

**Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedienne
(U.S.T.H.B.) Alger**

Faculté de génie électrique Département Informatique

THESE

Présentée à l'U.S.T.H.B. en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Informatique

Option : Intelligence Artificielle et Bases de données

Par

Mme Hassina Aliane née Aouidad

**Abduction et Qiyas:
Vers une Caractérisation de L'approche de Sibawayh du point
de vue de l'Intelligence Artificielle et de la Philosophie de la
Science**

Soutenue le 06/06/2001

Devant le jury:

Mme A. Aissani-Mokhtari	Maître de Conférences (USTHB)	Président
Mme Z. AliMazighi	Maître de Conférences (USTHB)	Directeur de thèse
Mr. M. Ahmed Nacer	Maître de Conférences (USTHB)	Examineur
Mr. H. M. Khelalfa	Chargé de Recherche (CERIST)	Examineur
Mme. Y. Saad	Maître de Conférences (USTHB)	Examineur

*"We can only see a short distance ahead, but we
can see plenty there that needs to be done"*

Alan Turing.

Résumé

L'Intelligence Artificielle et la Philosophie de la Science s'intéressent à l'étude des schémas de raisonnement non déductifs et plus particulièrement ceux qui permettent de prendre en compte l'explication, la nouveauté et la révision de croyances.

L'explication est aussi au centre de l'analyse linguistique. En particulier, en syntaxe, les théories ont toujours évolué pour converger vers l'adéquation explicative c'est à dire arriver à une théorie qui permettrait de prédire les structures correctes du langage tout en étant basée sur un ensemble restreint de principes généraux, simples et universels.

Considérant donc la notion d'explication en linguistique comme une instance de l'explication propre à toute méthode scientifique en Intelligence Artificielle et en Philosophie de la Science, nous nous intéressons dans ce travail à l'étude de l'explication dans la théorie de la langue arabe, plus précisément la théorie de la grammaire de Sibawayh.

En fait, on dit toujours que la langue arabe est une langue originale qui possède ses propriétés et règles spécifiques qui ne coïncident pas avec les formalismes connus en linguistique ou en logique. Le travail présenté dans cette thèse est un essai de caractérisation du système de la langue arabe à la lumière des paradigmes contemporains dans le but de proposer des fondements pour l'élaboration de formalismes logiques et informatiques.

Nous présentons dans la première partie de la thèse un état de l'art sur la notion d'explication et en particulier l'abduction, comme inférence vers la meilleure explication. La deuxième partie est consacrée à la présentation de la langue arabe et de l'approche d'explication de Sibawayh à savoir le "qiyas". Enfin la dernière partie présente notre contribution qui consiste en une caractérisation de l'inférence qiyas à partir d'une analyse et comparaison de ce dernier avec l'abduction et une proposition de fondements théoriques pour la formalisation du qiyas.

Mots-clés: Explication, Abduction, Grammaire de Sibawayh, Qiyas, raisonnement à base d'action.

Table des matières

Chapitre 1: Introduction à la notion générale d'abduction

1.1 Qu'est ce que l'abduction ?.....	1
1.2 Exemples.....	2
1.3 Caractérisation de l'abduction.....	4
1.3.1 L'abduction: produit ou processus ?.....	5
1.3.2 L'abduction: construction ou sélection ?.....	5
1.3.3 Abduction vs induction.....	6
1.4 Disciplines pour l'abduction.....	7
1.4.1 Le père fondateur: Charles Sanders Peirce.....	7
1.4.2 La philosophie de la science.....	9
1.4.3 L'intelligence artificielle.....	12
1.4.4 Les sciences cognitives.....	12
1.4.5 La linguistique.....	13
1.4.6 Les mathématiques.....	13
1.5 Conclusion.....	14

Chapitre 2 : Abduction, Catégories, Signe triadique

2.1 Introduction.....	15
2.2 Les trois catégories.....	15
2.3 La théorie du signe triadique.....	18
2.4 Le processus d'investigation.....	20
2.5 Le Schéma d'inférence logique.....	22
2.6 Approches pour l'abduction en IA: un état de l'art.....	23
2.6.1 Abduction comme outil de démonstration.....	24
- approches basées sur l'ensemble de couverture.....	24
- abduction basée sur les ATMS.....	29
- approches probabilistes.....	30
2.6.2 Abduction comme outil d'exposition.....	32
- Abduction à base de cas.....	32
- Approches logiques.....	32
2.7 Conclusion.....	36

Chapitre 3 : Langue Arabe et Grammaire de sibawayh

3.1 Introduction.....	38
3.2 Fondements épistémologiques et philosophiques.....	39
3.2.1 L'absence de voyelles.....	39
3.2.2 L'absence de copule.....	44
3.2.3 Les mots arabes ne sont pas fixés par l'usage.....	48
3.3 La Grammaire de Sibawayh.....	55
3.3.1 Les concepts de « 'asl, far', bab ».....	55
3.3.2 La théorie du « mawdi' ».....	56
3.3.3 Le qiyas.....	57
3.3.4 Discussion.....	61
3.3.5 Le modèle syntaxique.....	62
3.3.5.1 le point de départ de l'analyse.....	62
3.3.5.2 le niveau syntaxique.....	64
3.4 Conclusion.....	67

Chapitre 4 : Analyse et comparaison des deux approches

4.1 Introduction.....	69
4.2 Phénoménologie et pragmatisme.....	70
4.3 La recherche de prémisses.....	75
4.3.1 Peirce.....	75
4.3.2 Sibawayhi.....	80
4.4 Conclusions et Reflexions	86
4.4.1 Catégories, fondements du raisonnement.....	86
4.4.2 Le signe et la combinatoire.....	88

Chapitre 5 : Vers des fondements théoriques pour la grammaire de Sibawayhi

5.1 Notion de grammaire d'action.....	92
5.1.1 Grammaires de constituants et grammaires de dépendances.....	92
5.1.2 La grammaire de Sibawayh: grammaire d'actions.....	93
5.1.3 Typologie des classes de grammaires.....	93
5.2 Vers des fondements théoriques pour la grammaire de Sibawayhi.....	94
5.2.1 La théorie du mawdi' revisitée.....	94
5.3.2 La théorie mathématique des catégories.....	95
5.3 Conclusion et réflexions.....	97
Conclusion générale.....	101
Bibliographie	
Annexe	

1. Introduction

L'Intelligence Artificielle et la Philosophie de la Science s'intéressent à l'étude des schémas de raisonnement non déductifs et plus particulièrement ceux qui permettent de prendre en compte l'explication, la nouveauté et la révision de croyances. L'explication est aussi au centre de l'analyse linguistique. En particulier, en syntaxe, les théories ont toujours évolué pour converger vers l'adéquation explicative c'est à dire arriver à une théorie qui permettrait de prédire les structures correctes du langage tout en étant basée sur un ensemble restreint de principes généraux, simples et universels. Considérant donc la notion d'explication en linguistique comme une instance de l'explication propre à toute méthode scientifique en Intelligence Artificielle et en Philosophie de la Science, nous nous intéressons dans ce travail à l'étude de l'explication dans la théorie de la langue arabe, plus précisément la théorie de la grammaire de Sibawayh.

Ce travail est une tentative pour caractériser le système de la langue arabe à la lumière des paradigmes contemporains dans le but de proposer des fondements pour l'élaboration de formalismes logiques et informatiques.

Nous avons choisi l'abduction Peirceenne comme un référentiel pour mener à bien cette étude. Ce choix a été motivé par les raisons suivantes:

- l'abduction en Intelligence Artificielle peut être vue comme une approximation de l'abduction Peirceenne [Kru95],
- dans la littérature scientifique que ce soit en IA ou en Philosophie de la Science, la grande majorité des travaux renvoient au penseur américain Charles Sanders Peirce.
- Peirce a développé sa théorie dans le cadre d'une logique, et ceci est important car notre but à long terme étant de développer des formalismes logiques et informatiques, nous nous intéressons aux approches logico- symboliques en IA.
- Le cadre de la philosophie de la science est important car le cadre théorique dans lequel Peirce a développé sa théorie -le pragmatisme qui sous-tend l'abduction est une philosophie de la science-[Kru95][Ali97] nous permet d'établir des balises de réflexion et de comparaison au niveau des fondements pour caractériser l'approche de Sibawayh.

Nous présentons donc dans ce rapport une analyse de l'abduction Peirceenne et du qiyas grammatical de Sibawayhi et nous proposons une caractérisation pour cette dernière approche ainsi que des fondements théoriques pour sa formalisation.

Néanmoins, il ne s'agit pas pour nous de choisir une quelconque implémentation pour l'appliquer à l'analyse de la langue arabe. En effet, pour choisir une implémentation, il faut avoir au préalable établi que le processus d'abduction Peirceen est bien équivalent à l'approche de Sibawayh et en accepter alors les fondements comme des fondements pour cette dernière. Autrement, si on établit que le processus d'investigation Peirceen n'est pas équivalent à celui de Sibawayh, il faudra chercher d'autres fondements.

Qu'est ce que l'abduction ?

Exemples

Caractérisation de l'abduction

1.3.1 l'abduction : produit ou processus ?

1.3.2 l'abduction : construction ou sélection ?

1.3.3 Abduction vs Induction

1.4 Disciplines pour l'abduction

1.4.1 Le père fondateur: Charles Sanders Peirce

1.4.2 La Philosophie de la Science

1.4.3 L'Intelligence Artificielle

1.4.4 Les Sciences Cognitives

1.4.5 La Linguistique

1.4.6 Les mathématiques

1.5 Conclusion

1.1 Qu'est ce que l'abduction?

La construction d'explications nous donnant une compréhension du monde dans lequel nous vivons constitue un thème central dans l'étude du raisonnement humain. De façon générale, l'abduction est un processus de raisonnement invoqué pour expliquer une observation curieuse ou troublante.

Un exemple typique est le processus de diagnostic médical. Lorsqu'un docteur observe un symptôme chez un patient, il émet une hypothèse à propos des causes possibles, en se basant sur sa connaissance des relations causales entre les maladies et leurs symptômes. L'abduction intervient aussi dans d'autres contextes scientifiques plus théoriques. A titre d'exemple certains auteurs prétendent que le raisonnement utilisé par Kepler [Han61][Pei58] lors de sa découverte pour la planète Mars était un raisonnement par abduction.

Cependant, l'abduction intervient tous les jours dans notre raisonnement de sens commun. Si par exemple, en nous réveillant le matin, nous trouvons le sol mouillé, nous expliquerons cette observation par le fait qu'il a dû pleuvoir la nuit ou que les éboueurs sont passés.

L'abduction c'est penser à partir d'une évidence à une explication, un type de raisonnement caractéristique à beaucoup de situations où on est en présence d'information incomplète.

L'histoire de ce type de raisonnement remonte à l'antiquité où on s'est intéressé à une forme de raisonnement non strictement déductif et dont les conclusions ne sont pas nécessaires mais plutôt probables. Plus tard, l'explication comme une forme de raisonnement est considérée notamment par Laplace comme une importante méthodologie pour les sciences [Sup96][Ali97].

Enfin, et pour les temps modernes, ce type de raisonnement a été repris justement sous le nom "abduction" par le philosophe américain C.S. Peirce [Pei58].

Pour étudier un type de raisonnement qui intervient dans des contextes aussi variés que la découverte scientifique, le diagnostic médical et le sens commun, des caractéristiques suffisamment générales doivent être fournies qui couvrent la plupart des cas. C'est donc l'objectif de ce premier chapitre que de donner une analyse générale de cette notion dans le but de dégager des points particulier qui seront discutés par la suite. Commençons par un ensemble d'exemples.

1.2 Exemples

Le terme "abduction" est utilisé dans la littérature pour désigner une variété de processus explicatifs. Nous en donnons quelques exemples dans ce qui suit:

1. Sens Commun: Expliquer des observations avec de simples faits .

Nous savons que le sol devient mouillé soit lorsqu'il pleut ou que les éboueurs l'arrosent. Si en nous réveillant le matin, nous remarquons que le sol est mouillé, alors nous émettons l'hypothèse qu'il a plu durant la nuit ou que les éboueurs sont passés avec leurs camions d'arrosage.

2. Sens Commun: dresser des liens causaux entre des faits.

Vous observez que certains types de nuages précèdent souvent une averse de pluie. Vous apercevez ces nuages de votre fenêtre la nuit. Le lendemain matin, vous trouvez le sol mouillé. De là, vous inférez un lien causal entre les nuages de la nuit et l'humidité du sol.

3. Sens commun: expliquer une anomalie.

Vous savez que la pluie entraîne un sol mouillé, il pleut et néanmoins, vous remarquez que le sol n'est pas mouillé. Comment pourriez vous expliquer cette anomalie?

4. Raisonnement statistique: Diagnostic médical.

Mohamed s'est rétabli rapidement d'une infection causée par un streptocoque après administration d'une dose de pénicilline. Presque toutes les infections à cause de streptocoques sont rapidement éliminées après administration de pénicilline sauf en cas de résistance à la pénicilline auquel cas la probabilité de rétablissement rapide est plutôt faible.

Le médecin traitant sait que l'infection de Mohamed est de type résistant à la pénicilline, et par conséquent il est complètement troublé par son rétablissement.

Mohamed lui avoue alors qu'un ami lui avait donné un médicament homéopathique qui stimule le système immunitaire en renforçant les ressources de l'organisme pour vaincre l'infection.

5. *Sens Commun*: lorsque quelque chose ne marche pas.

Vous rentrez chez vous le soir, et la lumière dans votre chambre ne veut pas s'allumer. Comme il a plu toute la journée, vous pensez qu'un fusible a dû sauter, mais les autres lumières dans le reste de la maison s'allument correctement. Vous vous demandez si vous n'avez pas laissé tous les appareils allumés, chose qui souvent cause un court circuit et vous procédez à une vérification. Néanmoins, vous trouvez que tout est OK. Finalement, une explication simple vous traverse l'esprit: peut être l'ampoule de votre chambre est-elle endommagée et a-t-elle besoin d'être remplacée.

Donc, on peut dire que l'abduction implique un calcul sur différentes solutions candidates dépendant de notre connaissance du monde.

Les exemples précédents constituent quelques exemples typiques, simples de raisonnement vers une explication. Cependant, le raisonnement explicatif peut être bien plus compliqué. A titre d'exemple, même quand il s'agit de sens commun, différentes options peuvent être considérées, dépendant de la mémoire de l'individu effectuant le raisonnement et de sa "stratégie de calcul" [Ali97].

En fait, La façon dont nous élaborons une explication dépend de notre connaissance du monde (appelée background theory) d'une part et d'autre part de nos habitudes de travail intellectuel: (notre façon de mener un raisonnement). Ceci constitue une caractéristique générale de l'abduction: ***une explication est toujours une explication par rapport à un ensemble de croyances.***

Néanmoins, cela ne constitue pas le seul paramètre qui rentre en jeu car parfois, il n'y pas une seule explication possible à une observation mais plusieurs et nous devons en choisir une comme étant la plus plausible. Parfois, aussi, une explication consiste non seulement à avancer des faits ou des règles dans un cadre conceptuel relatif à nos croyances mais aussi à ***créer de nouveaux concepts qui permettront une nouvelle description du phénomène observé.*** Et ceci constitue une autre caractéristique très importante de l'abduction car pour Peirce il s'agit du seul type d'inférence qui conduit à la création de nouveaux concepts [Pei58] [Kru95] [Wir98].

Nous avons vu dans les exemples présentés des instances de raisonnement dans lesquels nous avons besoin d'une explication pour un certain phénomène observé. Peut on dire plus sur l'abduction.

A première vue, la caractéristique commune à tous ces exemples est que ce ne sont pas des cas de raisonnement déductif.

En effet, les *explications produites peuvent être remises en cause*. Peut-être le sol est-il mouillé parce que des enfants ont joué avec de l'eau. L'observation de nuages n'est pas nécessairement en relation causale avec le sol mouillé. Le rétablissement de Mohamed est peut-être tout simplement dû à un processus normal de son organisme.

En fait, nous pouvons à chaque moment apprendre de nouveaux faits qui peuvent invalider la conclusion abductive [Ali97]. De plus, le raisonnement mis en œuvre dans ces exemples semble aller en *sens inverse de la déduction ordinaire*. En effet, nous allons de l'observation à l'hypothèse et non des données aux conclusions comme dans le raisonnement déductif. Enfin, décrire la façon dont une explication est trouvée ne semble pas suivre des règles bien précises.

Ce que nous pouvons affirmer jusqu'ici est que les types de raisonnement mentionnés ci-dessus ne peuvent pas relever de la logique déductive classique. Si aujourd'hui, le raisonnement déductif est bien maîtrisé et formalisé, il n'en va pas de même pour les autres types de raisonnement et en particulier le raisonnement abductif qui nous intéresse ici.

Nous allons donc essayer de dégager quelques caractéristiques qui pourraient permettre une analyse logique concrète et par la suite comparer ce type de raisonnement avec le raisonnement scientifique des anciens grammairiens arabes tant au niveau de la démarche qu'au niveau de l'abstraction. Le paragraphe suivant présente trois aspects du raisonnement par abduction.

1.3 Caractérisation de l'abduction :

La littérature sur l'abduction est vaste et multiple. Différentes facettes de l'abduction sont discutées d'un auteur à l'autre. Nous présentons dans ce paragraphe les trois principales oppositions qui sont considérées pour la caractérisation de l'abduction :

- doit-on étudier l'abduction comme un produit ou comme un processus ?
- doit-on considérer l'abduction comme une construction ou une sélection d'hypothèses?
- l'abduction est-elle une instance de l'induction ou bien avons nous affaire à deux types d'inférence différents ?

1.3.1 L'abduction: produit ou processus?

Les mots clés logiques *jugement* et *preuve* sont des noms qui dénotent soit l'activité indiquée par les verbes correspondants, soit le résultat de cette activité. De la même façon, le mot commun *explication* qui est considéré largement comme synonyme d'abduction peut être utilisé pour désigner l'explication produit final ou bien l'activité qui conduit à cette explication. Ces deux utilisations sont très liées. Le processus d'explication produit des explications comme produits. Mais les deux (processus et produits) sont en fait différents.

La distinction processus/produit a été reconnue par les logiciens [Bet59][vBe93] aussi bien que par les philosophes de la science [Rub90][Sal90] dans le contexte de l'explication scientifique.

Comme produit, il s'agit de considérer les conditions qui donnent à un élément d'information une puissance explicative [Ali97][Kru95].

Comme processus, il s'agit de considérer la conception d'algorithmes qui permettent de produire les explications.

1.3.2 L'abduction: Construction ou Sélection?

Etant donné un fait à expliquer, il existe souvent plusieurs explications possibles, mais dont seulement une (ou peu) constitue effectivement la bonne explication. En attendant de faire les tests, pour notre sens commun, plusieurs explications se présentent pour expliquer pourquoi la lampe ne s'allume pas dans la chambre de notre exemple (court-circuit, compteur éteint, lampe brûlée). Mais seulement une peut être considérée comme la meilleure explication, précisément celle qui a vraiment eu lieu. D'autres critères de préférence peuvent aussi être appropriés, notamment lorsqu'il n'existe pas de tests directs disponibles pour vérifier l'hypothèse [Ali97][Kru95].

Donc, l'abduction concerne aussi bien la construction que la sélection d'hypothèses.

Certains auteurs considèrent les deux processus comme des étapes séparées du raisonnement [Kru95]. La première consistant à trouver ce qui peut constituer une explication possible tandis que l'autre consiste à appliquer des critères de préférence pour sélectionner la meilleure explication parmi les explications possibles.

D'autres auteurs regardent l'abduction comme un seul processus qui construit une seule bonne explication.

Nous adopterons pour notre part la première vision en considérant que le choix de la "meilleure explication" à une observation implique nécessairement des aspects *contextuels* pouvant varier

d'une application à une autre. Donc il y a ici un nouveau paramètre à prendre en compte en l'occurrence la notion de "préférence" pour la sélection de la meilleure hypothèse. La notion de préférence a été étudiée par la philosophie et la logique ainsi que par l'Intelligence Artificielle. Le lecteur peut se référer à [Wri63] en ce qui concerne les premières et à [DBP91] pour la dernière.

1.3.3 Abduction vs Induction

Au delà de la logique déductive, diverses terminologies sont utilisées. Sans doute le terme le plus rencontré dans la littérature est le raisonnement inductif [Mil58][Sal90][Hol86][Tha88][Fla95] .

Il est important de clarifier la relation entre les deux types de raisonnement abductif et inductif. Pour C.S Peirce, 'déduction', 'induction' et 'abduction' forment un triangle naturel comme nous le verrons plus loin. Mais il existe certaines confusions dans la littérature .

Depuis le temps de John Stewart mill (1806-1873), le nom technique donné à tout raisonnement non déductif est 'induction', et ceci malgré le fait que plusieurs *méthodes de découverte et de démonstration de relations causales*[Mil58]ont été reconnues.

Ces méthodes comprennent la généralisation d'une propriété simple à une propriété générale, raisonner à partir des données vers une hypothèses causale.

Une terminologie moderne plus raffinée comprend des termes comme 'induction énumérative' et 'induction explicative' dont 'généralisation inductive', 'projection inductive', 'syllogisme statistique', 'formation de concepts' en sont quelques instances. En philosophie informatique de la science, l'induction est vue "*au sens large comme tout type d'inférence qui augmente la connaissance en présence d'incertitude*" [Tha88][Tha94b].

Un autre terme pour désigner le raisonnement non déductif est 'raisonnement statistique' [Ali97], qui introduit la notion de probabilité, comme c'est le cas pour le diagnostic médical dans lequel, les explications ne sont pas certaines mais probables.

Le raisonnement statistique exhibe la même diversité que l'abduction. Tout d'abord, tout comme le dernier a été fortement identifié comme une déduction en arrière *Backwards deduction*, le premier trouve sa "notion inverse" dans les probabilités. Les deux types de raisonnement: raisonnement statistique et abduction sont en réalité tous les deux liés à des notions comme la confirmation (test d'hypothèses), la vraisemblance (mesure des hypothèses alternatives) [Ali97].

D'autre part, certains auteurs considèrent l'induction comme une instance de l'abduction. L'abduction en tant qu'*inférence vers la meilleure explication* est considérée par certains auteurs comme la forme de base de toute inférence non déductive [Har65].

En fait, cette confusion revient à l'intelligence artificielle. "l'induction" désigne le processus d'apprentissage à partir d'exemples mais aussi le processus de création de théories pour l'explication de faits[Shap91], faisant ainsi de l'abduction une instance de l'induction.

L'abduction est habituellement restreinte à la production d'explications sous forme de faits. Lorsque les explications ont la forme de règles, l'abduction est considérée comme faisant partie d'une induction.

La relation entre l'abduction proprement définie et l'induction a fait l'objet de workshops récents dans les conférences en intelligence artificielle particulièrement la conférence ECAI [Den96][Dim96][Fla96a][Fla96b][Kru97][Sak98][Psi96][Pre96].

[Ali96] propose de lever l'ambiguïté en considérant l'abduction comme une forme de raisonnement à partir d'une *observation vers ses explications* et l'induction comme un raisonnement à partir d'assertions simples vers des assertions générales.

Tandis que l'induction explique un ensemble d'observations, l'abduction en explique une seule. L'induction permet la prédiction d'observations futures, l'abduction ne fournit pas (directement) une estimation pour des observations futures. L'induction ne nécessite pas de connaissance d'arrière plan (background theory) l'abduction se base sur une background theory pour construire et tester ses explications.

En ce qui concerne les similarités, l'induction et l'abduction sont toutes les deux des formes non-monotones d'inférence et fonctionnent toutes les deux en sens inverse de la déduction classique. Dans l'inférence non monotone, de nouvelles prémisses peuvent remettre en cause des arguments précédemment valides [DBP91][shap91][Pau93][Pir95].

1.4 Disciplines pour l'abduction

1.4.1 Le père fondateur: Charles Sanders Peirce

La littérature sur l'abduction est tellement vaste que nous ne pouvons pas prétendre à une lecture exhaustive ici. Commençons par un historique de l'usage moderne de ce terme. En fait, dans ce domaine, tous les travaux du 20ème siècle renvoient aux travaux de C.S. Peirce.

Charles Sandres Peirce (1839-1914), fondateur du pragmatisme américain fut le premier philosophe à avoir donné à l'abduction une forme logique.

Dans les débuts de sa théorie Peirce a proposé trois modes de raisonnement: déduction, induction, abduction dont chaque mode correspond à une forme syllogistique illustrées par ses exemples suivants [Pei58][Ali97][Kru95]:

Déduction

Règle: all the beans from this bag are white.

Cas: these beans are from this bag.

Résultat: these beans are white.

Induction:

Cas: these beans are from this bag

Résultat: these beans are white.

Règle: all the beans from this bag are white.

Abduction:

Règle: all the beans from this bag are white.

Résultat: these beans are white

Cas: these beans are from this bag.

Parmi ces formes d'inférence, seule la déduction est complètement certaine, inférant son 'résultat' comme une conclusion nécessaire. L'induction produit une règle dont la validité est vérifiée seulement au long terme [Pei58], et l'abduction suggère simplement que quelque chose peut être "le cas" [Pei85].

Plus tard, Peirce proposa ces trois formes de raisonnement comme constituant les trois étapes nécessaires à toute investigation logique, et dont l'abduction se situe au début.

"from its abductive suggestion deduction can draw a prediction which can be tested by induction" [Pei58]

l'abduction joue un rôle dans le jugement perceptuel direct, dans lequel:

"the abductive suggestion comes to us as a flash" [Pei58][Kru95]

aussi bien que dans le processus général d'invention:

"It [abduction] is the only logical operation which introduces new ideas" [Pei58][Kru95]

Dans tout ceci, l'abduction est tout aussi bien *"an act of insight"* qu'*"and an inférence"*. Peirce a raffiné sa vision de l'abduction tout au long de son œuvre. Il a tout d'abord identifié l'abduction à travers la forme syllogistique ci-dessus pour plus tard enrichir son idée avec la conception plus générale de:

"The process of forming an explanatory hypothesis". [Pei58][Kru95][Ali97]

et aussi,

"the process of choosing an hypothesis". [Pei58][Kru95][Ali97]

Les caractéristiques fondamentales de l'abduction Peirceenne:

Pour Peirce, trois aspects déterminent si une hypothèse est prometteuse ou non: elle doit être *explicative*, *testable* et *économique*[Ali97][Kru95]. Une hypothèse est une explication si elle justifie les faits. Son statut reste celui d'une suggestion jusqu'à ce qu'elle soit vérifiée, ce qui explique le besoin pour un critère de test. Enfin, l'explication doit être économique pour répondre à un problème pratique au cas où nous avons des hypothèses explicatives dont le nombre est très grand à tester, ainsi que le besoin pour un critère de sélection pour choisir la meilleure parmi les hypothèses testables.

La forme logique que Peirce a donné au schéma explicatif est:

<p>Le fait surprenant C, est observé. Mais on sait que si A est vrai, C pourrait l'être aussi. Donc, il y a une bonne raison de suspecter que A est vrai</p>
--

Cette formulation a joué un rôle clé dans la tradition Peirceenne, et a constitué le point de départ d'études récentes sur le raisonnement abductif en Intelligence Artificielle. [KKT95][HSAM93][PG87].

1.4.2 La Philosophie de la Science

Le travail de Peirce se situe en réalité au carrefour de plusieurs disciplines dont la logique, l'épistémologie et la philosophie de la science. En particulier pour ce qui concerne la philosophie de la science, l'abduction est en relation directe avec les notions fondamentales des méthodes scientifiques modernes comme l'explication, l'induction, la découverte et l'heuristique.

En particulier, la Philosophie de la Science tente de définir le cadre le plus approprié pour l'étude de l'explication dans les sciences. Par exemple, doit-on considérer comme objet d'étude les produits de l'explication ou le processus dont ces produits sont le résultat.

L'explication comme produit

La tendance qui a dominé en philosophie a été de considérer l'abduction comme un produit plutôt que comme un processus, comme ceci fut aussi bien le cas pour d'autres notions épistémologiques. Aristote, Mill et dans notre siècle l'influent philosophe Carl Hempel ont tous basé leurs approches pour comprendre l'explication en proposant des critères qui permettent de caractériser ses produits. Ces approches classent généralement l'explication en explication argumentative et non argumentative [Rub90][Sal90][Nag79][Gru00].

Dans l'explication argumentative, on s'intéresse à modéliser des questions de type "pourquoi" dont les réponses sont des explications scientifiques sous forme d'arguments. Dans ces arguments, "l'explanandum" (le fait à expliquer) est dérivé (déductivement ou inductivement) de "l'explananda" (qui explique) supplée avec des lois (générales ou statistiques) appropriées et des conditions "initiales" [Ali97]. Par exemple, on peut expliquer une explosion par le fait qu'une allumette a été allumée étant donné les lois de la physique et les conditions initiales où l'effet de l'oxygène était présent, l'allumette n'était pas humide etc... .

l'approche de Hempel appelée, approche nomologique déductive, était considérée comme déductive bien que des restrictions supplémentaires étaient utilisées sur la relation explananda et explanandum qui la faisaient sortir de l'approche déductive classique, étant donnée que *ni la déduction ni l'induction* ne sont suffisantes comme approches pour l'explication.

Pour citer un exemple simple, toute formule est dérivable à partir d'elle même ($\varphi \vdash \varphi$) mais il est clair que l'explication d'une chose par elle même n'apporte aucune information [Ali97].

D'autres approches non déductives de l'explication existent dans la littérature parmi lesquelles certaines considèrent l'explication comme "*un assemblage de facteurs qui sont statistiquement appropriés ...*" [Sal77][Rub90]. Alors que d'autres comme [vFr80] considèrent simplement l'explication comme une "*réponse*".

Pour les premiers, la question est non pas jusqu'à quelle mesure l'explananda est probable étant donné l'explanandum mais plutôt est ce que les faits "abducés" apportent une différence à la probabilité de l'explanandum. De plus, cette relation n'a pas besoin d'être sous forme d'argument. Pour les seconds, représentatifs des approches pragmatiques de l'explication, l'explanandum est une question de type pourquoi contrastée. Donc plutôt que de demander "pourquoi Ψ ", on demande "pourquoi Ψ plutôt que γ ".

L'approche pragmatique semble être plus proche de l'abduction comme processus et en effet, concentrer son intérêt sur les questions revient à introduire une dynamique dans l'explication bien que cela ne nous dit toujours pas comment produire des explications[Ali97].

Il existe aussi des approches alternatives déductives.

A titre d'exemple les travaux de Rescher[Res78] introduisent une *direction de la pensée*. Ce qui est intéressant ici, c'est l'introduction d'une distinction temporelle entre "prédiction" et "retroduction"(le terme utilisé par Rescher pour l'abduction) en marquant la précédence de l'explanandum sur les hypothèses. Une autre tradition déductive célèbre est la logique de Popper pour la découverte scientifique [Pop58]. Sa méthode de conjectures et réfutations propose de tester les hypothèses en essayant de les réfuter:

"The actual procedure of science is to operate with conjectures: to jump to conclusions often after a single observation" [Pop63]

" thus science starts from problems, and not from observation; though observations may give rise to a problem, specially if they are unexpected; that is to say, if they clash with our expectations theory" [Pop63].

L'approche déductive de Popper se concentre sur la réfutation de ce qui est faux, plutôt que sur l'explication de vérités. Bien que la méthode de Popper se réclame être une logique de découverte scientifique, il considère la construction d'explications comme relevant exclusivement de la psychologie et par conséquent ne nous apporte pas plus d'indice quant à la production d'explications[Ali97].

Néanmoins, ce qui reste toujours commun à toutes ces approches, est que l'explication scientifique n'a pas lieu de façon isolée, mais toujours dans le contexte de quelque bagage de connaissances appelé "background theory".

L'explication comme processus

Les approches en philosophie de la science qui considèrent l'explication comme processus sont plutôt marginales[Ali97]. L'un des premiers auteurs à avoir mis l'accent sur l'explication comme un processus de découverte a été Hanson [Han61] qui reconnut un rôle central à l'abduction dans le processus de découverte scientifique. Un autre auteur Lakatos [Lak76], en réponse aux travaux de Popper, considère qu'il ne peut y avoir qu'une logique faillible de la découverte qui n'est ni logique, ni psychologie mais une discipline indépendante "*logique de l'heuristique*". Il accorde une attention particulière aux processus qui créent de nouveaux concepts en mathématiques faisant souvent référence à Polya [Pol45] comme le père fondateur des heuristiques dans la découverte mathématique. Polya oppose deux types d'arguments. Un syllogisme de démonstration dans lequel

à partir de $A \rightarrow B$ et B à faux, on conclut $\neg A$ et un syllogisme heuristique dans lequel, à partir de $A \rightarrow B$ et B vrai, on conclut que A est crédible. Le dernier schéma rappelle bien sûr la formulation Peirceenne de l'abduction.

Ce que ces exemples révèlent c'est qu'en sciences, l'explication comprend *l'invention de nouveaux concepts*. Malheureusement, cette constatation n'a pas conduit à une étude formelle extensive de la formation de concepts semblable à ce qu'on a connu pour la logique déductive [Ali97].

1.4.3 L'Intelligence Artificielle

Beaucoup de gens considèrent l'Intelligence Artificielle comme une philosophie de la science poursuivant d'autres objectifs [Tan92]. L'automatisation de la formation d'hypothèses et l'abduction ont été introduits en IA dans les années 70 [Pop73]. Mais ce n'est qu'assez récemment que l'abduction s'est vu regagner d'intérêt dans des domaines comme la programmation logique [KKT95], l'assimilation de connaissance [KM94] et le diagnostic [PG87] pour n'en citer que quelques uns.

L'abduction apparaît aussi dans le contexte des bases de données et des bases de connaissances et en général dans tous les domaines de l'informatique.

Dans le cadre de l'IA, la distinction produit/processus trouve son équivalent dans les approches basées sur la logique vs les approches calculatoires de l'abduction. Alors que les premières s'attachent à donner une sémantique à la logique de l'abduction habituellement définie comme "une déduction en arrière + certaines conditions", les dernières s'intéressent à trouver des algorithmes pour produire les abductions. L'abduction en IA se trouve être un domaine en pleine expansion.

Comme inférence logique, la tendance générale dans les approches basées sur la logique pour l'abduction en IA interprètent l'abduction comme *une déduction en arrière plus des conditions supplémentaires* (quelques approches IA seront présentées au chapitre 2).

1.4.4 Les Sciences Cognitives

En sciences cognitives, l'abduction constitue un ingrédient crucial dans des processus comme l'inférence, l'apprentissage et la découverte. Nous citons parmi les travaux importants dans ce domaine les travaux de Simons qui considère la découverte scientifique comme une activité de résolution de problèmes [SLB81]. Il distingue deux classes de méthodes: les méthodes faibles et les méthodes fortes.

Dans les méthodes faibles, la résolution de problèmes est caractérisée par sa généralité et ne demande pas une connaissance du domaine. Ces méthodes comprennent la généralisation, les tests et les heuristiques pour construire des explications et des solutions pour des problèmes donnés. Alors que les méthodes fortes nécessitent une connaissance profonde du domaine comme c'est le cas pour la résolution de problèmes en mathématiques par exemple.

1.4.5 La Linguistique

En linguistique, l'abduction a été proposée comme processus pour l'interprétation du langage naturel [HSAM93] stipulant que: nos 'observations ' sont les énoncés que nous entendons ou lisons. Plus précisément, interpréter un énoncé en langage naturel c'est fournir une explication de pourquoi l'énoncé serait vrai. L'abduction est aussi utilisée dans les théories sur l'acquisition du langage. Chomsky avait proposé que l'apprentissage d'une langue est un processus de construction de théories: un enfant "abduce" les règles de grammaire guidé par ses connaissances innées des universaux du langage[Chom72].

D'autre part, l'abduction est aussi utilisée dans la sémantique des questions en langage naturel. Les questions étant des entrées pour des procédures abductives qui génèrent les réponses.

1.4.6 Les Mathématiques

L'abduction en mathématiques est généralement identifiée à des notions comme la découverte et l'heuristique. Parmi les travaux les plus importants dans ce contexte figurent les travaux de Polya [Pol45][Pol54][Pol62] en théorie des nombres. Par exemple une propriété peut être "devinée" (et conduire à une loi) en observant une certaine relation comme dans :

$$3+7=10, 3+17=20, 13+17=30 .$$

Nous pouvons remarquer que les nombres 3, 7, 13, 17 sont tous des nombres premiers impairs et que la somme de n'importe quel deux d'entre eux est un nombre pair. C'est une observation initiale de la sorte qui a conduit à la fameuse conjecture de Golbatch et Euler: tout nombre pair supérieur à deux est la somme de deux premiers impairs[Ali97][Pol62].

D'après Polya, un mathématicien découvre de la même façon qu'un naturaliste en observant une collection de spécimens (nombres ou oiseaux) et devinant leurs relations. Néanmoins, la différence entre les deux est que pour le naturaliste, la vérification par l'observation est suffisante alors que le mathématicien doit apporter une preuve pour que sa découverte se voit acceptée. Ceci nous conduit à une caractéristique unique aux mathématiques: une fois qu'une preuve a pu être trouvée pour un

théorème celui-ci ne peut pas être annulé. Par conséquent, les vérités mathématiques sont éternelles. Ceci dit, l'abduction en mathématiques nécessite une connaissance profonde du domaine pour trouver 'les faits surprenants' qui peuvent mener à une découverte. De plus la relation entre les observations et les preuves n'a pas besoin d'être causale, mais c'est plutôt une certaine structure qui les relie les unes aux autres[Ali97].

1.5 Conclusion

L'abduction est un processus général d'explication utilisant un bagage de connaissances du monde et dont les produits sont des explications spécifiques avec une certaine structure inférentielle. L'abduction en tant que processus comprend deux étapes: la formation d'hypothèses et la sélection de la meilleure d'entre elles.

Les résultats d'une abduction peuvent être des faits, des règles et même de nouvelles théories. Enfin nous retiendrons avec Peirce la créativité de cette inférence qui est considérée par Peirce comme le seul type d'inférence pouvant introduire quelque chose de nouveau par rapport à notre connaissance.

Nous reviendrons plus loin sur ce point à l'occasion de la comparaison de l'abduction avec le qiyas de Sibawayh. Nous présentons dans le prochain chapitre les fondements de l'abduction Peirceenne ainsi que quelques approches IA pour l'abduction.

- 2.1 Introduction
 - 2.2 Les trois catégories
 - 2.3 La théorie du signe triadique
 - 2.4 Le processus d'investigation
 - 2.5 Le Schéma d'inférence logique
 - 2.6 Quelques Approches IA
 - 2.6.1 abduction comme outil de démonstration
 - 2.6.2 abduction comme outil d'exposition
 - 2.7 Conclusion
-

2.1 Introduction

Nous présentons dans ce chapitre les fondements de l'abduction Peircenne et sa conception du processus d'explication et d'investigation scientifique, ainsi que quelques approches pour l'abduction en Intelligence Artificielle.

Néanmoins, il ne s'agit pas pour nous de choisir une quelconque implémentation pour l'appliquer à l'analyse de la langue arabe. En effet, pour choisir une implémentation, il faut avoir au préalable établi que le processus d'abduction Peirceen est bien équivalent à l'approche de Sibawayh et en accepter alors les fondements comme des fondements pour cette dernière. Autrement, si on établit que le processus d'investigation Peirceen n'est pas équivalent à celui de Sibawayh, il faudra chercher d'autres fondements. Ce chapitre est par conséquent une synthèse de la pensée Peircenne.

2.2 Les trois catégories peirceennes

Comprendre les catégories de Peirce est crucial pour comprendre son œuvre car c'est dans la perspective constituée par ces catégories que Peirce construit son système entier .

Depuis Aristote, chaque système de catégories professe que ses catégories sont les catégories ultimes. De là, n'importe quelle pensée, expérience, objet de pensée ou d'expérience appartient à l'une ou l'autre des catégories de ce système.

Pierce a élaboré sa théorie des trois catégories durant toute son œuvre en commençant par son article : "on a new list of categories" [Pei68]. Voici la description des trois catégories universelles de sa phénoménologie:

La Primité : (*firstness*)

Pierce décrit la primité comme la modalité d'être pour quelque chose ce qu'elle est sans regard sur quelque chose d'autre. d'après Peirce: " *this mode of being can only be apprehended as a mode of feeling. For there is no other mode of being which we can conceive as having no relation to the possibility of any thing else* " [Pei58]

En particulier la primité est caractérisée par une absence de *détermination*. La primité renvoie à la modalité de potentialité ou de possibilité. D'autre part, quelque chose qui appartient à la primité ou qui est premier : "*must be without parts. For a part of an object is something other than the object itself: it may function as a sign of that object* " [Pei58][Kru95]. Lorsque Peirce traite de la primité du point de vue logique, il représente la primité par une monade : -S. un S a une propriété de propriété , disons par exemple "quelque chose est rouge"

La Secondité :(*secondness*)

La secondité est un mode d'être qui est tel relativement à un second mais sans aucune considération d'un troisième quel qu'il soit.

La secondité possède une nature brute. C'est une sorte de "réaction", elle peut être vue comme une occurrence actuelle. C'est la catégorie de l'effort indépendamment du but à atteindre, des manifestations d'existence en réaction à d'autres existants, de l'action de l'antécédent sur le conséquent, du fait accompli, de l'absolument déterminé (causalité), de l'expérience, de la comparaison et de la relation [Mor97].

Tout comme la primité est associée à la modalité de possibilité, Peirce associe aussi la secondité à une modalité qu'il appelle la modalité de l'actualité, l'actualité de quelque chose étant simplement entendue comme son occurrence "*actuality is the Act which determines the merely possible. It is the act of direct determination. The act of arbitrary determination.*" [Pei58][Kru95]

En d'autres mots, pour que quelque chose puisse "réagir" ou "déterminer", il faut qu'elle soit en relation avec quelque chose d'*autre*. c'est pour cela que lorsque Peirce explique la secondité en termes de logique, il utilise une dyade : S—T. (T réagit à S)

La tiercité: Thirdness

La dernière catégorie de la théorie peirceenne est sans doute la plus difficile à comprendre. Tout d'abord, il faut comprendre qu'il y a une médiation. La catégorie de la tiercité est celle de la médiation par laquelle la comparaison est possible, l'unification de la diversité dans le jugement du déterminé, c'est l'univers de la représentation [Mor97]. Dans quelques unes de ses notes Peirce définit la tiercité comme:

"The third is the medium between the first and the second, the beginning and the end... the first and the second are merely its limits. The first and the second are hard and solid ; that is why they're easy to understand. The third flows from one to another." [Pei58]

La tiercité exprime une certaine conformité entre le fait et la pensée[Mor97][Kru95].

Du fait que le troisième est associé à la médiation et à la conformité, la modalité qui lui est associée est la *tentialité* .

Pour représenter le troisième, Peirce utilise une relation triadique : $S \dashrightarrow T U$. entre d'autres mots, U modélise la façon dont T réagit à S.

Les catégories comme rudiments de la réalité

Peirce conçoit ses catégories comme des rudiments de la réalité. La grande question est jusqu'à quel point sa conception est vraie. Peirce défend le fait que ses catégories sont uniques et irréductibles dans le sens où lorsque la triade est décomposée en une concaténation de monade et de dyade quelque chose est perdu. Les trois arguments sont chronologiquement ordonnés [Mor97] . La relation triadique ne peut pas être réduite [Pei58].

Une caractéristique essentielle de ces catégories est qu'elles sont organisées en une *hiérarchie logique*. Un troisième implique toujours la présence d'un second, un second implique toujours un premier mais l'inverse est logiquement impossible [Mor97].

En effet, un existant ne peut déterminer qu'un autre existant ou un possible mais pas un nécessaire. On peut aussi en suggérer la lecture suivante: "le mouvement de la pensée va du caractère vague et indéterminé de la primité (une sorte de magma) au plus général et déterminable de la tiercité, un mouvement progressif d'établissement des formes dans l'indéterminé qui vise à réduire la multiplicité des possibles à une unité logiquement nécessaire" [Mor97]

2.3 La théorie du signe triadique

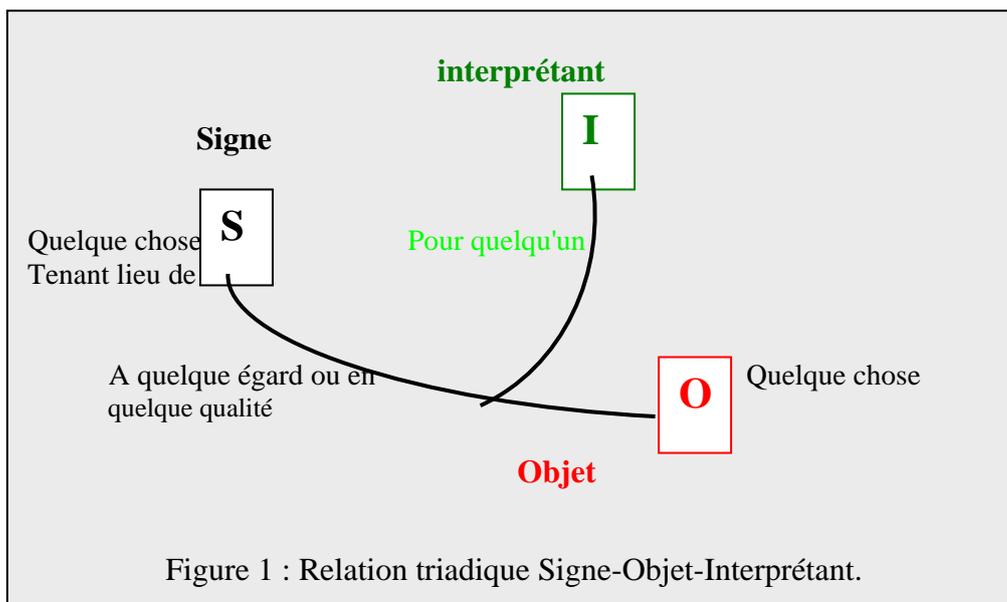
Sur la base du système de ses trois catégories, Peirce a établi une division trichotomique du signe selon qu'il est considéré en lui même (primité), considéré dans son rapport à son objet (secondité) ou de la façon dont il est représenté (tiercité).

C'est le grand mérite de Peirce que de considérer que toute pensée procède par signes[Mor97]. On peut dès lors en faire expérimentalement des objets d'observation et d'étude sans qu'il soit nécessaire d'en établir la provenance par une théorie d'ordre psychologique comme celle des états et modèles mentaux[Mor97][Per-].

Le signe Peirceen est représenté par une relation à trois pôles : le signe, l'objet et l'interprétant.

Un signe est quelque chose qui est mis pour quelque chose d'autre: un tenant lieu. L'objet est une identité externe, une actualité qui se présente et qui est identifiable. Enfin l'interprétant (troisième) est la cognition actuelle de la relation entre signe et objet qui sert à interpréter le signe (pour comprendre l'objet). Peirce considère les interprétants comme des signes d'ordre supérieur.

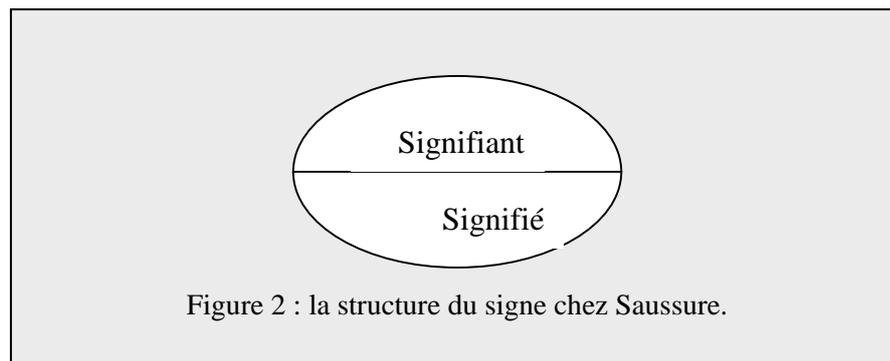
La relation entre le signe et l'objet est triadique en ce sens qu'elle est établie par l'intermédiaire de l'interprétant. Un signe est interprété comme signifiant l'objet.



" a Sign is an ensemble (i.e something, and it may be any category of being) which (...) has the property of producing upon a person in whom certain conditions are fulfilled effects that another thing or a collection of other things would produce, those conditions being the possession by that person of a practical understanding of the system of correspondance " [Pei58]

Pour comprendre l'importance du troisième/interprétant de Peirce, il est intéressant de comparer la connaissance mise en œuvre dans la vision du signe triadique à celle mise en œuvre dans la vision du signe dyadique ou binaire à savoir le signe Saussurien.

Tout comme Peirce, Ferdinand de Saussure [Sau90] a fondé une science générale des signes appelée *sémiologie*. Dans la vision Saussurienne de la structure du signe, le *signifiant* est directement relié dans une relation indivisible à un *signifié* . A partir de là, Saussure consacra la nature *dyadique* du signe utilisé par les linguistes structuralistes dans la construction de leurs formalismes et représentée usuellement comme suit :



Saussure considère qu'un signe est une union d'un signifiant matériel et de l'objet qu'il signifie. (figure2). En d'autres mots, le signifié est " essentiel au signifiant seulement en étant une *partie* de ce signifiant " . Peirce ne considère pas le signe (= signifiant) strictement correspondant à un objet. Certains signes fonctionnent comme tels parce que *relatés* à quelque chose d'autre, ce qui est différent de la conception Saussurienne qui elle, est fondée sur (l'ancienne) conception aristotélicienne de la substance et de l'attribut [Shap92].

D'autre part, alors que Saussure identifie le signifié à l'objet, Peirce met en relief l'importance de *l'interprétation*.

Un signe fonctionne comme *ce* signe particulier véhiculant *ce* sens particulier parce qu'il est *interprété* comme tel [Awb95]. Pour Peirce, toute chose peut fonctionner comme un signe et de là il insiste sur le *signe- process* ou *sémiosis* ou encore la pensée par les signes , processus par lequel

quelque chose actuellement arrive à fonctionner comme signe (acquiert le statut de signe) [Pei58] [Shap92]. Donc, c'est pour la raison de la particularité d'un signe que l'interprétation joue un rôle aussi important dans l'abduction Piercenne [Awb95].

2.4 Le processus d'investigation

Peirce conçoit le processus de recherche (quête) ou le processus de raisonnement comme un processus qui à partir de l'abduction, via la déduction jusqu'à l'induction est un effort pour établir une croyance vraie [Kru95][Pag96][Ali97]. Un tel processus est invoqué par la perception et une surprise engendrée par cette dernière. A partir de cette perception, nous commençons à raisonner abductivement vers une hypothèse explicative. Nous expliquons dans ce qui suit les différentes étapes du processus :

1. *L'abduction : proposition d'une hypothèse explicative*

Le processus d'investigation ou de raisonnement est invoqué par une *surprise* engendrée par la perception. Pour Peirce, la *surprise* correspond à la rupture d'une croyance. Une conception plus générale de la *surprise* peut être vue comme la perception d'une incomplétude ou d'une incorrection d'une croyance que nous entretenons [Pei58] [Kru95] [Ali97]. Ceci dit, après la perception de cette surprise qui est traduite donc sous forme de faits auxquels nous sommes confrontés, il s'agit d'en sortir (de la surprise) et cela en essayant de trouver une explication plutôt que de rester dans le doute. Cette recherche d'explication est vue par Peirce comme une construction de nouvelles croyances. L'inférence vers une telle explication est ce qu'on appelle *abduction* [Pei58] [Kru95][Ali97] . L'abduction nous fournit une hypothèse pour expliquer les faits, une conjecture sur les raisons possibles qui font que les choses sont ce qu'elles sont.

Plus particulièrement, l'abduction est " l'invention, la sélection et l'entretien d'une hypothèse " [Pei58].

Pour Peirce, l'abduction commence avec la génération d'une hypothèse. En percevant un phénomène, nous sommes conduits par une intuition intérieure « a flash of insight » [Pei58] ou « guessing instinct » à formuler une hypothèse qui pourrait être explicative.

Naturellement, il peut y avoir plusieurs hypothèses qui peuvent être essayées, mais bien sur, il est irrationnel de les essayer toutes, aussi s'agit-il de sélectionner une hypothèse qui parce que répondant à certain critère pourrait être jugée mener à des résultats utiles. Principalement ce sont les critères les suivants qui orientent la sélection d'une hypothèse [Pei58] [Kru95] [Ali97]:

- premièrement, l'hypothèse doit en effet *expliquer* le phénomène ;
- deuxièmement, l'hypothèse doit être *vérifiable* car autrement , il ne devient plus utile de poursuivre le processus de recherche ;
- troisièmement, l'hypothèse doit être favorable en terme d'économie de la recherche : nous ne disposons pas de ressources illimitées pour explorer chaque hypothèse [Pei58] [Kru95] [Ali97].

Peirce a proposé plusieurs méthodes pour déterminer la valeur intrinsèque d'une hypothèse. La *simplicité* est une des considérations importantes à prendre en compte c'est à dire que l'hypothèse qui paraît la plus "naturelle" ou qui est suggérée par "l'instinct" doit être considérée en premier.

Une autre considération est la notion de *vraisemblance* d'une hypothèse bien qu'ici Peirce suggère de faire attention en adoptant des mesures de vraisemblance, ces mesures étant pour la plupart subjectives. Une dernière considération est la *portée* d'une hypothèse. Essentiellement, une hypothèse qui peut expliquer le plus de faits doit être considérée comme la plus utile.

Il est intéressant de remarquer ici, que Peirce avec les considérations précédentes ne suggère pas que la meilleure hypothèse est "*la plus vraie*" , mais plutôt qu'elle doit être testée en premier.

Si on se réfère à la définition du signe Peirceen, la composition d'une hypothèse explicative peut être conçue comme un processus particulier d'interprétants se traduisant l'un en l'autre. En d'autres mots, une hypothèse *évolue*. Le pouvoir explicatif d'une hypothèse qui *évolue* ne consiste pas simplement à ajouter une pièce de connaissance au stock de connaissance déjà disponible. L'évolution d'une hypothèse est basée, guidée par l'interprétation de précédentes étapes [Pei58] [Kru95][Awb95].

2. La déduction : déterminer ce que l'hypothèse permet de prédire

Après avoir généré des hypothèses et en avoir sélectionné une pour plus d'investigation, nous procédons vers la deuxième étape du processus d'investigation : la déduction qui consiste à tirer les conséquences à partir de l'hypothèse choisie.

Que devons nous entendre ici par conséquence ? une conséquence est un fait ou un état de faits qui découle des hypothèses. Un état de fait est bien sûr le fait courant actuel, du moment que l'hypothèse est supposée explicative, il pourrait y avoir plusieurs états de faits qui découleraient de cette hypothèse, " des prédictions conditionnelles concernant notre expérience future "[Kru95] ;

Considérant que l'hypothèse est vraie, nous déduisons " de futurs phénomènes au sujet de certaines descriptions qui pourraient présenter tel et tel caractère " [Kru95]. Ce sont des prédictions que nous pourrions vérifier par induction.

3. *L'induction : vérification de l'hypothèse*

La troisième et dernière étape du processus d'investigation est l'induction qui consiste à tester les prédictions découlant de certaines hypothèses. En d'autres mots, un genre d'expérimentation est effectué qui va nous faire sortir avec notre estimation finale pour la valeur d'une hypothèse sélectionnée.

Une perspective intéressante dans la conception de Peirce est que l'induction *vérifie* mais ne constitue pas *l'origine* d'une idée. En effet, dans le processus d'investigation Peirceen, c'est l'abduction qui constitue l'origine d'une idée et non l'induction qui ne fait que vérifier une hypothèse dans le but de construire des généralisations. Cette idée a permis de fixer les problèmes soulevés par certains chercheurs en réaction à la conception de certains auteurs qui considèrent que l'induction permet de construire de nouvelles connaissances.

2.5 Le schéma d'inférence logique

La tendance générale dans les approches basées sur la logique pour la représentation du raisonnement abductif en IA consiste à interpréter l'abduction comme une déduction en arrière plus des conditions additionnelles.

Ceci est très proche de l'explication déductive nomologique dans l'approche de Hempel [Hem65].

Etant donné, une théorie θ (un ensemble de formules) et une formule φ (une formule atomique) .

α est une explication si :

1. $\theta \cup \alpha \models \varphi$
2. α est consistante avec θ
3. α est "minimale",
4. α possède une forme syntaxique restreinte (généralement une formule atomique ou une conjonction de formules atomiques).

Une autre condition qui n'est pas toujours explicite est $\theta \neq \varphi$ qui signifie que le fait à expliquer ne doit pas toujours découler uniquement de la background theory.

En résumé, l'abduction est un processus général d'explication dont les produits sont des explications spécifiques, avec une certaine structure inférentielle. Néanmoins, il est clair que ce n'est pas une inférence logique standard et ceci pour différentes raisons. Intuitivement, on peut déjà voir que l'abduction fonctionne dans un sens en *arrière* plutôt qu'en *avant* comme la déduction classique. De plus, étant sujette à la révision, l'abduction exhibe des caractéristiques non-classiques et non-monotones qui sont familières dans la littérature sur les formes non classiques de raisonnement en Intelligence Artificielle.

Du point de vue du processus, nous distinguons entre la construction d'explications possibles et la sélection de la meilleure d'entre elles.

La forme logique de l'abduction, peut être donc vue comme une relation triadique:

$$\theta, \alpha \Rightarrow \varphi$$

entre une observation φ , un item "abducé" α et une théorie d'arrière plan θ .

La direction en arrière qui caractérise cette forme d'inférence n'est pas pour apporter des réfutations mais plutôt des confirmations.

En effet, il s'agit ici, de trouver des prémisses appropriées qui pourraient supporter la conclusion. Nous présentons dans la suite de ce chapitre un état de l'art sur les approches pour l'abduction en IA. Nous renvoyons le lecteur intéressé par les formalismes logiques développés pour représenter la structure inférentielle de l'abduction à [Kru95] [Ali97] [Pag96][Jos94] [Cho94] [Kon90] [May98] [May96][Lev89][Tan95].

2.6 Approches pour l'Abduction en Intelligence Artificielle

En Intelligence Artificielle, l'abduction est définie comme "l'inférence vers la meilleure explication". Cependant, comme le note Josephson [Jos94], en abduction logico-symbolique, il existe deux perspectives selon le point de vue adopté pour considérer l'explication.

le point de vue le plus courant est de considérer l'abduction comme un outil de *démonstration*, pour fournir une preuve aux observations. Ici, une approche syntaxique est généralement adoptée pour rendre compte de la structure de l'explication et de l'explication. En particulier, une inférence abductive est perçue comme une construction d'une preuve pour l'observation, tandis que l'explication est l'ensemble des *assomptions* nécessaires pour la construction de la preuve. Ces

assomptions impliquent matériellement (\rightarrow) les observations, en d'autres mots, il y a une relation extensionnelle entre l'explication et l'observation. Une conséquence à ce point de vue, est que nous pouvons implémenter l'abduction en utilisant les mécanismes déductifs utilisés en démonstration de théorèmes. Ce point de vue est aussi appelé approche nomologique-déductive [ino93] [Kru95].

Le deuxième point de vue part d'une perspective sémantique de la structure de l'explication. Au lieu de fournir une preuve, une inférence abductive essaie de retrouver et de rassembler les concepts qui vont lui permettre de construire une hypothèse. Par conséquent, une explication couvre les observations si une relation *intentionnelle* est établie: les observations sont expliquées si la connaissance (disponible) correspond aux données à expliquer. Ce point de vue considère donc l'abduction comme un médium d'exposition [Kru95].

Nous présentons dans ce qui suit quelques approches correspondant aux deux points de vue :

2.6.1 Abduction comme démonstration

Les constituants d'une explication sont des assomptions, l'union de l'explication et de la théorie du domaine de l'agent implique les observations. Par conséquent, les algorithmes utilisés en démonstration de théorèmes sont aussi employés pour implémenter une telle approche de l'abduction. Il existe beaucoup d'approches en IA qui tombent sous ce point de vue, nous citerons les approches basées sur l'ensemble de couverture, les approches basées sur la notion de maintenance de vérité et les approches probabilistes.

1. Les approches basées sur l'ensemble de couverture

Les approches basées sur l'ensemble de couverture considèrent des ensembles explicites de faits et de causes avec une représentation de leurs interconnexions [Pag96]. L'idée de base est de construire un ensemble de causes dont les effets associées expliquent tous les faits attestés.

la théorie de la couverture parcimoniale

Peng et Regia [Pen90] ont développé une approche basée sur l'ensemble de couverture pour résoudre des problèmes de diagnostic en utilisant l'inférence abductive.

Un problème de diagnostic consiste à trouver une explication à l'existence d'un ensemble de manifestations (observations, symptômes, effets,...) en utilisant la connaissance disponible.

Peng et Regia considèrent la tâche de proposer des hypothèses pour former une explication comme une résolution de deux « buts conflictuels » [Pen90][Pag96]:

- (i) un but couvrant (covering goal) pour expliquer toutes les manifestations présentes ; et
- (ii) un but parsimonial (parsimony goal) pour minimiser la complexité de l'explication.

Il est évident que ces deux buts correspondent aux deux aspects de l'abduction cités précédemment à savoir la construction d'une explication et la sélection de la meilleure explication.

Un problème de diagnostic comprend deux éléments important : *les manifestations et les désordres* [Pag96]. Les manifestations réfèrent aux symptômes et effets qui sont observables (ex : l'engin ne veut pas démarrer, mohamed a une toux sévère) , les désordres réfèrent aux maladies, dysfonctionnements, ... et qui sont considérés comme causes des manifestations (ex : la batterie est morte, Mohamed a attrapé froid). Les manifestations sont liées aux désordres par des associations causales qui peuvent être illustrés par un réseau causal : (voir fig 3)

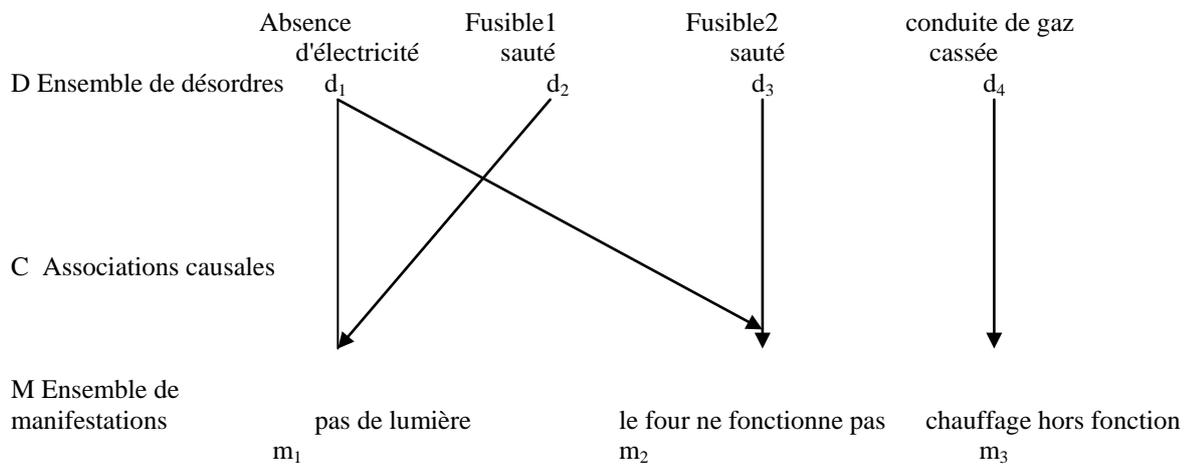


Fig 3. Exemple de réseau causal

Formellement, cette théorie est exprimée par la définition suivante :

Définition 1 [Pen90][Pag96]

Un problème de diagnostic P est un 4-tuple $\langle D, M, C, M^+ \rangle$ où :

- $D = \{ d_1, \dots, d_n \}$ est un ensemble d'objets fini, non vide appelés désordres
- $M = \{ m_1, \dots, m_k \}$ est un ensemble d'objets fini non vide, appelé manifestations
- $C \subseteq D \times M$ est une relation telle que $\text{domaine}(C) = D$ et $\text{rang}(C) = M$, appelée causation et ;
- $M^+ \subseteq M$ est un ensemble distingué de M qui est dit être présent.

Dans une implémentation basée sur cette définition, les ensembles D et M et la relation C correspondraient à la base de connaissances alors que l'ensemble M^+ correspondrait aux entrées du système. M^+ n'a pas besoin d'être totalement spécifié pour travailler avec mais peut être construit de façon incrémentale. En déterminant une explication, il est important de considérer les effets des désordres et les causes des manifestations. De là les deux ensembles suivants sont définis :

Définition 2 [Pen90] [Pag96]

Pour un quelconque $d_i \in D$ et $m_j \in M$ dans un problème de diagnostic $P = \langle D, M, C, M^+ \rangle$,

$\text{effets}(d_i) = \{ m_j : \langle d_i, m_j \rangle \in C \}$, l'ensemble des objets directement causés par d_i et ;

$\text{Causes}(m_j) = \{ d_i : \langle d_i, m_j \rangle \in C \}$, l'ensemble des objets qui peuvent directement causer m_j .

Il est aussi possible que plus d'un seul désordre soit présent. Par conséquent, la définition précédente est étendue pour prendre en compte les causes et les effets de groupes d'items.

Définition 3 [Pen90][Pag96]

Pour tout $D_I \subseteq D$ et $M_J \subseteq M$ dans un problème de diagnostic $P = \langle D, M, C, M^+ \rangle$,

$\text{Effets}(D_I) = \cup_{d_i \in D_I} \text{effets}(d_i)$ et

$\text{Causes}(M_J) = \cup_{m_j \in M_J} \text{causes}(m_j)$.

Exemple: en utilisant le réseau causal de la figure 3, nous avons les exemples suivants:

$\text{Effets}(d_2) = \{ m_1 \}$

$\text{Causes}(m_2) = \{ d_1, d_3 \}$

$\text{Effets}(\{ d_2, d_3 \}) = \{ m_1, m_2 \}$

$\text{Causes}(\{ m_1, m_2 \}) = \{ d_1, d_2, d_3 \}$.

Les désordres proposés en guise d'explications peuvent donc compter comme explications pour les manifestations observées. Pour cela, la notion de *couverture* est définie:

Définition4: [Pen90][Pag96]

L'ensemble $D_I \subseteq D$ est appelé couverture de $M_J \subseteq M$ si $M_J \subseteq \text{effets}(D_I)$.

En d'autres mots, un ensemble de désordres est une couverture pour un ensemble de manifestations si leurs effets directs incluent toutes ces manifestations. Ceci nous permet alors de définir ce qu'est une explication:

Définition5: [Pen90][Pag96]

Un ensemble $E \subseteq D$ est considéré être une explication de M^+ pour un problème $P = \langle D, M, C, M^+ \rangle$ ssi E couvre M^+ et E satisfait un critère de parcimonie donné.

De là, une explication consiste en un ensemble de désordres dont les effets directs sont capables de tenir compte de toutes les manifestations observées et aussi satisfaire quelque critère de sélection.

Des exemples de critères de parcimonie sont donnés dans la définition suivante pour différents types de couverture.

Définition 7: [Pen90][Pag96]

Une couverture D_I de M_J est dite minimum si sa cardinalité est la plus petite parmi toutes les couvertures de M_J .

Une couverture D_I de M_J est dite non redondante si aucun des ses sous ensembles n'est aussi une couverture de M_J ; elle est redondante autrement.

Une couverture D_I de M^+ est dite pertinente si elle est un sous ensemble de $\text{causes}(M^+)$; elle n'est pas pertinente autrement.

Parmi ces couvertures, les couvertures non redondantes sont souvent considérées comme les plus importantes. Bien que les couvertures minimales expliquent les manifestations observées en supposant la présence d'un nombre minimum de désordres, il existe beaucoup de cas où cette explication n'est pas la plus plausible. Par exemple, il peut sembler plus raisonnable d'expliquer un ensemble de symptômes en supposant la présence de certaines infections courantes, plutôt que de proposer une explication consistant en un nombre moindre d'infections non courantes. Les

explications pertinentes mais non redondantes ne sont pas toujours favorisées car elles contiennent plus d'hypothèses qu'il n'est nécessaire pour expliquer les manifestations présentes.

Exemple2:

En utilisant le réseau causal de la figure3 et en supposant que ni les lumières ni le four ne fonctionnent (i.e. $M^+ = \{m_1, m_2\}$), nous avons les exemples suivants de couverture:

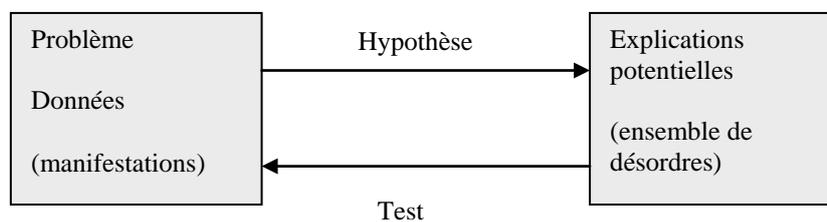
- $\{d_1\}$ *pertinente, minimale et non redondante*
- $\{d_2, d_3\}$ *pertinente et non redondante*
- $\{d_1, d_2, d_3\}$ *pertinente et redondante*
- $\{d_1, d_4\}$ *non pertinente.*

La solution au problème de diagnostic est alors n'importe quelle couverture satisfaisant au critère de parcimonie choisi.

Définition7: [Pen90][Pag96]

La solution à un problème de diagnostic $P = \langle D, M, C, M^+ \rangle$, désignée par $sol(P)$, est l'ensemble de toutes les explications de M^+ .

Une solution peut consister en plusieurs explications. Peng et Reggia ont aussi proposé une méthode probabiliste qui peut être utilisée pour réduire cet ensemble [Pen90].



Cycle hypothèse-test durant le processus de résolution de problèmes

2. l'abduction basée sur les systèmes de maintenance de vérité (ATMS)

Les ATMS ou systèmes de maintenance de vérité ont été développés initialement par Reiter et deKleer [Kle86][Rei87]. Avant de parler de l'abduction, nous commencerons par donner un aperçu du fonctionnement d'un ATMS dans le contexte de la résolution de problèmes.

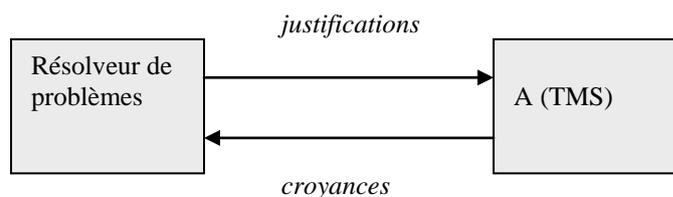
Les résolveurs de problèmes cherchent de vastes espaces selon différentes techniques dans le but de trouver une solution à un problème donné. Evidemment, la question méthodologique ici, est comment parcourir un tel espace de façon effective et efficace. La plupart du temps, on ne sait pas dans quelle mesure une alternative sous considération à un moment donné peut effectivement conduire à la solution [Dek86].

Partant de ce point de vue de la résolution de problèmes comme un processus de recherche dans un espace, nous nous trouvons en face à deux questions[Kru95]:

- comment un espace peut-il être efficacement exploré ou en d'autres mots, comment faire le meilleur usage de l'information déjà en notre possession?
- comment un résolveur de problèmes doit-il être conceptuellement organisé?[Kle86].

C'est à ces deux questions que les ATMS apportent des réponses.

L'architecture générale d'un système de raisonnement où fonctionne un ATMS est comme suit: dans le système de raisonnement, le résolveur de problèmes effectue des inférences et les communique au système de maintenance de vérité ou TMS qui enregistre ces inférences comme *justifications*. Un TMS fonctionne alors comme une cache de justifications. Parce qu'il garde trace de ce qui est actuellement justifié, il permet au résolveur de problèmes de faire des inférences non monotones. Enfin, en "maintenant la vérité", il assure que le système ne comporte pas de contradiction.



De cette façon, le processus de résolution de problèmes devient un processus d'accumulation de justifications et de changements de croyances jusqu'à la satisfaction d'un but [Kru95].

Le TMS détermine la croyance actuelle d'un agent *étant données les justifications rencontrées jusque là et non respectivement à la logique du résolveur de problèmes* [Kle86].

Dans le cas de l'abduction, lorsqu'un résolveur de problèmes soumet une *observation* à l'ATMS, ce dernier retourne un ou plusieurs contextes dans lesquels l'observation peut avoir lieu, donc *l'explication de l'observation*. Une explication représente l'ensemble parcimonial des données qui doivent être conjecturés de telle sorte que l'observation puisse être dérivable par le résolveur de problèmes étant donnée la "connaissance". Parcimonie doit être ici comprise comme *minimalité*.

Néanmoins, bien que l'ATMS semble une approche adéquate pour l'abduction, des problèmes de complexité informatique sont posés [Byl91][Tha94a]. L'ATMS doit être limité au calcul propositionnel et les justifications doivent être sous forme de clauses de Horn, les requêtes ainsi que les observations ne peuvent être sous la forme de littéraux singuliers [Kru95].

3. Approches probabilistes pour l'abduction

"the theory of probabilities is at a bottom nothing but common sense reduced to calculus" Pierre Simons de Laplace.

Partant du fait que de façon générale, nous ne tenons pas les choses exactement pour certaines aussi bien par rapport à la connaissance que nous avons du monde qu'à l'occurrence d'une chose spécifique, nous pouvons bien alors penser à utiliser les probabilités [Dub-]. Les probabilités vont alors représenter soit le degré de (in) certitude d'une connaissance que nous avons de quelque chose, soit la vraisemblance de quelque chose.

La première alternative transforme la conception traditionnelle déterministe de la causalité en une conception probabiliste, souvent représentée par un réseau bayésien de croyances [Pea88][Kru95]. La deuxième alternative fournit la base pour la conception que l'explication la plus vraisemblable est la meilleure explication et comme telle, justifie souvent l'utilisation de l'approche probabiliste pour l'abduction [Kru95]. La vraisemblance est alors interprétée d'une façon numérique et peut être liée à la notion d'explication la moins coûteuse [Kru95].

Les statistiques bayésiennes sont basées sur l'idée de probabilités conditionnelles. Une probabilité conditionnelle $P(A|B)$ est la probabilité de l'événement A étant donné l'occurrence de l'événement B; par exemple, la présence d'une infection étant donné des symptômes observés.

En d'autres mots, la meilleure explication pour les symptômes observés sera l'infection ayant la plus grande probabilité i.e. celle qui maximiserait $P(\text{infection}|sm_1, sm_2, \dots)$. Cependant, combien de symptômes prendre en compte?

Bayes a fourni une formule avec laquelle les probabilités conditionnelles sont calculables. Mais le problème avec cette formule est que les A doivent être exhaustives et exclusives. Par exemple si A représente un défaut dans un appareil mécanique, la formule de Bayes ne peut être utilisée que si nous avons une liste de tous les défauts qui peuvent avoir lieu dans l'appareil mécanique.

Comme dans la réalité, les A ne sont pas exhaustifs ni exclusifs, Charniak [Char83] a montré que le théorème de Bayes doit être transformé de façon à obtenir une formule plus maniable, les transformations dépendant du type de problème à traiter.

Les deux approches majeures en abduction probabiliste sont l'abduction basée sur le coût et l'abduction pondérée.

Dans la première approche, les explications dont le coût est minimal sont favorisées. L'avantage de cette approche est qu'elle possède une sémantique formelle probabiliste.

La seconde approche, comme son nom l'indique est basée sur la pondération. Elle ne possède pas la même assise de théorie probabiliste formelle que la première, ce qui peut être de ce point de vue être considéré comme un inconvénient [Kru95].

- ***Abduction basée sur le coût***

Cette approche a été proposée par Charniak et Simony [Char94], et tente de trouver une explication aux observations en construisant une preuve pour ces observations.

Pour construire une telle preuve, l'abduction basée sur le coût utilise un graphe représentant notre connaissance des événements, ce sont ces événements qui considérés comme vrais vont permettre la construction de la preuve.

Une importante caractéristique d'un événement est qu'il est toujours relié à un certain coût. L'objectif de l'abduction est alors de construire la preuve dont le coût est minimal. La recherche de l'explication consiste à essayer de trouver les bonnes assumptions qui vont conduire à un coût total minimal en d'autres mots à un parcours de graphe de coût minimal. Ce problème est appelé problème de la meilleure sélection (Best selection problem) [Char94].

- ***Abduction pondérée***

Cette approche a été utilisée pour la compréhension de textes en langage naturel par le système TACITUS [HSAM93]. Pour ces auteurs, l'interprétation d'un texte consiste en l'explication minimale de pourquoi le texte serait vrai " our abductive proof is simply the way interpretation is

always done "[HSAM93]. En d'autres mots, l'interprétation d'une phrase est pourquoi serait-elle vraie étant donnée la connaissance du locuteur et de l'allocataire.

2.6.2 Abduction comme outil d'exposition

Abduction à base de Cas

La plupart des approches tombant sous le cadre présenté précédemment sont neutres par rapport à l'expérience passée. En d'autres mots, elles sont indépendantes du contexte.

Cependant, au lieu de construire chaque explication de nouveau à chaque fois, on peut tenir compte de la manière dont des observations similaires ont déjà été expliquées par le passé tout aussi bien que de l'objectif de l'explication actuellement poursuivie : « *we need goals and experience to guide the construction and evaluation of explanations* » [Lea91][Lea92].

L'abduction à base de cas est une approche basée sur le raisonnement à base de cas et qui peut être brièvement décrite comme suit :

les explications sont construites en retrouvant et en adaptant les explications précédemment construites et enregistrées. On commence par retrouver les explications rencontrées pour des cas précédents et on évalue l'applicabilité et l'utilité de ces explications pour le cas présent.

Cette approche présente les avantages suivants :

- la candidature d'une explication est liée à l'expérience passée,
- la réutilisation augmente l'efficacité de l'explication [Kru95].

Bien évidemment, ces avantages dépendent de l'efficacité du processus de recherche d'explications pertinentes stockées dans la base de connaissances. La construction d'explications pour le cas courant étant basée sur des explications établies et enregistrées pour des cas similaires.

Les approches logiques

Les approches basées sur la logique tentent de capturer l'inférence abductive par l'utilisation d'un langage formel et d'une logique appropriée sur ce langage. De façon générale, quand nous parlons de raisonnement par abduction, nous avons une théorie du domaine (background theory) qui exprime une certaine conceptualisation de la situation ou du monde en question. Cette théorie prend la forme d'un ensemble de formules Γ .

D'autre part, nous avons un ensemble de nouveaux faits ou données appelés observations et désigné par un ensemble de formules Φ que nous voulons expliquer ou justifier.

L'abduction se propose de déterminer un ensemble d'hypothèses qui ensemble avec la théorie du domaine, va nous permettre de dériver les observations en utilisant la logique sous-jacente suscitée. Idéalement, les hypothèses devraient être consistantes avec la théorie du domaine.

Définition 1. Une abduction pour un ensemble de formules Φ relatif à une théorie du domaine Γ est un ensemble de formules Ψ tel que les deux conditions suivantes soient satisfaites :

$$(i) \quad \Gamma \cup \Psi \vdash \Phi ;$$

$$(ii) \quad \Gamma \cup \Psi \not\vdash \perp$$

Remarque 1 : dans la définition précédente, $\Gamma \vdash \Phi$ signifie que $\Gamma \vdash \phi$ pour chaque $\phi \in \Phi$; Φ est identifiée à la conjonction de ses éléments.

Remarque 2 : comme il est d'usage pour la déduction, le terme abduction est utilisé pour désigner soit l'inférence soit le résultat de l'inférence. Le terme « explication » est aussi souvent utilisé pour désigner le résultat de l'abduction.

- **Abduction et logique des défauts**

Le raisonnement par défaut constitue une des formes les plus importantes d'inférence non monotone étudiée en IA [Rei80][Poo89][Poo88]. Poole présente un cadre logique pour le raisonnement par défaut basé sur le système THEORIST et qui est en réalité de nature abductive [pag96].

L'idée principale de Poole est d'avoir un ensemble d'hypothèses, ensemble avec un ensemble de faits pour entraîner un but donné. Trois types de formules sont distinguées :

F ensemble de faits ;

Δ ensemble d'hypothèses possibles ; et,

g observation à expliquer.

L'ensemble des faits est constitué de formules représentant les choses que nous *croyons* vraies dans le monde et que nous ne sommes pas disposés à remettre en question. F correspond à l'état épistémique de l'agent. L'ensemble des hypothèses possibles est constitué de choses que nous

sommes prêts à accepter dans la construction d'une explication. Tout ensemble d'instances de base de ces formules est supposé consistant. En pensant à ces formules comme des hypothèses possibles ou des abductions, la nature abductive de ce formalisme devient apparente.

D'autre part, les penser comme des défauts nous conduit à un raisonnement par défaut. Nous avons besoin ici de définir un *scénario* ou le lien avec l'abduction serait mise en évidence.

Définition (scénario [Poo88][Pag96])

Un scénario de F, Δ est un ensemble $D \cup F$ où D est un ensemble d'instances de base d'éléments de Δ tel que $D \cup F$ est consistant.

Ceci va nous permettre d'introduire la notion d'explication.

Définition [Poo88][Pag96]

Si g est une formule fermée, alors une explication de g à partir de F, Δ est un scénario de F, Δ qui implique g .

Donc, une explication est un scénario qui implique l'observation de nouvelles informations. (notons que la seule différence entre une abduction et une explication est que nous ne demandons pas à une abduction d'inclure F).

Définition (*extension* [Poo88][Pag96])

Une extension de F, Δ est un ensemble de conséquences logiques d'un scénario maximal de F, Δ .

La notion d'extension est plus importante pour le raisonnement par défaut que pour l'abduction en général.

Exemple [Poo88]

Soit les faits et les défauts suivants :

$$\begin{aligned}
 F = \{ & \forall x \text{ emu}(x) \rightarrow \text{bird}(x), \\
 & \forall x \text{ emu}(x) \rightarrow \neg \text{flies}(x), \\
 & \text{emu}(\text{polly}), \\
 & \text{bird}(\text{tweety}) \\
 & \} \\
 \Delta = \{ & \text{bird}(x) \rightarrow \text{flies}(x) \}
 \end{aligned}$$

Dans cette instance, l'ensemble des défauts peut être interprétée comme : les oiseaux normalement volent. La formule $\text{flies}(\text{tweety})$ peut être expliquée par l'instance $\{\text{bird}(\text{tweety}) \rightarrow \text{flies}(\text{tweety})\}$. Cela étant, on s'attend à ce que tweety vole car c'est un oiseau. La formule $\text{flies}(\text{polly})$ n'est pas explicable car polly n'est pas consistant avec l'ensemble des faits.

Poole montre que ce cadre est compact (i.e. tout g qui peut être expliqué, peut l'être avec un scénario fini) et qu'il possède la propriété de monotonocité car toute chose qui peut être expliquée avec un ensemble de faits et un ensemble d'hypothèses peut aussi l'être en utilisant les mêmes faits et un super ensemble des hypothèses. Ceci ne survient généralement pas si l'ensemble des faits est changé. Une propriété plus importante est la suivante :

Théorème

α est explicable si et seulement si α appartient à une extension.

Poole étend son approche en introduisant une approche probabiliste basée sur les règles de Bayes pour déterminer la meilleure explication. Et comme bon nombre d'approches probabilistes, il adopte un certain nombre de suppositions pour réduire la complexité de calcul [Pag96].

- ***Abduction et négation par l'échec***

Une approche qui est essentiellement similaire à celle de THEORIST mais cette fois dans le contexte de la programmation logique est proposée par Eshghi et Kowalski [Esh89]. Ils commencent par définir un *cadre d'abduction*:

Définition1: [Esh89] (*cadre d'abduction*)

$\langle T, I, A \rangle$ est un cadre d'abduction ssi,

T est une théorie clausale de Horn (sans dénis)

I est un ensemble de contraintes d'intégrité,

A est un ensemble de symboles de prédicats appelés *prédicats abducibles*.

Définition2: [Esh89]

Etant donné le cadre d'abduction $\langle T, I, A \rangle$, l'ensemble des hypothèses Δ est une solution abductive pour la conjonction d'atomes existentiellement quantifiés Q si et seulement si

Δ est un ensemble de variables libres, atomes abducibles

$T \cup \Delta \models Q$

$T \cup \Delta$ satisfait I .

Les dénis sont utilisés comme contraintes d'intégrité pour rejeter les scénarios et non pour générer directement des explications ou abductions. Ce cadre d'abduction peut être utilisé en particulier pour donner une sémantique à la négation par l'échec en programmation logique [Llo87]. En particulier, les hypothèses abductives satisfaisant un certain nombre de contraintes d'intégrité sont identifiées à des littéraux négatifs. Le domaine de la programmation logique abductive est un domaine en pleine expansion et constitue l'un des axes les plus importants en Intelligence Artificielle [Pag96].

2.7 Conclusion

L'œuvre de C.S. Peirce a considérablement influencé la philosophie de la science contemporaine et a ouvert de nouvelles voies de réflexion qui ont contribué à l'essor de la recherche dans les domaines où intervient le raisonnement et l'explication scientifique.

Concernant, les approches qui existent en Intelligence Artificielle, il n'existe pas encore de cadre unifié qui supporterait les différentes approches proposées dans la littérature.

D'autre part, par rapport au cadre qui sert de fondements à ces dernières i.e. l'abduction Peirceenne, l'abduction en IA repose strictement sur la *connaissance disponible* et ne fait pas d'interprétation au sens Peirceen. En fait l'abduction en IA ne peut encore apporter qu'une forme très limitée d'ouverture [Kru95]. En d'autres mots l'Intelligence Artificielle ne peut pas encore rendre compte de la perception, en utilisant le raisonnement par analogie, on peut seulement réarranger des connaissances déjà établies. Donc, la construction d'hypothèses au sens Peirceen est encore impossible en IA [Kru95].

- 3.1 Introduction
 - 3.2 Fondements épistémologiques et philosophiques
 - 3.2.1 L'absence de voyelles
 - 3.2.2 L'absence de copule
 - 3.2.3 Les mots arabes ne sont pas fixés par l'usage
 - 3.3 La grammaire de Sibawayh
 - 3.3.1 Les concepts de "'asl, far', bab"
 - 3.3.2 La théorie du "mawdi' "
 - Le qiyas
 - Discussion
 - 3.3.5 Le modèle syntaxique
 - 3.4 Conclusion
-

3.1. Introduction

La linguistique contemporaine est essentiellement centrée sur l'analyse syntaxique et plus récemment, des théories linguistiques tentent de proposer des formalismes qui rendent compte de l'interface syntaxe/sémantique .

La syntaxe d'une langue peut être décrite à l'aide d'une grammaire qui modélise la compétence d'un utilisateur de cette langue. Les grammaires peuvent atteindre différents degrés d'adéquation dont le plus haut est l'adéquation explicative où la grammaire prédit les structures correctes du langage tout en étant basée sur un ensemble restreint de principes généraux, simples et universels, psychologiquement plausibles et qui puissent être appris rapidement par un enfant [Chom82].

Les théories qui optent pour ce type de grammaire cherchent à réduire les grammaires de langages particuliers à quelques paramètres, le reste étant un ensemble de principes universels. Dans les divers courants de la linguistique contemporaine, les grammaires se sont transformées comme c'est le cas par exemple pour la théorie chomskyenne en évoluant vers l'adéquation explicative [Chom69][Chom82][Chom86][Ruw80].

Or, l'analyse syntaxique des anciens arabes et plus précisément la grammaire de Sibawayh qui constitue l'objet de cette étude a été dès le départ explicative.

En effet, en arabe le mot « Nahw » dérive de « intiha » qui signifie , suivre l'exemple, prendre le chemin, aligner son comportement sur ..., d'où l'acte verbal est l'accommodation par rejet et/ou adaptation de « mital-s » ou schèmes antérieurs et assimilation (par construction et composition de nouveaux mital-s). Toute analyse doit être expliquée par rapport à un schème appelé aussi qiyas[Haj79].

Le présent chapitre comprend deux parties : la première présente une analyse des fondements épistémologiques et philosophiques du système de la langue arabe que nous considérons comme un passage obligatoire si nous voulons vraiment arriver à une caractérisation qui reflète le système authentique de la langue et reflétant son propre système de pensée et non l'application d'un formalisme issu d'un autre système de pensée. La deuxième partie est une description de la grammaire de Sibawayh concepts de base et méthode d'analyse.

3.2 Fondements épistémologiques et philosophiques

Nous allons discuter dans cette partie les caractéristiques fondamentales et originales de la langue arabe que nous avons jugées utiles pour la compréhension de nos futurs développements et qui sont principalement:

- l'absence de voyelles,
- les mots arabes ne sont pas fixés par l'usage mais sont constitués d'après des procédés de dérivation .
- la langue arabe ne comporte pas de copule.

3.2.1 L'absence de voyelles

Il n'y a pas de voyelles dans la langue arabe. L'arabe use de ce que les grammairiens appellent "*harakah*" [Sib80] [Gin80] et qui signifie "mouvement", ce mot a été traduit par voyelle ce qui est faux. En arabe, les voyelles n'existent pas et les mouvements sont foncièrement différents des voyelles. Prononcer les mouvements en voyelles revient à articuler le mot en syllabes et oter ainsi à la langue son esprit propre [cel80].

D'ailleurs, nous remarquons que ce qu'on appelle "voyelles" ne sont pas représentées en arabe sauf par des signes placés au dessus et au dessous des lettres et réservés aux enfants qui apprennent à épeler et qu'un livre pour l'usage des adultes ne comporte aucune voyelle. Cela se comprend d'ailleurs dès qu'on considère que le mouvement ne fait pas partie intégrante du mot: on peut mouvoir le mot de plusieurs manières radicalement différentes, en le conjuguant ou en le déclinant, sans en changer la signification. c'est ainsi qu'on dira:

"daraba" (il frappa),

"duriba" (il a été frappé),

"duribu" (ils ont été frappés),

"yadribu" (il frappe),

"darb" (action de frapper),

On a conservé le sens et changé tous les mouvements; pas un n'est donc fixé au mot. Dire d'ailleurs qu'on a changé le mouvement n'est pas exact, en réalité, on a mu le mot de façon différente.

Seules les consonnes sont significatives d'un sens donné et ces consonnes ne peuvent être prononcées seules. Selon qu'on les prononce dans un rapport grammatical ou dans un autre, il faut les mouvoir d'une façon différente.

Les grammairiens arabes opposent aux "harakat" (pluriel de "harakah") le "sukun" qui signifie littéralement "l'arrêt". Naturellement, un mot ne peut jamais commencer par une consonne affectée de l'arrêt. Pour désigner ces mouvements, on se sert d'ordinaire d'une consonne dont l'équivalent n'existe pas dans les langues occidentales mais qui est considérée comme consonne tant par les orientalistes¹ que par les grammairiens arabes et qui s'appelle le "hamz": c'est une consonne qui n'est ni dentale, ni labiale, ni palatale mais qui est obtenue grâce à une occlusion par le pharynx, occlusion qui peut être mue et modulée par les mouvements. Ainsi, ni les mouvements peuvent être prononcés sans consonnes ni les consonnes articulées sans mouvements.

D'autre part, la syllabe occidentale peut être définie: 'b', 'a', 'ba' apprend on aux enfants, l'esprit peut donc penser la syllabe qui est la synthèse de deux entités indépendantes en dehors de toute actualisation sensible, la voyelle est bien indépendante (elle fait partie de l'alphabet au même titre que les consonnes, ce qui n'est pas le cas des mouvements, l'alphabet arabe comprend vingt huit consonnes).

Avec la notion de syllabe, la consonne sera définie comme étant la syllabe moins la voyelle et on basera la définition de la syllabe sur la consonne et celle de la consonne sur la syllabe. Donc, dans les langues occidentales, il y a indépendance de la syllabe et donc du vocable (constitué de syllabes) par rapport à son actualisation: si on considère l'idée d'un mot (constitué de syllabes Consonne+Voyelle), on ne lui trouve plus d'appui dans l'intuition sensible et ce qu'on aperçoit à travers lui, c'est l'objet qu'il désigne: c'est ce qu'on nomme un signe [cel80].

¹ Les orientalistes sont des penseurs et des chercheurs occidentaux qui se sont intéressés à l'étude de la pensée et de la culture arabes et musulmanes.

Ce n'est pas la même chose en arabe. Il n'y a pas de voyelles indépendantes, les mouvements ne peuvent être dissociés des consonnes qu'ils meuvent, ni dans la réalité, ni dans la pensée. La consonne mue qui correspond en arabe à la syllabe occidentale ne peut être définie, elle n'est à aucun titre un objet de l'esprit, elle peut seulement être actualisée.

La lettre mue précède son idée et d'ailleurs son idée n'est qu'une sorte de trace sonore, sa réalité réside véritablement dans son actualisation[cel80]. Aux tout petits enfants, on n'apprend pas le 'b' et le 'a' ensuite leur synthèse "ba", on leur apprend d'emblée, le jeu (ba) (bu) (bi), la lettre "b" ne peut être enseignée, on produit immédiatement ses trois actualisations principales. Le vocable arabe n'est pas un signe[cel80].

Voici un tableau des caractères distinctifs du vocable réalisé par la voyelle, et du vocable réalisé par le mouvement [cel80]:

Vocable réalisé par la voyelle

1. par la voyelle, l'objet sonore est séparé de l'acte qui le produit .
2. par la voyelle, le vocable devient un signe transparent qui désigne un objet extérieur.
3. par la voyelle, le signe paraît avoir une existence idéelle (une représentation mentale) qui sert de schéma et de modèle directeur à ses différentes reproductions.

Vocable réalisé par le mouvement

1. par le mouvement, le son et l'acte sont les deux faces indissociables d'une même réalité.
2. le vocable mu se suffit à lui-même, il ne renvoie pas au monde, il le double d'une réalité signifiante qui lui correspond.
3. le vocable mu n'a pas d'existence idéelle, il est fixé non sous la forme d'un acte mais d'une puissance qui au lieu d'impliquer la conscience la précède.

Pour conclure, nous pouvons dire que c'est ***une inversion du rapport du langage à la conscience qui s'opère par la substitution du vocable animé au signe voyellé.*** [cel80]

L'immanence du sens

Puisqu'il n'y a pas de voyelles dans le corps fixe du mot arabe, c'est que les consonnes seules portent le sens. Mais comme d'autre part, tous les mots sont dérivés selon des règles de racines de trois consonnes (parfois mais rarement de quatre consonnes et certains grammairiens pensent que les racines quadrilitères ont été formées par ajout d'une consonne à une racine trilitère originelle), il résulte que l'ensemble des sens que la langue comporte ou qu'elle peut inventer est nécessairement véhiculé par les arrangements trois à trois des vingt huit consonnes de l'alphabet arabe, soit un total de

$$A^3_{28} = 19656.$$

Ainsi, le mot arabe renvoie à une racine et celle ci renvoie à l'un des dix-neuf mille six cent cinquante six arrangements qui forment le corps de la langue.

Mais ces arrangements ne sont pas simplement juxtaposés les uns à côté des autres. Ils communiquent tous entre eux: les arrangements de la combinatoire sont tous en communication entre eux par un système d'anastomoses: ceux qui n'ont pas deux lettres communes en ont une et pour ceux qui n'en ont aucune, il est toujours aisé de trouver un troisième arrangement qui a des lettres communes avec l'un et l'autre pour les faire communiquer.

Les mots qui ont des lettres communes ou les permutations d'une combinaison ont une parenté ou un lien dans le sens. Ce que nous voulons dire c'est qu'un arrangement ne peut se présenter à l'esprit sans que les 19655 autres soient d'une certaine manière présents et que le sens n'est pas lié à un mot isolé mais que les sens circulent par l'intermédiaire d'anastomoses à travers toute la combinatoire [cel80].

considérer le mot comme *lié à un ensemble et ayant sa place dans une totalité ordonnée* de sorte que lorsqu'il se présente, il porte nécessairement en toile de fond à partir de laquelle, il se détache comme élément du discours, *la combinatoire toute entière qui lui donne sa valeur*, est une idée très importante comme nous le verrons par la suite.

Voici un exemple pour illustrer ce que nous disions de la circulation du sens par les anastomoses dans la langue arabe: voici une série de vocables qui ont pour lettre initiale un "gh", le gh est lié à une valeur qui signifie l'épaisseur, la richesse, la profusion, l'enveloppement, le reflux sur soi-même et l'absence de rayonnement dans l'inconnu, avec ce que cet enveloppement en soi a de voluptueux et d'inquiétant[cel80][Gin80] :

"ghabw" (brouillard), "ghabawah" (bêtise), "ghadir"(étang), "ghadiqa" (couler en abondance), "ghabara" (s'ensevelir dans la poussière), "gharasa" (planter), "ghaniya" (s'enrichir), "gharaqa" (se

noyer), "gharama" (se passionner), "ghachia" (couvrir), "ghafa" (s'endormir), "ghaliza" (s'épaissir), "ghamma" (submerger),...

le "gh" est une anastomose entre tous les mots de la série qui vient d'être donnée et les sens de tous ces mots communiquent par elle. Mais la parenté est encore plus serrée quand l'anastomose se fait par deux valeurs, ainsi "ghafala" (se laisser distraire de son occupation) est en anastomose double avec "ghafa" (s'endormir), elle est d'autre part en anastomose double avec "falata" qui signifie s'échapper (notamment échapper à l'attention), un objet qui échappe des mains, un lapsus du langage), "falata" est à son tour une autre permutation de "lafata" qui signifie détourner le regard, se détourner; une autre permutation "talafa" signifie s'embrouiller, perdre la piste, "ghalafa" (enveloppé par le brouillard), nous remarquerons la double anastomose avec "talafa" et en même temps qu'il s'agit d'une permutation de "ghalafa".

Ainsi contrairement au mot occidental, le mot arabe ne désigne pas du tout la chose, il est une sorte de substitut qui retient de la chose comme un reflet qui permet de la rendre distincte dans l'ensemble des reflets des choses [cel80]. Mais cela n'introduit pas l'objectivité car il faut être attentif à ce que l'ensemble n'est pas ici une totalité matérielle: une combinatoire peut être désignée par un symbole mathématique C_p^n , Par exemple. Elle peut être totalement développée, mais en réalité c'est une opération qui renvoie au pouvoir d'un être qui distribue les éléments selon certaines règles.

Les combinaisons n'existent pas dans la combinatoire, elles sont en puissance dans le pouvoir de celui qui combine; on peut dire en déplaçant un peu les concepts qu'Aristote a rendu usuels, que les vocables arabes sont en puissance avant d'être en acte.

Le mot est l'une des possibilités d'une puissance globale de celui qui parle et c'est seulement au sein de cette puissance qu'il trouve l'ensemble qui lui permet de signifier.

Voici un tableau des différences entre le signifiant arabe et le signifiant occidental:

Signifiant occidental

1. les mots occidentaux sont indépendants les uns des autres;
2. les mots occidentaux signifient par leur contenu, par le divers qui est en eux,

Signifiant arabe

1. tous les mots arabes dérivent de racines qui sont *intégrées dans une combinatoire*,
2. les mots arabes valent par leur contenant, par l'ensemble qui les comprend,

3.2.2 L'absence de copule

Nous avons vu l'absence de voyelles et l'existence d'une combinatoire dans laquelle les mots sont intégrés, nous allons maintenant aborder la notion de l'être en arabe.

Le verbe "kana" est la meilleure approximation pour traduire le verbe être, mais cela ne signifie pas qu'il en est l'équivalent; des phrases comme "je pense donc je suis", "to be or not to be" ne sont pas traduisibles en arabe, si on force malgré tout le langage, on aboutirait à des traductions telles que "je pense donc j'ai une nature", suis-je ou non possible?"

Si le verbe être avait désigné une réalité extérieure ou une catégorie universelle, il aurait été facile de trouver une correspondance ou à la rigueur convenir d'un mot nouveau qui puisse désigner la réalité en question, il n'y aurait pas eu cette impossibilité de traduire.

La correspondance vague établie entre "kana" et le verbe "être" n'est pas due à l'existence d'un commun dénominateur extérieur que les deux vocables désigneraient mais à une simple coïncidence: il se trouve que l'acte accompli échappe à la durée depuis son accomplissement autant que l'intemporel[cel80].

Dans la langue arabe, la qualité est exprimée par une forme verbale active (que sibawayhi trouve identique à celle du présent). Ce qu'il y a de surprenant dans "kana" c'est qu'il traduit le verbe être chaque fois qu'il a la forme du passé, mais dès qu'on le met sous la forme du présent, il exprime la *possibilité*.

La proposition attributive du genre (l'eau est froide) est exprimée sans copule en arabe. L'adjectif en arabe est toujours une forme verbale.

Le substantif n'est jamais qualifié que par ses propres actes qui le modifient, ainsi, l'arabe ne connaît qu'une manière de lier le substantif et l'adjectif et c'est *l'acte*. Non pas l'acte liant d'un sujet connaissant mais l'acte du sujet de la proposition qui est qualifié par ce qu'il fait, il faut même préciser que l'acte d'une substance peut s'entendre de deux manières: ce peut être l'acte tel qu'on le trouve dans les propositions verbales occidentales, il est alors accompli par le substantif mais il reste extérieur à lui et ne le modifie pas dans son être.

Mais ce peut aussi être l'acte par lequel le substantif s'accomplit en tant que tel ou du moins une modalité de cet acte.

Les adjectifs arabes qui d'après Sibawayh , peuvent être dans la majorité des cas remplacés par des verbes à l'inaccompli, sont en réalité des modalités d'un acte constitutif de la substance. Un tel adjectif introduit dans le discours une temporalité dont l'occident n'a pas d'équivalent et qui traduit la durée propre de la substance. Non pas la durée où on trouve la substance et où l'observateur la décrit, mais c'est la durée où elle se développe elle-même, où ses virtualités s'actualisent pour apparaître à l'observateur.

Bien des racines trilières arabes ne peuvent se conjuguer quoiqu'elles existent et soient mentionnées par les dictionnaires, c'est qu'on ne trouve pas de substantif pour leur servir de sujet: étant une modalité de l'actualisation du substantif et sa condition, elles ne peuvent en avoir un pour sujet. C'est de tels verbes qu'on extrait la plupart des adjectifs, qui dans leur forme propre ne cessent pas d'avoir un sens d'action.

Si on veut conjuguer ces verbes en leur donnant un substantif pour sujet, il faut alors leur donner une forme dérivée, aussi "hamara" ,"zaraqqa", "khadara" sont les racines dont on extrait les racines "azraq", "ahmaru", "akhdaru" qui signifient le rouge, le bleu et le vert. Mais il est impossible de les conjuguer sous leur forme simple de racine: ils renvoient à une activité prépersonnelle à laquelle, on ne saurait assigner un sujet précis. Pour les conjuguer, il faut leur donner les formes "ihmarra", "izraqqa", "ikhdarra", qui se traduisent bien elles par rougir, bleuir, verdier.

Ainsi, l'arabe ne conçoit l'apparition d'une qualité qu'à la condition que la substance développe une durée propre; autrement dit il n'y a des changements au niveau des qualités que si le substrat des qualités lui même change.

Cette *logique interne du changement est inhérente à la langue arabe*, l'arabe ne peut s'y soustraire: c'est dans la durée propre et le développement du substantif qu'il voit le lien qui le lie à ses attributs. Mais cela pose une difficulté insurmontable du point de vue du rapport de cette durée propre de la substance et de la durée de la conscience de celui qui parle et qui la décrit.

En effet, le changement n'est perceptible par la conscience qu'à la condition que celle-ci fixe un repère, qu'elle se donne un objet stable qui lui permette de saisir la durée, de se la donner , de l'avoir au lieu de s'y écouler.

Il y a incompatibilité entre la durée propre de l'objet et le temps de la conscience de celui qui l'observe et qui la décrit.

Il faut sacrifier l'une ou l'autre, l'arabe choisit de sacrifier le second[cel80]: c'est le temps de la conscience qui est factice et qui ne doit son existence qu'à l'artifice de la parole, par laquelle, seule, il se développe.

Il en résulte alors que le temps de l'attribution arabe n'a plus rien à voir avec celui où s'opère l'attribution en occident. Il n'est ni passé, ni présent, ni futur. La meilleure façon de l'exprimer c'est de dire qu'il est actuel; l'arabe exprime le rapport de la substance et de l'attribut à l'actuel, en ce sens que l'acte n'est plus quand il ne se développe plus et qu'on ne peut exprimer qu'il se développe sans dire que d'une certaine manière, il se développe au présent.

Or, si l'actuel est la seule façon que l'arabe trouve valable pour exprimer le rapport de la substance et de l'attribut, il se pose un difficile problème dès qu'il s'agit de dire que cette relation qui n'existe qu'actuelle n'est plus, que seule la mémoire se la représente encore.

Il faut donc à la fois employer l'actuel puisqu'il est la seule manière de lier substance et attribut, mais en même temps, introduire un correctif pour replacer cet "actuel" dans le temps de la conscience pour laquelle, seule, la relation passée existe encore.

C'est ici qu'intervient "kana", son emploi a pour fonction d'introduire une nouvelle temporalité, celle de la conscience[cel80]: le passé a rendu inévitable la juxtaposition dans une même proposition de deux temporalités: celle où la substance développe son attribut et celle où la conscience de celui qui parle observe.

Mais l'introduction du temps de la conscience quand il s'agit d'exprimer le passé estompe l'actuel devenu inactuel de la proposition attributive et le fait passer au second plan: on voit par là le rapport de "kana" et du verbe être. "kana" est possible dans la langue arabe parce que la conscience grâce au langage, acquiert la possibilité d'évoquer le passé et de le faire revivre.

C'est aux artifices du langage que la conscience doit son existence et sa durée, et c'est parce qu'elle a la durée que lui donne l'utilisation du langage, qu'elle peut figer le devenir des objets, l'oblitérer, en quelque sorte par son devenir propre[cel80].

Mais il s'agit toujours d'une sorte d'hypothèse de travail assez semblable à celles que font les astronomes quand ils fixent arbitrairement un repère pour étudier les mouvements du ciel.

On introduit le temps de la conscience par "kana" mais le rapport de la substance et de l'attribut n'a pas cessé d'être actuelle. Simplement, son actualité ne se fait plus sentir, on fige son développement pour les besoins de l'expression du passé et parce que les deux temporalités sont incompatibles.

Un autre fait qui peut paraître étrange est que le même verbe qui exprime l'être au passé exprime la pure possibilité si on le met au présent sans qu'on puisse y déceler cette fois rien qui évoque l'être. "kana" est fait pour exprimer le passé; les grammairiens arabes sont unanimes pour l'appeler "verbe passé défectueux" [Sib80][Gin80][cel80]. Si on met "kana" à la forme du présent, il donne "yakunu"

qui exprime exclusivement la possibilité, si on le met sous la forme (la yakunu illa) (n'est que) il exprime alors la nécessité.

Dans les langues occidentales l'être est le point de vue fondamental à partir de quoi on perçoit les mouvements de la réalité. Ce n'est plus un sens qui apparaît à un détour de la langue, c'est au contraire l'invariant auquel toutes les significations sont rattachées[Mon80].

Il est facile de comprendre dans ces conditions l'absence du verbe avoir dans la langue arabe, car au fond l'avoir n'est lui même qu'un autre aspect de l'artifice qui a introduit l'être dans le langage. (il faut naturellement distinguer posséder et avoir: seul le premier sens existe dans l'arabe).

Voici, maintenant un tableau distinctif des caractéristiques du verbe être et de "kana":

"kana"

1. ne signifie l'être qu'au passé,
2. ne peut exprimer l'essence d'un genre: l'arabe exprime les propriétés du genre par le pluriel en désignant tous les constituants,
3. n'est jamais copule: au passé, il est immédiatement traduit par la copule des langues occidentales (ce qui a trompé les orientalistes), mais il n'en fait pas fonction,
4. est un sens inintentionnel, apparu dans le discours par la confrontation de deux temporalités incompatibles,
5. est un attribut de la relation qui lie le substantif et l'adjectif.

"être"

1. indique la présence dans l'espace, c'est en disant que l'objet est "ici" sous les yeux qu'on dit qu'il est maintenant.
2. va au delà des objets concrets puisqu'il permet d'exprimer l'essence générique d'une multitude d'objets,
3. dégage le sujet qui tient le discours du rapport immédiat à la qualité et le substantif sujet de la proposition, de l'écoulement de la durée, en jouant le rôle de copule,
4. est une importante charnière du discours, il est la manière selon laquelle sont établis les rapports entre substantifs et attributs,
5. est le sujet dont tout le reste est attribut et qui n'est lui même attribut de rien [cel80].

3.2.3 Les mots arabes ne sont pas fixés par l'usage

Ils sont constitués d'après des procédés de dérivation. Si on considère un mot arabe quelconque, on voit immédiatement qu'il a une forme précise qu'on retrouve dans d'autres mots désignant des réalités remplissant des fonctions équivalentes dans une action. Soit par exemple le mot "miftah" qui signifie (clé) et qu'on peut écrire de la façon suivante:

m (I)ft(a)h qui nous permettra de mettre sa forme en évidence, on peut immédiatement citer les mots:

m(i)sb(a)h (lanterne),
 m(i)sm(a)r (clou),
 m(i)ql(a)t (poelle),
 m(i)chw(a)t (gril),
 m(i)'z(a)n (balance).

Ces mots désignent des objets utilisés comme outils pour réaliser diverses actions: tous commencent par "m" et comportent les mêmes mouvements, ainsi pour former le nom de l'instrument à l'aide duquel on effectue une action donnée, il faut s'appuyant sur un "m" additif, mouvoir le mot par le "i" et le "a" intercalés entre les consonnes de la racine qui signifie l'action dans laquelle l'objet désigné intervient comme instrument.

Ce n'est pas le seul "rythme" qui permette d'obtenir le nom de l'instrument. Il arrive souvent que des "rythmes" différents mais généralement voisins servent à constituer des mots désignant une même fonction par exemple: "m(i)tr(a)qah (marteau).

L'important c'est que le mot n'est pas uniquement reconnaissable à sa sonorité, mais il l'est également à son "rythme"; il ne désigne pas seulement un objet, mais il désigne aussi par son "rythme " un poste précis, une fonction dans une action qui l'englobe.

Voici un autre exemple, plus complexe mais donnant une idée plus précise de la fonction parfois subtile que le rythme du mot désigne:

"ch (u) r(u) q" (lever du soleil),
 "gh (u) r(u) b" (coucher du soleil),
 "' (u) f (u) l" (déclin),
 "d (u) kh (u) l" (entrée)
 "kh (u) r (u) j" (sortie)

"b (u) l (u) gh" (puberté)

"n (u) z (u) l" (descente)

"dh (u) b (u) l" (flétrissant)

...

Toutes les actions ne se prêtent pas à ce rythme. Pour qu'une action s'y prête, il faut qu'elle se développe entre des limites et qu'elle soit définie par ces limites et non par l'acte même que le sujet accomplit.

Ainsi le lever du soleil et son coucher ne se définissent pas par le mouvement du soleil dans le ciel, mais par le fait qu'il franchit la ligne d'horizon dans un sens où dans l'autre: le lever commence quand le soleil est tangent par le bas à la ligne d'horizon, il se termine quand le soleil y est tangent par le haut.

Or dans ces conditions, l'accomplissement de l'action désigne bien plus la durée où se développe cet accomplissement qui est en même temps une durée pouvant servir à repérer et à contenir d'autres actions.

Ce qui est remarquable c'est que tous les mots sont des "thèmes" dérivés d'une racine. Comme nous l'avons déjà dit, les mouvements sont indispensables pour prononcer un mot. Mais ces mouvements ne font pas partie de la racine, ils servent à "rythmer" le vocable, à le produire selon une forme qui lui assigne une fonction dans le développement de l'action que la racine désigne.

Il en résulte bien sûr que la racine elle-même ne peut être prononcée. En langage Aristotélicien, on dirait qu'elle est pure puissance et qu'elle ne parvient jamais à l'entéléchie.

Ainsi aucun mot ne désigne le sens en lui-même; tout se passe comme si le sens était au delà des mots effectifs, dans le *pouvoir* de celui qui parle, un pouvoir qui lui permet de déployer divers "rythmes" pour produire les thèmes qui désignent différents postes et fonctions au sein d'un acte qui échappe lui-même à la dénomination.

Aucun mot n'a un sens en lui-même, il trouve son sens par participation. Non pas à une idée en entéléchie comme dans le système platonicien, mais à une pure puissance qui vise l'acte mais ne peut le signifier qu'en l'un des éléments qui constituent le processus global: On pourra nommer celui qui agit, celui qui subit, le lieu et le temps d'un acte, sa réalisation par un, deux, trois personnes, l'instrument par lequel il se réalise, ..., mais le processus *mouvant* qui ne se réduit pas à une réalité fixée par l'attention et désignée par un "rythme", reste au delà de la dénomination.

Les orientalistes ont bien remarqué que la racine n'est qu'une carcasse de consonnes. Ils la distinguent du thème par le fait qu'elle ne comporte pas de voyelles mais ils veulent que ces consonnes pures que nul n'est capable de prononcer soient le signe qui désigne le sens. Or celui-ci

est saisi non pas dans un signe, mais par une puissance de celui qui parle à déployer les consonnes adéquates selon les différents thèmes.

Les thèmes eux-mêmes signifient non par référence à la carcasse consonnantique mais parcequ'ils dérivent de cette puissance qui les produit.

Au sens correspond donc une puissance qui ne peut s'exhiber elle-même (par un signe) mais qu'on peut retrouver en parcourant ses diverses productions. Ce que ces productions nomment, ce n'est pas le sens lui-même, mais des éléments du processus global qui le constitue.

Certains orientalistes, définissent la racine comme l'ensemble de deux, trois, ou quatre consonnes qui représentent une notion définie: k-t-b notion d'écrire par exemple.

En réalité, comment peut-on dire que la racine qui n'est pas présente, qu'on ne peut même pas prononcer, peut représenter.

Il est indiscutable que l'utilité du signe en occident est de représenter corporellement en quelque sorte la pensée qui, elle, est abstraite et que le signe est commode parcequ'il peut être physiquement présent et donner ainsi une certaine présence à la notion malgré son caractère abstrait.

Mais dans le cas présent, on n'a pas de signe, on n'a aucune présence physique, ***on ne peut donc pas représenter la notion*** ; on peut même se demander dans quelle mesure il y a notion, puisque seules les "fonctions" dérivées peuvent faire l'objet d'un discours, et être représentées par des "rythmes" ayant signification par référence à une pure puissance aussi peu "présentifiable" que la pensée.

D'ailleurs, le mot "sarf" par lequel les grammairiens arabes désignent la science des dérivations a été traduit par morphologie.

En réalité, le mot "sarf" exprime la puissance de convertir une chose en une autre par exemple une monnaie en une autre ou encore l'usage qu'on fait de son temps, de son bien, ... en leur donnant telle ou telle forme concrète alors que le mot "morphologie" signifie mot à mot "science des formes".

Le mot arabe renvoie à la puissance, à la faculté de convertir, alors que le mot grec renvoie à l'entéléchie, ce qui est déjà converti, déjà réalisé.

Pour récapituler, nous pouvons dire que:

1. tout vocable arabe est une variation, un "rythme" (qu'on peut retrouver ailleurs) d'une racine. Il désigne ***une fonction dans un processus d'action***.
2. la racine n'a pas d'existence effective à l'état pur. On ne la trouve que dans ses variations, dans les rythmes qu'on lui donne,

3. la racine n'indique pas le sens d'une manière ponctuelle: liée à la puissance de faire des variations, elle indique le sens dans le développement de cette puissance. Si le mot m (i) ft (a) h ne signifie qu'en vertu de son rythme qu'on retrouve dans m (i) sb (a) h , rythme par lequel, il se trouve relié à tous les autres vocables de même racine, le mot "clé" qui lui correspond en français tout comme le mot "lanterne" semble se suffire à lui-même, abstraction faite de tout processus d'action où il soit engagé.

D'autre part,

- La langue arabe n'est pas faite de signes conventionnels
- Les mots arabes sont tous dérivés d'une racine,
- Les mots arabes indiquent des fonctions dans une action, ou bien représentent un temps et une personne dans la conjugaison du verbe (la racine elle-même dans la mesure où on la prononce, étant la troisième personne, masculin, singulier de l'accompli) sans qu'aucun ne désigne le sens en lui-même qui se trouve dispersé entre tous les "rythmes" chaque "rythme" signifiant seulement une des fonctions qui s'y rapportent.

Mais pour bien comprendre ces faits, il faut que les fonctions rythmiques soient rapprochées des fonctions complémentaires reconnaissables aux désinences des déclinaisons.

Il est remarquable que les fonctions des "rythmes" correspondent terme à terme à celles des déclinaisons:

Il y a un rythme pour le sujet qui accomplit l'action et aussi une désinence à laquelle on reconnaît la fonction sujet, il en est de même pour le complément d'objet. Pour les autres fonctions, le parallélisme est moins évident, car les désinences sont souvent commandées par des prépositions et c'est l'ensemble préposition + accusatif, datif ,... qui a le même sens que la fonction dans le registre des "rythmes".

On constate qu'autour de la racine verbale sont apparues intégralement conservées par l'arabe deux séries de fonctions [cel80]: l'une de ces séries exprime la fonction en conservant les consonnes de la racine verbale mais en les mouvant selon les cas, par des mouvements différents.

Dans cette série, les fonctions sont signifiées seulement par rapport à la racine elle-même, le coureur par exemple n'étant sujet selon le registre des rythmes que dans la course;

l'autre série exprime la fonction uniquement par le mouvement de la lettre finale et le sujet au nominatif peut être acteur dans des actions différentes autres que celles signifiées par la racine dont il est extrait.

Mais si on considère ces deux séries, elles paraissent toujours séquentes dans les phrases arabes et nous allons voir que c'est leur intersection qui sépare les éléments dont nous savons qu'ils sont

engagés dans des rapports et qui fixe pour le donner à reconnaître ce qui est englobé dans un mouvement.

"... l'astuce du langage a consisté à déployer les fonctions sur deux registres complémentaires, l'un servant à repérer et à reconnaître les éléments qui reviennent et qui recourent la durée du sujet, l'autre servant à séparer les éléments en éléments distincts, l'unité des rapports tels qu'ils se rencontrent à un instant donné" [cel80]

Et en effet, les fonctions du registre des rythmes n'ont été distinguées que pour être dénommées en rapport avec l'activité où elles interviennent [cel80].

Dans ce registre, on va de l'activité à la fonction et la fonction n'a d'importance que relativement à l'activité qui lui donne son nom.

Ce n'est pas celui qui intervient dans l'action qu'on nomme, c'est celui qui y interviendrait; le fonctionnaire est hypothétique: il tire son nom et sa qualité de l'activité où il intervient et de la fonction qu'il exerce au sein de cette activité. Ce n'est pas le fonctionnaire qui remplit sa fonction, c'est la fonction qui fait le fonctionnaire et la fonction elle-même est relative à une activité qui englobe d'autres activités simultanément dénommées.

Il faut remarquer qu'au sein de ce registre où on va de l'activité globale à la fonction et de la fonction au fonctionnaire. L'inséparabilité des éléments et la mouvance des rapports est respectée puisque toute la série fait unité et qu'aucun objet n'est saisi.

Tous sont dénommés en rapport avec un sens que des consonnes écrites peuvent à la rigueur représenter mais qu'aucun vocable ne dénomme.

Le registre complémentaire des déclinaisons respecte tout autant l'inséparabilité des éléments et la mouvance des rapports. Ici encore, la série fait unité et les désinences ne fixent aucun objet. cependant dans ce registre, le fonctionnaire est désigné par la désinence, non plus qu'il tire son nom et sa qualité de l'activité où il intervient, mais simplement en tant qu'il accomplit sa fonction quelque soit l'activité dans laquelle il intervient.

Alors que le "rythme" dénomme le fonctionnaire d'une activité quel qu'il soit, simplement en considération du rapport qu'il a avec cette activité, la désinence désigne le fonctionnaire d'une activité quelle que soit cette activité, simplement en considération du rôle qu'il tient.

Le but du rythme est donc de repérer, de reconnaître, d'identifier. Le but de la déclinaison est de distinguer les fonctions elles-mêmes, de répartir les rôles au sein d'une activité.

Dans la réalisation du discours, nous pouvons dire que les propositions sont faites de vocables qui se trouvent à l'intersection des deux séries. Chacun est repéré et identifié en rapport avec une activité mais il trouve sa fonction avec une autre ; l'engagement de la fonction repérée par le "rythme" dans l'activité où la désinence lui assigne un emploi, la coupe des autres fonctions désignées par le rythme.

Mais en même temps, l'engagement de la fonction désignée par la désinence dans l'activité où le rythme la définit, la coupe des autres fonctions désignées par la désinence. l'inséparabilité du vocable pourvu de désinences des autres vocables également pourvus de désinences le sépare en tant qu'il est rythmé, des rythmes complémentaires du sien et inversement, l'inséparabilité du vocable rythmé des autres rythmes complémentaires , le sépare en tant qu'il est porteur de désinence des autres vocables porteurs de désinence[Cel80][Gac97].

Ainsi, le mot arabe, inséparable de ce qui lui donne son identité, lié au mouvement d'où il la reçoit mais en même temps inséparable de ce qui lui assigne une fonction, lié au mouvement où elle fonctionne: il se trouve à l'intersection des deux dynamismes qui le portent et de ce fait, il semble fixé et séparé.

L'idée directrice de la langue arabe est que les éléments du discours sont insaisissables à l'état isolé, qu'ils ne peuvent être reproduits, mais qu'ils doivent seulement exister à l'état de puissance du sujet parlant.

Cependant, la puissance de la racine n'est pas une réalité qui donne naissance à d'autres réalités; au contraire elle se fait réalité dès qu'elle est mue c'est à dire dès qu'on lui donne une fonction et qu'on la fait rentrer dans des rapports.

Dans les phénomènes réels comme dans la parole, la puissance n'existe pas à l'état séparé, elle vient à l'existence en entrant en rapport, en occupant une fonction dans une activité; en fait ce qui est vrai des phénomènes réels, l'est aussi des racines du langage: c'est la proposition qui appelle la puissance à se faire , ce ne sont pas les puissances qui se combinent pour faire les propositions.

Il suffit de considérer n'importe quelle proposition arabe et de se souvenir que les voyelles sont en réalité des mouvements et que chaque mot en tant que voyellé est en réalité mu, qu'il appartient donc à l'ensemble des mouvements dont celui que nous avons sous les yeux n'est qu'un élément, de se souvenir aussi que les mouvements du corps du mot qui indiquent le "rythme" appartiennent à un autre registre que ceux de la désinence qui indique le cas dans la déclinaison, pour apercevoir que

la proposition n'est pas une suite linéaire de vocables qui se succèdent mais que chaque vocable est à l'intersection de deux mouvements et que la proposition se détache à partir d'une surface tramée par la capacité de développer les rythmes et de déployer les cas des déclinaisons.

Voici pour récapituler un tableau comparatif de la proposition arabe et de la proposition occidentale:

Proposition occidentale

1. le radical du mot occidental est fixe, on peut lui ajouter un préfixe ou un suffixe, mais il garde les mêmes voyelles quelle que soit la fonction qu'il exprime,
2. le mot occidental a une fonction unique, elle est relative à la proposition et indiquée soit par l'ordre des mots, soit par une déclinaison,
3. le mot occidental peut être séparé de la proposition, il tend alors à désigner une chose, un acte ou une qualité qui aurait matériellement ou spirituellement une réalité séparée,

Proposition Arabe

1. le mot arabe a deux fonctions, l'une par rapport à la proposition, elle est indiquée par la déclinaison; l'autre par rapport à la racine et est indiquée par le "rythme",
2. le mot arabe n'existe à l'état séparé qu'en puissance. C'est au sein de la proposition, par l'intersection du "rythme" et de la déclinaison qu'il sépare ce qu'il désigne.

3.3 La Grammaire de Sibawayh

La grammaire de Sibawayh est une tradition grammaticale (7ème siècle) définie par les grammairiens arabes comme « la science des modèles abstraits ou induits à partir des actes de discours des locuteurs arabes fasih-s » [Gin80]

Le terme arabe qui désigne la grammaire est le « nahw » terme qui signifie "prendre, adopter un chemin, une façon, une manière , dans notre contexte adapter sa manière de parler sur celle des arabes " [Haj79]. Ceci dénote déjà une conception dynamique du rôle du locuteur dans la construction de son discours.

L'élaboration de la grammaire arabe est fondée sur des enquêtes orales suivies de :

- description/inventaire
- classification
- explication.

Formellement, l'approche de Sibawayh est appelée « qiyas ». Le "qiyas" est non seulement une approche linguistique mais une forme sophistiquée de raisonnement scientifique qui rappelle volontiers l'abduction Peircenne. Comme processus de classification et d'explication de réalisations linguistiques basé sur les résultats des descriptions/inventaires, le qiyas est un processus d'analyse exploratoire de données (linguistiques) dont l'objectif est de découvrir les règles et les schémas qui gouvernent le système de la langue.

le qiyas est fondée sur la théorie du "mawdi'" et sur les concepts de « asl, far, bab » que nous définissons dans ce qui suit.

3.3.1 Les concepts de " 'asl", "far' ", "bab"

- **"bab"**: Le sens lexical du mot "bab" est entrée. Les grammairiens arabes appellent "bab" un ensemble d'entités linguistiques qui ont non seulement une propriété commune mais aussi une structure commune" [Haj79][Gin80].

Le comportement des éléments appartenant à un "bab" est décrit par les "mital-s" qui sont des modèles de comportement des éléments linguistiques.

En première approximation, le "bab" peut être vu comme une classe ou plus précisément comme un outil classificatoire. Une caractéristique importante du "bab" est sa généralité fondée sur le caractère

indéterminé et quelconque de ses éléments qui sont uniquement reliés les uns aux autres par des relations spécifiques modélisées par les "mital-s"/modèles.

Le "mital" est donc une description dynamique du comportement (et non) des éléments linguistiques considérés sous le "bab" dont ils relèvent.

Les éléments d'un "bab" sont appelés "nadair" c'est à dire homologues et constituent des classes d'équivalence sur ce "bab" représentées par les "mital-s".

- " 'asl'/'far' ": Les grammairiens arabes appellent " 'asl" (pluriel "usul") un élément constant que l'on rencontre dans d'autres éléments (objets ou processus) qui sont considérés des expansions ou des dérivés de ce " 'asl" et qui sont appelés " furu' " (pluriel de "far' ") [Gin80][Sib80][Haj79][Gac97]. " 'asl" et "furu' " sont reliés via le "bab" auquel ils sont rattachés et qui est une abstraction des deux.

La transition du " 'asl" au "far' " est réglée par les "mital-s" ou modèles des comportements (au sens dynamique) possibles des éléments considérés. Ce qui caractérise le " 'asl" est son caractère invariant puisqu'il se retrouve dans tous ses "furu' ".

du point de vue logique, les " 'usul" sont des *prémises*, des principes admis, des lois qui sont déjà intégrées au système alors que les "furu' " sont des *observations* problématiques que nous voulons expliquer en les confrontant aux " 'usul".

3.3.2 La théorie du "mawdi' "

Un "mawdi' " est une position dans un ensemble structuré, non pas un système d'oppositions mais un ensemble structuré où les éléments sont mis en correspondance [Gin80][Haj79]. Un "mawdi' " est une position abstraite dans un "mital", c'est le lieu où occure un élément dans le discours. Ce n'est pas toujours une occurrence matérielle, l'antéposition du complément ne change pas son "mawdi' ", par exemple[Gin80].

La position n'est pas définie sur la base de la seule distribution ou des fonctions (grammaticales) des éléments: elle correspond à une position contenue dans un schème dynamique (le "mital") qui est abstrait à partir des deux axes syntagmatique et paradigmatic en même temps.

La définition du "mawdi' " nous permet de définir formellement le "mital" comme un ensemble de positions ("mawdi'-s") abstraites, dans chaque position peuvent occurer les éléments d'une classe linguistique spécifique et seulement ces éléments".

Il existe des "mital-s" spécifiques pour chaque niveau de la langue. *C'est le rôle du qiyas que de déterminer pour chaque entité à analyser son mawdi'.*

3.3.3 Le Qiyas

Le "qiyas" est une approche de description, analyse et explication des *formes* linguistiques, fondée sur la théorie du mawdi' et les concepts de "asl", "far" et "bab". Le sens lexical de "qiyas" est mesure ou unité de mesure.

Le processus de qiyas commence par une opération classificatoire qui consiste essentiellement à trouver pour chaque entité à analyser le "bab" qui représente son "asl" et essayer alors de la *reconstruire* en utilisant les schèmes/"mital-s" disponibles pour ce "bab". Nous allons décrire dans le paragraphe suivant la nature opératoire de cette démarche que les orientalistes¹ eux mêmes ont déclaré ne correspondre à aucun processus de logique ou de raisonnement classique.

La démarche opératoire du qiyas

Afin de bien cerner le contenu du mot qiyas, nous allons examiner tout d'abord un exemple que donne IbnGini pour illustrer l'idée du qiyas [Gin80] et qui consiste en l'observation des constructions suivantes :

- "qama Zaydun" (Zayd s'est levé)
- "darabtu 'Amran " (j'ai frappé 'Amr)
- "marartu bi-saidin " (je suis passé près de Said)

Nous retrouvons là les trois grandes fonctions syntaxiques de la langue et les flexions qui leur correspondent : ce sont là des formes qui sont effectivement réalisées dans la réalité du langage.

D'autre part, chacune de ces réalisations qui appartiennent aux trois ensembles : nom en fonction de sujet , de complément d'objet direct et indirect est caractérisé par une flexion qui lui est propre.

IbnGinni considère cette uniformité flexionnelle comme un qiyas : la nécessité pour un tel nom d'être conforme aux autres noms qui ont la même fonction et qui constituent donc son "bab" relève du qiyas.

Notre objectif ici n'étant pas de rentrer dans des considérations purement linguistiques, nous noterons, néanmoins que la combinatoire du qiyas accepte certaines formes qui ne sont pas réalisées ou qui n'existent pas dans l'usage. On parle alors de l'opposition qiyas/usage (isti'mal). Les babs qui correspondent à un qiyas non réalisé sont des bab-s vides.

La mise en qiyas consiste d'abord, en un constat de systèmes de correspondances et dans une seconde étape, par une implication logique, en une extension et une systématisation des rapports existants [Haj79]. En quoi consistent ces rapports et ces correspondances ?

Si nous nous intéressons au niveau lexical, les variations de substance sur un même schème et les variations de forme sur une même substance suggèrent qu'il doit exister sur leur produit $E = X \times Y$ une double relation d'équivalence :

$R =$ "avoir le même schème" et

$R' =$ "avoir la même substance".

Ces deux relations établissent sur ce produit une double partition dans E : P et P' de puissance égales au nombre de racines concaves et des schèmes verbaux du trilitère disponibles dans la langue. Les éléments appartenant à un sous ensemble A quelconque obtenu par P ou P' sont équivalents entre eux :

Exemple : $A = \{qama, daraba, dahaba, \dots, fa'ala\}$

Ce sont les "nadair" que nous avons vu ci dessus. $Fa'ala$ est ici le symbole du schème/mital. Les éléments de l'ensemble précédent sont les "nadair" du mital " $fa'ala$ ". L'ensemble des "nadair" peut donc être vu comme une classe d'équivalence.

De là, nous pouvons dire le qiyas désigne ici :

- l'équivalence qui existe nécessairement entre les éléments d'un même "bab" en vertu de leur appartenance à ce même "bab",
- et par extension,
- le modèle ("mital") qui symbolise cette équivalence,
 - la classe d'équivalence elle-même symbolisée par ce modèle.

Lorsque l'équivalence qu'implique un qiyas a comme référentiel le domaine morpho-lexical, l'équivalence se ramène à une correspondance de structures.

En effet, la relation avoir le même schème désigne une correspondance d'arrangement qui s'appliquent à des ensembles finis et ordonnés d'éléments et qui résulte d'une correspondance biunivoque propre à la structure lexicale et compatible avec la composition interne des séquences considérées.

Cependant , le qiyas ne se résume pas au qiyas entre objets que nous venons de voir pour les structures morpho- lexicales.

Une fois en possession d'un certain nombre de constatations et après avoir établi un certain nombre de systématisations, ces dernières constituent un système de "usul" établi qui vont servir pour l'analyse de nouvelles observations.

Il s'agit donc, du passage de certains éléments simples et fondamentaux (usul) ou prémisses dont le caractère invariant a été constaté par le linguiste à d'autres éléments plus complexes qui les contiennent selon certains processus. Nous nous intéressons alors aux équivalences entre transformations "usul \leftrightarrow furu' ".

En fait, l'équivalence entre deux ensembles E et E' de transformations est établie si et seulement si :

- les opérations de E et E' se correspondent terme à terme , en d'autres mots ont un même schème transformationnel,
- leur ordre de succession est le même dans E et E'
- les domaines ou contextes des séquences où elles se produisent sont équivalents.

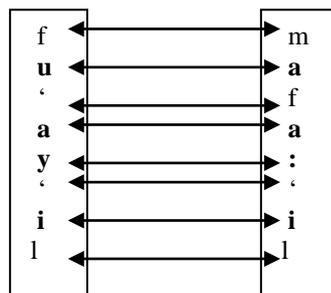
Exemple :

Nous citerons comme exemple, l'assimilation du "tasghir" (schème transformationnel du passage à la forme diminutive) au "taksir" (schème transformationnel du passage à la forme du pluriel interne)[Haj79] car d'après Sibawayh, les opérations qu'ils impliquent sont les mêmes : il y a changement du premier segment dans les deux cas , adjonction d'un "harf madd" en troisième position ainsi que l'ajout de la haraka " i " .

Schème de la forme diminutive : fu'a'il

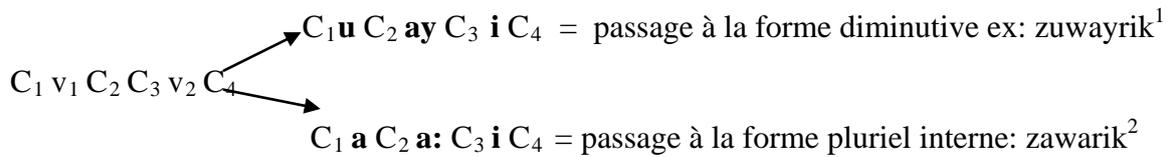
Schème du pluriel interne : mafa-'il

Sur la base de la correspondance (muwafaka, munasaba) [Haj79] de ces opérations de transformations, les linguistes arabes ont admis qu'ils appartiennent à une même classe.



En représentant par C_1, C_2, C_3, C_4 les variables consonnatiques de ces schèmes et par v_1, v_2 , les

variables correspondant aux harakat, on a d'après les auteurs arabes [Gin80][Haj79] :

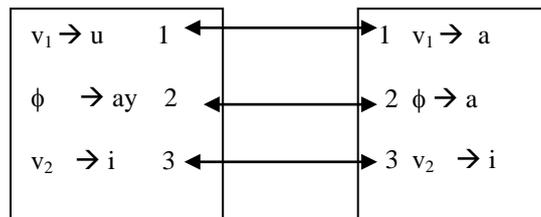


$$u \sim a = X, ay \sim a = Y, i \sim i = Z$$

le (super) schème qui peut être abstrait à partir des deux schémas de transformations (diminutif, pluriel interne) précédents est :

$$C_1 X C_2 Y C_3 Z C_4$$

On peut alors établir les correspondances suivantes entre les opérations ayant abouti à ces résultats :



Si nous appelons t_1, t_2, t_3 les trois transformations communes dans les deux ensembles précédents.

La composition de t_1 et t_2 donne :

$$C_1 X C_2 Y C_3 v_2 C_4$$

Soit $T_1 = t_1 \circ t_2$,

La composition de T_1 et t_3 donne le schème final : $C_1 X C_2 Y C_3 Z C_4$.

Il est donc possible de faire correspondre à tout couple ordonné dans ces deux ensembles de transformations un élément unique qui est leur composé autrement dit, il existe dans les deux ensembles de transformations une loi de composition interne.

D'autre part les relations d'ordre qui sont définies dans les deux ensembles (ordre de succession des transformations) se correspondent également.

Il résulte de toute l'analyse précédente que les groupes de transformations qui aboutissent à la forme du diminutif et à celle du pluriel interne sont *isomorphes* : cet isomorphisme est basé sur la correspondance biunivoque qui existe entre ces opérations ainsi que sur la correspondance des lois de composition et des relations d'ordre définies sur ces ensembles.

¹ petit bateau, ² bateaux.

D'autre part, on retrouve dans l'analyse des linguistes arabes, la notion d'opération vide ou élément neutre par rapport aux transformations : il s'agit simplement de l'absence de transformations.

Il existe deux types de transformations : les transformations positives et les transformations négatives.

Une opération est positive si c'est une construction qui va d'un élément donné qui n'a subi aucune transformation (asl) à l'élément construit qui en dérive selon un schème/mital (far'). La transformation négative est la transformation inverse de la précédente qui consiste à faire reprendre à l'élément construit la forme de son asl.

3.3.4 Discussion

Le type d'abstraction effectué par le "qiyas" et que nous avons vu à l'œuvre dans le paragraphe précédent, est appelé par les grammairiens arabes "ihtibar" [Haj79][Gin80] ce qui veut dire tester comment relier un élément à un autre via un "bab".

De là, l'objectif final et fondamental du "qiyas" est d'*assigner à chaque élément une position dans un "mital"*. Chaque entité sous un "bab" est soit un "asl" soit un "far' ", un far' pouvant être "asl" pour d'autres "furu' ".

Une caractéristique importante de l' "ihtibar" est son caractère extensif. Par ailleurs, en conférant à chaque élément une position dans une matrice générative et dynamique (le mital), le "qiyas" réalise la *synthèse de l'ordre et de la structure* et ceci constitue une des plus grandes acquisitions de cette approche.

D'autre part, l'inférence du qiyas est fondée sur la relation d'équivalence opératoire définie entre le "asl" et le "far' " et toute mise en qiyas implique une recherche approfondie sur la validité de l'équivalence (entre "asl" et "far' ") posée comme hypothèse.

De plus, la mise en équivalence des schémas de réalisation aboutit toujours à un schéma plus large (que les arabes appellent "gami" "ou élément intégrant) qui ne les contient pas mais les intègre à la manière d'un opérateur mathématique qui appliqué à une certaine entité, permet de transformer celle-ci en une autre et qui peut être par là même, commun à plusieurs entités tout à fait hétérogènes.

L'inférence du qiyas aussi bien dans son agencement que dans la nature du rapport qui relie l'ensemble {'asl, far'} avec le 'gami' et celui qui relie "asl" et "far' " entre eux ne correspond exactement à aucun processus logique classique.

Le qiyas procède du spécial au général {asl, far' }--(gami) par composition et c'est en cela qu'il est créatif.

Sur le plan de la rigueur du raisonnement, dans le syllogisme, c'est le *rapport d'inclusion* qui assure cette rigueur, alors que dans le processus de qiyas, c'est le *rapport d'équivalence* impliquée par la notion de gami'.

D'autre part, en assignant à chaque élément une position (mawdi') dans une structure, le qiyas arrive à établir les règles (hudud) qui règlent le comportement langagier.

3.3.5 Le modèle syntaxique

3.3.5.1 Le point de départ de l'analyse

En linguistique, comme en logique, la proposition constitue généralement le point de départ de l'analyse. Dans la grammaire de Sibawayhi, le point de départ de l'analyse est défini sur la base de l'autonomie des séquences dans le discours. Toute séquence verbale autonome peut être considérée comme un message minimal du point de vue de cette autonomie[Sib80][Haj79].

Une séquence verbale est autonome lorsqu'elle peut être actualisée dans le discours sans avoir besoin d'autres séquences. Exemple « kitab », « muhammad », « daraba » sont des séquences actualisables minimales ; « man », « li » ne sont pas des séquences minimales car elles ont besoin d'autres éléments pour être actualisées. Une unité autonome ainsi définie sur la base de son autonomie ou « isolabilité » dans le discours est une unité formelle puisque définie sur la base du seul signifiant (la forme objective) du discours sans aucun recours au sens (donc la subjectivité). Les unités minimales ainsi définies, définissent un niveau linguistique appelé niveau intra- lexical ou niveau central, ces unités sont appelées lexies ou "lafda-s"[Haj79].

Les transformations consistent à générer des séquences dérivées à partir de séquences primitives par ajout ou suppression d'éléments à droite ou à gauche de cette séquence.

Ceci nous mène à la définition formelle de la lexie ou "lafda" : " toute séquence isolable et indivisible qui peut accepter des ajouts à droite ou à gauche sans perdre la propriété d'être isolable et indivisible est appelée lafda"[Haj79][Gin80].

La lexie constitue le point de départ de l'analyse grammaticale. A partir de ce niveau central, l'analyse du linguiste peut être orientée :

- vers le bas : pour déterminer les segments signifiants qui sont contenus dans les lexies, déterminer les "kalima-s" et les analyser en racine et schème ;
- vers le haut, pour déterminer comment les lexies sont intégrées dans les structures du niveau supérieur c'est à dire les structures syntaxiques.

La possibilité de génération (dérivation) de séquences dérivées appelées "furu'" à partir d'une séquence primitive appelée "asl " est appelée par les grammairiens arabes " tamakkun " (capacité) et " tassaruf " (variabilité).

Ces notions permettent notamment d'établir des distinctions formelles entre séquences isolables. En effet certaines séquences possèdent un "tamakkun " parfait car elles peuvent recevoir n'importe quel type d'ajouts. C'est le cas notamment du nom commun (voir figure 1). D'autres séquences possèdent une moindre capacité : le nom propre ne peut recevoir l'article ni le complément adnominal. La variabilité de la séquence primitive est soumise à des règles qui sont représentés dans le schème générateur de la lexie figure 1.

L'isolabilité et la capacité permettent de délimiter sur la base *de la seule forme* de la langue (*du lafd*) une première unité dans le discours qui est le nom commun.

A partir de là, on peut définir formellement (à partir de la seule forme) les autres unités contenues dans les ajouts. Cela est possible car elles occurrent en des positions (mawdi') spécifiques qui sont inférées à partir de l'étude de toutes les occurrences possibles d'un élément dans le discours. Ces positions déterminent alors les fonctions grammaticales des éléments qui y sont contenus.

L'axe paradigmatique est structuré car il est le siège des transformations et ces transformations sont ordonnées par la relation asl <-> far'.

Les transformations déterminent les distinctions et les rapports paradigmatiques. Dans l'approche de Sibawayh, ces rapports ne sont pas considérés en se référant à l'axe syntagmatique à l'intérieur d'une seule classe morpho- syntaxique. Ils sont considérés dans la structure qui résulte de la combinaison des deux axes en même temps.

La figure 1. présente le schème générateur de la lexie nominale [Haj79]. Nous pouvons voir à travers cet exemple les transformations (asl <-> far) à partir de la séquence primitive.

Retenons que pour chaque niveau de la langue il existe un ou plusieurs schèmes semblables qui modélisent les transformations (asl<->far') régissant le système de la langue.

3.3.5.2 Le niveau syntaxique

C'est le niveau supérieur à celui de la lexie. Les unités qui constituent ce niveau ne sont pas le résultat d'une simple combinatoire de lexies. La lexie (ni la kalima) ne constitue pas l'unité minimale de ce niveau[Haj79][Sib80]. De plus les relations qu'entretiennent les éléments de ce niveau sont de toute autre nature.

Considérons les séquences suivantes :

- (1) # abdullahi qaimun #
- (2) # qaimun abdullahi #

Sibawayhi affirme que la relation entre les deux lexies n'est pas une simple concaténation mais une relation de construction (ou bina) puisque la suppression de l'une des deux lexies fait disparaître l'unité. D'autre part ces séquences peuvent se retrouver dans des séquences plus larges.

- (3) # inna abdullahi qaimun #
- (4) # kana Abdullahi qaiman #

Nous voyons que ces séquences dérivent de (1) par adjonction de "inna" et "kana". Etant donné qu'il y a une même relation de bina entre ces lexies et que (3) et (4) dérivent de (1), il est possible de les faire correspondre terme à terme :

- (1) # ϕ abdullahi qaimun #
- (2) # kana abdullahi qaiman #
- (3) # inna abdullahi qaimun #

On remarquera que les éléments occupant la colonne de gauche à l'initiale des séquences semblent avoir un rapport avec les désinences contenues dans les lexies.

Ce rapport est justement considéré par les grammairiens arabes comme une rection ; les éléments régissants déterminent en effet la marque désinentielle des éléments régis. Ceci nous permet alors de rapprocher de cet ensemble cette autre séquence de lexies qui comporte une lexie verbale :

(5) # daraba abdullahi ‘Amran #

où "daraba" est un verbe, "abdullahi" est sujet du verbe "daraba". On remarquera d'autre part que (1) comporte vis à vis des autres séquences l'expression zéro du régissant : c'est cette expression que les grammairiens arabes appellent "ibtida'" [Sib80][Gin80][Haj79].

D'autre part, il existe un élément parmi ceux que le régissant gouverne qui ne peut jamais être antéposé à son régissant : il s'agit de l'élément régi au "nasb" (marque a) par les verbes de la classe de "inna" et au "raf" (marque u) par ceux de la classe de "kana" et ceux de la classe de "daraba" autrement dit tous les items qui figurent dans cet ensemble en seconde position. En ce qui concerne la construction qui comporte l'expression zéro du régissant, c'est le "mubtada'" c'est à dire l'item régi par zéro qui correspond au terme non antéposable.

L'item régi obligatoirement en seconde position est celui que Sibawayhi appelle « awalu-ma-yushghalu-bihi-al-‘amil » c'est à dire le terme qui absorbe en premier le régissant. Cette subordination (ordre + mise en dépendance avec ce qui précède), Sibawayhi [Sib80][Haj79][Gac97] la simule par les séquences sus-citées en y visant l'ordre abstrait :

R (régissant syntaxique) → T₁ (terme régi en premier) T₂ (terme régi en second) où T₁ ne doit pas être antéposé à R. On peut avoir dans le discours (R, T₁, T₂), (R, T₂, T₁), (T₂, R, T₁). Il est à remarquer que la construction ou intégration structurelle n'est pas entre R et T₁ mais entre le couple ordonné (R, T₁) et T₂.

Ce couple ordonné peut se trouver seul dans le discours, sans T₂ (ex : # qama abdullahi #, #qumtu #. Enfin, le contenu de ces entités s'interprète sur le plan casuel ainsi : dans R, on peut avoir soit zéro, soit un verbe exponentiel tel que "kana" (exposant temporel) ou bien un exposant non verbal de la classe de "inna" (particule de corroboration), soit aussi un verbe non exponentiel, tel que "daraba".

Le contenu de R détermine en fait, le contenu casuel des termes régis. Ainsi, si R= zéro, T₁ a nécessairement comme contenu un "mubtada" qui est l'appellation formelle de T₁ mais qui peut s'interpréter sur le plan casuel comme sujet d'un "habar", ce dernier qui est le contenu de T₂ dans ce type de structure pouvant s'interpréter comme l'item véhiculant une information à propos du terme posé qui est T₁.

Si R= exposant verbal ou non, le noyau de la séquence ne change pas puisque ces exposants lui sont affectés en tant que tels. On parle de "ism et habar" de kana ou de inna" c'est à dire "ism" ou "habar" régis par ces exposants.

Enfin, si R= verbe non exponentiel, on obtient alors une séquence qui bien qu'identique à la précédente n'en a pas moins ses propriétés propres. T₁ doit avoir alors comme contenu un sujet et T₂ un complément d'objet, T₂ étant alors susceptible d'omission.

La formule (R → T₁) T₂ constitue en fait, un schème générateur capable de caractériser tous les types de noyaux syntaxiques. Ainsi, il existe au niveau supérieur à la lexie, un schème générateur d'items où toutes les constantes des niveaux inférieurs sont transformées en variables : abstraction du contenu des éléments et abstraction de l'ordre au niveau central à l'exception de l'ordre (R, T₁) sans lequel l'indétermination serait totale sur le plan formel. Aussi, la formule que l'on vient d'examiner permet de limiter considérablement la combinatoire syntaxique.

Les entités syntaxiques sont aussi susceptibles de recevoir comme contenu du niveau inférieur, non seulement des lexies mais aussi des segments signifiants et même des unités syntaxiques de leur propre niveau à savoir la formule (R → T₁) T₂ elle-même.

D'autre part, une telle formule qui relève d'un niveau d'abstraction supérieur à celui de la lexie et du segment signifiant n'est pas nécessairement liée à un palier qui serait matériellement supérieur à celui des autres unités.

En fait, il y a de la syntaxe même à l'intérieur des lexies et jusque dans le noyau de la lexie, ainsi, #darabtuhu# est une lexie (verbale) analysable en (R → T₁)= darabtu, T₂ = hu, et constitue à ce niveau d'abstraction une structure purement syntaxique.

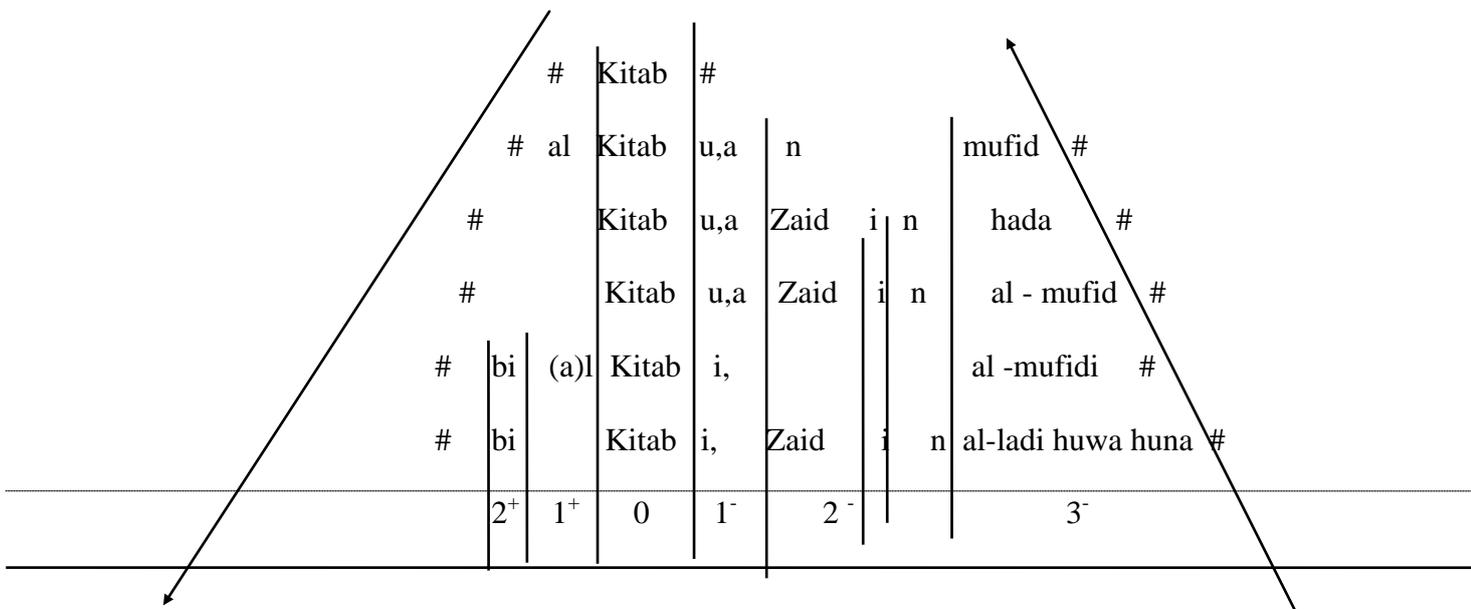


Figure1 - schème générateur de la lexie nominale-

Commentaire

0 = noyau de la “lafda” : généralement un nom commun, c’est la plus petite unité isolable dans le discours.

1⁺ = déterminant;

2⁺ = préposition;

1⁻ = désinences casuelles;

2⁻ = déterminant par annexion directe (mudaf ilayh).

3⁻ = adjectifs, relatives .

3.4 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les fondements épistémologiques et philosophiques du système de la langue arabe ainsi qu’une synthèse de la grammaire de Sibawayh.

En fait, concernant les caractéristiques de la langue arabe, des caractéristiques comme l’absence de voyelles, l’absence de copule et les procédés de dérivation sont plus ou moins connues par le commun des gens. Néanmoins, nous pensons qu’on ne s’y attarde pas suffisamment pour en saisir l’importance profonde pour le système de cette langue et c’est pourquoi nous avons jugé utile de les exposer.

Nous retiendrons particulièrement de cet exposé l’importance des notions d’*action*, de *combinatoire*, de *place dans une combinatoire* que nous retrouverons dans la comparaison entre l’approche Peirceenne de l’explication et l’approche de Sibawayh objet du prochain chapitre.

- 4.1 Introduction
- 4.2 Phénoménologie et pragmatisme
- 4.3 La recherche de prémisses
 - 4.3.1 Peirce
 - 4.3.2 Sibawayh
- 4.4 Conclusions et Réflexions
 - 4.4.1 catégories, fondements du raisonnement
 - 4.4.2 le signe et la combinatoire

4.1 Introduction

Après avoir présenté le problème de l'explication en Intelligence Artificielle et en Philosophie de la Science, discuté en particulier l'abduction comme inférence vers la meilleure explication, et présenté les caractéristiques de la langue arabe ainsi que la démarche scientifique de Sibawayh, nous allons essayer dans ce chapitre de faire une analyse et une comparaison des deux approches dans le but d'arriver à une caractérisation de l'approche de Sibawayh.

Nous précisons ici que le choix de l'abduction Peirceenne en particulier comme référentiel dans cette étude a été motivé par les raisons suivantes:

- l'abduction en Intelligence Artificielle peut être vue comme une approximation de l'abduction Peirceenne [Kru95],
- dans la littérature scientifique que ce soit en IA ou en Philosophie de la Science, la grande majorité des travaux renvoient au penseur américain Charles Sanders Peirce.
- d'autre part, Peirce a développé sa théorie dans le cadre d'une logique, et ceci est important car notre but à long terme étant de développer des formalismes logiques et informatiques, nous nous intéressons aux approches logico-symboliques en IA.
- Le cadre de la philosophie de la science est important car le cadre théorique dans lequel Peirce a développé sa théorie (le pragmatisme qui sous-tend l'abduction est une philosophie de la science) nous permet d'établir des balises de réflexion et de comparaison au niveau des fondements pour caractériser l'approche de Sibawayh.
- Le qiyas dans la démarche de Sibawayh peut sembler à première vue semblable à l'abduction ou plus exactement au processus d'investigation de Peirce.

En effet, le qiyas est dans une première étape une observation de systèmes de correspondance (abduction ?) et dans une seconde étape une implication logique (déduction) et dans une dernière étape une systématisation des rapports existants (induction).

Mais les deux démarches sont-elles vraiment équivalentes ?

Notre analyse de l'approche de Sibawayh nous conduit à tirer les conclusions suivantes à partir des concepts de " 'asl, far', bab , qiyas " :

- Le souci d'appréhender les éléments relativement à une *totalité*, le " bab " où les relations sont décrites avec les schèmes/"mital-s" suggère un "signe" linguistique sous-jacent de nature triadique. En effet, il est clair qu'une telle analyse n'est pas fondée sur un rapport binaire immédiat entre signifiant et signifié comme dans le signe saussurien mais que ce rapport est toujours médiat.

- De là, et prenant donc la théorie peircenne comme référentiel dans notre analyse, du point de vue épistémologique, nous pouvons comparer, le "asl " , le " far' " et le " bab" aux catégories peirciennes : primitivité, secondité et thirdité respectivement.

- Néanmoins et gardant à l'esprit que ce n'est pas le signe qui semble fonder le système de la langue arabe comme nous l'avons vu au chapitre3, nous pouvons constater que :

Alors que dans l'approche Peircienne, un signe est relaté à un objet et à un interprétant via une relation triadique, dans l'approche de Sibawayh, il n'y a nullement référence à une cognition ou interprétant. " 'asl " et " far' " sont des formes qui sont reliées l'une à l'autre par un " bab" qui est aussi pensé en tant que forme/structure en une relation triadique.

En d'autres mots , alors que dans chez Peirce, le troisième/interprétant est un cadre *conceptuel* pour relier signe et objet, chez Sibawayh, le "bab" est un cadre *formel* pour intégrer " asl" et " far' " .

Nous allons voir cela de plus près dans le contexte proposé par Peirce lui même à savoir l'approche pragmatique de la science ou le pragmatisme.

4.2 Phénoménologie et pragmatisme

"En philosophie, on peut dire que la phénoménologie est née dès que mettant entre parenthèses , provisoirement ou définitivement la question de l'être, on traite comme un problème autonome la manière d'apparaître des choses" [encyclopédie universalis].

La phénoménologie désigne la doctrine de l'apparence, en tant qu'elle se distingue de l'être réel. C'est à dire qu'on rejette la recherche Aristotélicienne (qui a fondé le système de pensée occidental pendant des siècles) de l'essence des choses et qu'on se contente d'étudier les phénomènes dans leur apparence sans s'intéresser à leur essence.

La phénoménologie désigne la doctrine de l'apparence en tant qu'elle se distingue de l'être réel. Peirce donna à sa théorie des catégories le nom de phénoménologie ou de phanéroscopie dans laquelle il rejette le recours à la psychologie en explication scientifique. Peirce a toujours fait usage du mot "phénomène" en relation avec ses trois catégories.

En fait, partant de sa vision de la méthode scientifique, Peirce est le fondateur du pragmatisme américain contemporain qui est une philosophie de la science sur laquelle sera fondée sa théorie expérimentale de la signification[Nub97]. Sa théorie des catégories en fit le précurseur de la phénoménologie et sa théorie des signes qu'il bâtit à partir de ses catégories, le père de la sémiotique.

En 1879, Peirce dans un article qu'il a écrit en français pour *la revue philosophique* énonça pour la première fois le principe du pragmatisme de la façon suivante:

" considérer quels sont les effets pratiques que nous pensons être produits par l'objet de notre conception, la conception de tous ces effets est la conception complète de l'objet". [Universalis]

Le pragmatisme est donc plus l'expression d'une méthode scientifique que d'un corps de doctrines philosophiques et c'est pour cela qu'il nous intéresse dans ce contexte en tant que c'est une méthode de la science et que l'objectif final de toute méthode scientifique est d'*expliquer* des phénomènes ou des observations. En fait, c'est la pensée ou le système de pensée sous jacent à la méthode scientifique qui se répercute dans les différentes sciences appliquées.

Nous avons vu dans les chapitres précédents la conception peirceenne de l'investigation scientifique. Dans le domaine de l'analyse linguistique, la théorie peirceenne du signe triadique constitue les fondements pour une approche de grammaire formelle qui s'est développée en particulier ces récentes dernières années.

Ce sont les grammaires de dépendance [Kru98] qui se voulant reculer les limites des grammaires de constituants prennent comme catégories de base de l'analyse linguistique les dépendances au lieu des catégories atomiques c'est à dire les constituants immédiats.

D'autre part, la grammaire arabe est désignée par ses fondateurs même comme une science appelée " ilm al 'arabiyya", qui de plus est considérée comme une science expérimentale: c'est "la science des "maqayis" (pluriel de qiyas) induites (mustanbata) à partir des discours des locuteurs arabes fasih-s." [Gin80] [haj79].

Pour les linguistes arabes de l'école de Sibawayhi, une démarche (d'explication) scientifique doit nécessairement être fondée sur une observation méthodologique et répétée des faits (ici de la langue) dans la réalité (du discours). "l'objectivité ne peut s'obtenir que par un retour incessant à la nature" dit ibn Ginni [Gin80].

La démarche de Sibawayhi consiste à ramener *provisoirement* un fait inconnu à un fait connu en vertu d'un isomorphisme existant entre ces deux ordres de faits. Autrement dit, en l'absence de toute indication contraire, tout élément linguistique doit être considéré comme appartenant à la classe qui possède le même "asl" que lui. C'est à dire à sa classe originelle.

Pour mieux comprendre l'attitude phénoménologiste des linguistes arabes, nous citons encore Ibn Ginni dans une discussion sur la contradiction entre l'observation et le qiyas: " si on est amené par la logique du qiyas à utiliser un certain élément et que l'on constate par la suite que les locuteurs arabes réalisent autre chose, il faut alors abandonner cet élément et ne retenir que ce qu'ils réalisent effectivement" [Gin80].

En effet, les linguistes arabes ne s'intéressent aux faits que sous leur aspect phénoménal, sans jamais se soucier de l'essence. Leurs analyses sont toujours fondées sur les seules indications fournies par les données sensibles (les signifiants). Toute interprétation de l'expérience doit s'en tenir aux faits dans ce qu'ils impliquent *par eux mêmes* en tant que formes.

Cet état initial des choses est appelé par les penseurs arabes "al dahir" c'est à dire le phénomène en tant qu'il est perçu par nos sens et saisi initialement et naïvement par notre intelligence. [Gin80] [Haj 79].

"le dahir, c'est ce qu'on constate immédiatement et il ne nous est pas permis de négliger ce qui est présent au sens et peut être expliqué par le qiyas pour quelque chose de caché et de simplement possible et en faveur de laquelle il n'existe pas de dalil¹" [Gin80].

Pour rejeter une hypothèse, les linguistes utilisent un argument qu'ils appellent "adam al-nadir" ou *absence d'équivalent* dans la réalité. Si une hypothèse est apportée pour établir un fait qui n'aurait pas du tout d'équivalent dans la réalité (linguistique), elle doit être rejetée. L'idée contenue dans cet argument est exprimée dans la citation suivante d'Al-Rummani par IbnGinni:

¹ preuve.

"... Al-Halil et Sibawayhi ont rejeté cela parce qu'il y a contradiction avec les faits existants: dans ces faits, il n' y a aucun équivalent (nadir) correspondant... nous ne pouvons nous permettre d'affirmer ce qui est contraire à la réalité..."[Gin80]

Ce qu'il est donc important de retenir ici c'est que l'approche scientifique des linguistes de la tradition de Sibawayh est phénoménologique en ce sens qu'ils ne cherchent pas à atteindre les essences des objets linguistiques.

Si les résultats auxquels ils parviennent dans leur reconnaissance phénoménologique semblent similaires à ceux obtenus par les pragmatistes (et même de façon plus générale les phénoménologistes Husserliens bien que ce dernier ait été accusé de psychologisme par Peirce), mais notre objectif ici, n'étant pas le débat philosophique, nous dirons simplement que comme nous allons le voir, les préoccupations et les objets visés sont fondamentalement différents dans la phénoménologie des arabes et dans la phénoménologie occidentale en général.

Le linguiste arabe recherche dans les phénomènes, le "asl" (le donné) en le considérant comme le premier terme dans l'opposition donnée immédiate/objet *construit*.

Les linguistes arabes ont établi les notions de "bab" et de schème (comme nous l'avons vu au chapitre3) *non pas pour examiner les objets linguistiques en eux mêmes mais pour appréhender et expliquer leur structure générale*.

Beaucoup de travaux, de formalismes, d'approches ont jonchés le 20^{ème} siècle partant de l'essor donné à la pensée scientifique par le pragmatisme contemporain qui a rompu si l'on peu dire le cercle fermé de la logique classique.

Dans le contexte de l'inférence et du raisonnement, on peut aujourd'hui opposer de façon générique deux grandes classes de raisonnement: le raisonnement sémantique et le raisonnement pragmatique.

Le raisonnement sémantique, traditionnellement appelé raisonnement déductif vise la certitude. Il s'intéresse à ce qui découle à partir de ce qui est donné en vertu de sa seule signification sémantique sans aucune préoccupation du contexte[Bel00].

Par contre le raisonnement pragmatique a pour but de tirer des hypothèses raisonnables ou appropriées sur la base de ce qui est donné. Il s'agit de trouver des interprétations appropriées de ce donné. Cela revient à trouver des interprétations adéquates du donné en inférant progressivement les contextes appropriés pour cette interprétation.

L'induction et l'abduction peuvent être considérées comme des formes ampliatives¹ de raisonnement pragmatiques. [Bel96]

Dans la mise en qiyas, il ne s'agit pas d'établir des contextes ou des interprétants pour arriver à des explications appropriées. Il s'agit d'arriver à des hypothèses appropriées *en mettant les objets dans des rapports*, c'est la *mise en correspondance* des rapports avec les transformations qu'elle implique sur les objets² qui est ici mise à l'œuvre.

Le tableau suivant décrit la distinction entre les différentes formes d'inférence dans le contexte de la syllogistique aristotélicienne. Ce tableau montre clairement et distinctement ce qui est inféré de ce qui est donné:

Déduction	Inférence d'une conclusion valide, à partir des prémisses
Induction	Inférence d'une conclusion raisonnable même non valide , à partir des prémisses.
Abduction	Inférence d'une prémisses appropriée tel que la conclusion soit une conclusion valide de cette prémisses
qqiyas c 'a	Inférence de prémisses tel que la conclusion soit un far' de cette prémisses considérée comme asl sur la base de la transformation réversible $asl \leftrightarrow far'$ 'asl et far' sont liés par une relation d'équivalence.

L'analyse des deux approches abduction et qiyas montre que ce sont tous deux des processus de recherche de prémisses.

L'abduction consiste à rechercher des hypothèses pouvant expliquer une observation donnée. De même dans le qiyas, on cherche à rattacher un fait constaté comme "far' "à un "asl" donné ce qui revient donc à rechercher un " asl" (hypothèse) pouvant supporter le fait constaté.

¹qui augmente la base de connaissance ou la back ground theory.

² voir l'exemple de la mise en forme du diminutif et du pluriel interne au chapitre3.

Nous allons voir néanmoins que ce sont deux démarches complètement différentes. Et que nous ne pouvons pas considérer les deux approches à l'intérieur du même référentiel si nous voulons vraiment comprendre la démarche arabe. (c'est pour cela que le qiyas est dans une ligne en pointillé dans le tableau précédent). Nous retiendrons donc les résultats suivants:

L'approche de Sibawayhi est une approche phénoménologique et pragmatique qui ne cherche pas à comprendre un objet par la compréhension de tous ses effets pratiques à travers les contextes/interprétants mais qui cherche à comprendre les objets dans la structure qui les relie les uns aux autres par le biais de transformation donc d'action sur ces objets.

4.3 la recherche de prémisses

Une prémisse est ce qui est admis, qui n'a pas besoin d'être démontré: qui appartient à la base de connaissances (background theory) dans l'optique peirceenne et qu'on ne cherche pas à intégrer au système dans l'optique arabe.

Dans les deux approches, le processus de recherche tout en expliquant les faits peut conduire à une *nouvelle* connaissance et par là à une révision de connaissances ou de croyances précédentes.

4.3.1 Peirce

En fait dans l'optique peirceenne, l'explication fournie par une inférence abductive est en rapport étroit avec le concept de création et de nouveauté. Cette relation peut être intuitivement décrite comme suit:

Quelque chose arrive qui nous surprend: nous n'avions absolument aucune idée qu'une telle chose pouvait arriver autrement nous nous y serions attendus. Donc nous commençons à chercher une explication, et par abduction nous allons en chercher une qui semble bien répondre.

Si après l'avoir suffisamment testée, l'hypothèse nous conduit à une connaissance qui nous permettrait de nous attendre à ce qui pourrait arriver une prochaine fois, alors nous pouvons dire que nous avons obtenu une **nouvelle** connaissance et ceci car:

Alors que précédemment, nous avons été surpris par le fait qui a déclenché la recherche d'explication, à partir de maintenant, nous ne le serions plus. *C'est précisément cette nouvelle connaissance obtenue que Peirce entend par nouveauté.*

Mais qu'est ce qu'on entend précisément par explication ? Une 'explication' est une hypothèse qui expliquerait un nouveau phénomène ou un fait surprenant.

Dans la vision peirceenne, une explication est le résultat d'une inférence abductive; ceci a été défini dans le chapitre 2 par le schéma d'investigation:

Le fait surprenant *C* est observé
Mais si *A* est vrai, *C* pourrait être vrai
Donc il y a une bonne raison de suspecter que *A* est vrai. [Pei58]

Autrement dit, nous émettons la *présomption* que *A* est l'hypothèse explicative "abducée" pour le fait surprenant *C*.

Exemple:

Dans les histoires de crime, nous rencontrons souvent le scénario suivant: un homme a été trouvé mort dans un appartement avec un pistolet dans la main droite et il a été prouvé que c'est l'arme du crime. La tâche du détective est d'élucider ce qui s'est passé dans l'appartement. Une lettre d'adieu ayant été trouvée à côté de la victime, la conclusion facile et immédiate est le suicide.

Mais des investigations plus poussées révèlent que l'homme était gaucher: comment se fait-il alors qu'il se soit donné la mort avec la main droite.

De plus aucune empreinte sur l'arme. Donc nous nous serions peut être trompés dans la présomption de suicide.

Une explication inférée abductivement pourrait apporter un peu de lumière en plaçant les choses dans une autre perspective: peut être la victime a-t-elle été assassinée.

Nous commençons donc à chercher d'autres indices pour vérifier la nouvelle hypothèse. Surprise, voilà un morceau de pyjama arraché dont le tissu est le même que celui porté par le voisin interrogé le matin à la hâte...; nous étendons ici notre théorie avec une nouvelle explication: le voisin pourrait avoir tué la victime, mis l'arme dans sa main après en avoir effacé toute empreinte, laissant derrière lui sans s'en rendre compte une pièce arrachée à son pyjama.

Regardons de plus près l'explication fournie par A, l'hypothèse que le voisin a commis le crime, C étant donc la composition de

- (1) un gaucher avec une arme dans la main droite
- (2) une arme récemment utilisée sans aucune empreinte.

Considérons la deuxième ligne dans le schéma d'inférence ci-dessus:

Mais si A est vrai, C pourrait être vrai.

Présumant que A est vrai, que veut dire C pourrait être vrai, plus précisément d'où pourrait découler C et quelle sorte d'*implication* est ici à l'œuvre. Pour répondre à la première question, nous pourrions retourner à la définition de Peirce pour une hypothèse explicative:

Une hypothèse explicative est "*a conception which does not limit its purpose to enabling the mind to grasp into one variety of facts, but which seeks to connect those facts to our general conceptions of the universe*". [Pei58]

Une hypothèse explicative tente *d'étendre* notre connaissance de l'univers, ce qui sous entend donc une relation avec cette connaissance.

L'hypothèse tient son pouvoir explicatif précisément grâce à cette relation et à la connaissance à laquelle elle correspond.

Dans l'exemple précédent, beaucoup de faits sont interconnectés par l'intermédiaire de A avec notre conception générale concernant les empreintes effacées en cas de crime et concernant les personnes droitières qui effectuent généralement leurs actions en utilisant la main droite.

Quant à la deuxième question, notons que nous avons ici affaire à une sorte d'implication: les faits observés pourraient être *impliqués* par l'hypothèse à travers une confrontation avec notre connaissance d'arrière plan.

Est ce une implication matérielle que nous avons ici? Si c'était le cas, l'occurrence de A conduirait obligatoirement à l'occurrence de C alors que dans le schéma, ce n'est qu'une *possibilité*.

Peirce apporte une réponse à cette question dans le passage suivant d'une conférence sur l'abduction donnée à Lowell en 1903:

"But if I have choice between two hypotheses, the one more ideal and the other more materialistic, I should prefer to take the ideal one upon probation, simply because ideas are fruitful of consequences, while mere sensations are not so; so that the idealistic hypotheses would be the more verifiable that is to say, would predict more and could be more thoroughly put to the test. (...) Every hypothesis should be put to the test by forcing it to make verifiable predictions. A hypothesis on which no verifiable predictions can be based should never be accepted, except when some mark attached to it would show that it is regarded as a mere vehicle of thought- a mere matter of form" [Pei58].

Peirce statue donc que l'implication devrait être perçue en termes d'intention plutôt qu'en extension ce qui expliquerait d'après lui qu'une nouvelle hypothèse (explication) nous apporte une meilleure compréhension de la réalité.

Nous avons vu que Peirce conçoit le processus d'investigation scientifique comme un processus de raisonnement allant de l'abduction, passant par la déduction et se terminant par l'induction dans un effort pour fixer une croyance.

En tant que processus de recherche de prémisses, l'abduction est à la base de la reconstruction interprétative des causes et d'intentions tout aussi bien que de la construction inventive de théories[Ali97]:

"abduction consists in studying the facts and devising a theory to explain them" [Pei58].

Dans son article "déduction, induction et hypothèses"[Pei58], Peirce décrit les trois modes d'inférence comme différentes formes syllogistiques. Dans ses "lectures on pragmatism", abduction, déduction et induction deviennent des aspects interagissants avec différentes fonctions épistémologiques.

La déduction détermine les conséquences nécessaires, basée sur la cohérence logique et prouvable entre prémisses et conclusion. L'induction a pour objectif d'établir une cohérence empirique entre les prémisses et l'expérience dans le but d'aboutir à des généralisations possibles. L'induction se contente de classer les données alors que l'abduction fournit une théorie qui explique les relations causales entre les faits.

D'autre part, une hypothèse explicative est en étroite relation avec la notion de perception dans le système peirceen, en fait elle est basée sur la perception *"it comes to us in a flash of insight"* [Pei58].

A partir de la suggestion abductive qui synthétise en faits une multitude de prédicats, la déduction peut tirer une prédiction qui sera testée par l'induction. L'abduction est un processus de résolution de problèmes et de découverte de prémisses[Kru5]. C'est *l'inférence vers la meilleure explication*.

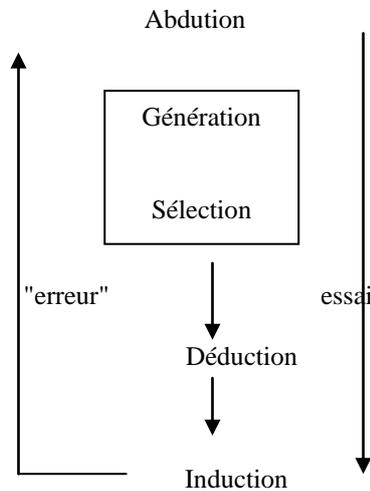


Figure-1-

Avec son concept d'abduction comme une logique de "la découverte". Peirce essaie en fait de reformuler la question kantienne sur la possibilité d'un raisonnement synthétiste. La notion d'inférence abductive devient alors une issue fondamentale dans le concept pragmatique d'évolution de la connaissance [Ali97].

Par ailleurs, Peirce prétend que l'abduction est le seul mode de raisonnement qui peut apporter de nouvelles idées et donc le seul en ce sens qui soit synthétique: *"abduction is the only kind of reasoning which is originary in respect to being the only kind of argument which starts a new idea"* [Pei58].

C'est par le raisonnement abductif que nous avons la capacité d'apprendre de nouvelles choses et de comprendre les phénomènes[Pei58].

La question du statut du raisonnement abductif comme un aspect majeur d'une "logique de la découverte" est un sujet de controverse en philosophie de la science et en épistémologie [Ali97].

Il faut, en fait, distinguer deux étapes dans la procédure rationnelle de sélection d'hypothèses : premièrement les raisons pour accepter une hypothèse, deuxièmement les raisons pour entretenir cette hypothèse comme meilleure explication. Alors que la première pose le problème de la cohérence logique, la deuxième pose la question de la pertinence pragmatique.

4.3.2 Sibawayh

Le qiyas comme opération est toujours une *mise en correspondance* directe et biunivoque des éléments objets ou processus appartenant à deux ensembles au moins et visant à établir par ce moyen la structure qu'ils peuvent avoir en commun et qui doit les intégrer à un niveau supérieur d'abstraction. C'est aussi l'opération connexe de celle-ci qui permet d'assimiler un phénomène à un autre phénomène sur la base de ce schème structural qui leur est commun.

Cette assimilation peut être considérée comme une opération classificatoire puisqu'elle est capable de réduire par abstraction un nombre considérable de faits à un petit nombre de types de comportements. Mais elle est plus que cela car les classes auxquelles elle aboutit ne sont pas des classes simples –des concepts- mais des *ensembles structurés* et c'est précisément grâce à ces derniers qu'une approche hypothético-déductive est possible.

La mise en parallèle des énoncés et d'éléments d'énoncés puis de leur schéma par le qiyas aboutit à l'abstraction d'un schème générateur ou "mital" qui relève du bab de ce schème.

En effet, le linguiste qui est déjà en possession d'un certain nombre de ces schèmes/"mital-s" peut toujours imaginer comme point de départ ou d'arrivée d'une déduction toutes les suites d'items qu'on n'aurait pas encore relevé dans la réalité.

C'est la *mise en correspondance* qui est à la base de toute opération de qiyas, qui en s'appliquant aux items de la réalité (de la langue) permet de les situer dans le système global qui les intègre en faisant apparaître les affinités structurelles et fonctionnelles qu'ils peuvent avoir les uns avec les autres.

Analyse du processus d'investigation:

Partant d'un ensemble de "usul" en sa possession, le travail du linguiste consiste à rattacher à ces "usul" des observations non encore existantes dans le système (donc non encore expliquées).

Il examine successivement la possibilité d'une équivalence entre un "asl" et un ou plusieurs schémas de réalisation observés traduits sous forme de propositions implicatives et donc posés comme "furu" de ce "asl".

Le problème logique revient à établir, en fait à établir et à démontrer cette équivalence. Or l'examen des opérations déductives que l'on rencontre dans les ouvrages des premiers linguistes arabes montre que cette relation ne peut être trouvée que par **construction**:

Le linguiste tente toujours de changer (par des transformations) l'aspect des objets contenus dans la proposition " 'asl" et les propositions posées comme "furu' "de ce " 'asl" , de modifier en leur forme les schèmes des items qui y sont subsumés, afin de les voir autrement.

En effet, impliqués dans des relations nouvelles (non encore aperçues par le chercheur), les schèmes- objets contenus dans les deux propositions apparaissent différemment et c'est pourquoi, il leur substitue par construction , une forme équivalente, plus large et plus générale qui soit susceptible de faire disparaître leur hétérogénéité, à un niveau supérieur d'abstraction et grâce à ces relations nouvelles.

En quoi consiste exactement cette construction? L'exemple suivant repris à partir d'anciens ouvrages vont nous aider à comprendre la démarche[Gin80][Sib80][Haj79]:

Deux schémas de réalisation "daraba zaydun 'amran" ¹ et "duriba 'amrun" ² posent un problème : on constate qu'il y a dans l'un et l'autre une même classe désinentielle bien que leur forme et leur contenu soient tout à fait différents. Il faut donc *expliquer* cette communauté de statut désinentiel en montrant en quoi ils peuvent être *équivalents*.

Pour cela, le linguiste analyse de très près ces schémas en leurs constituants immédiats bien qu'une première analyse ait déjà été tentée puisque le problème qui se pose lui a été suggéré par la présence d'un même constituant à savoir la désinence.

Cette nouvelle analyse lui révélera qu'il y a un constituant, en fait une relation importante qui n'apparaît pas dans les schémas où ne sont abstraits que les éléments concrètement réalisés. Il s'agit du rapport syntagmatique que nous symboliserons par **R** appelé "isnad" et qu'on définit comme "la composition syntagmatique d'une "kalima" à une autre "kalima" apparaissant chaque fois que s'établit entre elles le rapport qui conditionne la réalisation d'un message et d'une information complète. La mise en correspondance de ces constituants apparaîtra donc ainsi –figure 2-:

$$s_1 = \text{daraba } \mathbf{R} \text{ Zayd -u(n) 'Amr -a(n)}$$

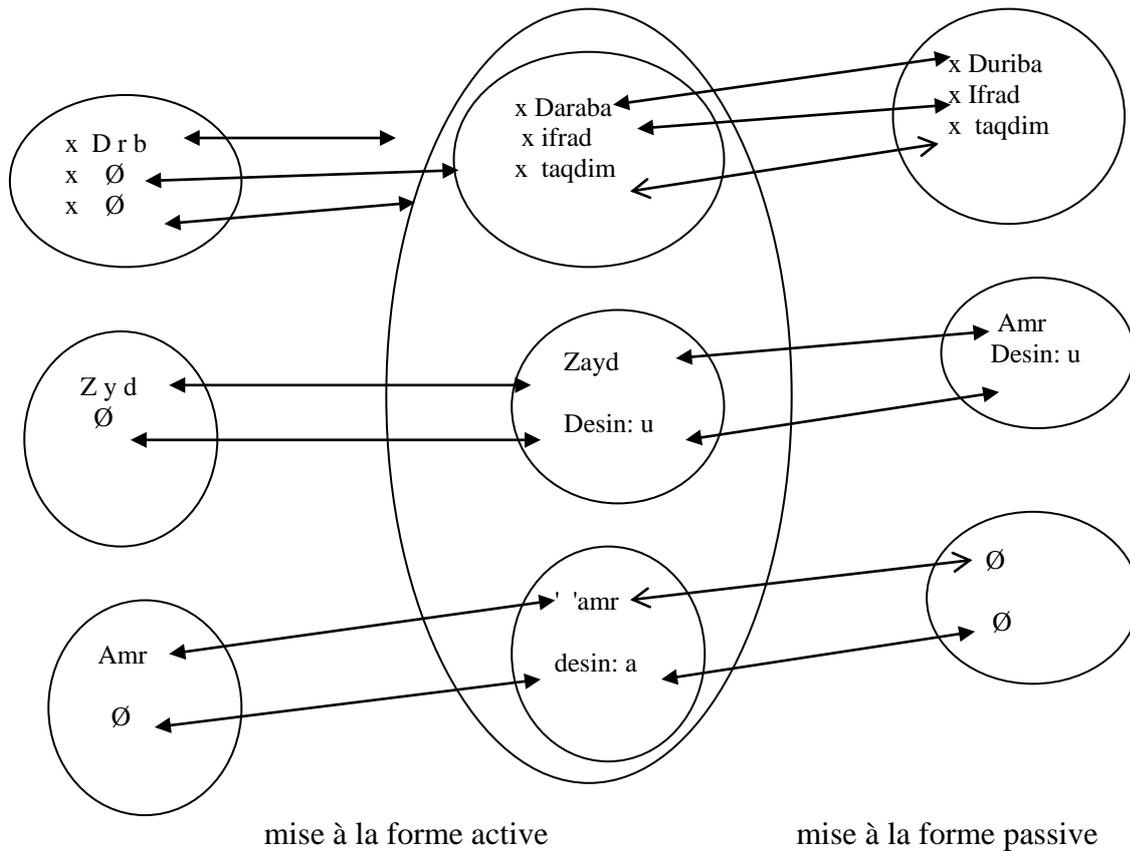
$$s_2 = \text{duriba } \mathbf{R} \text{ 'Amr -u (n) } \phi$$

et si on désigne par T l'ensemble des transformations positives:

$$P = T \ s_1 \rightarrow s_2 \quad \text{l'ensemble des transformations est } \{ \text{ma'lum} \rightarrow \text{mghul}^3, \text{fa'il} \rightarrow \text{Naib alfa'il}^4, \\ \text{Maf'ul+ a(n)} \rightarrow \phi \} \text{ qui est équivalent à : } Q : [(s_1)\mathbf{R} \rightarrow (s_2)\mathbf{R}] \Leftrightarrow ((s_1)\mathbf{u} \rightarrow (s_2)\mathbf{u})$$

¹ Zayd a frappé 'Amr. ³ forme passive .

² 'Amr a été frappé. ⁴ sujet de la forme passive.



-Figure 2-

Ce qui signifie que l'ensemble des transformations T n'est vrai ou ne se réalise que si T(=P) est vrai, Q l'est aussi.

Ainsi, on se rend compte qu'à un niveau supérieur d'abstraction se projettent certains éléments appartenant aux schèmes transformationnels situés au degré inférieur et s'organisent selon une certaine structure qui les intègre. C'est cette structure opératoire que les Arabes appellent "gami" ou intégrant (c'est cette structure qui après tests et systématisation devient un "bab").

Le qiyas nous dit ibn al-bari [gin80] est l'alignement d'un "far" sur un "asl" par le moyen d'un "gami" ou "l'ikhtibar (mise en correspondance abstractive d'une chose avec une autre par le moyen d'un gami').

Ce schéma intégrant ici $(s_1)R \rightarrow (s_2)R$ (igtima'uhuma filisnad) implique nécessairement une équivalence comportementale ici $(s_1)u \rightarrow (s_2)u$ (igtima'uhuma fi hukmin wahid wa huwa al raf'). C'est la réversibilité de l'opération qui assure la rigueur et la cohérence du raisonnement.

Nous remarquons ici qu'il y a un isomorphisme entre le groupe des opérations qui aboutissent à la constitution de s_1 et le groupe des opérations qui transforment s_1 en s_2 .

Il est important de remarquer ici que la structure de groupe par ses compositions réversibles des relations considérées en elles mêmes et *non dans le rapport des parties au tout* assure la cohérence et la créativité du processus discursif.

Cet isomorphisme nous fait découvrir aussi qu'il existe un schème opératoire qui intègre la mise à la forme active "bina lilmahlum" et la mise à la forme passive "bina lil maghul":

C'est donc bien le schème:

$$(s_1)R \rightarrow (s_2)R \Leftrightarrow (s_1)u \rightarrow (s_2)u \text{ (isnad} \Rightarrow \text{réalisation du "raf")}$$

qui est susceptible d'être généralisé.

La construction de schèmes opératoires généralisables (al-gawami') et susceptibles d'expliquer un grand nombre de phénomènes, se confond en fait avec toute la pensée discursive et scientifique des arabes.

Donc le plus important dans l'inférence du qiyas n'est pas seulement de montrer qu'un schéma de réalisation a le même schéma que tel autre mais l'explication de ce schéma par la mise en œuvre d'une série d'implications et d'équivalences qui relie ce schéma à un ou plusieurs autres schémas.

Nouveauté et révision de croyances : en tant que base du processus de construction, le rapport d'équivalence, en plus du fait qu'il permet d'intégrer un "asl" à un "far' " dans un système (expliquant ainsi son existence dans le système) conduit à la construction de nouveaux schèmes donc de nouvelles connaissances.

Une fois que nous ayons fait correspondre un item observé à un "asl" sur la base de quelque propriété de correspondance, si le processus de reconstruction à partir de ce "asl" aboutit effectivement à l'item considéré, on confirme que cet item est bien un "far' " de ce "asl"; en d'autres mots, ils sont équivalents sous un " bab"/"gami" qui est une abstraction des deux.

Néanmoins, si le processus de reconstruction par transformations échoue, nous devons considérer un autre "asl" jusqu'à trouver le bon. S'il n'y a aucun "asl" parmi les "usul" admis (la background theory) auquel on peut rattacher cet item comme "far' ", alors , on va observer le comportement de cet élément dans la réalité du langage.

Si ce comportement est constant et général, l'item sera admis comme nouveau "asl" et intégré au système. A partir de ce "asl" seront alors abstraits de nouveaux schèmes qui pourraient servir ultérieurement pour l'explication de nouvelles observations dans le futur.

Cette façon de procéder est l'une des acquisitions les plus importantes de la linguistique (et de la pensée) arabe.

L'analyse du qiyas porte en même temps sur les énoncés en tant qu'objets et sur les actes du locuteur et de l'allocutaire qui les produisent, les transforment et les interprètent.

Dans l'optique de la grammaire de Sibawayh, ce sont les *transformations* elles mêmes qui définissent les constituants de l'énoncé. En effet, *c'est la mise en correspondance qui doit aboutir à la mise en évidence des constituants.*

Par ailleurs, cela explique aussi que l'on ne retrouve pas ici comme dans toutes les grammaires occidentales les notions de structure profonde et de structure de surface chose qui constitue une autre différence fondamentale entre linguistique arabe et linguistique occidentale.

En effet, le "mabni li-al-maghul" ne correspond pas à la forme passive occidentale.

En fait, la conception de structure profonde et de structure de surface est fondée sur l'hypothèse du parallélisme entre langue et logique alors que l'hypothèse qui fonde le système de la langue arabe n'est autre que celle de la nature combinatoire du système de la langue.

Le mital ou schème est un artifice pour rendre compte et expliquer les structures de la langue: le tamtil est un moyen d'explication.

Pour les linguistes arabes les "mital-s" ou schèmes opératoires auxquels ils aboutissaient étaient des artifacts , des instruments de simulation de la réalité, comme le dit ibn ginni:

"il s'agit de représenter les éléments linguistiques dans ce qu'ils ont de *général* à savoir la structure qui leur est commune et qui doit faire à elle seule l'objet de l'explication".

Le caractère épuré et schématique des mitals permet de s'élever au dessus de la multiplicité des faits et de reconstruire la langue à l'aide de ces seuls modèles.

Dans le qiyas grammatical des anciens arabes, l'opération de mise en correspondance est une opération de mise en équivalence dont le but est toujours de construire de nouvelles structures à partir de deux ou plusieurs structures déjà connues et de justifier éventuellement leur existence possible.

Il s'agit à partir de deux ou plusieurs structures simples ou complexes d'abstraire soit des schèmes simples lorsque l'on affaire à un simple isoschématisme ou des structures de groupes dans le cas d'isomorphismes de transformation.

De plus, les éléments de la mise en équivalence sont toujours abstraits de leur contenu suivant plusieurs paliers: - abstraction de la substance phonétique au niveau phonique – du contenu phonologique au niveau de la racine, - du contenu phonologique du schème ,.... D'autre part, les éléments de la mise en équivalence peuvent être soit de objets relevant de tous les niveaux de la langue soit des opérations portant sur ces objets (transformations).

Cette équivalence implique enfin, tout ce qui peut découler d'une relation d'équivalence: une équivalence autre que celle qui est issue de la mise en correspondance des structures connues et dont elle découle d'une façon nécessaire en raison du caractère réglé des opérations structurantes. C'est cette équivalence comportementale devenue un qiyas formel qui définit les statuts et les propriétés linguistiques des éléments.

Dans le cas où une propriété commune à deux ou à plusieurs éléments tout à fait différents est connue, le linguiste essaie alors de reconstruire la structure ce qui lui permettra de justifier et d'expliquer l'existence de cette propriété.

C'est d'abord le juriste al shafi'i (fin du 2^{ème} siècle) ensuite le philosophe al farabi qui ont pour la première fois décrit la théorie du qiyas dans l'histoire de la pensée arabe: le premier la désigne par "raisonnement ou inférence de l'absent ("ghaib") sur la base du présent ("shaid") et inversement". Cette inférence, Al farabi la définit comme le transfert du statut directement perçu dans une certaine chose ou appréhendé d'une certaine manière à une chose dont le statut n'est pas encore connu mais sans que cette dernière soit contenue dans la première" (car les deux choses sont reliées entre elles non par une relation d'inclusion mais par une relation d'équivalence". Il ajoute plus loin: " le transfert du hukm du présent (shahid) à l'absent (ghaib) peut se faire de deux manières: par synthèse(tarkib) ou par analyse (tahlil). L'analyse consiste à prendre comme point de départ le l'absent, la synthèse à prendre comme point de départ le présent. (dans les deux cas c'est une mise en œuvre de transformations).

Ce qui est original dans cette démarche n'est pas la réversibilité de la démarche mais dans le type d'analyse et de synthèse qui consiste à décomposer les structures pour en construire de nouvelles, autrement dit le caractère *constructif* du qiyas.

A la base de tout qiyas discursif, il y a non pas une simple inclusion mais une implication qui de plus est toujours réversible.

Caractéristiques de l'inférence du qiyas

Il y a dans l'inférence du qiyas un "asl" et un ou plusieurs "furu". Or le 'asl n'est jamais un cas singulier au sens aristotélicien de ce terme mais 'il s'agit toujours d'une implication s'établissant entre deux schémas de réalisation verbale (réalisation de la séquence verbe+ sujet => la réalisation de la désinence 'u', par exemple).

De la même manière, le far' n'est pas un cas singulier mais aussi une implication du même type que celle du 'asl. La différence réside seulement dans le fait que le 'asl est une implication admise entre

deux schémas qu'on pose comme point de départ, une implication qu'on ne cherche pas à démontrer, à intégrer à un système. C'est une donnée par rapport à son far' qui par contre constitue une implication qui est *constatée ou conjecturée* que l'on cherche à rattacher comme équivalente ou nadir à son asl. En d'autres termes, le chercheur ignore avant d'effectuer son istidlal, si cette proposition implicative: est bien un far' de ce 'asl ce qui veut dire qu'une implication entre deux schémas de réalisation n'a droit au titre de far' qu'une fois que le chercheur en ait fait la démonstration. Pour résumer:

- l'inférence du qiyas, aussi bien dans son agencement que dans la nature du rapport qui relie l'ensemble {asl, far'} avec le gami' et celui qui relie le 'asl et le far' entre eux ne correspond exactement à aucun processus logique aristotélicien.
- le seul processus qui peut être, peut être, mis en correspondance avec lui est l'induction aristotélicienne qui consiste à passer du singulier à l'universel or la généralisation qu'implique ce passage est une généralisation simple par inclusion et non par composition.
- l'inférence du qiyas procède donc du spécial au général {asl, far'} → gami' par composition et c'est en cela qu'il est fécond mais il est tout aussi rigoureux que le syllogisme : dans ce dernier c'est le rapport d'inclusion qui assure la rigueur, dans le premier, c'est la relation d'équivalence impliquée par la notion même de gami'.

4.4 Conclusions et Reflexions

4.4.1 Catégories et fondements du raisonnement

Pour pouvoir tirer une conclusion d'une hypothèse et d'un ensemble de données (des observations), les grammairiens arabes cherchent à établir un rapport entre les propositions données ou posées (les "usul") et la proposition à démontrer. En d'autres mots, établir et démontrer une relation de type: "as"l ⇔ "far' " ou bien P=schéma primitif ⇔ Q= schéma transformé.

En posant une telle relation comme base du raisonnement, le rapport qui doit lier hypothèse et conclusion ne sera pas un rapport d'inhérence ou d'identité mais une relation d'équivalence: P ⇔ Q.

Dans l'inférence du qiyas, l'équivalence comme relation logique fondamentale (entre asl et far') assure la rigueur du raisonnement.

- le problème revient donc à découvrir en même temps qu'à démontrer cette équivalence. Mais on n'y parviendra qu'au prix d'une modification de l'aspect des objets contenus dans l'hypothèse à savoir le 'asl=P et le far' (ou furu') =Q, modification qui par une analyse de ces objets en constituants immédiats et une mise en correspondance biunivoque de ces derniers fera apparaître de nouvelles relations entre P et Q.

On pourra donc construire avec ces relations une structure ou un ensemble intégré d'implications plus large qui intégrera asl et far' et établira ainsi leur équivalence.

Les opérations constructives sont le moyen d'établir l'équivalence.

- Cette dernière n'est donc pas une équivalence de co- inclusion, dont la fonction essentielle est de fonder la simple co- appartenance des éléments à leur classe en vertu d'une ou plusieurs qualités commune mais une équivalence généralisée, opératoire et *extensive* (non qualitative ou intensive) qui permet le passage réversible ou la déduction directe et inverse d'un élément relation (implication) à un autre élément sans référence à la classe logique qui pourrait éventuellement les contenir. Aussi, la totalité structurée qui résulte de cette construction ne peut-elle se confondre avec une telle classe puisque les éléments qui la composent n'y sont pas emboîtés mais reliés directement entre eux ; ce qui permet de passer de l'un à l'autre par l'intermédiaire de cette relation sans le détour ***du tout à la partie***. Chacun d'eux ne constituant ainsi qu'un cas particulier dans la structure qui l'intègre – par synthèse ou composition- ou un chaînon partiel dans l'enchaînement déductif sous-jacent à ce type de synthèse.

Les opérations constructives sont le moyen d'établir une équivalence généralisée (non qualitative) et aboutissant à la constitution d'une structure non seulement plus générale mais plus riche et donc plus féconde.

4.4.2 Le signe et la combinatoire

Un signe linguistique a essentiellement pour fonction d'exprimer une relation entre une forme linguistique comme un son, un mot, ... et son sens. La notion de signe linguistique qui a prédominé en linguistique contemporaine est celle qui a été introduite par le linguiste suisse Ferdinand de Saussure[Sau90]. Dans son opinion, un signe linguistique est une opposition binaire entre un "signifiant " (la forme) et un " signifié " (le sens) [Sau90]. Dans cette relation dyadique, le signifiant a une relation directe avec le signifié. Et c'est ce " direct " cette " immédiateté " qui s'est avérée avantageuse pour les descriptions mathématiques et logiques du langage naturel sous forme de relation entre les formules syntaxiques et les types sémantiques. Peirce a introduit la notion de signe linguistique triadique avec la motivation principale que l'opposition signifiant/signifié est artificielle et que le *tout* doit pouvoir être pris aussi en compte et non juste ses parties[Kru95]- figure2-.

D'après Peirce, un signe est une représentation de quelque chose par rapport à un interprétant.

L'objet est une identité externe qui est une actualité qui se présente comme quelque chose d'identifiable à travers une *résistance* [Pei58]. L'interprétant est une "cognition produite dans l'esprit" et véhiculée par un signe. En d'autres mots, *l'interprétant est la cognition actuelle de la relation entre le signe et l'objet.*

Un interprétant est un universel, une idée ou une régularité qui relie le signe et l'objet, c'est un cadre *conceptuel* pour relier signe et objet. Les interprétants sont les interprétations qui sont actuellement *crues* par celui qui interprète. C'est cette théorie qui sous tend la théorie de l'abduction et qui sert de fondements aux approches de grammaires formelles qui ne sont pas fondées sur le signe saussurien.

Comme méthodes d'investigation scientifique, l'approche Peirceenne et l'approche de Sibawayhi sont toutes deux des approches phénoménologiques de par leur rejet de l'essence. Ce sont toutes deux des approches qui cherchent à comprendre les objets et à les expliquer en se basant sur l'analyse de données observées (exploratory data analysis).

Néanmoins, comme nous avons pu le voir, les deux approches sont fondamentalement différentes. En effet, tandis que Peirce tente de résoudre par sa conception des trois catégories le problème du rapport du tout à la partie dans la compréhension des objets, Sibawayh ne se place pas du tout dans un tel rapport. Ceci est traduit par la conception de l'implication sous entendue par une hypothèse que nous avons vu Peirce lui même énoncer comme devant être intensive alors que dans l'approche de Sibawayh, nous avons affaire à une implication extensive, de plus réversible. Les structures sont considérées pour elles mêmes et sans le rapport des parties au tout.

D'après Peirce, un signe est une représentation de quelque chose par rapport à un interprétant. L'objet est une identité externe qui est une actualité qui se présente comme quelque chose d'identifiable à travers une *résistance* [Pei58]. L'interprétant est une "cognition produite dans l'esprit" et véhiculée par un signe. En d'autres mots, l'interprétant est la cognition actuelle de la relation entre le signe et l'objet. Un interprétant est un universel, une idée ou une régularité qui relie le signe et l'objet, c'est un cadre *conceptuel* pour relier signe et objet.

Les interprétants sont les interprétations qui sont actuellement *crues* par celui qui interprète. C'est cette théorie qui sous tend la théorie de l'abduction et qui sert de fondements aux approches de grammaires formelles qui ne sont pas fondées sur le signe saussurien.



Par ailleurs, nous avons pu voir aussi que les catégories de base dans l'analyse du qiyas sont les transformations: ce sont les transformations qui déterminent les constituants du discours.

En revenant un peu aux notions que nous avons vu dans le chapitre 3, la langue arabe est pensée comme une combinatoire et les objets du langage comme des arrangements de cette combinatoire. Les combinaisons n'existent pas dans la combinatoire. Elles sont en "puissance" dans le pouvoir de celui qui combine. Cela revient à dire et c'est ce là le sens profond de la théorie du mawdi', qu'un objet n'a pas d'identité par lui même mais par la place qu'il occupe dans la combinatoire (plus formellement la structure comme nous l'avons dans la théorie du mawdi').

Pour récapituler et conclure cette analyse, en considérant le processus d'investigation dans les deux approches nous avons trouvé que:

- La génération d'hypothèses chez Peirce est liée à la perception, au "guessing instinct". C'est un processus d'interprétation basée sur une cognition *interne*.
Chez Sibawayh, le qiyas, par les opérations de mise en correspondance cherche à conférer à chaque élément à analyser une position dans une structure. C'est un processus *externe* d'action sur les objets de l'analyse.
- Le processus de reconstruction interprétative de causes et d'intentions impliqués par la notion d'interprétant chez Peirce est remplacé chez Sibawayh par un processus de reconstruction qui est basé sur la transformation ou l'action : l'explication est ici opératoire, constructive et non interprétative.

Par conséquent, nous proposons de caractériser le qiyas dans l'approche de Sibawayhi comme un raisonnement **explicatif à base d'action**.

Nous proposerons des fondements pour la formalisation dans le chapitre suivant.

- 5.1 Notion de grammaire d'action
 - 5.1.1 Grammaires de constituants et grammaires de dépendances
 - 5.1.2 La grammaire de Sibawayh: grammaire d'action
 - 5.1.3 Typologie des classes de grammaires.
 - 5.2 Vers des fondements théoriques pour la grammaire de Sibawayhi
 - 5.2.1 La théorie du mawdi' revisitée
 - 5.2.2 La théorie mathématique des catégories
 - 5.3 Conclusion
-

5.1 Notion de Grammaire d'action

A l'heure actuelle, sous le paradigme de grammaire formelle contemporaine, il existe une panoplie de grammaires. Notre objectif ici n'étant pas de décrire ces grammaires –nous renvoyons le lecteur pour cela à [Kru98] [Ste00] –, nous dirons seulement ici, que l'objectif de toutes ces grammaires quelque soit l'approche qu'elle représente est d'offrir un meilleur niveau d'abstraction qui permettrait d'appréhender et d'expliquer la structure de la langue.

Les grammaires peuvent être regroupées en deux classes selon le niveau d'abstraction ou se situe l'analyse et qui est représenté par les catégories de base considérées par le processus d'analyse.

Les grammaires de constituants considèrent les constituants eux mêmes comme catégories de base (HPSG, GPSG, LFG,), les grammaires de dépendances, elles, considèrent les dépendances fonctionnelles entre les constituants comme catégories de base (DBLG [Kru98]).

5.1.1 Grammaires de constituants et grammaires de dépendances

Constituants ou dépendances? Est une question au cœur du débat en grammaire formelle contemporaine. Comme théories de la syntaxe des langues naturelles, ces approches sont fondées sur les hypothèses suivantes respectivement:

L'hypothèse pour les dépendances: la structure du langage naturel peut être expliquée en termes de comment les unités distinctes du discours peuvent être relatées par des relations sémantiquement motivées. Cette approche est fondée sur la théorie du signe triadique et le "sémantiquement" dans la phrase précédente n'est autre que l'interprétant/contexte de la théorie Peirceenne. Le raisonnement sous-tendant une telle approche étant le raisonnement pragmatique abductif par ailleurs.

L'hypothèse pour les constituants (immédiats): les aspects principaux de la structure syntaxique d'une phrase sont capturés de façon appropriée en divisant la phrase en n parties, dont chacune peut être divisée à son tour, ... jusqu'à ce que les unités (mots) individuelles soient atteintes. Le raisonnement sous-tendant une telle approche est le raisonnement déductif classique.

Que chacune de ces deux hypothèses puisse être comptée comme une **explication** conduisant à une théorie dépendra ultimement de sa vérification par les données empiriques qu'elle est supposée expliquer: la syntaxe du langage naturel.

En fait, à partir de l'analyse effectuée dans les précédents chapitres concernant l'opposition déduction/abduction et signe dyadique/signé triadique, nous pouvons envisager avec les partisans de l'approche dépendances [Kru98] que cette dernière offre effectivement une meilleure flexibilité et une meilleure granularité au niveau de l'analyse.

5.1.2 La grammaire de Sibawayhi: Grammaire d'action

A partir de l'analyse de l'approche de Sibawayhi comme processus d'explication et d'investigation scientifique en prenant comme référentiel de comparaison, le processus d'explication Peirceen, que nous avons effectuée dans les précédents chapitres, nous avons pu voir que les deux processus ne sont pas équivalents mais fondamentalement différents.

L'hypothèse sous-jacente à l'approche de Sibawayh est celle d'un système combinatoire où la mise en correspondance donc les transformations déterminent les constituants de l'énoncé.

Nous proposons par conséquent, l'introduction de la notion de "grammaire d'action" comme une nouvelle classe de grammaires formelles et représentée par la grammaire de Sibawayh. Cette approche considère comme catégories de base les transformations- actions (la mise en correspondance) et est fondée non sur une théorie du signe dyadique ou triadique mais sur la théorie du mawdi' que nous allons re- visiter par la suite.

5.1.3 Typologie des classes de grammaires

En reprenant donc la classification des approches de grammaire formelle ci-dessus, et en y intégrant la classe proposée:

Hypothèse pour les grammaires d'actions: la structure du langage peut être expliquée par la mise en correspondance des énoncés en vue d'établir la structure qui les intègre. La mise en correspondance met en jeu des ensembles de transformations. Ce sont ces transformations qui vont permettre d'établir les constituants de l'énoncé. Cette approche est fondée sur la théorie du mawdi'. L'inférence la sous-tendant étant le qiyas que nous avons caractérisé comme un raisonnement explicatif à base d'action.

Hypothèse pour les dépendances: la structure du langage naturel peut être expliquée en termes de comment les unités distinctes du discours peuvent être relatées par des relations sémantiquement motivées. Cette approche est fondée sur la théorie du signe triadique et le "sémantiquement" dans la phrase précédente n'est autre que l'interprétant/contexte de la théorie Peirceenne. Le raisonnement sous-tendant une telle approche étant le raisonnement pragmatique abductif .

Hypothèse pour les constituants (immédiats): les aspects principaux de la structure syntaxique d'une phrase sont capturés de façon appropriée en divisant la phrase en n parties, dont chacune peut être divisée à son tour , ... jusqu'à ce que les unités (mots) individuelles soient atteintes. Le raisonnement sous-tendant une telle approche est le raisonnement déductif classique.

5.2 Vers des fondements théoriques pour la grammaire de Sibawayh:

5.2.1 La théorie du Mawdi' revisitée:

Nous avons vu que l'analyse des anciens grammairiens arabes de la tradition de Sibawayh est essentiellement de nature opératoire, ce qui les intéresse. Ce qui fait l'objet de l'explication, pour eux, c'est le schéma de réalisation.

Pour ces grammairiens, la forme est l'arrangement des éléments non pas en un simple système d'oppositions ou d'inclusions mais en une structure où les éléments d'une classe sont mis en correspondance avec ceux d'autre classes. De plus, à toute structure s'oppose à un niveau inférieur d'abstraction (ihtibar) l'ensemble des éléments qu'elle informe d'une manière non nécessairement intensive et à un niveau immédiatement supérieur une autre structure qui l'intègre.

Nous avons vu qu'un "mawdi' " dans l'optique de la grammaire de Sibawayh est *"une position abstraite dans un schème opératoire ou mital"*, nous avons vu aussi que *chaque élément occupe une position dans le système de la langue et que le processus du qiyas vise à expliquer la structure du langage en conférant à chaque élément analysé une position dans un schème opératoire*

correspondant. Il s'agit de représenter les éléments linguistiques dans ce qu'il ont de général c'est à dire la structure qui leur est commune et qui doit à elle seule faire l'objet de l'explication.

Sibawayh dit par exemple: "...le *ism* a pour positions premières les *mawdi*'-s où sont régis les items". Et c'est la position ou le *mawdi*' d'un élément dans le *mital* qui le caractérise qui détermine la fonction grammaticale de cet élément (voir l'exemple de la lexie nominale chapitre 3).

Donc, le *mawdi*' n'est défini ni par la distribution (spatiale) ni par la fonction, il s'agit d'une position que peut occuper une classe d'éléments non pas seulement dans l'axe syntagmatique mais dans un schème opératoire abstrait à partir des deux axes en même temps.

5.2.3 La Théorie Mathématiques des Catégories

La théorie mathématique des catégories est née de l'observation (Eilenberg-MacLane 1942) que la collection de toutes les structures mathématiques possibles d'un type donné , *ensemble avec toutes les correspondances entre elles*, constitue elle même une instance d'une structure non triviale qui peut être étudiée en elle même. Partant de cette idée, les objets d'études ne sont pas tant les catégories mais les correspondances entre elles: foncteurs, transformations naturelles, ... [Stef96].

La Théorie des Catégories a eu beaucoup de succès dans l'unification d'idées de différentes disciplines des mathématiques, actuellement elle représente un outil indispensable pour les chercheurs en topologie, algèbre abstraite, logique mathématique et informatique fondamentale pour ne citer que quelques domaines.

La raison de son succès est que la théorie des catégories fournit un langage de modélisation mathématique unifié et économique. Elle se prête très bien à l'extraction et à la généralisation des notions élémentaires et des constructions dans les disciplines mathématiques[Stef96].

Grâce à sa nature générale , le langage de la Théorie des Catégories permet de "transporter" les problèmes d'une discipline mathématique à une autre où la solution est plus facile à trouver et cela via des "foncteurs" adéquats[Stef96] .

La théorie mathématique des catégories étudie les objets et les morphismes entre eux. Les concepts d'objet et de morphisme constituent les primitives de la Théorie des Catégories: les objets ne sont pas des collections d' "éléments", et les morphismes ne sont pas nécessairement des fonctions entre des ensembles c'est à dire que les morphismes ne peuvent pas être appliqué aux "éléments" mais seulement composés avec d'autres morphismes.

Il n'y a pas d'accès immédiat à la structure interne des objets: toutes les propriétés des objets sont spécifiés par des propriétés de morphismes.

Catégories: définition et exemples

La Théorie des Catégories est une théorie de fonctions, et la seule opération de base y est la composition. Le concept de **Catégorie** sous entend quelques propriétés abstraites de l'opérateur de composition " \circ " des fonctions qui sont "raisonnablement" garanties [Stef96]. En particulier, si $g: a \rightarrow b$ et $h: b \rightarrow c$, alors, il existe $h \circ g: a \rightarrow c$; de plus la composition est associative et l'identité doit exister pour tous les objets. Voici la définition formelle:

Définition *une catégorie C est*

- *une collection Ob_C d'objets, dénotés par a, b, \dots, A, B, \dots*
- *une collection Mor_C de morphismes (flèches), dénotés par f, g, \dots ,*
- *deux opérations **dom**, **cod** qui assignent à chaque flèche f deux objets appelés respectivement **domaine** (source) et **codomaine** (cible) de f .*
- *une opération **id** assignant à chaque objet b un morphisme id_b (l'identité de b) tel que $dom(id_b) = cod(id_b) = b$*
- *une opération " \circ " de composition assignant à chaque paire f, g de flèches ayant $dom(f) = cod(g)$ une flèche $f \circ g$ tel que $dom(f \circ g) = dom(g)$, $cod(f \circ g) = cod(f)$*
- *de plus, identité et composition doivent satisfaire les conditions suivantes:*

la loi d'identité: pour toutes flèches f, g tel que $cod(f) = b = dom(g)$

$$id_b \circ f = f$$

$$g \circ id_b = g$$

la loi de l'associativité: pour toutes flèches f, g, h tel que $dom(f) = cod(g)$ et $dom(g) = cod(h)$

$$(f \circ g) \circ h = f \circ (g \circ h)$$

on écrit $f: a \rightarrow b$ pour dénoter un morphisme dont la source et la cible sont respectivement a et b . étant donnés, deux objets a et b , la collection de tous les morphismes f tel que $f: a \rightarrow b$ est dénotée par $C[a, b]$; écrire $f \in C[a, b]$ est alors une troisième manière d'exprimer $dom(f) = a$ et $cod(f) = b$. La table suivante liste quelques catégories communes précisant leurs objets et morphismes:

Catégorie	Objets	Morphismes
Ensemble	ensembles	fonctions
Topologie	espaces topologiques	fonctions continues
Vecteur	espaces vectoriels	transformations linéaires
Grp	groupes	homomorphismes de groupes
PO	ensembles partiellement ordonnés	fonctions monotones

L'intuition derrière la notion de "catégorie" est de considérer les objets comme une collection "structurée" d'ensembles et les morphismes comme des fonctions "associées" ou "acceptables" relativement à la structure.

Un groupe est défini en théorie des catégories comme suit:

Un groupe est une catégorie avec un objet dans laquelle tous les morphismes sont des isomorphismes.

Un foncteur est une correspondance entre deux catégories.

5.3 Conclusions et Reflexions

La classification des éléments linguistiques dans la démarche de Sibawayh est basée sur deux critères fondamentaux le "asl" et le "far". Sur la base de ces deux critères, les linguistes arabes ont établi les notions de mital (schème, pattern) et de "bab" *non pas pour examiner les objets linguistiques en eux mêmes mais pour appréhender et expliquer leur structure générale.*

Dans l'inférence du qiyas, c'est le rapport d'équivalence comme relation logique fondamentale qui assure la rigueur du raisonnement. Cette équivalence n'est pas une équivalence de co-inclusion mais une équivalence généralisée, opératoire et *extensive*, et qui permet le passage d'un élément relation (implication) à un autre élément sans référence à la classe logique qui pourrait éventuellement les contenir. Aussi, la totalité structurée qui résulte de cette construction ne peut-elle se confondre avec une telle classe puisque les éléments qui la composent n'y sont pas emboîtés mais reliés directement entre eux, ce qui permet de passer de l'un à l'autre par l'intermédiaire de cette relation sans le détour du tout à la partie. chacun d'eux ne constituant ainsi qu'un cas particulier de la structure qui l'intègre. Ceci est précisément à la base de la théorie mathématique des catégories dont le principe est exprimé dans la citation suivante: " In mathematics ,we do not have objects with an "internal" composition arranged in structures, we have only structures. The objects of mathematics, that is, the entities which our mathematical constants and quantifiers denote, are structureless points

or positions in structures, they have no identity outside of a structure" [Stef96].

Dans la théorie des catégories, toute structure est équipée d'une notion de construction ou transformation "acceptable" , à savoir un morphisme qui préserve la structure à travers la notion d'invariant.

Ce qui est intéressant aussi dans la théorie des catégories c'est qu'une fois qu'un type de structure a été défini, il devient rapidement impératif de déterminer comment de nouvelles structures peuvent être construites et comment une structure donnée peut être décomposée.

C'est ce que nous avons vu à l'œuvre dans le qiyas, la construction de structures plus abstraites et intégrant, le "gami" à travers des ensembles de transformation qui préservent le "asl" qui représente l'invariant. (Rappelons nous les isomorphismes de groupes que nous avons vu dans les exemples).

Nous proposons donc la théorie mathématique des catégories comme fondements pour la formalisation du qiyas de Sibawayhi.

- Le qiyas comme la théorie mathématique des catégories ne s'intéresse pas aux objets en eux mêmes mais aux objets en tant qu'occupant une position dans une structure.
- A travers la notion de "gami" , le qiyas opère par construction de nouvelles structures à partir de structures déjà définies en préservant le "asl".

D'autre part, en caractérisant à partir de notre analyse, l'inférence du qiyas comme un schéma de raisonnement explicatif basé sur l'action, nous avons proposé d'introduire le principe de grammaire d'action comme une nouvelle classe de grammaire représentée par la grammaire de Sibawayhi.

En effet, les approches contemporaines de grammaire formelle peuvent être réparties en deux classes selon les catégories de base de l'analyse: à savoir les grammaires de constituants qui considèrent les constituants comme catégories (atomiques) et les grammaires de dépendance qui considèrent comme catégories les relations fonctionnelles entre les constituants. Le tableau suivant récapitule nos résultats.

	Grammaires de constituants	Grammaires de dépendances	Grammaires d'action (qiyas)
Cadre logique	Logique classique	Logique Peirceenne	A construire
Théorie sous- jacente	Signe dyadique Saussurien	Signe triadique	Théorie mathématique des catégories \cong théorie du mawdi'.
Catégories	Atomiques (les constituants de l'énoncé)	Les dépendances	Les transformations (actions)
Inférence	Déduction	Abduction	Qiyas= raisonnement explicatif à base d'action.

Conclusion générale

A première vue, une fois que nous avons acquis la notion Tarskienne de vérité, la définition de ce qu'est une conséquence logique semble une notion évidente. Une conclusion est vraie si elle est vraie dans tous les modèles où les prémisses sont vraies.

Cependant, la philosophie contemporaine de la science ainsi que la tradition informatique ont montré que des notions plus naturelles d'inférence peuvent avoir besoin d'autres notions que celle de vérité dans le sens décrit précédemment ou même être carrément basées sur d'autres types de propriétés. Par exemple, parmi les candidats qui tournent autour de la notion de vérité, l'inférence statistique ne requiert pas l'inclusion totale des modèles de prémisses dans les modèles des conclusions, mais seulement une couverture significative de ces derniers résultant en un haut degré de certitude.

D'autres approches introduisent de nouvelles primitives sémantiques notamment les notions de raisonnement causal et raisonnement de défauts de Shoam [Sho88] qui introduit un ordre de préférence sur les modèles, requérant que seulement les modèles de prémisses les plus préférés soient inclus dans les modèles des conclusions.

De façon plus radicale, la sémantique dynamique remplace la notion de vérité par la notion de *changement d'information*, dans le but de modéliser le flot d'information [Bar95][vBe93].

Le contenu informationnel plutôt que la notion de vérité est aussi la propriété sémantique clé en théorie situationnelle [PB83].

En plus des approches basées sur la notion de vérité et des approches basées sur l'information, il y a aussi les approches basées sur la théorie de la preuve qui sont des variations de la notion de conséquence standard [Ali97][Bel00] et qui ont caractérisé l'abduction comme un raisonnement explicatif dépendant du contexte .

Cependant,

"Scientific objectivity is best characterized by the concept of invariance as explained by Category theory than the concept of truth as explicated in logic" [stef96][Sne84].

Or, nous avons pu voir que l'objectif du qiyas est de conférer à chaque élément à analyser une position dans un mital expliquant ainsi son existence dans le système.

En fait, en ce sens, le problème des mathématiciens et des linguistes est quels sont les objets d'analyse à appréhender: les objets isolés ou plutôt les objets à l'intérieur d'une structure. Ce ci est exprimé par Resnik cité dans [Stef96] et il est remarquable de constater que c'est exactement l'intuition derrière la théorie du mawdi' :

"In mathematics, I claim , we do not have objects with an "internal" composition arranged in structures, we have only structures. The objects of mathematics, that is, the entities which our mathematical constants and quantifiers denote are , structureless points or positions in structures. As positions in structures, they have no identity outside of a structure."

Resnik, comme Sibawayh, prend les objets (mathématiques) , qu'ils soient des nombres, des ensembles, fonctions, ... comme des entités qui occurent dans des structures mathématiques. Ces objets occupent des *positions* à l'intérieur de ces structures, leur identité étant déterminée seulement par leur relation avec les autres positions de la structure.

Notre ambition dans l'entreprise de ce travail de recherche a été d'atteindre un double objectif:

- En essayant de caractériser le système de la langue arabe et de proposer des fondements théoriques pour le qiyas, notre objectif est de contribuer à une compréhension "authentique" du système de cette langue.

En effet, nous estimons que devant le problème de la formalisation de la langue arabe deux attitudes sont possibles:

La première et la plus facile consiste à adopter un quelconque modèle proposé par le système occidental et qui permet de prendre en compte plus ou moins quelques aspects de la langue arabe.

La deuxième consiste à reconnaître à la langue arabe son statut propre et dès lors, partir sur une caractérisation et des fondements authentiques de son système sous-jacent. En voulant comprendre le système authentique de la langue arabe à travers l'approche proposée dans cette étude nous nous situons dans cette deuxième attitude.

- notre deuxième objectif à travers ce travail et qui est peut-être plus ambitieux est d'apporter à travers l'étude de la notion d'explication dans l'approche de Sibawayh, une contribution à l'étude de l'explication en Intelligence Artificielle. Nous pensons avoir mis en lumière une telle contribution –le qiyas n'est pas notre œuvre, nous avons seulement cherché à le mettre en valeur dans le cadre des problèmes posés en IA et en Philosophie de la Science-. En effet,

jusqu'à maintenant, les approches en IA et en Philosophie de la science n'ont pas encore à notre connaissance envisagé une pareille démarche opératoire de l'explication.

Comme perspectives pour ce travail, il s'agit en premier lieu de construire à partir des résultats proposés le formalisme calculatoire pour la grammaire d'action et qui servira à l'analyse automatique de la langue arabe.

Dans une seconde étape, en proposant (pour la première) de fonder une théorie linguistique sur la théorie mathématique des catégories, il serait intéressant d'explorer la possibilité de généraliser la théorie mathématique des catégories comme fondements universels pour les langues naturelles. L'objectif des linguistes de tout temps n'a t-il pas été la recherche de la grammaire universelle?

Enfin, il serait intéressant d'étudier l'explication opératoire dans le cadre de la construction de systèmes intelligents en IA et en particulier les aspects non monotonie et révision de croyances.

Bibliographie

- [Ali96] A. Aliseda. "A Unified Framework for Abductive and Inductive Reasoning in Philosophy and AI". Ecai'96 workshop on Abductive and Abductive Reasoning. Budapest 1996.
- [Ali97] Atocha Aliseda. *Seeking Explanations: Abduction in Logic, Philosophy of Science and Artificial Intelligence*. PHD dissertation, Stanford, 1997.
- [Awb95] J. Awbrey, S. Awbrey. "Interpretation as Action : the Risk of Inquiry". Proceeding Fall'95. 1995.
- [Bar95] J Barwise, D. Gabbay, C. Hartonas. *On the Logic of Information Flow*. Bulletin of the IGPL, vol.3 n1. 1995.
- [Bel00] J. Bell. "Pragmatic Resoning and Scientific Reasoning". Position Paper . Ecai'2000 worshop on Scientific Reasoning. Berlin 2000.
- [Bel96] J. Bell. "Inductive, Abductive and Pragmatic Reasoning ". Ecai'96 12th european conference on Artificial Intelligence, Workshop on Abductive and Inductive Reasoning, Budapest.
- [Bet59] E. W. Bet. *The Foundations of Mathematics*. Amsterdam. North Holland, 1959.
- [Byl91] T. Bylander & al. *The computational complexity of abduction* . Artificial Intelligence 49 pp 25-65. 1991.
- [Cel80] M. Celi. "la parole arabe". Editions le seuil 1980.
- [Char83] E. Charniak. *The Bayesien basis of common sense medical diagnosis*. Proceedings of AAAI'83, pp 70-73.
- [Char94] E. Charniak & S.E. Shimony. *Cost based Abduction and MAP explanations*. Artificial Intelligence 66(1994), PP345-374.
- [Cho94] Yu , Chong Ho « Abduction ? Decution ? Induction ? Is there a Logic of Exploratory Data Analysis ? » Annual Meeting of American Educational Research Association, New Orleans Louisiana, April, 1994.
- [Chom69] N. Chomsky. *Structures Syntaxiques*. Editions du Seuil. 1969.
- [Chom72] N. Chomsky. *Reflexions sur le langage*. Editions solin 1972.
- [Chom82] N. Chomsky. *Lectures on Government and Binding*. Foris Pub, Dordrecht, Holland, 1982.
- [Chom86] N. Chomsky. *Barriers*. Linguistic inquiry, monograh N° 13 MIT Press, 1986.
- [DBP91] D. Dubois & H. Prade. *Possibilistic Logic, preferential models, non-monotonicity and related issues*. Proceedings of IJCAI'91 pp 419-425.

- [Dek86] J. deKleer. *Problem Solving with the ATMS*. Artificial Intelligence 28(1986) pp197-224.
- [Den96] M. Denecker, B. Martens, L.De Raedt. "On the Difference between Abduction and Induction: a model theoretic perspective". Ecai'96 proceeding. Wahlster eds.
- [Dim96] Y. Dimopoulos, A. Kakas. *Abduction and Induction: an AI Perspective*. Proceeding ecai96.
- [Dub] D. Dubois, H. Prade. "Possibilistic Abduction". Artificial Intelligence--
- [Duc69] O. Ducrot. *Le structuralisme en linguistique*. Editions du Seuil 1969.
- [Esh89] K. Eshghi & R. A. Kowalski. *Abduction compared with negation as failure*. In proceedings of the sixth international conference on logic programming. 1989.
- [Fla95] P. Flash. *Conjectures: an inquiry concerning the logic of induction*. PHD thesis, Tilburg University 1995.
- [Fla96a] P. Flash. "Abduction and Induction : syllogistic and inferential perspectives " in Abductive and Inductive Reasoning Workshop Notes. ECAI96. Budapest, august1996.
- [Fla96b] P. Flash, A. Kakas. *Workshop Report Ecai'96 on Abductive and Inductive Reasoning in AI*. 1996.
- [Fuc93] C. Fushs, P. Le Goffic. *Les linguistiques Contemporaines, Repères Théoriques*. Hachette, 1993.
- [Gac97] S. Gacem Zoubaidi. "Al-qiyas fi al-Nahw Al-Arabi". Editions Dar Elshourouk.1997.
- [Gin80] Ibn-Ginni. "al-Hasais". Eds le Caire, 1980.
- [Gru00] D. Gruender. "On Explanation: Aristotelician and Hempelian". 20th workshop on Scientific Reasoning.Ecai'00 Berlin,2000.
- [Haj79] A. Haj-Salah. "Linguistique Arabe et Linguistique Générale, Essai de Méthodologie et d'épistémologie de la langue arabe". Thèse de Doctorat, Paris, Sorbonne 1979.
- [Han61] N.R. Hanson. *Patterns of Scientific Discovery*.. Cambridge University Press. 1961.
- [Har65] G. Harman. *The Inference to the Best Explanation*. Philosophical Review. 74 88-95 (1965)
- [Har86] G. Harman. *Change in View: Principles of Reasoning*. Cambridge, Mass. MIT Press, 1986.
- [Hem65] C. Hempel. "Aspects of Scientific Explanation". In Carl Hempel *Aspects of Scientific Explanation and other essays in the Philosophy of Science*. The free Press, New York. 1965.

- [Hol86] J. Holland, K. Holyoak, R. Nisbet, P. Thagard. *Induction, Processes of Inference, learning and discovery*. MIT Press 1986.
- [HSAM93] J.R. Hobbs, M. Stickel, D. Appelt, P. Martin. *Interpretation as Abduction*. Artificial Intelligence 63 (1993) pp 69-142.
- [Ino93] K. Inoue & al. *Bottom up Abduction by model generation*. Proceedings of the 13th IJCAI. 1993.
- [Jos94] J. R. Josephson . *Abductive Inference*. Cambridge University Press, 1994.
- [KKT95] A. C. Kakas, R. A. Kowalski, F. Toni. *Abductive Logic Programming*. Journal of logic and computation 2(6) pp719-770, 1995.
- [Kle86] J. de Kleer, "*An assumption base TMS*", artificial Intelligence 28(1986) PP127-162.
- [KM94] A. Kakas, P. Mancarella. *Knowledge Assimilation and Abduction*. In Proceedings of ECAI'90 workshop on Truth Maintenance, Stockholm, Springer Verlag Lecture Notes on Computer Science. 1990.
- [Kon90] K. Konolige. *A general theory of abduction*. In Automated Abduction working notes, spring symposium, Stanford university 1990.
- [Kru95] G-J. Kruijff. *the unbearable Demise of Surprise : reflections on Abduction in Artificial Intelligence and Peirce's Philosophy*. Master thesis. 1995.
- [Kru97] G.J. Kruijff. *Concerning logics of abduction, on integrating Abduction and Induction*. IJCAI'97 workshop on Abduction and Induction in AI. 1997.
- [kru98] G.J. Kruijff. *Basic Dependency Based Logical Grammar*. Technical Report. May 1998.
- [Lak76] I. Lakatos. *Proofs and Refutations. The Logic of Mathematical Discovery*. Cambridge university Press. 1976.
- [Lea91] D.B. Leake. *Goal based explanation evaluation*. Cognitive Science, vol 15 no 4, 1991, pp 509-545.
- [Lea92] D.B. Leake. "*focusing constructions and selection of abductive hypotheses*"... 1992.
- [Lev89] H.J. Levesque. *A knowledge level account of abduction*. Proceeding of the 11th IJCAI. 1989.
- [Llo87] J.W. Loloyd. *Foundation of logic programing*. Springer verlag 2nd edition, 1987.
- [May96] M.C Mayer, F. Pirri. *A Study on the Logic of Abduction*. ECAI'96 proceeding. Washler Editions.
- [May98] M.C. Mayer , F. Pirri. *Towards a logical characterization of abductive reasoning* . Report DII.1.2P Esprit Research Project 6471. 1998.

- [Mil58] J.S. Mill. *A System of Logic*. Reprint, *Collected works of John Stewart Mill*. Routledge London . 1958.
- [Mor97] B. Morand "*Les sens de la signification. Pour une théorie à priori du signe.*" *Revue Intellectica*, vol.2 n° 25, 1997.
- [Nag79] E. Nagel. *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*, 2nd edition. Hackett Publishing company. Cambridge 1979.
- [Nub97] J. Nubiola. "*Walker Percy and Charles S. Peirce : Abduction an Language*". International Congress"Semiotics Bridging Nature and Culture. Mexico, 1997.
- [Pag96] M. Pagnucco. *The Role of Abductive Reasoning within the Process of Belief Revision*. PHD dissertation, Sydney Univ 1996.
- [Pau93] G.Paul. *Approaches to abductive reasoning: an overview*". *Artificial Intelligence Review*, 7: 109-152, 1993.
- [Pea88] J. Pearl. "*Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of plausible inference*" , 1988.
- [Pei58] C.S. Peirce. *Collected Papers*. Cambridge. Harvard. University Press.
- [Pei68] C.S. Peirce. *On a New List of Categories*. *Proceeding of the Americain Academy of Arts and Sciences* 7 (1968)
- [Pen90] Y. Pen, J.R. Reggia. "*Plausibility of diagnostic hypothesis: the nature of simplicity*" *Proceedings AAAI'86*. PP 441-452. 1986.
- [Per--] J. Perry , D. Israel. *Fodor and Psychological explanations* .
- [PG87] D. Poole, R. G. Goebel, *Theorist: a logical reasoning system for default and diagnosis*. Springer verlag lecture notes in computer science 331-352. 1987.
- [Pir95] M.F. Pirri. *Abduction*. PHD thesis Paris 3 university. 1995.
- [Pol45] G. Polya. *How to solve it? A new aspect of mathematical method*. Princeton University Press. 1945.
- [Pol54] G. Polya « *Induction and Analogy in Mathematics* » Vol 1. Princeton university Press. 1954.
- [Pol62] G. Polya. *Mathematical discovery. On understanding, learning and teaching problem solving*. Vol I. John Wiley & sons. London. 1962.
- [Poo88] D. Poole. *A logical Framework for Default Reasoning*. *Artificial Intelligence*, 36:27-47, 1988.
- [Poo89] D. Poole. *Explanation and Prediction: An Architecture for Default and Abductive Reasoning*. *Computer Intelligence*. 5. 1989.
- [Pop58] K. Popper. *The logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson 1958.

- [Pop63] K. Popper. *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*. Routledge 1963.
- [Pop73] H.E. Pople. *On the Mechanisation of Abductive Logic*. IJCAI'73. 1973.
- [Pre96] E. Prem. *the referential Basis of Abduction and Logic*. Ecai'96 12th european conference on Artificial Intelligence, Workshop on Abductive and Inductive Reasoning, Budapest, Hungary.
- [Psi96] S. Psillos . *Ampliative Reasoning : Induction or Abduction ?* Ecai'96 workshop on Abduction and Induction in AI. Budapest, 1996.
- [Rei80] R. Reiter. *A logic for default Reasoning*. Artificial Intelligence Journal, 13: 81-132, 1980.
- [Rei87] R. Reiter. "A theory of diagnostic from first principles" Artificial Intelligence 32 PP 57-96, 1987.
- [Res78] N. Rescher. *Peirce's Philosophy of Science. Critical Studies in his Theory of Induction and Scientific Method*. University of notre Dame, 1978.
- [Rub90] D.H. Ruben. *Explaining Explanation*. Routledge, 1990.
- [Ruw80] N. Ruwet. *Introduction à la grammaire générative*. Librairie Plon Paris.
- [Sak98] C. Sakama, K. Inoue. *On Generality in Abduction and Induction*. Ecai'98 workshop on Abduction and Induction in AI. 1998.
- [Sal77] W. Salmon. *A third Dogma of Empiricism*. Basic Problems in Methodology and Linguistics, Reidel, Dordrecht. 1977.
- [Sal90] W. Salmon. *Four Decades of Scientific Explanation*. U. Minnesota Press, 1990.
- [Sau90] F. Saussure. *Cours de Linguistique Générale*. Enag Rééditions. 1990.
- [Sha83] S. Shapiro. *Mathematics and Reality*. Philosophy of Science. Vol 50, 1983.
- [Shap91] E. Shapiro. *Inductive Inference of Theories from Facts*. Cambridge MIT Press. 1991.
- [Shap92] M. Shapiro. "Peircean Linguistics" lecture Handout, april 1992.
- [Sib80] Sibawayah. "Al-kitab". Eds Bulaq 1980.
- [SLB81] H. Simon, P. Langley, G. Bradshaw. *Scientific Reasoning as Problem Solving*. Synthese, vol47. 1981.
- [Sne84] J. Sneed. *Reduction, Interpretation and Invariance*. In *Reduction in Science*. Balzer et al editions. D. Reidel, 1984.
- [Ste00] M. Steedman. *The syntactic Process*. Cambridge, Mass, MIT Press 2000.
- [Stef96] R. Stefanik. *Structuralism, Category Theory and Philosophy of Mathematics*. Washington: MSG Press. 1996.

-
- [Sup96] P. Suppes. *Foundations of Probability with Applications*. Cambridge University Press.
- [Tan92] Y. H. Tan. *Non-Monotonic Reasoning: Logical Architecture and Philosophical Applications*. PHD Thesis. Amsterdam 1992.
- [Tan95] M.C. Tanner, J.R. Josephson. *Abductive Justification*. AAAI'98.
- [Tha88] P. Thagard. *Computational Philosophy of Science*. Cambridge, MIT. 1988.
- [Tha94a] P. Thagard, C.Shelley "Limitations of current models of abductive reasoning ", Logic, Methodology and Philosophy of Science X, 1994.
- [Tha94b] P. Thagard. *Mind, Society and the growth of knowledge* . Philosophy of Science, December 1994.
- [vBe93] J. van Benthem. *Logic and the Flow of Information*. ILLC, Amsterdam LP-91-10.1993.
- [vFr80] B. van Frassen. *The Scientific Image*. Clarendon Press, 1980.
- [Wir98] Uwe Wirth « *what is Abductive Inference ?* » Encyclopedia of Semiotics, ed by Paul Bouissac , Oxford University Press 1998.
- [Wri63] G.H. von Wright. *The Logic of Preference*. Edinburg University Press, 1963.

Rappels et Définitions

- **loi de composition:** on appelle loi de composition interne sur un ensemble E toute application de $E \times E$. A tout couple $(a, b) \in E^2$, la loi associe un élément unique c dans E ; a est appelé le premier terme, b le second terme et c la composée de a et b .
- **Magma:** on appelle magma le couple constitué d'un ensemble et d'une loi de composition.
- **Monoïde:** un monoïde est un magma associatif unifié (qui admet un élément unité).
- **Groupe:** on appelle groupe un monoïde où tout élément est symétrisable. En d'autres termes, un ensemble G muni d'une loi de composition interne (notée en général multiplicativement) est un groupe si:
 - i. la loi est associative: $(\forall a, b, c \in G) (ab)c = a(bc)$;
 - ii. la loi admet un élément neutre " e ": $(\forall a \in G) ae = ea = a$;
 - iii. tout élément a de G admet un inverse a^{-1} : $aa^{-1} = a^{-1}a = e$.
- **Morphisme:** soit (E, T) et $(F, *)$, deux magmas. On appelle morphisme de E dans F , pour les lois T et $*$, toute application $f: E \rightarrow F$ telle que:

$$(\forall a, b, c \in E) f(a T b) = f(a) * f(b).$$
- **Isomorphisme:** un isomorphisme est un morphisme bijectif.

