

# Metrologie à l'Unige

17 octobre 2003

# Table des matières

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Quelques manipulations de métrologie</b>                    | <b>4</b>  |
| 1.1      | Mise en marche . . . . .                                       | 4         |
| 1.2      | Choix et étalonnage du palpeur . . . . .                       | 4         |
| 1.3      | Construction d'un référentiel . . . . .                        | 4         |
| 1.4      | Sauvegarde du référentiel . . . . .                            | 5         |
| 1.5      | Quelques informations supplémentaires . . . . .                | 6         |
| 1.6      | Composer un programme de mesure . . . . .                      | 7         |
| 1.7      | Exécution du programme . . . . .                               | 8         |
| 1.8      | Terminer une séance . . . . .                                  | 8         |
| 1.9      | Complément : un autre référentiel . . . . .                    | 9         |
| <b>2</b> | <b>Exemple de programmation</b>                                | <b>10</b> |
| 2.1      | Introduction . . . . .   | 10        |
| 2.2      | Situation de mesure . . . . .                                  | 10        |
| 2.3      | Préparation . . . . .  | 10        |
| 2.3.1    | Construction du système d'axes (référentiel) . . . . .         | 10        |
| 2.4      | Le programme de mesure . . . . .                               | 13        |
| 2.4.1    | Préambule . . . . .  | 13        |
| 2.4.2    | Premiers pas . . . . .   | 13        |
| 2.4.3    | Où sont mes boucles ? . . . . .                                | 14        |
| 2.4.4    | Intermède : l'incrémentation automatique dans Geopak . . . . . | 15        |
| 2.4.5    | La procédure de mesure dans la boucle . . . . .                | 15        |
| 2.5      | Fin des mesures . . . . .                                      | 18        |
| 2.6      | Sauvegarde des données . . . . .                               | 18        |
| 2.7      | Fin du programme . . . . .                                     | 18        |
| 2.8      | liste du programme . . . . .                                   | 19        |
| <b>3</b> | <b>Gestion des conditions dans Geopak</b>                      | <b>20</b> |
| 3.1      | Introduction . . . . .   | 20        |
| 3.2      | Les variantes . . . . .  | 20        |
| <b>4</b> | <b>Exemple de mesure optique</b>                               | <b>21</b> |
| 4.1      | Introduction . . . . .   | 21        |
| 4.2      | Description . . . . .  | 21        |
| 4.3      | Construction du référentiel . . . . .                          | 21        |
| 4.3.1    | Menu mesure optique . . . . .                                  | 23        |
| 4.3.2    | Suite de la mesure . . . . .                                   | 23        |
| 4.3.3    | Fin de la mesure . . . . .                                     | 23        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.3.4    | Construction du référentiel . . . . .      | 23        |
| 4.4      | Réalisation du programme . . . . .         | 24        |
| 4.4.1    | Test de la normale au plan . . . . .       | 24        |
| 4.5      | Palpage . . . . .                          | 24        |
| <b>5</b> | <b>Calibration du palpeur optique</b>      | <b>26</b> |
| 5.1      | Introduction . . . . .                     | 26        |
| 5.2      | Calibration du palpeur de 0.5 mm . . . . . | 26        |
| 5.3      | Calibration du palpeur optique . . . . .   | 27        |
| 5.3.1    | Première étape . . . . .                   | 27        |
| 5.3.2    | Seconde étape . . . . .                    | 28        |
| 5.4      | Perte de la calibration optique . . . . .  | 28        |

# Chapitre 1

## Quelques manipulations de métrologie

### 1.1 Mise en marche

Avant tout, il faut enclencher l'air sous pression. Ceci se fait en actionnant la vanne située dans la petite armoire près du bloc de commande. C'est seulement ensuite que la machine de métrologie doit être mise sous tension. Lorsque le bouton vert du bloc de commande s'allume, le presser. Ceci permettra à la machine de s'initialiser. Une fois ces opérations effectuées, il est possible de lancer le programme Geopack. Lorsque Geopack démarre, celui-ci fait un état de la configuration matérielle. L'utilisateur peut alors la valider, ou la modifier. Dans notre cas, nous allons simplement la valider.

### 1.2 Choix et étalonnage du palpeur

Au démarrage, le menu **palpeurs** apparaît automatiquement. Geopack demande ensuite de choisir un palpeur. Si celui-ci a déjà été défini, il suffit de charger ses propriétés (étalonnage), en choisissant **Charge Palpeur(s) depuis disque**. Dans le cas contraire, il faut lui attribuer un numéro (en général 1), puis l'étalonner, en choisissant l'option 5, **Re-étalonnage Palpeur sur sphère**. Ceci se fait en palpant cinq points de la sphère de calibration.

Pour déplacer le palpeur, il suffit de manipuler le joystick. Lorsque l'on est suffisamment proche de la surface de la sphère, appuyer sur le bouton **meas** afin de signaler à Geopack que le prochain contact sera un point de mesure. Dans le mode **meas** les mouvements sont ralentis. Lorsque le contact a été réalisé, le palpeur recule.

Il est possible de connaître les caractéristiques du palpeur en choisissant **Palpeurs** → **Liste Palpeurs**.

### 1.3 Construction d'un référentiel

Pour pouvoir faire des relevés de coordonnées, il est nécessaire de définir un système d'axes (*référentiel*, dans le vocabulaire de Geopak) attaché à la pièce à mesurer. Voici un exemple de création de référentiel (figure 1.1) :

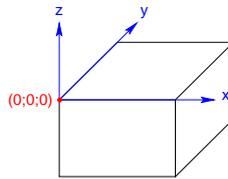


FIG. 1.1 – Référentiel à construire

- Pour fixer l'orientation de l'axe z, on construit un plan avec la surface de la pièce. Pour ce faire, choisir **Mesure** → **Plan (pl)**. Il faut alors donner un numéro de mémoire au plan à mesurer. Finalement, la mesure peut être réalisée. Il est possible de changer le nombre de points à mesurer, en choisissant **machine** → **nombre de points (np)**.
- Dans le menu **Référentiel**, sélectionner **Référentiel (rf)** puis choisir **Aligne plan de référence** puis **Plan XY**.
- Pour vérifier que l'opération a réussi, on peut rappeler l'élément en tapant **re** et le numéro de mémoire du plan (par exemple, 1). On devrait avoir (0,0,0) pour les coordonnées x,y,z et (90,90,0) pour les angles de la normale par rapport aux axes x,y et z.

Il faut ensuite définir l'origine du référentiel. Pour ce faire, nous mesurons deux droites, dont nous calculerons l'intersection. Nous devons maintenant activer la projection sur le plan XY : **machine** → **projection (pj)**, puis **projection XY**.

1. Dans le menu **mesure**, choisir **droite (dr)**. Prendre deux points de mesure selon le futur côté "x" de la pièce.
2. Répéter l'opération pour le côté  $ijy\hat{z}$  de la pièce.
3. Aller ensuite dans le menu **calcul**, et choisir **intersection (in)**. Ce choix permet de calculer l'intersection des deux dernières droites mesurées.
4. Dans le menu **Référentiel (rf)**, choisir **Créer une origine pièce**, puis **Au dernier point affiché (X,Y,Z)**. En rappelant le point (**re**), la coordonnée devrait être alors (0,0,0).

Il reste à fixer l'axe x, par exemple. Rappelons la première droite mesurée (**re**). Dans le menu **référentiel (rf)**, choisir **Aligne un axe pièce**. Indiquer l'axe auquel correspond la droite mesurée, ici  $ijx\hat{z}$ . Si l'on rappelle la droite par la suite, elle doit avoir les caractéristiques suivantes : (0,0,0) pour les coordonnées x,y,z et (0,90,90) pour les angles.

A partir de là, les mesures de cercles, de plans ou de droites seront exprimées dans les coordonnées de la pièce.

## 1.4 Sauvegarde du référentiel

Il peut être nécessaire de sauvegarder le référentiel nouvellement construit, afin de pouvoir l'utiliser ultérieurement dans un programme. Il suffit d'aller dans le menu **référentiel** et de choisir **Mémorise référentiel**. Nous donnons ici la valeur 10.

## 1.5 Quelques informations supplémentaires

- Il est toujours possible de connaître la position de la sonde, en coordonnées machine et du référentiel actif en choisissant **Machine** → **Position actuelle (pa)**.
- L'utilisateur peut visualiser le système d'axes du référentiel en sélectionnant **Référentiel** → **Affichage des axes (aa)**.

## 1.6 Composer un programme de mesure

Pour pouvoir réaliser une mesure automatique, il faut d'abord se placer en **Mode apprentissage (ma)**. L'utilisateur doit alors donner un nom au programme. Il n'est pas nécessaire d'accepter l'évaluation statistique.

Il est à noter que dans ce mode, le programme exécute chaque ligne de commande durant la rédaction du programme.

La première action est alors de charger un palpeur. Nous choisissons ici le numéro 1. Ensuite, nous devons charger le référentiel précédemment construit. Ceci se fait en sélectionnant **rf** puis **Rappel référentiel**. Dans notre cas, nous choisissons le référentiel 10.

Nous modifions ensuite les paramètres de mesure en choisissant dans le menu **machine** le point **Facteurs CN (fc)**. Les valeurs à modifier sont les suivantes :

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| Vitesse de déplacement :             | 30 mm/s |
| Vitesse de mesure :                  | 2 mm/s  |
| Distance de sécurité :               | 1 mm    |
| Erreur de repositionnement :         | 0.1 mm  |
| Longueur maxi en vitesse de mesure : | 10 mm   |

Afin d'éviter que les résultats ne soient envoyés vers l'imprimante, il est possible d'aller dans le menu **impression** et de choisir **Choix d'impression (ci)**. Ici, nous sélectionnons **Aucune impression**.

Maintenant, la procédure de mesure peut commencer : Menu **Machine** puis **CNC Marche (cn)**.

Comme premier exercice, nous allons programmer la création du référentiel de la pièce, comme nous l'avons effectué plus haut. Il se trouve que ce faisant, le référentiel obtenu sera plus précis que celui fait à la main.

Nous allons d'abord déplacer le palpeur vers la pièce à mesurer. Pour ce faire, nous devons à l'aide du joystick nous placer au point voulu, choisir **Machine** puis **Point Intermédiaire (pi)**. La position affichée est la position du palpeur au moment où **pi** a été sélectionné. Libre à l'utilisateur de modifier cette position.

Une fois la position validée, le palpeur s'y rend, si il n'y était pas déjà (c'est-à-dire si vous avez modifié les coordonnées à la main dans **pi**).

Nous pouvons maintenant lancer la mesure du plan : **pl**. Modifiez le nombre de points de mesure, si nécessaire : **Machine** → **Nombre de points (pi)**. Placez le palpeur au-dessus de premier point de mesure. Pour que la mesure automatique du plan se réalise, vous devez maintenant choisir dans le menu **Machine** l'intitulé **Mesure Imaginaire (mi)**. Les données qui apparaissent à l'écran seront du type suivant :

|                                |          |      |
|--------------------------------|----------|------|
| Point de départ                | Coord. X | 10.0 |
|                                | Coord. Y | 20.0 |
|                                | Coord. Z | 15.0 |
| Point à destination imaginaire | Coord. X | 10.0 |
|                                | Coord. Y | 20.0 |
|                                | Coord. Z | 15.0 |

Nous voulons mesurer un plan XY. Aussi devons-nous indiquer à la machine de descendre. Il suffit de modifier la coordonnée Z du point d'arrivée en lui rajoutant un signe '-' :

|                                |          |       |
|--------------------------------|----------|-------|
| Point de départ                | Coord. X | 10.0  |
|                                | Coord. Y | 20.0  |
|                                | Coord. Z | 15.0  |
| Point à destination imaginaire | Coord. X | 10.0  |
|                                | Coord. Y | 20.0  |
|                                | Coord. Z | -15.0 |

Le palpeur descendra jusqu'à ce qu'il y ait un contact.

Pour les deux points restants, nous devons simplement répéter l'opération décrite précédemment.

Maintenant, nous allons dans **rf** et choisissons **Aligne plan de référence**. Rappelons le plan (**re**) pour nous assurer qu'il est exprimé dans les nouvelles coordonnées.

Maintenant, nous devons mesurer les deux droites pour calculer l'intersection. Attention : nous devons imposer des points intermédiaires pour que le palpeur ne heurte pas la pièce à mesurer !

Nous mesurons maintenant la droite selon X. Le point intermédiaire doit se trouver face au côté à mesurer, mais avec une coordonnée Z positive. Ce n'est qu'après avoir transmis ce point que l'on peut lancer une mesure imaginaire. Choisissons-le avec les coordonnées suivantes : (10;-10;10). La mesure imaginaire du premier point pourrait alors se faire en allant de (10;-10;-1.5) à (10;+10;-1.5). Une procédure similaire est à suivre pour le second point de la droite.

Avant de mesurer la droite 'Y', fixons un point intermédiaire en (-10;-10;-1.5). La mesure imaginaire du premier point de la droite sera par exemple de (-10;10;-1.5) à (+10;10;-1.5). Lorsque le deuxième point est mesuré, nous pouvons calculer l'intersection : **in**. La procédure est alors :

1. **rf** → **Créer une origine pièce** → **Au dernier point affiché (X,Y,Z)**
2. Rappeler la droite 'X' : **re** + numéro de la droite
3. **rf** → **Aligne un axe pièce**

Maintenant, le référentiel est construit. Nous allons finir le programme, mais avant tout, déplaçons le palpeur dans une région plus sûre en le montant d'une dizaine de centimètres. Maintenant, enregistrons cette position en créant un point intermédiaire **pi**.

Avant de mettre fin au programme, nous désactivons l'asservissement de la machine : menu **Machine** → **CNC fin (cf)**. Et la fin du programme se réalise dans le menu **Programme** → **Fin de Programme (fp)**.

## 1.7 Exécution du programme

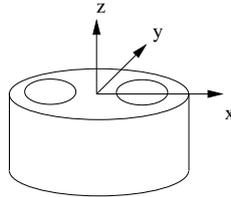
L'exécution s'opère en allant dans le menu **Mode** → **Mode Répétition (mr)**.

## 1.8 Terminer une séance

Lorsque l'on a terminé les mesures, il faut ramener la sonde dans sa position de repos : **Machine** → **Aller en position de repos (ar)**. Pour quitter Geopack, sélectionner : **Modes** → **Sortie GEOPACK (sg)**.

## 1.9 Complément : un autre référentiel

Nous allons maintenant construire un référentiel basé sur une pièce différente de celle décrite plus haut. Voici un schéma de la pièce :



Les étapes pour construire le référentiel sont :

- Mesurer le plan de la pièce pour fixer l'axe z.
- Mesurer le centre de chaque cercle, en sélectionnant **Mesure** → **Cercle (cr)**.
- Calculer le point médian des deux centres, en choisissant **Calculs** → **Symétrie (sy)**.
- Ce dernier point peut alors être choisi comme l'origine du référentiel.
- Finalement, rappeler (**re**) le centre du cercle droit puis aller dans **rf** puis **Aligne un axe pièce**.

Le référentiel est alors construit.

# Chapitre 2

## Exemple de programmation

### 2.1 Introduction

Un exemple de programme réalisé sur Geopak est présenté ici. La procédure de mesure décrite ici a souvent été utilisée, elle se retrouve donc dans plusieurs programmes pour AMS.

A titre d'exemple, la mesure de hauteur d'un renfort en Airex va être détaillée ici.

### 2.2 Situation de mesure

On se propose de mesurer l'épaisseur d'un renfort en Airex pour des échelles AMS à 9 senseurs. Huit points seront testés, à l'emplacement du déglçage pour le collage des pieds (voir le dessin, en page 11). Le renfort est posé comme indiqué sur la figure ??.

### 2.3 Préparation

Avant de créer un programme, il nous faut construire, manuellement, un système de coordonnées associé au renfort. Ce système de coordonnée (appelé "référentiel" dans le vocabulaire de Geopak) sera alors utilisé par le programme pour exécuter ses mesures. Le programme pourrait même reconstruire le système de coordonnées, si on le souhaite (ce ne sera pas le cas ici).

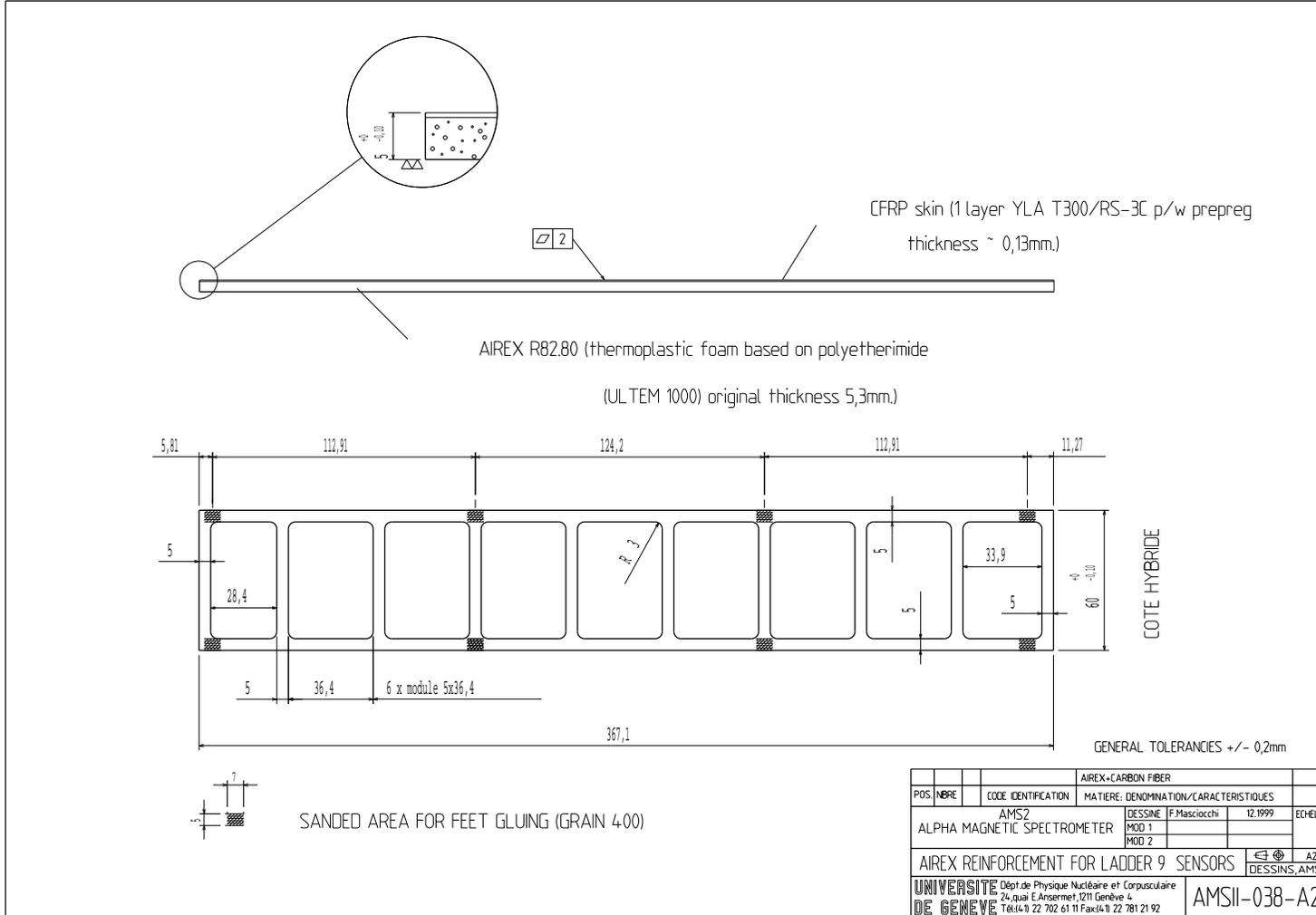
#### 2.3.1 Construction du système d'axes (référentiel)

L'origine se situe à l'intersection des deux équerres, au niveau du marbre. L'axe Y est parallèle à l'axe du renfort. D'une façon générale, il est souhaitable que l'axe Z sorte du marbre (donc, horienté vers le haut). Voici pas à pas, la procédure pour construire le système d'axes.

1. Mesurer un plan sur le marbre, à proximité du renfort :

| Commande  | Commentaire                                |
|---|--|
| pl 1  | mesurer un plan, avec numéro de mémoire 1  |
| np 10   | régler le nombre de points de mesure à 10. |
|  | Faire la mesure manuelle des points        |

2.3. PRÉPARATION



2. Associer ce plan mesuré au plan contenant les axes X et Y :

| Commande                                   | Commentaire       |
|--|-------------------|
| rf   | menu référentiels |
| Associer un plan de référence<br>→ plan XY |                   |

3. Passer en mode projection XY :

| Commande      | Commentaire      |
|---------------|------------------|
| pj            | menu projections |
| Projection XY |                  |

Les futures mesures seront automatiquement projetées sur le plan XY.

4. Mesurer la droite qui définira l'axe Y, sur l'équerre correspondante (voir figure).

| Commande  | Commentaire                                |
|---|--|
| dr 2  | mesure de droite, avec numéro de mémoire 2 |
| np 2  | nombre de points de mesure réglé à 2       |
|  | Faire la mesure manuelle des points        |

5. Mesurer une droite sur l'équerre perpendiculaire, afin de déterminer le point d'intersection des deux droites, qui sera choisi comme origine du système d'axes.

| Commande  | Commentaire  |
|---|--|
| dr 3  | mesure de droite, avec numéro de mémoire 3                   |
| np 2  | nombre de points de mesure réglé à 2                         |
|  | Faire la mesure manuelle des points                          |
| in 4  | Calculer le point d'intersection<br>avec numéro de mémoire 4 |
| rf  | Menu référentiels  |
| → créer une origine pièce<br>→ au dernier point affiché                             |  |

6. La droite n° 2 doit maintenant fixer l'axe des Y :

| Commande                          | Commentaire          |
|-----------------------------------|----------------------|
| re 2                              | rappeler l'élément 2 |
| rf                                | menu référentiels    |
| → aligner un axe pièce<br>→ axe Y |                      |

7. Stocker ce référentiel en mémoire, afin de l'utiliser plus tard lors de l'exécution du programme.

| Commande                      | Commentaire                                  |
|-------------------------------|--|
| rf                            | menu référentiels                            |
| → mémorise référentiel<br>→ 1 | numéro par lequel le référentiel sera indexé |

Le référentiel nécessaire à la mesure vient d'être construit. Nous pouvons maintenant concevoir le programme qui réalisera la mesure.

## 2.4 Le programme de mesure

### 2.4.1 Préambule

Pour créer un nouveau programme, il faut passer en mode apprentissage (**ma**). A la fin de la création du programme, il est possible de le modifier en l'éditant, en passant dans le mode editeur (**md**).

Un nom de programme est demandé. Choisissez celui qui vous plaît le plus. Une fois cette formalité remplie, vous pouvez commencer la rédaction du programme. Une boîte de dialogue apparaît. Choisissez 'charge palpeurs depuis disque'. La suite :

| Commande              | Commentaire   |
|-----------------------|---|
| rf                    | menu référentiel  |
| → rapelle référentiel | active le référentiel mesuré à la main                              |
| → 1                   | numéro du référentiel   |
| cn                    | Permet à l'ordinateur de prendre le contrôle de la métrologie (cnc) |
| fc                    | permet de régler les facteurs de vitesse et de mesure en mode cnc   |

Pour ce qui concerne les facteurs de vitesse et de mesure, les réglages suivants sont appropriés :

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| Vitesse de déplacement :             | 30 mm/s |
| Vitesse de mesure :                  | 2 mm/s  |
| Distance de sécurité :               | 0.5 mm  |
| Erreur de repositionnement :         | 0.02 mm |
| Longueur maxi en vitesse de mesure : | 5 mm    |

Quelques remarques, avant de poursuivre. Toute commande impliquant un déplacement sera effectuée sur le champ. C'est le principe du mode apprentissage. En outre, tout déplacement du palpeur doit être explicitement indiqué au programme : l'ordinateur est fondamentalement idiot, et ne peut deviner vos intentions. Si vous effectuez un déplacement à la main, vous devez impérativement enregistrer la position d'arrivée avec la commande **machine → position intermédiaire (pi)**.

### 2.4.2 Premiers pas

Avant de commencer la mesure, il est judicieux de placer le palpeur en un point de départ un peu à l'écart de la pièce à mesurer. Par exemple, 10 cm au-dessus de l'origine :

| Commande  | Commentaire         |
|-----------|---------------------|
| pi        | point intermédiaire |
| → 0 0 100 | position en mm      |

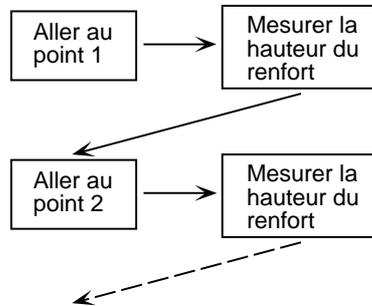
Pour que nos mesures aient un sens, il est nécessaire que toute projection soit inactive :

| Commande          | Commentaire         |
|-------------------|---------------------|
| pj                | dialogue projection |
| → projections off |                     |

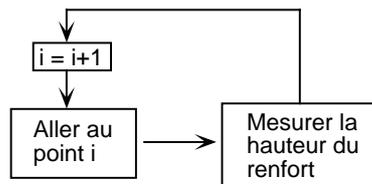
Maintenant commencent les choses sérieuses. Nous devons décrire au programme *toute* la séquence de mesure. Or il se trouve que nous avons 8 positions à mesurer. Il serait donc souhaitable de pouvoir minimiser le travail, en utilisant des boucles.

### 2.4.3 Où sont mes boucles ?

D'une façon schématique, le travail de mesure est le suivant :



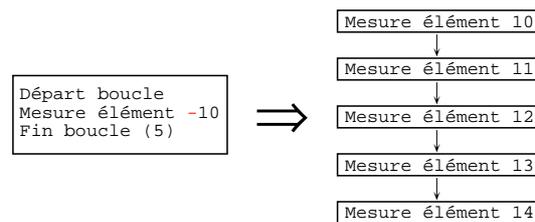
Ecrire chaque étape dans le programme serait fastidieux, et peu efficace, étant donné qu'il faudrait écrire huit fois la même séquence. L'usage d'une *boucle* serait donc plus indiqué :



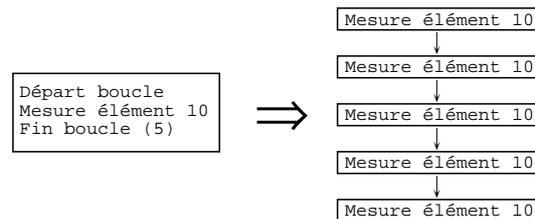
L'approche de Geopak concernant les boucles est pour le moins inhabituelle. L'usage de variables s'avère difficile et pas toujours possible. Par exemple, une variable ne peut pas être placée dans une commande de déplacement telle que `point intermédiaire (pi)`, commande nécessaire dans notre boucle. Il faut donc ruser un peu.

### 2.4.4 Intermède : l'incrémentation automatique dans Geopak

Les objets le plus souvent utilisés dans Geopak sont les éléments mesurés (droites, plans, cercles, ...), qui portent un numéro de mémoire. Dans une boucle, plusieurs éléments seront mesurés, et leur numéro de mémoire doit donc évoluer, sans quoi chaque objet nouvellement mesuré écraserait celui mesuré précédemment. Afin que Geopak comprenne qu'il doit augmenter le numéro de mémoire à chaque itération, il faut placer un signe moins (-) avant le numéro de mémoire du premier objet à mesurer. Le schéma suivant clarifie la procédure :



L'usage du signe moins pour demander une incrémentation du numéro de mémoire n'est pas très heureux (on aurait pu suggérer le signe plus...). La figure suivante illustre la conséquence de l'omission du signe moins dans la boucle :



### 2.4.5 La procédure de mesure dans la boucle

Il ne suffit pas de dire au programme `;;fais la mesure;;` pour que celui-ci s'exécute. En raison de son idiotie chronique, nous devons lui décrire *dans les détails* la façon de faire la mesure. Voici le déroulement complet.

#### Préparer le terrain

Dans un premier temps, il faut entrer les positions de mesure. Elles correspondent donc ici aux positions des pieds sur le renfort. Ces positions vont être conservées sous forme de points centre-bille (pt) :

| Commande     | Commentaire   |
|--------------|---|
| ge           | générer un élément  |
| → pc         | l'élément ainsi créé sera de type point centre bille      |
| → 2.5 5.81 0 | coordonnées x,y,z   |
| → mémoire 21 | ce premier point de mesure sera stocké dans la mémoire 21 |

Pour les autres points, la procédure est la même. Le tableau suivant résume les points à enregistrer, ainsi que le numéro de mémoire correspondant.

| Mémoire | x (mm) | y (mm)  | z (mm) |
|---------|--------|---------|--------|
| 21      | 2.500  | 5.810   | 0.000  |
| 22      | 57.500 | 5.810   | 0.000  |
| 23      | 2.500  | 118.720 | 0.000  |
| 24      | 57.500 | 118.720 | 0.000  |
| 25      | 2.500  | 242.920 | 0.000  |
| 26      | 57.500 | 242.920 | 0.000  |
| 27      | 2.500  | 355.830 | 0.000  |
| 28      | 57.500 | 355.830 | 0.000  |

### Deuxième intermède : la mesure imaginaire

La procédure de mesure manuelle d'un point est assez simple. Le problème est de donner une commande à la machine qui remplace la mesure manuelle. Dans le cas, par exemple, d'un point compensé, la commande à donner est `machine` → `mesure imaginaire (mi)`. La commande `mi` a besoin de deux points : un point de départ, et un point d'arrivée, d'une certaine façon virtuel. Le déroulement d'une mesure en invoquant `mi` est le suivant (ici pour un point compensé) :

| Commande            | Commentaire   |
|---------------------|---|
| <code>pc</code>     | lancement d'une mesure d'un point compensé  |
| <code>mi</code>     | mesure imaginaire   |
| → $x_1 \ y_1 \ z_1$ | point de départ : le palpeur s'y déplacera si il n'y est pas déjà   |
| → $x_2 \ y_2 \ z_2$ | point de destination imaginaire :<br>son rôle réel est de définir la droite selon laquelle le palpeur se déplacera pour toucher la surface de l'objet à mesurer.<br>Le palpeur n'est pas supposé se rendre à ce point car il doit toucher une surface avant ce point. |

**La mesure proprement dite**

La procédure de mesure, pour pouvoir s'insérer dans la boucle, devrait faire appel à des variables. Or celles-ci ne sont pas utilisables dans les commandes de déplacement telles que `pi`. Heureusement, les points centre-bille définis précédemment vont d'une certaine manière jouer le rôle de variables. Voici la procédure de mesure :

| Commande                                | Commentaire  |
|---|--|
| <code>db</code>                         | départ de boucle   |
| <code>re -21</code>                     | le premier point est rappelé   |
| <code>rf</code>                         | menu référentiels  |
| <code>→ crée une origine pièce</code>   |  |
| <code>→ au dernier point affiché</code> | le point est maintenant une origine provisoire                                 |
| <code>pi 0 0 30</code>                  | le palpeur se place à 3 cm au-dessus du premier point de mesure (ici le n° 21) |
| <code>pc -50</code>                     | lancement de mesure d'un point compensé, premier numéro de mémoire : 50        |
| <code>mi</code>                         | mesure imaginaire  |
| <code>→ 0 0 30</code>                   | point de départ de la mesure imaginaire  |
| <code>→ 0 0 -30</code>                  | point d'arrivée (<<virtuel>>) de la mesure imaginaire                          |
| <code>00</code>                         | fin de palpation : mentionne que la procédure de mesure est terminée           |
| <code>pi 0 0 30</code>                  | le palpeur se replace au-dessus du point de mesure                             |
| <code>fb 8</code>                       | fin de la boucle, répéter 8 fois   |

## 2.5 Fin des mesures

Lorsque la mesure est terminée, il est judicieux de placer le palpeur à l'écart de la pièce mesurée :

| Commande       | Commentaire   |
|----------------|---|
| pi 250 200 300 | on éloigne le palpeur   |
| cf             | l'ordinateur n'a plus le contrôle de la machine (fin de la cnc) |

## 2.6 Sauvegarde des données

Une fois les mesures d'épaisseur réalisées, le programme doit les sauvegarder sur disque. La procédure d'écriture sur disque est très proche de celle sur imprimante. C'est probablement pour cette raison que la fonction se trouve dans le menu... imprimante : **imprimante** → **gestion ascii** (**ga**). Par cette commande, permet ou non l'écriture sur fichier des mesures. L'écriture se fait simplement en rappelant les éléments souhaités.

Pour notre programme, nous allons à nouveau utiliser une boucle, étant donné qu'il y a 8 points à écrire :

| Commande                            | Commentaire  |
|-------------------------------------|--|
| rf                                  | menu référentiels  |
| → rappelle référentiel              |  |
| → 1                                 | Les points mesurés seront exprimés dans le système d'axes associé au renfort |
| ga                                  | gestion ascii  |
| → on                                | on autorise l'écriture   |
| → c:\datageo\ams\renforts\renf9.txt | nom du fichier   |
| db                                  | départ de boucle   |
| re -50                              | le premier élément rappelé est le n° 50                                      |
| fb 8                                | fin de boucle, 8 répétitions   |
| ga                                  | gestion ascii  |
| → off                               | on interrompt l'écriture dans le fichier                                     |

## 2.7 Fin du programme

La composition du programme se termine par la ligne suivante :

| Commande | Commentaire      |
|----------|------------------|
| fp       | fin de programme |

## 2.8 liste du programme

Voici finalement le programme tel qu'il se présente à la fin de la rédaction :

```

1 DP Charge Palpeur(s) depuis Disq.
2 RF Rappel Referentiel                      1
3 CNC Marche
4 Facteurs CN                50 mm/s    2 mm/s  0.500 mm  0.020 mm  5.000
5 PI      0.000      0.000      100.000
6 Projections                Projection Off
7 GE POINT (c      2.500      5.810      0.000 M=  21
8 GE POINT (c      57.500      5.810      0.000 M=  22
9 GE POINT (c      2.500     118.720      0.000 M=  23
10 GE POINT (c     57.500     118.720      0.000 M=  24

11 GE POINT (c      2.500     242.920      0.000 M=  25
12 GE POINT (c     57.500     242.920      0.000 M=  26
13 GE POINT (c      2.500     355.830      0.000 M=  27
14 GE POINT (c     57.500     355.830      0.000 M=  28
15 Depart de Boucle          0
16 RAPPEL ELEMENT           -21
17 RF Cree une ORIGINE PIECE                Au dernier point affiche (XYZ)
18 PI      0.000      0.000      30.000
19 POINT CO                                M= -50 P= 1
20 MI      0.000      0.000      8.000      0.000      0.000      0.000

21 Fin de Palpage
22 PI      0.000      0.000      30.000
23 Fin de Boucle              8
24 PI     250.000    200.000    300.000
25 CNC Fin
26 RF Rappel Referentiel                      1
27 GA Stockage ASCII -> ON c:\datageo\ams\renforts\renf9.txt      1
28 Depart de Boucle          0
29 RAPPEL ELEMENT           -50
30 Fin de Boucle              8

31 Fin de Programme

```

## Chapitre 3

# Gestion des conditions dans Geopack

### 3.1 Introduction

Cette note traite de la gestion des conditions dans les programmes sur Geopack. La structure étant un peu rigide, il est utile d'expliciter les variantes disponibles.

### 3.2 Les variantes

Dans une époque où les langages de programmation autorisent une certaine flexibilité dans les désirs du programmeur, Geopack paraît un peu désuet. Schématiquement, les structures autorisées sont les suivantes :

| Pour obtenir : |             |            | Il faut entrer : |             |            |
|----------------|-------------|------------|------------------|-------------|------------|
| IF             | (condition) | THEN BEGIN | FA If            | (condition) | THEN BEGIN |
|                | commandes   |            | commandes        |             |            |
| END            |             |            | FA Else          |             |            |
| ELSE BEGIN     |             |            | commandes        |             |            |
|                | commandes   |            | FA End           |             |            |
| END            |             |            |                  |             |            |
| IF             | (condition) | THEN BEGIN | FA If            | (condition) | THEN BEGIN |
|                | commandes   |            | commandes        |             |            |
| END            |             |            | FA Else          |             |            |
|                |             |            | FA End           |             |            |

On peut à chaque fois remplacer le bloc THEN BEGIN par une commande LABEL, qui joue le rôle d'un GOTO, c'est-à-dire que le programme continue à la ligne signalée par le LABEL.

Il est donc important de noter que dans Geopack, il n'existe pas de vraie structure IF THEN BEGIN END. Il faut toujours faire appel au ELSE.

## Chapitre 4

# Exemple de mesure optique

### 4.1 Introduction

Sont décrites ici les procédures de base pour réaliser une mesure optique. L'exemple choisi fait appel à une mesure mixte (optique/palpage).

### 4.2 Description

Le but de la mesure est de définir la qualité de la coupe d'un senseur. Pour ce faire on se propose de construire le référentiel associé au senseur. Les choix diffèrent selon que l'on mesure le côté p ou le côté n. Pour le côté p (figure 4.1) :

- L'axe **X** est parallèle au bord intérieur du guard ring extérieur ;
- L'origine est définie par l'intersection des droites parallèles aux bords intérieurs au guard ring extérieur.

Pour le côté n (figure 4.2) :

- L'axe **X** est parallèle au bord extérieur du guard ring ;
- L'origine est définie comme le point d'intersection des deux droites parallèles aux bords extérieurs du guard ring.

Ensuite, le palpage se fait sur les bords du senseur.

### 4.3 Construction du référentiel

Nous prenons ici le cas où la face du côté n est exposée. Dans un premier temps, penser à charger les palpeurs depuis le disque. Ensuite, changer de palpeur (**cp**) et choisir le numéro 0 (palpeur optique, confirmation demandée par le logiciel). Maintenant nous sommes prêts à mesurer le plan du senseur. Une fois la mesure demandée (**p1**), le menu de la mesure optique apparaît.

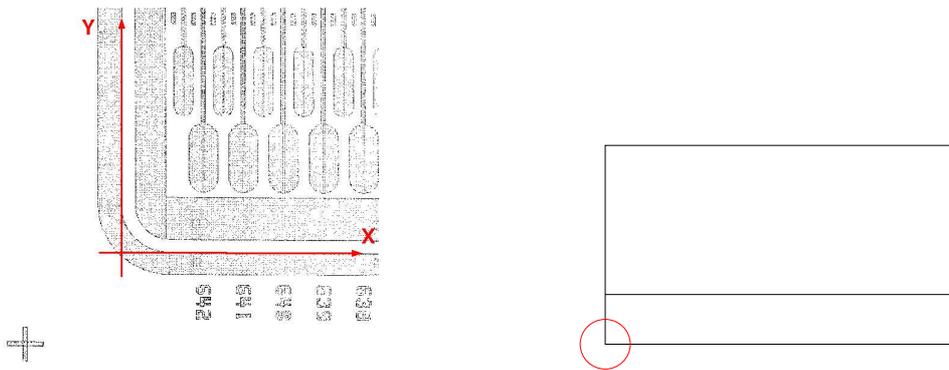


FIG. 4.1 – Disposition des axes X et Y côté p (référentiel 2)

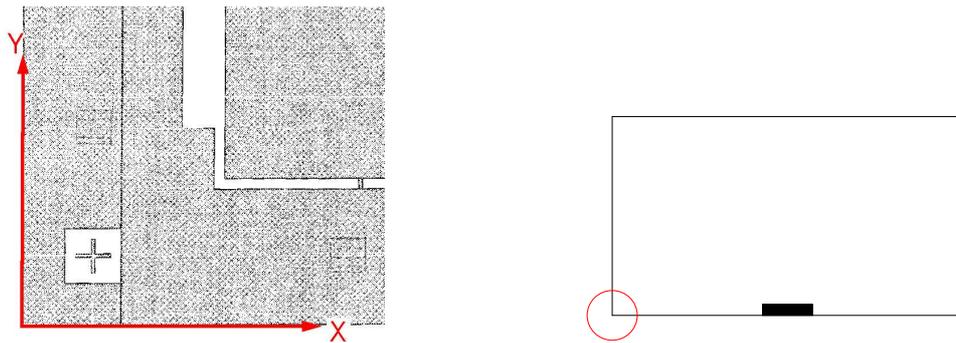


FIG. 4.2 – Disposition des axes X et Y côté n (référentiel 1)

### 4.3.1 Menu mesure optique

C'est depuis ce menu que s'opère la mesure optique. Lorsque la mesure est invoquée la première fois après le démarrage du système de mesure, la lampe est éteinte. La première action est donc d'allumer la lampe en donnant une valeur de 26 dans le menu **Coaxlight**, puis de changer la profondeur de focalisation :

```
Coaxlight      26
Focus range   0.1
```

Pour que le système de mesure puisse détecter un bord, il faut que la flèche de la mire coupe une zone de transition de lumière (clair → sombre) ou (sombre → clair). L'orientation de la mire, ainsi que sa taille peut-être modifiée en choisissant la touche **F2 : Window input**. Le mode de transition est choisi en modifiant le réglage **A : Edge crossing**.

Une fois ces réglages préliminaires faits, on peut lancer une détection de bord (si aucun bord n'a été détecté) en appuyant sur **F5 : Edge detection**. Cette fonction permet à l'utilisateur, en appuyant sur les touches ↑ ou ↓ de modifier le seuil de transition, jusqu'à ce que le bord à mesurer soit correctement détecté.

Lorsque le bord est correctement trouvé, lancer une focalisation, en choisissant **F1 : Focus**. Ensuite, il est judicieux d'optimiser les paramètres optiques, en choisissant **F3 : Param. opt.** (optimisation de l'éclairage et du seuil). Finalement, lancer encore une fois une focalisation.

La mesure étant faite, on peut quitter la mesure optique en choisissant **F8 : Exit**. Le logiciel demande alors combien de points mesurés doit-il garder pour la mesure de l'élément (en l'occurrence, un plan).

### 4.3.2 Suite de la mesure

Le programme ferme le menu optique, et est en attente de points supplémentaires. On peut alors se déplacer, puis lancer une nouvelle mesure optique (**mo**). Il n'est plus nécessaire de pratiquer toutes les opérations faites lors de la première mesure. Il suffit de veiller à ce que la flèche de la mire coupe une transition de lumière (soit changer le paramètre **A : Edge crossing**, soit modifier l'orientation de la mire **F2 : Window input**). Ensuite, pour la mesure en Z, faire une focalisation (**F1 : Focus**).

### 4.3.3 Fin de la mesure

Une fois qu'un nombre suffisant de points ont été mesurés, il faut indiquer au logiciel que la mesure est terminée en tapant **00** (ce qui correspond à **Machine → Fin de palpé**).

### 4.3.4 Construction du référentiel

Si l'on s'en tient aux conseils prodigués par le manuel de Geopak, la mesure du plan doit se faire sans projections (**pj → projection off**). Les droites doivent être mesurées en projection XY. Il faut cependant faire attention à l'orientation du plan. En effet, il arrive que la normale au plan soit orientée vers le bas. Avant de procéder à d'autres manipulations, il est donc nécessaire de vérifier l'orientation du système d'axes tapant **aa (référentiels → afficher axes)**. Si tel est le cas, corriger l'orientation comme il se doit, en allant dans **rf** puis en choisissant **Rotation du référentiel**.

## 4.4 Réalisation du programme

Les étapes de création du programme sont toujours les mêmes. Seules les étapes importantes seront décrites ici. On les décrira rapidement, pour aller à l'essentiel. On trouvera en annexe un listing du programme de création du référentiel. Le point supplémentaire important est la présence d'une fonction `if` qui permet de déterminer si la normale au plan est orientée correctement ou non.

### 4.4.1 Test de la normale au plan

Rappelons que pour pouvoir être exécuté, le programme doit absolument utiliser un référentiel pièce déjà construit. C'est en fait celui construit plus haut, numéroté 1. Le programme demande à l'utilisateur, par le biais de la commande `texte-écran` si la construction a été faite. On a ainsi l'occasion d'arrêter le programme, en tapant la touche `F1`.

Ce référentiel étant construit manuellement, l'utilisateur a pris la peine de vérifier que l'axe Z était correctement orienté.

Le programme, après la mesure du plan, stocke dans une variable `Res1` l'angle de la normale au plan par rapport à Z. Ceci se fait en invoquant `calcul → calcul (ca)`. Dans le premier champ, on écrit `16`, et dans le deuxième le numéro de la variable ("résultat"), en l'occurrence `1`. `16` signifie que `Res1` aura la valeur de la sixième composante du dernier (`1last`) élément affiché. De plus amples informations se trouvent dans le manuel Geopak, page IV-3-18 et suivantes.

Le contrôle de l'angle se fait via une fonction `if (programme → fonctions avancées)`. La description de cette fonction se trouve à la page IV-9-6. Le `if` de Geopak est un peu contraignant, son fonctionnement de base est le suivant : si la condition est vraie, alors le programme continue à une ligne signalée par un `label`, sinon, le programme continue à la ligne suivant le `if` (pour un exemple, voir le listing).

La structure retenue pour le programme est la suivante : si l'angle entre la normale au plan et l'axe Z est inférieur à 90 degrés, alors le programme continue à la ligne intitulée `continue`. Dans le cas contraire, une rotation de 180 degrés autour de l'axe X est effectuée.

## 4.5 Palpage

Le travail à effectuer consiste maintenant à faire un palpage du bord du senseur. Dans le menu `palpeurs` choisir `changer palpeur` et indiquer le palpeur numéro 1. La mesure va se dérouler ainsi : on mesure systématiquement plusieurs points le long du bord, ces points étant projetés sur le plan XY (`pj → projection XY`). Pour réaliser la mesure, on se place en  $Z = -250 \mu\text{m}$ . Le programme demande à l'utilisateur le nombre de points à mesurer. Ceci se fait par le biais de la commande `calcul → calcul`. Dans la valeur du résultat, on indique `:[texte affiché dans la boîte de dialogue]`. Le point d'interrogation indique que le programme doit demander la valeur à l'utilisateur.

Pour réaliser la mesure, on crée une boucle dans laquelle on donne un déplacement (via `pi`), et une mesure de point (via `mi`). Pour lancer une augmentation automatique d'une variable (appelée dans Geopak `resultat`) dans une boucle, il faut placer un signe - avant la valeur qu'aura cette variable au premier passage dans la boucle. En clair, si on a dans un listing :

```
31  Départ de Boucle      0
32  RAPPEL ELEMENT      -20
33  Fin de Boucle       Res5
```

cela signifie que la boucle va être itérée Res5 fois, et que les éléments de 20 à (20+Res5) vont être rappelés.

## Chapitre 5

# Calibration du palpeur optique

### 5.1 Introduction

Ce chapitre présente la procédure d'étalonnage du palpeur optique, en utilisant la table de calibration. A noter que le palpeur de 0.5 mm est le seul permettant une mesure mixte.

### 5.2 Calibration du palpeur de 0.5 mm

Les mesures se feront avec le palpeur de 0.5 mm. Si nécessaire, étalonner celui-ci sur la sphère, en utilisant le référentiel (réservé) 40 et le programme `calib.palp..5_A0_B0`. Ce dernier permet d'effectuer la calibration automatiquement.

## 5.3 Calibration du paleur optique

### 5.3.1 Première étape

Comme toujours, il faut dans un premier temps construire un référentiel de façon manuelle.

La première phase de calibration consiste à déterminer la position de la caméra par rapport au paleur. Il faut pour cela utiliser le motif de gauche de la table de calibration.

La construction du référentiel (figure 5.1) se fait à l'aide du paleur 0.5 mm. Le référentiel se mesure sur la pastille située sur la partie gauche de la plaque de calibration.

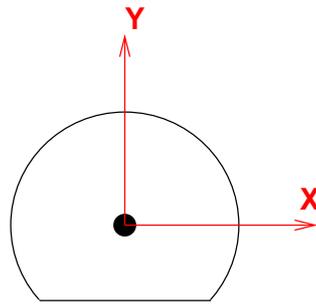


FIG. 5.1 – Pastille de calibration pour la première phase de l'étalonnage de la caméra

1. Un plan est mesuré sur la pastille ;
2. L'origine est définie par le centre du trou situé au milieu de la pastille ;
3. L'axe de **X** est parallèle à la droite située à la base de la pastille.

Une fois le référentiel construit, il faut :

- Le mémoriser avec le numéro de mémoire 1 ;
- L'archiver avec le numéro de mémoire 255.

Le programme de calibration peut alors être lancé : choisir **C-10 FACH**.

### 5.3.2 Seconde étape

La seconde étape consiste en la calibration des propriétés optiques de la caméra. Dans un premier temps, le programme exécute à nouveau la première partie, (position relative de la caméra par rapport au palpeur). Bien entendu, le programme nécessite un référentiel préexistant.

La construction de ce référentiel se fait avec la caméra (donc, il faut choisir le palpeur 0). Il faut se placer au-dessus du motif noté 0.2 . La construction du référentiel est décrite par la figure 5.2.

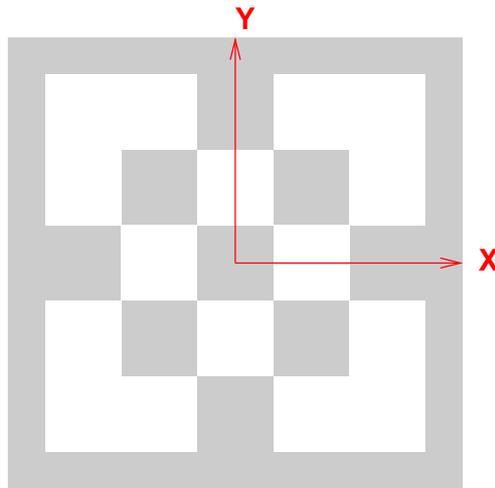


FIG. 5.2 – Figure d'étalonnage, avec le référentiel associé

On mesure un plan sur le carré central, puis les quatre côtés de ce même carré (droites). Chaque paire de droite nous permet de construire la ligne médiane (par **calcul** → **symétrie**). L'intersection des médianes détermine l'origine, la ligne médiane horizontale l'axe **X**. Une fois le référentiel construit, il faut :

- Le mémoriser avec le numéro de mémoire 2 ;
- L'archiver avec le numéro de mémoire 254.

Nous pouvons dès lors lancer le programme **C-10 calib complet**.

## 5.4 Perte de la calibration optique

Il peut arriver que la calibration du palpeur optique soit perdue. On peut le vérifier en chargeant le palpeur optique (**cp** → **0**). Si la valeur retournée est 0, la calibration précédente du palpeur optique est toujours valable. Si ce n'est pas le cas, la valeur retournée est -2. Si cette vérification n'est pas effectuée, et que la calibration du palpeur optique est perdue, le programme **C-10 Fach** s'arrêtera en ligne 33.

Dans les deux cas, il faut alors rajouter une ligne dans **C-10 Fach**, entre les lignes 32 et 33 : **Palpeur** → **définir** → **reétalonner palpeur optique**.

Lancer le programme. Lorsque celui-ci est terminé, supprimer la ligne ajoutée (numéro 33), et relancer le programme.