 24 points et

apparaissent dans la police Helvetica en couleur rouge avec un espacement de 16 points pour le texte qui suit et un encadrement supérieur d'une double ligne verte mais vous pouvez aussi bien établir pour un texte au choix que seul ce texte doit avoir une taille de 3 centimètres et une couleur de fond jaune. En outre, le langage de programmation CSS contient également des commandes pour placer des éléments au pixel près sur l'écran et pour d'autres systèmes de reproduction comme l'impression ou l'audio.

#### 6.4.4. XML

Le langage **XML** (*Extensible Markup Language*) est un moyen de structurer l'information indépendant des plates-formes. Comme XML sépare le contenu d'un document de sa structure, il peut servir à échanger des données. Par exemple, XML peut servir à transférer des données entre les bases de données et des programmes Java. Comme contenu et structure sont séparés, des feuilles de style peuvent être appliquées pour afficher le même contenu dans différent formats comme PDF (*Portable Document Format*), HTML pour l'affichage dans un navigateur Web, etc.

#### 6.4.5. JavaScript/DOM

**JavaScript** n'est pas directement une partie qui constitue HTML, mais un langage de programmation distinct. Ce langage a pourtant été créé spécialement pour mettre à la disposition des auteurs un outil grâce auquel les pages WWW se laissent optimiser.

Les programmes en JavaScript sont notés directement dans le fichier HTML ou dans des fichiers séparés. ils sont interprétés en temps réel par le navigateur Web. Les navigateurs Web modernes possèdent à cet effet le logiciel d'interprétation correspondant.

**DOM** est l'acronyme de *Document Object Model*. C'est une spécification du W3C pour proposer une API qui permet de modéliser, de parcourir et de manipuler un document XML.

Le principal rôle de DOM est de fournir une représentation mémoire d'un document XML sous la forme d'un arbre d'objets et d'en permettre la manipulation (parcours, recherche et mise à jour).

A partir de cette représentation (le modèle), DOM propose de parcourir le document mais aussi de pouvoir le modifier. Ce dernier aspect est l'un des aspect les plus intéressant de DOM.

DOM est défini pour être indépendant du langage dans lequel il sera implémenté.

#### 6.4.6. CGI et Perl

L'interface CGI (*Common Gateway Interface - Interface générale de passerelle*) est une possibilité de tenir à disposition des programmes ou des scripts pouvant être appelés à partir de fichiers HTML et qui peuvent créer eux même du code HTML pour l'envoyer à un navigateur Web. À la différence de *JavaScript* de tels scripts ou programmes ne sont pas exécutés après la transmission d'une page Web sur le navigateur de l'utilisateur mais avant que le navigateur ne reçoive des données transmises par le serveur. C'est pour cette raison que les scripts CGI ou les programmes CGI ne sont exécutables que lorsqu'une liaison HTTP est établie entre le navigateur Web et le serveur Web. CGI est domicilié du côté du serveur.

La plupart des programmes CGI d'aujourd'hui ne sont pourtant pas des programmes compilés mais ni plus ni moins que des scripts qui sont exécutés par l'interpréteur lorsqu'ils sont appelés. Le plus connu et plus populaire de ces interpréteurs est **l'interpréteur Perl**.

**Perl** est un langage de programmation qui représente un mélange entre les langages de programmation traditionnels comme C et les langages scripts comme les Shell scripts Unix. Perl est extrêmement puissant et l'interpréteur Perl est parfaitement au point. C'est pourquoi Perl a conquis les programmeurs dans d'innombrables domaines. Entre autres justement, le domaine de la programmation CGI. Pour cette raison, on ne peut entre-temps évoquer la programmation CGI, nommer Perl et les considérer comme faisant partie d'un tout. Il est seulement important de savoir que l'association de CGI et de Perl n'est pas innée ou indispensable. CGI est en fin de compte une norme pour une interface de programmation que le logiciel serveur Web doit soutenir et que **Perl** est un langage script utilisable partout et qui de toutes façons est particulièrement bien adapté en raison de ses caractéristiques à la programmation CGI.

#### 6.4.7. PHP

**PHP** est l'acronyme récursif pour *Hypertext Preprocessor*. C'est un langage interprété (un langage de script) exécuté du côté serveur (comme les scripts CGI, ASP, ...) et non du côté client. La syntaxe du langage PHP provient de celles du langage C, du Perl et de Java.

Ce langage a été conçu par Rasmus Lerdorf et est aujourd'hui exploité par la société ZEND. Il est aujourd'hui très à la mode dans le développement des applications web.

#### 6.4.8. ASP

**ASP** signifie **Active Server Pages** (*pages actives du serveur*) et représente comme PHP une alternative à CGI/Perl. Chez ASP également il s'agit de créer des pages Web dynamiques du côté du serveur par exemple pour donner les résultats d'une recherche dans une base de données sous forme d'une liste HTML au navigateur appelant. De façon similaire à du code PHP, vous pouvez incorporer du code Script ASP directement en HTML - Des scripts séparés comme pour Perl et CGI, devant être sauvegardés dans des répertoires spéciaux, ne sont donc pas nécessaires. À la différence de PHP, ASP est davantage couplé au monde de Microsoft et de Windows. Il y a bien aussi ASP pour Linux et autres systèmes basés sur Unix et outre le serveur Web Microsoft, le serveur Apache et beaucoup d'autres sont soutenus. Pourtant l'intégration de ASP est optimisée pour des serveurs Web de Microsoft et c'est pour cela qu'il est utilisé surtout sous Windows NT.

ASP n'est à la différence de PHP qu'un "environnement", et non pas un langage script distinct. Comme langages scripts ce sont avant tout les langages propres à Microsoft JScript et VBScript (Script Visual Basic) qui sont prévus. Mais même l'utilisation de Perl pour ASP est possible - et l'utilisation universelle de Perl est mise ici encore en évidence qui à l'inverse de ASP par exemple n'est pas lié à un environnement particulier. VBScript est de toutes façons le langage script standard pour ASP.

Le principe ASP est le même que celui de PHP. En raison de certaines conventions, le serveur Web reconnaît qu'un fichier HTML est un fichier ASP. Le serveur avec environnement ASP intégré, exécute alors le code Script contenu dans le fichier et envoie à la fin le code HTML complet qui en résulte au navigateur appelant.

#### 6.4.9. ActiveX

**ActiveX** est une technologie introduite par Microsoft pour du code programme exécutable sur les pages Web et a l'ambition d'être une alternative ou une concurrence à Java. ActiveX est un terme regroupant plusieurs composantes logicielles. Toutes ces composantes sont basées sur ce qu'on appelle le **Component Object Model (COM)**. ActiveX n'est pourtant pas un standard Internet au sens habituel du terme, mais la tentative de mettre à profit les propriétés spécifiques au système d'exploitation MS-Windows pour les pages Web.

Une composante essentielle d'ActiveX est ce qu'on appelle les contrôles ActiveX. De tels contrôles sont des programmes ou des modules de programme qui peuvent être incorporés dans des fichiers HTML en tant qu'objet, un peu comme les applets Java. Le code programme est exécuté dans la mémoire de travail de l'ordinateur client (donc celui de l'utilisateur qui appelle une page Web). En principe, un fichier de présentation ActiveX est alors également installé sur l'ordinateur de l'utilisateur. Avec les contrôles ActiveX toutes sortes d'applications peuvent être réalisées.

Il n'y a pas de règle établie pour déterminer dans quel langage de programmation le code ActiveX doit être écrit. Le compilateur doit pourtant soutenir le Component Object Model (COM). Pour créer des contrôles ActiveX, vous n'avez donc pas besoin d'un logiciel bien déterminé, mais d'un compilateur compatible à COM. Ce peut être Visual Basic, Microsoft C++ etc.

ActiveX n'est pour l'instant exécuté directement que par l'Explorer Internet Microsoft. Pour Netscape il y a un plugiciel ActiveX à télécharger. Chez les utilisateurs de Netscape qui ont installé le plugiciel, les contrôles ActiveX sont alors également exécutables.

#### 6.4.10. Flash

**Flash** offre la possibilité de mettre sur les pages Web des effets multimédia, mais aussi des applications telles que des jeux, des simulations ou des Aides à la navigation pour les pages Web.

#### 6.4.11. AJAX

**AJAX** (*Asynchronous JavaScript and XML*), une technologie web prometteuse pour les besoins applicatifs des entreprises. **Ajax** est une nouvelle architecture client-serveur qui

s'appuie entièrement sur des standards web pour construire des applications aussi conviviales que celles qui s'exécutent directement sur un PC.

## 7. Définition des Systèmes Multi-Agents (SMA)

L'approche multi-agents confère aux systèmes un avantage fondamental qui réside dans sa manière de s'adapter. D'ailleurs, elle présente encore l'avantage d'être une technique de développement qui facilite l'implémentation envisagée de notre travail.

Selon **Ferber** [Ferber, 1995] on appelle système multi agent un système composé des éléments suivants:

- **Un environnement  $E$** , c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique ;
- **Un ensemble d'objets  $O$** . Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans  $E$ . Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents ;
- **Un ensemble  $A$  d'agents**, qui sont des objets particuliers représentant les entités actives du système ;
- **Un ensemble de relations  $R$**  qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux ;
- **Un ensemble d'opérations  $Op$**  permettant aux agents de  $A$  de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de  $O$  ;
- **Des opérateurs** chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

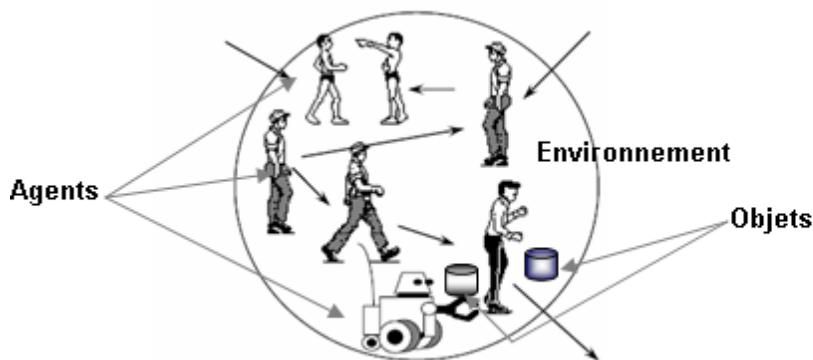


Figure. 2.12 Exemple de Système Multi-Agents (SMA)

## **8. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté le domaine des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD). Ces systèmes sont apparus au cours des années soixante. Il y a eu depuis de nombreuses évolutions. Les premières sections de ce chapitre sont axées sur les définitions permettant de retracer l'historique de ces systèmes, leurs caractéristiques et les évolutions technologiques dans le temps. En résumé, on peut dire qu'un SIAD assiste le décideur sans jamais se substituer à lui. Tout l'art de la conception d'un SIAD réside dans l'instauration d'un véritable dialogue entre l'homme et la machine. Pour que cet échange soit fructueux, il est nécessaire d'identifier les problèmes partiels automatisables et pertinents pour l'utilisateur, pouvant faire avancer la résolution. Nous avons eu également un aperçu des types de décision et les sortes de processus de prise de décision. Afin de produire des systèmes réellement utilisées par les décideurs, il est important d'avoir des modèles riches et justes du décideur et du fonctionnement de la décision.

# Chapitre 3

Les méthodes multicritères :  
AHP  
(Analytic Hierarchy Process)

## 1. Introduction

La problématique de décision multicritère est souvent présente dans la vie pratique. Du simple choix d'un achat à la sélection d'une carrière, la question demeure la même : comment faire le bon choix en tenant compte de toutes les contradictions qui existent dans les critères qui participent au processus de décision? La problématique de décision multicritère se réfère à une prise de décision en présence de plusieurs critères, souvent contradictoires. Par exemple, l'achat d'une nouvelle voiture consiste à trouver le ou les meilleurs modèles qui offrent un bon compromis entre le prix, la consommation de carburant, le confort, etc. On remarquera ici que les critères de confort et de niveau de consommation sont souvent contradictoires : une voiture confortable est supposée être spacieuse, par conséquent lourde, ce qui obligera le constructeur à incorporer un moteur puissant adapté aux dimensions de la voiture. On remarquera aussi que les natures de ces deux critères sont totalement différentes : d'un côté le confort est un critère qualitatif alors que le niveau de consommation est quantitatif. De plus, les critères quantitatifs peuvent être incommensurables, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de justification permettant de les agréger en un seul critère. La puissance et le prix d'une voiture donnée sont des exemples de deux critères incommensurables, parce que ramener une puissance à un coût ne répond pas au besoin de l'utilisateur. Ceci dit, la problématique de décision multicritère est d'autant plus complexe qu'elle a engendré de multiples travaux de recherches, qui ont donné naissance à de multiples méthodes de décision multicritère.

Plusieurs méthodes multicritères existent dans la littérature, dans le cadre de ce chapitre, nous nous intéressons à la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process).

Tout d'abords, nous présenterons l'intérêt et la description de cette méthode, en mettant en évidence les différentes étapes selon Satty [Satty, 1980] ensuite nous terminons par un exemple plus détaillé de la méthode.

## 2. Définitions

### 2.1 Alternative

Une alternative ou action désigne un objet sur lequel opérera le processus de décision.

### 2.2 Critère

Un critère, objectif ou attribut est une fonction définie sur l'ensemble des alternatives, qui prend ses valeurs dans un ensemble totalement ordonné et qui représente les préférences de l'utilisateur selon le point de vue que le critère modélise.

## 2.3 Décision multicritère

Le domaine de la décision multicritère **MCDM** (Multicriteria Decision Making) se décompose en deux sous-domaines, en l'occurrence la décision multi objectif **MODM** (Multi-Objective Decision Making) et la décision multi-attribut **MADM** (Multi-Attribute Decision Making) :

- MADM : sélection de la meilleure alternative dans un ensemble fini prédéterminé d'alternatives;
- MODM : sélection de la meilleure action dans un espace de décisions continu ou discret. L'optimisation multi objectif est une branche de MODM.

## 2.4 Décideur

Le décideur est généralement une personne ou un groupe de personnes qui sont supposés connaître le problème de décision multicritère. Le décideur se base sur son expérience et ses connaissances pour exprimer des relations de préférence entre différentes solutions. Dans ce contexte, le décideur est souvent épaulé par un analyste, qui joue le rôle d'interface entre le décideur et l'aspect mathématique du processus de décision multicritère.

## 3. Définition de la méthode AHP

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 (MultiCriteria 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].

La méthode AHP représente l'une des méthodes la plus connue et la plus utilisée dans l'analyse multicritères, elle permet aux décideurs d'évaluer les poids relatifs aux différents critères au lieu de donner les critères de manière intuitive en se basant sur les comparaisons par paire entre tous les éléments du même niveau afin de leur attribuer un poids final de plus c'est une méthode dite compensatoire car elle assume une agrégation complète entre les critères.

C'est une méthodologie visant la résolution de problèmes avec plusieurs alternatives en appliquant plusieurs critères de décision simultanément. Elle est systématique, flexible et simple, et est utilisée fréquemment par les chercheurs et les praticiens afin de comparer plusieurs objectifs ou alternatives [Malczewski, 2006].

## 4. Le but de la méthode AHP

La méthode AHP permet de décomposer un problème selon l’arborescence des différents critères et sous-critères de décision associés à ce problème et de comparer ces critères entre eux, deux à deux, à l’aide d’une échelle de pondération afin de mettre en lumière la solution qui répond le mieux aux critères de décision.

## 5. Caractéristiques de la méthode AHP

- **Unités de mesures** : peuvent être qualitatives ou quantitatives, des valeurs relatives ou absolues pour établir des priorités.
- **Structure hiérarchique** : qui permet de trier les éléments du système dans différents niveaux et dans de groupes à caractéristiques similaires.
- **Interdépendance** : qui permet de considérer les éléments du système sans insister dans un raisonnement linéaire.
- **Consistance** : une cohérence qui permet de garder une logique des jugements utilisés pour déterminer les priorités.
- **Synthèse** : permettant d’obtenir une appréciation générale de la désirabilité de chaque alternative.
- **Identification des priorités** : permet de considérer la priorité relative de chaque critère pour ainsi obtenir la meilleure alternative selon les objectifs identifiés.
- **Unicité** : une flexibilité qui permet son utilisation dans un éventail varié de problèmes non structurés.

## 6. Démarche

La méthode AHP a recours à différentes formes de connaissances, au fur et à mesure de son déroulement. Elle fait en particulier appel à l’imagination et à l’expérience pour définir la hiérarchie du problème. Lors du diagnostic ou de l’expertise, elle fait appel à la logique et à l’intuition de ou des décideurs pour proposer des appréciations. Elle permet ainsi d’identifier, de comprendre et d’évaluer les interactions d’un système considéré dans sa globalité [Satty, 1981].

La méthode AHP est construite à partir de différents niveaux de critères. Elle permet ainsi

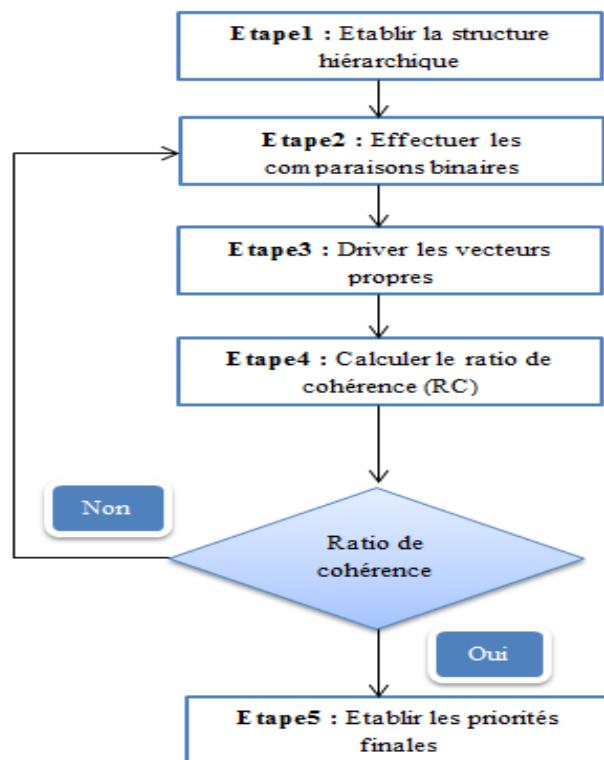
- décomposer un problème complexe et non structuré en ses éléments constituants.
- modéliser ces éléments sous la forme d’une structure hiérarchique.
- quantifier l’importance relative de chaque élément à partir de jugements subjectifs.

- et enfin, de synthétiser l'importance relative de chaque élément de la hiérarchie en une préférence globale afin de déterminer des priorités parmi les actions potentielles.

La méthode AHP permet de compenser la dégradation de performance d'une action sur certains critères par sa performance sur d'autres. Une telle méthode est dite compensatoire. Afin de mesurer les qualités intangibles d'éléments de nature différente, elle repose sur l'utilisation d'une échelle de mesure unique. Elle permet ainsi de résoudre un grand nombre de problèmes décisionnels de façon quantitative en élaborant un modèle d'aide à la décision, représenté sous la forme d'une hiérarchie, elle repose principalement sur une démarche descriptive afin de tenir compte de la nature « humaine » plutôt que de lui imposer un mode de pensée particulier.

## 7. Les étapes de l'application

Nous allons détailler dans ce qui va suivre les différentes étapes de la méthode AHP (voir la **figure 3.1**).



**Figure 3.1** : Les étapes de l'application.

### Étape 1 : Etablir la structure hiérarchique

La première étape consiste la décomposition du problème complexe en une structure hiérarchique à travers des niveaux qui sont :

**Niveau 0** : Définir l'objectif cible.

**Niveau 1** : Définir les critères de décision ou d'analyse.

**Niveau 2** : Définir les caractéristiques des critères, chacun à son tour, ou l'ensemble d'options sous étude.

La figure 3.2 donne un aperçu sur la hiérarchie d'un problème.

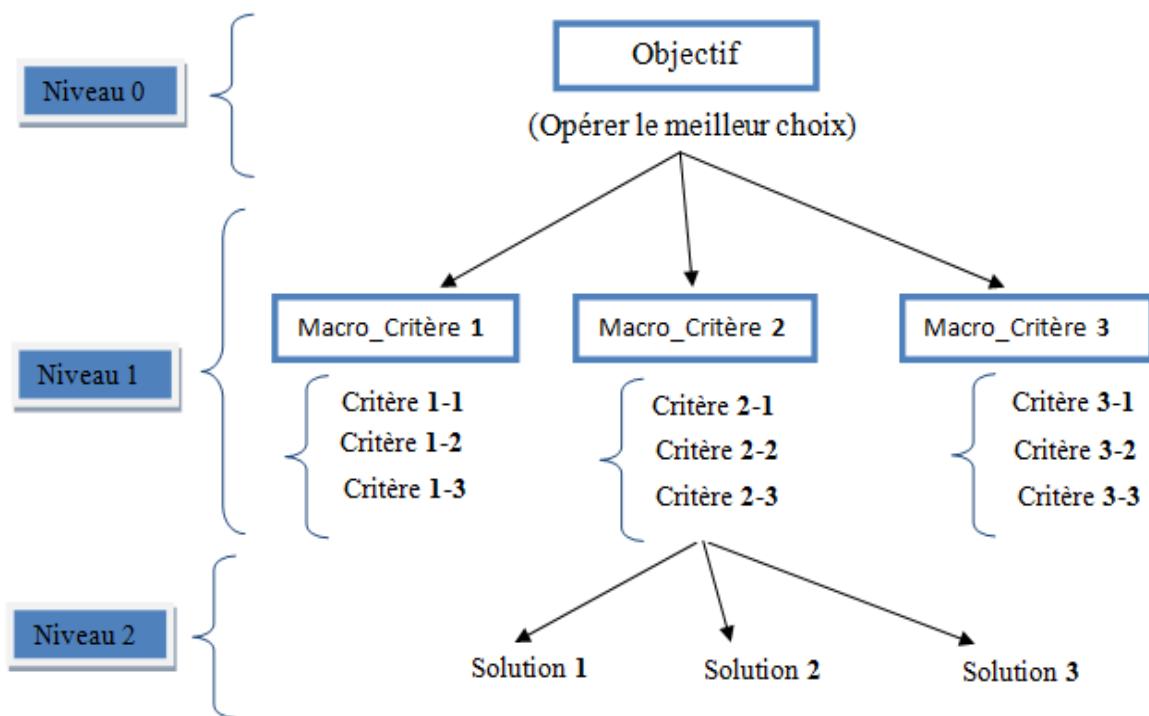


Figure 3.2 : La hiérarchie du problème.

## Étape 2 : Effectuer les combinaisons binaires

Cette étape consiste à étudier les points suivants :

- Comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux par deux, par rapport à l'élément du niveau immédiatement supérieur.
- configurer une matrice carrée réciproque formée par les évaluations ( $K \times K$ ),  $K$  étant le nombre d'éléments comparés, nous obtenons un exemple de matrice (voir exemple).

$$a_{ii} \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} a_{ij}=1 \text{ et} \\ a_{ij}=1/a_{ij} \text{ (valeur réciproque)} \end{array} \right.$$

	A1	A2	A3
A1	1	3	6
A2	1/3	1	2
A3	1/6	1/2	1

**Tableau 3.1 :** Exemple d'une matrice de comparaison par paire.

Pondération	Degré de préférence
1	Importance égale
2	Importance faible
3	Importance assez modérée
4	Importance modérée
5	Importance assez forte
6	Importance forte
7	Importance très forte
8	Importance extrême
9	Importance capitale

**Tableau 3.2 :** Echelle de Satty [Fiat, 2007].

### Étape 3 : Déterminer les vecteurs propres

La détermination des priorités des éléments de chaque matrice se fait par la résolution du problème de vecteurs propres. Calculer l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie à partir des évaluations obtenues à l'étape précédente, et l'importance relative des différents critères est exprimée par les valeurs du vecteur propre normalisé à 1.0. Plus grande est cette valeur et plus important est le critère correspondant.

### Étape 4 : Calculer le ratio de cohérence (RC)

Les réponses obtenues présentent souvent un certain degré d'incohérence. La méthode AHP n'exige pas que les jugements soient cohérents ni transitifs, par contre Saaty a défini un indice de cohérence (IC). Plus l'indice de cohérence devient grand et plus les jugements de l'utilisateur sont incohérents et vice versa. IC est ensuite comparé à des valeurs critiques obtenues par simulation. Saaty a défini, par expérimentation, un ratio de cohérence comme le rapport de l'indice de cohérence calculé sur la matrice correspondant aux jugements du décideur et de l'indice aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension. Une idée est donnée dans le **tableau 3.3**.

N = nombre de critère	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

**Tableau 3.3** : Les indices de cohérence aléatoire [Satty, 1984].

Le ratio de cohérence est donné par la formule suivante :

$$RC = IC / IA$$

RC : est le ratio de cohérence.

IA : est un indice aléatoire.

IC : est l'indice de cohérence.

L'indice de cohérence aléatoire est calculé par cette formule :

$$IC = (\lambda_{\max} - K) / (K-1)$$

Avec : K est le nombre d'élément comparé

$\lambda_{\max}$  est la valeur propre maximale.

Le ratio de cohérence peut être interprété comme la probabilité que la matrice soit complétée aléatoirement. La cohérence globale d'appréciation est évaluée au moyen de ce ratio de cohérence RC. Toujours selon Saaty, la valeur de ce dernier doit être au plus égale à 10%. Dans le cas où cette valeur dépasse 10%, les appréciations peuvent exiger certaines révisions.

Une fois calculé, le ratio de cohérence (RC) final doit être vérifié selon le niveau acceptable proposé par Saaty (1984) en fonction de la taille de la matrice. Lorsque le ratio de cohérence dépasse la valeur respective du tableau ci-dessous, on considère que les jugements sont trop aléatoires. Il faut alors réviser l'analyse afin de parfaire les jugements et ainsi, obtenir un ratio de cohérence final qui soit acceptable. Les valeurs données dans le **tableau 3.4** montrant les ratios de cohérence acceptables par Saaty.

Taille de la matrice (n)	Ratio de cohérence acceptable
3	0,05
4	0,08
5 et +	0,10

**Tableau 3.4 :** Les ratios de cohérence acceptable [Satty, 1984].

### *Étape 5 : Etablir les priorités finales*

Le principe de la synthèse des propriétés est de multiplier les priorités locales de chaque niveau par les priorités globales du niveau père pour obtenir les priorités globales de toute la hiérarchie par la suite on ajoute les priorités globales du niveau le plus bas (généralement ce sont les alternatives).

## 8. Exemple d'application

Soit un exemple de la structure hiérarchique de la méthode AHP qui a pour objectif de choisir une université selon les frais de scolarité, la proximité de réseaux de transport, les horaires, et les cours offerts.

### 8.1 Etablissement de la hiérarchie du problème

En premier lieu, nous allons décomposer le problème en structure hiérarchique comme cela est montré à la **figure 3.3**.

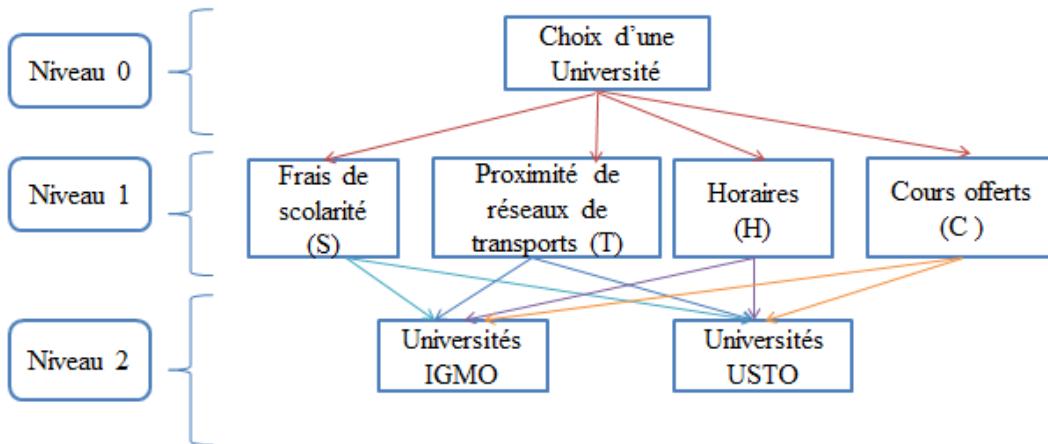


Figure 3.3: Structure hiérarchique par niveaux.

Ces niveaux présentant différents niveaux tels que:

**Niveau 0** : l'objectif cible qu'est le choix d'une université.

**Niveau 1** : représente les critères de décision.

**Niveau 2** : représente les différentes alternatives qui sont dans notre cas l'université IGMO et l'université USTO.

## 8.2 Etablissement des comparaisons binaires

### 8.2.1 Elaboration de la matrice du premier niveau

Critère	S	T	H	C
Critère	S	T	H	C
S	1	5	9	1
T	1/5	1	3	1/5
H	1/9	1/3	1	1/7
C	1	5	7	1

Tableau 3.5 : Matrice du premier niveau des critères.

### 8.2.2 Elaboration des matrices du deuxième niveau

- a) Le premier critère étant **les frais de scolarité**

Options	IGMO	USTO
IGMO	1	5
USTO	1/5	1

**Tableau 3.6 :** Matrice du deuxième niveau selon les frais de scolarité.

- b) Le deuxième critère étant **la proximité du réseau de transport**

Options	IGMO	USTO
IGMO	1	1/3
USTO	3	1

**Tableau 3.7 :** Matrice du deuxième niveau selon la proximité du réseau de transport.

- c) Le troisième critère étant **l'horaire du cours**

Options	IGMO	USTO
IGMO	1	1
USTO	1	1

**Tableau 3.8 :** Matrice du deuxième niveau selon l'horaire du cours.

- d) Le dernier critère étant **les cours offerts**

Options	IGMO	USTO
IGMO	1	7
USTO	0,143	1

**Tableau 3.9 :** Matrice du deuxième niveau selon les cours offerts.

### 8.3 Détermination des vecteurs propres

#### 8.3.1 Le vecteur propre de la matrice du premier niveau

Critère \ Critère	S	T	H	C	S	T	H	C	Somme des rangés	Somme des rangés Divisé par Qtée d'éléments
S	1	5	9	1	0,43	0,44	0,45	0,43	1,75	0,438
T	1/5	1	3	1/5	0,09	0,09	0,15	0,09	0,42	0,103
H	1/9	1/3	1	1/7	0,05	0,03	0,05	0,06	0,19	0,047
C	1	5	7	1	0,43	0,44	0,35	0,43	1,65	0,413
	2,31	11,33	20	2,34	1	1	1	1	Vecteur propre	Vecteur propre normalisé=1

Matrice Normalisée

Tableau 3.10 : Matrice de comparaison binaire des critères.

#### 8.3.2 Les vecteurs propres des matrices du deuxième niveau

##### a) selon les frais de scolarité

Options \ Options	IGMO	USTO	IGMO	USTO	Somme des rangés	Somme des rangés Divisé par Qtée d'éléments
IGMO	1	5	0,83	0,83	1,7	0,83
USTO	1/5	1	0,17	0,17	0,34	0,17
	1,2	6	1	1	2,04	1

Matrice Normalisée

Vecteur Propre

Vecteur propre normalisé

Tableau 3.11 : Matrice de comparaison binaire selon les frais de scolarité.

##### b) Selon la proximité du réseau de transport

Options	IGMO	USTO	IGMO	USTO	Somme des rangés	Somme des rangés Divisé par Qtée d'éléments
Options						
IGMO	1	1/3	0,25	0,25	0,5	0,25
USTO	3	1	0,75	0,75	1,5	0,75
	4	1,33	1	1	2	1

Matrice Normalisée      Vecteur Propre      Vecteur propre normalisé

Tableau 3.12 : Matrice de comparaison binaire selon la proximité du réseau de transport

## c) Selon l'horaire du cours

Options	IGMO	USTO	IGMO	USTO	Somme des rangés	Somme des rangés Divisé par Qtée d'éléments
Options						
IGMO	1	1	0,5	0,5	1	0,5
USTO	1	1	0,5	0,5	1	0,5
	2	2	1	1	2	1

Matrice Normalisé      Vecteur Propre      Vecteur propre normalisé

Tableau 3.13 : Matrice de comparaison binaire selon L'horaire du cours

## D) Selon Les cours offerts

Options	IGMO	USTO	IGMO	USTO	Somme des rangés	Somme des rangés Divisé par Qtée d'éléments
Options						
IGMO	1	7	0,875	0,875	1,75	0,875
USTO	1/7	1	0,125	0,125	0,25	0,25
	1,143	8	1	1	2	1

Matrice Normalisée      Vecteur Propre      Vecteur propre normalisé

Tableau 3.14 : Matrice de comparaison binaire selon Les cours offerts.

## 8.4 Vérification de cohérence

Critère	S	T	H	C	B	D=A*B	E=D/B
Critère							
S	1	5	9	1	0,438	1,789	4,084
T	1/5	1	3	1/5	0,103	0,4142	4,021
H	1/9	1/3	1	1/7	0,047	0,1889	4,019
C	1	5	7	1	0,413	1,695	4,104

Matrice A

$$\lambda_{\max} = 16,22/4 \\ = 4,0$$

Tableau 3.15 : Vérification de cohérence de la matrice premier niveau.

- ✓  $\lambda_{\max} = 16,228 / 4 = 4,057$
- ✓  $IC = (\lambda_{\max} - K) / (K-1) = (4,057-4) / (4-1) = 0,019$
- ✓  $RC = IC / IA = 0,019 / 0,9 = 0,021 = < 0,08$  Alors la matrice est cohérente.

## 8.5 Elaboration des priorités finales

On fait la somme de multiplication de priorités locales de chaque niveau par les priorités globales du niveau père.

(E) Vecteurs propre des Critère				
Option	0,58	0,11	0,31	
Sol 1	0,33	0,25	0,87	0,448
Sol 2	0,66	0,75	0,12	0,5

(D) Vecteurs propre normalisé de chaque Option en regard les critère

Sol 2  
est un choix plus judicieux

Rapport-gratuit.com

Tableau 3.16 : Elaboration des priorités finales.



## **9. Avantages de la méthode AHP**

- Simplicité d'utilisation
- Élimination des ennuis dus aux unités de mesure
- Bonne illustration graphique
- Évaluation de plusieurs attributs à la fois (souvent contradictoires)
- Possibilité de valider la cohérence

## **10. Limites de la méthode AHP [DelVecchio, 2006]**

La méthode AHP comporte toutefois certaines limites qui doivent être prises en compte lors de son utilisation :

### **a) Renversement du rang**

Une des principales critiques de la méthode AHP réside dans le fait qu'elle permet un renversement du rang des options dit « rank reversal » lors de l'ajout ou la suppression d'options ou de critères.

En d'autres termes, si une nouvelle option est ajoutée (ou enlevée) de l'analyse, les options existantes perdraient (ou gagneraient) de la priorité sous chacun des objectifs de la hiérarchie. Cela se produit lorsque le système est fermé, c'est-à-dire que les ressources sont limitées et ainsi redistribuées parmi l'ensemble des options.

### **b) Nécessité d'interprétation des résultats**

Un autre point important à retenir est que les résultats obtenus grâce à la méthode AHP peuvent s'avérer très utiles dans une prise de décision. Par contre, le jugement et l'expérience d'experts sont et seront toujours nécessaires pour interpréter l'ordre définitif des options ainsi que la décision finale. La méthode AHP est une aide pour l'analyse mais ne pourra jamais s'y substituer totalement.

### **c) Subjectivité de l'analyse**

Il est important de noter qu'une analyse individuelle avec la méthode AHP sera toujours influencée par la vision et les valeurs personnelles du répondant. En d'autres mots, une notion de subjectivité sera inévitablement introduite dans l'analyse puisqu'il s'agit de l'intuition du gestionnaire et sa perception du contrat d'impartition à l'étude.

## 11. Travaux connexes

Nous avons adopté la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) pour plusieurs raisons. 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 principales 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].

Beaucoup de travaux ont été développés dans la littérature, nous pouvons citer par exemple:

Les auteurs cités dans [Lai et al., 2002] ont décrit une étude où ils ont suggéré d'utiliser la méthodologie AHP pour la sélection de logiciels appelée Multimedia Authorizing System (MAS). Ils ont utilisé la technique de prise de décision du groupe, qui comprenait six ingénieurs logiciels. Trois produits de MAS ont été évalués. La Hiérarchie de la comparaison par paire a été formée qui comprenait quatre niveaux. Les critères du niveau trois ont été évalués. Ces critères étaient: l'interface de développement, le support des fichiers de données, le support multimédia, le support graphique, la rentabilité et le support des fournisseurs.

Une autre application de AHP a été décrite dans [Al Harbi, 2001]: ici, AHP a été appliquée dans le domaine de la gestion de projet afin de sélectionner le meilleur entrepreneur. L'idée principale derrière ce travail est de construire une structure hiérarchique pour les critères de pré-qualification, et les entrepreneurs qui désirent se qualifier pour le projet. En général, cinq entrepreneurs ont été pris en compte dans l'étude de cas. Ils ont été estimés en fonction des critères d'expérience, de la qualité du rendement, de la stabilité financière, des ressources en équipement, des ressources humaines et de la charge de travail actuelle. Chacun des contractants a été comparé par paire avec l'autre pour les différents critères mentionnés en haut. La classification parmi les différents critères a également été faite pour déterminer la priorité globale de chaque entrepreneur. Le meilleur entrepreneur a été sélectionné sur la base de cette priorité globale. L'entrepreneur retenu avait la valeur de priorité globale la plus élevée.

Un autre travail intéressant [Al Khalil, 2002] a proposé d'utiliser AHP afin de sélectionner la méthode de livraison de projet la plus appropriée en tant que facteur clé de succès du projet. Alors que les auteurs de [Byun, 2001] ont utilisé une version étendue de

AHP dans la sélection d'une voiture. L'étude s'est concentrée sur deux questions: l'une combine la comparaison par paire avec une méthode de tableur utilisant une échelle d'évaluation de cinq points; l'autre applique le poids des groupes au rapport de cohérence. En outre, nous pouvons citer une autre approche qui a utilisé AHP dans la sélection du fournisseur d'un système de télécommunication, qui était un problème de décision complexe, multi-personnes et multicritères. Ils ont trouvé AHP très utile et utile pour impliquer plusieurs décideurs ayant des objectifs contradictoires différents pour arriver à un accord complet et à une décision consensuelle, le processus de décision est systématique et cela réduit le temps de sélection du fournisseur [Tam et al., 2001]. Pour la sélection de programmes basés sur la qualité, les chercheurs ont utilisé AHP avec une approche floue dans [Noci et al., 2000].

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].

## 12. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons pu définir la méthode AHP qui est l'une des approches de l'Analyse Multicritères la plus largement utilisée dans les secteurs privés et publics et nous avons présenté les différent étapes d'application en donnant un exemple. Nous pouvons aussi conclure que le processus d'analyse hiérarchique offre les apports dans le mécanisme d'évaluation suivants :

- D'abords la méthode incite des utilisateurs à faire des mesures de comparaisons par paires au lieu de les forcer à attribuer des poids directement.

- Permet une vérification de la cohérence des jugements du décideur, si les poids attribués par ce dernier sont incohérents, on peut toujours recommencer le processus d'évaluation.
- Le modèle associé à la méthode d'évaluation AHP est stable et flexible à la fois. Il est stable parce que les petits changements dans des parties locales du modèle n'affectent pas le modèle entier. Il est flexible dans le sens que différents objectifs et scénarios peuvent être facilement incorporés au modèle.

Ce chapitre termine la première partie dédiée à l'état de l'art, nous entamerons par la suite le chapitre contribution.

# Chapitre 4

# Contribution

## 1. Introduction

Une plate-forme de travail collaboratif est un espace de travail virtuel. C'est un ensemble d'outils en relation avec la conduite d'un projet, la gestion des connaissances ou le fonctionnement d'une organisation avec une mise à disposition de plusieurs acteurs.

L'objectif du travail collaboratif est de faciliter et optimiser la communication entre les individus dans le cadre du travail ou d'une tâche non liée au travail, généralement en mesurant également leur impact sur le comportement des groupes.

Dans ce chapitre, nous proposons un système WEB DSS à base d'agents pour la gestion des pannes dans une entreprise de production. Cette plateforme intègre un outil qui fait appel à la méthode AHP et assure l'échange de message entre plusieurs agents de production.

## 2. Contributions

Les contributions de ce travail sont matérialisée par la proposition d'un processus de prise de décision collaboratif utilisant des agents coopérant pour automatiser certaines tâches du système et collaborer entre les Agents de Production (AP) qui sont considérés comme des participants. Le but de cette étude est d'améliorer la collaboration entre les Agents de Production (AP) ayant une expertise dans le domaine du diagnostic grâce à l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle pour partager efficacement les expériences, générer les connaissances et mieux résoudre les problèmes de ressources.

L'objectif principal de cette étude est de suggérer l'utilisation d'une approche basée sur des agents comme un moyen pratique de mettre en œuvre un système d'aide à la décision basé sur le WEB. Le système développé se concentre sur les problèmes d'allocation de ressources dans un système de fabrication. Dans ce travail, nous apportons deux contributions et nous les décrivons comme ci-dessous:

- Premièrement, le WEB-DSS est implémenté en utilisant les agents, leur communication, et l'interaction ce qui nous permet d'exploiter les avantages d'une architecture distribuée. On a proposé d'intégrer les agents dans notre WEB-DSS pour automatiser certaines tâches et rendre notre système plus rapide. Pour éviter le conflit dans notre système, on a intégré l'agent coordinateur (AC) qui exécute un algorithme de coordination, ce qui lui permet de gérer les interactions des agents à temps et d'éviter ou de traiter les conflits c'est pourquoi son rôle est essentiel. Nous décrivons

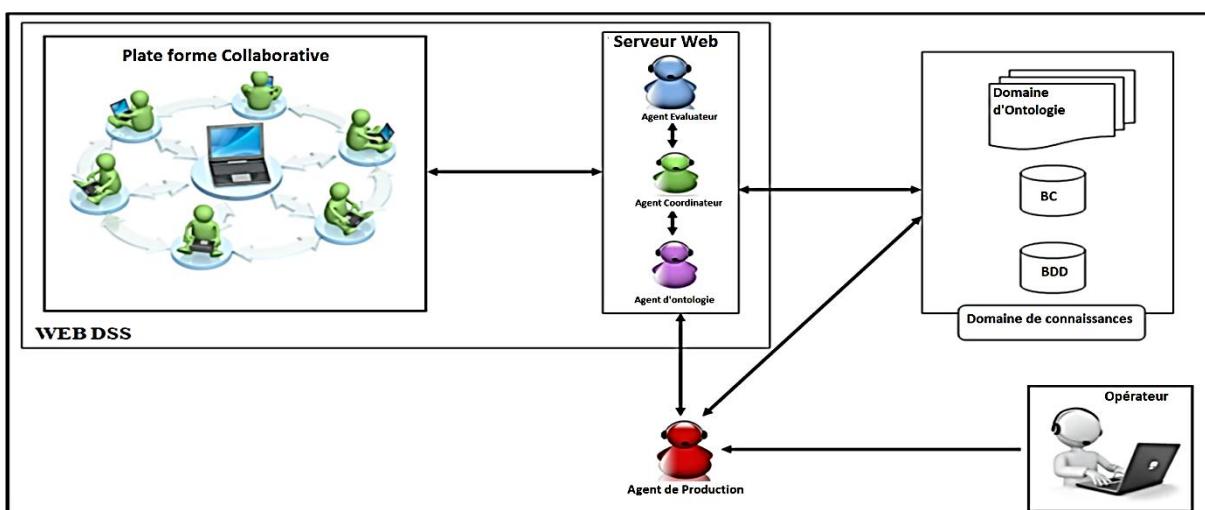
également l'ontologie de domaine pour l'industrie électronique. Ce DSS utilise l'ontologie pour fournir un vocabulaire unifié et standard du domaine. Il sera utilisé pour la gestion des incohérences.

- Deuxièmement, la plate-forme collaborative développée permet aux opérateurs de Production de communiquer entre eux pour trouver la meilleure solution à une panne de ressources. Nous appliquons et utilisons une approche basée sur AHP pour évaluer des critères quantitatifs et qualitatifs et des alternatives sur la même échelle de préférence. Ceux-ci peuvent être numériques, verbaux ou graphiques. L'utilisation de réponses verbales est intuitivement attrayante, conviviale et plus fréquente dans notre quotidien.

### 3. Architecture générale

Notre approche est basée sur le développement d'une plateforme de travail collaboratif. Cette plateforme permet aux différents agents de production de communiquer à travers la plateforme et d'envoyer des propositions de solutions aux pannes à l'agent coordinateur. Ce dernier récupère toutes les propositions et les fait suivre à l'agent évaluateur qui va appliquer la méthode AHP pour classer les solutions.

L'architecture proposée (**Figure 4.1**. Le modèle proposé) est décomposée en trois parties: **WEB-DSS** (environnement WEB collaboratif et serveur Web (agent d'évaluation (EA), agent de coordination (CO) et agent d'ontologie (OA))), **domaine de connaissances** et **agent de production (PA)** qui représente les opérateurs.



**Figure 4.1** : Architecture générale.

## 4. Le processus décisionnel collaboratif

Le processus présenté à la **Figure 4.2**, donne une description détaillée du processus de prise de décision collaboratif dans le cadre du fonctionnement général du système. Il est composé de plusieurs phases comme suit:

- Tout d'abord, l'opérateur humain est considéré comme un simple participant qui doit saisir les informations personnelles lors de l'interface d'identification tel qu'il est visualisé sur la page d'accueil de la plateforme WEB Collaborative. Les données d'entrée sont contrôlées sur le serveur Web (serveur HTTP).
- Une fois identifié, l'utilisateur peut poster son problème; il peut également ajouter plus de mots-clés en même temps que l'agent de production est créé. Cet agent collecte les données entrées du serveur de données.
- Le problème de description est sauvegardé et envoyé à l'Agent Coordinateur (AC): un test simple est appliqué sur la base de cas. Si la recherche sur la Base des Cas (BC) réussit, nous trouverons un cas similaire. Nous continuons le processus donné ensuite, mais cela est possible si le problème est reconnu comme un problème familier, ce qui signifie (vérification par mots clés).
- Ensuite, l'Agent d'Ontologie récupère les mots clés reçus (à partir de AP), il recherche dans l'ontologie de domaine et envoie les résultats obtenus à l'agent de coordination (les mots-clés similaires). l'Agent d'Ontologie a été conçu pour fournir une gestion active et intelligente du modèle en utilisant une base de connaissances et une ontologie de domaine.
- À ce moment, l'Agent Coordinateur (AC) récupère toutes les données relatives au processus; il mène une recherche complète au niveau des données (serveur de données) et envoie les résultats obtenus aux agents utilisateurs (problèmes similaires).
- L'Agent Coordinateur (AC) exécute des tâches telles que la gestion des conflits, l'allocation des ressources, l'attribution des tâches et la synchronisation. Il fournit également des informations utiles aux agents si nécessaire. En outre, il vérifie s'il n'y a pas de défaillance ou de blocage dans les agents.
- Enfin, l'Agent de Production (AP) récupère et recommande certaines solutions à l'utilisateur. Après avoir obtenu des informations auprès de la base des cas, l'utilisateur peut visiter la plateforme collaborative pour échanger, partager et discuter de son expérience avec d'autres utilisateurs (autres agents de production). Sinon, il se déconnecte.

- Si l'Agent Coordinateur (AC) ne trouve aucune similitude entre les cas enregistrés dans sa base et le problème ouvert, il en informera le responsable de la production et le désignera (s'il accepte) comme facilitateur ou médiateur.
- L'animateur commence une séance de collaboration et invite les participants (opérateurs) à fournir des solutions au problème.
- Les propositions soumises par les participants seront envoyées à l'agent coordinateur, ce dernier sollicitera l'agent évaluateur pour le classement des solutions.
- La solution est ensuite affichée par l'agent de sortie sur l'interface permettant à l'opérateur de l'étudier et / ou la commenter.

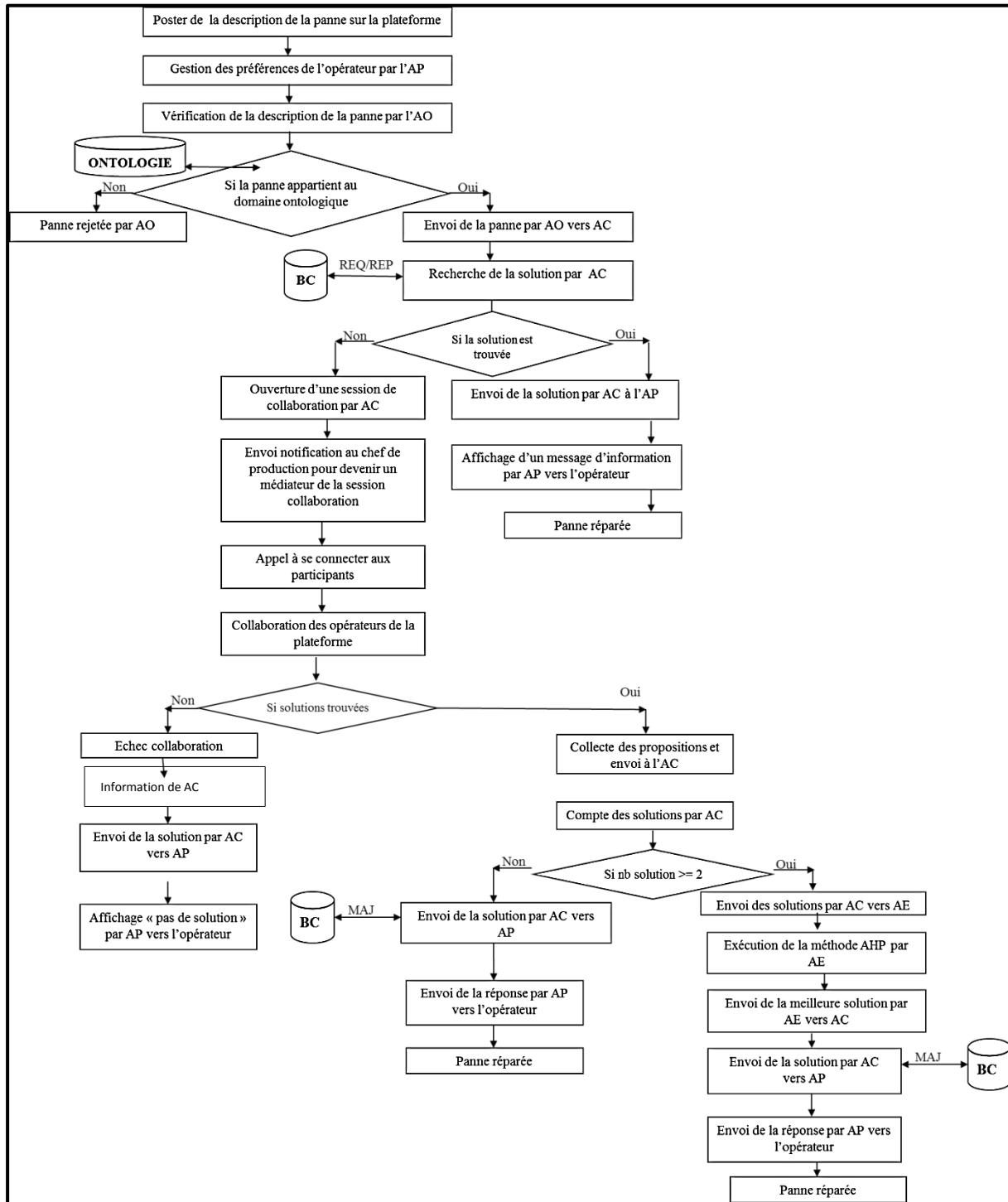


Figure 4.2: Notre processus décisionnel collaboratif

## 5. Description des agents

Les agents les plus importants utilisés dans notre approche sont définis comme suit:

## 5.1. Structure de l'Agent de Production (AP)

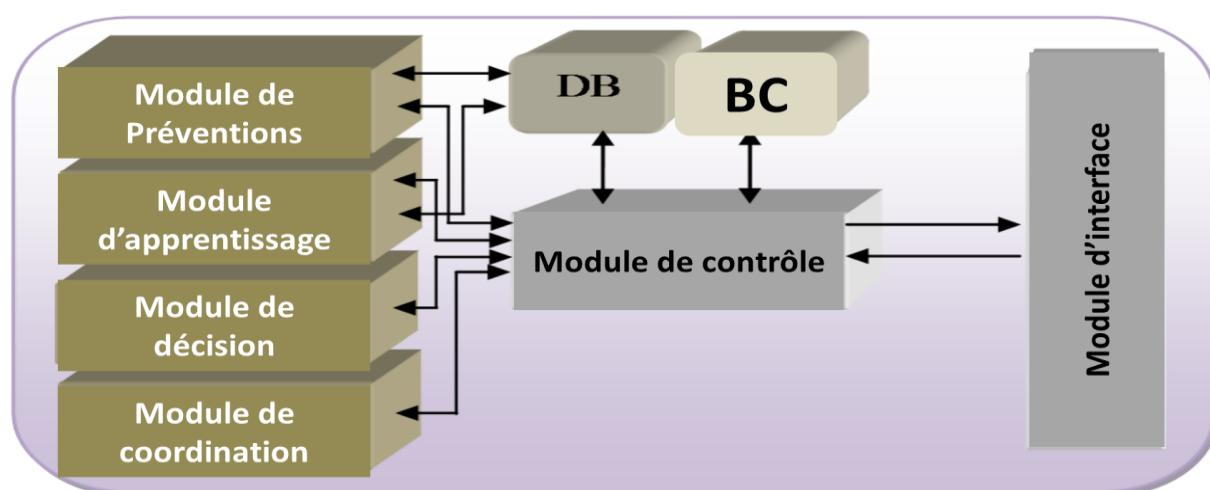
Lorsque l'opérateur humain se connecte à l'interface collaborative, l'agent de production correspondant est créé automatiquement. Il capture toutes les préférences humaines et stocke le problème formulé par l'opérateur dans certains mots-clés.

Cet agent a la capacité d'aider l'interface utilisateur à exprimer son problème, formuler ses préférences et voir la solution. Il aide également l'opérateur dans le processus de résolution de problèmes en donnant des retours sur la solution. L'interface collaborative est une page, une page Java ou un navigateur Web; dans lequel les opérateurs humains peuvent taper des phrases en langage naturel indiquant le type de l'échec à l'aide de quelques mots-clés pertinents pour le domaine.

## 5.2. Structure de l'Agent Coordinateur (AC)

Comme indiqué dans la **Figure 4.3**, la structure générale du coordinateur peut être décrite comme suit:

- *Module de décision*: est appliqué lorsque chaque agent évalue les solutions alternatives. Il considère tous les attributs associés de la tâche donnée et donne une évaluation de l'utilité pour représenter le niveau de satisfaction d'une proposition.
- *Module d'apprentissage*: il contient l'algorithme d'apprentissage (Case-Based Reasoning), qui est utilisé pour enrichir la base de données avec de nouveaux cas de blocage et d'échecs rencontrés lors de l'exécution du processus de coordination.
- *Module Prévention*: il contient des procédures pour éviter les échecs et les inter blocages en utilisant les cas déjà enregistrés par le module d'apprentissage.



**Figure 4.3:** Architecture interne de l'Agent Coordinateur

### **5. 3. Rôle de l'Agent Evaluateur(AE)**

C'est l'agent qui est responsable de l'application de la méthode AHP pour classer les solutions selon les critères suivants: coût, taux de réussite et temps de réparation.

### **5. 4. Agent d'Ontologie**

C'est l'agent le plus important de notre système. Il extrait les données de l'agent de production, puis consulte le domaine de l'ontologie et extrait tous les concepts similaires à ceux du problème d'origine. L'agent de coordination reçoit le résultat de la comparaison de l'agent ontologie.

### **5. 5. Notre Ontologie de domaine**

Notre ontologie de domaine est développée en acquérant des connaissances à partir de documents, la collecte et la capitalisation des règles métier. Elle est liée aux experts du domaine et aux entretiens et aux chefs d'entreprise. Actuellement, nous avons implémenté notre ontologie dans Protégé 4.0.2.

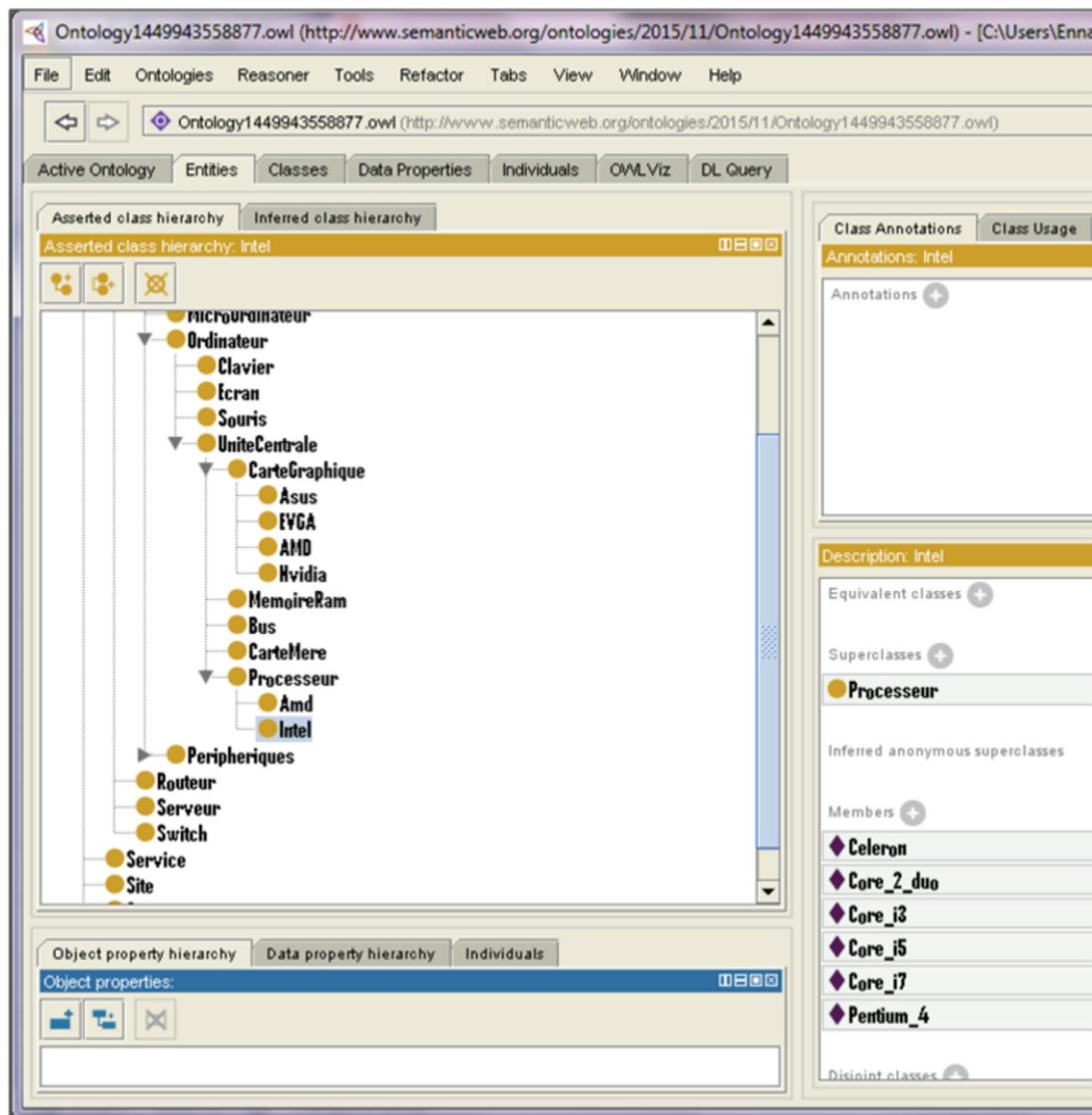


Figure 4.4: Une vue partielle de l'ontologie de domaine créée dans Protégé 4.2

## 6. L'agent de coordinateur et le raisonnement par cas

L'avantage de l'approche proposée est qu'elle peut empêcher le blocage de l'ensemble du système et augmente l'efficacité de fonctionnement. De plus, la plate-forme multi-agents permet le transfert et la coordination des messages entre les agents à travers le langage de communication, ou via le mécanisme de coordination. L'agent coordinateur est le cœur de notre architecture; il fournit des capacités de raisonnement en s'appuyant sur le raisonnement par cas (CBR). Le principe est d'utiliser les connaissances spécifiques de situations de problèmes concrets (cas) déjà expérimentés. Ici, un cas comprend au moins une description de problème (par exemple des symptômes, des fautes) et une solution (par exemple une thérapie ou une action de guérison). Le module de prévention est en exécution permanente pour

prévenir les défaillances et les blocages déjà rencontrés. L'algorithme présenté dans (**Figure 4.5. Algorithme de coordination**) résume les phases les plus importantes de la CBR.

Pour résoudre les problèmes, nous misons sur la compétence des experts et l'expertise des gestionnaires. Dans certains cas, nous utilisons des situations passées qui ont un très grand degré de ressemblance; ce type d'événement est stocké dans la base de cas. Ainsi, nous comparons la situation actuelle pour construire une nouvelle solution.

Pour un problème donné, la recherche est effectuée dans l'ontologie de domaine en calculant la distance entre les mots-clés contenus dans l'énoncé du problème.

```

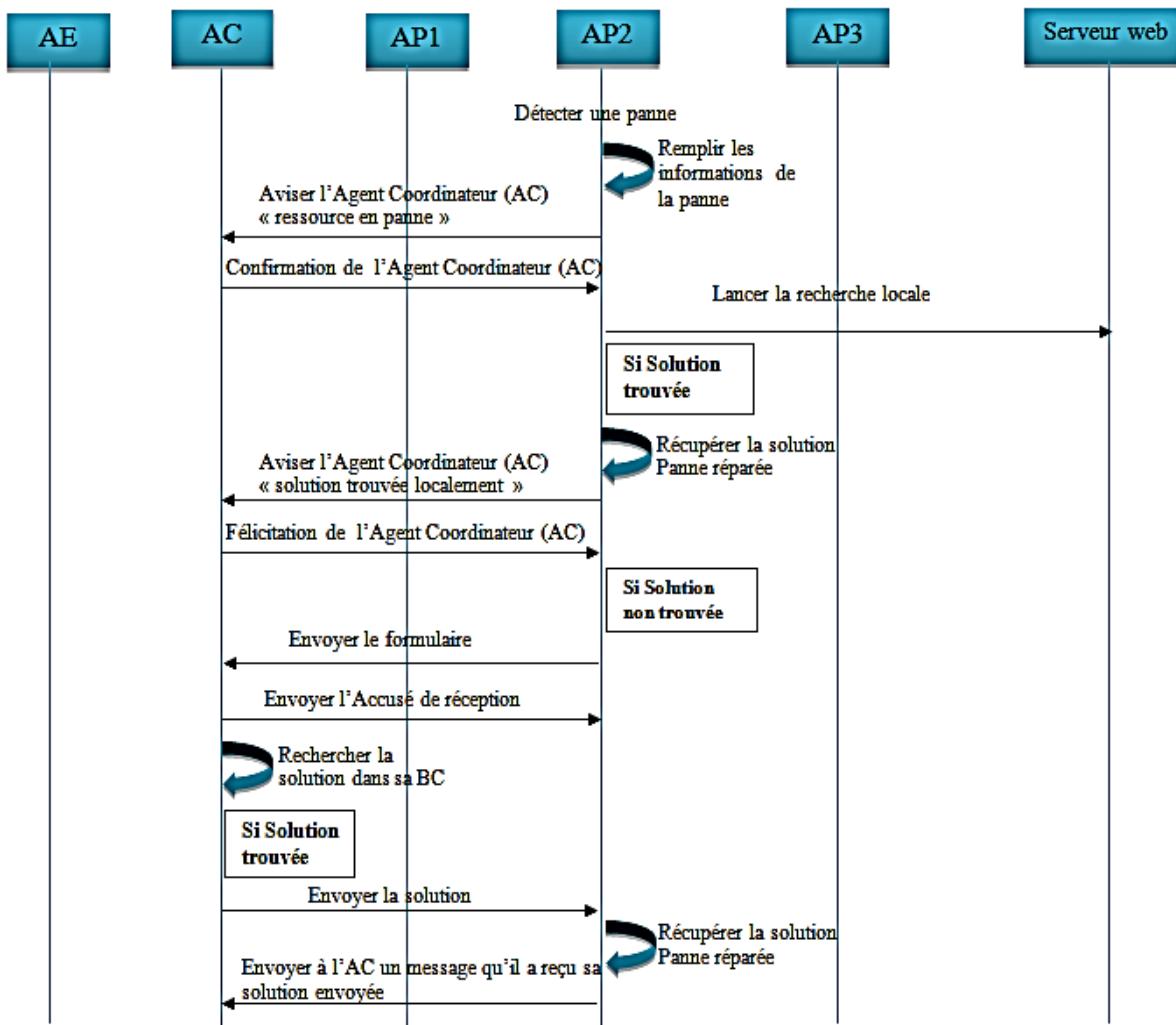
1 Algorithme de coordination;
2 Var i: Integer;
3 API, AC, AE: Agent; // API: Agent de Production, AC: Agent Coordinateur, AE: Agent Evaluateur
4 D, Drep: String;
5 BC: String;
6 Début
7 i:= 1;
8 API a détecté une panne;
9 API cherche la solution dans sa BC;
10 Si API n'a pas trouvé de solution dans sa BC alors API avise AC
11 Finsi;
12 AC reçoit la panne et cherche la solution dans sa BC;
13 Si AC trouve la solution dans sa BC alors AC envoie la solution à API
14           sinon AC envoie la panne et Drep à API / i:= 2 à n
15 Finsi;
16 Pour i:= 2 à n faire
17   Si API trouve la solution dans leurs BC alors API envoient les solutions à AC
18   Finsi;
19 Finpour;
20 Tantque D < Drep faire AC reçoit les réponses de API
21 Fintantque;
22 Si AC a reçu une seule solution alors AC envoie la solution à API / i=1
23           sinon si AC n'a reçu aucune solution alors AC va lancer le WEB DSS
24           sinon AC envoie les solutions des API à AE;
25           AE applique la méthode AHP et envoie le classement des solutions à AC;
26           AC récupère le classement et envoie la meilleure solution à API / i=1;
27           API récupère la solution et répare sa panne.
28   Finsi;
29 Finsi;
30 Finsi;
31 Fin.
32

```

**Figure 4.5:** Algorithme de coordination

## 7. Diagramme de séquence de collaboration des utilisateurs

### 7.1. Scénario 1 : Solution cherchée par la Base de Cas (BC)



1 : l'AP2 a détecté une panne.

2 : l'AP2 va aviser l'Agent Coordinateur (AC) qu'il a une panne.

3 : AP2 va lancer une recherche locale de la solution dans sa Base de Cas (BC).

4 : Si solution trouvée, AP2 va récupérer la solution, réparer la panne et aviser l'AC qu'il a trouvé la solution.

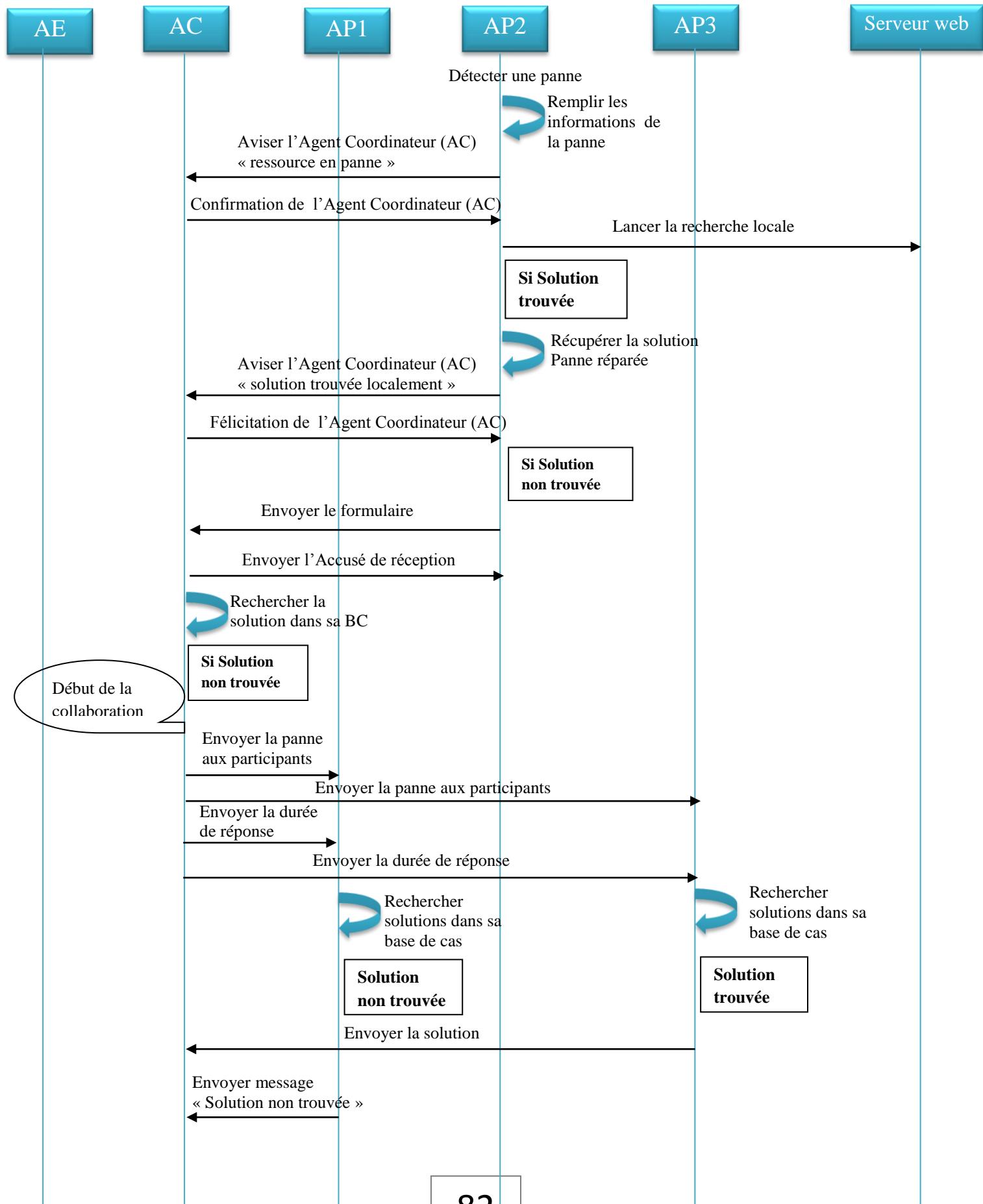
5 : Si solution non trouvée, l'AP2 envoie le formulaire qui contient les informations de la ressource en panne à l'AC.

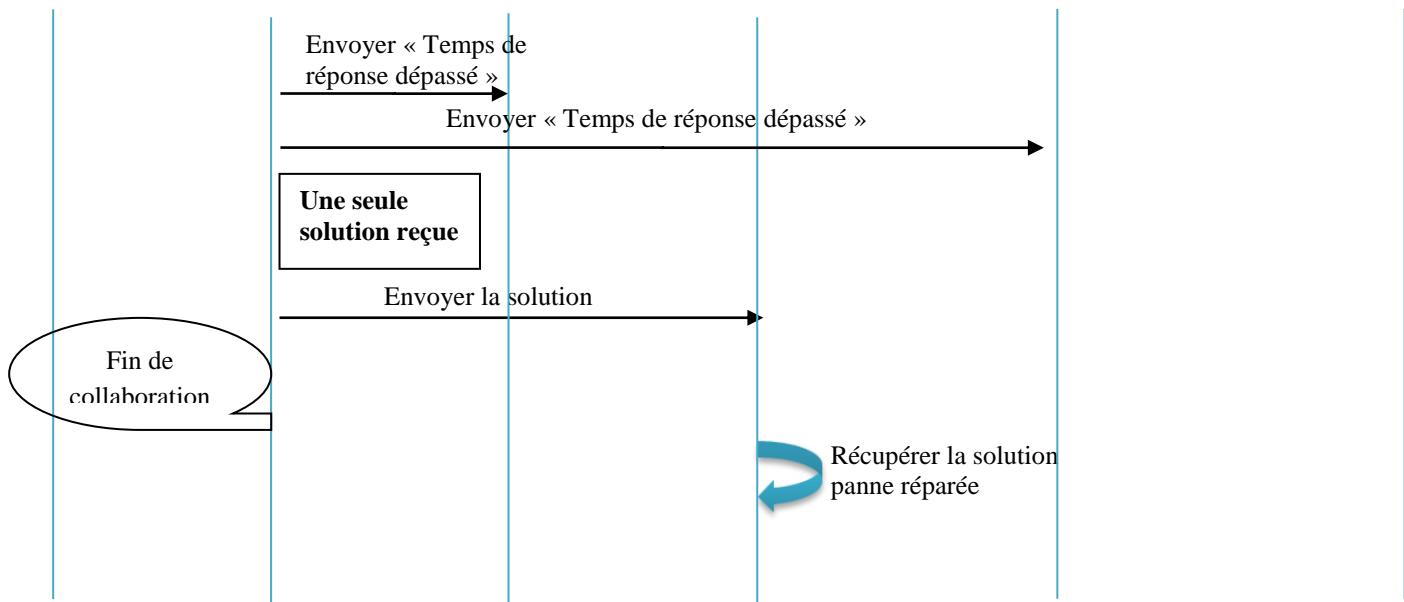
6 : l'AC va rechercher la solution dans sa Base de Cas centralisée.

7 : après la recherche, si l'AC trouve la solution, il va la récupérer et l'envoyer à l'AP2.

8 : AP2 récupère la solution envoyée de l'AC et répare sa panne.

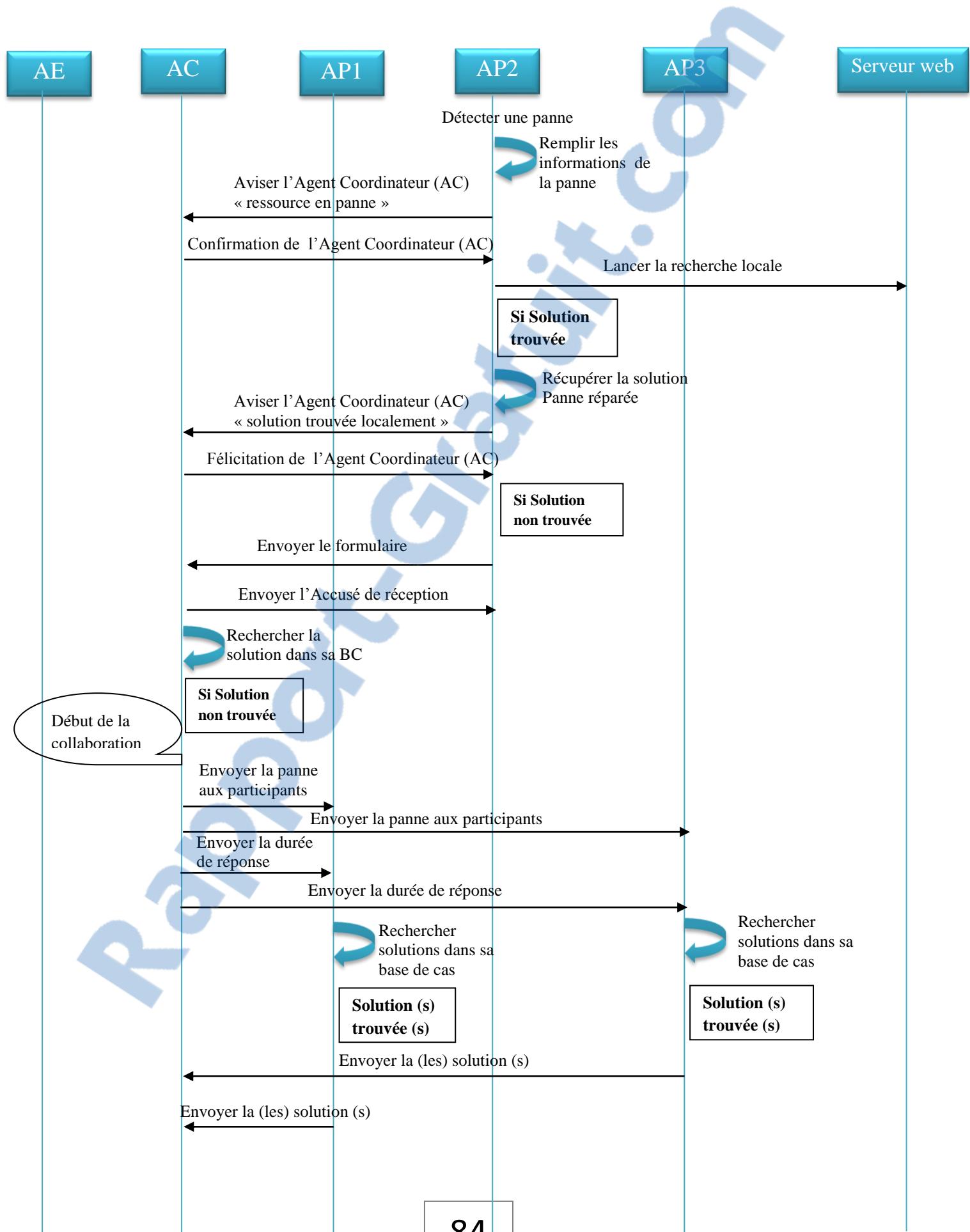
## 7.2. Scénario 2 : Solution trouvée à travers le réseau social par un seul AP

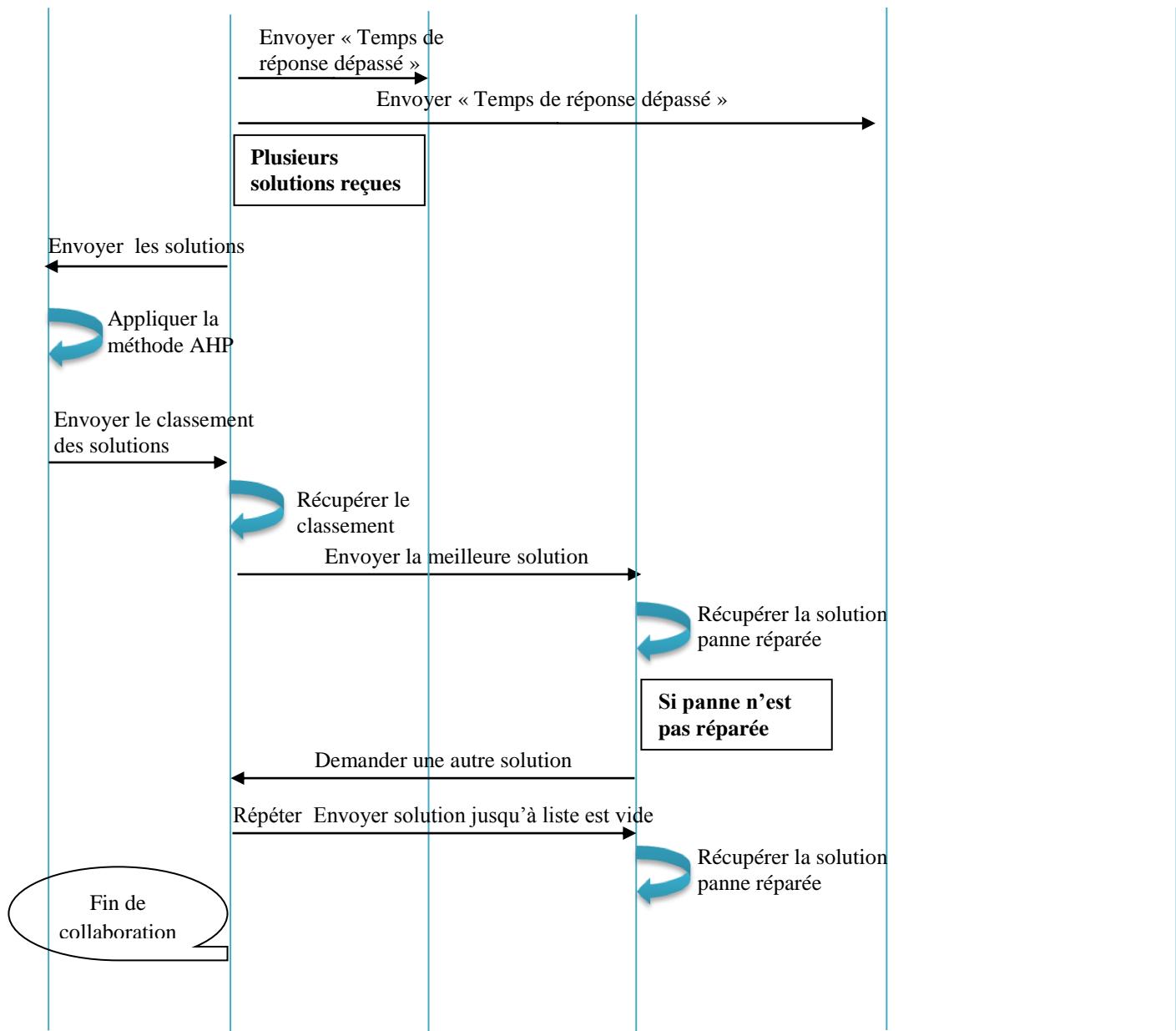




- 1 : l'AP2 a détecté une panne.
- 2 : l'AP2 va aviser l'Agent Coordinateur (AC) qu'il a une panne.
- 3 : AP2 va lancer une recherche locale de la solution dans sa Base de Cas (BC).
- 4 : Si solution trouvée, AP2 va récupérer la solution, réparer la panne et aviser l'AC qu'il a trouvé la solution.
- 5 : Si solution non trouvée, l'AP2 envoie le formulaire qui contient les informations de la ressource en panne à l'AC.
- 6 : l'AC va rechercher la solution dans sa Base de Cas centralisée.
- 7 : après la recherche, si l'AC ne trouve pas la solution, il envoie la panne ainsi que la durée de réponse aux participants, dans notre cas : l'AC a envoyé la requête aux AP1 et AP3. (début de collaboration).
- 8 : chacun des participants va rechercher dans sa base de cas, après la recherche, l'AC a reçu une seule réponse, c'est celle de l'AP3.
- 9 : l'AC va envoyer la solution reçue de l'AP3 à l'AP2 (fin de collaboration).
- 10 : l'AP2 récupère la solution et répare sa panne.

### 7.3 Scénario 3: Solution trouvée à travers le réseau social par plusieurs AP





1 : l'AP2 a détecté une panne.

2 : l'AP2 va aviser l'Agent Coordinateur (AC) qu'il a une panne.

3 : AP2 va lancer une recherche locale de la solution dans sa Base de Cas (BC).

4 : Si solution trouvée, AP2 va récupérer la solution, réparer la panne et aviser l'AC qu'il a trouvé la solution.

5 : Si solution non trouvée, l'AP2 envoie le formulaire qui contient les informations de la ressource en panne à l'AC.

6 : l'AC va rechercher la solution dans sa Base de Cas centralisée.

7 : après la recherche, si l'AC ne trouve pas la solution, il envoie la panne ainsi que la durée de réponse aux participants, dans notre cas : l'AC a envoyé la requête aux AP1 et AP3. (début de collaboration).

8 : chacun des participants va rechercher dans sa base de cas, après la recherche, l'AC a reçu plusieurs réponses, ces réponses peuvent être une ou plusieurs réponse (s) de chaque agent.

9 : l'AC va envoyer les solutions reçues de l'AP3 et l'AP1 à l'AE pour sélectionner la meilleure solution à envoyer à l'AP2 en appliquant la méthode AHP.

10 : l'AE va appliquer la méthode AHP et envoyer le classement des solutions à l'AC.

11 : l'AC envoie la meilleure solution à l'AP2.

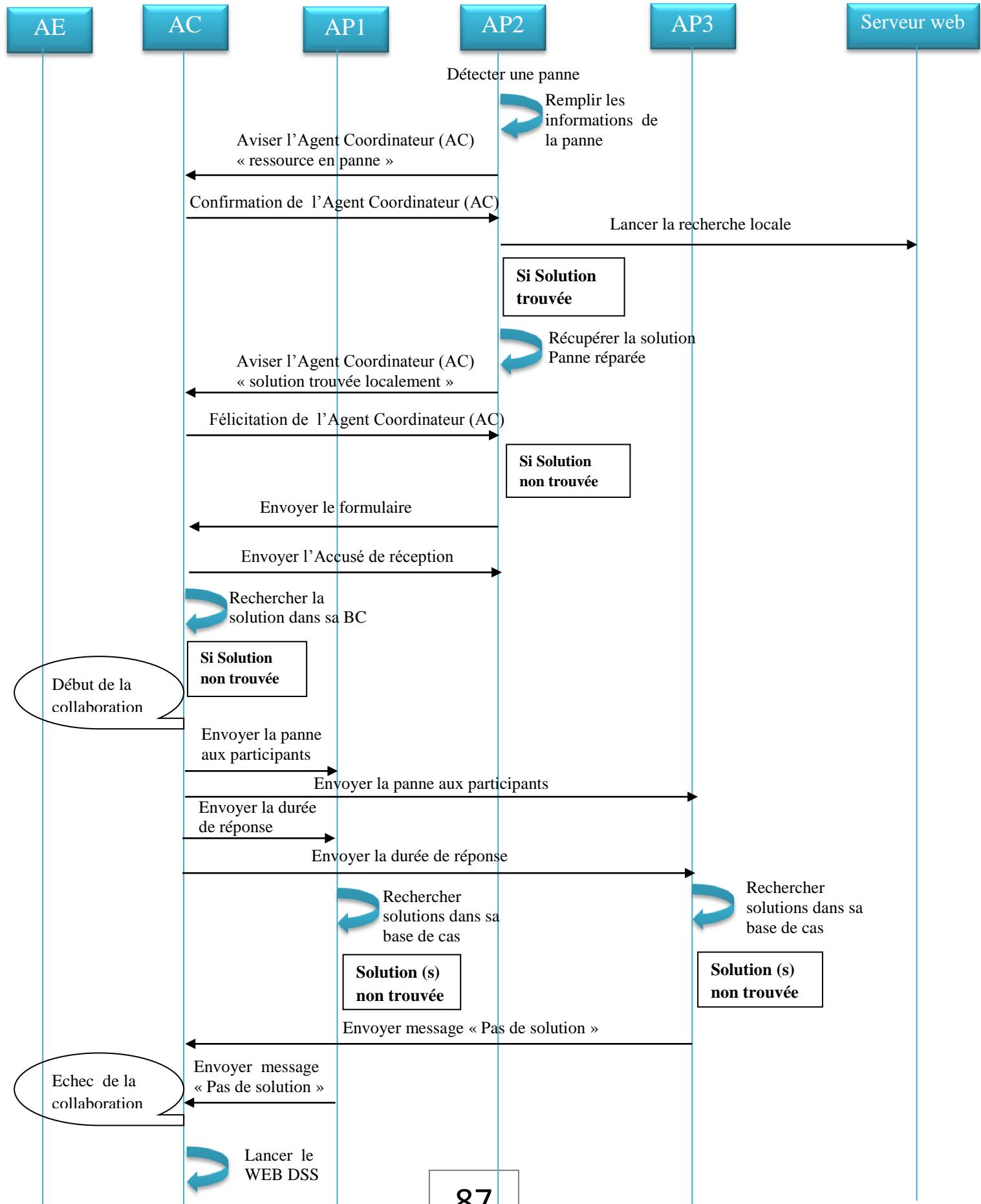
12 : l'AP2 récupère la solution.

13 : Si panne réparée alors fin de collaboration, sinon demander une autre solution de l'AC.

14 : l'AC envoie d'autres solutions jusqu'à liste est vide.

15 : l'AP2 récupère la solution et répare la panne.

#### **7.4 Scénario 4: Solution non trouvée via le réseau social**



- 1 : l'AP2 a détecté une panne.
- 2 : l'AP2 va aviser l'Agent Coordinateur (AC) qu'il a une panne.
- 3 : AP2 va lancer une recherche locale de la solution dans sa Base de Cas (BC).
- 4 : Si solution trouvée, AP2 va récupérer la solution, réparer la panne et aviser l'AC qu'il a trouvé la solution.
- 5 : Si solution non trouvée, l'AP2 envoie le formulaire qui contient les informations de la ressource en panne à l'AC.
- 6 : l'AC va rechercher la solution dans sa Base de Cas centralisée.
- 7 : après la recherche, si l'AC ne trouve pas la solution, il envoie la panne ainsi que la durée de réponse aux participants, dans notre cas : l'AC a envoyé la requête aux AP1 et AP3. (début de collaboration).
- 8 : chacun des participants va rechercher dans sa base de cas, après la recherche, l'AC n'a reçu aucune réponse.
- 9 : l'AC va lancer le WEB DSS.

## **8. Conclusion**

Nous avons proposé dans ce chapitre un WEB DSS à base d'agents qui permet d'aider les opérateurs à la résolution de leurs pannes dans une courte durée. Nous avons montré l'architecture de chaque agent ainsi que les scénarios possibles.

L'agent coordinateur est le cœur du système, il applique un algorithme de coordination pour éviter tous les problèmes de conflits.

L'agent évaluateur permet d'appliquer la méthode AHP pour la sélection de la meilleure solution.

Le chapitre suivant nous permet de voir un exemple d'application.

# Chapitre 5

**Mise en œuvre du  
(WEB-DSS)**

## 1. Introduction

La dernière phase de notre thèse consiste en la mise en place de la solution logicielle présentée dans le chapitre 4. Aussi, ce chapitre présente l'implémentation et la mise en œuvre du système WEB-DSS.

## 2. Outils de développement

Cette partie décrit les différents outils utilisés pour le développement de notre application, les outils utilisés sont comme suit :

- Le langage de programmation Java (environnement NetBeans) ;
- La plateforme JADE (pour voir la communication entre les agents) ;
- WampServer (le module phpMyAdmin) ;
- Dreamweaver (pour la mise en forme des pages web).
- L'éditeur d'ontologies open source Protégé 4.0.2 a été utilisé pour la création et la visualisation de l'ontologie.

### 2.1 L'environnement de développement

#### 2.1.1 Langage de programmation Java

Pour le développement de notre application nous avons utilisé le langage de programmation Java. Java est un langage de programmation à usage général, évolué et orienté objet reprenant en grande partie la syntaxe du langage C++. Il a été mis au point en 1991 et présenté officiellement en 1995 par la firme Sun Microsystems (aujourd'hui racheté par Oracle).

#### 2.1.2. Pourquoi Java ?

Java offre plusieurs avantages faisant de lui le langage le plus approprié pour le développement de notre approche. Parmi ces caractéristiques, nous citons :

- La portabilité (une application Java s'exécute sous n'importe quel OS tant que la JVM est disponible sur la machine).
- La structuration du code dans plusieurs classes, dont chacune traite une partie différente de l'application, ce qui implique une meilleure gestion du programme.
- L'utilisation de ces bibliothèques facilite grandement l'implémentation d'applications complexes.

## 2. 1. 3 L'environnement NetBeans

NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI), placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL et GPLv2 (Common Development and Distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme Python, C, C++, JavaScript, XML, Ruby, PHP et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web).

Conçu en Java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris (sur x86 et SPARC), Mac OS X ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation (requérant une machine virtuelle Java). Un environnement Java Development Kit JDK est requis pour les développements en Java.

NetBeans constitue par ailleurs une plateforme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plateforme.

Netbeans est un IDE qui supporte une large variété de langages de programmation et d'outils de collaboration.



## 2. 1.4 Apache Tomcat

Apache Tomcat est un conteneur libre de servlets et JSP Java EE. Issu du projet Jakarta, c'est un projet principal de l'Apache Software Foundation. Il implémente les spécifications des servlets et des JSP du Java Community Process1, il inclut des outils pour la configuration et la gestion, il comporte également un serveur HTTP.

Pour notre application, on a utilisé Apache Tomcat 7.0.41 intégrer dans le Netbeans.

## 2. 2 La plateforme JADE

JADE est une plate-forme multi-Agents développée entièrement en JAVA, qui a comme but de faciliter le développement des applications Agents conformément aux normes FIPA97 [Bellifemine et al., 1999]. Cette dernière, établit les règles normatives qui permettent à une société d'Agents d'inter opérer. Les documents FIPA [FIPA, 2006] décrivent le modèle de référence d'une plate-forme multi-Agents où ils identifient les rôles des Agents clés nécessaires pour la gestion de la plateforme. JADE met en œuvre les spécifications de base de la FIPA et possède trois modules principaux nécessaires aux normes de cette dernière.

- DF «Director Facilitor»: le DF permet à la plateforme d'exécuter des applications multi-domaines.
- ACC «Agent Communication Channel » gère la communication entre Agents, assurée par les messages ACL.
- AMS «Agent Management System» supervise l'enregistrement des Agents, leur authentification, leur accès et l'usage de la plateforme.

La plateforme JADE consiste en une collection de conteneurs représentant des environnements d'exécution. Chaque conteneur contient un ou plusieurs Agent(s) et chaque Agent est constitué de plusieurs classes. JADE fournit un grand nombre de classes, dans des packages, avec des méthodes prédéfinies qui implémentent le comportement des Agents qu'elle crée. Un Agent doit être capable de prendre en charge plusieurs tâches, éventuellement concurrentes, en réponse à différents événements. Pour rendre efficace la gestion des tâches, chaque Agent peut être composé de plusieurs comportements. Les tâches sont implémentées par des instances de classes qui étendent la classe `jade.core.behaviours.Behaviour` [Bellifemine et al., 1999]. Un comportement est défini à l'aide de la classe `Behaviour`; et pour l'implémenter, le développeur doit définir un ou plusieurs objets de cette classe. Tout objet de type `Behaviour` dispose d'une méthode `action()` qui constitue le traitement à effectuer, ainsi qu'une méthode `done()` qui vérifie si le traitement est terminé. JADE offre d'autres méthodes pour gérer les objets de la classe `Behaviour`, telles que: `Reset()` permettant de réinitialiser un comportement, `onStart()` et `onEnd()` définissant les opérations à effectuer avant et après l'exécution de la méthode `action()`.

## 2.3 WampServer

WampServer est une plateforme de développement Web de type WAMP, permettant de faire fonctionner localement (sans se connecter à un serveur externe) des scripts PHP.

WampServer n'est pas en soi un logiciel, mais un environnement comprenant deux serveurs (Apache et MySQL), un interpréteur de script (PHP), ainsi que phpMyAdmin pour l'administration Web des bases MySQL. Il dispose d'une interface d'administration permettant de gérer et d'administrer ses serveurs au travers d'un tray icon (icône près de l'horloge de Windows). Les fichiers / pages Web qui sont hébergés sur le serveur WAMP peuvent être consultés par `http://localhost` de frappe ou `http://127.0.0.1/` dans la barre d'adresse du navigateur Web.

"MySQL" est un système de gestion de base de données (SGBD). Il est distribué sous une double licence GPL et propriétaire. Il fait partie des logiciels de gestion de base de données les plus utilisés au monde, autant par le grand public (applications web principalement) que par des professionnels, en concurrence avec Oracle, Informix et Microsoft SQL Server. MySQL est un serveur de bases de données relationnelles SQL développé dans un souci de performances élevées en lecture, ce qui signifie qu'il est davantage orienté vers le service de données déjà en place que vers celui de mises à jour fréquentes et fortement sécurisées. Il est multi-thread et multi-utilisateur.

"PhpMyAdmin" est une des plus célèbres interfaces pour gérer une base de données MySQL sur un serveur PHP. Cette interface pratique permet d'exécuter, très facilement et sans grandes connaissances dans le domaine des bases de données, de nombreuses requêtes comme les créations de table de données, les insertions, les mises à jour, les suppressions, les modifications de structure de la base de données. Ce système est très pratique pour sauvegarder une base de données sous forme de fichier .sql et ainsi transférer facilement ses données. De plus celui-ci accepte la formulation de requêtes SQL directement en langage SQL.

## 2.4 Dreamweaver

Dreamweaver est l'un des plus anciens éditeurs HTML qui est devenu aujourd'hui avec sa version Macromedia Dreamweaver 8, un éditeur de site web assez puissant qui peut être utilisé avec des langages web dynamiques tels que PHP et JSP.

Sa particularité vient du fait qu'il offre deux modes de conception dans son menu affichage à savoir les modes « création » et « code ». En effet, il peut être utilisé comme un logiciel de traitement de texte, en fournissant directement le code source adéquat respectant les différentes normes liées aux langages de programmations correspondants. Ces différents codes peuvent être directement modifiables car on passe très facilement d'un mode

d'affichage à l'autre. Une option intermédiaire à savoir le mode « Fractionné» qui permet d'afficher les modes précédents de façon simultanée est assez intéressante pour les débutants souhaitant se familiariser à la programmation web. Cette dernière option confère au logiciel sa qualité d'interface "wysiwyg" (What You See Is What You Get).

### 3. Evaluation et discussion

Nous calculons pour chaque cas présenté dans le tableau suivant le temps estimé global qui exprime la valeur du temps d'exécution, les cas sont définis comme suit:

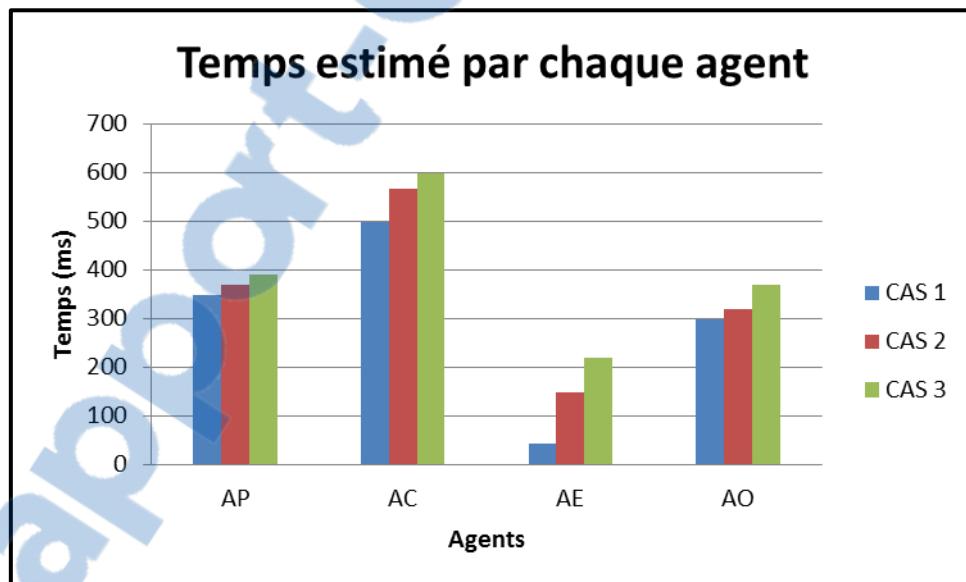
**Cas 1:** 1 panne et une solution (sans nécessité d'exécuter la méthode AHP).

**Cas 2:** 1 panne et plusieurs solutions.

**Cas 3:** plusieurs pannes et plusieurs solutions

	CAS 1	CAS 2	CAS 3
<b>PA</b>	350 ms	370 ms	390 ms
<b>COA</b>	500 ms	568 ms	600 ms
<b>EA</b>	45 ms	150 ms	220 ms
<b>OA</b>	300 ms	320 ms	370 ms

**Tableau 5.1** Temps estimé par chaque agent impliqué dans la résolution des problèmes



**Figure 5.1** : Exécution temporelle des agents impliqués dans la résolution de problèmes

Selon le graphique, on voit que dans le premier cas: le temps estimé par l'Agent Evaluateur (AE) est inestimable car dans ce cas il n'y a qu'une seule solution c'est-à-dire qu'il n'y a pas de conflit pour le choix de la solution AE ne fonctionne pas automatiquement. Dans les deux autres cas, nous constatons que l'évaluation environnementale joue un rôle très important dans

la sélection de la meilleure solution.

L'agent coordinateur a une cote de charge maximale puisqu'il supervise et coordonne toutes les tâches des différents agents en plus de son rôle dans l'initiation de la collaboration.

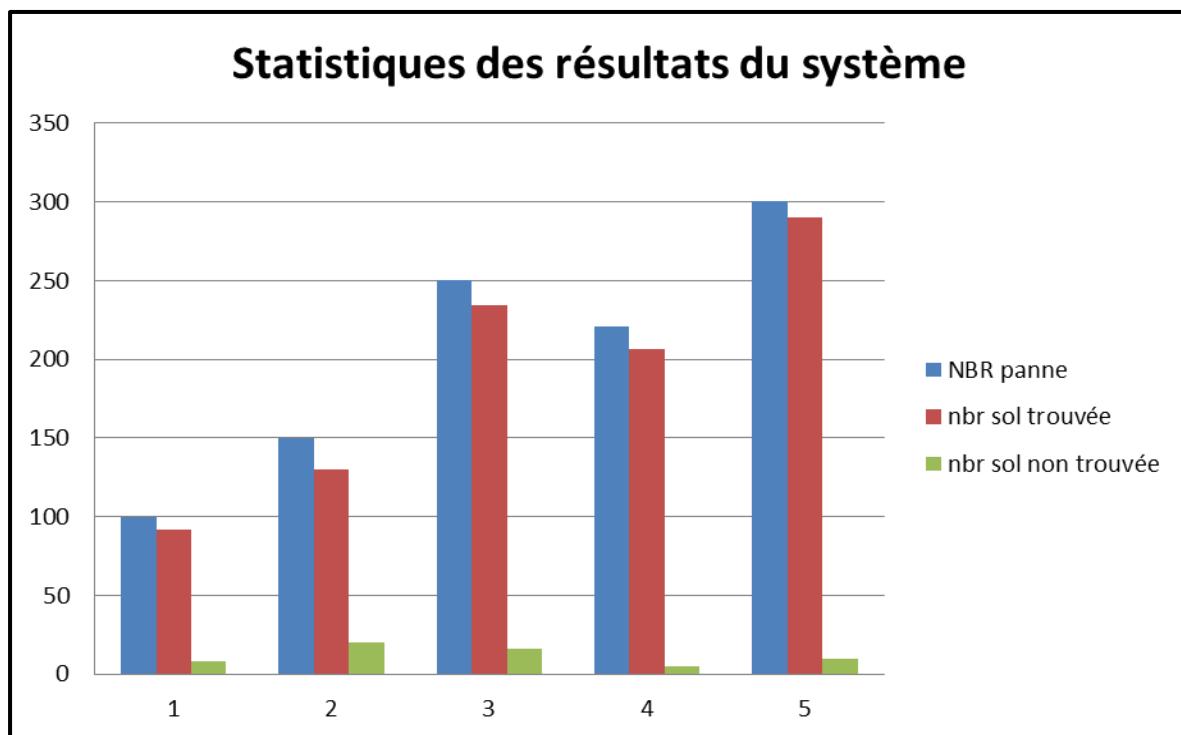
### 3.1 Estimation des cas résolus

Dans l'entreprise choisie, nous avons fait face à trois situations. La première, est dédiée à un workflow de production sans aucune perturbation. Quant à la deuxième situation, elle gère les défaillances qui peuvent perturber le processus de production. Les défaillances de ressources les plus importantes sont répertoriées dans un tableau (voir **tableau 5.2**).

Nombre de panne	Nombre de solutions trouvées	Nombre de solutions non trouvées
100	92	8
150	130	20
250	234	16
221	206	5
300	290	10

**Tableau 5.2** Quelques résultats sur l'exécution de notre système

Un graphique est ensuite dessiné pour illustrer le nombre qui correspond aux problèmes résolus en utilisant notre système.



**Figure 5.2** Résultats statistiques obtenus lors de l'exécution de notre système

Les résultats obtenus après le déploiement de plusieurs exemples, permettent de dire que notre système nous aide beaucoup dans la prise de décision.

### 3.2 Calcul de performance de l'agent

Les performances de chaque agent sont calculées comme en (1):

$$Per(A_i) = NE/NR * 100 \quad (1)$$

**Per (Ai):** Agent de performance Ai.

**NE:** nombre de messages envoyés de l'Agent AC à l'agent Ai.

**NR:** Nombre de messages reçus par l'Agent AC de l'agent Ai.

**Taux de défaillance:** Le taux de défaillance d'un agent est calculé en utilisant la formule ci-dessous:

$$\text{Failure rate (Ai)} = \text{Failure\_Nbre (Ai)} / \text{Msg\_Nbre (Ai)} \quad (2)$$

- **Failure\_Nbre** : le nombre de messages d'échec (performative = FAILURE) envoyés par l'agent Ai.
- **Msg\_Nbre** : le nombre total de messages envoyés par l'agent Ai.

Dans le tableau, AC envoie 2324 messages dont 4 messages Failure, ce qui signifie qu'il n'a pas pu résoudre correctement tous ses traitements, il offre un taux d'échec égal à 0,99.

En outre, le taux d'échec de notre système est la moyenne de tous les taux d'échec des agents; c'est égal à 0,78%. Dans **Tableau 5.3**, les performances de l'agent sont évaluées par AC en utilisant la formule donnée ci-dessous (3). Nous notons que les taux de défaillance sont très bas, ceci est dû à l'architecture décentralisée de notre système qui a aidé à minimiser les tâches et à alléger la fonctionnalité ajoutée des agents. Le protocole de coordination joue un rôle important puisqu'il offre un très petit nombre d'interactions et donc pas de surcharge dans le traitement des messages.

L'agent d'ontologie (AO) envoie 1256 messages d'accusé de réception en réponse à l'agent de coordination. L'agent d'ontologie (AO) reçoit 1249 messages du AC. Cela donne un taux de performance de 99,44%. Le taux de performance de notre système est la moyenne de tous les agents impliqués, soit une moyenne de 99,83%.

Agents	Nombre de messages envoyé	Nombre de messages reçus	PERFORMANCE
AC	2324	2320	99,83
AO	1256	1249	99,44
AE	2255	2245	99,56
AP1	3447	3409	98,90
AP2	1278	1260	98,59
AP3	2867	2845	99,23
AP4	1955	1933	98,87

Tableau 5.3 Calcul de la performance de l'agent

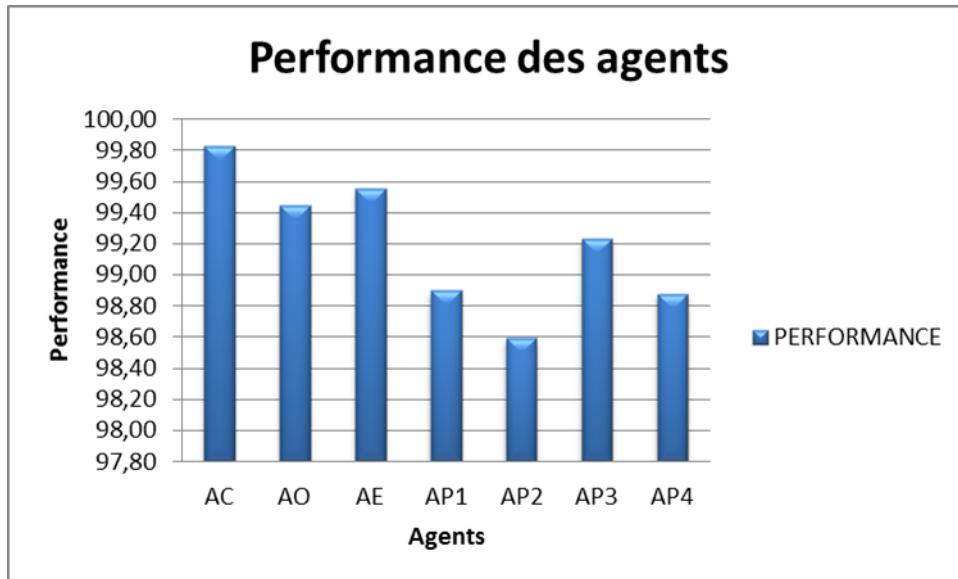


Figure 5.3 Performance des agents

### 3.3 Evaluation de la convivialité de la plateforme (Via le questionnaire)

Une évaluation ergonomique de la plate-forme (questionnaire) a été effectuée pour montrer l'efficacité de la plateforme proposée. Nous nous inspirons du questionnaire donné dans [Gudigantala & Song, 2011] et nous développons nos questions concernant le système que nous avons suggéré. Le questionnaire a été distribué sur 20 utilisateurs constitués d'utilisateurs expérimentés et non expérimentés, y compris les cadres supérieurs de l'entreprise qui sont candidats à notre étude.

**Figure 5.4** montre les résultats d'utilisabilité obtenus à partir du questionnaire, dans lequel une question est généralement suivie d'une question inversée pour révéler les faits opposés. Pour chaque question, nous avons attribué un poids. A la fin, nous comptons la somme du poids pour trouver le niveau de satisfaction de l'utilisateur. Certaines questions du

questionnaire sont reprises dans les tableaux suivants (**tableau 5.4**, **tableau 5.5**, **tableau 5.6**, **tableau 5.7**, **tableau 5.8** et **tableau 5.9**).

Nombre	Question
Q1	Le contenu est-il structurellement séparé des éléments de navigation?
Q2	Le site Web est-il compatible avec plusieurs navigateurs?
Q3	Le site est-il adapté à toutes les résolutions informatiques?
Q4	L'URL est-elle courte et simple?
Q5	Le moment du chargement de la page d'accueil est-il correct?

**Tableau 5. 4 :** Quelques questions pertinentes concernant l'accessibilité

Nombre	Question
Q1	Les liens sont-ils étiquetés avec un texte d'ancre qui indique clairement où ils mènent sans trop utiliser le texte d'ancre de correspondance exacte?
Q2	Quel est le nombre maximum de clics nécessaires pour atteindre une page dans les profondeurs du site?
Q3	Une réponse est-elle donnée immédiatement (0,1 seconde) après un clic sur un lien hypertexte?
Q4	Les éléments cliquables indiquent-ils de manière stylistique qu'ils sont cliquables?
Q5	À quel point est-il intuitif de naviguer? Les signes sont-ils évidents ou obscurs? Boutons / Liens Comme du texte qui ne sont pas cliquables et vice versa, des liens / boutons qui ne peuvent être identifiés comme tels?

**Tableau 5.5 :** Quelques questions pertinentes concernant la navigation

Nombre	Question
Q1	Le design du site est-il esthétiquement attrayant?
Q2	Les couleurs utilisées sont-elles harmonieuses et logiquement liées?
Q3	Les choix de couleurs sont-ils visuellement accessibles? (Par exemple assez élevé en contraste pour aider les daltoniens et malvoyants à lire le site de manière appropriée)

Q4	Le public de conception est-il approprié? - La taille de texte standard devrait être lisible pour les visiteurs qui ne savent pas comment ajuster leurs navigateurs.
Q5	Les polices sont-elles faciles à lire sur différentes résolutions d'écran?
Q6	Le site est homogène d'une page à l'autre (pas de rupture visuelle)
Q7	Le nombre de couleurs est limité (correct = 4)?

**Tableau 5.6 :** Quelques questions pertinentes concernant **la conception**

Nombre	Question
Q1	La mise à jour du contenu est-elle régulière?
Q2	La grammaire et l'orthographe sont-elles correctes?
Q3	La page de titre identifie facilement le contenu du site?
Q4	Le contraste entre le texte et la couleur de fond est-il suffisant pour rendre la lecture facile sur les yeux?

**Tableau 5.7 :** Quelques questions pertinentes concernant **le contenu**

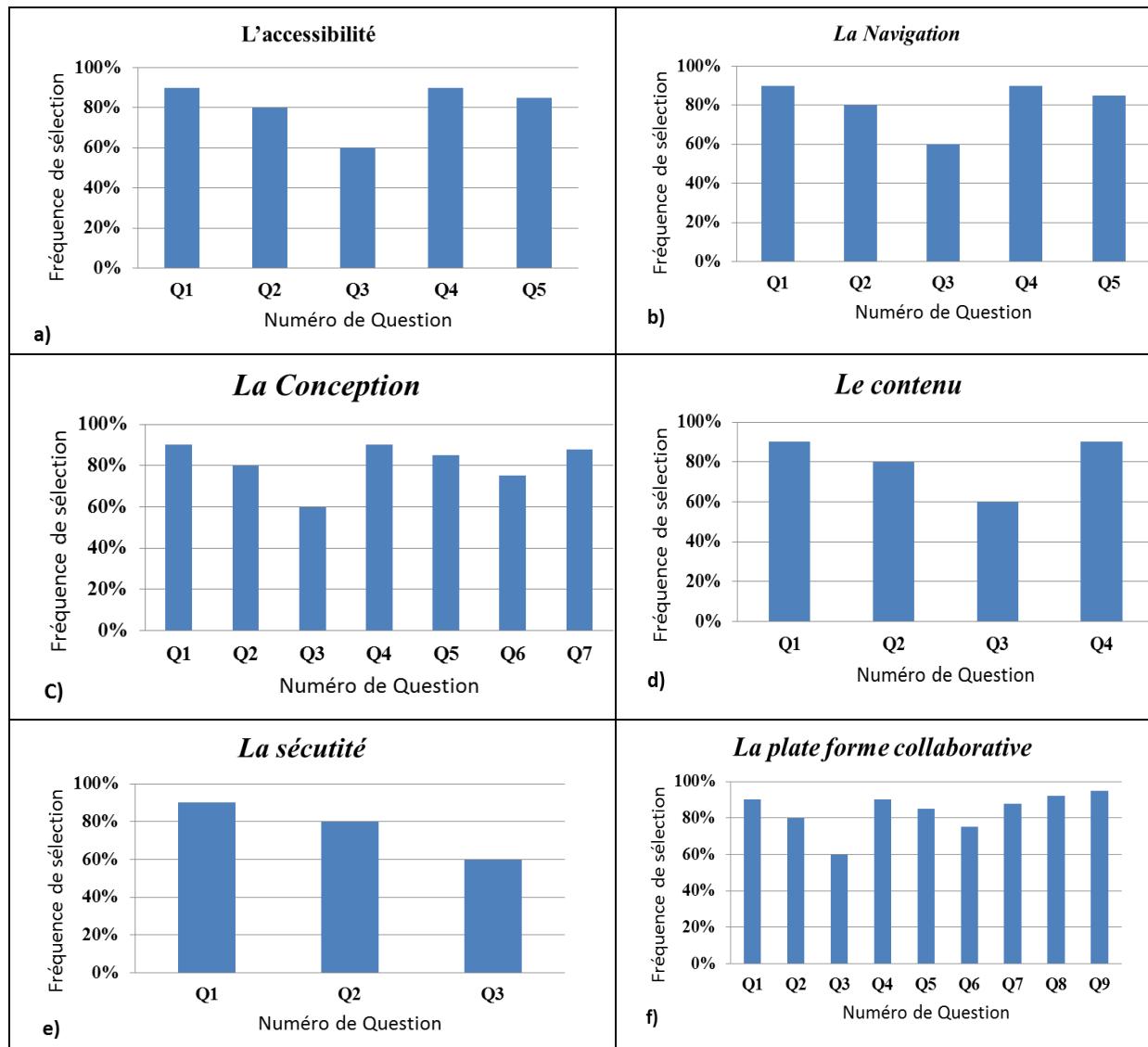
Nombre	Question
Q1	Des failles de sécurité évidentes?
Q2	À quel point les formes sont-elles résistantes aux caractères spéciaux?
Q3	Les données client sont-elles stockées en ligne?

**Tableau 5.8.** Quelques questions pertinentes concernant **la sécurité**

Nombre	Question
Q1	L'accès à la plateforme collaborative nécessite une inscription?
Q2	La connexion à notre plateforme collaborative est-elle rapide?
Q3	Le temps de réponse de notre plateforme collaborative est-il rapide?
Q4	Avez-vous des problèmes pour vous connecter à notre plateforme collaborative?
Q5	La collaboration est-elle organisée de manière organisée?

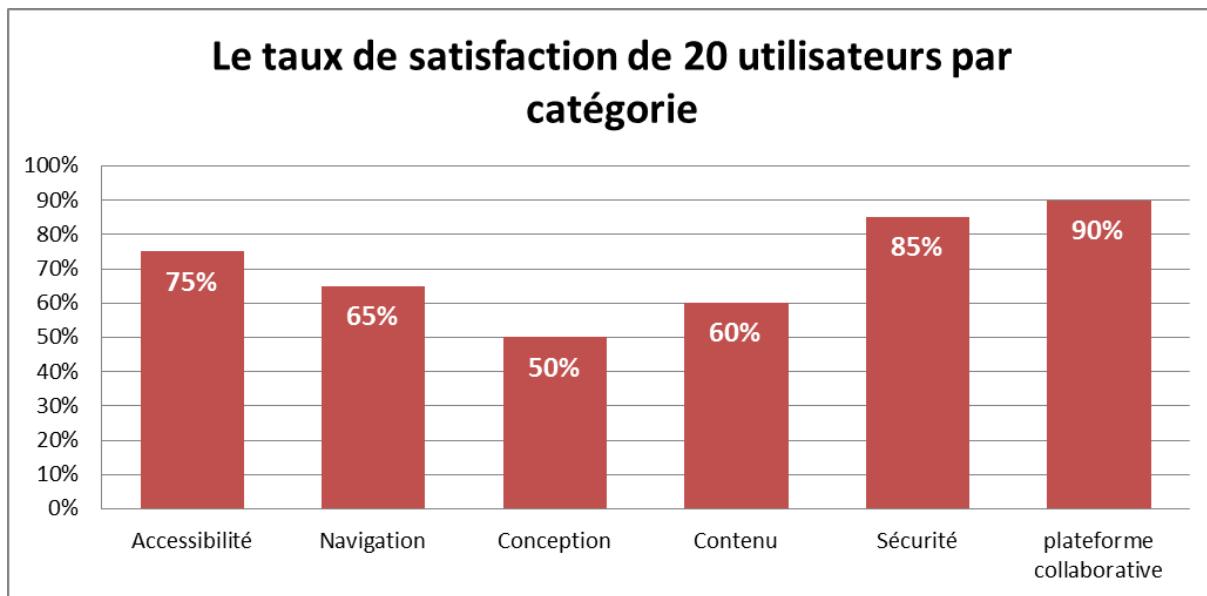
Q6	Y a-t-il des conflits lors de l'envoi de messages à la plateforme collaborative?
Q7	Le temps de réponse de la plateforme collaborative est-il limité?
Q8	L'heure d'envoi des messages à la plateforme collaborative est-elle limitée?
Q9	Êtes-vous satisfait des réponses de la plateforme collaborative?

**Tableau 5.9** : Quelques questions pertinentes concernant la plateforme collaborative



**Figure 5.4** Réponses des opérateurs de statistiques de la plateforme collaborative

Nous avons proposé un questionnaire composé de six (6) catégories mentionnées ci-dessus à vingt (20) utilisateurs de la plateforme. Nous avons recueilli les réponses aux questions et nous avons obtenu les résultats présentés dans **Figure 5.5**. Selon les résultats, nous avons conclu que le système pourrait être amélioré pour augmenter la conception et le contenu.



**Figure 5.5** Evaluation de la convivialité de la plateforme

### 3.4 Comparaison avec d'autres systèmes de diagnostic

Nous comparons notre système avec quatre (4) autres systèmes dédiés à la tâche de diagnostic: MAGIC (Acquisition et gestion de données diagnostiques multi-agents dans des systèmes complexes) [Kersten et al., 1999] DIAMOND (Architecture distribuée pour la surveillance et le diagnostic) [Bharati et al., 2004], CMDS (système de diagnostic médical basé sur un contrat) [Iyer et al., 2005] et le travail qui est développé dans [Guntzer et al., 2007].

La coopération entre les agents pour la prise de décision collective: MAGIC dans la prise de décision est effectuée par un seul agent alors que dans DIAMOND; Il est distribué sur plusieurs agents de diagnostic. Cependant, il existe une réelle coopération pour le diagnostic global. Le système CMDS décrit une résolution de problème coopérative par les agents médicaux. Dans [Guntzer et al., 2007], le système de résolution de problèmes est partagé entre l'agent opérateur, l'agent gestionnaire, l'agent de similitude et l'agent de connaissances. Dans notre système, nous nous concentrerons sur le protocole de collaboration et de coordination qui est exécuté par l'agent coordinateur.

Champ d'application: les systèmes MAGIC et DIAMOND sont dédiés au diagnostic industriel; CMDS est spécialisé dans le diagnostic médical. Notre système est dédié uniquement au domaine industriel.

Après avoir identifié le problème, les opérateurs peuvent utiliser le processus décisionnel collaboratif développé afin de trouver des solutions à leur problème de deux manières. Premièrement, tout au long du raisonnement fondé sur les cas, il compare le cas cible aux cas sources en fonction de la stratégie de l'AC (ici, c'est le rôle de l'agent coordonnateur). Deuxièmement, il invite les opérateurs à collaborer ensemble et à résoudre leur problème. Le système utilisera la méthodologie AHP pour trouver des solutions en fonction des préférences de l'être humain. Tous les agents coopèrent et collaborent pour la prise de décision finale.

En comparaison avec d'autres travaux qui ont été mentionnés précédemment, le système que nous avons proposé est principalement basé sur un nouveau processus de prise de décision collaborative qui utilise les connaissances. Il est manipulé par les agents cognitifs tel que l'agent coordinateur. Notre objectif est d'impliquer les opérateurs humains au début, et de tirer parti de l'intelligence collective computationnelle. Les experts et les gestionnaires avec leurs connaissances du domaine sont tenus de participer à ce projet afin de construire l'ontologie du domaine et plusieurs bases de connaissances, en particulier la base de cas mondiale.

Référence de travail	(KOPPEN-SELIGER ET AL., 2004)	(ALBERT ET AL., 2002)	(IANTOVICS, 2009)	(BENKKADOUR ET AL., 2016)	NOTRE SYSTÈME
Application Web	Non	Non	Non	Non	Oui
Distinction entre les étapes de détection et d'analyse	Oui	Oui	Non	Non	Non
Étape de détection	Distribué	Distribué	-	-	Distribué
Étape d'analyse	Centralisé	Distribué	-	Centralisé	Distribué
Coopération entre les agents pour la prise de décision collective	Non	Non	Oui	Oui	Oui + Collaboration
Domaine d'application	Industriel	Industriel	Médical	Industriel	Industriel

**Tableau 5.10 :** Comparaison avec d'autres systèmes industriels [Bessedik, 2017]

Ici, la collaboration se fait en deux phases: la première sert à générer des solutions aux différents problèmes posés par les opérateurs. La seconde est liée au classement de certaines solutions en utilisant la méthodologie AHP pour la classification des solutions en tenant compte des préférences des opérateurs pour le vote final.

## 4. Exemple d'application

Le système de fabrication est composé de plusieurs ressources (machines), une brève description est donnée dans (**Figure 5. 6**).

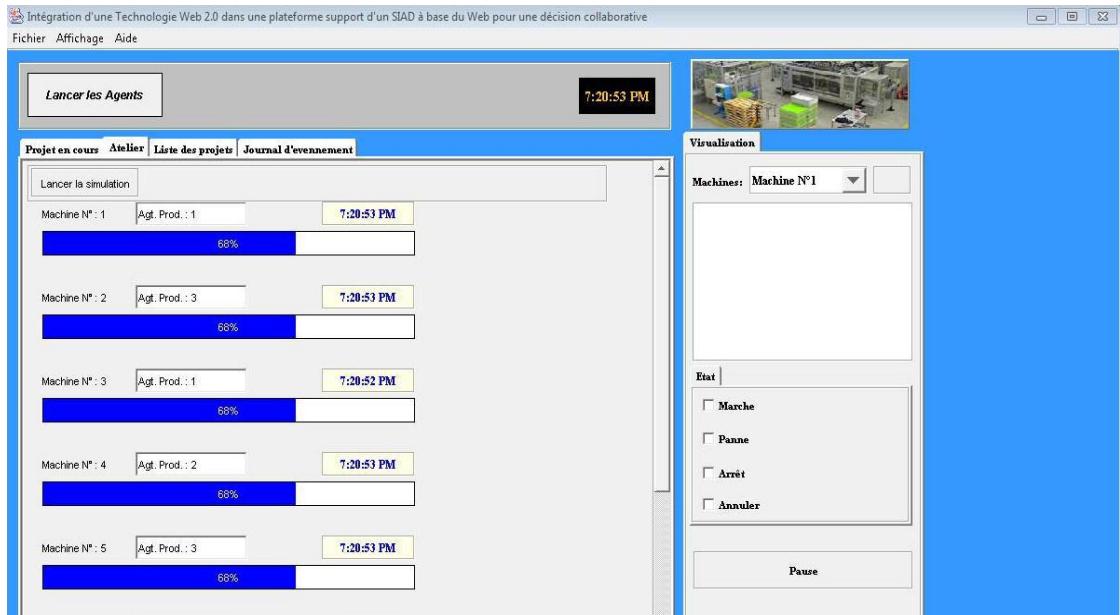


Figure 5.6: machines en cours d'exécution

Parfois, une ou plusieurs ressources tombent en panne, l'état correspondant est indiqué dans (Figure 5.7).

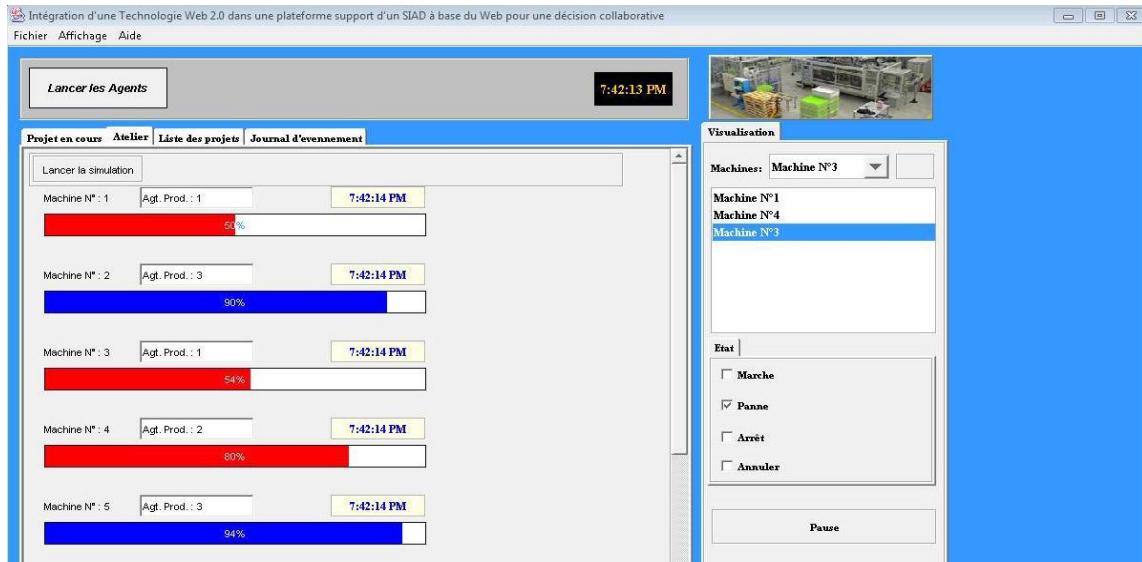


Figure 5.7 machines en panne

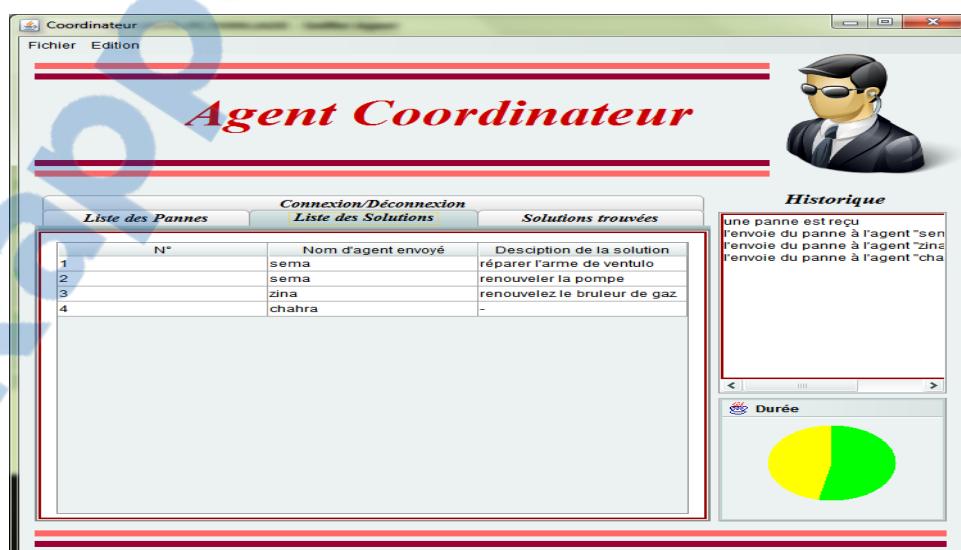
Après la détection de panne, le responsable AP de l'atelier récupérera toutes les informations de cette panne et les enverra à l'AC et aux autres AP connectés via la plateforme collaborative.

Les informations précédemment envoyées seront reçues par l'agent coordinateur (voir **Figure 5.8**)



**Figure 5.8** Réception de la panne par l'agent coordinateur

La **Figure 5.9** montre que le AC a reçu plusieurs solutions par les Agents de Production (AP) connectés, la question se pose: laquelle de la solution AC sera envoyée à l'AP qui a la défaillance? La réponse est que l'AC enverra la solution à AE qui appliquera la méthode AHP, puis il enverra la meilleure solution.



**Figure 5.9** Les solutions de réception par agent coordinateur.

L'Agent Evaluateur va appliquer la méthode AHP

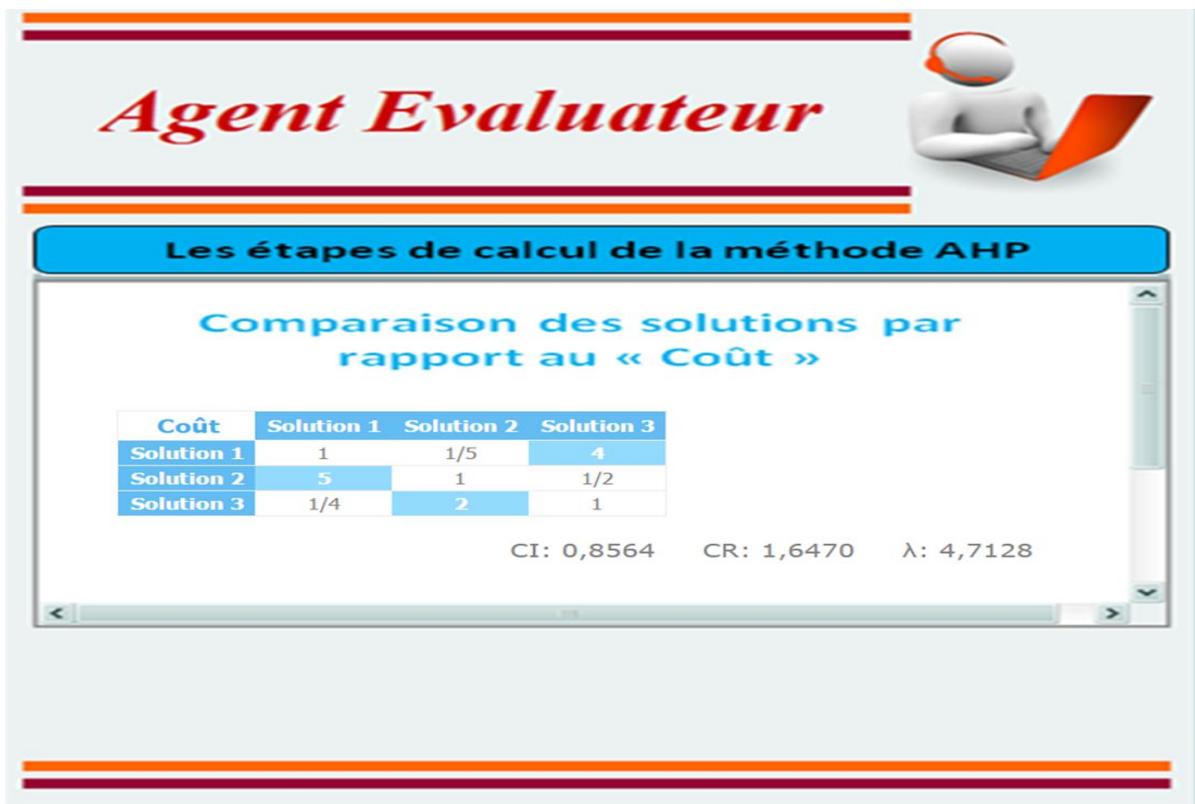


The screenshot shows the 'Agent Evaluateur' software interface. The title bar says 'Evaluateur'. The main title 'Agent Evaluateur' is in red. A 3D character icon is on the right. A blue header bar says 'Les étapes de calcul de la méthode AHP'. Below it, a blue sub-header says 'Matrice des critères de décision'. A 3x3 matrix table is shown:

Coût	Temps de réparation	Taux de réussite
Coût	1	3
Temps de réparation	1/3	1
Taux de réussite	4	1/3

Below the matrix, performance metrics are displayed: CI: 0,8024, CR: 1,5430, and  $\lambda$ : 4,6048.

Figure 5.10 Matrice des critères de décision.



The screenshot shows the 'Agent Evaluateur' software interface. The title bar says 'Evaluateur'. The main title 'Agent Evaluateur' is in red. A 3D character icon is on the right. A blue header bar says 'Les étapes de calcul de la méthode AHP'. Below it, a blue sub-header says 'Comparaison des solutions par rapport au « Coût »'. A 3x4 matrix table is shown:

Coût	Solution 1	Solution 2	Solution 3
Solution 1	1	1/5	4
Solution 2	5	1	1/2
Solution 3	1/4	2	1

Below the matrix, performance metrics are displayed: CI: 0,8564, CR: 1,6470, and  $\lambda$ : 4,7128.

Figure 5.11 Comparaison des solutions par rapport au « Coût ».

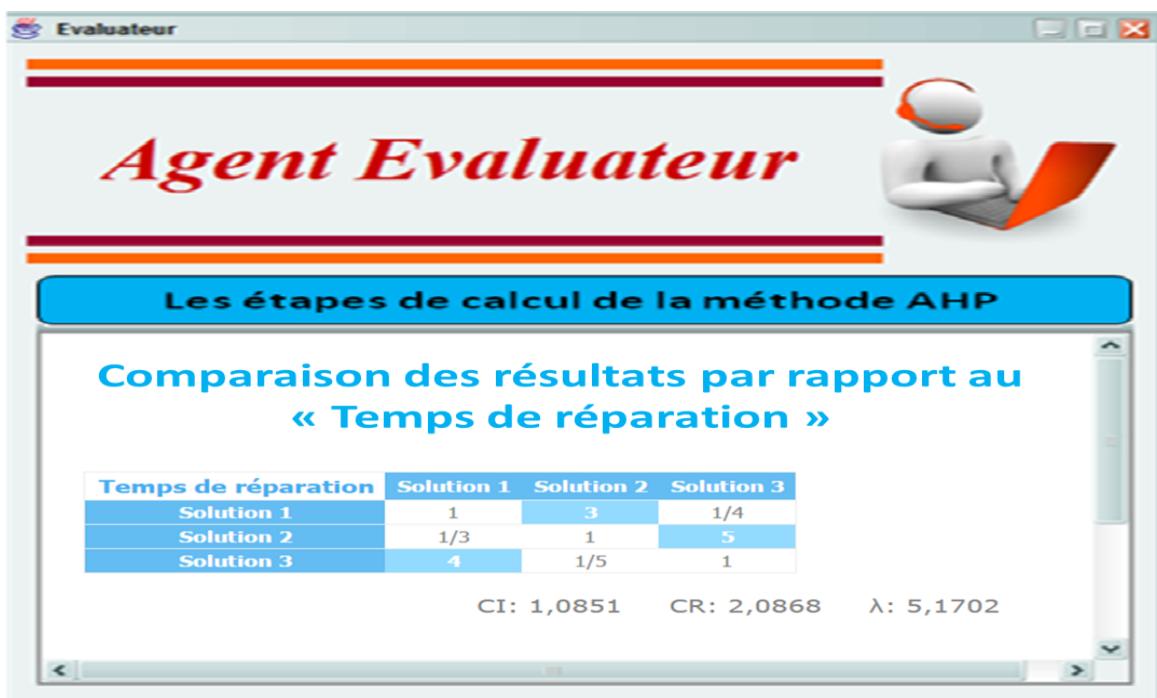


Figure 5.12 : Comparaison des solutions par rapport au « Temps de réparation ».

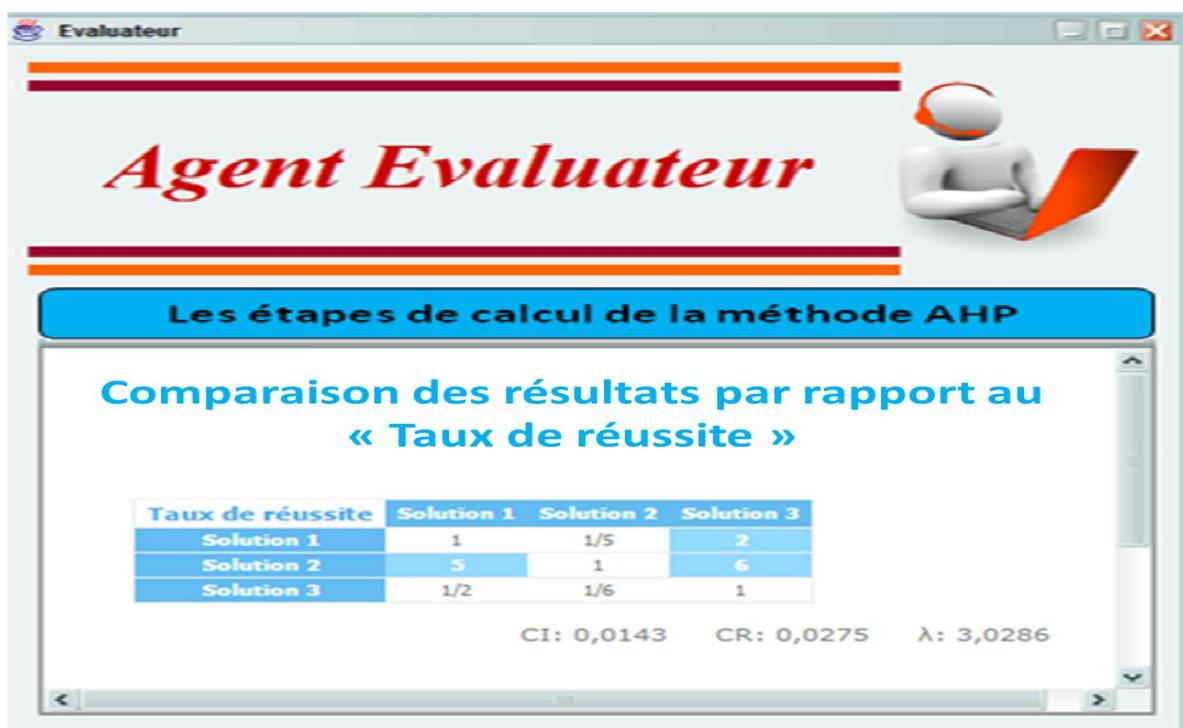


Figure 5.13 Comparaison des solutions par rapport au « Taux de réussite ».



Figure 5.14 Les préférences des critères



Figure 5.15 : Le résultat par rapport aux critères

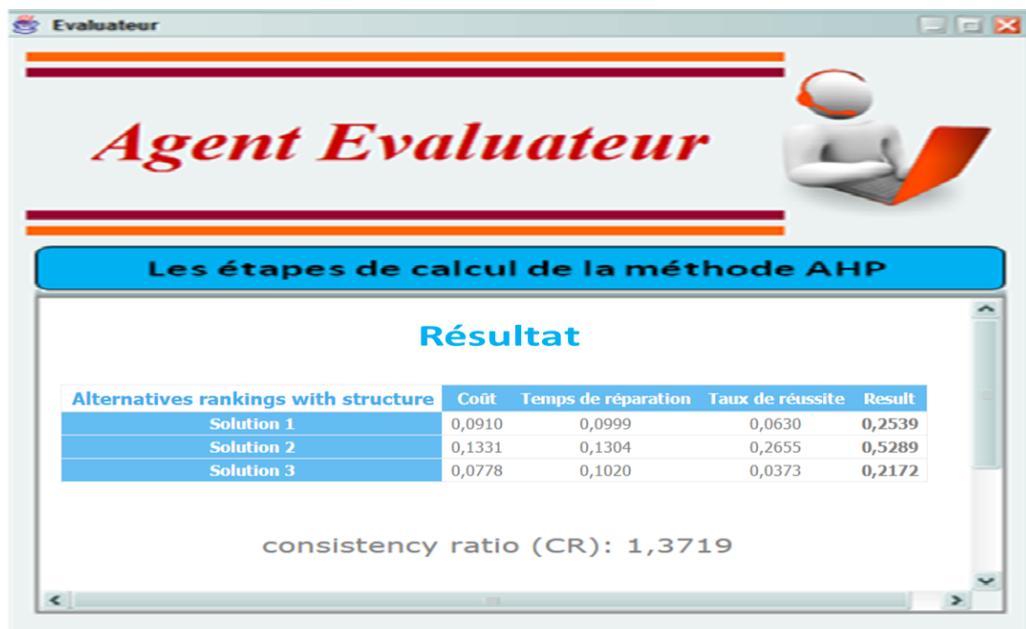


Figure 5.16 Le classement alternatif avec structure



Figure 5.17 : Résultats finaux sélectionnés par AE

Les agents communiquent entre eux via la plate-forme JADE (Figure 5.18)

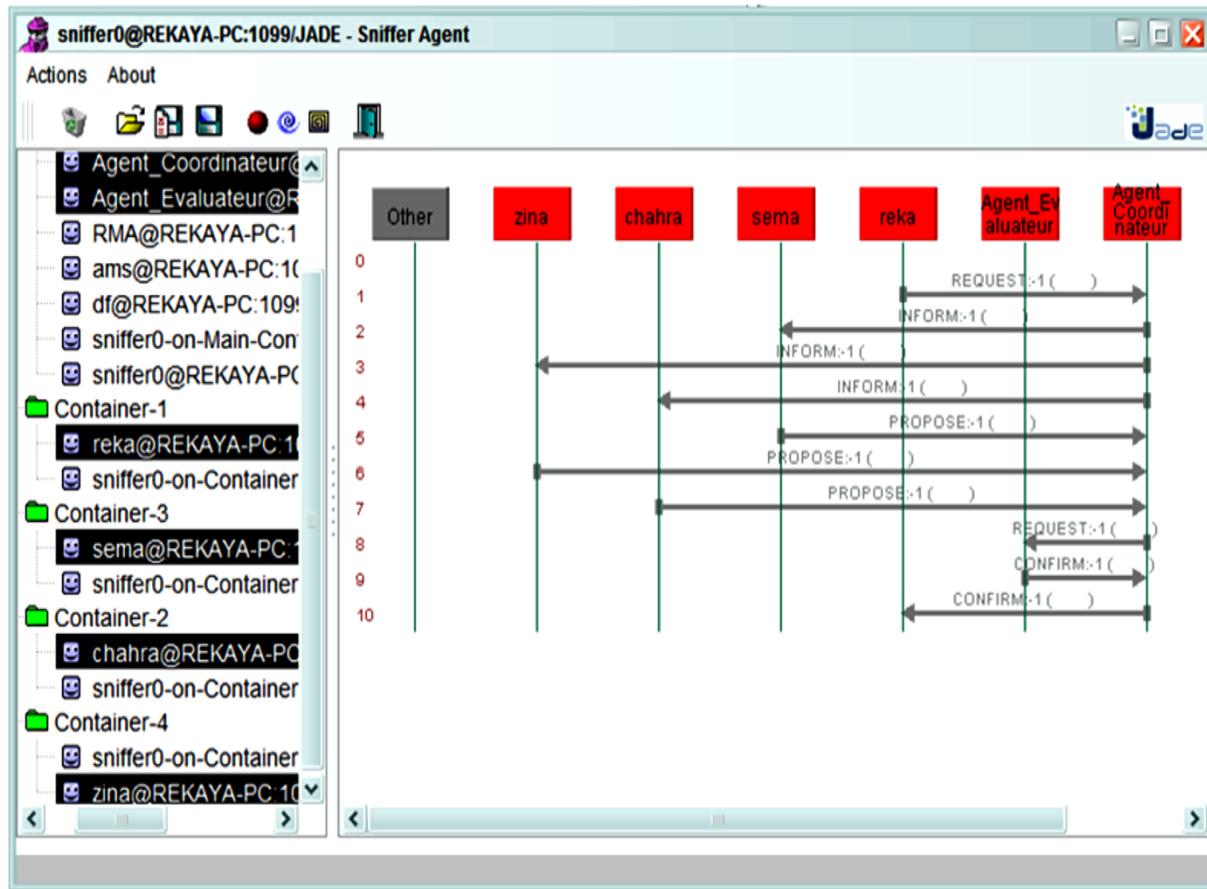


Figure 5.18. La communication entre les agents via la plateforme JADE

## 5. Conclusion

Ce chapitre rapporte en résumé les différentes étapes que nous avons suivies pour l'implémentation de notre système. Il définit les outils utilisés MySQL, Dreamweaver,... Nous avons suivi la démarche de conception citée dans le chapitre précédent. Nous avons illustré par quelques pages écran notre plateforme collaborative et le déroulement des scénarios d'exécution.

*Conclusion générale*  
&  
**Perspectives**

Favoriser le travail collaboratif est un objectif important dans l'entreprise, car cela permet d'améliorer la productivité et la réactivité de celle-ci. En effet, en mettant en commun leurs idées, un groupe de travail sera beaucoup plus exhaustif et innovant qu'une personne seule. De plus, les compétences de chaque membre du groupe peuvent être valorisées et se complémenter avec celles des autres, l'entreprise gagne en productivité et les savoirs-faires des membres sont mieux exploités.

Autre aspect du travail collaboratif, le partage des connaissances entre les collaborateurs permet à chacun de profiter du savoir des autres, «personne ne sait tout, mais tout le monde sait quelque chose ». Pour l'entreprise il s'agit de mettre en place un moyen formel de communication, d'échange et de partage pour favoriser le travail en équipe. Les plates-formes de travail collaboratif ont été créées dans ce but, pour cela elles utilisent de nombreux outils, chacun répondant à une fonctionnalité et à un besoin précis. Une plate-forme de travail collaboratif vise l'amélioration de l'ensemble des processus d'un « projet » en optimisant les divers flux entre les membres d'une équipe.

Cette thèse est une contribution réelle dans le domaine du travail collaboratif par la proposition d'un SIAD basé sur les technologies WEB et qui supporte un processus décisionnel collaboratif, de plus l'interface interactive de ce système est une plateforme dédiée aux opérateurs industriels.

Un des objectifs d'une plateforme de travail collaboratif est de fournir un espace d'échange d'informations et de documents. Les informations arrivant à l'utilisateur sont alors plus pertinentes et les versions des documents sont accessibles partout, tout le temps.

Actuellement, les entreprises font de plus en plus appel à des sous-traitants et à du personnel extérieur. C'est ce que l'on a nommé « concept d'entreprises réseaux », ce sont des entreprises amenées à collaborer entre elles. Conséquence de cette tendance, les équipes et les

méthodes de travail se fractionnent et l'échange de données entre les sociétés peut s'avérer laborieux. C'est pourquoi, le travail collaboratif allié aux NTIC s'est développé dans ce cadre et des serveurs de fichiers mutualisés ont vu le jour. Les plates-formes de travail collaboratif entendent aller plus loin en proposant non seulement un espace de stockage unifié, mais aussi des outils de communication et de suivi optimisés.

Sachant que les outils de travail collaboratif se distinguent en quatre grandes catégories : les outils de communication, les outils de partage d'applications et de ressources, les outils d'information et de gestion des connaissances et les outils de coordination.

Le système que nous avons développé permet d'utiliser particulièrement les outils de gestion de connaissances ainsi que les outils de coordination.

La modélisation des agents sur laquelle s'appuie notre système est très important car l'agent coordinateur joue un rôle très important dans la coordination et la collaboration des agents de production qui représentent en réalité les humains pour la prise de décision ainsi que l'agent évaluateur qui applique la méthode AHP et sélectionne la meilleure solution.

Les travaux de recherche présentés dans cette thèse ont concerné la gestion de production dynamique, les SIAD à base de web et les méthodes multicritères dans notre cas la méthode AHP. Nous avons réparti le contenu en 2 grandes parties :

La première partie était une synthèse des travaux scientifiques contribuant à renseigner dans différents domaines notre problématique.

La deuxième partie a concerné la modélisation des principaux éléments formant notre problématique : la coordination, la méthode AHP, le SIAD à base du WEB.

La prise de décision est un acte qui est souvent pratiqué par les humains. En effet, nous sommes tous confrontés à des situations dans lesquelles une prise de décision est nécessaire.

Mais, il est clair que souvent nos décisions ne nécessitent pas des processus de réflexions complexes car, généralement, il suffit d'une heuristique, d'une expérience passée ou parfois même d'une intuition pour décider. Mais dans d'autres situations, la prise de décision est plus difficile. Cela est dû à plusieurs facteurs:

- une complexité structurelle des décisions ;
- un grand nombre d'alternatives du à la complexité du problème ;
- l'impact de la décision prise peut être important, il peut être d'ordre économique, politique, organisationnel, environnemental, etc. ;
- la nécessité de la rapidité dans la prise de décision, c'est le cas des urgences médicales, ou militaires, ou encore le diagnostic des installations industrielles.

Le processus de prise de décision collective engage un groupe de personnes qui peuvent être dans un même endroit ou bien réparti sur plusieurs endroits, en même moment ou à des moments différents. La tendance actuelle est que les décideurs sont géographiquement éloignés. En effet, la mondialisation a instauré un changement dans les structures organisationnelles ainsi que dans les attitudes des managers qui se retrouvent devant de nouveaux défis. Cette nouvelle situation est caractérisée par les points suivants :

- l'évolution des technologies de l'information qui a permis à des individus éloignés géographiquement de partager des données et des idées ;
- la distribution des organisations à travers la planète ;
- une plus forte compétition ;
- l'ouverture du marché international.

En conséquence, la prise de décision exige que les outils décisionnels prennent en charge des processus d'aide à la décision collective où les membres du groupe seront impliqués dans une décision coopérative ou collaborative.

### PERSPECTIVES

- Nous pouvons prendre l'aspect mobilité des agents. En effet, les acteurs peuvent être dotés d'agents informationnels qui migrent à travers le web pour chercher l'information nécessaire. Aussi, les agents pourront être dotés d'autonomie. En effet, dans le système actuel les agents sont organisés de façon à se partager les différentes tâches dont l'exécution réalise la fonction globale du système. Mais, ils assurent surtout le respect des protocoles d'interaction. Rendre les agents plus autonomes, signifie que ces derniers peuvent dans le cas idéal remplacer les acteurs et s'engager dans un processus d'aide à la décision collaborative. Pour cela, ils doivent disposer de connaissances du domaine et de compétences pour assurer le rôle d'un décideur ou du facilitateur.
- De décentraliser la coordination entre les agents.
- D'intégrer les paramètres flous dans l'analyse multicritère de la méthode AHP.

# Bibliographie



# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

- **[Abrudan, 1996]** : Abrudan I. - *Sisteme flexibile de fabricatie - concepte de proiectare si management*, Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1996.
- **[Adamou, 1997]** : Adamou M. - *Contribution à la modélisation en vue de la conduite des systèmes flexibles d'assemblage à l'aide des réseaux de Petri orientés objet*, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 1997.
- **[Ahmad et Laplante, 2006]** : N. Ahmad, P.A. Laplante. “Software project management tools: making a practical decision using IEEE/NASA. IEEE, pp. 76–84. AHP, in: Software Engineering Workshop, 2006. SEW’06. 30<sup>th</sup> Annual. 2006.
- **[Akarte, 2001]**: M. Akarte, N. Surendra, B. Ravi, et N. Rangaraj. « Web based casting supplier evaluation using analytical hierarchy processs ». Journal of the Operational Research Society, vol. 52, pp. 511–522. 2001.
- **[Al Harbi, 2001]** : K.M. Al Harbi. ‘Application of AHP in project management’, International Journal of Project Management, Vol. 19 No.4, pp. 19 – 27. 2001.
- **[Al Khalil, 2002]** : M.I, Al Khalil. ‘Selecting the appropriate project delivery method using AHP’, International Journal of Project Management, Vol. 20, pp. 469 – 474. 2002.
- **[Anthony, 1965]** : Anthony, R. « Planing and control systems : A framework for analysis ». Harvard University Press. 1965.

-  **[Atanasova-Pacemska et al., 2014]**: T. Atanasova-Pacemska, M. Lapevski, R. Timovski,. “Analytical Hierarchical Process (AHP) method application in the process of selection and evaluation”. 2014.
-  **[Awasthi et Chauhan, 2011]** : A. Awasthi, , S.S. Chauhan, , 2011. “Using AHP and Dempster–Shafer theory for evaluating sustainable”. doi:10.1016/j.envsoft.2010.11.010. 2011;
-  **[Azvine et al., 2000]** : Azvine, B., Azarmi, N., and Nauck, D. « Intelligent Systems and Soft Computing : Prospects, Tools and Applications », volume 1804 of LNCS. Spring-Verlag. 2000.
-  **[Banias et al., 2011]** G. Banias, Ch. Achillas , Ch. Vlachokostas, , N. Moussiopoulos, and I. Papaioannou, ‘A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste’, Waste Management 31, pp. 2497–2502. 2011.
-  **[Baptiste et al., 2005]** : P. Baptiste, V. Giard, A. Hait et F. Soumis. Gestion de production et ressources humaines. Presse Internationales Polytechnique.
-  **[Barbuceanu et Fox, 1995]** : M. Barbuceanu et M. S. Fox. "Cool: A language for describing coordination in multiagent systems". In Victor Lesser et Les Gasser, editors, Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95), pages 17–24, San Francisco, CA, USA, 1995.
-  **[Barbuceanu et Fox, 1997]** : M. Barbuceanu et M.S. Fox. "Integrating communicative action, conversations and decision theory to coordinate agents ". In W. Lewis Johnson and Barbara Hayes-Roth, editors, Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (Agents'97), pages 49–58, Marina del Rey, CA, USA, 1997.
-  **[Bellifemine et al, 1999]**: Bellifemine F., Poggi A., Rimassa G., « JADE – A FIPA compliant agent framework », CSELT internal technical report. Part of this report has been also published in Proceedings of PAAM'99, London, pp.97-108, April 1999.
-  **[Bellifemine et al, 2000]** : Bellifemine F., Giovani C., Tiziana T., Rimassa G., « Jade Programmer's Guide », Jade version. 2000.

-  **[Bellifemine et al, 1999]:** F.Bellifemine et A.Poggy, G.Rimassa, P.Turci, « An ObjectOriented Framework to Realize Agent Systems », In: Proceedings of WOA Workshop, Parma, Italy; 1999.
-  **[Benkaddour, 2016] :** F. Benkaddour, « Intégration d'une ontologie et des technologies WEB 2.0 dans la conception d'un Système d'Aide à la Décision Collaborative (SADC) cas de l'industrie du non-tissé », thèse du Doctorat LMD, Septembre 2016.
-  **[Bessedik, 2017] :** I. Bessedik and N. Taghezout. “Towards a new supporting platform for collaboration in industrial diagnosis within an agent based-WEB DSS”, IJCAET, 2017.
-  **[Bharati et Chaudhury, 2004 ] :** P. Bharati, and A. Chaudhury, “An empirical investigation of decision-making satisfaction in Web- based decision support systems”, *Decision Support Systems* 37 (2), pp. 187-197, 2004.
-  **[Bitran et Tirupati, 1993] :** Bitran, G. et Tirupati, D. « Hierarchical production planning, logistics of production and inventory ». *Handbooks in operations research and management science*. 1993.
-  **[Blecker et Graf, 2003]:** T. Blecker et G. Graf, "Multi agent systems in internet based production environments-an enabling infrastructure for mass customization", Paper presented at the Second Interdisciplinary World Congress on Mass Customization and Personalization (pp.1–27). Munich, Germany. In proceedings, 2003.
-  **[Blodel, 2002] :** F. Blodel. *Gestion de la production*. Dunod. 2002.
-  **[Boussetta et al, 1998] :** Boussetta S., El Fallah-Seghrouchni A., Haddad S., Moraitis P., Taghelit M. « Coordination d'agents rationnels par planification distribuée » *Revue d'Intelligence Artificielle*, Vol 12, n°1, 1998.
-  **[Burkhart, 1994] :** Burkhart, R. « The SWARM multi-agent simulation system. In Object Oriented Programming Systems, Languages and Applications (OOPSLA), 1994.

-  **[Byun, 2001]** : D.H. Byun. 'The AHP approach for selecting an automobile purchase model', *Information and Management*, Vol. 38 No.5, pp. 289 – 297. 2001.
-  **[Castles et al., 1971]** : Castles F.G., Murray D.J. et Potter D.C., "Decision, Organisations and Society", Penguin, Harmondsworth, U.K., 1971.
-  **[Chaib-draa et al., 2002]**: B. Chaib-draa, F. Asselin, "Towards a protocol for the formation of coalitions of buyers", *Proceedings of the 5th International Conference on Electronic Commerce Research*, 2002.
-  **[Chaib-draa, 1996]** : Chaib-draa, B et Moulin, B, «*An overview of Distributed Artificial Intelligence* », in *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, 1, G.M.P. O'Hare et N.R. Jennings eds., J.Wiley and ssons, pp. 3.55, 1996.
-  **[Charif, 2007]** : Y. Charif, "Chorégraphie dynamique de services basée sur la coordination d'agents introspectifs", Thèse dirigée par N. Sabouret pour l'obtention de diplôme de docteur de l'université de Pierre et Marie Curie, 10 décembre 2007.
-  **[Chebeane et Echalier, 1997]** : Chebeane H., Echalier F. « Reactive object-oriented modeling of real time control, in proceedings of the Conference on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA, Los Angeles, USA, pp, 387-390, 1997.
-  **[Chim, 2004]** : M. Y. Chim, C. J. Anumba, P. M. Carrillo, "Internet-based collaborative decision-making system for construction", *Advances in Engineering Software*, 35 (6), p. 357-371, 2004.
-  **[Chiu, 2002]**: M.-L, Chiu, "An organizational view of design communication in design collaboration", *Design Studies*, 23 (2), p. 187-210, 2002.
-  **[Clarke, 1993]**: Clarke A. et Smith M. G., "A cooperative computer based on the principles of humans cooperation". *International Journal of Man-Machine Studies (IJMMS)*, 1993.
-  **[Collinot et Le Pape, 1991]**: A. Collinot et C. Le Pape, "Adapting the behavior of a Job-Shop Scheduling System, in *Decision Support Systems*", Vol. 7, Elsevier Science Pbs, North Holland, pp. 341-353, 1991.

-  **[D'Amours et al., 2006]:** S. D'Amours, B. Chaib-Draa, T. Moyaux, "Supply Chain Management and Multi Agent System: an Overview". In Multiagent-Based Supply Chain Management, B. Chaib-draa and J. P. Müller, Editors, ISBN: 3-540-33875-6 (Springer), 2006.
-  **[Dalalah et al., 2010]:** D. Dalalah, F. Al-Oqla, M. Hayajneh. "Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of cranes. *Jordan J. Mech. Ind. Eng.* 4, 567–578. 2010.
-  **[Daniels, 1999] :** Daniels, M. « Integrating simulation technologies with swarm ». In Agent Simulation: Application, Models, and Tools, University of Chicago. 1999.
-  **[Daniels, 2000]:** Daniels, M. « An open framework for agent-based modeling ». In Applications of Multi-Agent Systems in Defence Analysis, Los Alamos National Labs.2000.
-  **[Davis, 1989] :** F.D. Davis, « Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology », *MIS Quarterly* 13 (3) 319-340, 1989.
-  **[Delen et al, 2007] :** D. Delen, R. Sharda, and P. Kumar, "Movie forecast guru: a Webbased DSS for hollywood managers", *Decision Support Systems* 43, doi:10.1016/j.dss.2005.07.005, pp. 1151-1170, 2007.
-  **[DeLone et McLean, 1992] :** W.H.DeLone ? E.R.McLean, Information systems success : the quest for the dependent variable, *Information Systems Research* 3(1), 60-95, 1992.
-  **[DeVecchio, 2006] :** S. DelVecchio, « Mesure quantitative des impacts de risque en contexte d'impartition », Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.), HEC MONTRÉAL, L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL, Septembre 2006.
-  **[Deschamps, 1994] :** J. Deschamps. « Gestion hiérarchisée de cellules flexibles d'assemblage : concepts, modèles et simulation ». Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, France.
-  **[Dolgui et Proth, 2006] :** A. Dolgui, J. Proth. Les systèmes de production modernes, volume 1. Lavoisier. 2006.

-  **[Dong et al, 2004]** : J. Dong, H.S. Du, S. Wang, K. Chen, and X. Deng, "A framework of Web-based decision support systems for portfolio selection with OLAP and PVM", *Decision Support Systems* 3, pp. 367– 376, 2004.
-  **[Durfee et Lesser, 1991]**: E. H. Durfee, et V. R. Lesser, "Partial global planning: a coordination framework for distributed problem hypothesis formation". IEEE Transactions on Man, Systems and Cybernetics, 1991
-  **[Durfee, 1996]**: E.H. Durfee, "Planning in Distributed Artificial Intelligence", in Foundations of Distributed Artificial Intelligence, Chap. 8, G.M.P. O'Hare et N.R. Jennings eds., J. Wiley and sons, pp. 169-185, 1996.
-  **[Erceau, 1993]** : Erceau J., « Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents de la théorie aux applications ». 23 ème Ecole Internationale d’Informatique de l’AFCET, Neuchâtel, 1993.
-  **[Esquirol et Lopez, 1999]** : Esquirol, P. et Lopez, P. « L’ordonnancement ». Economica. 1999.
-  **[Farhoodi, 1990]** : F. Farhoodi, "A knowledge-based approach to dynamic job-shop scheduling", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol.3, n°2, 1990, pp. 84-95.
-  **[Ferber, 1995]** : Ferber J., « Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective », InterEditions, Paris, 1995.
-  **[Ferber, 1999]**: J. Ferber, "Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence". Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1999.
-  **[Fernandez, 1999]** : Fernandez A., « Les nouveaux tableaux de bord des managers ». Groupe Eyrolles, 1999.
-  **[Fiat, 2007]** : O. Fiat, « Utilisation et développement de la méthode du Simplexe : nouvelles procédures d’optimisation de la démarche expérimentale », Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2007.
-  **[Finin et al., 1992]**: T. Finin, J. Weber, G. Wiederhold, M. Genesereth et al., "Specification of the KQML Agent Communication Language", The DARPA Knowledge Sharing Initiative, External Interfaces Working Group, 1992.

-  **[Finin et al., 1994]:** T. Finin, R. Fritzson, D. McKay et R. McEntire, "KQML - An Information and Knowledge Exchange Protocol", in Kazuhiro Fuchi and Toshio Yokoi, editors, *Knowledge Building and Knowledge Sharing*, Ohmsha and IOS Press, 1994.
-  **[FIPA, 2002]** : The FIPA ACL Message Structure Specifications, 2002.
-  **[FIPA, 2006]** : FIPA. Foundation for Intelligent Physical Agents. « FIPA Agent Management Specification », Foundation for Intelligent Physical Agents, 2006.
-  **[Fox et Barbuceanu, 1996]:** M.S. Fox, M. Barbuceanu, "Coordinating multiple agents in the Supply Chain", Proceedings of Fifth Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, Stanford, CA, IEEE Computer Society Press, p 134-142, 1996.
-  **[Fradet et Rouvrais, 2002]** : Fradet. P, Rouvrais. S ; « Agents mobiles pour services distribués » Projet LANDE Logiciel : analyse et développement. Rapport d'activité INRIA 2002.
-  **[Francisco et Douglas, 1996]:** P.M Francisco et H.N Douglas, "Multi-agent mediator architecture for distributed manufacturing", *J. of Intelligent Manufacturing*, Vol. 7, pp.257– 270. 1996.
-  **[Franek et Kresta, 2014]:** J. Franek, A. Kresta. "Judgment Scales and Consistency Measure in AHP". *Procedia Econ. Finance* 12, 164–173. doi:10.1016/S2212-5671(14)00332-3. 2014.
-  **[Friedman, 2005]** : T. L. Friedman, "The World Is Flat: A Brief History of the Twenty-First Century", *Farrar, Straus and Giroux*, 2005.
-  **[Fu, 2004]** : Q. Y. Fu, C. Y. Ping, M. G. Helander, "Knowledge-based Collaborative Decision Making System for Product Design", *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, Singapore, 2004.
-  **[Gelernter et Carriero, 1992]** : D. Gelernter et N. Carriero, "Coordination Languages and Their Significance". *Communications of the ACM*, n°35(2), pp. 96-107, 1992.

-  **[Georgeff, 1988]:** M.P. Georgeff, "Communication and Interaction in Multi-Agent Planning", Readings in Distributed Artificial Intelligence, Bond and Gasser, pp 200-204, 1988.
-  **[Giard, 2003] :** V. Giard. Gestion de la production et des flux. Economica. 2003.
-  **[Gotha, 1993] :** Gotha. « Les problèmes d'ordonnancement ». RAIRO-Recherche opérationnelle / operation research. 1993.
-  **[Grabot, 1998] :** B. Grabot, "Objective satisfaction assessment using neural nets for balancing multiple objectives", International Journal of Production Research, vol.36, n°9, pp. 2377-2395, 1998.
-  **[Guessoum, 1996] :** Guessoum, Z. « Un Environnement Opérationnel de Conception et de Réalisation de Systèmes Multi-Agents ». PhD thesis, Laforia, Paris 6. 1996.
-  **[Guntzer et al, 2007] :** U. Guntzer, R. Muller, S. Muller, and R.D. Schimkat, "Retrieval for decision support resources by structured models", *Decision Support Systems* 43, doi:10.1016/j.dss.2005.07.004, pp. 1117-1132, 2007.
-  **[Guttman and Maes, 1998] :** Guttman, R. Maes, P. « Agents-Mediated integrative negociation for retail electronic commerce ». In Pablo Noriega, C. S., editor, the 1<sup>st</sup> International Workshop on Agent Mediated Electronic Trading (AMET'98), LNCS, Pages 70-90, Minneapolis, MN, USA, Springer-Verlag, 1998.
-  **[Hahndel et al., 1994]:** S. Hahndel, F. Fuchs, P. Levi, "Distributed Negotiation-Based Task Planning for a Flexible Manufacturing Environment". In Proceedings of the 6th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in Multi-Agent World, p 147- 158. Odense, Denmark, 1994.
-  **[Hernandez Silva, 2008] :** J. Hernandez-Silva, C. Mercé et G. Fontan. « A multilevel approach for scheduling and capacity management. International Conference on Industrial Engincering and Systems Management. Beijing, china.
-  **[Holtzman, 1989] :** Holtzman S. : « Intelligent decision systems », Addison Wesley, 1989.
-  **[Huaiqing et al, 2002] :** W. Huaiqing, L. Stephen, and L. Lejian, "Modeling constraint-based negotiating agents", *Decision Support Systems* 33(2), pp. 201-217, 2002.

-  **[Huget, 2002]:** M. P. Huget, "An application of Agent UML to Supply Chain Management", In Proceedings of Agent Oriented Information System (AOIS-02), Paolo Giorgini and Yves Lespérance and Gerd Wagner and Eric Yu (eds.), 2002.
-  **[Iyer et al, 2005]:** B. Iyer, G. Shankaranarayanan, and M.L. Lenard, "Model management decision environment: a Web service prototype for spreadsheet models", *Decision Support Systems* 40 (2), pp. 283– 304, August 2005.
-  **[Janjua et al., 2012]:** N. K. Janjua, and F.K. Hussain, 'Web@IDSS-Argumentation-enabled Web-based IDSS for reasoning over incomplete and conflicting information', In *Knowledge-Based Systems* 32, pp. 9–27. 2012.
-  **[Jankovic, 2006]:** M. Jankovic, "Prise des décisions collaboratives dans le processus de conception de nouveaux produits. Application à l'automobile", Thèse de doctorat, École Centrale Paris, 2006.
-  **[Jennings, 1993]:** N.R. Jennings, "Specification and implementation of a belief-desire-join- intention architecture for collaboration problem solving", *International Journal of Intelligent Cooperative Information Systems*, Vol 2, n°3, pp. 289-318, 1993.
-  **[Kahnemann et al., 1982]:** Kahnemann D., Slovie P. et al., "Judgment under Uncertainty : Heuristics and Biases", Cambridge University Press, Eds., 1982.
-  **[Karacapilidis, 2001]:** N. Karacapilidis, D. Papadias, "Computer supported argumentation and collaborative decision making: the HERMES system", *Information Systems*, 26 (4), p. 259-277, 2001.
-  **[Kazuhiko et al., 1995]:** K. Kazuhiko, I. Toru, O. Nobuyasu, "AgenTalk: Coordination Protocol Description for Multi-Agent Systems", First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS '95), 1995.
-  **[Keen et Scott-Morton, 1978]:** Keen, P., and M. Scott-Morton: « Decision Support Systems: an organizational perspective », Addison-Wesley Publishing, 1978.
-  **[Kohli et al, 2001]:** R. Kohli, F. Piontek, T. Ellington, T. VanOsdol, M. Shepard, and G. Brazel, "Managing customer relationships through E-business decision

support applications: a case of hospital–physician collaboration”, *Decision Support Systems* 32, pp. 171-187, 2001.

 **[Koning et Pesty, 2001]** : J.L. Koning et S. Pesty, "Modèles de communication", in "Principes et architectures des systèmes multi-agents", édité par Jean-Pierre Briot et Yves Demazeau, Collection IC2, Hermes Science Publications, Paris, 2001.

 **[Kronsteiner, 2005]** : R. Kronsteiner, I. K. Ibrahim, "Collaborative Decision Support in Mobile Environments: A Requirement Analysis", 2 International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS'05), 2005.

 **[Kuljis et Paul, 2001]** : J. Kuljis, and R.J. Paul, “An appraisal of Web-based simulation: whether we wander?”, *Simulation Practice and Theory* 9, pp. 37-54, 2001.

 **[Kvan, 2000]**: T. Kvan, "Collaborative design: What is it?", *Automation in construction*, 9 (4), p. 409-415, 2000.

 **[Laborie, 2006]** : F. Laborie, "Le concept de salle de décision collective et son application aux processus complexes EADS", Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, 2006.

 **[Lai et al., 2002]**: V. Lai, B.K. Wong and W. Cheung. ‘Group decision making in a multiple criteria environment: A case using the AHP in the software selection’, *European Journal of Operational Research*, Vol. 137 No.1, pp. 134 – 144. 2002.

 **[Lario, 2003]** : F. Lario Esteban, A. Ortiz Bas, R. Poler Escoto, D. Perez Perales, "Supply chain management modelling collaborative decision", IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA '03), 2, p. 137-141, 2003.

 **[Lattanzio, 2006]** : T. Lattanzio, A. Cauvin, “Decisional modelling for Engineer-To-Order”, 12th IFAC-IFIP-IEEE Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 06), vol. 2, pp. 793797, Saint-Etienne, mai 2006.

 **[Le Moigne, 1974]** : Le Moigne, J.L., « Les systèmes de décision dans les organisations ». Presses Universitaires de France, 244 p, 1974.

- [Lesser et al., 1987]: V.R. Lesser, E.H Durfee, et D.D. Corkill, "Cooperation Through Communication in a distributed Problem-Solving Network. Distributed Artificial Intelligence", Michael N. Huhns, ed., Pitman Publishing Ltd.,London, England, pp.29-58.1987.
- [Lesser, 1998]: V.R. Lesser, "Reflections on the nature of Multi-Agent Coordination and its Implications for an Agent Architecture", Autonomous Agents and Multi-Agents Systems, Kluwer Academic Publishers, Chap. 1, pp. 89-111, juillet 1998.
- [Lévine, 1989]: Lévine P. et J.Pomerol : « Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision et systèmes experts », Editions Hermès, 1989.
- [Limayem, 2001] : F. Limayem, "Modèles de pondération par les méthodes de tri croisé pour l'aide à la décision collaborative en projet", Thèse de doctorat, École Centrale Paris, 2001.
- [Liu et Young, 2004]: S. Liu et R.I.M. Young, "Utilizing information and knowledge models to support global manufacturing co-ordination decisions", Int. J. of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 17, pp.479–492, 2004.
- [Madkit, 2001] : MADKIT. <http://www.madkit.org>.
- [Maes, 1994] : Maes P. « Agents that Reduce Work and Information Overload » Communications of the ACM, Vol. 37, pp.31-40. 1994.
- [Mahesh et al., 2006]: M. Mahesh, S.K. Ong et A.Y.C Nee, "Communication and coordination in Multi-Agent Manufacturing System", International Journal of Manufacturing Research, Vol. 1, No. 1, 59—82, 2006.
- [Malczewski, 2006]: J.Malczewski, « GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature ». International Journal of Geographical Information Science, Vol.20, N°7, pp03-726, August 2006.
- [Malone et Crowston, 1994]: T.W. Malone et K. Crowston, "The Indisciplinary Study of Coordination", in ACM Computing Surveys, Vol. 26, n°1, pp. 87-119, 1994.

-  **[Malone, 1988]** : Malone T.W., « What is coordination theory », in national science foundation coordination theory workshop, MIT, 1988.
-  **[Marakas, 1999]**: Marakas GM., “Decision Support Systems in the Twenty-first Century”. Prentice-Hall : Upper Saddle River, NJ, xxi, 506, 1999.
-  **[Marakas, 2003]** : Marakas, G. : « Decision Support Systems in the Twenty-First Century », Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall. 2003.
-  **[Mazouz, 2001]** : H. Mazouz. Ingénierie des protocoles d'interaction des systèmes distribués aux systèmes multi-agents. Thèse de Doctorat, Université Paris IX-Dauphine, 2001.
-  **[Melèse, 1984]** : J. Melèse. La gestion par les systèmes. Editions Hommes et Technique. 1984.
-  **[Mintzberg, 1973]** : Mintzberg H., “Strategy-making in three modes”. California Management Review 16 (2) : 44-53, 1973.
-  **[Mintzberg, 1979]** : Mintzberg, H. : « The structuring of Organization », Prentice Hall, 1979.
-  **[Mitra et Valente, 2007]** : G. Mitra, and P. Valente, “The evolution of Web- based optimization from ASP to e-services”, *Decision Support Systems* 43, 1096--1116, doi:10.1016/j.dss.2005.07.003, 2007.
-  **[Montreuil et al., 2007]** : B. Montreuil, O. Labarthe, A. Ferrarini, B. Espinasse, "Coordination de chaînes logistiques centrées consommateurs : modélisations et simulations orientées agents. Démarche et résultats", 7e Congrès international de génie industriel (CIGI 2007), Trois-Rivières, Canada, (juin 5-8) 2007.
-  **[Montreuil et al., 2008]** : B. Montreuil, O. Labarthe, S. D'amours, D. Roy, A. Ferrarini, B. Espinasse, T. Monteiro, D. Anciaux, "Simulation à base d'agents des systèmes de coordination et de planification des réseaux d'entreprises", dans LAVOISIER – HERMES (Ed.), "La simulation pour la gestion des chaînes logistiques", Traité IC2, série systèmes automatisés, Caroline Thierry André Thomas et Gérard Bel, ch. 7, pp. 227 - 260, Août 2008.
-  **[Nfaoui et al., 2006]** : H. Nfaoui, Y. Ozrout, "SCM, AUML : un modèle d'agents pour la simulation proactive et l'aide à la décision dans le Supply Chain",

Conférence MajecSTIC 2006 MAnifestation des JEunes Chercheurs en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, Lorient France, 22-24 Novembre 2006.

-  **[Ngai et Wat, 2005]** : E.W.T. Ngai, and F.K.T. Wat, "Fuzzy decision support system for risk analysis in e-commerce development", *Decision Support Systems* 40 (2), pp. 235-255, August 2005.
-  **[Noci et al., 2000]**: G. Noci, and G. Toletti. 'Selecting quality based programmes in small firms: A comparison between fuzzy linguistic approach and analytic hierarchy process'. *International Journal of Production Economics*, Vol. 67 No.2, pp.113–133. 2000.
-  **[Ocello, 2003]** : M. Ocello. Méthodologie et architectures pour la conception de systèmes multi-agents. Thèse HDR. Université Pierre Mendès France de Grenoble, 2003.
-  **[Panzarasa, 2002]** : P. Panzarasa, N. R. Jennings, T. J. Norman, "Formalising collaborative decision-making and practical reasoning in multi-agent systems", *Journal of Logic and Computation*, 12 (1), p.55-117, 2002.
-  **[Parsa, 2007]** : S. Parsa, F.-A. Parand, "Cooperative decision making in a knowledge grid environment", *Future Generation Computer Systems*, 23 (8), p. 932-938, 2007.
-  **[Parunak, 1991]** : Cité dans [Trentesaux, 2000].
-  **[Power, 1997]** : Power, D.J. : « What is DSS ? », *The On-line Executive Journal for Data Intensive Decision Support* 1 (3). 1997.
-  **[Power, 2002]** : D.J. Power, "Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers", *Quorum Books*, Wesport Conn, 2002.
-  **[Ray, 2007]** : J.J. Ray, "A Web-based spatial Decision Support System optimizes routes for oversize/overweight vehicles in Delaware", *Decision Support Systems* 43, (this issue), doi:10.1016/j.dss.2005.07.007, pp. 1171-1185, 2007.
-  **[Reza et al., 2011]**: B. Reza, R.Sadiq, K. Hewage, "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. 2011

-  **[Rezaei et al., 2014]** : J. Rezaei, P.B.M. Fahim, L. Tavasszy. "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. 2014;
-  **[Roy et Bouyssou, 1993]**: Roy. B. et D. Bouyssou : « Aide multicritère d'aide à la décision ». Economica, Paris.
-  **[Ryan, 2002]**: A. J. Ryan, "Optimizing Group Utility in the Collaborative Decision Making Process", Aircraft Technology, Integration and Operations (ATIO) Conference - AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics), Los Angeles, USA, 2002.
-  **[Saaty, 1980]**: T.L. Saaty. « The analytic hierarchy process ». NY: McGraw-Hill, New York, 1980.
-  **[Saaty, 1981]** :T.L. Saaty, « Decision making for leaders », Learning, Belmont, 1981.
-  **[Saaty, 1984]** : T.L.Saaty, « Décider face à la complexité : une approche analytique multicritère d'aide à la décision » (traduit par Lionel Dahan), Paris : Entreprise Moderne d'Édition, 1984.
-  **[Saaty, 1987]** : R.W. Saaty." The analytic hierarchy process—what it is and how it is used". *Math. Model.* 9, 161–176. 1987.
-  **[Shaw et al, 2002]** : N.G. Shaw, A. Mian, and S.B. Yadav, "A comprehensive agent-based architecture for intelligent information retrieval in a distributed heterogeneous environment". *Decision Support Systems* 32 (4), pp. 34-42, 2002.
-  **[Sikora et Shaw, 1998]**: R. Sikora, et M.J. Shaw, "A multi-agent framework for the coordination and integration of information systems", *Management Science*, Vol. 44, pp.65– 78. 1998.
-  **[Simon, 1977]** : Simon, H. : « The New science of management decision», Prentice hall, Englewood-Cliffs. 1977.

-  **[Soubie, 2005]** : J.-L. Soubie, P. Zaraté, "Distributed Decision Making: A Proposal of Support Through Cooperative Systems", *Group Decision and Negotiation*, 14 (2), p. 147-158, 2005.
-  **[Sprague et Carlson, 1982]** : Sprague R. and E. Carlson. : « Building Effective Decision Support Systems », Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs. 1982.
-  **[Sundarraj, 2004]** : R.P. Sundarraj, “A Web-based AHP approach to standardize the process of managing service-contracts”, *Decision Support Systems* 3, pp. 343-365, 2004.
-  **[Syamsuddin et Hwang, 2009]** : I. Syamsuddin, J. Hwang. 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. 2009.
-  **[Syamsuddin et Hwang, 2009]**: I. Syamsuddin, J. Hwang. “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. 2009.
-  **[Sycara, 1989]**: K. Sycara, "Multi-agent compromise via negotiation", In Les Gasser and Michael N. Huhns, editors, *Distributed Artificial Intelligence*, Volume II, pp. 119-137, Pitman Publishing, London, 1989.
-  **[Taghezout, 2008]** : Taghezout, N., Zaraté, P.: Negotiation Process for Multi-Agent DSS for Manufacturing System, in : *Collaborative Decision Making: Perspectives and Challenges*, P. Zaraté et al. ,ed., IOS Press, Vol. 176, *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, pp. 49-60, 2008
-  **[Taghezout, 2011]** : N. Taghezout, “An agent-based simulation approach in an IDSS for evaluating performance in flow-shop manufacturing system”. Dans : *Intelligent Decision Technologies*, IOS Press, Vol. 5 N. 3, p. 273-293, juillet 2011.
-  **[Tam et al., 2001]**: M.C.Y. Tam and V.M.R. Tummala. ‘An Application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system’, *Omega*, Vol. 29 No.2, pp. 171–182. 2001.

-  **[Trentesaux, 1996]** : Trentesaux, D, « *conception d'un système de pilotage distribué, supervisé et multicritère pour les systèmes automatisés de production.* », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1996.
-  **[Trentesaux, 2001]** : D.TRENTESAUX, “Comparison of Constraint Logic Programming and Distributed Problem Solving: a case study for interactive, efficient and practicable job-shop scheduling”. Computer and Industrial Engineering, 39, pp. 187-211. (2001)
-  **[Trentesaux, 2002]** : D. Trentesaux. Pilotage hétéarchique des systèmes de production. Thèse d’habilitation. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis (UVHC), 2002.
-  **[Turban, 1993]** : Turban E. : « Decision Support and Expert Systems », New York, Macmillan. 1993.
-  **[Turban, 1995]** : Turban E. : « Decision Support and Expert Systems », New York, Macmillan. 1995.
-  **[Wambsganss, 2001]** : M. Wambsganss, "Collaborative Decision Making in Air Traffic Management", publié dans l’ouvrage "New concepts and methods in air traffic management", de L. Bianco, P. Dell’Olmo, A.R. Odoni, Ed. Springer, ISBN 3-5404-1637-4, 2001.
-  **[Wang et al., 2005]**: D. Wang, S.V. Nagalingam et G.C.I Lin, "Development of an agent-based Virtual CIM architecture for small to medium manufacturers", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, forthcoming, September 2005.
-  **[Weiss, 1999]** : Weiss G. « Multi-agent Systems », MIT Press. 1999.
-  **[Werner, 1989]**: E. Werner, "Cooperating Agents: A Unified Theory of Communication and Social Structure", in GASSER L., HUHNS M. N., editors, Distributed Artificial Intelligence, Vol. II, Chap. 1, p. 3–36, Morgan Kaufmann Publishers, 1989.
-  **[Wooldridge et Ciancarini, 2000]** : Wooldridge M., Ciancarini P. « Agent-Oriented Software Engineering : The state of the art » Lecture Notes in AI, Vol. 1957: Springer-Verlag, 2000.

-  **[Xiao, 2005]** : A. Xiao, S. Zeng, J. K. Allen, D. W. Rosen, F. Mistree, "Collaborative multidisciplinary decision making using game theory and design capability indices", *Research in Engineering Design*, 16 (1-2), p. 57-72, 2005.
-  **[Zaraté, 1991]** : Zaraté P. : « Conception et mise en œuvre de systèmes Interactifs d'Aide à la Décision : Application à l'élaboration des plannings de repos du personnel navigant », thèse de doctorat de l'université Paris Dauphine, France. 1991.
-  **[Zhang et Goddard, 2007]** : S. Zhang, S. Goddard, "A software architecture and framework for Web-based distributed decision systems", *Decision Support Systems* 43, doi:10.1016/j.dss.2005.06.001, pp. 1133-1150, 2007.
-  **[Zlotkin et Rosenschein, 1989]**: G. Zlotkin, , J.S. Rosenschein, "Negotiation and task sharing among autonomous agents in cooperative domains", *Proceedings of IJCAI-89*, pp. 912-917, Detroit, MI, aug. 1989.

## ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو توفير شبكة اجتماعية محترفة تتكامل مع نظام دعم القرار قائم على الوكيل. شبكة نظام دعم القرار سوف تسهل التفاعل ، والمناقشة ، وتبادل المعلومات بين مشغلي الإنتاج ، خاصة التعامل مع المواقف الاسمية لأخطاء الموارد. أصبح التنسيق بين الوكلاء في نهجنا ممكنا من خلال بروتوكول تنسيق عامل بنياتيكي. تستند العمارة العامة على وكلاء يدعى: وكيل الإنتاج، وكيل علم الوجود، وكيل المقيم، وكيل المنسق. يتضمن بروتوكول التنسيق الذي يتم تطبيقه مجموعة من السلوكيات المستخدمة لحفظ على تبادل الرسائل والتحكم فيه بين الوكلاء. تمكن ميزات التعلم هؤلاء الوكلاء من كسب المزيد من الوقت في الحساب والإعدامات. كتمثل للمعرفة المشتركة للوكيل ، تم تطوير أنطولوجيا المجال لتمثيل المفاهيم العامة الرئيسية في المجال الصناعي. يتم تطبيق منهجية عملية التحليل الهرمي لتقييم حلول الفرز فيما يتعلق بمتضيقات المشاركين البشريين. في هذه الدراسة ، نختار مجال للتطبيق: صناعة الالكترونيات ALFATRON

**الكلمات المفتاحية:** عملية التسلسل الهرمي التحليلي ، الواجهة التعاونية ، وكيل المنسق ، وكيل المقيم ، نظام دعم القرار ، وكلاء الإنتاج ، نظام دعم القرار على شبكة الإنترنت.

## Abstract

The main objective of this study is to provide a professional social network which is integrated within an agent-based WEB DSS. This DSS Network will facilitate interaction, discussion, and the sharing of information among production operators, especially to deal with nominal situations of resource faults. The coordination among the agents in our approach is made possible by a dynamic agent coordination protocol. The general architecture is based on agents named: Production Agent (PA), Ontology Agent (OA), Evaluator Agent (EA), and Coordinator Agent (COA). The Coordination Protocol that is applied comprised a set of behaviors used to maintain and control the messages exchanges among the agents. Learning features enable these agents to gain more time in calculation and executions. As a representation of the agent's common knowledge, a domain ontology has been developed to represent major generic concepts in the industrial domain. Analytical Hierarchy Process (AHP) methodology is applied to evaluate sorting solutions in respect of human participants' preferences. In this study, we choose as a field of application: ALFATRON electronics industry.

**Keywords:** Analytic Hierarchy Process (AHP), Collaborative Interface, Coordinator Agent (CA), Evaluator Agent (EA), Decision Support System (DSS), Production Agents (PA), WEB DSS.

## Résumé

L'objectif principal de cette thèse est de fournir un réseau social professionnel intégré dans un agent-based WEB DSS. Ce réseau DSS facilitera l'interaction, la discussion et le partage d'informations entre les opérateurs de production, en particulier pour gérer les situations nominales de failles de ressources. La coordination entre les agents dans notre approche est rendue possible par un protocole de coordination d'agent dynamique. L'architecture générale est basée sur des agents nommés: agent de production (AP), agent d'ontologie (AO), agent d'évaluation (AE) et agent de coordination (AC). Le protocole de coordination appliqué comprend un ensemble de comportements utilisés pour maintenir et contrôler les échanges de messages entre les agents. Les fonctionnalités d'apprentissage permettent à ces agents de gagner plus de temps dans les calculs et les exécutions. En tant que représentation de la connaissance commune de l'agent, une ontologie de domaine a été développée pour représenter des concepts génériques majeurs dans le domaine industriel. La méthodologie du processus de hiérarchie analytique (AHP) est appliquée pour évaluer les solutions de tri en fonction des préférences des participants humains. Dans cette étude, nous choisissons comme domaine d'application: l'industrie électronique ALFATRON.

**Mots clés :** Analytic Hierarchy Process (AHP), Interface Collaborative, Agent Coordinateur (AC), Agent Evaluator (AE), Decision Support System (DSS), Agents de Production (AP), WEB DSS.

## Towards a new supporting platform for collaboration in industrial diagnosis within an agent-based WEB DSS

Bessedik Imène\* and Taghezout Noria

LIO Laboratory,  
Department of Computer Science,  
University of Oran1 Ahmed BenBella,  
BP 1524 EL Mnaouer Oran, Algeria  
Email: imeneinf2006@hotmail.com  
Email: taghezout.nora@gmail.com

\*Corresponding author

**Abstract:** The main objective of this study is to provide a professional social network which is integrated within an agent-based WEB DSS. This DSS network will facilitate interaction, discussion, and the sharing of information among production operators, especially to deal with nominal situations of resource faults. The coordination among the agents in our approach is made possible by a dynamic agent coordination protocol. The general architecture is based on agents named: production agent (PA), ontology agent (OA), evaluator agent (EA), and coordinator agent (COA). The coordination protocol that is applied comprised a set of behaviours used to maintain and control the messages exchanges among the agents. Learning features enable these agents to gain more time in calculation and executions. As a representation of the agent's common knowledge, domain ontology has been developed to represent major generic concepts in the industrial domain. Analytical hierarchy process (AHP) methodology is applied to evaluate sorting solutions in respect of human participants' preferences. In this study, we choose as a field of application: ALFATRON electronics industry.

**Keywords:** analytic hierarchy process; AHP; collaborative interface; coordinator agent; COA; evaluator agent; EA; decision support system; DSS; production agents; PA; web-based decision support system; WEB DSS.

**Reference** to this paper should be made as follows: Imène, B. and Noria, T. (2018) 'Towards a new supporting platform for collaboration in industrial diagnosis within an agent-based WEB DSS', *Int. J. Computer Aided Engineering and Technology*, Vol. 10, No. 4, pp.457–490.

**Biographical notes:** Bessedik Imène has received her Computer Science Magister in Computer and Automatic Science at the Oran1 Ahmed BenBella University in Algeria in 2010. Currently, she is a PhD student in Computer Science Department at the same university. Her research interests include decision support system, WEB-DSS, multi-criteria method, manufacturing system and multi-agent system.

Taghezout Noria is an Assistant Professor at the Oran1 Ahmed BenBella University. She holds a Doctorate Thesis in MITT at the Paul Sabatier University in France in 2011. She also received another Doctorate Thesis in Distributed Artificial Intelligence from the Oran University in 2008. She holds a Master's in Simulation and Computer Aided-Design. She conducts her

research at the LIO Laboratory as a Chief of the research group in modelling of enterprise process by using agents and web technologies. Since she studied in UPS Toulouse, she became a member of the Euro Working Group on Decision Support Systems (EWG-DSS). She is currently lecturing collaborative decision making, enterprise management and interface human machine design. Her seminars, publications and regular involvement in conferences, journals and industry projects highlight her main research interests in artificial intelligence.

---

## 1 Introduction

Web technologies give the classical DSS more and more possibilities as a way to reduce some of their limitations, for example this can transform them to flexible and reusable web systems. As a result, the WEB DSS have become a research area in full activity. Thanks to the integration of Web 2.0 technologies, or semantics Web 3.0, the obtained results are promising (Yao, 2010).

As mentioned in Bhargava et al. (2007), there were two ways to use a WEB DSS. First, it can be a supportive system for decisions where all the applications are implemented using web technologies. Second, we can consider it as a system, where databases example remains on an existing system but the application can be accessed by using a web browser.

Using the WEB DSS, senior managers of small and medium enterprise (SME) will be able to publish and share useful information to make the major decision-making process especially for failures diagnosis situations.

Compared to the research that is accomplished in the field of integrating web technologies in organisation and decision-making, there are a variety of works which keep moving to the use of new integrated architectures such as agent-based architectures, which is considered in our study.

More precisely, we propose to use an agent-based web decision-support system (WEB DSS) to handle failure diagnosis that is posted by human operators on a collaborative platform. A collaborative work has become a major issue for the company. It allows project teams to federate around a common platform and mobilises multiple skills geographically dispersed.

In this study, we propose a collaborative platform for production management system that provides coordination protocol messages exchanged among agents of production and coordination algorithm that allows the system to better respond to the selection of solutions to failures resources.

In this article, human operators participate in a collaborative work in order to find a diagnostic for resource failures. But these discussions may lead to many conflicting situations among them. Analytical hierarchy process (AHP) methodology is applied to evaluate the obtained solutions in respect of human participants' preferences. ALFATRON which is an Algerian economic public enterprise established in 1993 by 'Entreprise Nationale des Industries Electroniques (ENIE)' is used as a case study for our work.

After a short introduction that presents the context of our study and the problem statement, an overview of the most relevant work is given in Section 2. After a presentation of the main research works on WEB DSS architectures and technologies, the

paper goes on with a description of our proposed approach in Section 3. Section 4 discusses some issues of implementation; it presents the obtained results and gives comparative remarks between the use of the agent-based WEB DSS and traditional approach. Before concluding the paper, a number of advanced features and future work are finally discussed.

## 2 Background

This section is composed of three parts namely: the agent-based modelling (ABM), the decision support systems (DSS) in particular, the WEB DSS, and the AHP methodology applications.

### 2.1 ABM and DSS

Current approaches that are applied to DSS design are constrained in terms of their ability to adapt to the changes in user's requirements and to provide a support for the evolution of systems. This situation worsens when resources are distributed at different locations across organisations. In addition, it will be necessary to integrate decision making processes at different points on time. If possible, we use collaboration between the decision makers (Ching and Ananth, 2013).

As referred to Bessedik and Taghezout (2012) software entities are considered as a set of operations on the behalf of the users, which can masterfully act as assistants.

More precisely, ABM is a bottom-up approach to modelling (non-deterministic) systems comprised of autonomous, interacting agents (Bonabeau, 2002; Macal and North, 2010).

A system which is considered as ABM has the ability to deal with such complex systems through individual agents who have their own behaviours and interactions (Zaraté, 2007).

Through agent-based models, it is possible to implement an environment with its features, forecast and explore its future scenarios, by exploring setting alternative decisions, set different values for the decision variables, and analysing the effects of these changes (Park and Tran, 2012).

A lot of great and innovational contributions for problem-solving models applied to dynamic scheduling have been published (Chen and Wang, 2005; Jitti et al., 2009). The high effectiveness and efficiency of DSSs for solving real-time problems in manufacturing systems have been demonstrated in the literature (Filip, 2008; Forth et al., 2006). However, dynamic scheduling problems in flow shop manufacturing systems using DSS consider that the distributed artificial intelligence should consider the dynamic nature of the part and tool flow (Bing-hai et al., 2008).

Several agent-based architectures have been developed to support a strong integration of agents in solving dynamic scheduling problems. For example, Briand and Roubellat (2000) have suggested architecture for real-time piloting workshop involving three cooperative models: a process model, a range model and scenarios model. The piloting process was similar to simultaneous changes of the three models. It did not include the resources constraints, but it allowed implementing the various operating sequences.

There are a number of decision supports and intelligent systems available to the market. In this study, we focus on the most applicable common systems to the operations and management of manufacturing systems.

Bing-hai et al. (2008) addressed in the problem of dynamic scheduling in a flexible manufacturing system (FMS) by developing an agent-based decision support system. The most important agents that are integrated into the DSS are user interface agent, criteria selection agent, performance evaluation agent, scheduling decision selection agent, and FMS database. In their work, an agent was responsible of the criteria and rules selection. They demonstrated that this agent is the heart of their system instead of applying a multi-criteria decision-making approach.

Deshpande and Cagan (2004) and Gao et al. (2009) illustrated decision support tools for dealing with several problems arising respectively in manufacturing and chemical industry environments.

A similar work had been done in Taghezout and Zaraté (2009); herein, authors proposed to integrate agents in a decision support system to demonstrate that the proposed approach could resolve resource allocation problems by using a multi-agents coordination protocol.

## 2.2 WEB DSSs and Web 2.0 technologies

The use of WEB DSS enables companies to take advantage of all the opportunities that are offered to users in order to publish and share information during decision-making or simply during the collaborative work.

More precisely, WEB DSSs deliver information and/or tools to a decision maker through a web browser that allows an access to the internet or a corporate intranet. The DSS application that is hosted in the computer server is linked to the user's computer by a network with TCP/IP protocol. Depending on the network type that they use, they can provide specific decision-making capabilities to diverse user types, such as to managers over internet, customers and suppliers over extranet, or to any stakeholder over the internet (Shim et al., 2002).

Many works have been done in this area, for example authors in Janjua and Hussain (2012) proposed to use a formal argumentation-based semantics for an enabled intelligent WEB DSS (Web@IDSS). They elaborated on the proposed conceptual framework a system (Web@IDSS) that carried out argumentative reasoning about incomplete and inconsistent information, spanning, and organisational boundaries. In addition, in the project presented by Banias et al. (2011), the main objective of the web-based decision support system (DSS) application – namely DeconRCM – was the identification of the optimal construction and demolition waste management strategy.

In addition, various articles have reviewed more specific topics related to WEB DSS. For example, Kuljis and Paul (2001) reviewed web-based simulation and (Kersten and Noronba, 1999) reviewed web based negotiation support.

Authors in Bharati and Chaudhury (2004) conducted an experiential and practical study to investigate customers' satisfaction with a web-based decision support system (WEB DSS). Whereas, other researchers studied model management for decision support in a computing environment, where enterprise data and models are distributed (Iyer et al., 2005).

In their work (Guntzer et al., 2007), authors suggested to use structured service models that can be described at different levels of structured modelling. This approach helps users to find available information resources as an online service within in the intranet.

At the same time, the web environment has become a widely adopted development and delivery platform, for instance, Web 2.0 is quickly growing because contents are mostly generated by users and it represents now a wide and border source of information that can be used for many purposes as mentioned in many projects that are constructed by using Web 2.0 technologies.

Internationally, the concept of Web 2.0 was deeply enrooted from the international symposium that was hosted by O'Reilly and MediaLive. However, there was no clear definition of Web 2.0 and only an initial discussion of its principles was available. Furthermore, some of fundamental attributes were focus on such as: interaction, participation, and sharing. In contrast to Web 1.0, Web 2.0 is characterised by services rather than software, and its platforms include any devices that can be connected to the web rather than just personal computers.

The scope of Web 2.0 is very broad since it includes social networks, search, multimedia, portal, online entertainment, and electronic business.

We were inspired by two main research works. Firstly, in Chen and Wang (2005) a brief overview of Web 2.0, social media, and creative consumers were provided. The challenges and opportunities that these phenomena present to managers generally and to international marketers and their strategies in particular were explored.

Authors like Chen and Wang (2005) proposed five axioms in order to give a clear vision and understanding to the managers:

- 1 social media are always a function of the technology, culture, and government of a particular country or context
- 2 local events rarely remain local
- 3 global events can be interpreted locally sometimes
- 4 creative consumers, actions, and creations are also dependent on technology, culture, and government
- 5 the managerial recommendation is the basic feature and the heart of these axioms that help directly and continually to stay up to date on the technological advancement and economical development that both lead to the globalised world.

Secondly, authors in Bhargava et al. (2007) presented a functional model of social media and its application to business intelligence (BI). Their study explored the application and the role of Web 2.0 concepts within BI applications. It classified the functions that are provided in social media platforms to foster the user collaboration and contribution.

More precisely, they developed an argument that the social nature of organisations implies the support of the collaboration and interaction between end-users of a BI system would be a useful addition to the standard BI system functionality.

### 2.3 *Background on AHP applications*

We have adopted the AHP method for many reasons. The main advantage of this method is to identify and to highlight the levels or categories of criteria. In this case, the complex problem is decomposed into sub simpler problems in a hierarchical structure (Saaty, 1997). AHP is very popular for the following reasons: it does not require advanced knowledge in mathematics. It is able to handle and solve qualitative factors, and the exploitation of the experience and expertise of experts (Rabelo et al., 2007). However, this method does not allow us to give a discriminating criterion for an alternative directly.

Much work has been developed in the literature, we can cite for example:

The authors cited in Lai et al. (2002) described a study where they suggested to use the AHP methodology for software selection that is called multimedia authorising system (MAS). They used the group decision-making technique, which included six software engineers. Three products of MAS were evaluated. The hierarchy of the pairwise comparison was formed that consisted of four levels. The criteria in the level three were evaluated. These criteria were: development interface, data file support, multimedia support, graphics support, cost effectiveness, and vendor support.

Another application of AHP has been described in Al Harbi (2001): herein, AHP has been applied in the field of project management in order to select the best contractor.

The main idea behind this work is to construct a hierarchical structure for the pre-qualification criteria, and the contractors who desire to qualify for the project. Generally, five contractors were considered in the case study. They were estimate based on the criteria of experience, quality performance, financial stability, equipment resources, manpower resources, and current workload. Every one of the contractors was compared pair-wise with the other for the different criteria mentioned on top. Classifying among the different criteria was also done to get out the overall priority of each contractor. The best contractor was selected on the basis of this overall priority. The contractor selected had the highest overall priority value.

Another interesting work (Al Khalil, 2002) proposed to use AHP in order to select the most appropriate project delivery method as a key project success factor. Whereas authors in Byun (2001) used an extended version of AHP in the selection of a car. The paper concentrated on two issues: one combines the pair-wise comparison with a spreadsheet method using a five point rating scale; the other applies group weights to consistency ratio. Furthermore, we can cite another approach that used AHP in vendor selection of a telecommunication system, which was a complex, multi-person, multi-criteria decision problem. They found AHP to be very useful and helpful in involving several decision makers with different conflicting objectives to arrive at a complete agreement and a consensus decision as a result the decision process is systematic and it reduces time to select the vendor (Tam et al., 2001). For selecting quality-based programs, researchers had used AHP along with fuzzy approach in Noci and Toletti (2000).

### 2.4 *Our contribution*

Collaborative decision-making is a concept which has been gradually emerged over the past years, and it has been the subject of numerous studies in various domains of applications such as design, production management, and resource allocation (Bessedik and Taghezout, 2015).

Our aim is to take a benefit from the collaborative work which is offered by the web-based DSS collaborative interface in order to improve collaboration among human operators, who possess expertise in industrial diagnostic by using some artificial intelligence tools in order to effectively share experiences, to collect, transform knowledge from tacit to implicit, and to solve resources problems.

The main objective of this paper is to suggest using an agent-based approach as a practical way to implement a WEB DSS. The developed system focuses on the establishment of resource diagnosis by considering two situations (agent based execution or discussions among human agents as collaborative work). ALFATRON enterprise is considered as a candidate for our experimentation. In this paper, we make two contributions and we describe them as bellow:

- First, the WEB DSS is implemented to use agents their communication and interaction allow us to exploit the advantages of a distributed architecture. The use of agents in order to automate certain task can make the implementation of WEB DSS faster. Relatively compared to the problem, the coordinator agent (COA) executes a coordination algorithm, which allows it to manage the interactions of agents on time and prevents or treats conflicts that is why its role is essential. We also describe the domain ontology for electronics industry. This DSS uses the ontology to provide a unified and standard vocabulary of the domain. It will be used for inconsistencies management.
- Second, the developed collaborative platform (DSS Network) allows human operators to communicate with each other to find the best solution to a resource failure. AHP methodology is then applied by execution a reactive that provides a ranking of delivered solutions.

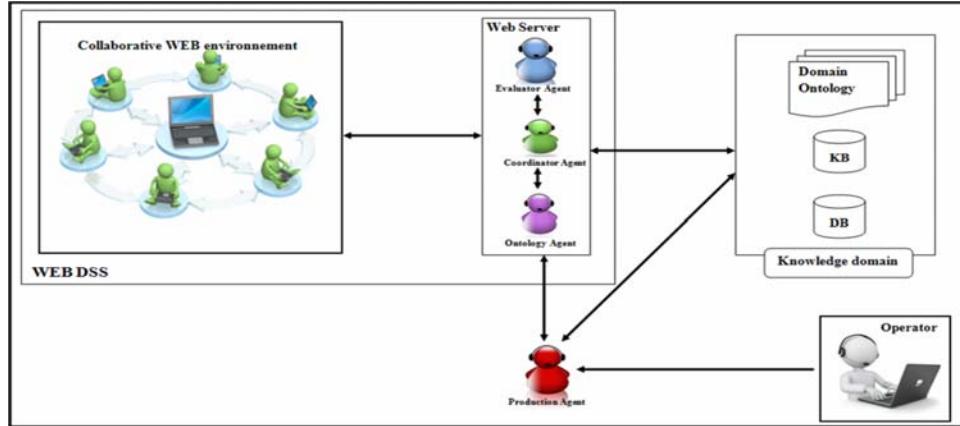
### **3 Framework and architecture**

Our current work provides the base functionality needed to integrate agents into a DSS for the purpose of automating more tasks for the decision making, enabling more indirect management, and requiring less direct manipulation of the DSS. We propose an integrated approach for the development of a WEB DSS that is adapted to industrial enterprise's needs.

Our approach focuses on the development of a collaborative work platform (DSS network) by using Web 2.0 technologies. This platform enables different production agents (PAs) to collaborate and coordinate their tasks to resolve problems that are related to resource failures. The available workspace provides a set of tools that allow agents to communicate through the platform.

The proposed architecture is decomposed into three parts: *WEB DSS* (collaborative web environment and web server [evaluator agent (EA), COA, and ontology agent (OA)], *knowledge domain* and *PA*).

**Figure 1** The proposed model (see online version for colours)



### 3.1 The collaborative decision-making process

Our study focuses on the use of social-networking in a web-based DSS. This DSS network will facilitate interaction, discussion and the sharing of information among production operators, especially to deal with nominal situations of resource faults.

Figure 2 shows the collaborative decision-making process as a part of general system functioning, it is composed of several phases as follows:

- First, the human operator is considered as a simple participant that must enter the personal information during the identification interface as it is visualised in the home page of the web collaborative platform. The input data are controlled at the web server (http server).
  - Once identified, the user can post his problem; he can also add more keywords in the same time PA is created. This agent collects the entered data from the data server.
  - The description problem is saved and sent to the COA: a simple test is applied on the case base. If the research on the case-base is successful, we will find a similar case. We continue the process given next, but this is possible if the problem is recognised as a familiar problem which means that the semantic aspect is included in the domain.
  - Then, the OA retrieves the received keywords (from PA), it searches in the domain ontology (server DD) and sends the obtained results to the COA (the similar key-words). OA has been designed to provide an active and an intelligent management of the model by using a knowledge base and domain ontology.
  - At this time, the COA retrieves all data in relation to the process; it conducts a complete research at the data level (data server) and sends the obtained results to the user agents (similar problems).
  - The COA carry out tasks such as conflict management, resource allocation, task allocation and synchronisation. It also provides useful information to the agents as needed. Besides, it checks if there is no failure or blockage in the agents.

- Finally, the PA retrieves and recommends some solutions to the user. After obtaining this information from the knowledge engine, the user may visit the collaborative platform to exchange, share, and discuss his experience with other users (other PAs). Otherwise, it logs out.
- If the COA does not find any similarities between the registered cases that exist in its base and the open problem, then, it will notify the production manager and designate him (if he agrees) as facilitator or mediator.
- The facilitator begins a collaboration session and invites participants (operators) to provide solutions to the problem.
- The proposals that are submitted by the participants will be sent to the COA, this latter will solicit the EA for ranking solutions.
- The solution is then displayed by the output agent on the interface allowing the operator to study and comment on the solution.

### *3.2 The descriptive agents*

The most important agents that are used in our approach are defined as follows:

#### *3.2.1 The PA structure*

When the human operator connects to the collaborative interface, the corresponding PA is automatically created. It captures all the human preferences, and stores the problem that is formulated by the operator in some key-words.

#### *3.2.2 The COA structure*

Figure 3 gives the internal structure of this agent. We identify here some modules such as decision module, learning module, and prevention module.

#### *3.2.3 The EA role*

It is the agent who is responsible for applying the AHP method to classify the solutions according to the following criteria: cost, success rate, and the repair time.

#### *3.2.4 The OA*

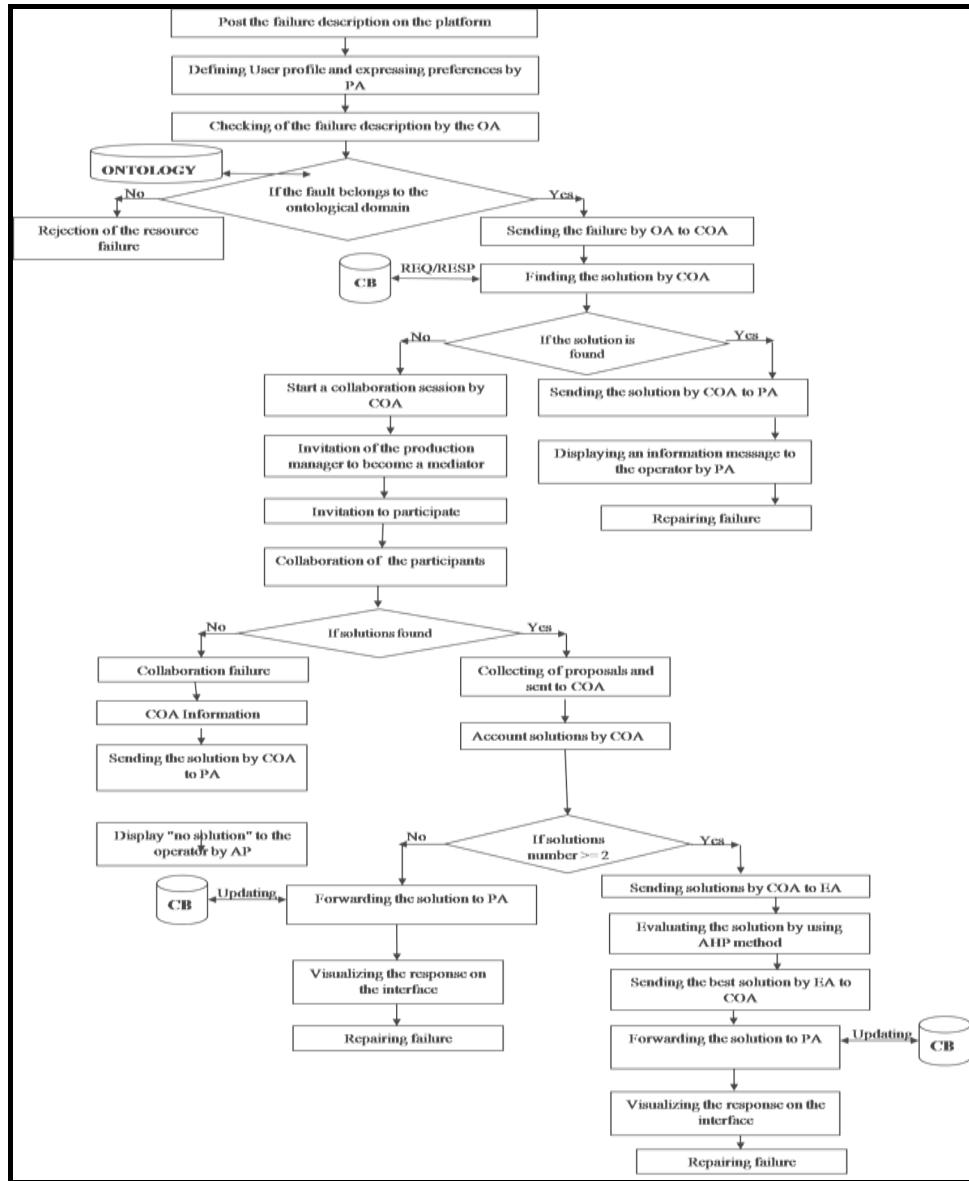
This is the most important agent in our system. It retrieves the data from the PA then it consults the ontology domain and extracts all similar concepts to those of the original problem. The COA receives the comparison result from the OA.

#### *3.2.5 Our domain ontology*

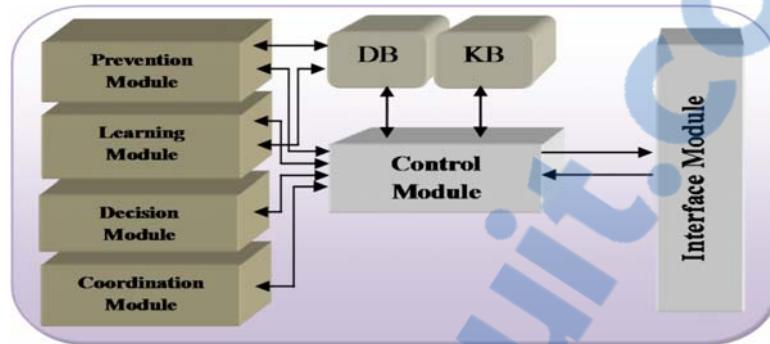
Our domain ontology is developed by acquiring knowledge from documents, collection, and capitalisation of business rules. It is related with domain experts and the interviews

and company managers. Currently, we have implemented our ontology in protégé 4.0.2. Figure 4 depicts an overview of the main concepts and classes of the domain ontology that is applied to a maintenance enterprise.

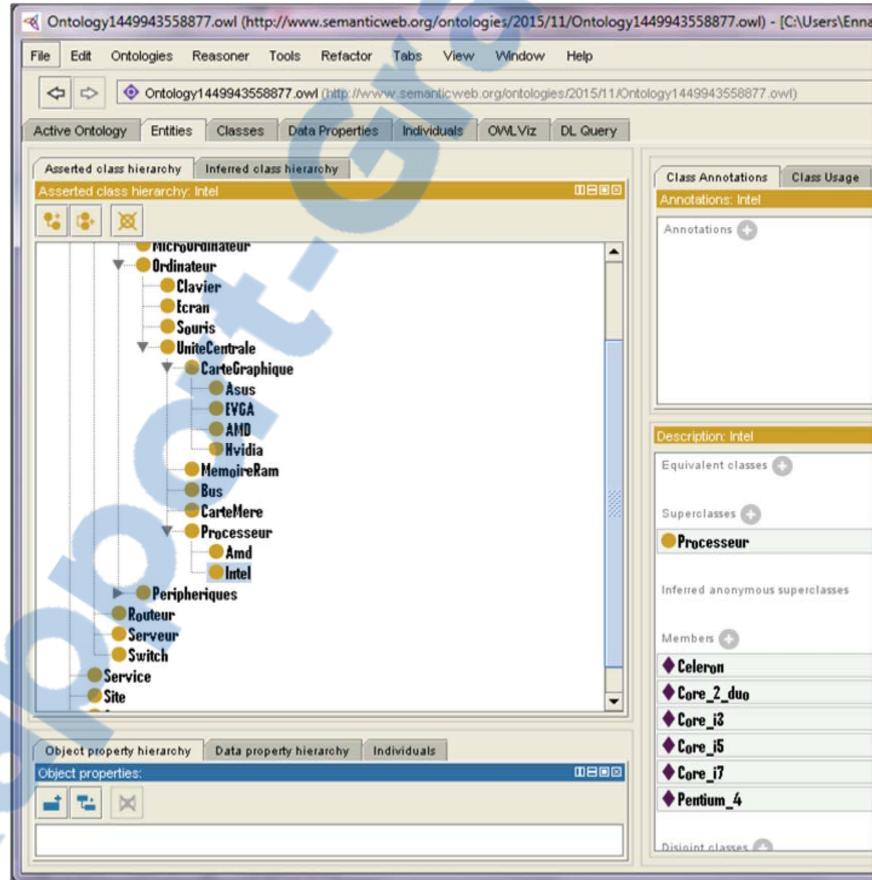
**Figure 2** Our collaborative decision-making process



**Figure 3** Internal architecture of the COA (see online version for colours)



**Figure 4** A partial view of the domain ontology created in protégé 4.2 (see online version for colours)



### 3.2.6 The COA and the case-based reasoning

The main objective behind the coordination agent is that it can prevent the blockage of the system if one and more than agent breaks down. Moreover, the multi-agent platform allows the message transfer and coordination among agents through the communication language, or through the coordination mechanism. The COA is the heart of our architecture; it provides reasoning capabilities according to case-based reasoning (CBR) paradigm.

Here, a case consists at least of a problem description (e.g., symptoms, faults) and a solution (e.g., a therapy, or an action of cure). The particularity of the prevention module is preventing failures. The algorithm presented in Figure 5 summarise the most important phases in CBR.

To solve the problems, we rely on the competence of experts and the expertise of the managers. In some cases, we use past situations that have a very large degree of resemblance; this type of event is stored in the case base. Thus, we compare the current situation to build a new solution. For a given problem, the search is performed in the domain ontology by calculating the distance between the keywords, which are contained in the problem statement.

**Figure 5** Coordination algorithm

```

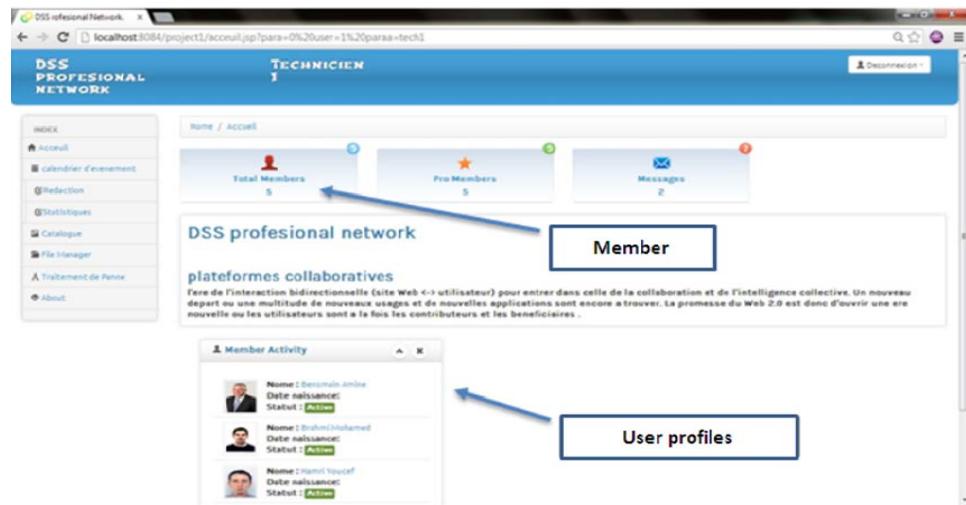
Coordination algorithm;
COA, OA, PA, EA, agents;
CB, Case Base;
Problem = case;
Source case = existing case in the CB;
Target case = new case;
Begin
COA receives the fault sent by OA;
Repeat (COA search problem in its CB) until (find a similar case);
If (Problem == source case) then (COA retrieves solutions and sends to AP)
Else (problem == target case) COA launch the collaborative decision making process session;
End if;
If (solutions found during the collaborative session) then
Begin
Send solutions to COA;
COA counts the number of solution;
End;
If ((solutions number >= 2)) then
Begin
COA sends solutions to EA;
COA receives the best solution from EA;
COA updates its CB;
COA sends the solution to PA;
End;
else
Begin
COA updates its CB;
COA sends the solution to PA;
End;
End if;
else
COA receives a message "No solution";
End if;
End.

```

#### 4 Issues of implementation

The manufacturing system is composed of several resources (machines), a brief description is given. Sometimes one or more resources fails, the corresponding state is given in Figure 6.

Figure 6 The developed Web 2.0 based platform (DSS network) (see online version for colours)



JADE platform is used in order to implement all the agents. Furthermore, we choose to create the ontology the well known editor protégé 4.0.2.

##### 4.1 Evaluation

According to the graph, we see that in the first case: the estimated time by the EA is invaluable because in this case there is only one solution that is to say, it has no conflict for the choice of the solution thus automatically EA is not working. While in the other two cases, we see that the EA has a very important role in the selection of the best solution.

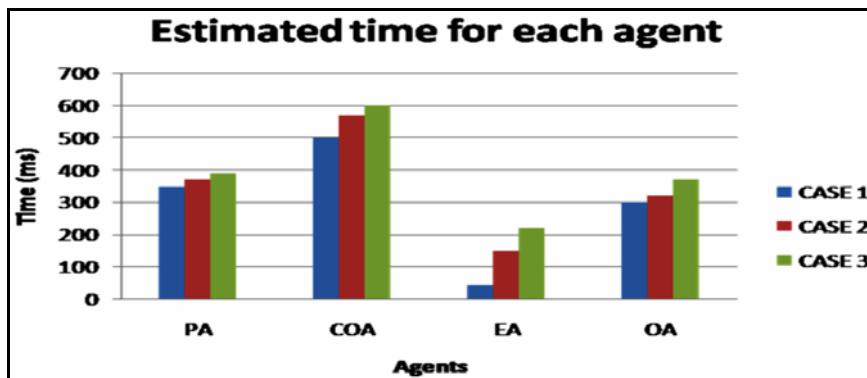
The COA has a maximum load rating since it supervises and coordinates all the tasks of the different agents in addition to its role in initiating of the collaboration.

###### 4.1.1 Estimation of the resolved cases

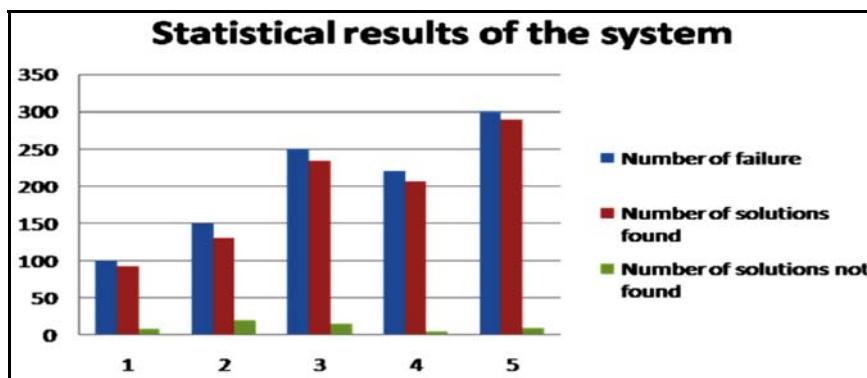
In the chosen enterprise, we faced three situations. The first is dedicated to a production workflow without any disturbances. This curve serves as a repository path for the rest of the developed application experiments. As for the second situation, it handles failures that may disturb the production process. The most relevant resources failures are listed in a table (see Table 1).

**Table 1** Some results on the execution of our system

Number of failure	Number of solutions found	Number of solutions not found
100	92	8
150	130	20
250	234	16
221	206	5
300	290	10

**Figure 7** Time execution of agents involved in problem resolution (see online version for colours)

A graph is then drawn to illustrate the number that corresponds to the resolved problems by using our system.

**Figure 8** Statistical results obtained from the execution of our system (see online version for colours)

The results obtained after the unfolding of several examples, we can say that our system helps us a lot in the decision making.

#### 4.1.2 Agent's performance calculation

Performances of each agent are calculated as in (1):

$$Per(A_i) = NE/NR * 100 \quad (1)$$

- $Per(A_i)$ : performance agent  $A_i$
- $NE$ : number of messages sent from COA to the agent  $A_i$
- $NR$ : number of messages received by COA from agent  $A_i$ .

Failure rate: the failure rate of an agent is calculated by using the formula below:

$$Failure\ rate(A_i) = Failure\_Nbre(A_i)/Msg\_Nbre(A_i) \quad (2)$$

- $Failure\_Nbre$ : the number of failure messages (performative = failure) sent by agent  $A_i$
- $Msg\_Nbre$ : the total number of messages sent by the agent  $A_i$ .

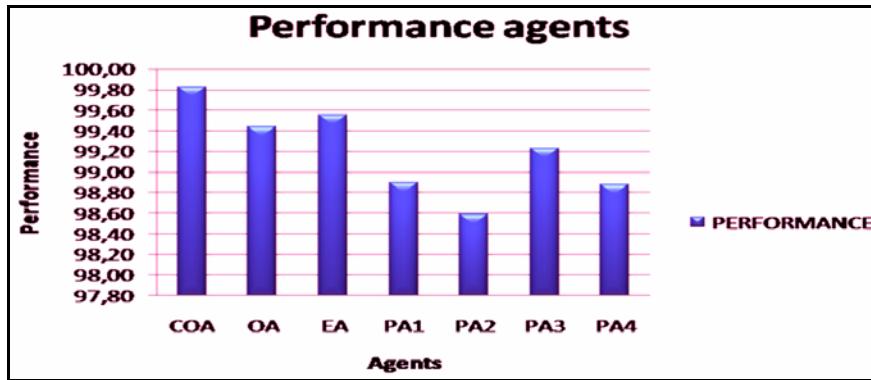
In Table 2, COA sends 2,324 messages including four failure messages, which means it can not correctly solve all its treatments, it offers a rate failure equal to 0.99. In addition, the failure rate of our system is the average of all agents failure rate; this is equal to 0.78%. In Table 2, agent's performances are evaluated by COA by using the formula given below (3). We note that failure rates are very low and this is due to the decentralised architecture of our system that has helped minimise stains and lighten the added functionality of agents. The coordination protocol plays an important role since it offers a very small number of interactions and hence no overhead in processing messages.

**Table 2** Calculation of the agent's performance

Agents	Number of messages sent	Number of received message	Performance
COA	2,324	2,320	99.83
OA	1,256	1,249	99.44
EA	2,255	2,245	99.56
PA1	3,447	3,409	98.90
PA2	1,278	1,260	98.59
PA3	2,867	2,845	99.23
PA4	1,955	1,955	98.87

The OA sends 1,256 acknowledgement messages as a response to the COA. The OA receives 1,249 messages from the COA. This gives a performance rate of 99.44%. The performance rate of our system is the average of all involved agents, which give an average of 99.83%.

From Table 2, we can see that our system has succeeded to give us a very low failure rate that is due to the distributed architecture of our system. The results of Table 2 are graphically presented in Figure 9.

**Figure 9** Performance of agents (see online version for colours)

#### 4.1.3 Illustrations of the AHP method

We start by giving various levels of decomposition of the problem addressed.

- *level 0 (target goal)*: choose the best solution
- *level 1 (decision criteria)*: cost, repair time and success rate
- *level 2 (alternatives)*: solution 1, solution 2, and solution 3.

Here, we compare the relative importance of all elements belonging to the same hierarchy level taken two by two, relative to the element of the next higher level. We rely on the following scale (Table 3) to set preferences for the criteria studied.

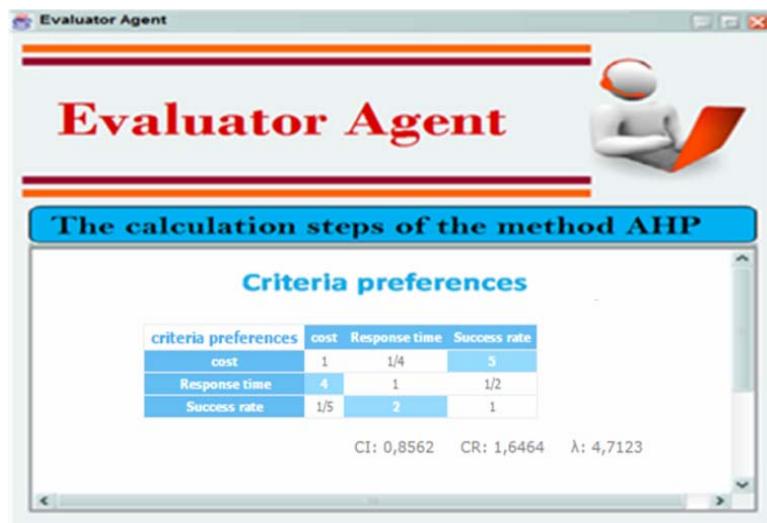
**Table 3** Gradation scale for quantitative comparison of alternatives

Option	Numerical value(s)
Equal	1
Marginally strong	3
Strong	5
Very strong	7
Extremely strong	9
Intermediate values to reflect fuzzy inputs	2, 4, 6, 8
Reflecting dominance of second alternative compared with the first	Reciprocals

##### 1 Level 1 matrix: decision criteria

Potential partners must meet existing partners (cost, repair time, success rate) to which they are dependent. However, the intensity of interdependencies differs from one partner to another, which results in priorities between partners to meet. The values of the dependency graph of the dependencies of intensities are used to determine these priorities (Figure 10).

**Figure 10** Pairwise comparisons among objectives (see online version for colours)

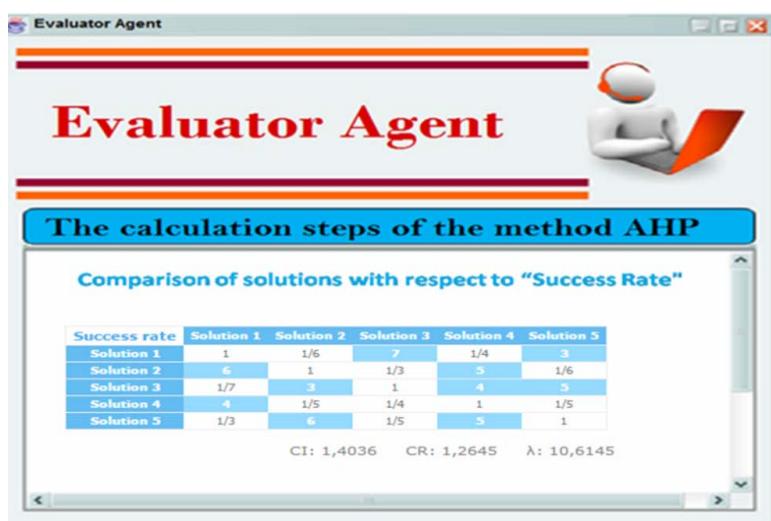


## 2 Level 2 matrices: the sub criteria

The sub-criteria in our case are the solutions: solution 1, solution 2, and solution 3. It depends on the context and nature of the dependence that criteria may grant different importance to the solutions (Figures 11, 12, 13).

**Figure 11** Comparison of solutions with respect to 'cost' (see online version for colours)



**Figure 12** Comparison of solutions with respect to 'repair time' (see online version for colours)**Figure 13** Comparison of solutions with respect to 'success rate' (see online version for colours)

**Figure 14** Final results selected by EA (see online version for colours)



(a)

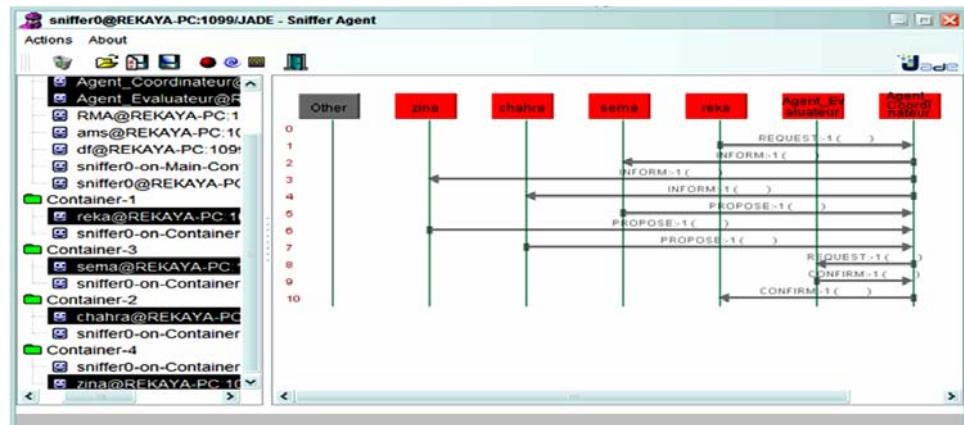


(b)

**Figure 14** Final results selected by EA (continued) (see online version for colours)

(c)

The agents communicate with each other via the JADE platform (Figure 15).

**Figure 15** The communication between agents via the JADE platform (see online version for colours)

- *REQUEST*: PA detects the fault and requests the CA to provide a solution for its failure
- *INFORM*: CA inform other PA for the solution they seek in their CB
- *PROPOSE*: PAs propose solutions to CA
- *CONFIRM*: CA confirms the solution to the PA.

#### 4.1.4 Discussion of the results

The advantage of the proposed approach is that it can prevent the blockage of the whole system, and increase the operating efficiency. Moreover, the multi-agent platform allows the message transfer and coordination among agents through the communication language, or through the coordination mechanism. The COA is the heart of our architecture; it provides reasoning capabilities according to CBR paradigm. As mentioned in Shim et al. (2009), it is known that CBR utilises the stored knowledge that is obtained from previous situations to resolve new problems (cases). A case consists at least of a problem description (e.g., symptoms, faults) and a solution (e.g., a therapy, or an action of cure). The prevention module is in permanent execution to prevent failures and deadlocks already encountered.

By using the DSS network, decision-makers will be able to participate in the discussion in a natural way. Moreover, the proposed framework is used to examine how PAs can share and exchange experiences that are related to diagnosis and resources failures with each other to have new ideas or useful information for the decision-making process.

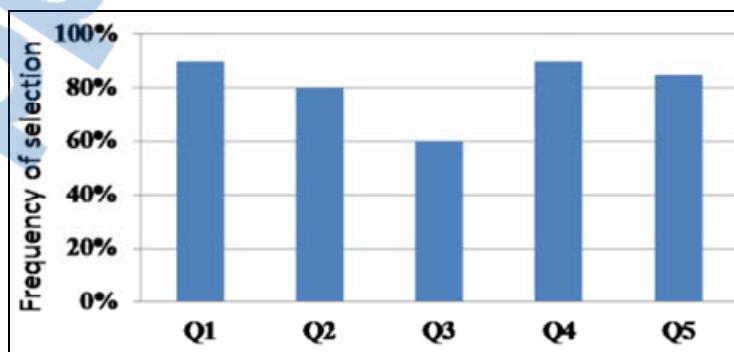
Finally, the overall decision-making process concerning the selection of the most appropriate solution of the problem that is posted by the PA is augmented by the reasoning that is launched by the COA.

#### 4.1.5 Evaluation of the platform usability (via the questionnaire)

An evaluation of a system usability was conducted through a questionnaire to show the effectiveness of the proposed platform. We get inspired by the questionnaire given in Gudigantala et al. (2011) and developed our questions according to the system we suggested. The questionnaire was distributed to 20 users consisting of experienced and un-experienced users, including senior managers of the enterprise, which is a candidate for our study.

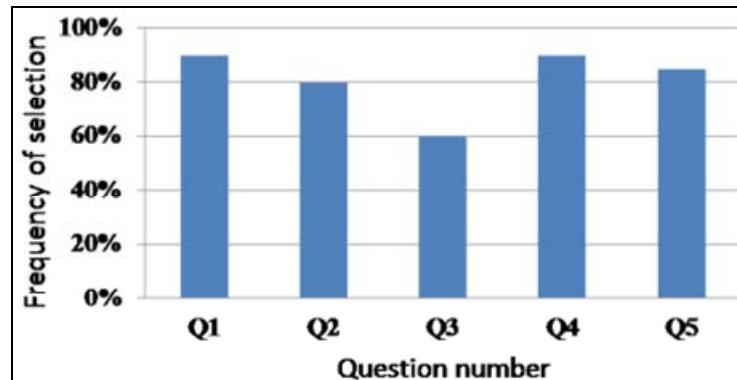
Figure 16 shows the usability results that are obtained from the questionnaire. For each question, we assigned a weight. At the end, we count the sum of weight to find the user's satisfaction level. Some questions of the questionnaire are resumed in the Appendix.

**Figure 16** Answers statistics operators of the collaborative platform (a) accessibility (b) navigation (c) design (d) content (e) security (f) collaborative firm (see online version for colours)

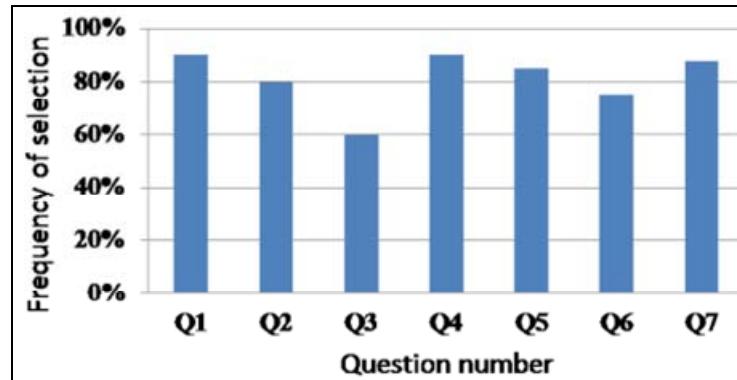


(a)

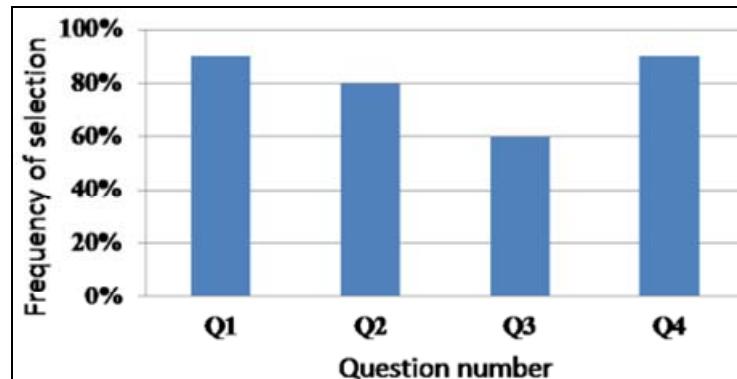
**Figure 16** Answers statistics operators of the collaborative platform (a) accessibility (b) navigation (c) design (d) content (e) security (f) collaborative firm (continued) (see online version for colours)



(b)

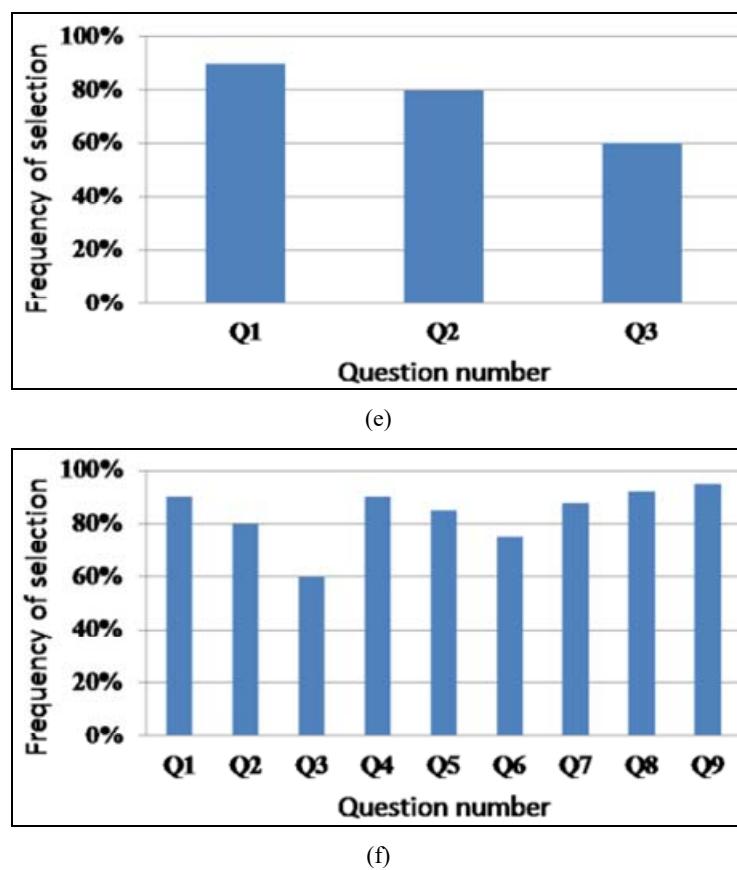


(c)



(d)

**Figure 16** Answers statistics operators of the collaborative platform (a) accessibility (b) navigation (c) design (d) content (e) security (f) collaborative firm (continued) (see online version for colours)



We proposed a questionnaire composed of six categories mentioned above to 20 users of the platform. We have collected the answers to questions and we got the results presented in Figure 17. According to the results, we concluded that the system could be improved to increase design and content. This can be achieved by adding new collaborative environmental assessment issues.

#### 4.1.6 Comparison with other diagnosis systems

We compare our system with four other systems dedicated to the diagnostic task: multi-agent-based diagnostic data acquisition and management in complex systems (MAGIC) (Kersten and Noronha, 1999) distributed architecture for monitoring and diagnosis (DIAMOND) (Bharati and Chaudhury, 2004), contract net based medical diagnosis system (CMDS) (Iyer et al., 2005) and the work that is developed in Guntzer et al. (2007).

The cooperation between agents for collective decision making: MAGIC in decision making is performed by a single agent while in DIAMOND; it is distributed over several diagnostic agents. However, there is a real cooperation for the diagnosis overall. CMDS system describes a cooperative problem resolution by the medical agents. In Guntzer et al. (2007), the problem solving system is shared between the operator agent, manager agent, similarity agent and knowledge agent. In our system, we focus on the collaboration and coordination protocol that is executed by the COA.

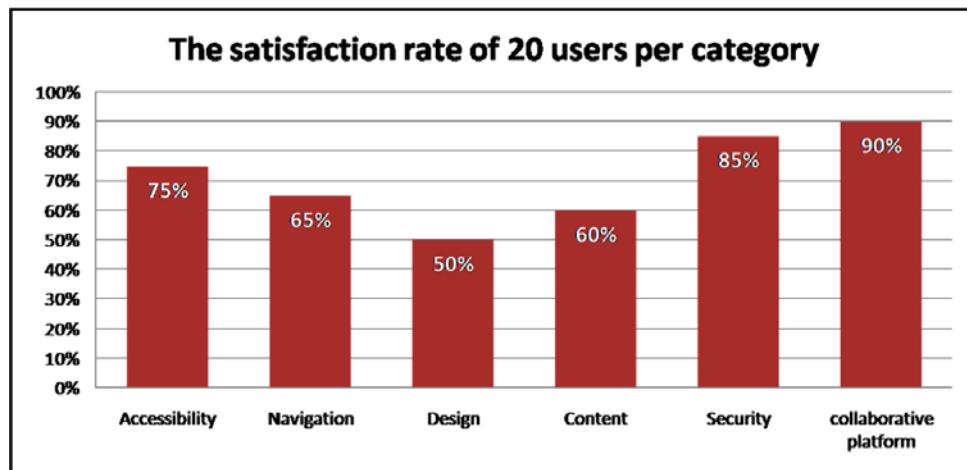
Scope of application: MAGIC and DIAMOND systems are dedicated to the industrial diagnostic; CMDS is specialised into the medical diagnosis. Our system is dedicated only to the industrial domain.

After identifying the problem, operators can use the developed collaborative decision-making in order to find some solutions to their problem in two ways. First, throughout case based reasoning, it compares the target case to source cases based on the COA strategy (here it's the role of the COA). Second, it invites operators to collaborate together and solve their problem. The system will use AHP methodology to find solutions according to human's preferences. All agents cooperate and collaborate for a final decision making.

In comparison with other works that were previously mentioned, the system that we proposed is mainly based on a new collaborative decision-making process that uses knowledge. It is manipulated by the cognitive agents as the COA. Our objective is to involve human operators at the beginning, and take benefit from the computational collective intelligence. Experts and managers with their domain knowledge are required to participate in this project in order to construct the domain ontology and several knowledge bases especially the global case base.

Here, collaboration is done in two phases: the first is used to generate solutions to the various problems that are posted by the operators. The second is related to the ranking of the some solutions by using AHP methodology for the classification of solutions taking into account the operators preferences for the final vote.

**Figure 17** Evaluation of the platform usability (see online version for colours)



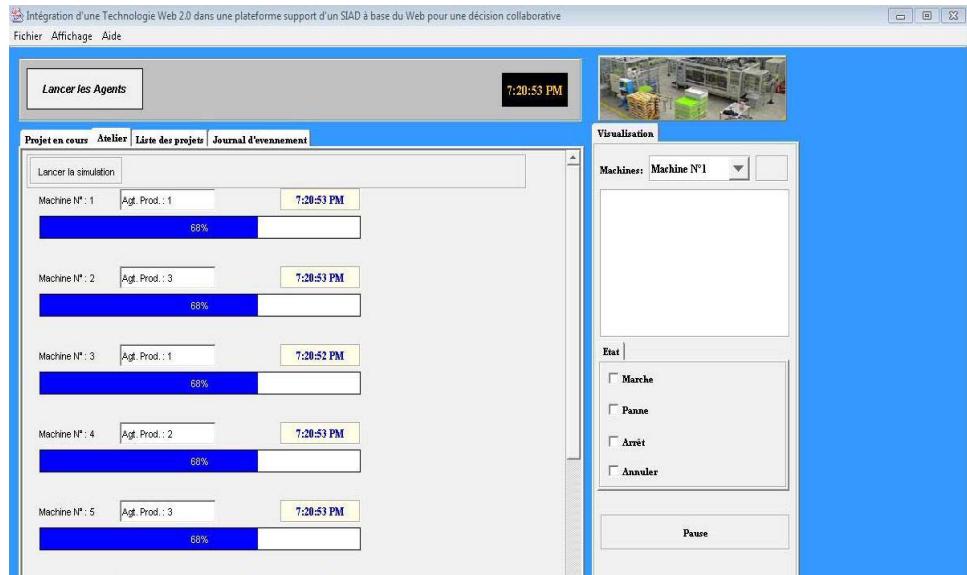
**Table 4** Comparison with other industrial systems

<i>Work reference</i>	<i>Köppen-Seliger et al. (2004)</i>	<i>Albert et al. (2002)</i>	<i>Iantovics (2009)</i>	<i>Benkkadour et al. (2016)</i>	<i>Our system</i>
WEB application	No	No	No	No	Yes
Distinction between detection and analysis steps	Yes	Yes	No	No	No
Detection step	Distributed	Distributed	-	-	Distributed
Analysis step	Centralised	Distributed	-	Centralised	Distributed
Cooperation between agents for collective decision making	No	No	Yes	Yes	Yes + collaboration
Application domain	Industrial	Industrial	Medical	Industrial	Industrial

## 5 Example

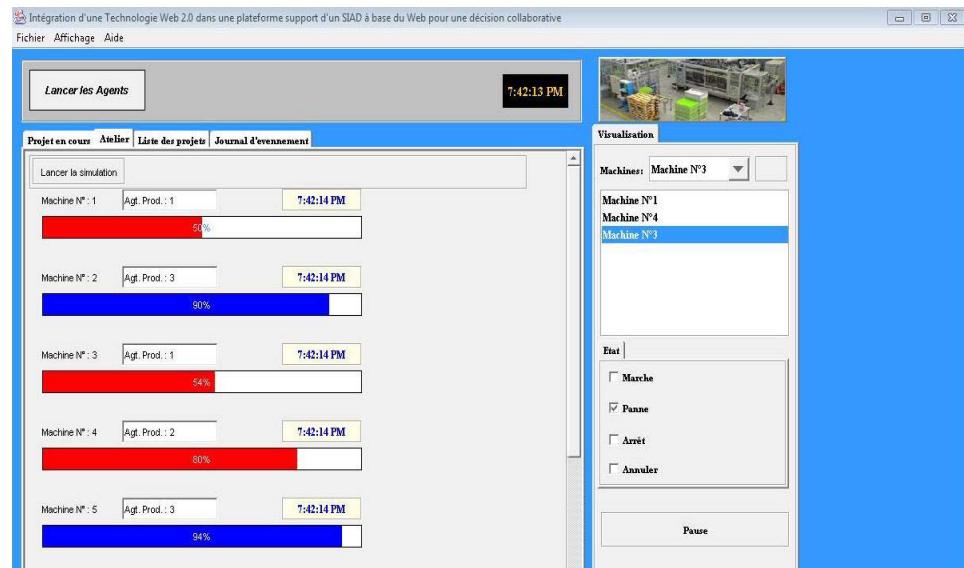
The manufacturing system is composed of several resources (machines), a brief description is shown in Figure 18.

**Figure 18** Running machines (see online version for colours)

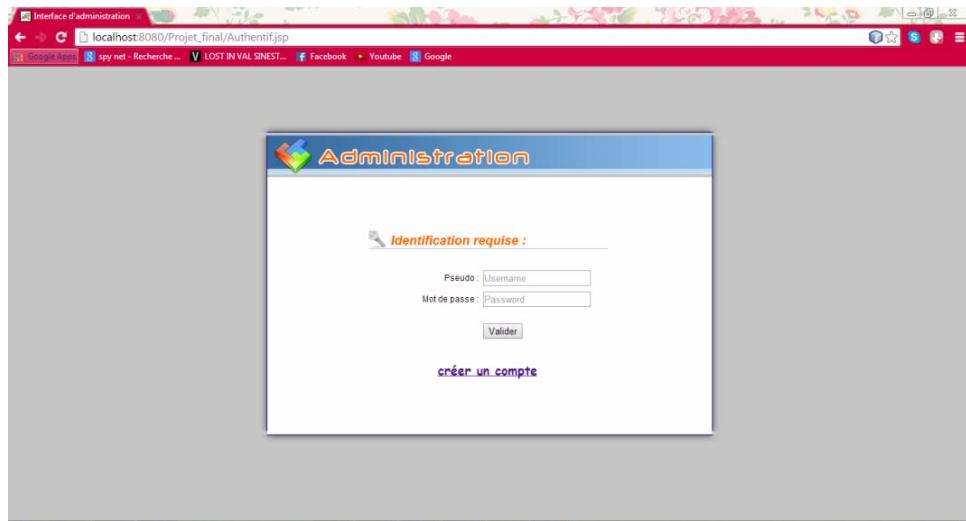


Sometimes, one or more resources fail, the corresponding state is given in Figure 19.

**Figure 19** State failure (see online version for colours)



**Figure 20** The client authentication page (see online version for colours)



**Figure 21** The home page of the web collaborative platform (see online version for colours)



After the detection of a fault, PA manager of the workshop will recover all the information from this fault and send them to COA and other PA that are connected via the collaborative platform.

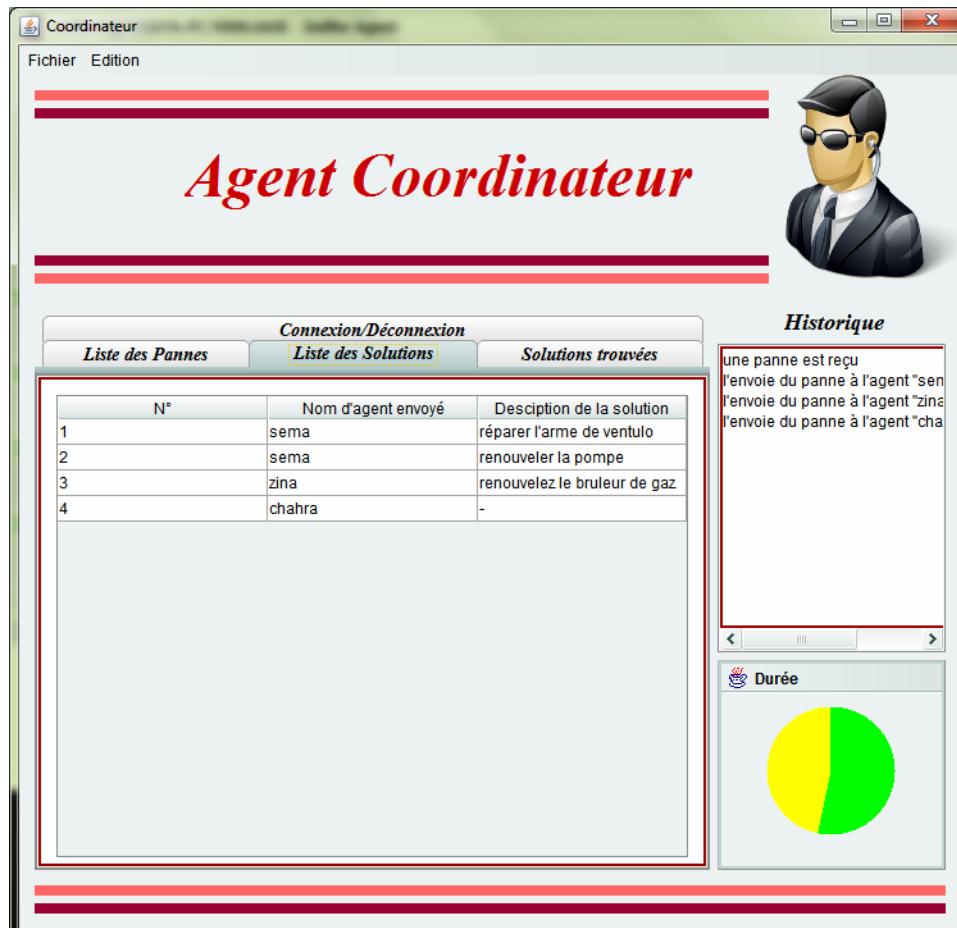
Above all, PA must first connect to the collaborative platform (show Figure 20 and Figure 21).

The information previously sent will be received by the COA (show Figure 22).

**Figure 22** The reception of the failure by the COA (see online version for colours)

Figure 23 shows that the HCA has received several solutions by the connected PAs, the question arises: which of the COA solution will be sent to the PA that has the failure? The answer is that the COA will send the solution to EA that will apply the AHP method, and then it will send the best solution.

**Figure 23** The reception solutions by COA (see online version for colours)



## 6 Conclusions

Really speaking, the proposed approach will be interwoven with agent technologies, which are able to facilitate a certain number of decision maker's tasks as well as to automate system's processes.

Furthermore, our system tackles problems that are addressed geographically through the collaboration between dispersed decision-makers. We argue that the use of a domain ontology will help to build more intelligent application. Consequently, the exchange of knowledge amongst the decision-makers (participants) will be more efficient, facilitating their communication and collaboration.

In this paper, we have proposed a coordination protocol for a multi-agent system applied to a dynamic production management. This decentralised approach involves each agent in the environment having the necessary information to make autonomous decisions, while a common goal is reached through cooperation among the community.

The AHP provides a simple and efficient method to solve problems. As mentioned in Ishizaka and Labib (2001), AHP has reached the compromise and will be useful for many other cases as it has been in the past. We have validated our decision-making mechanism on a very simple example of manufacturing and it would be very interesting to adapt in more complex model.

To conclude, as future directions of our work, we suggest to:

- integrate fuzzy parameters in AHP analysis
- improve the coordination algorithm to make it decentralised.

## References

- Al Harbi, K.M. (2001) 'Application of AHP in project management', *International Journal of Project Management*, Vol. 19, No. 4, pp.19-27.
- Al Khalil, M.I. (2002) 'Selecting the appropriate project delivery method using AHP', *International Journal of Project Management*, Vol. 20, No. 6, pp.469-474, DOI: 10.1016/S0263-7863(01)00032-1.
- Albert, M., Langle, T. and Woern, H. (2002) 'Development tool for distributed monitoring and diagnosis systems', *Karlsruhe Univ.*
- Banias, G., Achillas, C.H., Vlachokostas, C.H., Moussiopoulos, N. and Papaioannou, I. (2011) 'A web-based decision support system for the optimal management of construction and demolition waste', *Waste Management*, Vol. 31, No. 12, pp.2497-2502.
- Benkkadour, F., Taghezout, N. and Ascar, B. (2016) 'A novel agent based-approach for industrial diagnosis: a combined use between case-based reasoning and similarity measures', in *IJMAI*, in press.
- Bessedik, I. and Taghezout, N. (2015) 'Impact of social-networking on collaborative multicriteria web based decision-support system (CMWEB – DSS)', in *International Conference on Decision Support System Technology ICDSST*, Belgrade, ISBN: 978-86-7680-313-2.
- Bessedik, I., Taghezout, N. and Saidi, A. (2012) 'Web 2.0 integration in a web-based DSS: effect study of social networking on decision-making', in *International Journal of Web Applications (IJWA)*, Vol. 4, No. 2, pp.69-7, ISSN: 0974-7710.
- Bharati, P. and Chaudhury, A. (2004) 'An empirical investigation of decision-making satisfaction in web-based decision support systems', *Decision Support Systems*, Vol. 37, No.2, pp.187-197.
- Bhargava, H.K., Power, D.J. and Sun, D. (2007) 'Progress in web-based decision support technologies', in *Decision Support Systems*, Vol. 43, No. 4, pp.1083-1095.
- Bing-hai, Z., Shi-jin, W. and Lifeng, X. (2008) 'Agent-based decision support system for dynamic scheduling of a flexible manufacturing system', *International Journal of Computer Applications in Technology*, Vol. 32, No. 1, pp.47-62.

- Bonabeau, E. (2002) 'Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, No. 3, pp.7280–7287.
- Briand, C. and Roubellat, F. (2000) 'Contribution au pilotage réactif', *GRP*, pp.23–24.
- Byun, D.H. (2001) 'The AHP approach for selecting an automobile purchase model', *Information and Management*, Vol. 38, No. 5, pp.289–297.
- Chen, Y.M. and Wang, S.C. (2005) 'Framework of agent-based intelligence system with two stage decision making process for distributed dynamic scheduling', *Applied Soft Computing*, Vol. 7, pp.229–245.
- Ching, S.N.D. and Ananth, S. (2013) 'Agent-enabled service-oriented decision support systems', in *Decision Support Systems*, Vol. 55, No. 1, pp.364–373.
- Deshpande, S. and Cagan, J. (2004) 'An agent based optimization approach to manufacturing process planning', *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 126, No. 1, pp.46–55.
- Filip, F.G. (2008) 'Decision support and control for large-scale complex systems', *Annu Rev Control*, DOI: 10.1016/j.arcontrol.2008.03.002.
- Forth, J., Statis, K. and Toni, F. (2006) 'Decision making with a KGP agent system', *Journal of Decision Systems*, Vol. 15, pp.241–266, Lavoisier.
- Gao, Y., Shang, Z. and Kokossis, A. (2009) 'Agent-based intelligent system development for decision support in chemical process industry', *Expert System with Applications*, Vol. 36, No. 8, pp.11099–11107.
- Gudigantala, N., Song, J. and Jones, D. (2011) 'User satisfaction with web-based DSS: the role of cognitive antecedents', in *International Journal of Information Management*, Vol. 31, No. 4, pp.327–338.
- Guntzer, U., Muller, R. and Schimkat, R.D. (2007) 'Retrieval for decision support resources by structured models', *Decision Support Systems*, Vol. 43, pp.1117–1132, DOI: 10.1016/j.dss.2005.07.004.
- Iantovics, B.L. (2009) 'Cooperative medical diagnosis elaboration by physicians and artificial agents', *From System Complexity to Emergent Properties*, pp.315–339, Springer Berlin Heidelberg, ISSN: 1860-0832, DOI: 10.1007/978-3-642-02199-2, DOI: 10.1007/978-3-642-02199-2\_16, ISBN:978-3-642-02198-5.
- Ishizaka, A. and Labib, A. (2001) 'Review of the main developments in the analytic hierarchy process', in *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 11, pp.14336–14345.
- Iyer, B., Shankaranarayanan, G. and Lenard, M.L. (2005) 'Model management decision environment: a web service prototype for spreadsheet models', *Decision Support Systems*, Vol. 40, No. 2, pp.283–304.
- Janjua, N.K. and Hussain, F.K. (2012) 'Web@IDSS-argumentation-enabled web-based IDSS for reasoning over incomplete and conflicting information', in *Knowledge-Based Systems*, Vol. 32, pp.9–27.
- Jitti, J., Manop, R., Paveena, C. and Werner, F. (2009) *Sequencing Algorithms for Flexible Flow Shop Problems with Unrelated Parallel Machines, Setup Times, and Dual Criteria*.
- Kersten, G.E. and Noronha, S.J. (1999) 'WWW-based negotiation support design, implementation, and use', *Decision Support Systems*, Vol. 25, No. 2, pp.135–154.
- Köppen-Seliger, B., Marcu, T., Capobianco, M., Gentil, S., Albert, M. and Latzel, S. (2004) 'MAGIC: an integrated approach for diagnostic data management and operator support', *Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes 2003 (SAFEPROCESS 2003): A Proceedings Volume from the 5th IFAC Symposium*, Washington, DC, USA, 9–11 June 2003, Vol. 1, Elsevier.
- Kuljis, J. and Paul, R.J. (2001) 'An appraisal of web-based simulation: whether we wander?', *Simulation Practice and Theory*, Vol. 9, Nos. 1–2, pp.37–54.

- Lai, V., Wong, B.K. and Cheung, W. (2002) 'Group decision making in a multiple criteria environment: a case using the AHP in the software selection', *European Journal of Operational Research*, Vol. 137, No. 1, pp.134–144.
- Macal, C.M. and North, M.K. (2010) 'Tutorial on agent-based modelling and simulation', *Journal of Simulation*, Vol. 4, No. 3, pp.151–162.
- Noci, G. and Toletti, G. (2000) 'Selecting quality based programmes in small firms: a comparison between fuzzy linguistic approach and analytic hierarchy process', *International Journal of Production Economics*, Vol. 67, No. 2, pp.113–133.
- Park, H.S. and Tran, N.H. (2012) 'An autonomous manufacturing system based on swarm of cognitive agents', *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 31, pp.337–348.
- Rabelo, L., Eskandari, H., Shaalan, T. and Helal, M. (2007) 'Value chain analysis using hybrid simulation and AHP', *International Journal of Production Economics*, Vol. 105, No. 2, pp.536–547.
- Saaty, T. (1997) 'That is not the analytic hierarchy process: what the AHP is and what it is not', *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 6, No. 6, pp.324–335.
- Shim, J.P. et al. (2002) 'Past, present and future of decision support technology', *Decision Support Systems*, Vol. 33, No. 2, pp.111–126.
- Taghezout, N. and Zaraté, P. (2009) 'Supporting a multicriterion decision making and multi-agent negotiation in manufacturing systems', *Intelligent Decision Technologies Journal*, Vol. 3, pp.139–155.
- Tam, M.C.Y. and Tummala, V.M.R. (2001) 'An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system', *Omega*, Vol. 29, No. 2, pp.171–182.
- Yao, J. (2010) *Web-Based Support Systems*, 1st ed., Springer Publishing Company, Incorporated.
- Zaraté, P. (2007) 'A multi agent decision support system for real time scheduling', in *Proc. 4th International Workshop on Computer Supported Activity Coordination (CSAC) Funchal, Madeira, Portugal, 12–13 June*, pp.55–65.

## Appendix

### *Some relevant questions regarding the accessibility*

- Q1 Is the content structurally separate from navigational elements?
- Q2 Is the website cross-browser compatible?
- Q3 Is the website adapted to every computer resolution?
- Q4 Is the URL short and simple?
- Q5 Is the time of loading the home page correct?

### *Some relevant questions regarding the navigation*

- Q1 Are links labelled with anchor text that provides a clear indication of where they lead without over using exact match anchor text?
- Q2 What is the maximum number of clicks that it takes to reach a page within the depths of the site?
- Q3 Is a response given immediately (0.1 seconds) after a click is made on a hyperlink?
- Q4 Do clickable items stylistically indicate that they are clickable?
- Q5 How intuitive is it to navigate? Are signs obvious or obscured? Buttons/links like text that are not clickable and vice versa, links/buttons that cannot be identified as such?

### *Some relevant questions regarding the design*

- Q1 Is the site's design aesthetically appealing?
- Q2 Are the colours used harmonious and logically related?
- Q3 Are the colour choices visually accessible? (For example high enough in contrast to assist the colour-blind and visually impaired in reading the site appropriately)
- Q4 Is the design audience appropriate? The standard text size should be readable for visitors who don't know how to adjust their browsers.
- Q5 Are the fonts easy to read on various screen resolutions?
- Q6 The site is homogeneous from one page to another (no visual break)
- Q7 The number of colours is limited (correct = 4)?

### *Some relevant questions regarding the content*

- Q1 The update of content is regular?
- Q2 The grammar and spelling are correct?
- Q3 The title page easily identifies site content?

- Q4 Is the contrast between text and its background colour sufficient to make reading easy on the eyes?

*Some relevant questions regarding the security*

- Q1 Any obvious security flaws?  
Q2 How resilient are forms to special characters?  
Q3 Is the customer data stored online?

*Some relevant questions regarding the collaborative platform*

- Q1 Does the access to the collaborative platform requires registration?  
Q2 Is the connection to our collaborative platform quick?  
Q3 Is the response time of our collaborative platform quick?  
Q4 Do you have problems for connecting to our collaborative platform?  
Q5 Is collaboration done in an organised manner?  
Q6 Are there conflicts when sending messages to the collaborative platform?  
Q7 Is the response time of the collaborative platform limited?  
Q8 Is the time sending messages to the collaborative platform limited?  
Q9 Are you satisfied with the answers of the collaborative platform?

## Résumé

L'objectif principal de cette thèse est de fournir un réseau social professionnel intégré dans un agent-based WEB DSS. Ce réseau DSS facilitera l'interaction, la discussion et le partage d'informations entre les opérateurs de production, en particulier pour gérer les situations nominales de failles de ressources. La coordination entre les agents dans notre approche est rendue possible par un protocole de coordination d'agent dynamique. L'architecture générale est basée sur des agents nommés: agent de production (AP), agent d'ontologie (AO), agent d'évaluation (AE) et agent de coordination (AC). Le protocole de coordination appliqué comprend un ensemble de comportements utilisés pour maintenir et contrôler les échanges de messages entre les agents. Les fonctionnalités d'apprentissage permettent à ces agents de gagner plus de temps dans les calculs et les exécutions. En tant que représentation de la connaissance commune de l'agent, une ontologie de domaine a été développée pour représenter des concepts génériques majeurs dans le domaine industriel. La méthodologie du processus de hiérarchie analytique (AHP) est appliquée pour évaluer les solutions de tri en fonction des préférences des participants humains. Dans cette étude, nous choisissons comme domaine d'application: l'industrie électronique ALFATRON.

### **Mots clés :**

Analytic Hierarchy Process (AHP); Interface Collaborative; Agent Coordinateur (AC); Agent Evaluateur (AE); Décision Support System (DSS); Agents de Production (AP); WEB DSS; Gestion de production ; Système Multi-Agent (SMA); Décision collaborative.