



JMMC-MEM-2300-0001

Revision : 1.0

Date : 01/09/2003

**JMMC**

**Groupe Modèles**

***CAHIER DES CHARGES***

Jean-Michel Clausse ([Jean-Michel.Clausse@obs-azur.fr](mailto:Jean-Michel.Clausse@obs-azur.fr))

*OCA*

Rossano Molfese

*OCA*

### *CHANGE RECORD*

REVISION	DATE	AUTHOR	SECTIONS/PAGES AFFECTED
REMARKS			
1.0	01/09/2003	Rossano Molfese	
	Ce rapport reprend de nombreux points du cahier des charges initialement établi par M. Denis MOURARD en mai 2003. Cette version, s'appuyant sur le compte-rendu de la réunion du 28 avril 2003, reprend également les échanges entre les différents membres du groupe JMMC-Modélisation		

## *TABLE OF CONTENTS*

<b>1</b>	<b><i>Spécification générale</i></b> _____	<b>4</b>
1.1	<b>Définition du projet</b> _____	4
1.2	<b>Spécifications générales</b> _____	4
1.3	<b>Définition des interfaces</b> _____	4
<b>2</b>	<b><i>Spécifications détaillées</i></b> _____	<b>5</b>
2.1	<b>Aspects de conception logicielle</b> _____	5
2.2	<b>Définition des fichiers de mesures</b> _____	5
2.3	<b>Définitions des affichages – Fonctionnalités à concevoir</b> _____	6
2.4	<b>Sélection du modèle</b> _____	6
2.4.1	Sélection de modèles géométriques simples _____	6
2.4.2	Définition d'un modèle analytique par un utilisateur _____	7
2.4.3	Définition des fichiers pour les modèles numériques "utilisateur" _____	7
<b>3</b>	<b><i>Effets physiques à modéliser</i></b> _____	<b>8</b>
<b>4</b>	<b><i>Ajustement</i></b> _____	<b>9</b>
4.1	<b>Définition du critère d'ajustement</b> _____	9
4.2	<b>Choix du critère d'ajustement</b> _____	9
4.3	<b>Choix de l'algorithme de descente</b> _____	9
4.4	<b>Calculs des quantités "modèles" nécessaires</b> _____	10
4.5	<b>Régularisation proprement dite</b> _____	10
<b>5</b>	<b><i>Sortie des résultats</i></b> _____	<b>10</b>
5.1	<b>Qualité de l'ajustement et pertinence du modèle</b> _____	10
5.2	<b>Définitions des sorties</b> _____	10
<b><i>Appendix A. Organigramme général du logiciel</i></b> _____		<b>11</b>
<b><i>Appendix B. Modes d'affichage de la zone graphique</i></b> _____		<b>12</b>
<b><i>Appendix C. Actions/Paramètres d'affichage de la zone graphique</i></b> _____		<b>13</b>

# 1 Spécification générale

## 1.1 Définition du projet

Le groupe a pour objectifs la définition et le développement d'un logiciel permettant l'ajustement de modèles géométriques simples, de modèles analytiques particuliers et de modèles numériques sur des données d'observation interférométriques.

## 1.2 Spécifications générales

Le cœur du logiciel est l'algorithme de recherche de minimum, développé par *Eric Thiebault*. Plus évolué qu'un algorithme de type Levenberg-Marquardt classique, l'algorithme développé permet de prendre en compte un terme de régularisation nécessaire à la prise en compte d'a priori sur le modèle de l'objet et l'élimination de solutions non-physiques.

Le programme sera composé de quatre parties principales, composées elles-mêmes de plusieurs sous-parties (voir graphe 1 en annexe : organigramme général du logiciel) :

1. Entrée :
  - a) Lecture des fichiers de mesures ( $V^2$ , Clôture, Phases différentielles...)
  - b) Affichage des mesures (en temps, fréquence ou longueur d'onde...)
2. Sélection du modèle :
  - a) Sélection de choix de modèles géométriques simples
  - b) Définition d'un modèle analytique "utilisateur"
  - c) Définition d'un modèle numérique "utilisateur"
3. Ajustement :
  - a) Choix du critère d'ajustement (quel  $\chi^2$ ?)
  - b) Choix de l'algorithme de descente
  - c) Calcul des quantités "modèles" nécessaires
  - d) Régularisation proprement dite
4. Sortie des résultats :
  - a) Qualité de l'ajustement, pertinence du modèle
  - b) Sortie des ensembles {Modèle + Mesures}

## 1.3 Définition des interfaces

Le programme est autonome, aussi bien en entrée qu'en sortie.

*En entrée:*

- Fichiers de mesures
- Interface intelligente permettant la définition d'un modèle analytique "utilisateur"
- Fichiers de modèles numériques "utilisateur"

*En sortie:*

- Fichiers de mesures
- Sorties sous la forme de fichiers et de graphiques
- Sorties sous la forme de documents imprimés

Le logiciel devra être interfaçable avec ASPRO au même titre que le logiciel de recherche de calibrateurs, mais il n'est pas nécessaire qu'il soit inclus dans ASPRO.

## 2 Spécifications détaillées

### 2.1 Aspects de conception logicielle

Le cahier des charges qui sera arrêté avant le début de la phase de conception devra préciser quels langages de programmation seront utilisés pour le codage des différentes parties du logiciel.

Le logiciel qui sera développé comportera des modules de natures différentes (calculs, communication réseaux, interfaces graphiques, etc. ...). Dans une optique d'efficacité en terme de temps de calcul, certains langages semblent donc plus adaptés (exemple : modules de calculs en FORTRAN ou en C...).

Enfin, plusieurs modules (en particulier ceux de calculs) feront nécessairement l'objet d'appel(s) par d'autres procédures, ce qui suppose une communication aisée entre les différents langages qui seront utilisés.

### 2.2 Définition des fichiers de mesures

Ces fichiers, au *format FITS*, devront contenir l'ensemble des éléments permettant à la fois d'identifier l'observation et de relire les mesures.

Une liste de données minimales a ainsi pu être établie (à compléter si besoin est) :

Partie *Observation* :

- Nom de l'objet
- Date
- Lieu et coordonnées
- Base
- Longueur d'onde
- Durée de la pose
- Coordonnées (u,v) de la fréquence spatiale moyenne pendant la pose
- ...

En ce qui concerne cette dernière donnée, une information sur le déplacement de cette fréquence est nécessaire et *Guy Perrin* propose de fournir, dans un premier temps, les données suivantes :

- (u,v) en début de pose
- (u,v) en milieu de pose (position "moyenne")
- (u,v) en fin de pose

Partie *Mesures* :

- $V^2$
- Clôture de phase
- Phases différentielles
- Matrices de corrélation
- Strehl
- ...

## 2.3 Définitions des affichages – Fonctionnalités à concevoir

Le logiciel devra permettre d'afficher les mesures contenues dans les fichiers utilisés et les résultats issus de l'ajustement dans différents systèmes de coordonnées :

- en fonction du temps
- en fonction de la fréquence
- en fonction de la longueur d'onde
- en plan (u,v)
- ...

On précisera les actions possibles ainsi que les fonctionnalités de la zone graphique, notamment (voir graphes 2 et 3 en annexe) :

### **Actions :**

- Ouvrir ou Fermer la fenêtre d'affichage
- Réduire ou escamoter la fenêtre d'affichage

### **Affichage :**

- Fenêtre unique ou plusieurs fenêtres
- Affichage simultané de plusieurs objets (cadrans) ou défilement
- Titre de l'objet représenté
- Légendes des axes des abscisses et des coordonnées
- Coordonnées du curseur

### **Fonctions :**

- Choix de la couleur ou du type de trait de l'objet représenté
- Mise à l'échelle ou changement d'échelle
- Double échelle si représentation d'un autre objet sur le même graphe
- Changement d'origine ou représentation sur un intervalle restreint
- Zoom avec choix d'affichage dans la fenêtre d'origine ou dans une autre fenêtre
- ...

## 2.4 Sélection du modèle

### 2.4.1 **Sélection de modèles géométriques simples**

Une première liste de modèles géométriques a été établie :

- Modèles d'étoiles standard :
  - Disque uniforme :
  - Disque avec assombrissement centre-bord
  - Disque avec surbrillance centre-bord
  - Disque avec tâches
- Modèles d'étoiles avec enveloppe
- Modèles d'étoiles avec disques
- Modèles d'étoiles avec jets
- Modèles de noyaux actifs avec disques et jets

Cette liste ne constitue qu'une base de travail.

**Les modèles seront à expliciter au cours de la phase de spécifications du logiciel.**

### 2.4.2 Définition d'un modèle analytique par un utilisateur

Afin de permettre à tout utilisateur de définir son propre modèle, il sera nécessaire de définir les entrées et sorties d'une "boîte noire modèle".

Le modèle pourrait ainsi être défini soit de manière analytique, soit comme le résultat d'une simulation ou encore comme le résultat de plusieurs simulations couvrant l'ensemble de l'espace utile des paramètres, le modèle étant, dans ce dernier cas, interpolable.

Cette solution permettrait de rendre le logiciel compatible avec tout modèle astrophysique, à condition que l'utilisateur programme son modèle (ou le résultat de sa simulation) de manière à le rendre interfaçable avec le logiciel d'ajustement développé.

#### Un cahier des charges de ce module devra être établi et comprendra :

- le format de la liste minimale des paramètres du modèle
- le format de la liste des observables, dont :
  - visibilités
  - clôture de phases et phases différentielles s'il s'agit d'un modèle de brillance
- le format du gradient et du hessien dans le cas où ils peuvent être fournis par le modèle (dans le cas contraire, le calcul de ces grandeurs sera calculé par le logiciel d'ajustement)

#### Remarque sur la forme du modèle des mesures :

La forme du modèle des mesures reste à déterminer : distribution d'intensité ou fonction de visibilité ?

Le choix de la forme du modèle dépendra de la conclusion tirée sur la prise en compte des effets instrumentaux et atmosphériques. En effet, deux cas se présentent :

- soit ces visibilités peuvent être calculées sur les visibilités et, dans ce cas, le modèle sera exprimé en visibilités,
- soit ces effets doivent être calculés sur la visibilité et sur la brillance et, alors, le modèle sera exprimé en brillance, en espérant que l'aller-retour brillances-visibilités n'est pas trop coûteux en temps de calcul.

Enfin, il est à noter que le modèle doit fournir des grandeurs complexes pour permettre de calculer l'influence des effets instrumentaux et atmosphériques.

### 2.4.3 Définition des fichiers pour les modèles numériques "utilisateur"

A préciser.

### 3 Effets physiques à modéliser

Les principaux effets à modéliser, dont certains sont en cours d'évaluation, ont été listés et sont les suivants :

- Effets atmosphériques
- Perturbations de la pupille
- Effets chromatiques : réfraction, etc. ...
- Pour les instruments à fibres :
  - Propagation de la cohérence (fonction de cohérence)
  - Lobe d'antenne : nécessité de prendre en compte une correction par optique adaptative
  - aux caractéristiques supposées constantes pour une longueur d'onde donnée, le profil pouvant être ensuite extrapolé à toute longueur d'onde
- [*Guy Perrin*] :  
Effet de moyennage des visibilités carrées en fonction de la résolution spectrale.
- [*Michel Tallon*] :  
Effet de moyennage des fréquences spatiales dans une fenêtre spectrale
- [*Romain Petrov*] :
  - Nécessité de la prise en compte des corrélations entre modules carrés de visibilités et clôture de phase
  - Nécessité de la prise en compte des évolutions lentes de la fonction de transfert
  - Effet de la chromaticité de la différence de marche sur la phase différentielle
  - Effet de la chromaticité de la différence de marche sur la perte de visibilité en mode multi-axial

#### Remarques sur les corrélations :

L'expression des corrélations entre visibilités carrées dues à des calibrateurs communs a été établie par *Guy Perrin* (cf. "*The calibration of interferometric visibilities obtained with single-mode optical interferometers. Computations of error bars and correlation*" 2003, A&A 400, 1173-1181).

Le calcul des corrélations entre visibilités carrées nécessite la sauvegarde, pour chaque visibilité, des visibilités carrées des deux calibrateurs (avant et après la source) et de deux coefficients calculés lors de la réduction des données (une formule simple permettant d'obtenir le taux de corrélations des erreurs entre deux visibilités quelconques à partir de ces données).

Dans le cas d'un interféromètre à N faisceaux, il est également nécessaire de sauvegarder la matrice NxN des corrélations de ces visibilités enregistrées simultanément.

**Exemple d'AMBER** : 3 visibilités et 3 phases sont déduites à partir de 16 pixels.



Les points suivants sont à évaluer :

- l'algorithme de mesure introduit-il des corrélations entre les 6 scalaires mesurés ?
- existe-t-il des bruits corrélés entre pixels ?

## 4 Ajustement

### 4.1 Définition du critère d'ajustement

Dans le cas général, le  $\chi^2$  sera la somme de trois  $\chi^2$  correspondant aux :

- modules carrés de visibilité
- clôtures de phases
- phases différentielles

La définition d'un  $\chi^2$  par défaut pour le terme de clôture a été figée, le  $\chi^2$  portant directement sur le terme de clôture.

Une alternative, entre autres, serait de minimiser le bispectre, cette démarche supposant cependant sa disponibilité.

**Remarque :** le bispectre donne de meilleurs résultats lorsque le bruit devient important.

### 4.2 Choix du critère d'ajustement

De la même manière que pour les modèles d'étoiles, l'utilisateur devra pouvoir, par le biais d'un module de calcul approprié, choisir ou définir son propre critère d'ajustement.

**Remarque :**

*Michel Tallon* propose d'exprimer le de manière très générale en utilisant les contrastes de franges et non les visibilité, un des paramètres étant la fonction de transfert.

Le premier intérêt de cette démarche est d'éviter que la calibration n'introduise artificiellement des corrélations entre des visibilité mesurées successivement (les mesures successives à manipuler deviennent indépendantes).

Le second intérêt tient au fait que l'on peut introduire explicitement et simplement une évolution temporelle de la fonction de transfert.

Cependant, une telle méthode nécessite la sauvegarde des contrastes des sources et des calibrateurs et augmente le nombre de paramètres à ajuster.

Ainsi, cette méthode, intéressante pour les problèmes les plus difficiles –pour lesquels une réduction du nombre d'hypothèses est nécessaire- ne s'impose pas pour les problèmes les plus courants et son utilisation ne doit être envisagée qu'à plus long terme.

### 4.3 Choix de l'algorithme de descente

A définir/préciser.

**4.4 Calculs des quantités “modèles” nécessaires**

A définir/préciser.

**4.5 Régularisation proprement dite**

A définir/préciser.

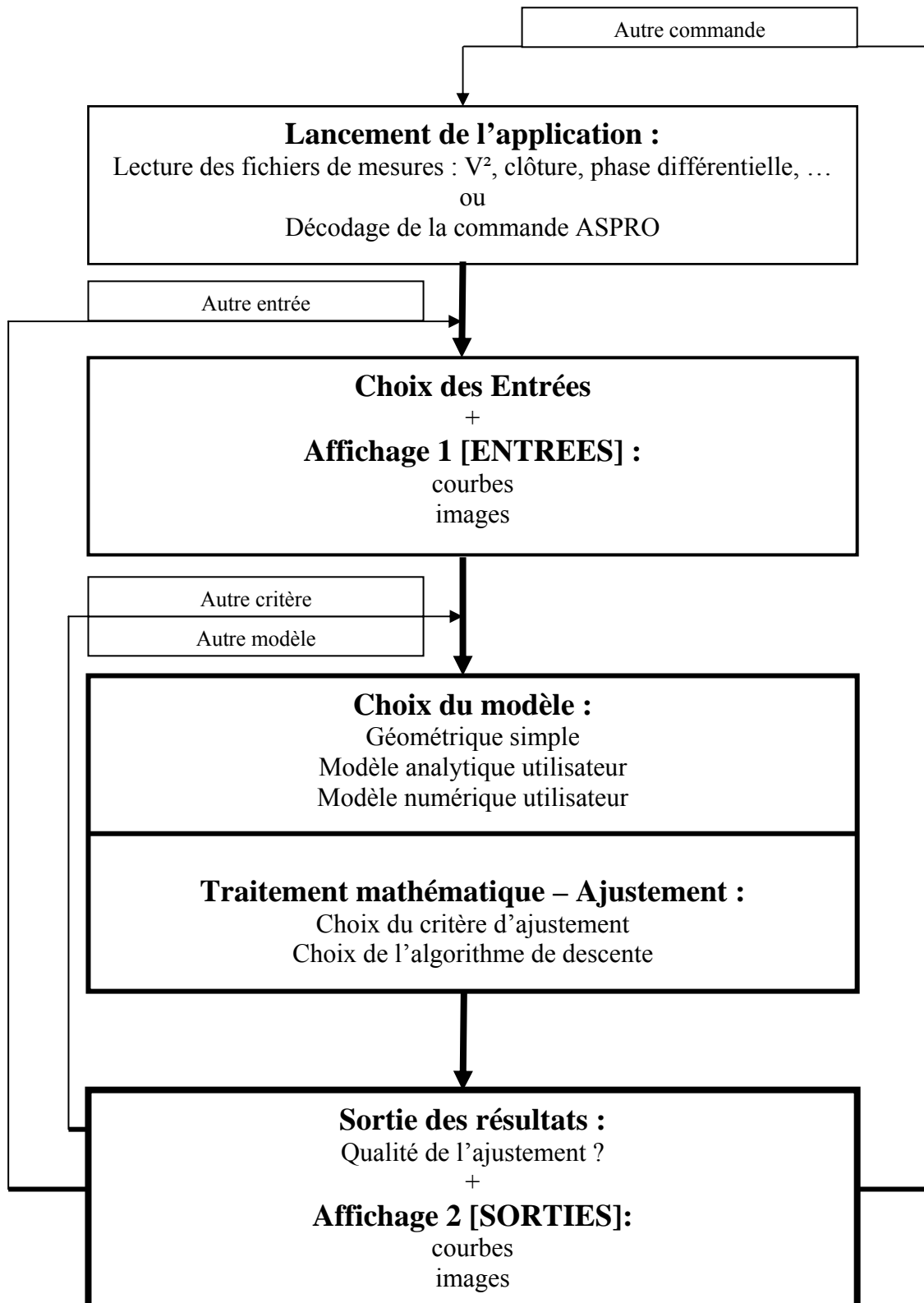
**5 Sortie des résultats****5.1 Qualité de l’ajustement et pertinence du modèle**

A définir/préciser.

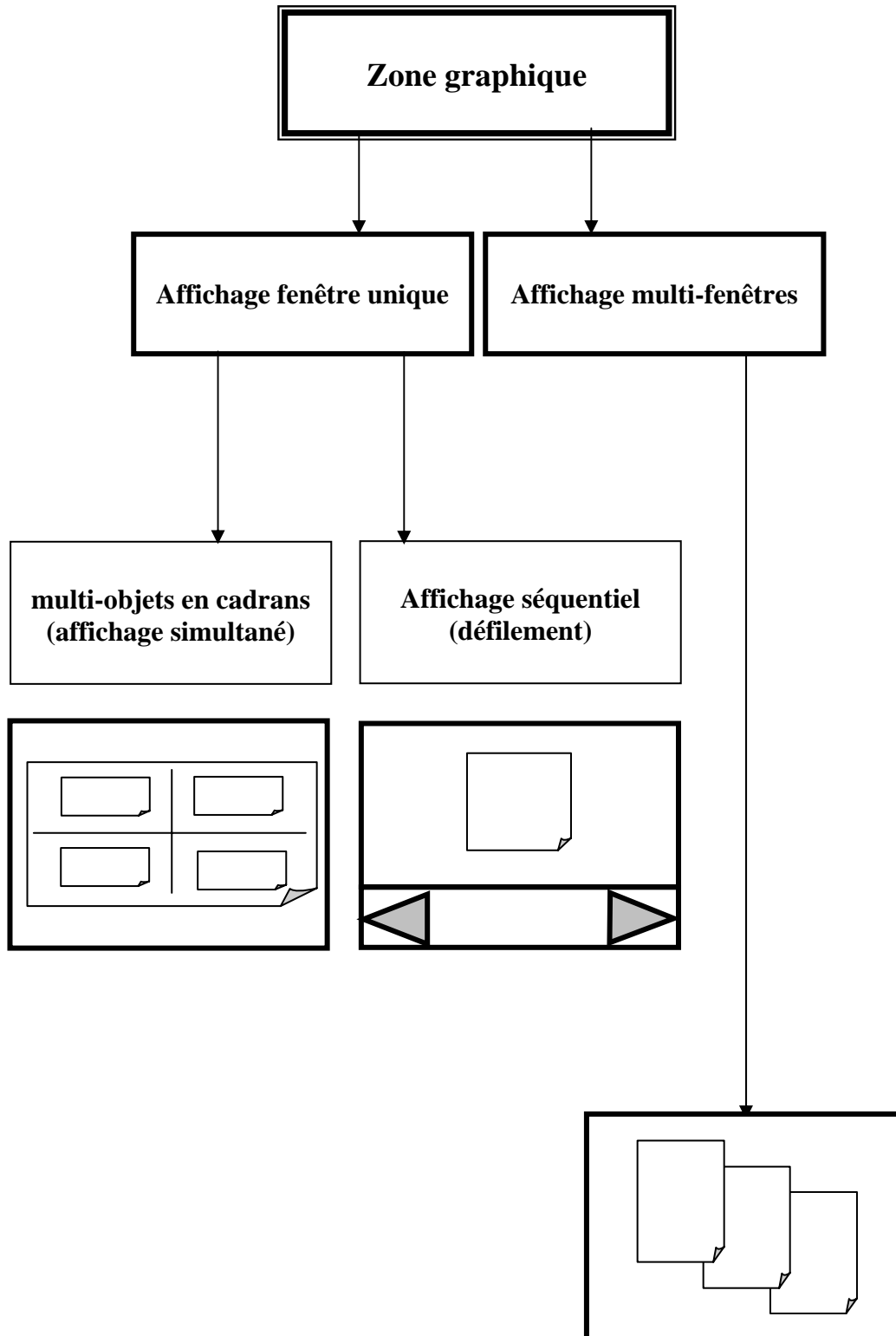
**5.2 Définitions des sorties**

A définir/préciser.

## Appendix A. Organigramme général du logiciel



## Appendix B. Modes d'affichage de la zone graphique



## Appendix C. Actions/Paramètres d'affichage de la zone graphique

