

CAHIER DU LAMSADE

Laboratoire de Management Scientifique et Aide à la Décision

(Université Paris IX Dauphine)

Aide à la décision en matière d'organisation d'atelier :
compromis entre les composantes humaines et économiques.
Cas d'une chaîne*

N°7-1977

J.L. GIORDANO et J.C. SUQUET



781-1204

*Communication présentée au Congrès EURO II, Stockholm, 30 nov-2 déc 1976.
Ce texte reprend certains des éléments d'une thèse de 3ème cycle soutenue par
les auteurs en juin 1976 dont le texte intégral peut être consulté au laboratoire.

540 635

540 635

RESUME

L'objet de cette étude est de présenter une application, à un cas concret, d'une méthode multicritère interactive inspirée des travaux de B. ROY : l'organisation, dans un contexte socio-technique, d'un atelier de montage d'un constructeur français d'automobiles.

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE CETTE APPROCHE

- Elle est multicritère : les critères, humains et économiques, ne peuvent être agrégés à cause de leur hétérogénéité.
- Elle est interactive : les interactions successives avec le décideur conduiront à déterminer sur les critères un ensemble d'évaluation "optimale" en accord avec ses préférences, ce qui constitue l'optimisation conjointe des systèmes technique et social.
- Elle est pragmatique : les préférences du décideur ne sont pas recherchées au moyen de questions abstraites (taux de substitution, etc ...) mais au contraire approchées par le biais d'actions connues concrètes, déjà réalisées dans l'entreprise.
- Une action d'organisation est définie par $a = (G, s)$.
G est un graphe : ses sommets sont les tâches, ses arcs représentent les transitions du produit, s sont des variables affectées aux sommets et aux arcs.

DIFFERENTES ETAPES DE LA METHODE

- Définition d'un ensemble cohérent de critères.
- Interaction avec le décideur portant sur des actions connues d'où est déduit :
 - . des vecteurs d'évaluations dont les composantes peuvent être considérées comme équivalentes pour lui.
 - . des ensembles de pondérations qui représentent ses préférences.
- Cheminement dans la direction des préférences.
- A partir des évaluations connues, nouvelle recherche d'action par transformations du graphe.
- Nouvelle interaction.

Lorsqu'il est impossible d'améliorer l'action trouvée, compte tenu de l'information disponible, nous appellerons celle-ci un compromis.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present an application to a specific case of a multicriteria interactive method inspired from B. ROY's works : the organization, in a socio-technical context, of a fitting work-shop in a French motor-car company.

MAJOR CHARACTERISTICS OF THIS APPROACH

- It is multicriterian : the criteria, human and economic, cannot be aggregated because of their heterogeneity.
- It is interactive : the successive interactions with the decision maker try to determine on the criteria a set of optimum evaluations according to his preferences. This represents the optimization of both technical and social systems.
- It is pragmatismal : the preferences of the decision maker are not searched by means of abstract questions (as trade-off ratios) but on the contrary approached through concrete actions already achieved in the company.
- An organizational action is defined by $a = (G, s)$. G is a graph : its vertices are the tasks to be made, its arcs express the transitions of the product. s are the variables connected to the vertices and to the arcs.

DIFFERENT STAGES OF THE METHOD

- Defining a coherent set of criteria.
- Interacting with the decision maker about known actions from which are deduced :
 - . Evaluations vectors whose components can be considered as equivalents to him.
 - . Sets of ponderations which materialise his preferences.
- Proceeding along in the direction of the preferences.
- From known evaluations, researching an action by graph transformations.
- Interacting again.

When it is impossible with the available information to improve actions any further, we call it a compromise.

PLAN

INTRODUCTION	P. 2
CHAPITRE I : METHODOLOGIE DE PRISE DE DECISION	P. 4
I. 1. Présentation de la chaîne de montage de culasses	P. 4
I. 2. Aide à la décision d'organisation d'atelier	P. 4
I. 3. La méthode du point de mire et son adaptation	P. 5
I. 4. Définition des actions	P. 7
I. 5. Lignes générales de la méthodologie	P. 8
CHAPITRE II : CRITERES D'EVALUATION D'UNE ORGANISATION D'ATELIER	P.10
II. 1. Critères	P.10
II. 2. Propriétés des critères	P.15
CHAPITRE III : TRADUCTION PARTIELLE DES PREFERENCES PAR DES SYSTEMES DE PONDERATIONS	P.17
III. 1. Interactions avec le décideur	P.17
III. 2. Systèmes de pondérations	P.22
CHAPITRE IV : APPROCHE COMPLEMENTAIRE DES PREFERENCES DU DECIDEUR: VECTEURS D'ACCROISSEMENTS EQUIVALENTS	P.27
IV. 1. Préférences sur actions connues	P.27
IV. 2. Lois de compositions réalistes	P.27
IV. 3. Vecteurs d'accroissements équivalents	P.30
IV. 4. Evolution des vecteurs d'accroissements équivalents	P.33
IV. 5. Application pratique	P.33
CHAPITRE V : RECHERCHE DES ACTIONS	P.37
V. 1. Cheminement	P.37
V. 2. Evaluations optimales	P.41
V. 3. Identification des actions	P.41
V. 4. Application pratique	P.42

CHAPITRE VI : RECHERCHE ITERATIVE D'UN COMPROMIS	P. 46
VI. 1. Mécanisme de réaction	P. 46
VI. 2. Elaboration d'un compromis par enrichissement progressif de l'information	P. 47
CONCLUSION	P. 49
REFERENCES	P. 50

AIDE A LA DECISION EN MATIERE D'ORGANISATION D'ATELIER :
COMPROMIS ENTRE LES COMPOSANTES HUMAINES ET ECONOMIQUES.
CAS D'UNE CHAINE.

AVERTISSEMENT

Le sujet traité a été développé de manière beaucoup plus détaillée dans le cadre d'une thèse de doctorat de 3ème cycle à l'Université Paris IX Dauphine.

L'exposé ci-dessous n'a en fait pour objet que de préciser les aspects fondamentaux de la démarche utilisée pour la réorganisation d'un atelier de culasses dans une optique socio-technique.

Le lecteur désireux de plus de détails aura donc intérêt à se reporter à la thèse ⁽¹⁾. Il sera d'ailleurs fait renvoi à celle-ci à plusieurs reprises au cours des pages qui suivent.

(1) Cf. LAMSADE ou Bibliothèque de l'Université Paris IX Dauphine.

INTRODUCTION

L'organisation du travail dans les ateliers telle qu'elle a été préconisée par Taylor, telle qu'elle a été appliquée et souvent dévoyée dans les entreprises, fut pendant longtemps justifiée comme la conséquence malheureuse de l'évolution des techniques. Cette argumentation était soutenue par l'hypothèse sous-jacente d'une opposition entre l'efficacité économique de l'entreprise et la valorisation des conditions de travail.

Certaines expériences commencent cependant à battre en brèche cette idée. A Kalmar et à Södertälje en Suède, Volvo et Saab-Scania ont mis en évidence que la chaîne de montage n'était pas la seule solution technologique "rentable".

Des grèves ont également attiré l'attention sur la situation des O.S. et sur le fait important que leurs conditions de travail seraient de moins en moins acceptées. Ce rejet se manifeste notamment par des indicateurs tels que l'absentéisme, la rotation du personnel, le taux de rebuts, dont les évaluations défavorables viennent mettre en doute cette relation prétendue entre l'efficacité économique de l'entreprise et l'organisation traditionnelle du travail. Il apparaît en fait de manière de plus en plus précise que des variables telles que le contenu du travail et la satisfaction des motivations des ouvriers sont parmi les facteurs qui influent sur ces indicateurs socio-économiques.

Des entreprises de plus en plus nombreuses tentent de ce fait d'organiser des ateliers expérimentaux dans la perspective de modifier les fondements du travail ouvrier de telle sorte que soit amélioré leur environnement matériel (bruit, éclairage, poussière, ...) et psychologique. Il s'agit dans cette dernière optique de déparcelliser les tâches, de les "enrichir", en regroupant les fonctions (conception, exécution, contrôle, ...) dont Taylor avait préconisé la séparation; d'accroître l'autonomie des ouvriers, de faire descendre les pouvoirs de décision vers la base.

Que ce soit donc pour des raisons économiques ou pour des raisons sociales, l'organisation d'un atelier ne peut plus relever uniquement, comme par le passé, de techniques telles que la fragmentation des tâches et l'équilibrage de la chaîne. Les types d'organisation à envisager sont plus variés et doivent tenir compte de variables beaucoup plus diverses que dans l'approche classique.

La prise de décision concernant l'organisation d'atelier devient de ce fait beaucoup plus complexe. Il ne s'agit plus d'optimiser le système technique seul mais un système caractérisé par une dimension technique et une dimension sociale en perpétuelle interaction, d'où la notion de système socio-technique que lui appliquent les chercheurs de l'institut Tavistock.

Cette étude présente dans cette optique, une application à un cas concret d'une méthode multicritère interactive inspirée des travaux de B. ROY⁽¹⁾. Il s'agit de l'organisation, dans un contexte socio-technique, d'un atelier de montage de culasses d'un grand constructeur automobile français.

Les deux premiers chapitres auront pour objet, après avoir présenté l'atelier étudié, de rechercher d'une part une méthodologie de prise de décision appropriée à cette catégorie de problèmes et d'autre part d'établir un ensemble de critères permettant de prendre en compte les préférences globales du décideur. Celles-ci seront approchées au cours des chapitres suivants, par un processus interactif qui aboutira à la présentation de plusieurs "actions" correspondant à des évaluations sur les critères "optimales" au sens des préférences du décideur.

(1) B. ROY - Vers une méthodologie générale d'aide à la décision. METRA 1975, N° 4.

CHAPITRE I

METHODOLOGIE DE PRISE DE DECISION

Ce chapitre définit, à partir de l'analyse de l'atelier de culasses, les lignes générales de la méthodologie utilisée dont il précise les principales caractéristiques.

I. 1. PRESENTATION DE LA CHAÎNE DE MONTAGE DES CULASSES.

Le mode de production actuel de cet atelier est la chaîne de montage classique : 34 ouvriers, travaillant en 2 x 8, réalisant une production d'environ 110 culasses à l'heure. Leur temps de cycle est de l'ordre de 30 secondes. Les difficultés liées à cette activité proviennent de trois origines : la composition du personnel dont une partie est handicapée, des conditions de travail défectueuses - éclairage, manque de place dû à une production double de celle prévue initialement, bruit, atmosphère lourde et poussiéreuse - et des mauvaises conditions de production - ancienneté de la chaîne ; l'atmosphère poussiéreuse nuit à la qualité du montage.

La Direction désire restructurer l'atelier afin d'améliorer d'une part les caractéristiques physiologiques des postes de travail et d'autre part les aspects psychosociologiques des tâches exécutées par les ouvriers. C'est de ce deuxième point que traite la méthodologie exposée. Il convient cependant de souligner que toute action psychosociologique est vaine si elle intervient dans un atelier dont les normes physiologiques sont insuffisantes.

I. 2. AIDE A LA DECISION D'ORGANISATION D'ATELIER

Vouloir aider, de manière scientifique, à la décision en matière d'organisation d'atelier implique de pouvoir analyser chaque organisation possible d'atelier, que nous appellerons "action possible", au travers de toutes ses conséquences. Ceci nécessite d'une part de savoir définir les actions, d'autre part de les évaluer au moyen de critères représentant les différents aspects du système socio-technique que constitue l'atelier.

Une difficulté provient de la complexité même des actions, constituées d'un grand nombre de variables changeantes, plus ou moins formalisées et floues. De ce fait la recherche de "bonnes" actions fait partie de l'aide à la décision.

Si le décideur ressent la nécessité de changer d'organisation d'atelier, il lui sera difficile, en général, de définir initialement toutes ses préférences. Celles-ci peuvent en outre, évoluer avec l'avancement du projet. Il faudra donc employer une méthode interactive où les "bonnes" actions seront générées en même temps que seront précisées les préférences du décideur.

De par ces multiples aspects du problème qui sont souvent antagonistes, hétérogènes et non agrégeables, nous ne pourrions pas parler d'optimisation. Il serait en effet irréaliste de vouloir appliquer une démarche unicritère à un problème d'organisation qui prend en compte, outre les aspects économiques, les variables liées à la "satisfaction" des ouvriers dans leur travail. Comment trouver par exemple une unité commune permettant de comparer les possibilités de relations entre individus (aspect psychosociologique) et le prix de l'opération (aspect économique) ?

En présence de critères multiples et hétérogènes, un optimum n'aura en effet pas de sens sans référence à un ensemble de règles établies par avance et représentant une sorte de "cahier des charges" des préférences et des objectifs du décideur. Ces règles permettront d'effectuer des choix parmi des profils d'évaluation (vecteurs) correspondant à diverses actions.

Il est cependant difficile de caractériser un décideur. Nous remarquerons avec B. ROY⁽¹⁾ que l'on a souvent affaire à un ensemble de personnes formant un décideur plus ou moins mythique. Dans le cas de l'étude de l'atelier de culasses nous avons défini notre décideur comme l'ensemble des responsables (chef de département, chef du service "conditions de travail", chef d'atelier,...) que nous avons rencontrés. Nous avons également tenu compte des préférences exprimées par la Direction Générale de l'entreprise au travers de notes de service, exposés, ...

I. 3. LA METHODE DU POINT DE MIRE ET SON ADAPTATION.

Les méthodes multicritères essaient de remédier aux difficultés voire aux impossibilités, auxquelles se heurtent les méthodes à critère unique lorsqu'elles se trouvent exposées à un problème ayant trait à des actions entraînant un "nuage de conséquences souvent flou et complexe" ⁽¹⁾

Plusieurs raisons nous ont orienté vers la méthode du point de mire :

- Contrairement aux méthodes Electre par exemple, elle ne demande pas de connaître initialement un ensemble A d'actions

(1) B. ROY Vers une méthodologie générale d'aide à la décision . METRA 1975, N° 4
Une analyse des principales méthodes multicritères est effectuée dans cet ouvrage.

candidates. Dans notre cas la variété des actions possible est immense. Elle résulte des multiples possibilités d'appliquer les différents types d'organisation envisageables à toutes les partitions possibles des tâches de l'atelier.

- La démarche permet de définir l'"action" recherchée en même temps que les préférences du décideur. Cette particularité est importante puisque le manque d'expérience actuel en matière de réorganisation d'atelier laisse supposer que le décideur sera souvent conscient de la nécessité de réorganiser son atelier sans pour autant avoir d'idée précise sur l'orientation la meilleure de cette réorganisation.
- Dans cette même optique, cette approche présente une caractéristique essentielle : elle ne recherche en aucun cas un optimum mais un compromis, à savoir une des meilleures actions compte tenu de l'information dont on dispose sur les préférences du décideur.
- Le point de mire qui a pour évaluations le maximum sur chacun des critères, est de ce fait une référence indispensable pour permettre au décideur d'apprécier les "pertes" qu'il a dû consentir sur chacun des critères pour parvenir à l'action proposée.
- La dernière caractéristique de cette approche, et la principale, réside dans le fait qu'elle est interactive. Il ne s'agit donc pas d'une procédure mécanique qui se substituerait en quelque sorte au décideur mais d'une méthode constamment ouverte à son intervention. Elle aide celui-ci d'une part à faire la synthèse des informations des différents secteurs impliqués dans la décision, d'autre part à préciser ses préférences en mettant en évidence les conséquences des choix possibles.

Cette interaction, pour être efficace, doit être pragmatique. Nous avons donc adapté notre méthodologie pour qu'elle n'utilise que l'information effectivement disponible dans l'entreprise. Nous avons notamment introduit la prise en compte d'"actions connues", c'est-à-dire d'expériences déjà réalisées ou étudiées, comme support des entretiens avec le décideur et comme moyen d'approcher ses préférences. Nous verrons ultérieurement comment l'étude des types

d'organisation possibles d'une chaîne de montage de moteurs a ainsi permis de mettre en évidence les préférences de la Direction pour l'organisation de l'atelier de culasses et ainsi, par interactions successives, de préciser l'action recherchée.

I. 4. DEFINITION DES ACTIONS.

Pour traiter l'information recueillie nous avons défini une action a d'organisation d'atelier par $a = (G, s)$. G est le graphe de transition du produit. Ses sommets sont les tâches à effectuer et ses arcs symbolisent la transition du produit, à savoir une manutention, un stockage, une succession de tâches sur le même poste de travail ... s est un ensemble de variables caractéristiques attachées aux sommets (temps opératoires, effectifs, superficie, moyens affectés, ...) ou aux arcs de G (stocks entre postes, distance entre postes ...).

Les nouvelles formes d'organisation du travail s'orientent actuellement vers la constitution de groupes autonomes d'ouvriers. Ceci suggère de ne plus organiser une équipe de travail sur le triplet : opération-machine-opérateur, mais sur le triplet : ensemble de tâches- ensemble d'équipements-groupe d'ouvriers. Pour générer une action a nous rechercherons donc sur le graphe G des groupements de tâches "homogènes" (connexes, proches, permettant une répartition équitable du travail), lesquels seront affectables à des groupes d'ouvriers.

Une action a pour être possible doit répondre à certaines propriétés. Il faut en effet s'assurer que les fonctions principales de l'atelier soient remplies, c'est-à-dire que soient vérifiées les relations de fonctionnement. Celles-ci traduisent notamment que les temps de cycle des différents ouvriers permettent d'assurer la production, que les précédences imposées par la technologie dans l'ordre de montage des pièces (graphe de précédence) sont respectées, que la distribution des tâches entre les poste est "équilibrée", que la superficie disponible autorise l'implantation envisagée

Une action a sera jugée au travers d'un ensemble de critères représentant les dimensions caractéristiques des conséquences de cette action sur l'organisation de l'atelier. Nous analyserons au chapitre suivant les neuf critères retenus.

Les indicateurs d'état qui permettent d'appliquer chacune des actions à un échelon de l'échelle du critère correspondant, sont tous fonctions des variables s caractéristiques de l'atelier. Ils sont donc liés l'un à l'autre fonctionnellement et créent de ce fait des relations implicites entre les

critères que nous appellerons relations d'existence. Un ensemble d'évaluations sur les critères n'est en effet acceptable que s'il correspond à des variables caractéristiques s qui vérifient ces relations.

Une action pour être réalisable doit donc répondre à certaines conditions : elle doit être "possible", elle doit vérifier les relations d'existence elle doit également vérifier un certain nombre de contraintes. Ces contraintes peuvent s'exercer soit sur les évaluations, soit sur les composantes des actions. Les contraintes sur évaluations, que nous appellerons "relations de performance", dépendent essentiellement de la politique du décideur : prix de revient maximum, autonomie minimum des ouvriers, ... Les contraintes sur actions ont trait au caractère objectif de l'action elle-même et limitent ainsi directement l'ensemble A des actions possibles : superficie totale disponible, effectif total

I. 5. LIGNES GENERALES DE LA METHODOLOGIE.

L'ensemble A des actions possibles ne peut cependant être défini ni en extension, ni en compréhension. Ceci résulte d'une part de la complexité d'un système socio-technique comportant de nombreux facteurs et permettant d'envisager un grand nombre d'actions et d'autre part du peu d'expérience actuel concernant les nouveaux principes d'organisation du travail.

Il serait donc gigantesque, et d'ailleurs inutile, de vouloir énumérer toutes les actions possibles. Cette caractéristique du problème va à l'encontre des méthodes usuelles de recherche opérationnelle où l'ensemble des actions possibles est supposé parfaitement identifié. Notre démarche aura donc pour objet de déterminer quelques actions particulières, correspondant à des évaluations "optimales" au sens des préférences du décideur. Cette optique nous incite à "cheminer" sur l'espace $\gamma(A)$ des évaluations.

Si nous appelons E l'espace à neuf dimensions représenté par les neuf critères, cet espace sera séparée en deux zones : la zone des points représentatifs d'actions réalisables et celle des points représentatifs d'actions non réalisables. Ces deux zones sont séparées par une frontière implicite définie par les contraintes et les relations d'existence entre critères. On constate que cette frontière est une frontière de Pareto, à savoir qu'elle représente un ensemble de points à l'intérieur duquel il n'est pas possible de passer d'un point à un autre en augmentant l'évaluation de tous les critères. Pour "gagner" sur certains critères, il faudra "perdre" sur d'autre. Nous appellerons cette frontière l'ensemble des "actions efficaces". L'action compromise recherchée se trouve sur cette frontière car sinon il serait possible de trouver une autre action réalisable meilleure sur tous les critères que l'action choisie, ce qui est contraire à notre définition du compromis.

La méthodologie de recherche de l'action la meilleure au sens des préférences du décideur va donc consister à cheminer dans l'espace E en s'éloignant du point de mire - rappelons que ses composantes sont les évaluations maxima des différents critères - et en recherchant un point de la frontière d'existence précédemment définie de telle sorte que ce point soit le moins "éloigné" du point de mire au sens des préférences. Cette procédure suppose deux conditions préalables :

- Pour pouvoir orienter notre cheminement, il convient de tenir compte des critères sur lesquels le décideur est le moins réticent quant à une diminution de leur évaluation. Nous traduirons ces préférences par des pondérations qui influenceront sur la trajectoire suivie. Nous étudierons au chapitre III l'établissement de ces pondérations.
- Il est également nécessaire de pouvoir comparer, au sens des préférences du décideur, les pertes sur chacun des critères. Nous définirons ainsi au chapitre IV des "vecteurs d'accroissements équivalents".

Nous verrons au chapitre V comment percevoir que la trajectoire suivie traverse la frontière d'existence. Les coordonnées du point ainsi trouvé représente un ensemble d'évaluations sur les critères "optimales" au sens des préférences du décideur. Nous analyserons donc comment déduire de cet ensemble d'évaluations une action-compromis.

CHAPITRE II

CRITERES D'EVALUATION D'UNE ORGANISATION D'ATELIER

Le choix d'une action d'organisation d'atelier entraînera inévitablement un certain nombre de conséquences pour l'entreprise de même que pour les personnes qui vont y être impliquées. Il est donc nécessaire d'analyser ce "nuage de conséquences élémentaires" $\nu(a)$ afin d'en déduire les dimensions caractéristiques sur lesquelles devront se fonder les préférences du décideur. Les critères retenus résultent notamment d'une analyse des différentes recherches effectuées sur les aspects psychosociologiques du travail : Ecole des Relations Humaines, Maslow, Herzberg, Institut Tavistock, Ecole du Job Design, ... Nous renvoyons pour cette analyse au texte complet de la thèse ⁽¹⁾. Nous énonçons cependant sur le tableau 2. 1 les principales relations entre les aspects sociaux du problème et les dimensions correspondantes retenues.

Nous préciserons tout d'abord les neuf critères choisis et mentionneront ensuite leurs caractéristiques.

II. 1 LES CRITERES

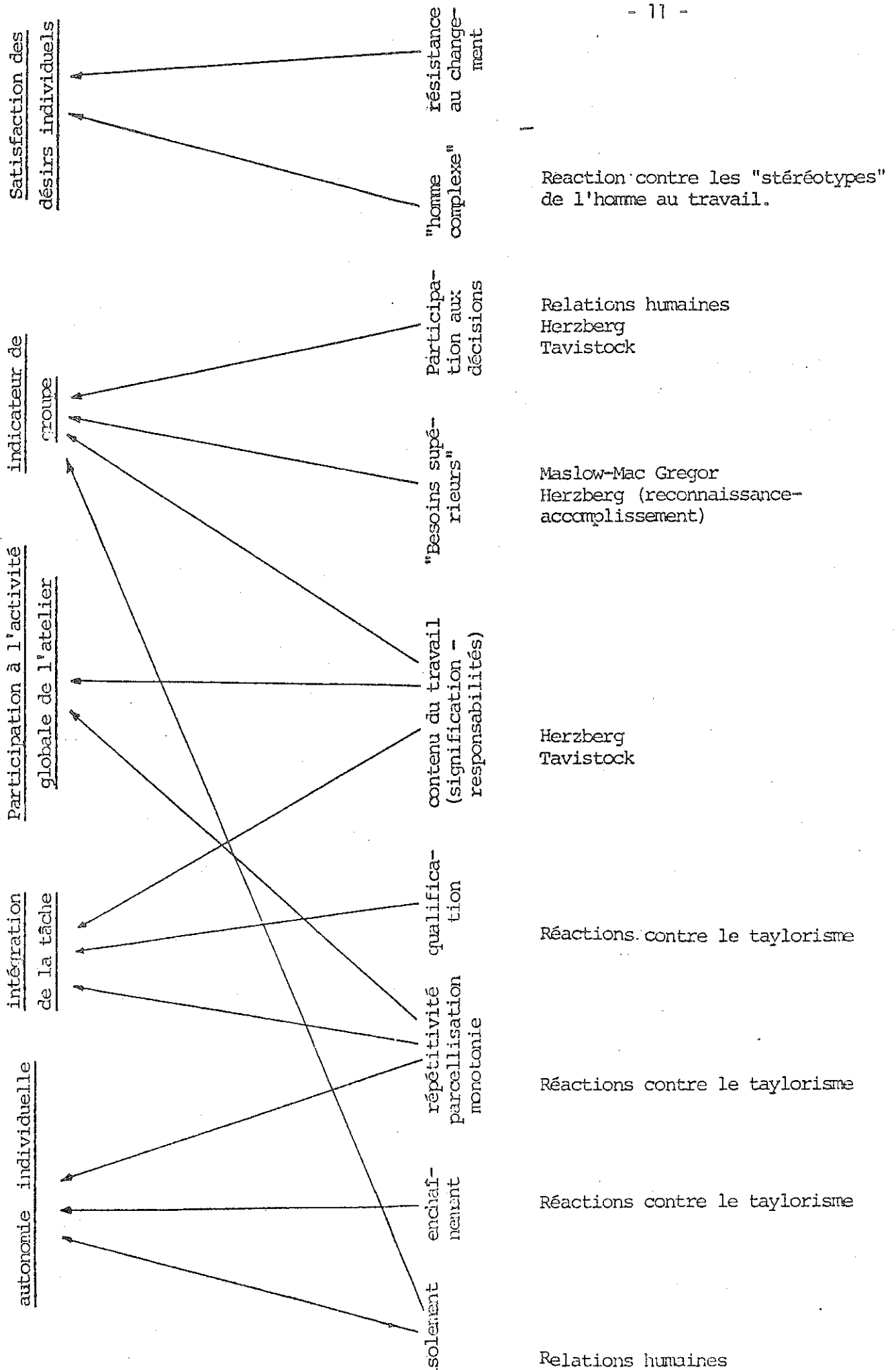
1er critère : Autonomie individuelle

Ce critère évalue la faculté pour un ouvrier de décider individuellement de l'organisation de son temps de travail dans le cadre d'une production imposée P.

- Dans quelle mesure l'unité I dans laquelle travaille l'ouvrier est-elle indépendante des unités J amont et aval ? Cette "indépendance" est assurée par la présence de stocks-tampons s_{IJ} .
- L'ouvrier a-t-il la possibilité au sein de son unité I de prendre individuellement des décisions concernant sa cadence ? Cette faculté est exprimée au moyen d'un "coefficient d'autonomie individuelle" α_I fonction de l'effectif plus ou moins grand qui peut influencer sur cette décision.

(1) Se reporter à la 1ère partie, chapitre I et 2ème partie II.1.

TABEAU 2.1 : LES DIMENSIONS HUMAINES DE L'ORGANISATION D'ATELIER



Nous pondérons les possibilités d'autonomie individuelle au sein de chaque unité I , γ_1^I , par l'effectif NP_I de ces unités. Si nous appelons NP l'effectif total de l'atelier et K_I le coefficient de multiplicité de I , à savoir le nombre d'unités I en parallèle, l'"autonomie individuelle" au sein de l'atelier étudié s'exprime par rapport à la durée maximum a_r autorisée d'arrêt de la production :

$$\gamma_1 = \frac{1}{NP} \cdot \frac{1}{a_r} \cdot \frac{60}{P} \cdot \sum_I K_I \cdot NP_I \cdot \alpha_I \cdot \min_J s_{IJ}$$

échelle : %

2ème critère : Intégration de la tâche

Il s'agit d'évaluer l'"enrichissement" moyen du travail d'un ouvrier de l'atelier défini comme la réunion plus ou moins complète des fonctions dissociées par le taylorisme. Nous distinguerons cinq composantes de la tâche de montage nommées r_i : la conception du travail, le réglage des machines, l'exécution de la tâche, le contrôle des opérations exécutées, l'entretien des machines.

$$\gamma_2 = \frac{1}{NP} \cdot \frac{1}{5} \sum_I K_I \cdot NP_I \cdot r_I$$

échelle : %

3ème critère : Participation à l'activité globale de l'atelier

Ce critère "mesure" la fragmentation plus ou moins grande des tâches individuelles. Son évaluation se détériore donc d'autant plus que les tâches sont parcellisées et s'améliorent avec leur "élargissement".

Si nous appelons d_i la durée de la tâche dans l'unité I et t_f le temps de fabrication total du produit à l'intérieur de l'atelier, la participation de l'unité I à l'activité globale de son atelier pourra être mesurée par le rapport $\frac{1}{t_f} \cdot \sum_{i \in I} d_i$

La possibilité pour un ouvrier de participer à l'ensemble de l'activité de son unité sera appréciée au moyen d'un coefficient β_I .

$$\gamma_3 = \frac{1}{NP} \cdot \frac{1}{t_f} \cdot \sum_I K_I \cdot NP_I \cdot \beta_I \cdot \sum_{i \in I} d_i$$

échelle : %

4ème critère : Indicateur de groupe

Ce critère évalue dans quelle mesure les groupements de tâches I définis dans le processus de fabrication peuvent être confiés à un groupe semi-autonome ou à des monteurs individuels. Ceci suppose qu'ils présentent les trois caractéristiques suivantes :

- être connexes, c'est-à-dire être composés de tâches qui se succèdent dans la fabrication du produit,
- rassembler des tâches présentant une certaine identité Id_I , c'est-à-dire relatives aux parties principales du produit ou ayant par leur regroupement une signification sociale,
- permettre un temps d'autonomie minimum. Ce temps d'autonomie sera comparé à un temps de référence t_r qui inclut, outre les pauses prévues initialement, un délai supplémentaire jugé nécessaire au bon fonctionnement de l'unité considérée (possibilité de décisions collectives, de relations de travail, ...). Un "coefficient de groupement" ρ_I modifiera la valeur désirée pour t_r suivant l'activité de chacune des unités.

$$\gamma_4 = \frac{1}{NP} \cdot \frac{1}{tr} \cdot \sum_I (60 K_I NP_I - P \sum_{i \in I} di) \cdot Id_I \cdot \rho_I$$

échelle : %

5ème critère : Satisfaction des désirs individuels

Comment la structure répond-elle aux "désirs" de la population concernée ? Ce critère sert à apprécier si la nouvelle organisation de l'atelier est adaptée à l'hétérogénéité des ouvriers qui y travailleront. Elle permet au décideur de percevoir quelle peut être la force de la résistance au changement à laquelle il risque de s'opposer.

Une enquête permet de dégager les principales caractéristiques. Ci que cette "population" recherche dans son travail. Si nous appelons P_1 le profil de cette "population", soit pour chaque caractéristique C_i le pourcentage des personnes interrogées désirant cette caractéristique, et P_2 le profil de l'"action" envisagée, soit pour chaque C_i le pourcentage de postes satisfaisant à cette caractéristique, le critère γ_5 s'exprime par :

$$\gamma_5 = 1 - \frac{\sum_{C_i} |P_2 - P_1|}{\text{nombre total de caractéristiques}}$$

échelle : %

6ème critère : Variation du prix de revient atelier

A production constante P, le prix de revient atelier peut évoluer en fonction du coût main d'oeuvre - variation des effectifs, du niveau moyen des salaires, celui-ci pouvant être mis en rapport avec les évaluations des critères γ_2 et γ_4 -, du coût machine - dépenses d'énergie, frais d'entretien des nouvelles machines - et de la productivité.

$$\gamma_6 = 1 - \frac{\text{Variation du prix de revient atelier}}{\text{Prix de revient atelier avant la restructuration}}$$

échelle : %

7ème critère : Variation des stocks et en-cours

Si les stocks et en-cours sur chaîne avant la restructuration représentent un nombre total de produits à monter s_0 et si nous appelons s_{IJ} le nombre de produits en stocks et en-cours entre deux unités I et J de la nouvelle organisation, ceux-ci étant supposés répartis de manière homogène le long du processus de fabrication, on a :

$$\gamma_7 = 2 - \frac{\sum_{I,J} s_{IJ}}{s_0}$$

échelle : %

8ème critère : Variation du coût de l'investissement

Nous comparerons l'investissement matériel nécessaire à la réalisation complète de l'atelier nouvellement conçu avec celui qui résulte d'une chaîne classique.

$$\gamma_8 = 2 - \frac{\text{investissement résultant de la nouvelle structure}}{\text{investissement d'une chaîne classique}}$$

échelle : %

9ème critère : Efficacité de la structure

Nous appréhenderons l'efficacité de la structure au travers de deux sous-critères :

- Les risques de blocage varient d'une part en fonction de la déconnection des unités par des stocks-tampons et d'autre part avec le degré de parallélisme de la structure. Celui-ci

est représenté par un coefficient μ fonction du coefficient de multiplicité de chaque chaîne de montage ou groupe semi-autonome et du nombre de monteurs individuels. La déconnection des unités, soit le délai pendant lequel l'unité aval est protégé, grâce aux stocks s , des incidents (panne, retard, ...) pouvant survenir sur l'unité amont, est appréciée par rapport à la durée moyenne "Rep" d'intervention pour les arrêts occasionnés par des incidents sans gravité.

$$\gamma'_9 = s \cdot \frac{60}{p} \cdot \frac{1}{\text{Rep}} \cdot \frac{\mu - 1}{\mu}$$

- La simplicité de la structure s'oppose, pour des raisons de lay-out et de souplesse de l'organisation de l'atelier, à l'"efficacité" résultant du parallélisme.

$$\gamma''_9 = \frac{1}{\mu}$$

Le critère γ_9 "efficacité de la structure" s'exprime comme la somme pondérée de γ'_9 et γ''_9

$$\gamma_9 = \alpha \cdot s \cdot \frac{60}{p} \cdot \frac{1}{\text{Rep}} \cdot \frac{\mu - 1}{\mu} + \frac{\beta}{\mu} \quad \text{avec } \alpha + \beta = 1$$

échelle : %

II. 2. PROPRIETES DES CRITERES

Les critères précédemment définis doivent vérifier un certain nombre de propriétés pour nous assurer qu'ils permettent effectivement d'analyser les préférences globales du décideur ⁽¹⁾. Nous nous contenterons, dans le cadre de cet exposé, d'énoncer ces caractéristiques en renvoyant le lecteur à la thèse pour une étude plus détaillée ⁽²⁾.

Chacun des critères (E_i, γ_i) est indépendant de tous les autres au sens des préférences. "Quelle que soit la paire d'actions A ne différant que par leurs évaluations sur la dimension i , la préférence du décideur va toujours à celle qui a la plus haute évaluation dans l'échelle E_i " ⁽³⁾. Cette propriété est indispensable pour que chacun des couples (E_i, γ_i) puisse être considéré comme un critère.

(1) B. ROY - Vers une méthodologie générale d'aide à la décision. METRA 1975, N°4.

(2) 2ème partie. II.3.

(3) B. ROY - Critères multiples et modélisation des préférences (l'apport des relations de surclassement). Revue d'économie politique 1974, n°1.

Les neuf critères constituent une "famille cohérente de critères"⁽¹⁾. En d'autres termes, ils sont représentatifs de toutes les composantes de la décision à prendre et permettent de ce fait l'analyse des préférences globales du décideur.

Les critères retenus peuvent être considérés pour la plupart comme des pseudo-critères ⁽¹⁾. Il existe en effet autour de chaque échelon de l'échelle d'un critère, de par le caractère subjectif des "conséquences élémentaires" qu'ils recouvrent, des zones d'imprécision et de non-discrimination à l'intérieur desquelles on peut estimer qu'il y a indifférence, ou au plus présomption de préférence, entre les actions analysées. Il conviendra de tenir compte de cette particularité dans l'appréciation des actions envisagées.

(1) B. ROY - Vers une méthodologie générale d'aide à la décision. METRA 1975, N°4.

CHAPITRE III

TRADUCTION PARTIELLE DES PREFERENCES PAR DES SYSTEMES DE PONDERATIONS.

Notre méthodologie d'aide à la décision consiste tout d'abord, nous l'avons vu, à cheminer à travers l'espace E des évaluations, c'est-à-dire à s'écarter progressivement du point de mire en respectant les préférences du décideur concernant les "pertes" relatives des critères. Ce chapitre aura pour objet d'établir les systèmes de pondération qui influenceront ainsi sur l'orientation de ce cheminement. Auparavant nous approfondirons le processus des interactions nécessaires à la prise en compte des préférences du décideur.

III. 1. INTERACTIONS AVEC LE DECIDEUR

La complexité du problème posé, du fait de ses multiples composantes, implique obligatoirement dans les préférences du décideur un certain flou qu'il va falloir tenter de résorber. Dans cette perspective, on comprendra aisément la nécessité de s'éloigner de toute abstraction pour se fonder sur des considérations concrètes en développant par exemple un éventail aussi large que possible des types d'organisation envisageables afin de provoquer chez le décideur des réactions qu'il n'exprimerait peut être pas autrement.

S'il nous faut en effet insister sur un caractère essentiel de l'interaction avec le décideur, ce doit être sur son réalisme. Des discussions que nous avons eues avec plusieurs chefs de service ou de département, au sujet de l'atelier de culasses, nous avons en effet tiré des enseignements qui nous ont permis d'orienter cette méthodologie de telle sorte qu'elle soit ancrée sur des informations naturellement disponibles dans l'entreprise. Nous avons notamment remarqué qu'il n'avait été envisageable à aucun moment de pouvoir demander des taux de substitution entre critères ou un ensemble d'évaluations traduisant sur chacun d'eux des pertes équivalentes par rapport au point de mire. Nous avons également constaté qu'il serait erroné de supposer que l'importance conférée à chaque critère par le décideur était constante quelle que soit son évaluation. Nous avons d'autre part noté que la plupart des souhaits émis par le décideur au sujet de la réorganisation envisagée étaient exprimés

par référence à des actions concrètes qu'il avait étudiées ou dont il avait entendu parler. Cette nécessité d'un support concret à ces interactions nous est en fait apparue peu à peu comme impérative. Le tableau 3. 1 énonce les principales caractéristiques des "actions" de réorganisation d'une chaîne de montage de moteurs qui ont été utilisées comme support de l'approche des préférences du décideur pour l'atelier de culasses. Le tableau 3. 2 indique les évaluations de ces actions sur la famille de critères.

Avant d'entamer cette démarche interactive, il convient de faire comprendre au décideur les principaux fondements de la méthodologie, de telle sorte que le dialogue repose sur des bases comprises par tous :

- Les critères représentent-ils bien les préférences du décideur ? Ils peuvent en effet être modifiés dans la limite des règles de "cohérence" énoncées plus haut.
- La problématique, dans laquelle se situe la procédure retenue, consiste en fait à choisir "quelques actions parmi les meilleures étudiées". Il ne s'agit en aucun cas de trouver la seule "meilleure action" ou "toutes les actions bonnes parmi celle étudiées" (1).
- Le point de mire, à savoir un point représentatif d'une action, ne doit être interprété que comme une référence permettant d'apprécier les "pertes" consenties sur chacun des critères pour obtenir une ou des actions réalisables.

Nous caractériserons l'aide apportée au décideur par cette procédure comme une aide active. Il ne s'agit pas seulement d'obtenir de celui-ci des renseignements concernant la réorganisation désirée, mais de lui présenter les informations émanant des divers services intéressés de l'entreprise, d'éclairer cette présentation par la lumière d'"actions connues" et de provoquer ainsi des réactions permettant d'orienter cette synthèse des informations dans le sens de ses préférences. Celles-ci peuvent s'exprimer de diverses manières :

- Contraintes supérieures ou inférieures sur les évaluations des critères.
- Orientation à respecter dans la recherche d'une action au sujet notamment de l'autonomie souhaitable pour le personnel, des responsabilités qui peuvent lui être confiées, de l'importance à accorder à des principes tels que l'élargissement de la tâche ou son identité, des concessions qui peuvent être acceptées sur le plan économique eu égard à certaines espérances en terme de productivité

TABEAU 3. 1. : PRESENTATION DES ACTIONS CONNUES

Production : 80 moteurs/heure

Temps de cycle moyen : $\frac{60}{80} = 0,75$ mn

Action N° 1 : Chaîne continue classique avec temps de cycle inférieur à 1 mn

UNITES DE FABRICATION	MONTAGE PREPARA- TOIRE	MONTAGE PRINCI- PAL	ESSAIS	RETOUCHES ESSAIS	PREPARA- TION CU- LASE
Type d'organisation	chaîne	chaîne	chaîne	chaîne	chaîne
Temps de fabrication en mn $\sum_{i \in I} d_i$	19,5	43,5	18	9	9
Effectif $K_I \cdot NP_I$	27,5	62	25,5	13	13
Nombre d'unités en parallèle K_I	1	1	1	1	1
Stock situé après l'unité I (en nombre de pièces) s_{Ij}	0	0	0	0	0
Degré d'intégration r	1	1	1	2	1

Action N° 2 : Chaîne continue avec temps de cycle supérieur à 1 mn et stocks de 10 mn entre tronçons

UNITES DE FABRICATION	CARTER-CY- LINDRE-VILIE CULASSE	CH.B.P. POMPES	MONTAGE	ESSAIS- RETOUCHES FINITION
Type d'organisation	chaîne	chaîne	chaîne	chaîne
Temps de fabrication en mn $\sum_{i \in I} d_i$	11,25	10,50	45	35
Effectif $K_I \cdot NP_I$	16	15	64	50
Nombre d'unités en parallèle K_I	1	1	4	4
Stock situé après l'unité I (en nombre de pièces) s_{Ij}	13	13	13	13
Degré d'intégration r	1	1	1	2

Action N° 3 : Montage par petits groupes d'ouvriers

UNITES DE FABRICATION	CARTER-CYLINDRE CH.B.P.	VILEB.-CULASSE POMPE	MONTAGE-ESSAIS RETOUCHES
Type d'organisation	Chaîne	chaîne	Groupe semi-autonome
Temps de fabrication en mn.	10,5	11,25	83
Effectif $K_I N_{P_I}$	15	16	118
Nombre d'unités en parallèles K_I	1	1	12
Stock situé après l'unité I (en nombre de pièces)	13	13	13
Identité des tâches en groupes semi-autonomes) Id_I			100 %
Degré d'intégration r	1	1	4

Action N° 4 : Montage individuel

UNITE DE FABRICATION	CULASSE	POMPE	CARTER-CYLINDRE	B.P.A.C.	MONTAGE	ESSAIS RETOUCHES	FINITIC
Type d'organisation	Mont.ind.	chaîne	Mont.ind.	chaîne	mont.ind.	Mont.ind.	Mont.in
Temps de fabrication en mn.	12	4,5	4,5	9	38	27	9
Effectif $K_I N_{P_I}$	17	6,5	6,5	13	54	38	13
Nombre d'unités en parallèle K_I	1	1	1	1	4	4	1
Stock situé après l'unité I (en nb. de pièces)	13	13	13	13	13	13	13
Identité des tâches en montage individuel	100 %		5 %		100 %	100 %	10 %
Degré d'intégration r	2	1	2	1	2	3	2

Action N°5 : Montage complet du moteur en groupes semi-autonomes

Unité de fabrication : Montage complet du moteur	Nombre d'unités en parallèle : 21
Type d'organisation : Groupe semi-autonome	Stock situé après l'unité I (en nombre de pièces) : 20
Temps de fabrication : 106 mn	Identité des tâches Id_I : 100%
Effectif $K_I N_{P_I}$: 153	Degré d'intégration r : 4

TABLEAU 1 - EVALUATIONS D'ACTIONS CONNUES

a* J a ACTIONS CONNUES Critères	1 CHAÎNE temps de cycle < 1mn	2 CHAÎNE temps cy- cle ≥ 1mn + stocks	3 petits groupes	4 Montages individuels	5 Type VOLVO ramené à notre cas	a*
Y 1	0	0,26	0,47	0,60	0,8	1
Y 2	0,22	0,27	0,68	0,43	0,8	1
Y 3	0,02	0,07	0,63	0,23	1	1
Y 4	0	0	0,47	0,34	0,73	1
Y 5	0,42	0,42	0,79	0,71	0,58	1
Y 6 Δ PRA	1	0,56 (+5,3%)	0,38 (+7,5%)	0,29 (+8,6%)	0 (+12,2%)	1
Y 7	1	0,35	0,51	0	0,75	1
Y 8 Δ INV.	1 0	0,6 (+40%)	0,52 (+48%)	0,37 (+63%)	0,18 (+82%)	1
Y 9	0,2	0,39	0,45	0,50	0,77	1

- Préférences entre critères exprimées dans l'absolu ou en rapport avec certaines "actions connues".
- Choix entre actions connues : ces choix seront demandés au décideur pour permettre l'établissement de relations de comparaison entre critères (1).

On constatera que l'homme d'étude, ne pouvant pas obtenir toute l'information nécessaire sur l'expression des préférences au sein de l'espace E des évaluations, va devoir effectuer des hypothèses pour extrapoler la connaissance locale qu'il possède de certaines régions de E où se situent les actions connues. Ces hypothèses seront cependant vérifiées au cours de la phase suivante d'interaction durant laquelle le décideur devra exprimer et expliquer son opinion sur les solutions proposées.

III. 2. SYSTEMES DE PONDERATIONS

Il s'agit d'exploiter l'information contenue dans les relations d'importance que le décideur a exprimées entre les critères. Nous avons constaté que ces relations n'étaient valables que pour certains intervalles des évaluations. C'est ainsi qu'il est clairement apparu au cours de la phase interactive concernant la chaîne de culasses que si les responsables de la décision accordaient dans la région du point de mire plus d'importance aux critères humains qu'à ceux représentant les dimensions économiques du problème posé, il existait un seuil à partir duquel une priorité absolue était accordée aux dimensions économiques de la décision. Nous avons pu noter également que le facteur le plus important du point de vue des conditions de travail était l'autonomie des ouvriers dans leur travail et que le prix de revient était le critère économique prépondérant.

Ces comparaisons entre critères peuvent théoriquement s'exprimer de plusieurs manières : taux de substitution, vecteur de pertes équivalentes, préordre, relations binaires. Les deux premières possibilités permettent d'obtenir un ordre complet sur les critères. Les relations binaires sont par contre beaucoup moins riches en enseignement mais sont beaucoup plus réalistes pour la formalisation des informations pouvant résulter des interactions avec le décideur.

Ces relations peuvent être traduites par un graphe $P[X, R]$ pour lequel X représente l'ensemble des critères et R exprime une relation d'importance telle qu'il existe un arc de x_i vers x_j si le critère i

(1) Voir chapitre IV.

est plus important que le critère . Nous préciserons sur le graphe les intervalles d'évaluations sur lesquels ces relations sont vérifiées. La figure 3. 3 représente le graphe $P [X, R]$ correspondant à la réorganisation de la chaîne de culasses.

Les conditions d'existence des relations d'importance entre critères font apparaître des seuils qui séparent l'espace E des évaluations en un certain nombre de régions à l'intérieur desquelles les rapports d'importance entre critères sont supposés stables. Le tableau 3. 2 des évaluations des actions connues nous permet de déduire de la figure 3.3. le graphe représentatif de chacune des régions où se situe l'une des actions connues. Nous allons déduire de la connaissance de ces graphes des systèmes de pondérations correspondant aux relations d'importance entre les critères exprimés par le décideur pour chacune de ces régions.

Si nous appelons P_i la pondération affectée au critère γ_i et P_j celle de γ_j , nous pouvons exprimer l'importance plus grande accordée par le décideur au critère γ_i par la relation :

$$\frac{P_i}{P_j} \geq b_{ij} \quad \text{avec} \quad b_{ij} > 1$$

où les b_{ij} sont des données représentant les rapports d'importance.

La recherche des systèmes de pondérations revient en fait à déterminer sur le graphe $P [X, R]$ correspondant à chaque action connue les ensembles de potentiels tels que :

$$\left\{ \begin{array}{l} (\gamma_i, \gamma_j) \in P^*(X, R) \quad (P^* = P \text{ arcs inversés}) \\ \log P_j - \log P_i \geq a_{ji} \quad a_{ji} = \log b_{ij} \\ \sum_{i=1}^9 P_i = 1 \quad (\text{les poids sont déterminés à un coefficient près}) \end{array} \right.$$

Le graphe $P[X, R]$ est conjonctif et peut être supposé sans circuit. Il existe donc toujours des ensembles de potentiels. Nous remarquerons cependant que, sans autre précision que les relations ci-dessus, nous obtiendrons un grand nombre d'ensembles de potentiels traduisant le flou, l'imprécision avec lesquels le décideur a déterminé sa politique. Il faudra donc faire des hypothèses sur son comportement.

Nous avons notamment, dans l'étude de la chaîne de culasses, utilisé l'information contenue dans les relations de préférence exprimées par le

décideur sur les actions connues. Nous avons supposé, dans l'esprit de la méthode Electre, que les pondérations associées aux critères par le décideur au moment de ces choix étaient telles que, si l'on appelle P_i^+ les pondérations des critères pour lesquels l'écart d'évaluation entre les actions a_i et a_j est positif, on ait :
$$\frac{\sum P_i^+}{\sum P_i} \geq C, \quad C \text{ étant un indicateur de con-}$$

cordance qu'il sera possible de faire varier en fonction de l'intensité de la préférence exprimée. Nous supposons que les pondérations associées aux critères dans cette relation sont celles de l'action qui a la préférence du décideur.

Le tableau 3.4. mentionne les principaux éléments nécessaires à la recherche des pondérations (1).

(1) Un exemple détaillé du calcul des pondérations est fourni en annexe 1 de la thèse.

TABLEAU 3. 4 : PONDERATIONS ASSOCIEES AUX ACTIONS "MOTEURS"

ET AU POINT DE MIRE

ACTION 2

=====

Chemin de longueur extrêmal : 1, 2, 3, 8, 7

$$\begin{aligned} P_1 &= b^4 \\ P_2 &= b^3 \\ P_3 &= b^2 \\ P_4 &= b^2 \\ P_5 &= b^2 \\ P_6 &= b^2 \\ P_7 &= 1 \\ P_8 &= b^2 \\ P_9 &= b^2 \end{aligned}$$

L'action 2 est préférée à l'action 4

$$\begin{aligned} \Sigma P_i^+ &= P_6 + P_7 + P_8 \\ \frac{\Sigma P_i^+}{\Sigma P_i} &= 50 \% \text{ pour } b = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 8,3 \% \\ P_2 &= 8,3 \% \\ P_3 &= 8,3 \% \\ P_4 &= 8,3 \% \\ P_5 &= 8,3 \% \\ P_6 &= 33,6 \% \\ P_7 &= 8,3 \% \\ P_8 &= 8,3 \% \\ P_9 &= 8,3 \% \end{aligned}$$

ACTION 3

=====

Chemin de longueur extrêmal : 1, 2, 3, 5

$$\begin{aligned} P_1 &= b^3 \\ P_2 &= b^2 \\ P_3 &= b \\ P_4 &= b \\ P_5 &= 1^3 \\ P_6 &= b^3 \\ P_7 &= b^2 \\ P_8 &= b^2 \\ P_9 &= b^2 \end{aligned}$$

L'action 3 est préférée à l'action 4

$$\begin{aligned} \Sigma P_i^+ &= P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \\ \frac{\Sigma P_i^+}{\Sigma P_i} &= 70 \% \text{ pour } b = 1,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 18,8 \% \\ P_2 &= 11,7 \% \\ P_3 &= 7,5 \% \\ P_4 &= 7,5 \% \\ P_5 &= 4,8 \% \\ P_6 &= 18,8 \% \\ P_7 &= 7,5 \% \\ P_8 &= 11,7 \% \\ P_9 &= 11,7 \% \end{aligned}$$

ACTIONS 4 ET 5

=====

Chemin de longueur extrêmal : 6, 1, 2, 3, 5

$$\begin{aligned} P_1 &= b^3 \\ P_2 &= b^2 \\ P_3 &= b \\ P_4 &= b \\ P_5 &= 1^4 \\ P_6 &= b^2 \\ P_7 &= b^3 \\ P_8 &= b^3 \\ P_9 &= b^3 \end{aligned}$$

L'action 5 est préférée à l'action 4

Hypothèse : Les actions 4 et 5 ont mêmes pondérations

$$\begin{aligned} \frac{\Sigma P_i^+}{\Sigma P_i} &= 55 \% \text{ pour } b = 1,8 \\ \Sigma P_i^+ &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_7 + P_9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 14,9 \% \\ P_2 &= 8,2 \% \\ P_3 &= 4,6 \% \\ P_4 &= 4,6 \% \\ P_5 &= 2,6 \% \\ P_6 &= 27,1 \% \\ P_7 &= 8,2 \% \\ P_8 &= 14,9 \% \\ P_9 &= 14,9 \% \end{aligned}$$

ACTION a *

=====

Chemin de longueur extrêmal : 1, 6, 8, 7, 5

$$\begin{aligned} P_1 &= b^4 \\ P_2 &= b^2 \\ P_3 &= b \\ P_4 &= b \\ P_5 &= 1^3 \\ P_6 &= b^3 \\ P_7 &= b^2 \\ P_8 &= b^2 \\ P_9 &= b^2 \end{aligned}$$

L'action a* est préférée à l'action 4

$$P_1 + P_2 + P_6 + P_9 = 60\% \cdot \Sigma P_i \text{ pour } b = 1,4$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 21,5 \% \\ P_2 &= 11,3 \% \\ P_3 &= 7,9 \% \\ P_4 &= 7,9 \% \\ P_5 &= 5,6 \% \\ P_6 &= 15,3 \% \\ P_7 &= 7,9 \% \\ P_8 &= 11,3 \% \\ P_9 &= 11,3 \% \end{aligned}$$

CHAPITRE IV

APPROCHE COMPLEMENTAIRE DES PREFERENCES DU DECIDEUR : VECTEURS D'ACCROISSEMENTS EQUIVALENTS.

Nous allons compléter dans ce chapitre la définition des préférences du décideur en extrapolant des préférences locales exprimées sur des actions connues pour pouvoir déduire des règles permettant de comparer, en partie du moins, des évaluations sur des critères différents.

IV. 1. PREFERENCES SUR "ACTIONS CONNUES"

Les critères sont multiples et hétérogènes et il n'y a pas de loi pouvant comparer leurs évaluations a priori sans référence à un décideur : les hypothèses souvent faites (espace vectoriel euclidien pour E par exemple) se trouvent être trop riches en pratique dans ce problème.

Les actions connues servent de support concret aux interactions avec le décideur. Celui-ci va comparer quelques actions deux à deux. Le fait que le décideur se prononce sur la comparaison de deux profils d'actions connues (soit schématiquement $a^{C1} P^C a^{C2}$ marquant une préférence pour a^{C1}) fournit des informations sur ses préférences localement au voisinage de ces actions.

La relation binaire connue $P^{C(1)}$ permet de construire un graphe A de préférences sur actions connues (Fig. 4. 1.).

IV. 2. LOIS DE COMPOSITIONS REALISTES

Il est nécessaire tout d'abord de faire différentes hypothèses.

. Le décideur compare deux actions a^1 et a^r , soit $a^1 P a^r$, au vu de leurs conséquences, représentées par leurs valuations $\underline{v}(a)$, et des pondérations p^i affectées aux critères pour chacune des actions. Nous représenterons aussi un tel jugement par la relation binaire P telle que

$$(\underline{v}^1, p^1) P (\underline{v}^r, p^r)$$

donne la préférence pour a^1 .

. Pour pouvoir exploiter cette expression, nous serons amenés à choisir une action dite de référence a^r , bien connue et par rapport à laquelle nous jugerons une autre action a^1 en formant les différences d'évaluations critère par critère. Les pondérations pouvant varier d'un point à un autre, nous définirons une pondération intermédiaire p^{1r} , par analogie avec le cas où il

(1) ne pas confondre pondérations p , et relation binaire de préférence P ou la production.

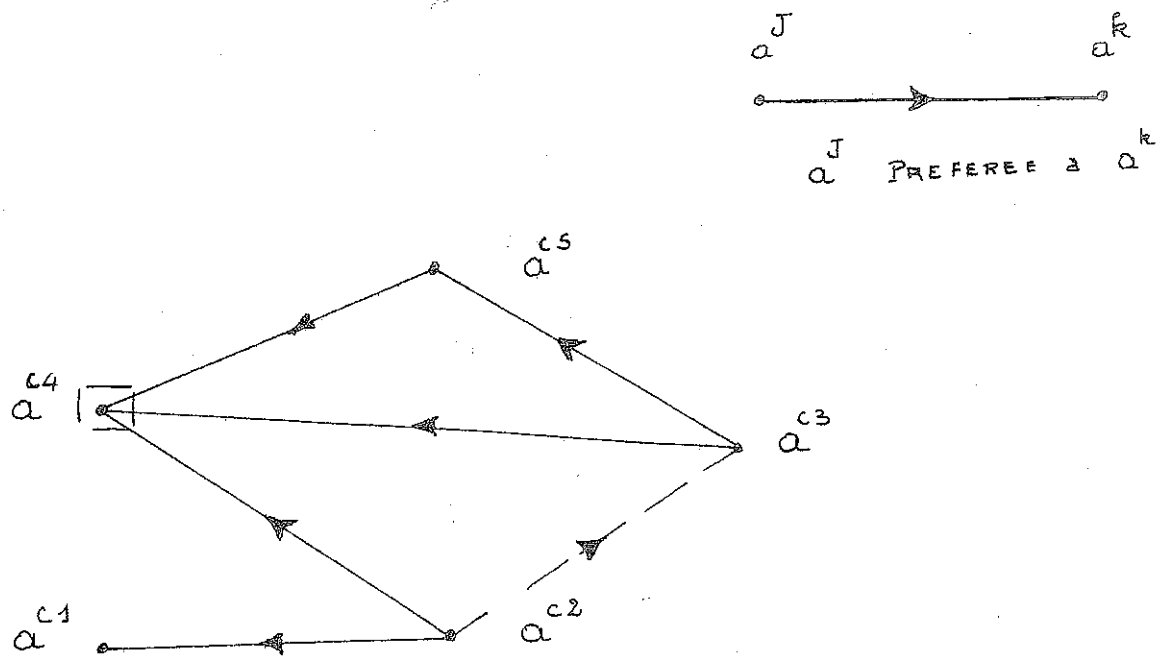


FIG. 4. 1. GRAPHE A. ACTIONS DE REORGANISATION D'UN ATELIER DE CULASSES

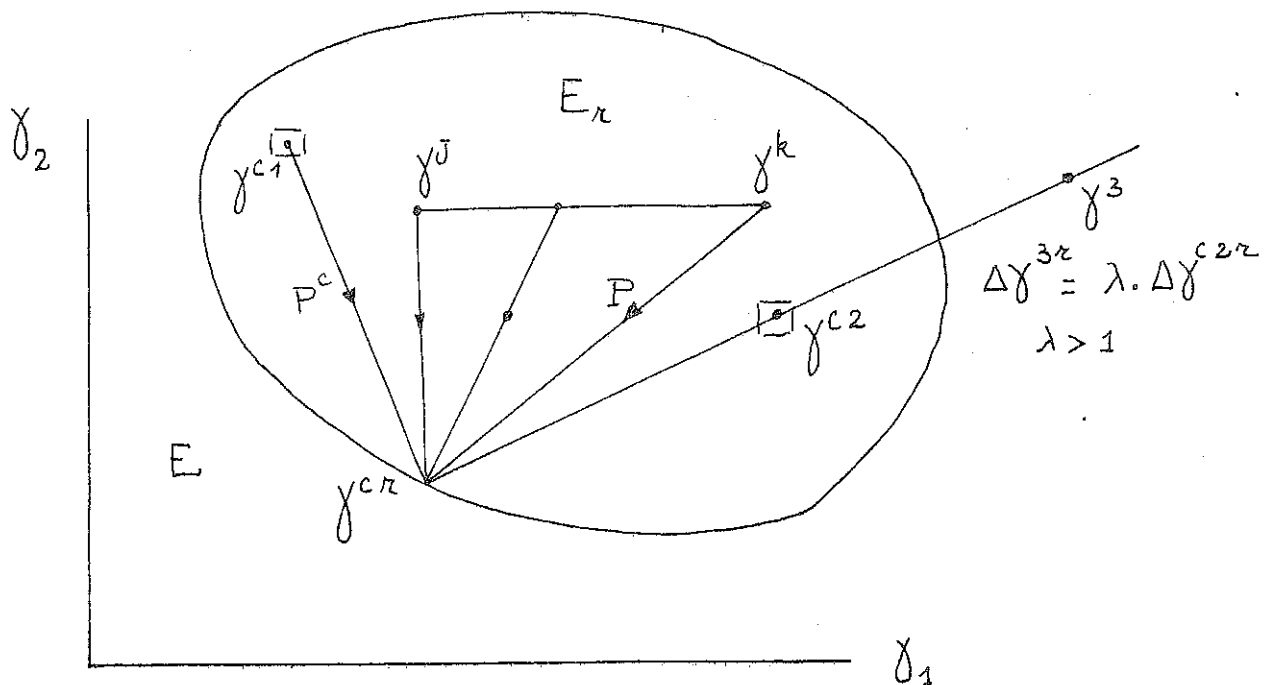


FIG. 4. 2. ENSEMBLE E_r DES POINTS PREFERES A UN POINT a^r .

existe une fonction de valeur concave représentant les préférences du décideur, en posant :

$$p^{1r} = p + \theta (p^1 - p^r) \quad \theta \text{ étant fonction de } \Delta \gamma_i$$

Nous supposons donc que les expressions :

$$(\gamma^1, p^1) P (\gamma^r, p^r) \text{ et } (\Delta \gamma^{1r}, p^{1r}) P_0$$

sont équivalentes et marquent une préférence pour l'action a^1 . Partant de comparaisons entre actions connues, nous transformons ces données à l'aide de deux lois de composition interne (addition $\Delta \gamma^{1r} + \Delta \gamma^{2r}$) et externe (multiplication par un scalaire, $\lambda \Delta \gamma^{1r}$) afin d'extrapoler des préférences connues en des points non connus. Les propriétés de telles lois doivent être réalistes c'est-à-dire que le résultat de l'opération doit correspondre à une action concevable.

. Nous nous intéresserons en particulier aux opérations qui conservent les préférences en ce sens qu'un point γ^r étant fixé, toute action déduite, au moyen de ces opérations, d'actions connues préférées à γ^r sera aussi une action préférée à γ^r . Pour cela, nous supposons que l'ensemble E_r des actions dominant une action donnée a^r quelconque est un ensemble convexe (1).

Cette hypothèse paraît raisonnable pour un décideur supposé logique. Il faut cependant vérifier si elle est en accord avec les préférences exprimées.

Partant de lois de compositions réalistes, nous définirons ensuite une opération "mélange", pour un point de référence donné a^r , qui fasse correspondre à tout groupe de points dominant a^r un point "intérieur" à ce domaine. Si E_r^C est l'ensemble des actions connues dominant a^r , tout point de E_r^C pourra être défini comme le barycentre des points connus :

$$\begin{cases} \Delta \gamma^{jr} = \sum \lambda_k \cdot \Delta \gamma^{kr} \\ \sum \lambda_k \leq 1 \quad \lambda_k \geq 0 \end{cases}$$

L'opération "mélange" ainsi définie est une opération qui conserve les préférences du décideur car, par hypothèse, E_r^C est convexe.

Les pondérations peuvent varier d'une action à une autre, ce qui nous oblige à définir, en même temps que l'opération mélange, des opérations conjointes sur les pondérations. Par analogie avec le cas où il existerait une fonction de valeur "concave", nous poserons (2)

$$(1) \quad \forall \gamma^j \text{ et } \gamma^k \in E_r \Rightarrow \forall \lambda \in [0, 1] \quad \lambda \Delta \gamma^{jr} + (1 - \lambda) \Delta \gamma^{kr} \in E_r.$$

La définition de la convexité est subordonnée à celle des lois interne et externe.

(2) cf. Thèse.

$$\begin{aligned} & \cdot (\Delta_Y^{c.jr}, p^{jr}) Po \iff (\lambda \Delta_Y^{c.jr}, p^{\lambda r}) Po \\ & \text{avec } p^{\lambda r} = \lambda p^{jr} + (1 - \lambda) p^r \quad (\lambda \text{ scalaire}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \cdot (\Delta_Y^{c.1r}, p^{1r}) Po \text{ et } (\Delta_Y^{c.2r}, p^{2r}) Po \iff \\ & (\Delta_Y^{c.1r} + \Delta_Y^{c.2r}, p^{1r}, p^{2r}) Po \end{aligned}$$

Les diverses définitions de poids intermédiaires constituent des hypothèses supplémentaires sur le comportement du décideur. Elles ne sont pas contradictoires entre elles et sont cohérentes avec la propriété de convexité.

IV. 3. VECTEURS D'ACCROISSEMENTS EQUIVALENTS

Le but poursuivi est de pouvoir comparer des évaluations sur des critères différents, selon les préférences du décideur. Pour cela nous essaierons, à partir des vecteurs d'accroissement Δ_Y^{cjr} connus exprimant une préférence pour γ^j vis à vis de γ^r , de déduire des vecteurs à deux composantes non nulles, dont nous pourrions dire que celles-ci sont "à peu près" équivalentes pour le décideur, ou du moins que l'une est plus importante que l'autre. Nous utiliserons pour cela l'opération Mélange définie précédemment : partant de profils Δ_Y^{jrc} marquant une préférence, tous les profils obtenus exprimeront aussi une préférence, puisque l'opération Mélange conserve les préférences du décideur, et il existera une action réaliste γ^j , préférée à l'action γ^{rc} , dont le vecteur d'accroissement entre γ^{rc} et γ^j est à deux composantes non nulles (moyennant des conditions que nous verrons plus loin).

Ces vecteurs à deux composantes non nulles $\underline{\delta}$ apporteront les renseignements obtenus dans d'autres méthodes par les taux de substitution, ou par les vecteurs dont les composantes représentent des pertes équivalentes (pour le décideur) dans la méthode du point de mire classique.

Partant du tableau des évaluations des actions connues, nous en déduisons un tableau des Δ_Y où nous avons effectué critère par critère les différences d'évaluations entre toutes les actions connues prises deux à deux (tableau fig. 4. 3 - Comparaison d'actions connues). Sur ce tableau, nous portons les appréciations du décideur sur les comparaisons d'actions connues obtenues lors de l'interaction du chapitre III (Dominance + , Dominé - , Equivalents ~ , actions non comparées). Tous les couples d'actions ne sont pas jugés et le graphe de préférence entre actions, A, n'est pas complet. Nous ne considérerons, dans la matrice (Δ_Y^{cj}) , que les couples d'actions jugés, et les différences d'évaluations en colonnes, Δ_Y , seront toujours obtenues par différence entre l'action dominante et l'action dominée : ce sont des profils Δ_Y exprimant une préférence connue.

Recherchons, s'il existe des vecteurs $\underline{\delta}$ à deux composantes non nulles. Puisque ces vecteurs expriment une préférence, la composante positive du vecteur est préférée à la composante négative. Il y a donc intérêt à rechercher ces vecteurs tels que la composante positive soit la plus petite possible pour une composante négative constante, et inversement.

Il s'agira de résoudre des programmes $Pr(i, 1, \lambda)$ exprimés de manière suivante :

$$Pr(i, 1, \lambda) \left\{ \begin{array}{l} \delta_i > 0 \quad \text{Min } \delta_i \quad (\text{resp. } \delta_i \leq 0 \quad \text{Max } |\delta_i|) \\ \delta_i = \sum \Delta_{Y_i}^{cjr} \cdot \lambda_j \\ \text{avec } \delta_k = \sum \Delta_{Y_i}^{cjr} \cdot \lambda_j = 0 \quad \forall \begin{matrix} k \neq i \\ k \neq 1 \end{matrix} \\ \delta_1 \leq 0 \quad (\text{resp. } \delta_1 > 0) \\ \delta_1 = \sum \Delta_{Y_1}^{cjr} \cdot \lambda_j = \text{constante} \\ \forall j = 1, \dots, m; \quad \lambda_j \geq 0 \quad \text{et} \quad \sum_{j=1}^m \lambda_j \leq 1 \end{array} \right.$$

Pour chaque programme, nous recherchons donc un vecteur $\underline{\lambda}$, de composantes λ_j , $j = 1, \dots, m$, tel que

$$\underline{\delta} = [\Delta_{Y_i}^{cjr}] \cdot [\lambda_j]$$

Toutes les opérations sont effectuées critère par critère et donc Max et Min ont une signification, chaque échelle étant ordonnée. Mais le mélange de ces diverses équations n'en aurait aucune, car on composerait des critères différents, donc par exemple des francs avec un temps d'autonomie. Les programmes $Pr(i, 1, \lambda)$ ont cependant un sens et leurs solutions peuvent être bien identifiées (1).

Dans quelles conditions peut-il exister des solutions. Tout d'abord il est évident que l'on ne pourra pas annuler des composantes sur un critère si elles sont toutes positives, tous les λ_j étant positifs ou nuls. Il en est de même de la composante négative de $\underline{\delta}$. Il faut donc que chaque ligne de $(\Delta_{Y_i}^{cjr})$ comporte à la fois des signes plus et moins.

D'autre part, pour des questions de quantité d'information, nous n'avons aucun intérêt à choisir deux actions connues dont l'une domine totalement l'autre sur tous les critères. Il y aura donc la présence des deux signes sur chaque colonne de la matrice.

Une condition nécessaire d'existence des solutions des programmes $Pr(i, 1, \lambda)$ est donc que la matrice $(\Delta_{Y_i}^{cjr})$ comporte dans chaque ligne et chaque colonne la présence des deux signes (+ et -).

(1) Voir thèse page 268

C'est une propriété qu'il faut obtenir lors de l'interaction avec le décideur.

Nous disposons donc d'un ensemble de vecteurs à deux composantes non nulles δ_i et δ_l , $\delta(i, l)$, ainsi que des paramètres solutions des programmes, $\hat{\lambda}(i, l)$ (dont les m composantes ne sont pas nulles en général). Ceci nous permettra de conclure que :

$$\delta_i \geq |\delta_l| \text{ si } \delta_i > 0$$

$$\text{et } \delta_l \geq |\delta_i| \text{ si } \delta_l > 0$$

$$\forall i, l = 1, \dots, n$$

Ceci nous donnera un ensemble de directions qui nous permettront de comparer certaines évaluations sur des critères différents. Il sera pratique de rechercher un vecteur $\underline{d}^r$, lié à l'action de référence γ^r comme tous les $\delta(i, j)$, tel que toutes ses composantes représentent, pour le décideur, des accroissements équivalents.

Pour chaque couple i, l :

$$\delta_i' \geq |\delta_l'| \text{ et } \delta_l'' \geq |\delta_i''|$$

Nous supposons que leurs valeurs moyennes sont équivalentes :

$$\frac{\delta_i' + |\delta_l'|}{2} \sim \frac{|\delta_l''| + \delta_l''}{2} = d_i = d_l$$

Toutes les composantes d_i et d_l étant définies de cette façon, nous obtiendrons un vecteur $\underline{d}^r$ dont toutes les composantes seront considérées comme équivalentes.

Les opérations à effectuer sur les pondérations pour obtenir celles, p_E^r , du vecteur d'accroissements équivalents lié à γ^r , sont menées conjointement et ont pour expression :

$$\begin{aligned} p_E^r &= \sum_{(i, l)} (p_{\min}(i, l) + p_{\max}(i, l)) \\ \text{où } p_{\min}(i, l) &= \sum_{j=1}^m p_j^{jr} \cdot \hat{\lambda}_j + p^r \cdot \sum_{j=1}^m (1 - \hat{\lambda}_j) \quad (\text{respectivement } p_{\max}) \\ (\hat{\lambda}_j) &\text{ sont les solutions des programmes correspondants} \\ &Pr(i, l, \lambda) \end{aligned}$$

(1) δ' et δ'' : solution de $Pr(i, l, \lambda)$

IV. 4. EVOLUTION DES VECTEURS D'ACCROISSEMENTS EQUIVALENTS

Nous allons voir comment déduire des vecteurs d'accroissements équivalents en d'autres points que l'action de référence γ^r , et ceci à l'aide des pondérations extrapolées aux diverses régions de l'espace des évaluations. Ceci pose le problème de la compatibilité entre les poids et les vecteurs d'accroissements équivalents, qui sont deux informations obtenues par des voies différentes, problème dont nous avons commencé à parler pour rechercher les poids correspondant aux vecteurs liés au point de référence $\underline{\gamma}^r$.

Si les pondérations étaient constantes quelle que soit l'action envisagée, il ne serait pas nécessaire de les rechercher car toute l'information serait contenue dans les comparaisons d'actions connues. Les variations de pondération dans l'espace des évaluations serviraient donc pour corriger les résultats obtenus en une action donnée afin de passer à une autre action. Il s'agira de détecter les seuils de variation des pondérations pour déterminer des zones de E où les pondérations sont à peu près constantes⁽¹⁾.

Ceci nous donne la possibilité de trouver les vecteurs d'accroissements équivalents en n'importe quel point dont nous connaissons les pondérations. Nous obtiendrons ainsi un cône de directions moyennant une perte d'information. Nous exprimons ceci, sous forme mathématique, par :

$$\begin{array}{l}
 (\gamma^1, d_i^1, p_{Ei}^1) \longrightarrow (\gamma^2, d_i^2, p_{Ei}^2) \\
 \text{tels que } \left\{ \begin{array}{l} p_{Ei}^2 > p_{Ei}^1 \Rightarrow d_i^2 \leq d_i^1 \\ p_{Ei}^2 < p_{Ei}^1 \Rightarrow d_i^2 \geq d_i^1 \\ p_{Ei}^2 = p_{Ei}^1 \Rightarrow d_i^2 = d_i^1 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Nous avons supposé, dans l'application pratique, que les composantes des vecteurs d'accroissements équivalents et les pondérations correspondantes variaient en sens inverse :

$$\begin{array}{l}
 (\gamma^1, d_i^1, p_{Ei}^1) \longrightarrow (\gamma^2, d_i^2, p_{Ei}^2) \\
 \text{tel que } p_{Ei}^1 \cdot d_i^1 = p_{Ei}^2 \cdot d_i^2
 \end{array}$$

IV. 5. APPLICATION PRATIQUE

De l'interaction avec le décideur, nous avons déduit certaines comparaisons d'actions connues et tracé le graphe de préférences A (fig. 4.1).

Du tableau de comparaison des actions connues (fig. 4.3.) nous avons pu, par les calculs indiqués précédemment, obtenir vecteurs d'accroissements équivalents et pondérations pour le point de mire et les actions connues.

(1) voir thèse.

$$\begin{matrix} 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}$$

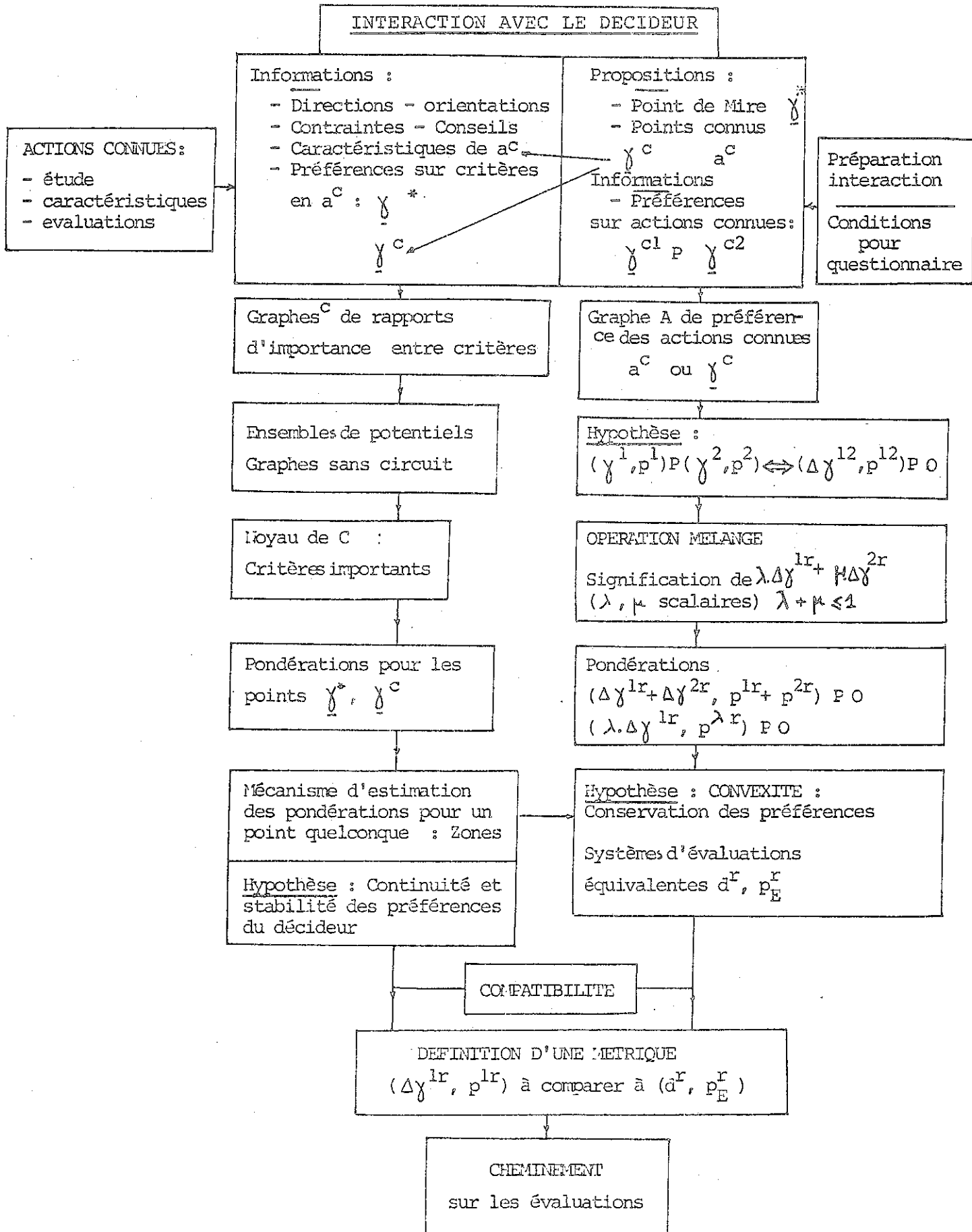
Nous constatons donc que l'information s'obtient, lors de l'interaction avec le décideur, selon deux voies différentes : pondérations et vecteurs d'accroissements équivalents. C'est ce que nous avons consigné dans la figure 4.4.

Fig. 4. 3. - COMPARAISONS D'ACTIONS CONNUES

(cf. Tableau 3.2.)

γ_{ijk} / γ_i	$\gamma_{2-1} +$	$\gamma_{3-1} +$	γ_{4-1}	γ_{5-1}	γ_{3-2}	$\gamma_{4-2} = 4$	γ_{5-2}	$\gamma_{4-3} = 4$	γ_{5-3}	$\gamma_{5-4} +$
γ_1	0,26	0,47	0,60	0,8	0,21	-0,34	0,54	-0,13	0,33	0,20
γ_2	0,05	0,46	0,21	0,58	0,41	-0,16	0,53	+0,25	0,12	0,37
γ_3	0,05	0,61	0,21	0,98	0,56	0,16	0,93	+0,40	0,37	0,77
γ_4	0	0,47	0,34	0,73	0,47	-0,34	0,73	0,13	0,26	0,39
γ_5	0	0,37	0,29	0,16	0,37	-0,29	0,16	0,08	-0,21	-0,13
γ_6	-0,44	-0,62	-0,71	-1	-0,18	0,27	-0,56	0,09	-0,38	-0,29
γ_7	-0,65	-0,49	-1	-0,25	0,16	0,35	0,40	0,51	0,24	0,75
γ_8	-0,4	-0,48	-0,63	-0,82	-0,08	0,23	-0,42	0,15	-0,34	-0,19
γ_9	0,19	0,25	0,30	0,57	0,06	-0,11	0,38	-0,05	0,32	0,27

Appréciation portée par le décideur : + , - , ? , pas d'appréciation



CHAPITRE V

La méthode multicritère du point de mire, définie comme une méthode interactive utilisant des préférences locales en vue de rechercher un compromis, ne peut être employée que s'il est possible de définir une notion de proximité entre deux actions, notion construite en général à partir d'une métrique dont l'existence est assurée par les deux chapitres précédents.

Nous allons donc rechercher, à partir de certaines actions, d'autres actions meilleures dans le sens des préférences du décideur.

V. 1. CHEMINEMENT

- Les vecteurs d'accroissements équivalents $\underline{d}^r$ servent "d'étalon de mesure" pour porter un jugement sur un vecteur accroissement $\Delta \underline{y}^{jr}$. Pour cela, ses composantes Δy_i^{jr} sont jugées par rapport à celles du vecteur $\underline{d}^r$ compte tenu des diverses pondérations. Soit donc à comparer $(\Delta y_i^{jr}, p_i^{jr})$ et $(\Delta y_1^{jr}, p_1^{jr})$, sachant qu'en a^r $(d_i^r, p_{Ei}^r) \sim (d_1^r, p_{E1}^r)$. Si les poids étaient égaux critère par critère, il suffirait de juger composante par composante. Dans le cas contraire, nous corrigerons la comparaison, sachant que poids et composante de $\underline{d}^r$ varient en sens inverse, toutes choses égales par ailleurs.

Cette relation, exprimant que pondération et composantes équivalentes ont des liens de parenté, pourrait être représentée, par analogie avec le cas où il existe une fonction de valeur, par :

$$p_{Ei} \cdot d_i = \Delta v = \text{Cte}$$

Cela revient à comparer⁽¹⁾

$$\text{pour } \lambda d_i^r \cdot p_{Ei}^r = \Delta y_i^{jr} \cdot p_i^{jr}$$

$$\text{si } \Delta y_i^{jr} \cdot p_i^{jr} > \lambda \cdot d_i^r \cdot p_{Ei}^r$$

$$\text{ou } \Delta y_i^{jr} \cdot p_i^{jr} \leq \lambda \cdot d_i^r \cdot p_{Ei}^r$$

- Nous avons fait des hypothèses sur le comportement du décideur pour pouvoir obtenir des relations précises comme ci-dessus. Mais il est possible que celui-ci ne puisse pas, ne veuille pas, ou ne sache pas⁽²⁾ se décider pour toutes les situations en présence. Il s'agira donc, dans ces cas, d'asseoir avec certitude les choix effectués, quitte à admettre l'incomparabilité de certaines actions. Il est très possible d'ailleurs que le décideur conseille lui-même une attitude de prudence, voulant assurer sa décision par de nombreux

(1) cf. thèse.

(2) B. ROY, OP. Cit.

recoupements et ne pas laisser de côté des actions intéressantes. Nous nous permettrons alors des hypothèses moins précises que celles que nous avons formulées par $p_{E_i} \cdot d_i = \text{Cte}$. L'ennui est, bien sûr, que nous allons avoir un grand nombre d'ensemble d'orientations possibles, correspondant au flou laissé par le décideur. Nous pourrions toutefois limiter cet ensemble par des hypothèses suffisamment sûres et de plus en plus précises au fur et à mesure des interactions.

- De l'interaction avec le décideur, nous déduisons des informations permettant de comparer des évaluations sur des critères différents selon ses préférences, ce qui permet de parler de normes⁽¹⁾. Pour déterminer les "meilleures" actions, nous allons cheminer en partant d'un point de mire γ^* et en recherchant des vecteurs évaluations correspondant à des actions réalisables et situées les plus près possible de ce point de mire, au sens de la norme choisie.

Il s'agit de rechercher une action $\hat{\gamma}$ réalisable⁽²⁾, appartenant à la frontière d'existence N et telle qu'elle minimise la distance au point de mire⁽³⁾ γ^* , représentée par exemple par la plus grande perte sur les critères compte tenu de leur importance. D'où le programme C_1 :

$$\begin{aligned} & \hat{\gamma} \in \text{frontière d'existence } N \text{ tel que} \\ & \text{Min} \left(\text{Max}_{\text{sur } E \text{ critères}} \left| p_i^j \cdot (\gamma_i^* - \gamma_i^j) \right| \right) \end{aligned}$$

(fig. 5.1. - cheminement)

Si l'on exprime C_1 à l'aide de vecteurs d'accroissements équivalents, nous obtiendrons le programme C_2 :

$$\text{rechercher } \lambda \text{ et } \gamma^j \left\{ \begin{array}{l} \text{possibles (relations de fonctionnement)} \\ \text{et} \\ \text{réalisables (contraintes et domaine d'existence)} \end{array} \right.$$

tel que :

$$\begin{aligned} \text{Programme } C_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{Min } \lambda, \text{ scalaire } \lambda \geq 0 \\ \text{sous : } \lambda \cdot p_{E_i} \cdot d_i(\gamma^*) \geq |p_i^j \cdot (\gamma_i^* - \gamma_i^j)| \\ \forall i = 1, \dots, n \\ \gamma^j \in N \\ \gamma^* \text{ étant un point intermédiaire entre } \gamma^* \\ \text{et } \gamma^j; \lambda \text{ est considéré comme étant fonction} \\ \text{de } \gamma^j \end{array} \right. \end{aligned}$$

(1) Il est possible de définir la métrique à partir d'une P -topologie, notion plus intrinsèque, cf. thèse.

(2) cf. thèse

(3) B. ROY Procédure du point de mire, op. cit.

La solution d'un tel programme donnera les coefficients $\hat{\lambda}$ ainsi que le vecteur évaluation $\hat{\gamma}$ optimaux en un certain sens.

Dans notre cas, où la frontière d'existence est en général un ensemble de points efficaces (ou frontière de Pareto) car les critères y sont antagonistes, nous pouvons démontrer que le programme C_2 se simplifie.

Dans une région où les pondérations varient peu, autour du point γ^r par exemple, nous pouvons démontrer⁽¹⁾ que le point γ^P , intersection de la frontière d'existence N et de la direction de cheminement, est l'optimum recherché $\hat{\gamma}$.

Le cheminement sera compliqué par le fait que les pondérations peuvent varier d'une action à une autre. Les régions où les pondérations varient peu, sont limitées par des seuils γ_i^{sk} sur les divers critères. Dans ces régions les vecteurs d'accroissements sont à peu près constants aussi.

L'énoncé du programme C_2 se simplifie et le cheminement s'effectuera de proche en proche, d'une région à une autre, jusqu'à la frontière d'existence (fig. 5.2.)

Il s'agira donc de résoudre le programme C_3 suivant :

$$\text{Programme } C_3 \left\{ \begin{array}{l} \text{recherche de } \lambda \text{ et } \gamma^j \text{ possible et réalisable} \\ \text{tel que} \\ \text{Min } \lambda \geq 0 \\ \forall i \quad \sup_k \gamma_i^{sk} = \gamma_i^a - \gamma^b \cdot d_i^a \\ \text{ou} \\ \gamma_i^a - \lambda d_i^a \in N \end{array} \right.$$

Chaque fois qu'un seuil est atteint, nous changeons de région de pondération et donc de direction pour re-cheminer dans cette région jusqu'à un nouveau seuil ou jusqu'à la frontière d'existence.

Nous cheminons ainsi depuis le point de mire γ^* en passant par les points frontière γ^a puis γ^b, γ^b correspondant à λ^b tel que $\gamma^a - \gamma^b = \lambda^b \cdot d(ab)$, et ainsi de suite jusqu'à $\hat{\gamma}$.

(1) cf. thèse page 306.

V. 2. EVALUATIONS "OPTIMALES"

Après avoir vérifié les contraintes, le problème est de détecter le moment où l'on pénètre dans le domaine d'existence. La difficulté réside dans le fait qu'il faut pratiquement obtenir des actions pour savoir si celles-ci sont ou non réalisables. Nous nous munirons donc de tests pour apprécier si une évaluation γ a des chances d'être sur la frontière d'existence, quitte à le vérifier en recherchant ensuite des actions.

La recherche d'évaluations "optimales" sera faite de deux manières complémentaires : par linéarisation de la frontière et par tâtonnement.

Il faut tout d'abord apprécier dans quelle région de la frontière le cheminement peut aboutir, et ensuite se donner une action connue a^0 , réalisable, la plus proche possible de cette frontière. Nous linéariserons les expressions des critères au voisinage de a^0 , soit :

$$\underline{\gamma}^j - \underline{\gamma}^0 = D(G) \cdot \underline{\Delta s} \quad (D(G) \text{ symbolise une matrice de coefficients de } \underline{\Delta s} = s - s^0)$$

Remarquons que les égalités ont lieu critère par critère. L'évaluation $\hat{\gamma}$ recherchée se trouve aussi sur la direction de cheminement $\underline{\gamma}^a - \underline{\gamma}^j = \lambda \underline{d}^a$ à partir du point $\underline{\gamma}^a$ donné (dans une zone de pondérations constantes). Il convient donc de chercher λ et $\underline{\Delta s}$ tels que :

$$\lambda \cdot \underline{d}^a + D(G) \cdot \underline{\Delta s} = \underline{\gamma}^a - \underline{\gamma}^0$$

Nous avons constaté que les coefficients $D(G)$ dépendent principalement d'un paramètre (le type d'organisation) que l'on fera varier pour trouver divers vecteurs "optimaux" $\hat{\gamma}$.

Une méthode par tâtonnements successifs a été employée pour améliorer progressivement les solutions trouvées. Elle fait aussi partie de la recherche d'actions.

En résumé nous trouvons d'abord des évaluations optimales $\hat{\gamma}$ et ensuite les actions qui ont pour évaluations $\hat{\gamma}$, ces évaluations constituant un objectif pour la recherche des actions.

V. 3. IDENTIFICATION DES ACTIONS

Nous avons défini une action d'organisation par l'expression $a = (G, s)$ qui relie le graphe G de transition du produit aux variables s que l'on peut associer aux sommets et aux arcs de G . Cette action est réalisable s'il est possible de déduire, à partir des évaluations des critères, les valeurs de s et un graphe G tels que soient vérifiées les relations de fonctionnement, les contraintes associées à l'action d'organisation et celles exprimées par le décideur. La détermination de s et de G

permet donc à la fois de définir l'action et de savoir si celle-ci se trouve dans le domaine des actions réalisables.

Remarquons cependant que la localisation exacte d'un point de l'espace E n'est pas nécessaire car les critères utilisés ne sont pas de vrais critères (zones d'imprécision ou de non discrimination). La frontière d'existence est alors constituée par un sous-ensemble flou d'actions.

La recherche des actions s'effectue sur le graphe G en constituant des groupements de tâches "homogènes". Un graphe réduit R sera ainsi déterminé par ses caractéristiques principales (effectif de chaque unité, nombre d'unités en ligne, durée des tâches groupées, coefficients de multiplicité, degré d'intégration, identité des tâches, stocks, profils des actions).

Il est alors possible, à l'aide du graphe de précedence T et des variables s , d'affecter un ensemble de tâches et un effectif à chacune des unités et de déconnecter celles-ci par des stocks. Cette opération revient à effectuer une partition des tâches de telle sorte que les relations de précedence soient respectées et que chacune des parties vérifie les contraintes que constitue pour elles les valeurs déduites des évaluations des critères pour $\sum_{i \in I} d_i$, r_i et Id_i , à savoir respectivement la durée des tâches regroupées au sein de chaque unité, leur degré d'intégration et leur identité.

Il convient de noter que notre action d'organisation peut toujours être considérée comme la réunion d'actions élémentaires que constitue chacune des unités de l'atelier.

Nous résumons la recherche des actions dans un algorithme d'identification (fig. 5.3.).

V. 4. APPLICATION PRATIQUE

La recherche d'actions prend appui sur les expressions des critères et des relations de fonctionnement et sur les contraintes déjà mentionnées.

La détermination des évaluations permet de mettre en évidence les éléments suivants caractérisant les partitions de tâches et l'élaboration du graphe $R = I_1, \sum_{i \in I} d_i, r_I^{(1)}$, respectivement nombre d'unités en ligne, durée des tâches regroupées au sein d'une unité, degré d'intégration des tâches de l'unité I .

Les actions proposées au décideur sont exposées sur les tableaux 5.4. et 5.5.

(1) voir thèse.

TABLEAU 5. 3 : ALGORITHME D'IDENTIFICATION DES ACTIONS

(Développement partiel de la Figure 1. 2.)

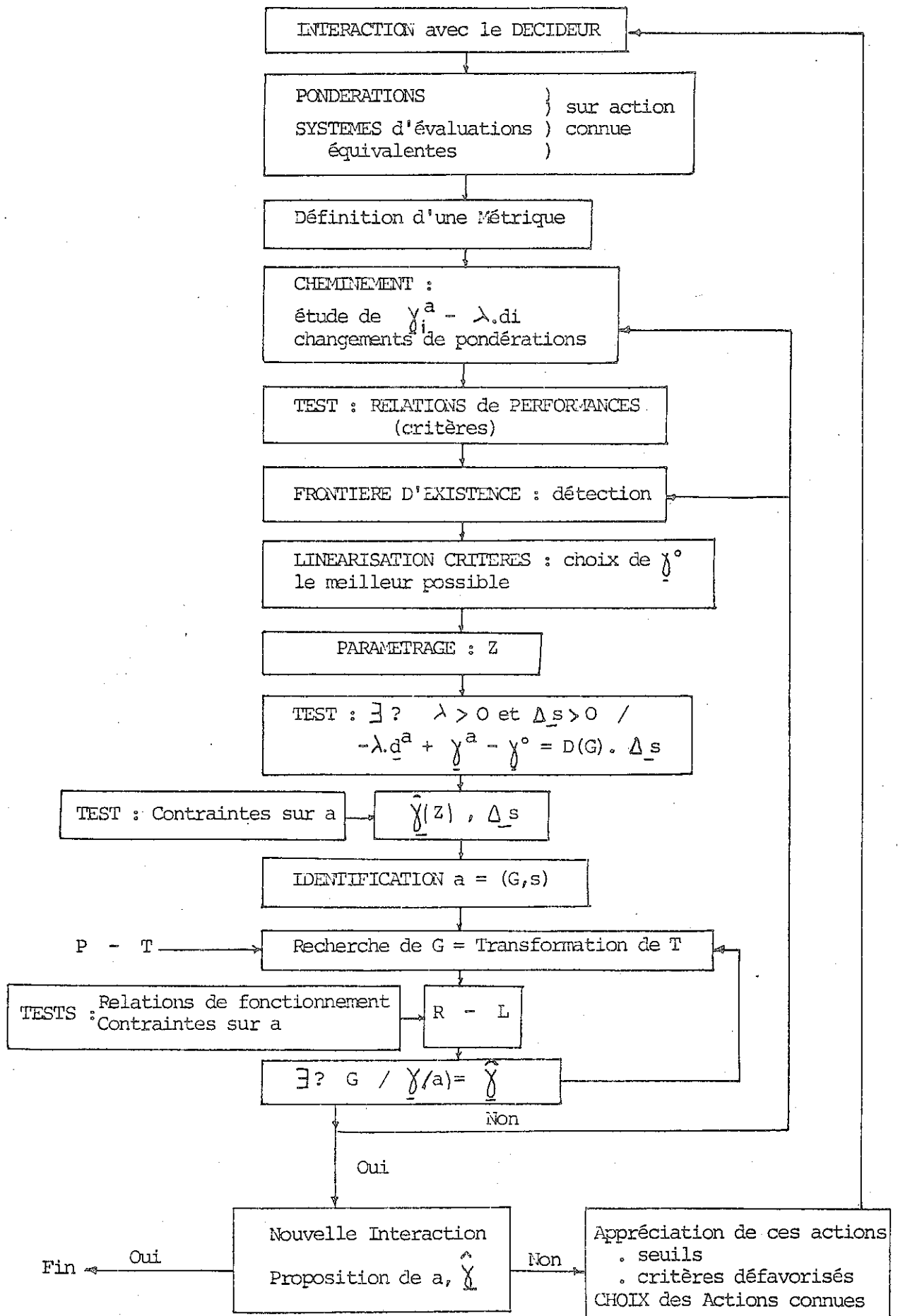


TABLEAU 5.4. - ACTION D'ORGANISATION PROPOSEE N° 1

Description de l'action : . Montage préparatoire en chaîne
 . Assemblage en montage individuel
 . Finition en chaîne

Evaluations : γ_1 : Autonomie individuelle : 0,79
 γ_2 : Intégration de la tâche : 0,60
 γ_3 : Participation à l'activité globale de l'atelier : 0,41
 γ_4 : Indicateur de groupe : 0,43
 γ_5 : Satisfaction des désirs individuels : 1
 γ_6 : Variation du prix de revient atelier : 0,71 : $\Delta \text{PRA} = + 3,1\%$
 γ_7 : Variation des stocks en cours : 0,37
 γ_8 : Variation du coût de l'investissement : 0,60 : $\Delta \text{inv}^t = + 40\%$
 γ_9 : Efficacité de la structure : 0,56
 γ_{10} : Risques de blocage : 0,64
 γ_{11} : Simplicité de la structure : 0,25

Caractéristiques de l'action

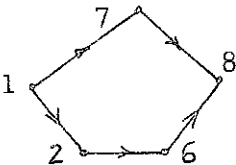
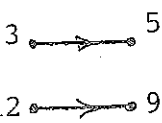
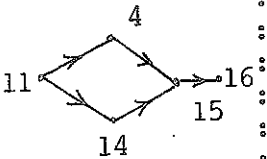
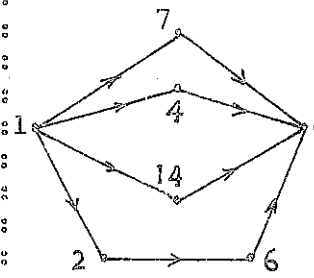
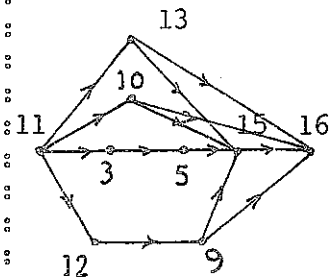
	UNITES DE FABRICATION		
	Montage préparatoire	Assemblage	Finition
Type d'organisation	chaîne	Montage individuel	chaîne
Nombre d'unités en parallèle	1	1	1
Effectif par unité (pour chacune des 2 équipes)	3,6	10,15	3,65
	Un ouvrier travaille à mi-temps sur chacune des 2 chaînes Un ouvrier travaille à temps partiel en montage individuel et en chaîne.		
Stock situé en aval (en nombre de culasses)	26	20	26
Tâches à exécuter (cf. Tableau 2.22)	1-2-6-7-8	3-5-10-12-9-13	11-4-14-15-16
Temps de fabrication	1,81 mn	4,85 mn	1,88 mn
Degré d'intégration des tâches r	1	4	2
Identité des tâches en montage individuel		100 %	
Contraintes de Précédence sur les tâches			
 : Précède			

TABLEAU 5.5. : ACTION D'ORGANISATION PROPOSEE N° 2

Description de l'action : . Montage préparatoire en chaîne
 . Assemblage et finition en groupe semi-autonome

<u>Evaluations</u> :	γ_1 : Autonomie individuelle	: 0,91
	γ_2 : Intégration de la tâche	: 0,60
	γ_3 : Participation à l'activité globale de l'atelier	: 0,49
	γ_4 : Indicateur de groupe	: 0,43
	γ_5 : Satisfaction des désirs individuels	: 0,92
	γ_6 : Variation du prix de revient atelier	: 0,71 : Δ PRA: +3,1%
	γ_7 : Variation des stocks et en-cours	: 0,47
	γ_8 : Variation du coût de l'investissement	: 0,60 : Δ PRA: + 40%
	γ_9 : Efficacité de la structure	: 0,60
	γ'_9 : Risques de blocage	: 0,53
	γ''_9 : Simplicité de la structure	: 0,40

Caractéristiques de l'action :

	UNITES DE FABRICATION	
	Montage préparatoire	Assemblage et Finition
Type d'organisation	chaîne	Groupes semi-autonomes
Nombre d'unités en parallèle	1	4
Effectif par unité (pour chacune des 2 équipes)	6	11,4
	4 groupes semi-autonomes de 3 ouvriers chacun, l'un des groupes n'ayant pas à travailler à plein temps dans l'atelier.	
Stock situé en aval (en nombre de culasses)	31	29
Tâches à exécuter (cf tableau 2.22)	1-2-6-7-4-14-8	11-3-5-10-12-9-13-15-16
Temps de fabrication	2,94 mn	5,6 mn
Degré d'intégration des tâches r	1	4
Identité des tâches en groupe semi-autonome		100 %
Contraintes de précédence sur les tâches		

→ : Précède

CHAPITRE VI

RECHERCHE ITERATIVE D'UN COMPROMIS

La procédure interactive utilisée comporte trois types de mécanisme : mécanisme de recherche (analyser l'information), mécanisme de réinitialisation (préparer le dialogue), mécanisme de réaction.

VI. 1. MECANISME DE REACTION.

De par la nature même du problème, dans lequel tout n'est pas déterminé a priori ou pris en compte, la procédure doit nécessairement être ouverte et souple, admettant le dialogue avec les responsables.

Les tableaux 3.1. et 3.2., expliquant les "actions" connues de réorganisation de l'atelier de culasse, constituent l'élément de base de la phase de réinitialisation. Celle-ci doit préparer la prochaine interaction avec le décideur de telle sorte qu'il en résulte le maximum d'informations significatives pour la suite de la démarche. Dans cette optique, la présentation de ces actions est particulièrement importante. Il s'agit d'expliquer, sans entrer dans le détail de la procédure, les hypothèses et les informations qui ont entraîné les principales caractéristiques des actions proposées.

On conçoit donc que l'information recueillie lors des nouvelles phases de réaction soit beaucoup plus riche que lors de la première. Le décideur va pouvoir beaucoup plus facilement entrevoir les conséquences de sa décision puisqu'il peut déjà en constater certaines au travers des actions qui lui sont proposées. Ses réactions révéleront donc ses préférences de manière beaucoup plus précise.

Le dialogue se dirigera suivant deux orientations différentes suivant la réaction du décideur.

Dans le cas où aucune action ne retient son intérêt, il faut conclure que certaines hypothèses formulées au cours du cheminement, qui ont permis de traduire les préférences en des systèmes de pondérations et des vecteurs d'accroissements équivalents, sont erronées. Il importe donc de rechercher avec le décideur où se situent ces anomalies.

On peut penser que les données obtenues au cours de ces entretiens et les hypothèses qui en découleront cerneront de beaucoup plus près les préférences. Il en sera donc de même pour le cheminement que l'homme d'étude va devoir réeffectuer à partir du point de mire.

CHAPITRE VI

RECHERCHE ITERATIVE D'UN COMPROMIS

La procédure interactive utilisée comporte trois types de mécanisme : mécanisme de recherche (analyser l'information), mécanisme de réinitialisation (préparer le dialogue), mécanisme de réaction.

VI. 1. MECANISME DE REACTION.

De par la nature même du problème, dans lequel tout n'est pas déterminé a priori ou pris en compte, la procédure doit nécessairement être ouverte et souple, admettant le dialogue avec les responsables.

Les tableaux 3.1. et 3.2., expliquant les "actions" connues de réorganisation de l'atelier de culasse, constituent l'élément de base de la phase de réinitialisation. Celle-ci doit préparer la prochaine interaction avec le décideur de telle sorte qu'il en résulte le maximum d'informations significatives pour la suite de la démarche. Dans cette optique, la présentation de ces actions est particulièrement importante. Il s'agit d'expliquer, sans entrer dans le détail de la procédure, les hypothèses et les informations qui ont entraîné les principales caractéristiques des actions proposées.

On conçoit donc que l'information recueillie lors des nouvelles phases de réaction soit beaucoup plus riche que lors de la première. Le décideur va pouvoir beaucoup plus facilement entrevoir les conséquences de sa décision puisqu'il peut déjà en constater certaines au travers des actions qui lui sont proposées. Ses réactions révéleront donc ses préférences de manière beaucoup plus précise.

Le dialogue se dirigera suivant deux orientations différentes suivant la réaction du décideur.

Dans le cas où aucune action ne retient son intérêt, il faut conclure que certaines hypothèses formulées au cours du cheminement, qui ont permis de traduire les préférences en des systèmes de pondérations et des vecteurs d'accroissements équivalents, sont erronées. Il importe donc de rechercher avec le décideur où se situent ces anomalies.

On peut penser que les données obtenues au cours de ces entretiens et les hypothèses qui en découleront cerneront de beaucoup plus près les préférences. Il en sera donc de même pour le cheminement que l'homme d'étude va devoir réeffectuer à partir du point de mire.

Dans le cas où, par contre, le décideur retient une ou quelques actions, à l'encontre desquelles il risque cependant d'exprimer des critiques, la phase de réaction s'engagera de manière différente. Il s'agira de réunir les renseignements indispensables pour cheminer le long de la frontière du domaine d'évaluations des actions réalisables, c'est-à-dire dans l'ensemble des actions efficaces. Il faut bien faire comprendre au décideur que gagner sur un critère implique alors de perdre sur un ou plusieurs autres. C'est en effet ce choix entre les répercussions en sens contraire des mesures possibles pour remédier aux déficiences des actions présentées qui va orienter le cheminement jusqu'au compromis.

VI. 2. ELABORATION D'UN COMPROMIS PAR ENRICHISSEMENT PROGRESSIF DE L'INFORMATION.

La procédure, pour être efficace, doit permettre un enrichissement de l'information suffisamment rapide pour que chaque cycle le fasse progresser de manière sensible vers la solution désirée.

Contrairement aux méthodes classiques de Recherche Opérationnelle, qui visent à la mise en évidence d'un optimum, notre méthodologie se caractérise, comme la procédure du point de mire dont elle dérive, par l'impossibilité d'envisager une propriété de convergence. Celle-ci supposerait en effet qu'il existe une solution préalablement définie au problème posé qu'il s'agirait de trouver. Nous avons vu que cette solution n'existe pas et que nous devons la définir en même temps que nous analysons les préférences du décideur. Nous sommes donc en présence non d'un processus de convergence mais d'un processus que nous nommerons d'enrichissement progressif de l'information. Celui-ci se distingue du processus de convergence par le fait que l'information obtenue peut à tous moments être remise en cause et par le fait également qu'il est possible, au cours des différents cheminements à travers l'espace E des évaluations, de passer plus d'une fois par le même point, le deuxième passage entraînant, du fait d'une information plus riche, une orientation de la suite du cheminement différente de celle résultant du premier passage.

Nous constaterons ensuite que la procédure interactive est de par sa nature même itérative et qu'elle s'enrichit donc au cours de chaque itération de nouvelles informations concernant les préférences du décideur. Nous conviendrons également que les renseignements obtenus sont de plus en plus détaillés, de plus en plus précis.

Cet enrichissement de l'information apparaît notamment dans l'évolution des actions connues prises en compte. Si, au départ de la démarche, il y a

disjonction entre les zones de l'espace E sur lesquelles est recueillie l'information nécessaire au cheminement - les actions connues sont à l'intérieur du domaine des actions réalisables - et celles au travers desquelles s'effectue ce cheminement - à l'extérieur de ce domaine -, il y a recouvrement progressif de ces zones au fur et à mesure des interactions pour aboutir en définitive à leur juxtaposition lorsque l'on chemine à la frontière du domaine des actions réalisables.

La procédure prend fin lorsque l'une des actions est acceptée et constitue donc le compromis recherché. Nous reconnaitrons un certain caractère d'optimalité à cette action du fait même que le processus s'est arrêté, le décideur ne désirant plus diminuer l'évaluation d'un critère pour en gagner sur un autre.

CONCLUSION

Pour être applicable, une méthodologie d'aide à la décision ne doit pas impliquer du décideur une expérience particulière. Elle vise à lui apporter un support à la réflexion, à lui permettre d'appréhender les conséquences sociales et économiques des orientations qu'il prend dans sa décision, à le faire participer à la détermination de l'action recherchée par une procédure dépendant en permanence de son intervention. Cette procédure aide le décideur à "assumer sa position d'arbitre entre les critères au service desquels il est placé" ⁽¹⁾. Nous insisterons donc sur le fait que cette méthodologie tend à prendre en compte les optiques différentes des "acteurs" impliqués par la décision de manière à permettre au décideur d'exprimer la synthèse de ces diverses positions. C'est en cela que "la procédure peut être autre chose qu'un instrument de manipulation permettant de justifier des idées a priori"⁽¹⁾. Une méthode qui soit à la fois outil de synthèse, expression des préférences du décideur, génératrice des actions qui en résultent, doit aider l'entreprise à rationaliser des décisions qui prennent en compte des facteurs aussi hétérogènes que les aspects humains et économiques de l'organisation d'un atelier de production.

REFERENCES*

- BENAYOUN R., TERGNY J. - Mathematical programming with multiobjective function : a solution by P.O.P. (Progressive orientation procedure). METRA, Vol. 9, N°2, 1970.
- BERNOUX Ph., MOTTE D. et SAGLIO J. - Trois ateliers d'O.S., Editions ouvrières, 1973.
- BUFFET P., GREMY J-P., MARC H., SUSSMANN B. - Peut-on choisir en tenant compte de critères multiples ? Une méthode (ELECTRE) et trois applications. METRA, Vol. 11, N°2, 1967.
- DAVIS L.E., TAYLOR J-C. - Design of jobs. Penguin Books.
- DELAMOTTE Y. - Recherches en vue d'une organisation plus humaine du travail industriel. Rapport remis à Monsieur Joseph FONTANET, Ministre du Travail, de l'Emploi et de la Population. La Documentation Française, 1972.
- ETZIONI A. - Les organisations modernes. Editions DUCULOT, 1971.
- FISHBURN P.C. - Les mathématiques de la décision. GAUTHIER VILLARS, 1973.
- HEALTH, EDUCATION and WELFARE DEPARTMENT - Work in America, 1973.
- HERZBERG F. - Le travail et la nature de l'homme. E.M.E.
- LEVY, LEBoyer C. - Psychologie des organisations. PUF 1974.
- MAYNARD H.B. - Industrial engineering handbook. Mc GRAW Hill, 1971.
- NORSTEDT J-P., AGUREN S. - Le rapport Saab-Scania. S.A.F. Stockholm, 1973.
- ROY B. - Algèbre moderne et théorie des graphes orientées vers les Sciences économiques et sociales. Tomes 1 et 2. DUNOD.
- ROY B. - Décisions avec critères multiples : problèmes et méthodes. METRA, Vol. 11, N°1, 1972.
- ROY B. - Critères multiples et modélisations des préférences (l'apport des relations de surclassement). Revue d'Economie politique, 1974, N°1.
- ROY B. - Vers une méthodologie générale d'aide à la décision. METRA, N° 4, 1975.
- WALKER C.R., GUEST R.H. - The man on the assembly line. HARVARD UNIVERSITY Press. 1952.
- ZELENY M. - Linear multiobjective programming. SPRINGER VERLAG.

* Une bibliographie détaillée est située en pages 377 à 385 de la thèse.