



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM

Faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique
Département de Mathématiques et d'Informatique
Filière : Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique
Option : **Ingénierie des Systèmes d'Information**

THEME :

**Intégration de l'approche Multicritère dans la gestion de la
coopération d'un groupe d'experts en télémaintenance**

Etudiant : **LATRECH ABDALLAH**

Encadré par :

✓ **Dr. LAREDJ MOHAMED ADNANE**

✓ **Dr. ROUBA BAROUDI**

Année Universitaire 2016/2017

Table des matières

Introduction générale	4
Chapitre 1 : Maintenance industrielle	7
1.1. Introduction	8
1.2. La Télémaintenance et E-maintenance	8
1.2.1. Télémaintenance.....	8
1.2.2. E-maintenance	9
1.3. Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO)	11
1.3.1. Les Groupwares	11
1.3.2. Modèle du trèfle.....	12
1.3.3. Avantages des Groupware.....	12
1.3.4. Groupware et Workflow	13
1.4. Workflow	13
1.4.1. Définition.....	13
1.4.2. Objectif	14
1.4.3 Le workflow dans l’histoire des systèmes d’information (selon Van Der Aalst).....	14
1.4.4. Système de Gestion de Workflow.....	14
1.4.5. Architecture Workflow	15
1.4.6. <i>Relations entre les concepts du workflow</i>	15
1.5 Conclusion	16
Chapitre 2 : L’aide multicritère à la décision	17
2.1. Introduction	18
2.2. L’aide multicritère à la décision	18
2.3. Concepts de base	18
2.3.1. Le concept de critère.....	18
2.3.2. Les actions potentielles.....	19
2.3.3. Le tableau de performances	19
2.3.4. Le système relationnel de préférence	19
2.4. Problématiques multicritère en aide à la décision	20
2.5. Les méthodes d’aide multicritère à la décision	22
2.5.1. Les méthodes d’agrégation complète.....	22
2.5.2. Les méthodes d’agrégation partielle.....	23
2.5.3. Les méthodes d’agrégation locale	26
2.6. La classification multicritère	27
2.7. Conclusion	27
Chapitre 3 : la problématique du choix d’un coordinateur	28

3.1. Introduction	29
3.2. Modélisation de L'algorithme de gestion de la coopération d'un groupe d'experts.	29
3.3 Problématique du choix du coordinateur	33
3.4. Les critères du choix d'un coordinateur	34
a) Qualité du réseau	34
b) L'expérience	34
c) La distance entre l'expert et l'entreprise (site de la panne)	34
d) L'expérience en tant que coordinateur	34
e) Temps de réponse	35
3.5. La formulation du problème en aide multicritère à la décision	35
a) La liste des actions potentielles	35
b) La liste des critères	35
c) Tableaux des performances	35
3.6. Choix de la méthode multicritère	36
ELECTRE I :	36
3.7. Conclusion	38
Chapitre 4 : implémentation et conception	39
4.2. Le modèle conceptuel de l'application	40
4.2.1. Le modèle conceptuel de la base de données	40
4.2.2. Diagramme des cas d'utilisation	41
4.2.3 Diagramme d'activité	43
4.2.4. Diagramme de séquence	46
4.3 L'environnement de développement	46
4.4 Les principales interfaces graphiques	47
4.5. Conclusion	54
Conclusion Générale	55
Références bibliographiques	56

Remerciements

Louange à Dieu qui m'a donnée la force, le courage, et l'espoir nécessaire pour accomplir ce travail et surmonter l'ensemble des difficultés.

J'exprime ma gratitude, mes remerciements à mes parents qui ont fait de leur mieux pour m'aider.

Je tiens à remercier vivement :

- Mes encadreurs Mr. **LAREDJ MOHAMED ADNANE** et Mr. **ROUBA BAROUDI**, je les remercie vivement pour leurs orientations, leur conseils précieux et avisés, leurs remarques constructives et leurs disponibilités tout au long de ces mois de mon projet.

Je remercie aussi les personnes qui m'ont aidé et encouragé le long de ce travail.

Introduction générale

1.1. Introduction

Les problèmes de maintenance des installations industrielles sont souvent relégués au second plan face aux impératifs impliqués par le souci de la production. De nos jours, avec les avancées technologiques dans le domaine de l'information et de la communication (*TIC*), les entreprises industrielles souhaitent en tirer profit pour accélérer les interventions des spécialistes de maintenance sur les sites et réduire le temps d'inactivité de leurs équipements. Ceci permet d'envisager de les maintenir à distance sans disposer nécessairement de personnel qualifié localement sur le site à réparer. Les interventions peuvent donc être plus rapides et un personnel qualifié peut apporter une aide effective depuis pratiquement n'importe quel endroit. Ainsi, la télémaintenance appuyée au travers la technologie peut s'avérer décisive en termes de coûts et de qualité du diagnostic de pannes.

Au cours d'une tâche de télémaintenance plusieurs experts géographiquement distants, peuvent être impliqués dans le processus de réparation des pannes et des dégradations industrielles. En conséquence, la coopération permet de bénéficier de différents points de vue et de différentes méthodes de résolution. Cette coopération constitue sans doute un facteur d'efficacité pour les organisations industrielles. C'est dans cette perspective que nous situons le travail de ce projet.

Notre démarche est basée sur le processus d'e-maintenance proposé par Boussejra [Bou,11] à travers un algorithme de gestion de la coopération d'un groupe d'experts, pour établir le diagnostic et la maintenance des pannes détectées. La première étape de cet algorithme consiste en la création d'un groupe contenant les experts coopérants et un expert désigné comme coordinateur.

Malgré ses nombreux avantages, l'algorithme de Boussejra manque de précision au niveau de l'étape du choix du coordinateur. En effet, le choix du coordinateur du groupe sous cet algorithme est fait par rapport de la qualité de réseaux entre l'expert et le site de la panne, c'est le seul critère utilisé pour faire le choix. Cependant, la prise en compte d'autres critères, tels que l'expérience de l'expert ou son temps de réponse, peut avoir un impact positif sur la qualité des décisions prises. A cet effet, nous proposons d'étendre l'algorithme en intégrant l'approche d'aide multicritère à la décision et cela à travers la considération de plusieurs critères dans l'étape du choix du coordinateur.

L'aide multicritère à la décision se présente comme une alternative aux méthodes d'optimisation classiques basées sur la définition d'une fonction unique, souvent exprimée en terme économique (monétaire) et qui reflète la prise en compte de plusieurs critères, souvent incommensurables. L'intérêt des méthodes multicritères est de considérer un ensemble de critères de différentes nature (exprimés en unité différentes), sans nécessairement les transformer en critères économiques, ni en une fonction unique. Il ne s'agit pas de rechercher un optimum, mais une solution compromis qui peut prendre diverses formes : choix, affectation ou classement.

Notre travail consiste alors à formaliser le problème du choix d'un coordinateur en utilisant les concepts de l'approche d'aide multicritère à la décision. Cela revient à :

- Rechercher et à établir une liste de critères qui caractérisent notre problème.
- Faire une recherche bibliographique sur les méthodes multicritère, de choisir et d'implémenter une méthode adaptée à notre problème.

1.2. Structure de mémoire

L'objectif de notre travail est la modélisation du processus de télémaintenance coopérative afin de développer les outils de supports appropriés. Ainsi que de choisir un coordinateur avec l'aide une des méthodes d'aide multicritère à la décision.

Le Chapitre 1 : *Maintenance industrielle*, est dédié à l'étude de la notion de maintenance industrielle et tente de fournir un aperçu général sur le domaine. Nous nous intéressons ensuite à l'apport des nouvelles technologies ainsi que les progrès considérables accomplis dans le domaine de la maintenance, en l'occurrence les concepts de *Télémaintenance*, *E-Maintenance*, *TCAO* et *Workflow*.

Le Chapitre 2 : *Aide multicritère à la décision*, dans ce chapitre nous allons définir le cadre théorique et les aspects méthodologiques des méthodes multicritères, ensuite nous allons illustrer leurs approches en étudiant 3 types de méthodes multicritère : Les méthodes d'agrégation complète, Les méthodes d'agrégation partielle et enfin Les méthodes d'agrégation locale.

Le Chapitre 3 : *La problématique du choix d'un coordinateur*, dans ce chapitre nous proposons d'entendre l'algorithme de gestion de la coopération d'un groupe d'expert proposé par [BOU, 01] en intégrant l'approche multicritère. Nous commençons ce chapitre par la présentation de l'algorithme de Boussedjra [BOU, 01]. Nous justifions par la suite le choix de l'approche multicritère pour la résolution du problème du choix du coordinateur.

Le Chapitre 4 : *Implémentation et conception*, nous présentons, dans ce chapitre, l'interface graphique de notre application, et le modèle conceptuel de l'application en utilisant la méthode UML. et en fin la démonstration des différentes fonctionnalités de l'interface graphique développée.

Chapitre 1 : Maintenance industrielle

1.1. Introduction

L'aide au diagnostic et à la maintenance a été pendant plusieurs années limitée aux avertissements de l'automate permettant uniquement d'orienter l'opérateur (détecteur hors service, température indésirable, problème mécanique, etc.). Par la suite, les constructeurs ont eu recours à une assistance à base de conversations téléphoniques assurant un télédiagnostic à l'aveugle, limitées généralement au traitement de simples défaillances. Il s'agissait alors plus de télésurveillance que de télémaintenance.

Ces dernières années, plusieurs secteurs ont considérablement évolué avec l'avènement des TIC et notamment de l'Internet. C'est ainsi que nous assistons à l'évolution du concept de télémaintenance. Cette nouvelle tendance constitue un support permanent, rapide et efficace qui permet d'adjoindre à distance des activités de maintenance [KOL, 93]. Ainsi, la télémaintenance est un procédé permettant la maintenance d'une entité fonctionnelle via une communication directe entre cette entité et un centre spécialisé.

Notre étude menée sur les travaux dédiés à la notion de télémaintenance nous a amenés à synthétiser les concepts essentiels permettant d'appréhender l'état des connaissances actuelles sur ce domaine. Dans cette perspective, nous introduisons tout d'abord les différents indices situant l'évolution de la maintenance. Nous tenterons ensuite d'examiner les définitions les plus importantes qui ont été proposées afin de mettre en évidence les caractéristiques fondamentales régissant la notion de télémaintenance.

1.2. La Télémaintenance et E-maintenance

1.2.1. Télémaintenance

Le terme de *Télémaintenance* est d'origine latino-grecque, il est composé du mot grec « *Télé* » signifiant loin et du mot latin « *manutenerer* » qui est composé de « *Manu* » comme la main et « *Tenerer* » comme tenir [RAS, 07]. Dans la suite de ce paragraphe, nous allons expliciter le principe de fonctionnement de la télémaintenance ainsi que les systèmes de support associés.

Par définition la télémaintenance représente « *la maintenance d'un bien exécutée sans accès physique du personnel au bien* » [AFN, 01]. Elle permet, en effet, d'adjoindre à distance des activités de maintenance (Fig. 1). Cela envisage la mise en place des moyens assurant des télécommunications directes entre les unités fonctionnelles (biens) et un centre spécialisé en vue d'exécuter des tâches de maintenance. Ce concept de télémaintenance repose donc sur la perception de données ainsi que la prise de contrôle à distance.

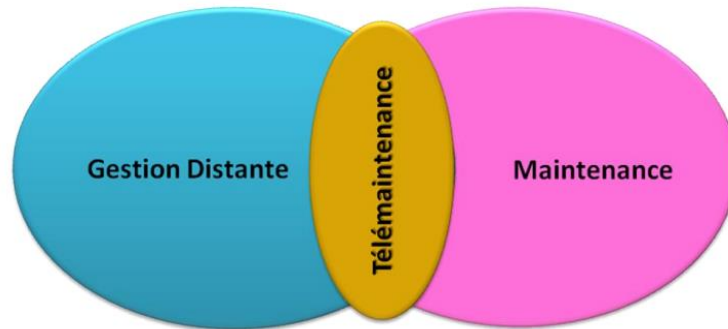


Fig1 : Télémaintenance Vs Maintenance [HED, 11]

La télémaintenance s'impose progressivement pour tous les systèmes de production gérés par un microprocesseur. Celui-ci collecte, en effet, toutes les informations pertinentes, dérivant des différents senseurs, afin d'assurer le contrôle du système à distance (Fig.2). En conséquence, la possibilité d'agir à distance, depuis le point de contrôle, sur les grandeurs de réglage ainsi que les programmes qui pilotent les systèmes de production, permettent le télédiagnostic et donc la télé-réparation des équipements du parc industriel en entreprise.

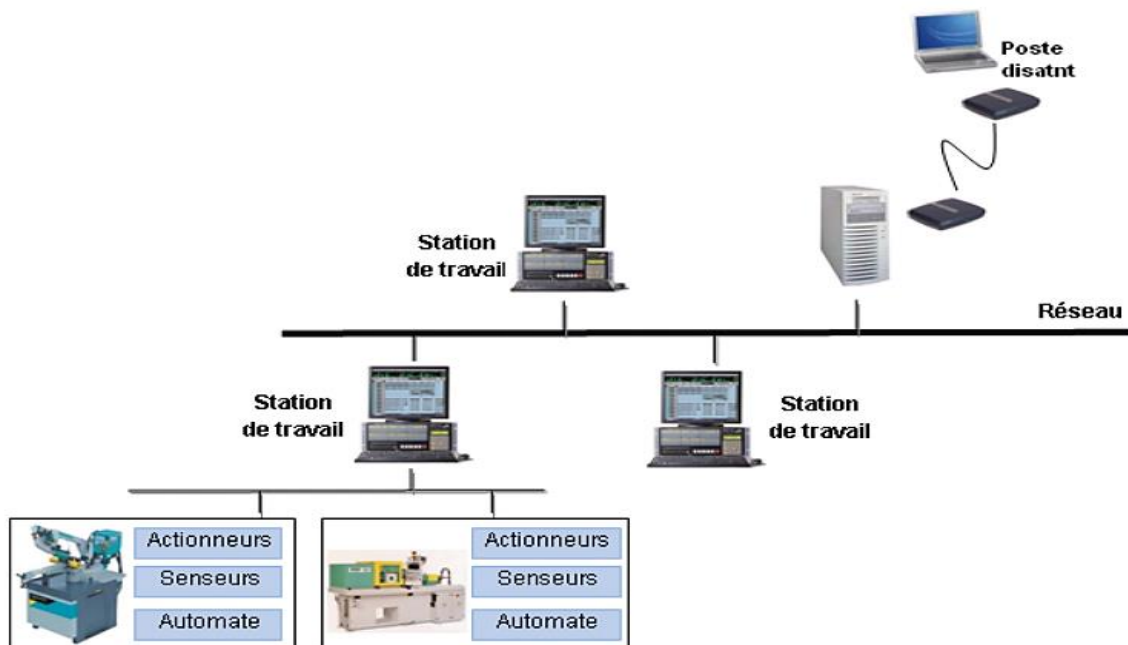


Fig2 : Schéma générique de la télémaintenance [TAR, 05]

1.2.2. E-maintenance

Avec l'extension d'Internet, les systèmes de télémaintenance émergent vers le concept d'e-maintenance. Le système d'e-maintenance sera implémenté sur une plateforme distribuée coopérative intégrant différents systèmes et applications de maintenance [RAS, 06]. Cette plateforme doit prendre appui sur le réseau mondial d'Internet (d'où le terme e-maintenance) et la technologie web permet d'échanger, de partager et de distribuer des données et des informations et de créer ensemble des connaissances.

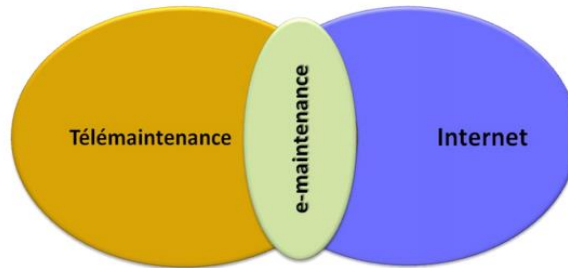


Fig3 : E-maintenance Vs Télémaintenance [HED, 11]

Dans l'intention d'assurer l'accès distant à des outils intelligents, l'e-maintenance constitue le croisement de différentes composantes. Elle préserve le principe de base de la télémaintenance en lui attribuant une dimension importante, formée par la coopération informationnelle inter-sociétés, interservices, interpersonnels [LEG, 04].

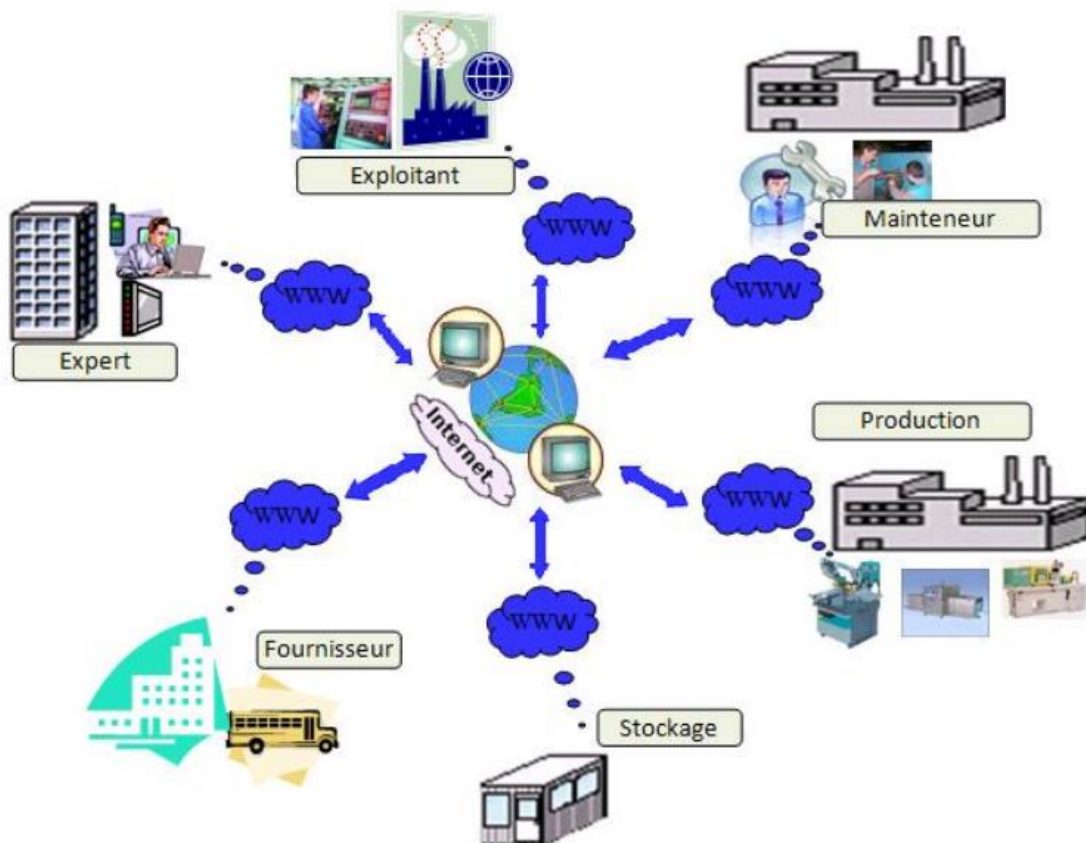


Fig4 : Schéma générique de l'e-maintenance [HED, 11]

L'architecture d'e-maintenance se fait via un réseau web qui permet de coopérer, d'échanger, partager et de distribuer ces informations aux différents systèmes partenaires de ce réseau. Le principe consiste à intégrer l'ensemble des différents systèmes de maintenance dans un seul système d'information [MULL, 05]. Les systèmes proposent différents formats d'information qui ne sont pas toujours compatibles pour le partage ce qui nécessite la coordination et la coopération entre les systèmes pour les rendre interopérables.

D'après [SPAD, 04] l'interopérabilité est :« la capacité qu'ont deux systèmes de communication à communiquer de façon non ambiguë, que ces systèmes soient similaires ou

différents. On peut dire que rendre interopérable, c'est créer de la compatibilité. » L'architecture d'E-maintenance doit alors assurer l'interopérabilité avec chacun de ces différents systèmes.

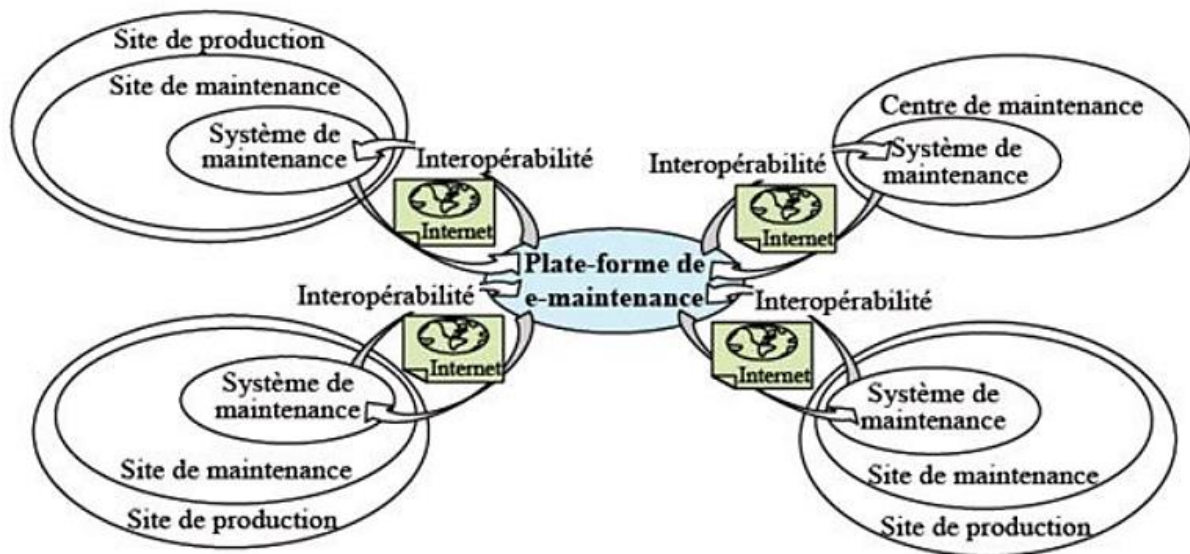


Fig5 : Architecture d'un système d'e-maintenance [SPAD, 04]

1.3. Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO)

Le terme anglo-saxon CSCW ou TCAO en français, "*Computer-Supported Cooperative Work*", est employé dans la littérature pour définir l'ensemble des systèmes informatiques qui facilitent la coopération d'individus autour d'une tâche commune. L'ordinateur y est utilisé aussi bien pour réaliser des tâches qui nécessitent de l'assemblage et de la coordination (la rédaction d'un document), que pour réaliser des tâches fondées sur la communication comme, par exemple, une prise de décision par un groupe (*group decision support system*).

L'autre terme anglo-saxon souvent utilisé en substitution de CSCW est « *Groupware* ». Ce terme, initialement employé dans le langage courant des scientifiques américains, a vite connu une utilisation plus universelle dans la littérature informatique. En 1978, Peter and Trudy Johnson-Lenz, pionniers dans le travail coopératif, introduisirent le terme Groupware pour définir une activité de groupe intentionnelle augmentée d'un support logiciel permettant sa réalisation.

1.3.1. Les Groupwares

Le domaine du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO) a pour thème d'étude les collecticiels (le terme employé dans la communauté française pour désigner *groupware*). Dans ce cadre, de nombreuses définitions ont été proposées pour caractériser un collecticiel dont nous citons la plus courante, celle de C. Ellis :

—"Computer-based systems that support groups of people engaged in a common task (or goal) and that provide an interface to a shared environment." [ELLI, 91]

—"Les collecticiels sont des systèmes informatiques qui assistent un groupe de personnes engagées dans une tâche commune (ou but commun) et qui fournissent une interface à un environnement partagé. " (Traduction de A. Karsenty [KAR, 94]).

1.3.2. Modèle du trèfle

Le modèle du trèfle [SALB, 95], inspiré du modèle conceptuel d'un collecticiel proposé par C. Ellis [ELLI, 94], fournit un cadre conceptuel utile pour déterminer les requis fonctionnels et mener une analyse fonctionnelle. En effet, selon ce modèle présenté dans la figure ci-dessous, un collecticiel couvre trois espaces fonctionnels :

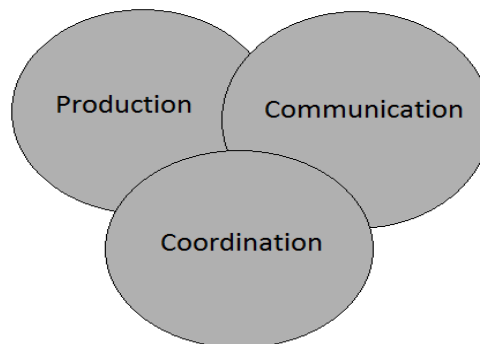


Fig7. Modèle du trèfle [LAA, 11]

- **L'espace de production** concerne l'ensemble des fonctionnalités de production d'objets partagés tels que des documents communs et la gestion des accès à ces données partagées.
- **L'espace de communication** correspond aux fonctionnalités permettant l'échange d'information entre les acteurs du collecticiel. Cet échange est de la communication homme-homme médiatisée (CHHM) [SALB, 95].
- **L'espace de coordination** correspond aux fonctionnalités dédiées à l'assignation de tâches et de rôles aux différents acteurs d'une activité collaborative. Ces fonctionnalités ont pour but de coordonner les acteurs afin de réaliser une œuvre commune. Cette coordination peut s'exprimer en termes de planification de tâches. Par exemple, les systèmes *workflow*.

1.3.3. Avantages des Groupware

- ❖ Abolition des contraintes spatio-temporelles
- ❖ Parallélisations de communications et prise de décision rapide
- ❖ Amélioration de la participation
- ❖ Structuration des activités de groupe
- ❖ Mémoire organisationnelle

1.3.4. Groupware et Workflow

Le groupware est une technologie permettant de réaliser le rapprochement électronique des individus pour la réalisation des objectifs communs en prenant en compte l'organisation avec le respect des tâches individuelles et l'émulation par les tâches collectives.

Le groupware englobe un nombre impressionnant de technologies dont le workflow a pour vocation d'aider le travail coopératif dans ce qu'il a de plus complexe.

Groupware : Méthodes, techniques et outils permettant aux individus de travailler ensemble en facilitant la communication, la collaboration et/ou la coordination.

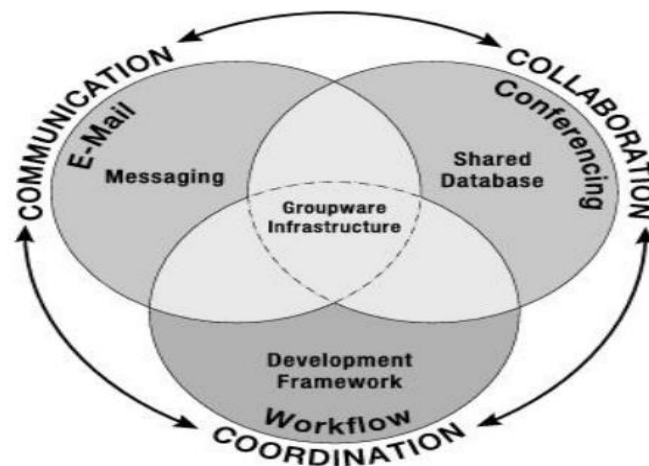


Fig. 9 : Groupware et Workflow [KHO & BUCK, 98]

- **Ici collaboration c'est :** Echange d'idée et le partage de connaissances entre les participants au Système d'information. Les bases de données partagées où chacun va y chercher l'information dont il a besoin au moment désiré. La messagerie intégrée à ces bases de données s'en charge d'informer les utilisateurs de tout changement ou modification faite sur les informations dans ces bases de données partagées.

1.4. Workflow

1.4.1. Définition

"Un Workflow est tout ensemble de tâches accomplies en ordre séquentiel et/ou parallèle par au moins deux personnes, membres d'un groupe, afin d'atteindre un résultat donné". [SAA, 02].

- « Tout ensemble de tâches » : le workflow s'applique à un large spectre d'activités dans l'entreprise. Chaque activité est comprise comme un ensemble de tâches élémentaires² ;
- « En ordre séquentiel ou en parallèle » : les étapes de travail peuvent être accomplies de manière séquentielle ou simultanément, par différentes personnes. ;
- « Au moins deux personnes » : ce qui signifie qu'un ensemble d'activités qu'un individu réalise tout seul ne constitue pas un workflow. Ce dernier est le flux d'objets de gestion circulant entre plusieurs personnes ;

- « Un résultat donné » : les personnes impliquées dans un workflow travaillent pour atteindre un objectif commun ; connu de tous.

1.4.2. Objectif

Rationaliser, coordonner et contrôler des processus d'entreprise impliquant des tâches humaines et automatisées dans un environnement organisationnel distribué et informatisé.

1.4.3 Le workflow dans l'histoire des systèmes d'information (selon Van Der Aalst)

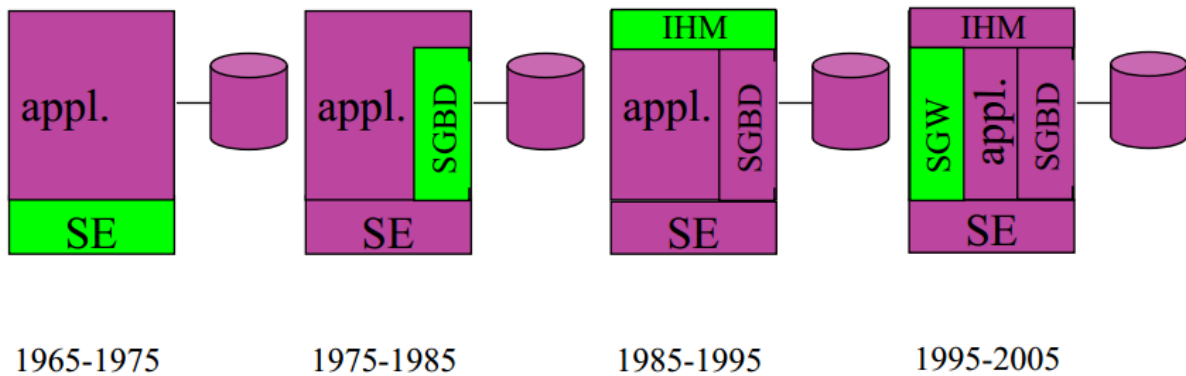


Fig. 10 : Le workflow dans l'histoire des systèmes d'information (Van Der Aalst)

1.4.4. Système de Gestion de Workflow

Un ensemble d'outils permettant la définition de processus, l'exécution de workflow, et l'administration et la surveillance d'instances de processus. Exemple de FlowMind

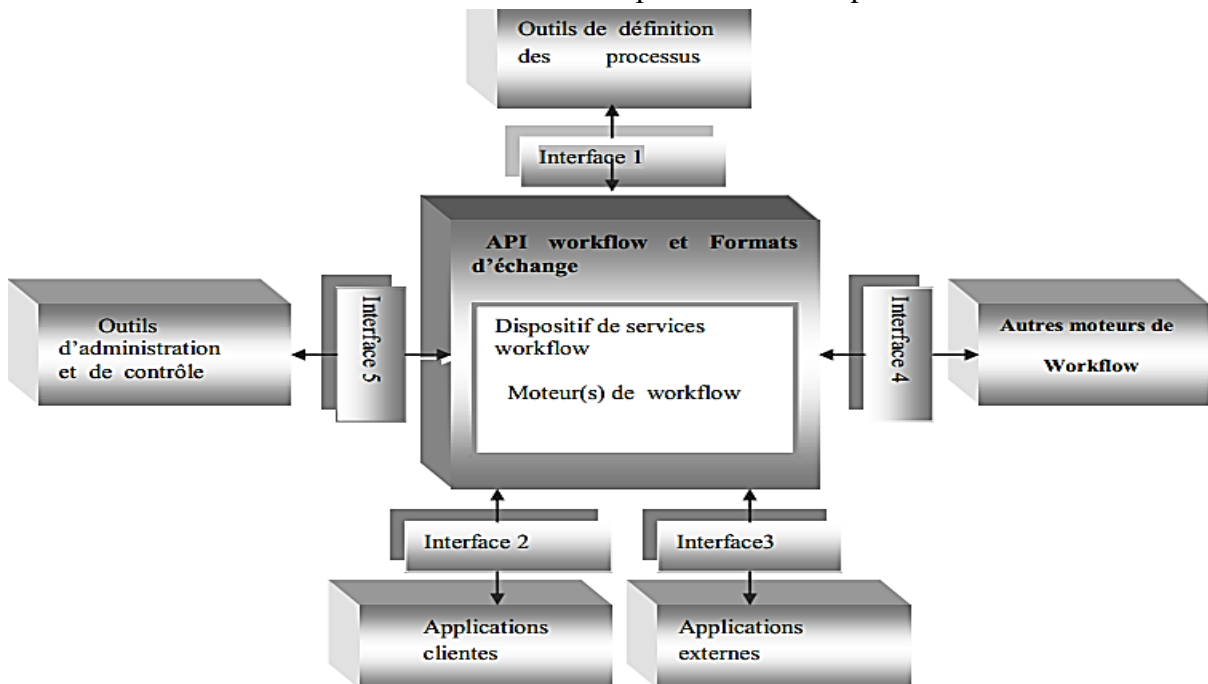


Fig. 11 : Modèle de référence de la WFMC [LEV, 2000]

1.4.5. Architecture Workflow

- Quelques standards

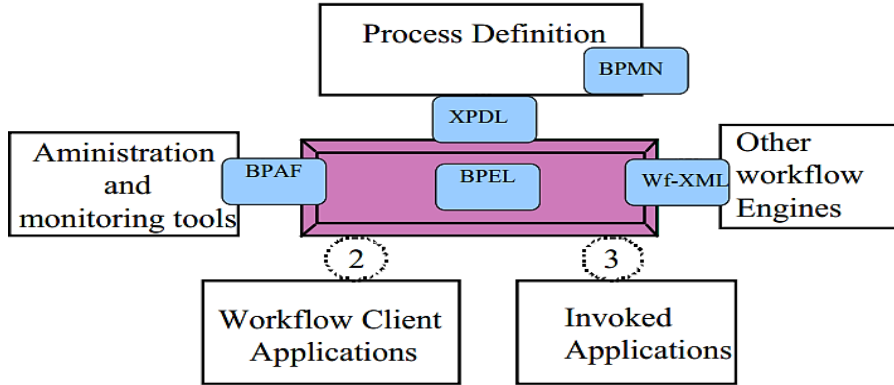


Fig. 12 : Architecture Workflow [KHO & BUCK, 98]

1.4.6. Relations entre les concepts du workflow

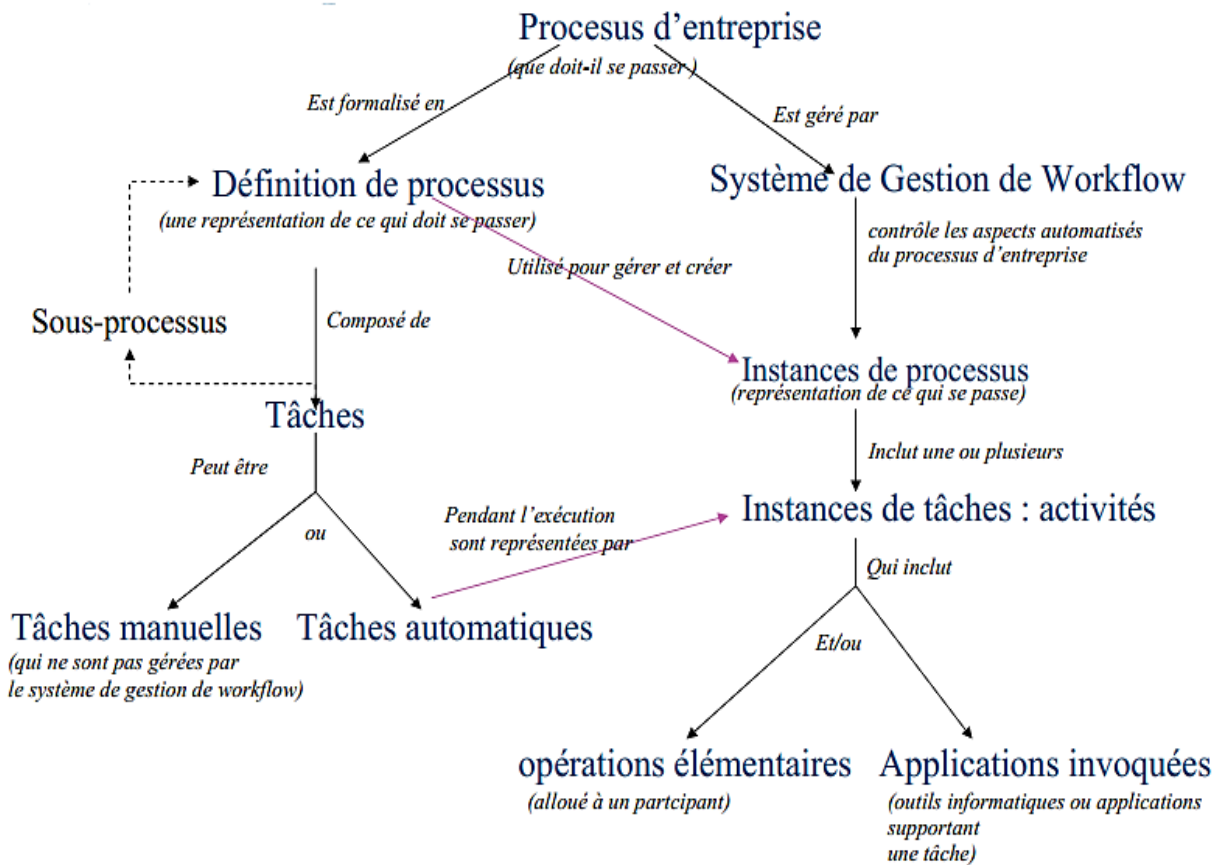


Fig. 13 : Relations entre les concepts du workflow [HACH, 14]

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la problématique générale de notre domaine de travail, qui concerne la télémaintenance. Dans la première partie, nous avons clairement explicité le principe de transition entre la notion de télémaintenance et celle d'e-maintenance. Cette nouvelle notion représente une forme intelligente de télémaintenance. La mise en œuvre du concept de l'e-maintenance se concrétise par l'implémentation d'une plateforme coopérative distribuée intégrant différents outils et applications de maintenance. Cette plateforme qui doit prendre appui sur le réseau Internet et la technologie web permet d'échanger, de partager et de distribuer des informations.

Chapitre 2 : L'aide multicritère à la décision

2.1. Introduction

L'aide à la décision multicritère se présente comme une alternative aux méthodes d'optimisation classiques basées sur la définition d'une fonction unique, souvent exprimée en terme économique (monétaire) et qui reflète la prise en compte de plusieurs critères, souvent incommensurables. L'intérêt des méthodes multicritères est de considérer un ensemble de critères de différentes nature (exprimés en unité différentes), sans nécessairement les transformer en critères économiques, ni en une fonction unique. Il ne s'agit pas de rechercher un optimum, mais une solution compromis qui peut prendre diverses formes : choix, affectation ou classement. Plusieurs méthodes existent dans la littérature, dans le cadre de ce projet nous allons définir le cadre théorique et les aspects méthodologiques des méthodes multicritères, ensuite nous allons illustrer leurs approches en étudiant 3 types de méthodes multicritère : Les méthodes d'agrégation complète, Les méthodes d'agrégation partielle et enfin Les méthodes d'agrégation locale.

2.2. L'aide multicritère à la décision

D'après [ROY, 85] « L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans le processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, 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 desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part. ». L'aide à la décision est donc un processus qui utilise un ensemble d'informations disponibles à un instant donné, afin de formuler un problème et aboutir à une décision sur un objet précis. Dans le cadre de la décision multicritère, l'objet de la décision est formé par un ensemble d'actions ou alternatives. Pour [ROY, 96] les problèmes réels peuvent être formulés à l'aide des méthodes d'analyse multicritère, selon trois formulations de bases : problématique de choix, notée P_α , la problématique de tri ou d'affectation notée P_β et la problématique de rangement noté P_γ .

2.3. Concepts de base

2.3.1. Le concept de critère

Selon Bouyssou et Roy [BOU & ROY, 87], un critère est une fonction permettant d'évaluer une action sur diverses dimensions liées à un même axe de signification. Cet axe de signification est traduit par un point de vue.

Formellement, un critère g est une fonction à valeurs réelles définie sur l'ensemble des actions potentielles de telle sorte qu'il soit possible de raisonner ou de décrire le résultat de la comparaison de deux actions x_i et x_j à partir de deux nombres $g(x_i)$ et $g(x_j)$.

2.3.2. Les actions potentielles

Une action x est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale. Une action est dite *globale*, si, dans sa mise en exécution, elle est exclusive de toute action introduite dans le modèle dans le cas contraire, elle est dite fragmentaire. Une *action potentielle* est une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins. On note par ' X ' est l'ensemble des actions potentielles.

2.3.3. Le tableau de performances

Un tableau des performances (Tableau 1.) est composé de l'ensemble des actions X (lignes) évaluées sur l'ensemble des critères G (colonnes). La valeur $g_i(x_i)$ correspond à l'évaluation de l'action x_i par rapport au critère g_j

Tableau 1. *Tableau de performances*

	g_1	g_2	...	g_i	...	g_n
x_1
x_2
...
x_i	.	.	.	$g_i(x_i)$.	.
...
x_n

2.3.4. Le système relationnel de préférence

Les méthodes d'aide multicritère à la décision se basent sur la comparaison des actions. Plusieurs situations de préférence, modélisées par des relations binaires, existent. Roy [ROY, 75] propose trois situations fondamentales de préférence :

L'indifférence, la préférence et l'incomparabilité. Ces structures sont représentées par les relations binaires suivantes :

- $x_i I x_j$: x_i et x_j sont indifférentes ou sensiblement équivalentes. I est une relation réflexive et symétrique.
- $x_i P x_j$: x_i est préférée à x_j . P est irréflexive et asymétrique.
- $x_i R x_j$: x_i est incomparable à x_j . R est irréflexive et symétrique.

Ces relations sont dites "exhaustives" si pour une paire d'actions quelconques une au moins est vérifiée. Elles sont dites "mutuellement exclusives" pour une paire d'actions quelconques, si deux relations distinctes ne sont jamais vérifiées en même temps. Pour constituer une structure de préférence, ces relations doivent être exhaustives et mutuellement exclusives.

Tableau 2. Situations possibles lors de la comparaison de deux actions

Situation	Définition	Relation binaire
<i>Indifférence</i>	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une équivalence entre deux actions.	I : relation symétrique réflexive
<i>Préférence stricte</i>	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une préférence significative en faveur de l'une (identifiée) des deux actions.	P : relation asymétrique (irréflexive)
<i>Incomparabilité</i>	Elle correspond à l'absence de raisons claires et positives justifiant l'une des trois situations précédentes	R : relation symétrique irréflexive

2.4. Problématiques multicritère en aide à la décision

Il existe 3 problématiques en aide multicritère à la décision :

2.4.1. Problématique de choix P_α

Il s'agit de la problématique la plus classique en aide à la décision. Son objectif consiste à mettre en place une procédure permettant de sélectionner un sous ensemble aussi restreint que possible d'actions 'X' (réduit dans le cas le plus favorable à un singleton) de l'ensemble des actions X qui justifie l'élimination des autres actions.

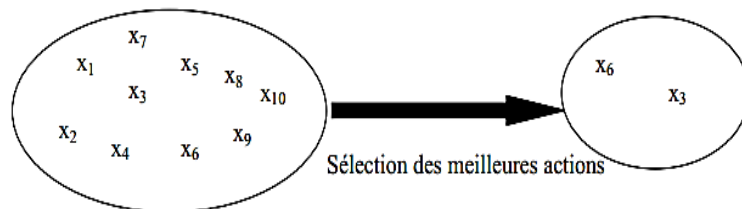


Fig1 : Problématique de choix P_α [ROU, 15]

2.4.2. Problématique de rangement P_γ

Cette problématique a pour objectif d'ordonner l'ensemble des actions X. La procédure recherchée est une procédure de classement permettant de regrouper les actions en classes d'équivalence, celles-ci étant totalement ou partiellement ordonnées (FIG2).

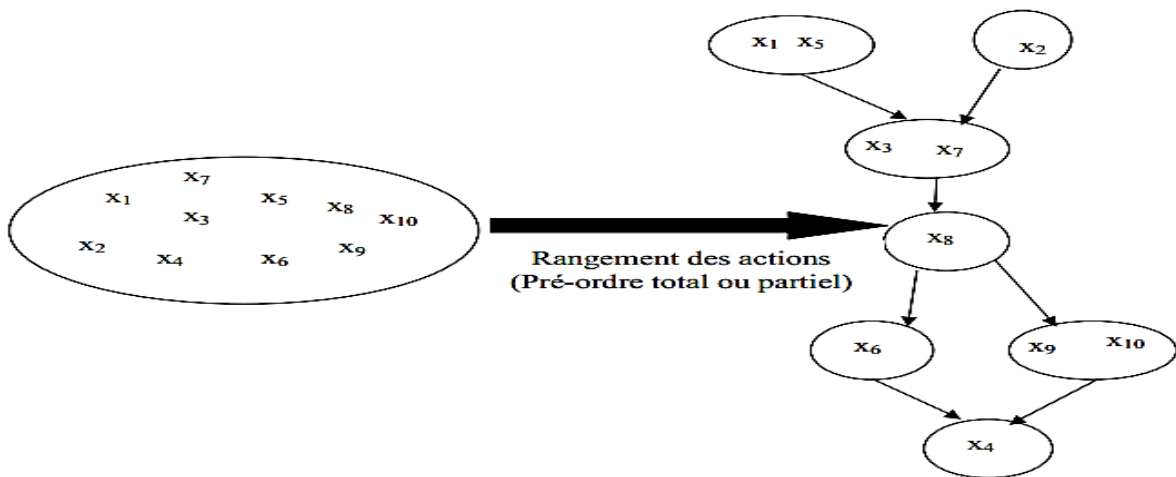


Fig2 : Problématique de rangement P_γ [ROU, 15]

2.4.3. Problématique du tri P_β

Basée sur le principe de la classification supervisée, elle consiste à affecter l'ensemble des actions X à des catégories prédéfinies caractérisées par des actions de référence. Contrairement aux autres problématiques, les actions de X ne sont pas comparées entre elles mais plutôt aux actions de référence. Ici, on parlera de procédure d'affectation à des catégories. La problématique du tri peut être soit ordinaire, dans le cas où les catégories sont complètement ordonnées soit nominale dans le cas où il est difficile d'établir un ordre entre les catégories (Fig3).

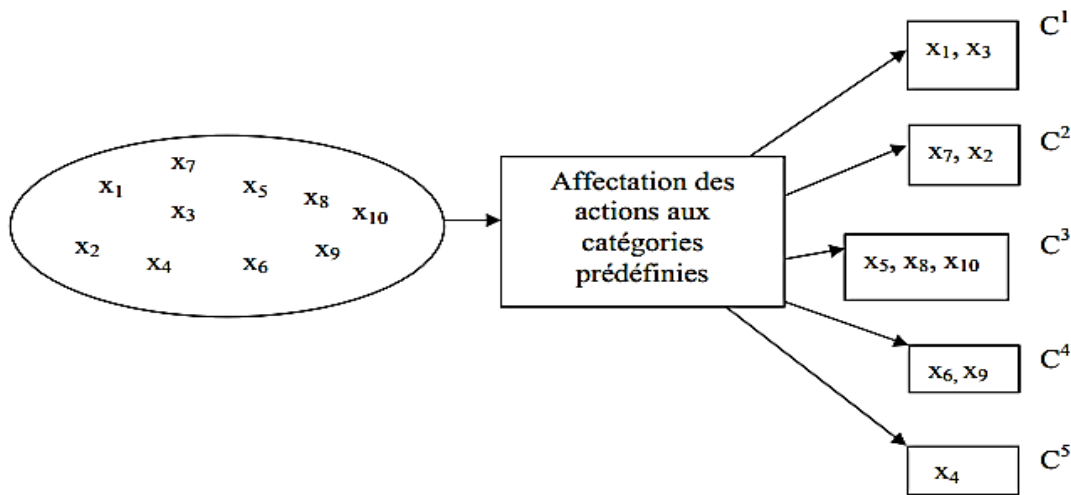


Fig3 : Problématique du tri P_β [ROU, 15]

On peut résumer tous les problématiques dans ces tableaux : Tableaux 3

Tableau 3. Identification des types de problématique :

Problématique	Objectif	Résultat
P_{α}	Éclairer la décision par le choix d'un sous ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action.(optimums et satisfécits)	Un choix ou une procédure de sélection.
P_{γ}	Éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie (les «plus satisfaisantes») des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle , conformément aux préférences	Un rangement ou procédure de classement
P_{β}	Éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies a priori en fonction des normes ayant trait à la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir	Un tri ou une procédure d'affectation

2.5. Les méthodes d'aide multicritère à la décision

La formulation d'un problème d'aide multicritère à la décision passe par quatre grandes étapes :

- 1) Dresser la liste des actions potentielles.
- 2) Dresser la liste des critères à prendre en considération.
- 3) Etablir le tableau des performances.
- 4) Agréger les performances.

Les trois premières étapes sont communes à toutes les méthodes. Donc c'est l'étape de l'agrégation des performances qui fait la différence entre les méthodes. Selon le mode d'agrégation, on distingue trois grandes familles de méthodes : les méthodes d'agrégation complète, les méthodes d'agrégation partielle et les méthodes d'agrégation locale [ROY, 75] ,[SCH, 85].

2.5.1. Les méthodes d'agrégation complète

Ces méthodes sont basées sur une fonction mathématique qui produit une valeur unique à partir des évaluations des différents critères autorisant ainsi une compensation entre les critères. Le résultat de la fonction utilisée permet de qualifier l'action de façon globale. La somme pondérée (Weight Sum Method) WSM et le produit pondéré (Weight Product Method) WPM constituent les formes les plus simples de la fonction utilisée. Nous pouvons citer aussi d'autres méthodes telles que la méthode MAUT (Multi Attributs Utility Theory), la méthode UTA (Utility Additive), ainsi que la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process).

2.5.2. Les méthodes d'agrégation partielle

Les méthodes d'agrégation partielle ou (méthodes de surclassement) sont basées sur la comparaison des actions par paire. Cette comparaison est effectuée pour chaque critère et permet de déterminer la relation qui lie chaque paire d'actions. La relation peut être une relation de préférence, d'indifférence ou d'incomparabilité. A l'aide de ces relations, un graphe dit de surclassement est construit. Ce graphe permet de déterminer soit la meilleure action, soit un tri de l'ensemble des actions ou encore un rangement de celles-ci. Parmi les méthodes d'agrégation partielle les plus connues, nous citons la famille des méthodes ELECTRE (Elimination ET Choix Traduisant la Réalité) développées par Roy [Roy, 78] et la méthode PROMETHEE [Bra & al., 82]. Ces méthodes sont caractérisées par leur capacité à traiter simultanément des critères quantitatifs et des critères qualitatifs tout en respectant leurs propriétés ordinales, nominales ou cardinales. Elles sont aussi caractérisées par la richesse des relations binaires. Dans ce qui suit, nous détaillons deux principales méthodes d'agrégation partielle, à savoir ; PROMETHEE et ELECTREIII.

2.5.2.2. La méthode ELECTRE I (Problématique de choix P.α)

Méthode non compensatoire introduite par B. ROY à la fin des années 60 [ROY, 68], en considérant un ensemble d'actions $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ évaluées sur un ensemble de critères $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$, l'objectif de la méthode est de sélectionner un ensemble (réduit) X qui contient les meilleures alternatives parmi lesquelles se trouve celle que le décideur choisira.

En plaçant chaque action à la fois en ligne et en colonne, on établit les matrices de concordance et de discordance, dont la diagonale ne présente aucune valeur. Il faut alors définir un seuil de concordance et un seuil de discordance. Ces seuils permettront de réaliser les tests de concordance et de discordance (Figure 4).

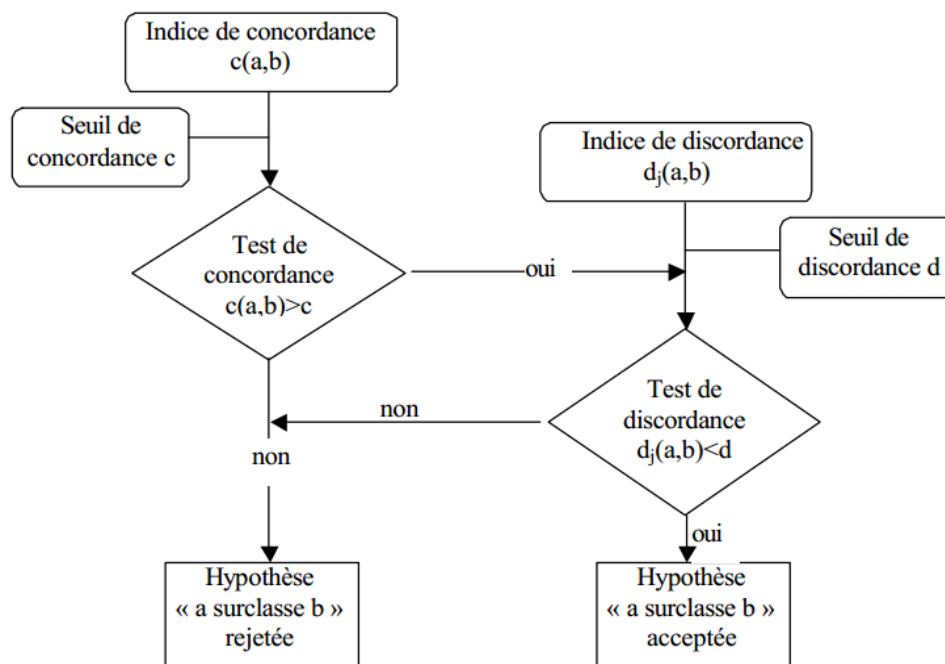


Figure 4 : Algorithme établissant les surclassements [May et al, 94]

Les méthodes de surclassement de type « ELECTRE I » s'établissent en deux phases :

- Construction de la relation de surclassement
- Exploitation de la relation de surclassement pour déterminer une recommandation

✓ **Construction de la relation de surclassement :**

→ Deux principes fondamentaux :

- **Principe de concordance :** Une majorité de critères, compte-tenu de leur importance, doit supporter l'assertion $x_1 S x_2$, on calcule pour chaque paire d'alternatives $C(x_1, x_2)$ tel que le nombre $C(x_1, x_2)$ ou p_i le poids correspondant à l'action x_i :

$$C(x_1, x_2) = \sum_{i: x_{1i} + \beta \geq x_{2i}} p_i$$

Le nombre $C(x_1, x_2)$ est un réel entre 0 et 1 ; il résume « la force des arguments qui ne s'opposent pas à $x_1 S x_2$ », par une sorte de vote pondéré.

- **Principe de non concordance :** Parmi les critères qui ne supportent pas l'assertion $x_1 S x_2$, aucun ne doit exprimer un désaccord trop fort, on calcule pour chaque paire d'alternatives (a, b) le nombre $d(x_1, x_2)$ tel que p_i le poids correspondant à l'action x_i :

$$d(x_1, x_2) = 1 \text{ si } \exists i, x_{2i} > x_{1i} + v_i, \quad d(x_1, x_2) = 0 \text{ sinon}$$

$d(x_1, x_2) = 1 \iff$ veto sur la préférence $x_1 S x_2$ car x_2 est bien meilleur que x_1 sur un critère au moins « i » .

✓ **Définition de la relation de surclassement**

Test de surclassement :

→ Conditions d'acceptation de l'assertion

On se fixe un seuil de concordance μ avec $0 < \mu \leq 1$

1. Condition de concordance :

$$C(x_1, x_2) \geq \mu$$

2. Condition de non discordance

$$d(x_1, x_2) \neq 1$$

3. on définit la relation de surclassement

$$x_1 S_\mu x_2 \iff_{def} C(x_1, x_2) \geq \mu \text{ et } d(x_1, x_2) \neq 1$$

4. Dans une matrice de surclassement et parmi les action X on va choisir le maximum

Exemple supposons qu'on a 4 actions (x_1, x_2, x_3, x_4) avec la matrice de surclassement suivant :

action/action	x_1	x_2	x_3	x_4	La somme
x_1	1	0	1	1	3
x_2	1	1	1	1	4
x_3	0	0	1	1	2
x_4	0	0	1	1	2

Matrice de surclassement

Alors l'action Sélectionné est x_2 . Car $x_2 > x_1, x_3, x_4$

2.5.2.2. La méthode ELECTRE III

Développée par Roy [Roy, 78], la méthode ELECTREIII est une méthode qui relève de la problématique de rangement. Elle s'appuie sur la définition d'une relation de surclassement **S** permettant de comparer deux actions x_i et x_k distinctes. En considérant un ensemble d'actions $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ évaluées sur un ensemble de critères $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$, l'objectif de la méthode est de classer les actions en les comparants par paires. Chaque action est donc comparée aux autres sur la base des critères considérés. L'importance des critères dans la prise de décision est évaluée par un ensemble de poids $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$. A chaque critère g_j est associé trois paramètres:

- Un seuil de préférence noté q_j .
- Un seuil d'indifférence noté p_j .
- Un seuil de véto noté v_j .

Ces paramètres sont utilisés pour calculer les indices de concordance et de discordance.

2.5.2.3. Les méthodes PROMETHEE

Le principe de ces méthodes repose sur la construction d'une relation de surclassement évaluée traduisant une intensité de préférence. On commence par calculer des indices $P_i(g_i(a) - g_i(b))$ mesurant les intensités de préférence sur les critères i entre tout couple d'alternatives et pouvant prendre différentes formes. On peut citer certaines d'entre elles :

Si on pose $d_i = g_i(a) - g_i(b)$ alors

$$P_i(d_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } d \leq 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$P_i(d_i) = \begin{cases} \frac{d_i - q_i}{P_i - q_i} & \text{si } q_i \leq d_i \leq P_i \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$P_i(d_i) = 1 - e^{\frac{-d_i^2}{2s_i^2}}$$

Où q_i et p_i sont appelés aussi seuils de préférence et d'indifférence mais n'ont pas la même signification que dans ELECTRE, ils ne modélisent pas l'hésitation mais plutôt l'intensité de préférence. Cet indice n'a pas la même signification que $S(a, b)$ dans ELECTRE III mesurant la crédibilité de l'assertion a surclasse b et non pas l'intensité de préférence de a sur b .

On calcule ensuite les intensités de préférence multicritère $\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i P_i(d_i)$ et pour chaque alternative a , les flux de surclassement :

→ **Sortant** : il exprime le caractère de surclassement de a face aux $m-1$ autres alternatives, ou encore sa force. Il est d'autant plus grand qu' a surclassé fortement les autres alternatives.

$$\phi^+(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A \setminus \{a\}} \pi(a, x)$$

→ **Entrant** : il exprime le caractère surclassée de a face aux « $m-1$ » autres alternatives, ou encore sa faiblesse. Il est d'autant moins grand qu' a est peu surclassée.

Toutes les phases d'exploitation se fondent sur les valeurs $\phi^+(a)$ et $\phi^-(a)$. Dans PROMETHEE I, on obtient un rangement partiel des alternatives car il se peut qu'il y ait des incomparabilité dues au fait que la condition pour laquelle une alternative a surclasse b est assez forte :

$$a S b \Leftrightarrow \begin{cases} \phi^+(a) \geq \phi^+(b) \\ \phi^-(a) \leq \phi^-(b) \end{cases}$$

On peut donc avoir $\neg a S b$ et $\neg b S a$. Par contre, dans PROMETHEE II, il ne peut pas y avoir d'incomparabilités, le rangement étant complet, il est obtenu en considérant le flux net :

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

2.5.3. Les méthodes d'agrégation locale

Contrairement aux approches précédentes, cette approche est basée sur l'exploration interactive et itérative de l'ensemble des actions. En effet, à une itération donnée, l'action la plus intéressante est sélectionnée ensuite sont sélectionnées les actions les plus proches d'elle. Parmi ce groupe d'actions, on cherche celle qui est préférée à l'action initiale qui devient à son tour l'action initiale de l'itération suivante. La méthode des cônes d'amélioration [GEO & al., 72] est la méthode la plus connue dans cette approche.

2.6. La classification multicritère

Le développement d'une méthode de classification multicritère consiste à définir une fonction permettant d'affecter chaque action à une catégorie donnée. De ce fait, ces méthodes sont connues sous le nom des méthodes de tri. Electre tri [Yu, 92], PROAFTN [BEL, 00] et PROMETHEE tri [FIG & al., 04] constituent des exemples de méthodes de classification multicritère. Les méthodes multicritères de tri ont été utilisées dans plusieurs domaines tels que l'évaluation des dossiers de crédits, la reconnaissance de la parole, la sélection de portefeuilles en finance, la maintenance et le diagnostic médical [BEL, 99]. Dans ce qui suit, nous présentons deux méthodes de tri multicritère à savoir : ELECTRE Tri et PROMETHEE Tri.

2.6.1. La méthode ELECTRE Tri

Développée par Yu [YU, 92], Electre TRI est une méthode multicritère qui relève de la problématique du tri ordinal. La méthode ELECTRE TRI pose le problème en termes d'attribution des actions à des catégories prédéfinies et ordonnées. Des actions de références sont utilisées pour segmenter l'espace des critères en catégories. Chaque catégorie est bornée inférieurement et supérieurement par deux actions de référence et chaque action de référence sert donc de borne à deux catégories, l'une supérieure et l'autre inférieure. Cette méthode suit la même démarche que la méthode ELECTRE III jusqu'aux degrés de crédibilité. L'affectation des actions à une catégorie est spécifique à chaque méthode. Electre Tri affecte les actions aux catégories en suivant deux étapes :

- La construction d'une relation de surclassement S, qui caractérise comment une action se compare aux limites des catégories
- L'exploitation de la relation de surclassement S en vue d'affecter chaque action à une catégorie spécifique.

2.6.2. La méthode PROMETHEE Tri

Développée par Figueira, De Smet et Brans [FIG et al., 04], la méthode PROMETHEE Tri constitue une extension de la méthode PROMETHEE à la problématique de tri. Elle est donc basée sur les mêmes concepts que la méthode PROMETHEE. A la différence, dans la méthode PROMETHEE Tri peut être vue comme un processus composé de deux phases :

- Le flux net est calculé pour chaque critère et chaque action. Cette phase permet de prendre en considération l'importance relative de chaque action, pour chaque critère, par rapport à toutes les autres actions.
- Affecter les actions à la catégorie ayant la plus petite déviation.

2.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons clairement explicité le principe de l'aide multicritère à la décision. Nous avons présenté ses principaux concepts et méthodes. Dans le chapitre suivant, nous allons montrer comment intégrer ces concepts dans la gestion de la coopération entre un groupe d'experts en télémaintenance.

Chapitre 3 : la problématique du choix d'un coordinateur

3.1. Introduction

Après avoir présenté dans les précédents chapitres, les principales notions se rattachant aux concepts de la maintenance et de la coopération, les principaux outils informatiques permettant de mettre en place une plateforme de coopération entre les différents acteurs de la maintenance, ainsi que les différentes méthodes d'aide multicritères à la décision. Nous proposons dans ce chapitre d'entendre l'algorithme de gestion de la coopération d'un groupe d'expert proposé par [BOU, 01] en intégrant l'approche multicritère. Nous commençons ce chapitre par la présentation de l'algorithme de Boussejra [BOU, 01]. Nous justifions par la suite le choix de l'approche multicritère pour la résolution du problème du choix du coordinateur.

3.2. Modélisation de L'algorithme de gestion de la coopération d'un groupe d'experts.

L'algorithme de gestion de la coopération au sein d'un processus de maintenance coopérative se décline comme suit :

- 1) *La création d'un groupe* est initiée par le technicien (figure 3.1)

- 2) *L'attribution de numéro d'ordre* est faite ensuite selon le temps d'arrivée des messages d'acquittement (figure 3.1). Le groupe construit est composé de deux sous-groupes :
 - Le premier contient les experts coopérants pour la résolution de la panne et un coordinateur. Ce sous groupe est actif : échange de données entre les membres avec un coordinateur.
 - Le deuxième sous groupe est constitué des membres du groupe actif et du technicien (ce sous groupe est optionnel).

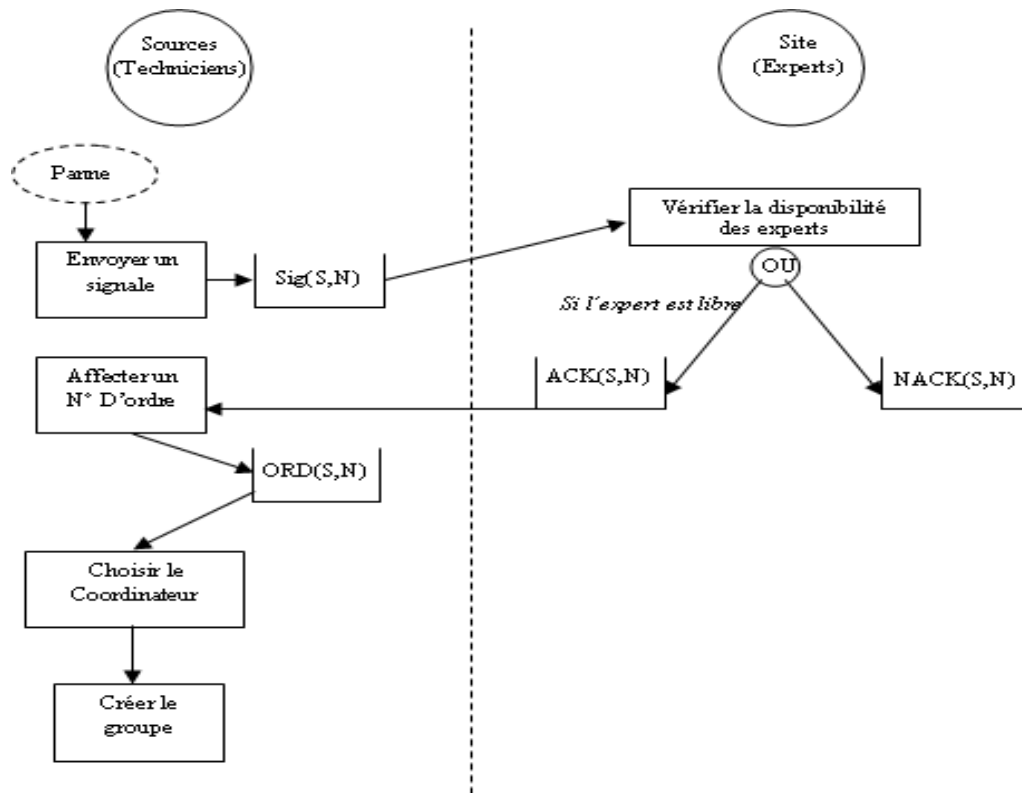


Figure 3.1 : Modèle d'opération du processus de création d'un groupe d'experts [LAR, 11]

- 3) *Le choix du coordinateur* du groupe est fait en fonction de la qualité du réseau entre lui et le site de la panne. Le coordinateur joue le rôle d'interface de communication entre les membres du groupe et le monde extérieur (site défaillants ou autre groupes coopérants).
- 4) *L'affectation pour un nouveau groupe d'expert* peut se faire en fonction des numéros d'ordre des experts en affectant au nouveau groupe existant ou par décision du coordinateur de chaque groupe.
- 5) *L'ajout d'un membre* se fait par un appel ou une invitation du groupe par l'intermédiaire de son coordinateur (figure 3.2) ou alors par une demande d'un site libre voulant rejoindre le groupe (figure 3.3). Tant que les deux sites ne sont pas d'accord (réception d'accusés de réception positifs), le membre ne rentre pas dans le groupe.

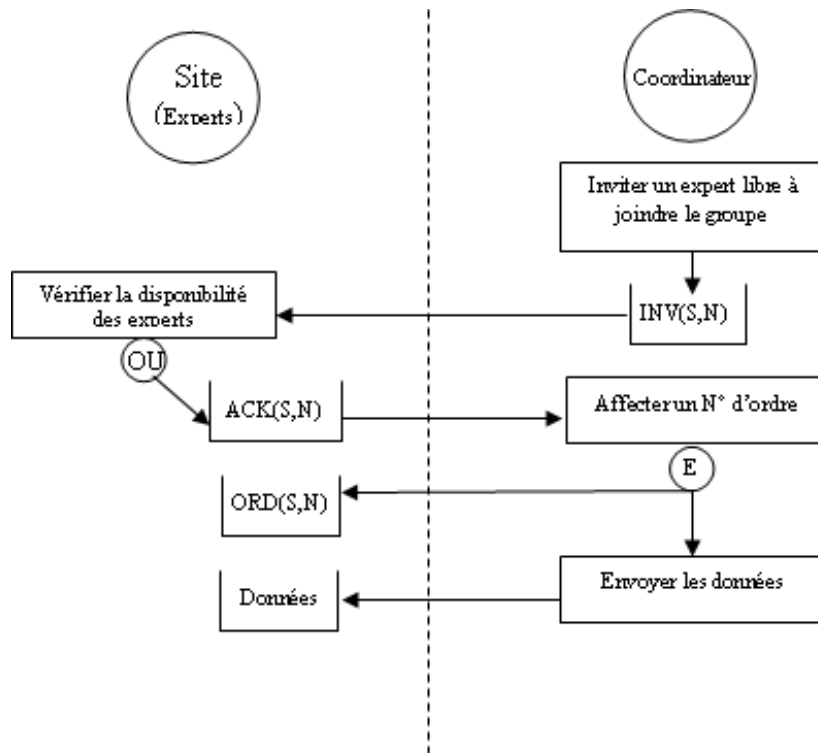


Figure 3.2 : Modèle d'opération du processus d'ajout d'un nouveau membre par invitation [LAR, 11]

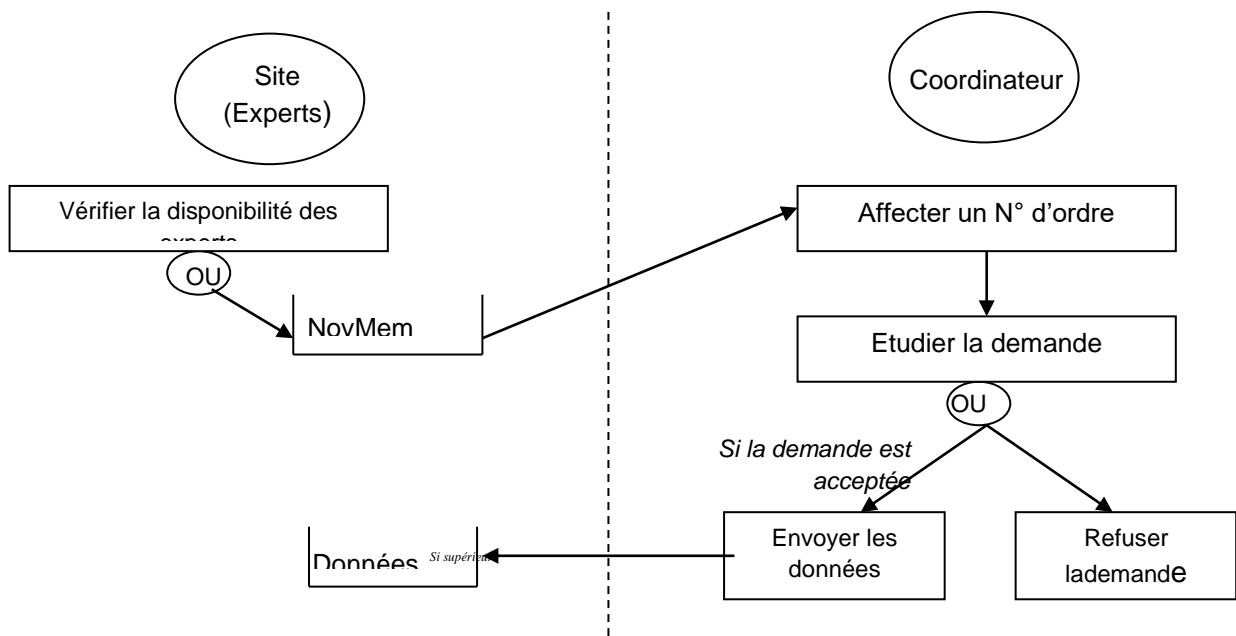


Figure 3.3 : Modèle d'opération du processus d'ajout d'un nouveau membre par demande d'adhésion [LAR, 11]

6) **le traitement d'une nouvelle panne B** si tous les experts sont occupés sur une panne A, se fera comme suit :

- Si le traitement d'une panne A en cours est terminé, alors la nouvelle panne B est traitée immédiatement et le groupe est reconstruit.
- Si le traitement n'est pas encore fini, mais qu'une affectation d'un ou plusieurs experts à la panne déclarée B est possible, alors deux nouveaux groupes sont construits, l'un pour le traitement de la panne B et l'autre pour le traitement de la panne A
- Sinon, la panne déclarée B ne peut pas être traitée, alors elle est enregistrée dans une file d'attente comme un prochain travail (figure 3.4).

7) **La dissolution d'un groupes** d'expert construit peut intervenir afin de répondre à l'ensemble des pannes déclarées. Un groupe d'experts peut être construit en affectant des experts libres à la panne déclarée (figure 3.4).

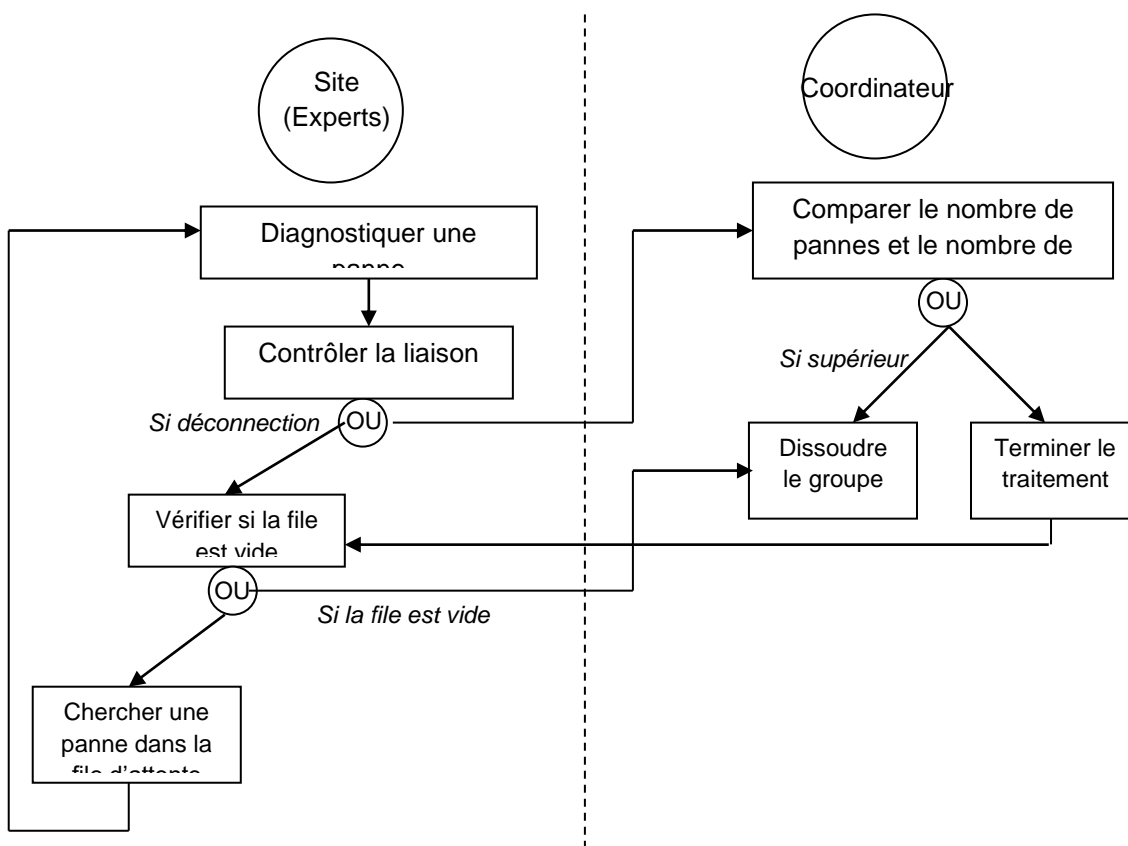


Figure 3.4 : Modèle d'opération du processus de Dissolution du groupe d'experts - fin de traitement [LAR, 11]

8) *La gestion de l'exclusion mutuelle* est prise en compte grâce aux demandes d'autorisations grées par les coordinateurs et les numéros d'ordre des coopérants. Les demandes classées par importance sont parfois insérées dans des files d'attente (Figure 3.5).

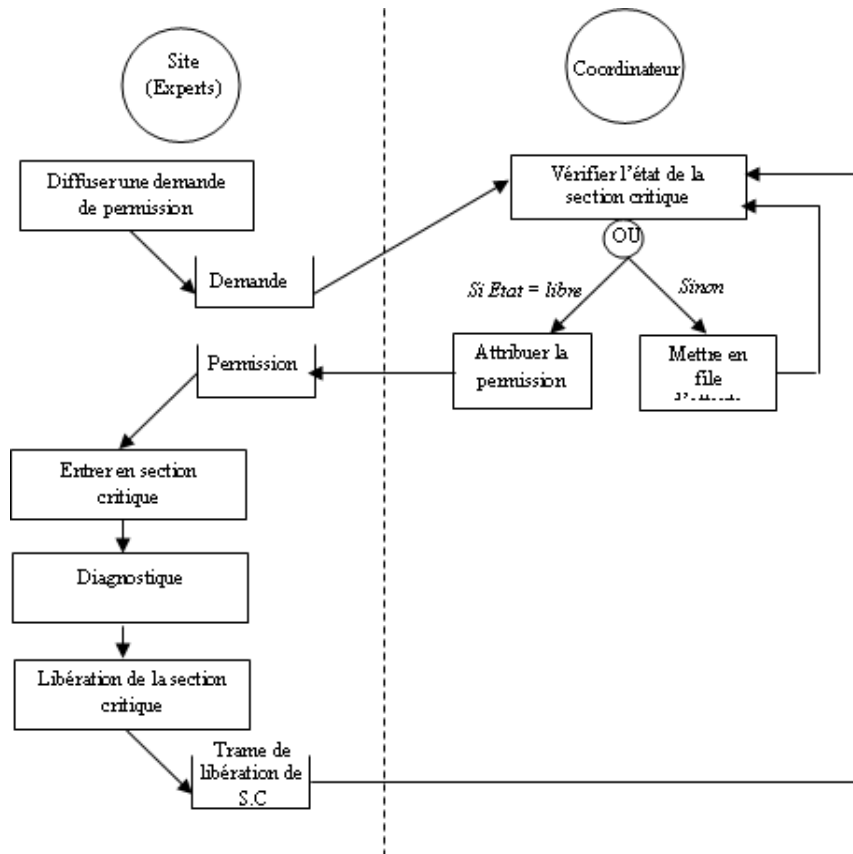


Figure 3.5 : Modèle d'opération du processus d'Exclusion mutuelle [LAR, 11]

4.3. Problématique du choix du coordinateur

Malgré ses nombreux avantages, l'algorithme de Bussedjra manque de précision au niveau de l'étape du choix du coordinateur. En effet, le choix du coordinateur du groupe sous l'algorithme de gestion de la coopération est fait par rapport de la qualité de réseaux entre l'expert et le site de la panne, c'est le seul critère utilisé pour faire le choix. Cependant, la prise en compte d'autres critères, tels que l'expérience de l'expert ou son temps de réponse, peut avoir un impact positif sur la qualité des décisions prises.

A cet effet, nous proposons dans ce chapitre d'étendre l'algorithme en intégrant plusieurs critères dans l'étape du choix du coordinateur.

Nous présentons, dans la section suivante, les différents critères que nous avons choisis pour modéliser le problème du choix d'un coordinateur.

4.4. Les critères du choix d'un coordinateur

a) Qualité du réseau

C'est le seul critère qui a été utilisé par Boussejra, il est considéré comme l'un des critères les plus importants pour choisir le coordinateur du groupe.

b) L'expérience

Plus l'expert a participé dans la résolution de plusieurs pannes, plus il est a de chance d'être élu comme coordinateur

c) La distance entre l'expert et l'entreprise (site de la panne)

La distance entre l'expert et le site de la panne joue un rôle important, dans le cas où la présence de l'expert aux niveaux du site de la panne est nécessaire, alors il est mieux si la distance être plus courte pour assurer la présence de l'expert au bonne moment.

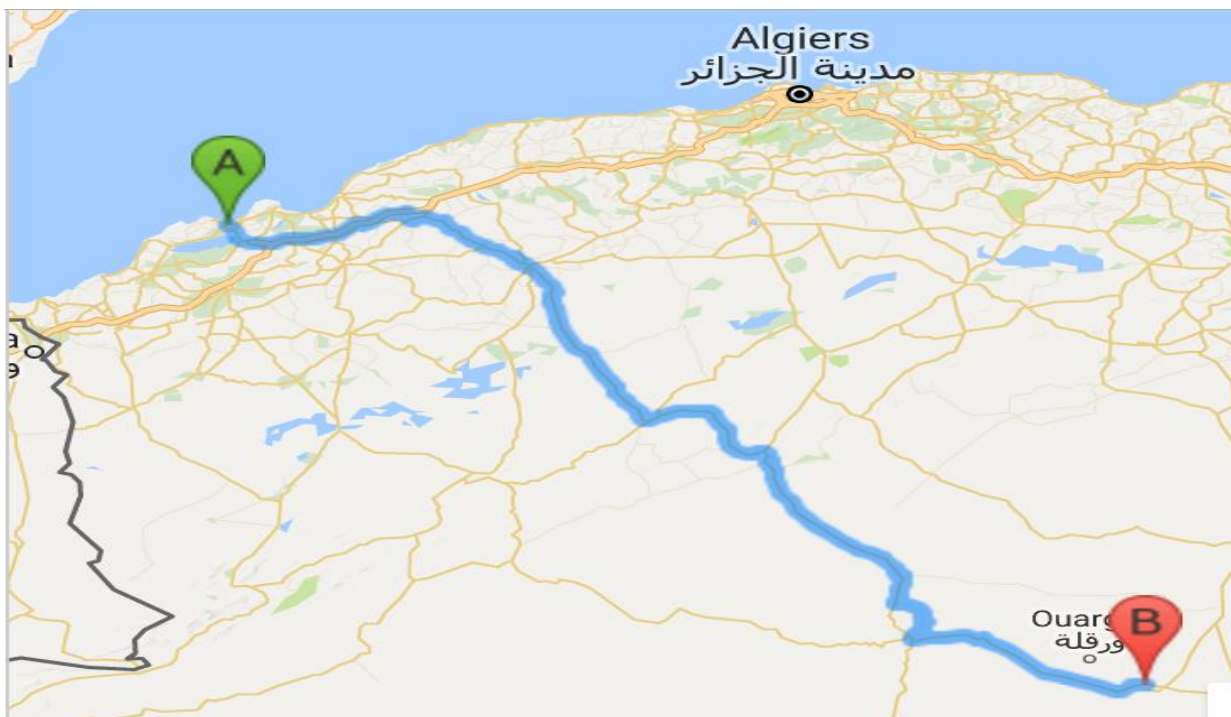


Figure 3.7: distance entre deux points coordonnées GPS

d) L'expérience en tant que coordinateur

Ce critère permet de comptabiliser le nombre de fois où l'expert a été élu comme coordinateur.

e) Temps de réponse

Il représente l'intervalle de temps écoulé entre la déclaration de la panne par le technicien (envoi de la notification) et l'arrivée de la réponse de l'expert.

4.5. La formulation du problème en aide multicritère à la décision

Pour formuler ce genre du problème il faut donc suivre les différentes étapes vu au (chapitre 2) pour la problématique du choix du coordinateur selon la démarche suivante :

a) La liste des actions potentielles

Les experts représentent les actions potentielles du problème, tel qu'on note par (m_1, m_2, \dots, m_n) où (n) est le nombre d'experts.

b) La liste des critères

- Qualité de réseaux à maximiser
- L'expérience à maximiser
- La distance entre l'expert et le site de la panne à minimiser
- Expérience en tant que coordinateur à maximiser
- Temps de réponse à minimiser

c) Tableaux des performances

Le tableau de performances représente l'évaluation de chaque expert par rapport à chaque critère considéré. Nous présentons dans la table1 un exemple de tableau de performances correspondant à 4 experts.

Table1 : exemple d'un Tableaux de performance

Actions/critères	Expérience <i>entier</i>	Qualité_reseaux <i>MB/Sec</i>	Distance <i>Km</i>	Coordinateur <i>entier</i>	Réponse <i>min</i>
m_1	15	2	60	2	2
m_2	13	2.5	50	4	4
m_3	18	2.8	160	0	0
m_4	20	4	70	1	1
Seuil « concordance »	3	3	3	3	3
Seuil « discordance »	9	9	9	9	9

4.6.Choix de la méthode multicritère

Après avoir présenté les différents critères qui caractérisent le problème du choix du coordinateur. Nous nous intéressons, à présent, au choix de la méthode multicritère à utiliser.

Notre problème relève de la problématique de choix. Il est donc nécessaire que la méthode utilisée soit de la même famille. Notre choix s'est porté sur la méthode ELECTRE I développé par [ROY, 96] (voir chapitre2).

ELECTRE I :

La méthode ELECTRE I relève de la problématique « α » (procédure de sélection). Le problème est posé en terme de choix de la "meilleure" action.

Étude du cas :

Supposant qu'on a 4 experts avec les critères correspondant à chaque expert (Table 2), et les poids de chaque critère dans le tableau de performance suivant : « les (m) représente les experts »

Tableau 2 : Tableaux de performance avec les pois de chaque critère

Actions/critères	Expérience	Qualité réseaux	Distance	Coordinateur	Réponse
	<i>entier</i>	<i>MB/Sec</i>	<i>Km</i>	<i>entier</i>	<i>min</i>
m_1	15	2	60	2	2
m_2	13	2.5	50	4	4
m_3	18	2.8	160	0	0
m_4	20	4	70	1	1
Poids	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2
Seuil « concordance »	3	3	3	3	3
Seuil « discordance »	9	9	9	9	9

Les poids sont distribués par l'importance de chaque critère, dans cet exemple la qualité du réseau est très importante alors on donne « 0,3 », le critère distance est moins important que les autres critères alors on donne « 0,1 ».

- La matrice de concordance pour le critère « expérience » avec un seuil =3 pour tous les critères :

Rappel : dans le critère « expérience »

$$C(m1, m2) = \begin{cases} 0.2(\text{poid}) & \text{si } g(m1) + 3 \geq g(m2) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$C(m1, m2) = \begin{cases} 0.2(\text{poid}) & \text{si } 15 + 3 \geq 13 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Alors :

$C(m1, m2) = 0.2$, et on va faire ça avec tous les actions

a/a	m1	m2	m3	m4
m1	0.2	0.2	0.2	0
m2	0.2	0.2	0	0
m3	0.2	0.2	0.2	0.2
m4	0.2	0.2	0.2	0.2

Tableau 3 : Matrice de concordance pour le critère « expérience »

Après de calculer la matrice de concordance pour chaque critère on obtient la matrice de concordance globale :

action/action	m1	m2	m3	m4
m1	1	0.9	1	0.8
m2	1	1	0.6	0.8
m3	0.9	0.7	1	1
m4	0.9	0.9	1	1

Tableau 4 : Matrice de concordance globale

- La matrice de discordance :

Rappel : si on a un seuil de discordance ou(veto) = 9

$$D(m1, m2) = \begin{cases} 1 & \text{s'il exist, } g(m2) \geq g(m1) + 9 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

action/action	m1	m2	m3	m4
m1	0	1	0	0
m2	0	0	0	0
m3	1	1	0	0
m4	1	1	0	0

Tableau 5 : Matrice de discordance globale

- Matrice de surclassement : Rappel avec un seuil de surclassement = 0.6
Si $C(m1, m2) \geq 0.7$ et non $D(m1, m2)$ c'est-à-dire s'il existe de concordance avec non discordance.

action/action	m1	m2	m3	m4	La somme
m1	1	0	1	1	3
m2	1	1	1	1	4
m3	0	0	1	1	2
m4	0	0	1	1	2

Tableau 6 : Matrice de surclassement

- Alors en remarque que (m2) avec une valeur supérieure = 4, alors la classe du choix {m2}. D'où l'expert (m2) qui a la priorité d'être le coordinateur.

-Comparons la résultat avec l'algorithme de « boussejra » parmi les experts le choix est : {m4} car il a la bonne qualité du réseau.

4.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe général de l'algorithme de BOUSSEJRA, nous relevé ses insuffisances, dans l'étape du choix du coordinateur et nous avons proposé une extension de cet algorithme en intégrant l'approche multicritère. Le chapitre suivant représente la mise en œuvre pratique de notre proposition.

Chapitre 4 : implémentation et conception

4.1. Introduction

Nous avons présenté, dans le chapitre précédent, la modélisation du problème de choix d'un coordinateur en télémaintenance en utilisant les principes de l'approche multicritère en aide à la décision. Nous présentons, dans le présent chapitre, l'interface graphique de notre application. Ce chapitre est composé de deux parties. La première partie traite le côté conceptuel en présentant le modèle conceptuel de l'application en utilisant la méthode UML. La deuxième partie est dédiée à la démonstration des différentes fonctionnalités de l'interface graphique développée.

4.2. Le modèle conceptuel de l'application

4.2.1. Le modèle conceptuel de la base de données

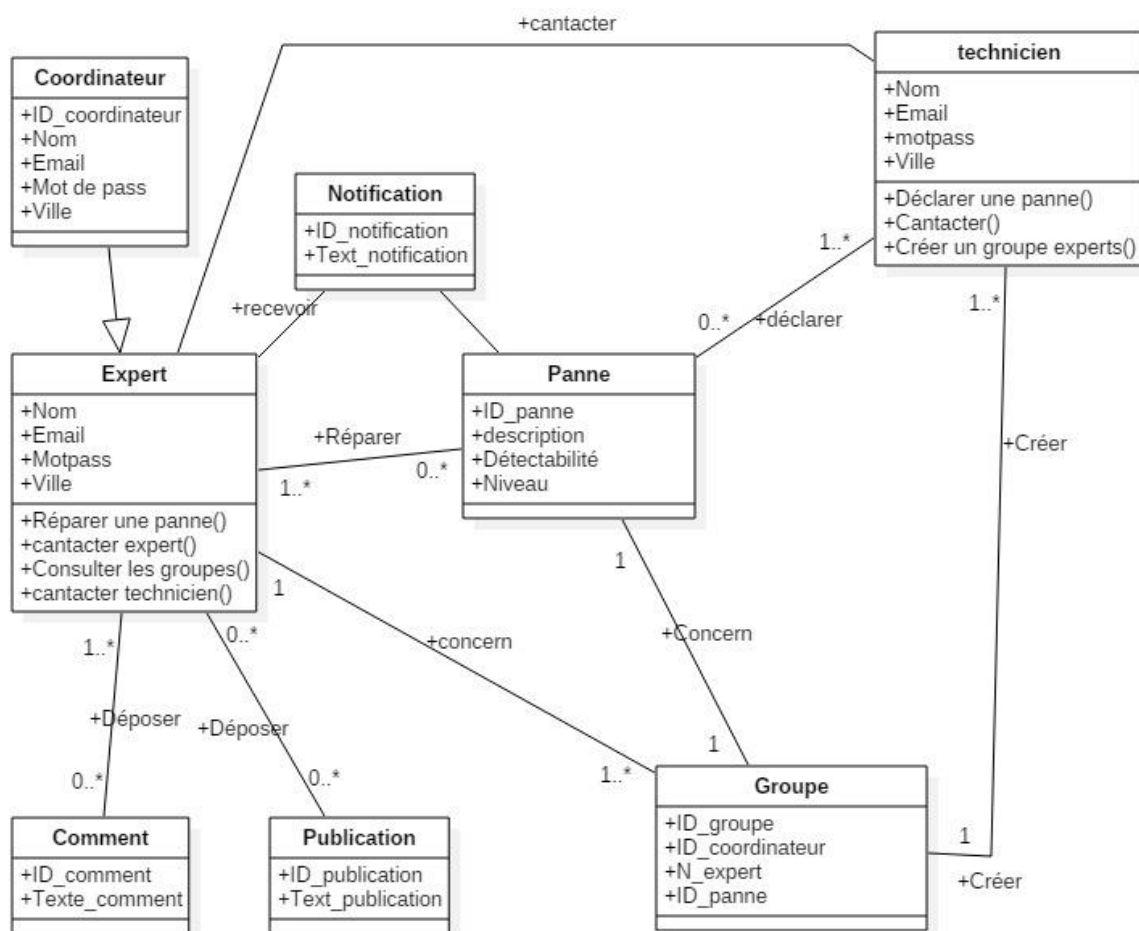


Figure 4.1 : Le model conceptuel de la base de donnée

Nous présentons, dans cette section, le modèle conceptuel de notre application en utilisant quelques diagrammes de la méthode UML.

4.2.2. Diagramme des cas d'utilisation

On distingue dans le cadre de ce projet deux types d'acteurs : expert et technicien (visiteur/inscrit).

- **La description textuelle du diagramme des cas d'utilisation pour l'acteur « Expert »:**

Résumé	Les experts (visiteurs ou inscrits) peuvent consulter les groupes qui sont entrain de réparer des pannes. Pour qu'un expert visiteur puisse réparer une panne il faut qu'il s'inscrive dans l'application. Pour qu'un expert inscrit puisse réparer une panne il faut qu'il accède au site et consulte les notifications des pannes déclarées par les techniciens. Pour qu'un expert inscrit puisse rejoindre un groupe d'experts il faut qu'il accède au site et envoie une demande.
Acteur principal	Expert inscrit
Acteur secondaire	Expert visiteur

- **La description textuelle du diagramme des cas d'utilisation pour l'acteur « technicien » :**

Résumé	Les techniciens (visiteur et inscrit) peuvent consulter les groupes qui sont entrain de réparer des pannes. Pour qu'un technicien visiteur puisse déclarer une panne il faut qu'il s'inscrive dans le site. Pour qu'un technicien inscrit puisse déclarer une panne il faut qu'il remplisse le formulaire qui décrit la panne.
Acteur principal	Technicien inscrit
Acteur secondaire	Technicien visiteur

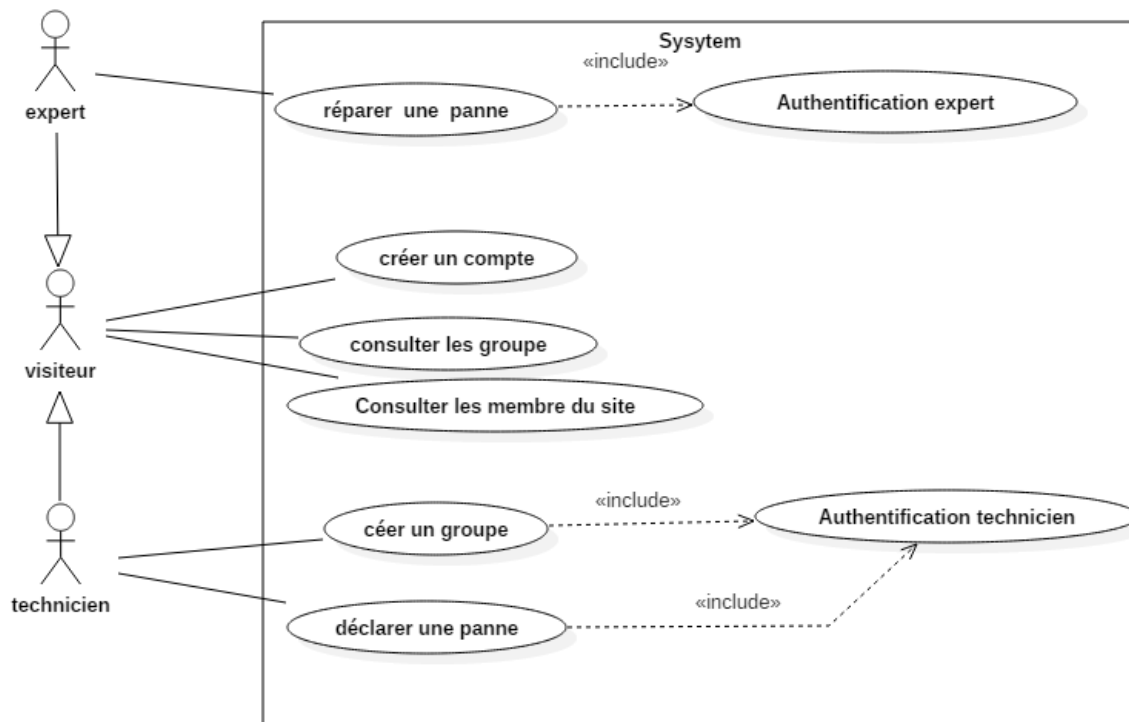


Fig.4.2 : Diagramme des cas d'utilisation

4.2.3 Diagramme d'activité

- Diagramme d'activité de la fonctionnalité « inscription » technicien/expert

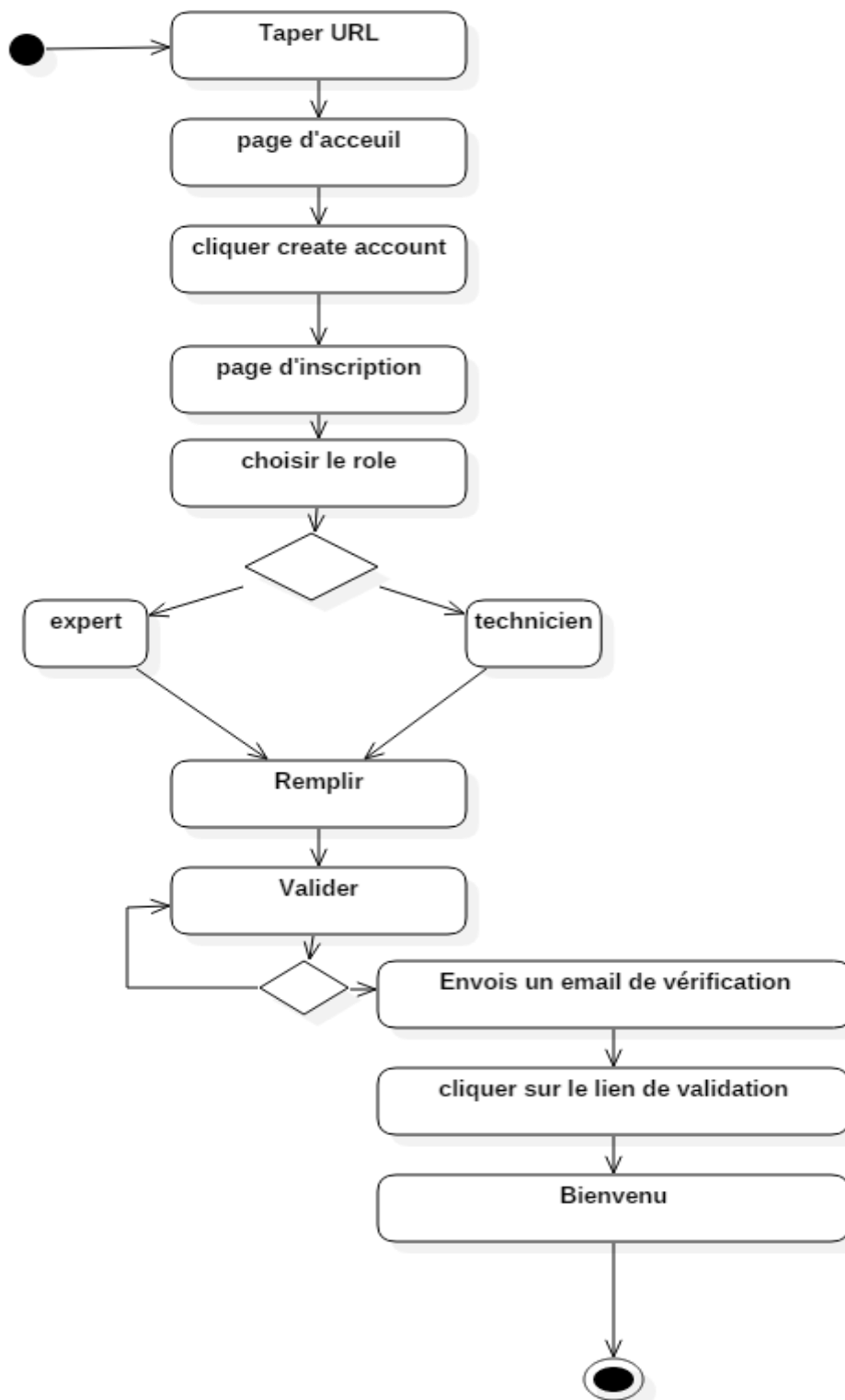


Fig.4.3 : Diagramme d'activité inscription (expert/technicien)

- Diagramme d'activité des tâches d'un expert

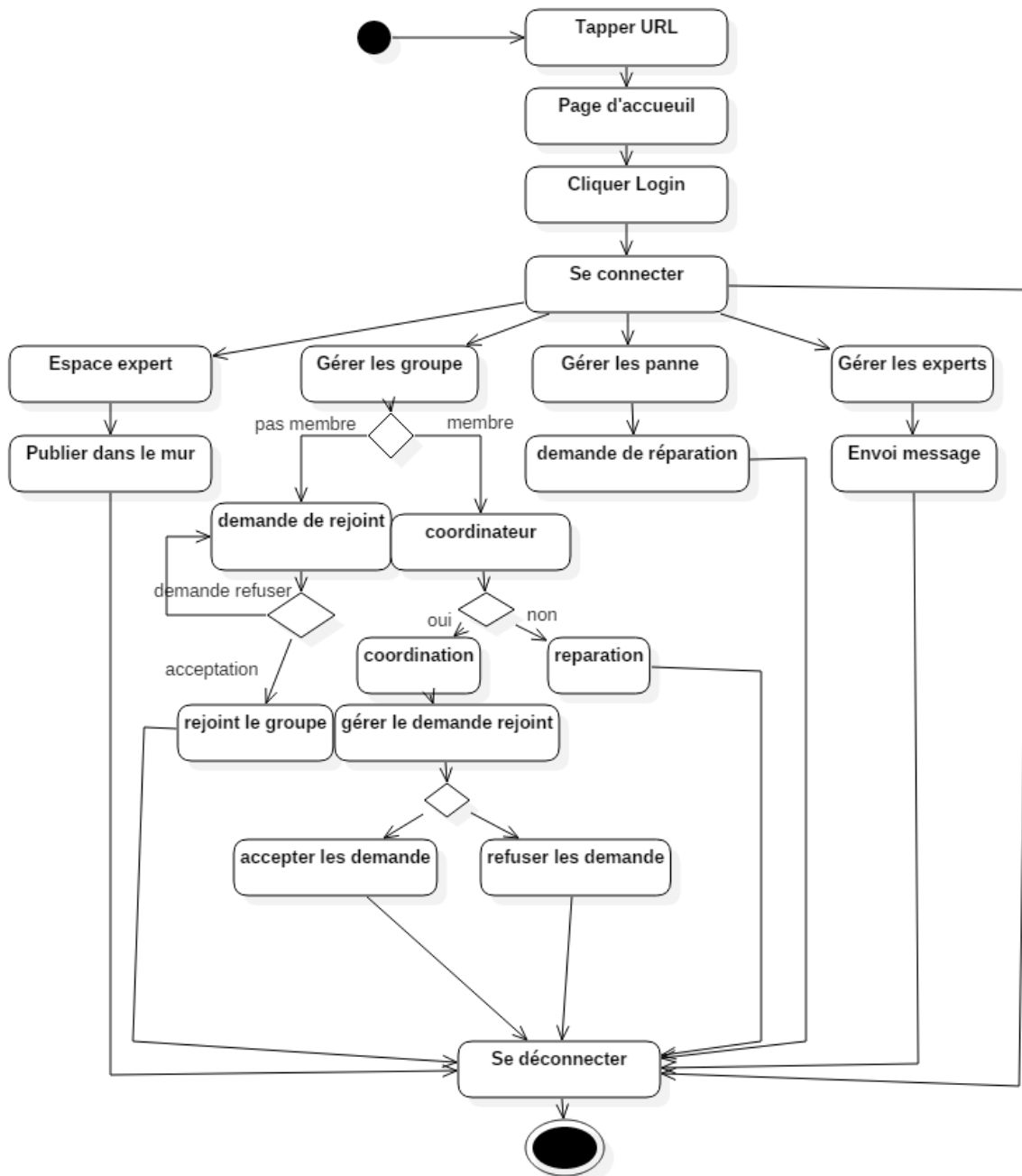


Fig.4.4 : Diagramme d'activité des tâches d'un expert

- **Diagramme d'activité des taches d'un technicien**

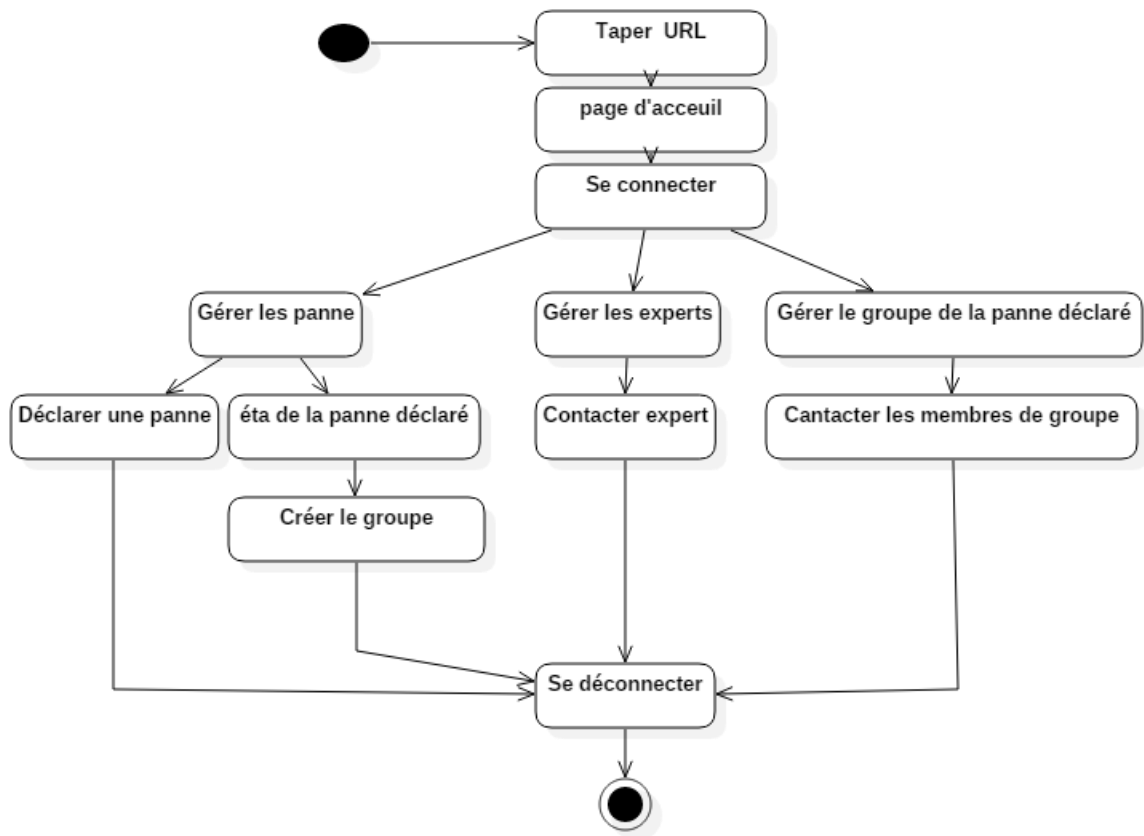


Fig.4.5 : d'activité des taches d'un technicien

4.2.4. Diagramme de séquence

- Diagramme de séquence de la déclaration d'une panne

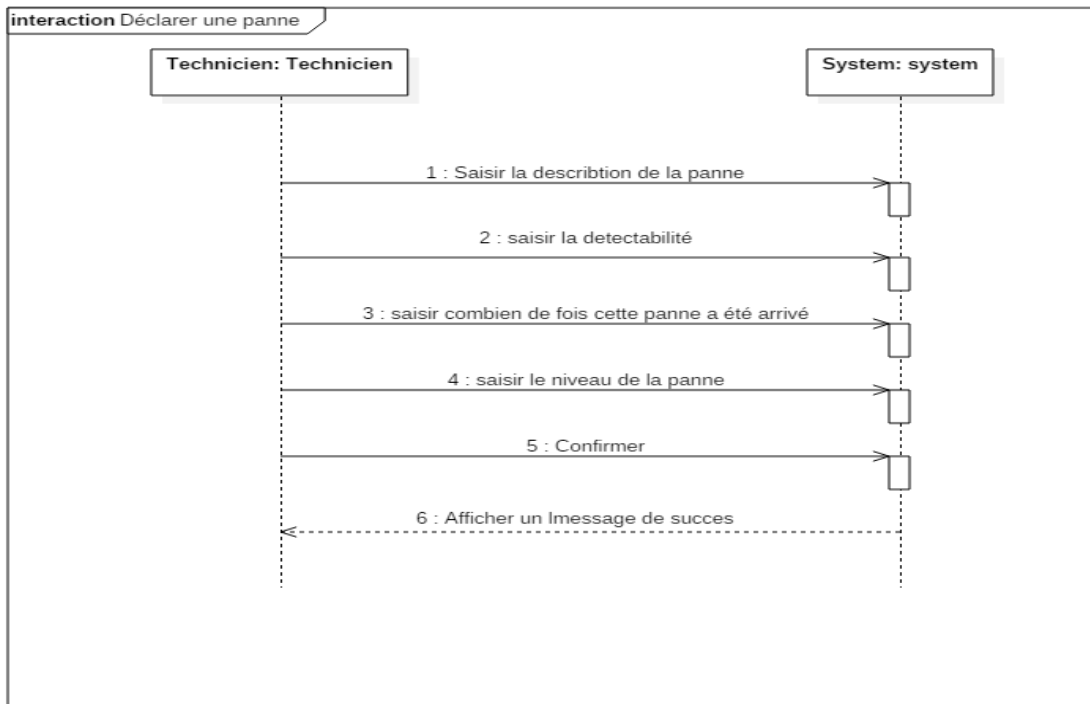


Fig.4.6 : Diagramme de séquence de la déclaration d'une panne

4.3 L'environnement de développement

Pour le développement de notre interface graphique, nous avons utilisé les outils suivants :

- **Le langage PHP**

Le langage de script *PHP* (acronyme pour *Hypertext Preprocessor*). Cet outil est souvent désigné beaucoup plus comme plateforme qu'un langage de programmation fondamental. Le langage *PHP* est généralement installé sur un serveur *Apache*. L'exploitation particulière de *PHP*, en tant que langage de script côté serveur, signifie que c'est le serveur qui interprétera son code, afin de générer du code *html*, qui pourra à son tour être interprété par des navigateurs côté clients.

- **Apache**

Apache est le serveur le plus répandu sur Internet. Il fonctionne principalement sur les systèmes d'exploitation UNIX (Linux, Mac OS X, Solaris, BSD et UNIX) et Windows.

- **MySQL**

MySQL est un système de gestion de base de données (SGBD). Selon le type d'application, la licence est libre ou 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 et Microsoft SQL Server.

4.4 Les principales interfaces graphiques

1. Page d'inscription :

L'expert ou le technicien peut créer un compte en remplissant un formulaire qui contient des informations personnelles.

The screenshot shows the 'Create new account' page for 'Expert Group Remote diagnostics'. The page has a dark green header with the logo and navigation menu. The main content area contains a registration form with the following fields:

- Role:** A dropdown menu with 'expert' selected.
- Name:** A text input field with the placeholder 'Enter your full name'.
- Email:** A text input field with the placeholder 'Enter email'.
- Password:** A text input field with the placeholder 'Enter password'.
- City:** A text input field with the placeholder 'City'.

A 'Sign up' button is located at the bottom of the form. A callout box points to the 'expert' text in the role dropdown, with the text: 'Ici l'utilisateur spécifie expert ou technicien'.

Figure 4.7 : page d'inscription (technicien/expert)

2. Page de connexion :

Après la création du compte le technicien ou l'expert peut accéder à son compte en saisissant son email et son mot de passe

Figure 4.8 : page de connexion

3. Page déclaration d’une panne :

Dans le cas où le technicien veut déclarer une panne, il remplit un formulaire décrivant la panne.

Figure 4.9 : page déclaration d’une panne

4. Recevoir notification :

Une fois la panne déclarée par le technicien, tous les experts reçoivent une notification.

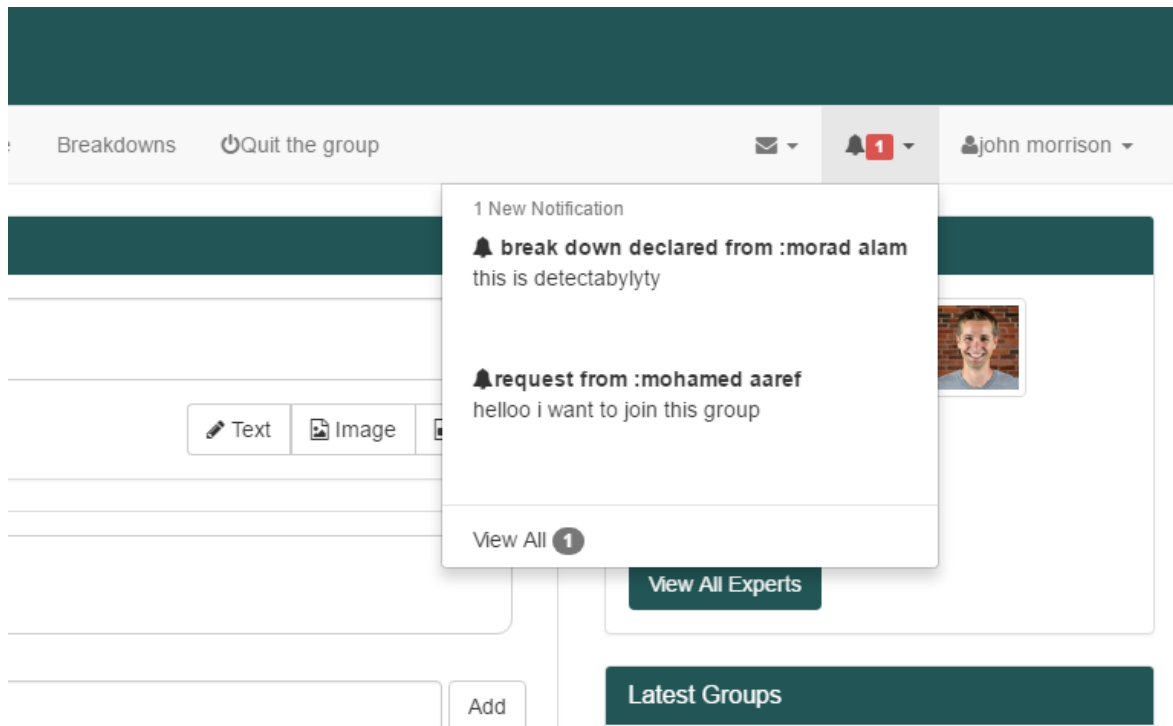


Figure 4.10 : nouvelle notification

5. Réparation de la panne :

Un expert peut participer à la réparation d'une panne en cliquant sur "repar this breakdown".

Le système détecte calcule automatiquement la qualité du réseau et la distance entre l'expert et le site de la panne en utilisant les coordonnées de la ville. Pour le reste des critères (tel que l'expérience), les valeurs sont extraites à partir de la base de données et mise à jours à chaque fois que l'expert participe dans la réparation d'une panne.

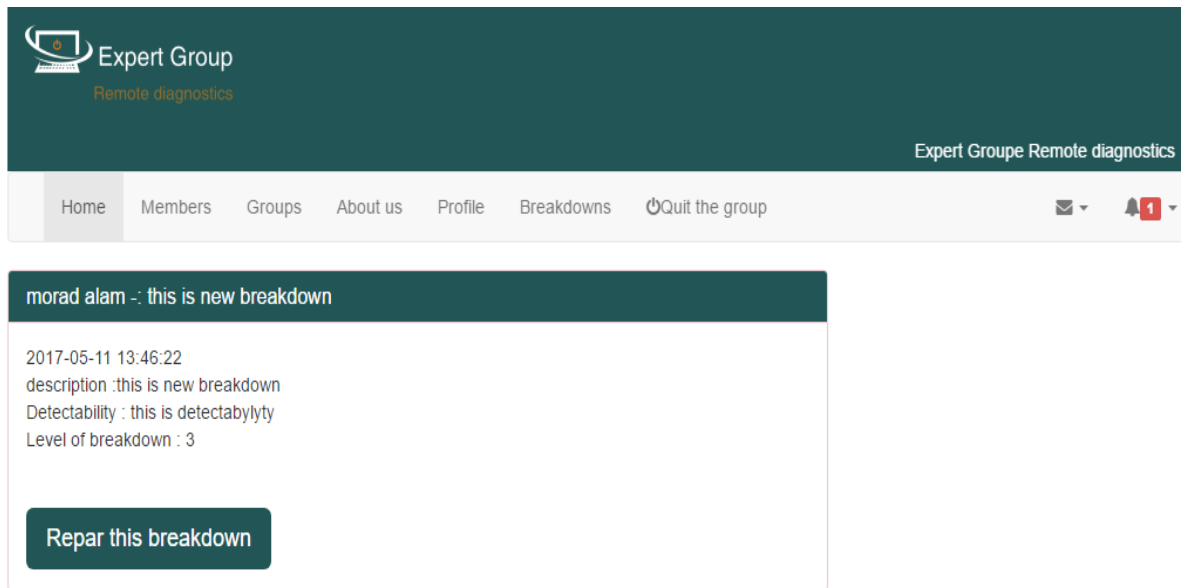


Figure 4.11 : l'envoi de demande de la réparation

6. La création du groupe :

Après l'envoi de demande de réparation de côté expert, le technicien peut consulter les experts ayant répondu à sa demande. Le technicien procède à la création du groupe après avoir choisi le coordinateur du groupe via l'exécution de l'algorithme ELECTRE I.

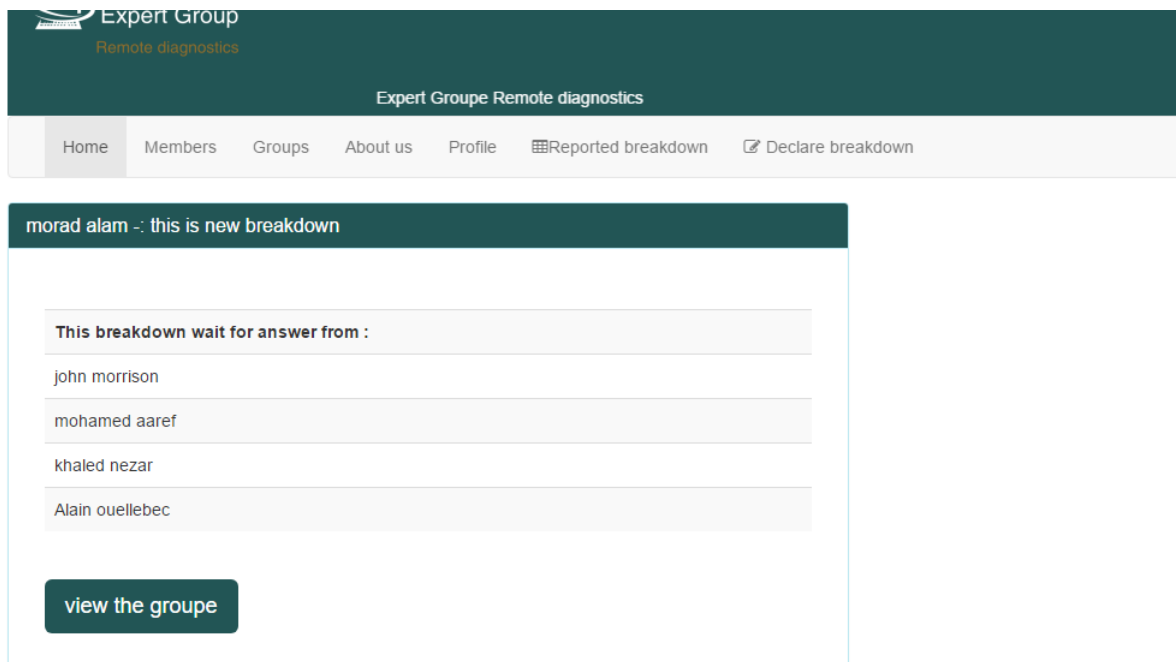


Figure 4.12 : le technicien consulte l'état de demande des experts

List of experts relevant to breakdown ID : 121

ID Panne	Expert Name	Expert City	Email
121	john morrison	relizane	johnmorrison@gmail.com
121	mohamed aaref	mazaghran	moha@gmail.com
121	khaled nezar	blida	aaa@live.fr
121	Alain ouellebec	annaba	marko@gmail.com

Figure 4.13 : page de création du groupe

Tableau de performance

les experts	Qualite reseaux	Experience tant que coordonner	Temps de reponse	Experience avec cette panne	Distance
john morrison	138.1611328125	12	591	4	8.06
mohamed aaref	115.505859375	0	591	4	1.6826
khaled nezar	126.955078125	1	591	4	29.7224
Alain ouellebec	136.1962890625	0	592	1	86.2417
Les poids	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1
Seuil de concordance	3	3	3	3	3
Seuil de discordance	9	9	9	9	9

Create the Groupe

Figure 4.14 : Tableau de performance avant la création du groupe

- **L'exécution de l'algorithme ELECTRE I**

matrice de concordance avec : le seuil de concordance = 3

Expert/Expert	john morrison	mohamed aaref	khaled nezar	Alain ouellebec
john morrison	1	0.9	1	1
mohamed aaref	0.3	1	0.6	0.6
khaled nezar	0.2	0.9	1	0.6
Alain ouellebec	0.6	0.9	0.9	1

matrice de discordance avec : le seuil de discordance = 9

Expert/Expert	john morrison	mohamed aaref	khaled nezar	Alain ouellebec
john morrison	0	0	0	0
mohamed aaref	1	0	0	0
khaled nezar	1	1	0	0
Alain ouellebec	1	1	1	0

Figure 4.15 : matrice de concordance et discordance

matrice de surclassement avec : le seuil de surclassement = 0.7

Expert/Expert	john morrison	mohamed aaref	khaled nezar	Alain ouellebec	La somme
john morrison	1	1	1	1	4
mohamed aaref	0	1	0	0	1
khaled nezar	0	0	1	0	1
Alain ouellebec	0	0	0	1	1

the maximum is :4

the expert selected as coordinateur is :john morrison

Le coordinateur



Figure 4.16 : matrice de surclassement et le choix final du coordinateur

Après la création du groupe le technicien ou les experts de ce groupe peut consulter la page « groupe » qui contient un diagramme affiche le schéma général du groupe ainsi les informations des membres.

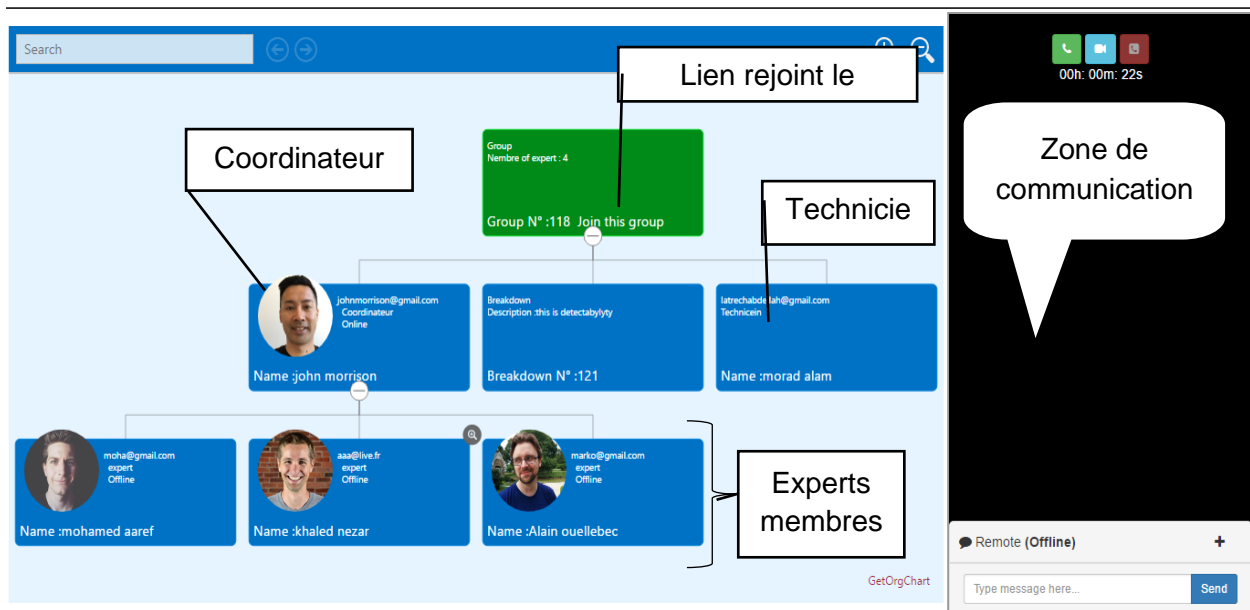


Figure 4.17 : la page groupe

Dans cette page les experts peuvent communiquer entre eux, et le plus important est la communication avec le technicien pour avoir plus information sur la panne, on a ajouté un lien pour pouvoir rejoindre le groupe par un expert externe.

De côté communication entre l'expert et le technicien, nous avons ajouté la possibilité d'utiliser d'autres moyens de communication (tels que le texte, l'audio et la vidéo).

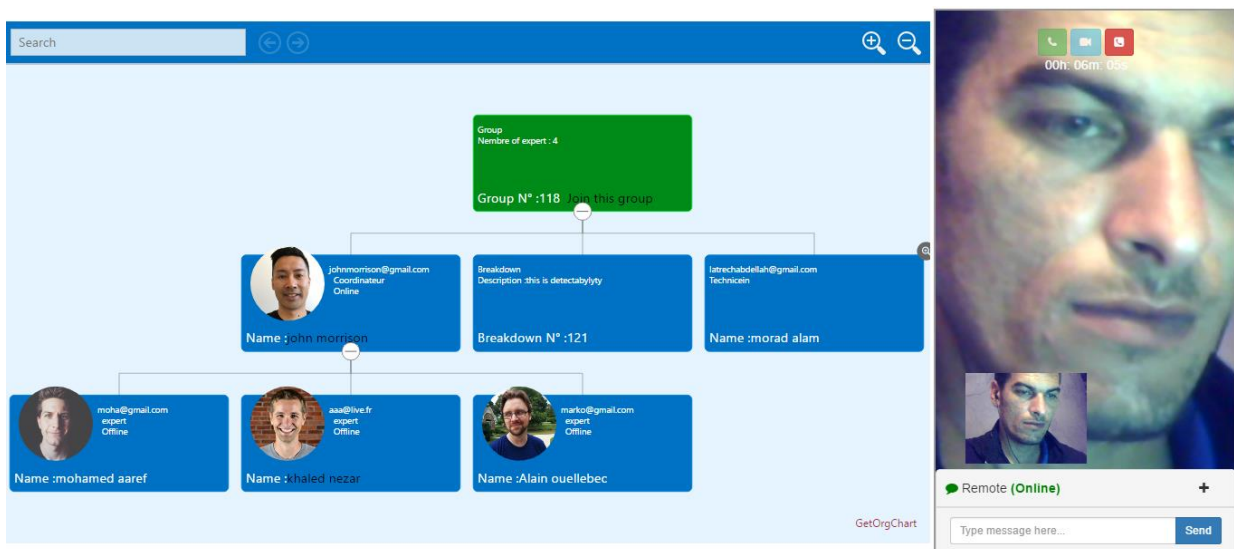


Figure 4.18 : Exemple d'une appel vidéo expert/technicien

4.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons représenté le modèle conceptuel de notre application. Nous avons montré, à travers l'interface graphique, toutes les étapes du processus de réparation d'une panne depuis sa déclaration par le technicien jusqu'à la création du groupe et le choix du coordinateur.

Conclusion Générale

Dans ce projet, nous avons présenté la problématique générale de notre domaine de travail, qui concerne la télémaintenance. Nous avons clairement explicité le principe de transition entre la notion de télémaintenance et celle d'e-maintenance. Cette nouvelle notion représente une forme intelligente de télémaintenance. La mise en œuvre du concept de l'e-maintenance se concrétise par l'implémentation d'une plateforme coopérative distribuée intégrant différents outils et applications de maintenance. Cette plateforme qui doit prendre appui sur le réseau Internet et la technologie web permet d'échanger, de partager et de distribuer des informations.

Nous avons présenté le principe de l'approche d'aide multicritère à la décision. Nous avons présenté ses principaux concepts et méthodes.

Nous avons détaillé, par la suite, le principe général de l'algorithme de BOUSSEDJRA et nous avons relevé ses insuffisances dans l'étape du choix du coordinateur. Pour remédier à ces insuffisances, nous avons proposé une extension de cet algorithme en intégrant les concepts de l'approche d'aide multicritère à la décision.

Pour mieux illustrer notre travail, nous avons développé un site web permettant d'implémenter les différentes étapes du processus de diagnostic et de maintenance d'une panne en allant de la déclaration de la panne jusqu'à la création du groupe d'expert et le choix du coordinateur.

Les tests accomplis sur cette version sur un réseau local donnent une bonne idée des possibilités de collaboration et de coordination. Cependant, il est souhaitable de mener une expérimentation effective en situation afin de cerner au mieux les besoins des usagers et de mesurer objectivement l'intérêt de notre démarche.

Références bibliographiques

- [AFN, 01] : Norme AFNOR, « Terminologie de la maintenance », NF-EN13306. X60-319, 57p, Juin 2001.
- [BEL, 00] : N. Belacel : “Multicriteria assignment method PROAFTN : Methodology and medical applications”. European Journal of Operational Research, Vol.125, N°1, 2000, pp.175-183.
- [BEL, 99] : N. Belacel. « Méthodes de Classification Multicritère : Méthodologie et Application au Diagnostic Médical ». Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 1999.
- [BOU & Roy, 87] Bouyssou, D., et Roy, B. “La notion de seuils de discrimination en analyse multicritère”. INFOR, Vol.25, N°4, 1987, pp.302-313.
- [BOU, 01] : M « la gestion de l’information pour la télémaintenance et le télédiagnostic coopératif ». Mémoire de DEA. LIFC 2001.
- [Bra & al., 82] : Brans, J.P., Mareschal, B., Vincke, P. “PROMETHEE : a new family of outranking methods in multicriteria analysis”. Proceedings of the 10th IFORS International Conference on Operational Research, Washington, USA, August 6-10, 1982, pp. 408-421.
- [ELLI, 91] : Ellis C., Gibbs S.J., Rein G.L. Groupware : some issues and experiences. In Communications of the ACM, vol. 34, n° 1, Jan. 1991, pp. 38-58.
- [ELLI, 94] Ellis, Clarence et Wainer, Jacques. A Conceptual Model of Groupware. Actes de la conférence ACM Computer Supported Cooperative Work (CSCW’94), 1994, pages 79-88, ACM Press.
- [FIG & al, 04] : Figueira, J., De Smet, Y., and Brans, J.-P. “MCDA methods for sorting and clustering problems : Promethee TRI”. Technical Report TR/SMG/2004-002, SMG, CoDE, Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium, 2004.
- [GEO & al., 72] : Geoffrin, A., Dyer, J., Feinberg, A. “An interactive approach for multiple criteria optimization, with an application to the operation of academic department”. Management Science, Vol.19, N°4, 1972, pp.357-368.
- [HACH, 14] : Chihab HANACHI Université Toulouse I, France. Cours , « introduction au workflow » 2014.
- [HED, 11] : Dr. Djalal HEDJAZI, Thèse, « Conception d’un modèle coopératif de support de la télémaintenance industrielle » 2011.
- [HEN, 2000] : Henriët, L. “Systèmes d’évaluation et de classification multicritères pour l’aide à la décision, construction de modèles et procédures d’affectation”. Thèse de Doctorat, Université Paris. Dauphine, 2000.
- [KAF, 01] : Kafel H., D’Amours S. et Ait-Kadi D., 2001, *The Concept of Distributed Maintenance*, 29th International conferences of Computers & Industrial Engineering, Novembre 1-3, Montréal Canada
- [KAR, 94] : Karsenty A. Le Groupware : de l’interaction homme-machine à la communication homme-homme. In Technique et Science Informatique (TSI), vol. 13, n° 1, pp. 105-127, 1994.

- **[KHO & BUCK, 02]** : Khoshafian, S. Buckewiez, M. "Groupware et workflow ", inter édition 2002.
- **[KOL, 93]** : Kolski C, Millot P., « Problems in telemaintenance and decision aid criteria for telemaintenance system design », International Journal of Industrial Ergonomics, volume 11, n° 2, pp. 99-106, 1993.
- **[LAA, 11]** : Dr. LAREDJ MOHAMMED ADNANE, Thèse « Spécification d'un Workflow pour la gestion des interactions entre experts au sein d'un processus de maintenance coopératif » 2012.
- **[LAR, 11]** : M.A. Laredj, et K. Bouamrane, article 2011 avec le titre : « Modélisation des interactions entre experts dans un processus de télédiagnostic coopératif »
- **[LAR, 11]** :Laredj M.A, Bouamrane K, "Workflow Specification for interaction management between experts in a cooperative remote diagnosis process". Computer Science and Information Systems (ComSIS) journal, Vol. 8, No. 3, p 573, June 2011
- **[LEG, 04]** : J-B. Léger, —A case study of remote diagnosis and e-maintenance information system, | In : Proceedings International conference on intelligent maintenance systems (IMS'2004), Arles, France, 2004.
- **[LEV, 00]** : Levan, S. K., « Le projet workflow », 2ème édition, tirage 2000, Eyrolles.
- **[LVM, 94]** :Lucien Yves Maystre; Jacques Pictet; Jean Simos Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale
- **[MAL, 90]** : Malone T-W., Growston K., What is coordination theory and how it help design cooperative work systems ? In Proceedings of the ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work, 357-370, 1990.
- **[MAL, 94]** : Malone T-W., Growston K., The interdisciplinary study of coordination, ACM Computing Surveys, 26(1), 87-119, 1994.
- **[MIL, 97]** : Millot P., Hoc J-M., Human-machine cooperation : Metaphor or possible reality ? In proceedings of the second European Conference on Cognitive Science, pages 165-174, Manchester – U.K, January 1997.
- **[MUL, 05]** : Muller A., Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus de pronostic. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, juin, 2005.
- **[PAV, 94]** : Pavard B., Systèmes coopératives : de la modélisation à la conception. Octarès Editions, Toulouse, 1994.
- **[RAS, 06]** : Ivana Rasovska « Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance » Thèse de doctorat, L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté, 2006.
- **[RAS, 07]** : Rasovska, I., Chebel-Morello, B., Zerhouni, N., Classification des différentes architectures en maintenance, 7e Congrès international de génie industriel, Québec, Canada, juin 2007
- **[ROU, 15]** : Dr. ROUBA BAROUDI, Thèse « Minimisation des désagréments dans les clusters agrégés » 2015.

- **[ROY, 75]** : Roy, B. “Vers une méthodologie générale d’aide à la décision”. *Metra*, Vol.14, N°3, 1975, pp.459-497.
- **[ROY, 78]** : ELECTRE III : Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahiers du CERO*, 20(1):3–24, 1978
- **[ROY, 85]** : Méthodologie multicritère d’aide à la décision. Ed. Economica, 1985.
- **[ROY, 96]** : Multicriteria Methodology for Decision Aiding Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- **[ROY, 96]** :B. Roy and D. Vanderpooten. The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 5(1):22–37, 1996.
- **[SAA, 02]** : Saadoun, M. « Le workflow pour automatiser les procédures et tâches répétitives », INEDIT, 2002.
- **[SALB95]** Salber, Daniel. De l'interaction individuelle aux systèmes multiutilisateurs. L'exemple de la Communication Homme-Homme-Médiatisée. *Thèse de doctorat Informatique*, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, Septembre 1995,303 pages.
- **[SCH, 85]** Scharlig, A. “Décider sur plusieurs critères, panorama de l’aide à la décision multicritère”. Collection Diriger l’entreprise, N°1, Edition Presses Polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne, Suisse, 1985.
- **[SCH, 96]** : K. Schmidt et C. Simone. Coordination mechanisms : towards a conceptual foundation of CSCW systems design. *CSCW : the journal of collaborative computing* (5), Kluwer Academic Publishers, pages 155-200, 1996.
- **[SPAD, 04]** : Spadoni M., Système d’information centré sur le modèle CIMOSA dans un
- **[TAL, 99]** : Talbi E-G., Roux O., Fonlupt C., and Robillard D., Parallel ant colonies for combinatorial optimization problems. In Feitelson Rudolph (eds.), *Job Scheduling Strategies for Parallel Processing: IPPS’95 Workshop*, Springer LNCS 959, Volume 11. 1999.
- **[TAR, 05]** : *Tararykine V.*, « Modélisation des Flux d’Information dans un Système de E-maintenance », Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Novembre 2005.
- **[VIN, 89]** L’aide multicritère à la décision, Editions de l’Université de Bruxelles - Editions Ellipses, Bruxelles.
- **[YU, 92]** Yu, W. “Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique de tri : Concepts, méthode et applications”. Thèse de Doctorat, Université de Paris Dauphine, 1992.
- **[ZAR, 98]** : Zarifian P., Travail et communication, Paris : Presses Universitaires de France, 1998. Contexte d’entreprise étendue, *JESA*, Volume 38, n° 5, pp. 497-525, 2004.