

UNE METHODE DE MESURE DE  
LA DISPONIBILITE DES MACHINES

B. DEMAREZ et R. JOLIVOT  
Ingénieurs méthodes-productique.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 OBJECTIF

Ce document présente :

- une méthode permettant de mesurer l'engagement et la disponibilité d'une machine ou d'un ensemble,
- le test de cette méthode sur un cas réel.

Cette méthode devait servir de support à l'élaboration de spécifications maintenance à intégrer dans les cahiers des charges des matériels stratégiques d'une usine et de leurs systèmes de contrôle-commande.

### 1.2 LE CHAMP D'EXPERIMENTATION

L'étude menée sur un site concret a porté sur 4 machines :

- un transbordeur au sol (machine automatique),
- des machines du poste de nettoyage :
  - . 1 piqueur ! (machines semi-automatiques
  - . 1 manipulateur ! pilotées par un
  - . 1 table de nettoyage ! opérateur).

Ces machines ont été choisies de façon à éprouver cette méthode de mesures sous tous ses aspects dans un délai raisonnable. Elles ont en effet été mises en service au cours de l'année 86 et connaissent encore de nombreux défauts de jeunesse.

De plus, leur dépendance fonctionnelle devait permettre de solliciter tous les temps de dysfonctionnement et en particulier les temps d'arrêts induits (§ 2.1).

## 2. LES PRINCIPES : DEFINITIONS - INDICATEURS

Cette méthode s'appuie sur la décomposition AFNOR des différents états d'un système productif.

### 2.1 DEFINITION DES TEMPS D'ETAT D'UN MOYEN DE PRODUCTION

#### 2.1.1 Temps total

Temps de référence couvrant tous les états possibles du moyen (ex. 24 heures, 32 heures la semaine, le mois, l'année...).

#### 2.1.2 Temps requis

Temps pendant lequel l'utilisateur engage son moyen avec la volonté de produire.

#### 2.1.3 Temps de fonctionnement

Temps pendant lequel le moyen produit des pièces.

#### 2.1.4 Temps de bon fonctionnement

Temps pendant lequel le moyen produit sans anomalie.

2.1.5 Temps de fonctionnement dégradé

Temps pendant lequel le moyen produit grâce à des dispositions exceptionnelles pour pallier une défaillance.

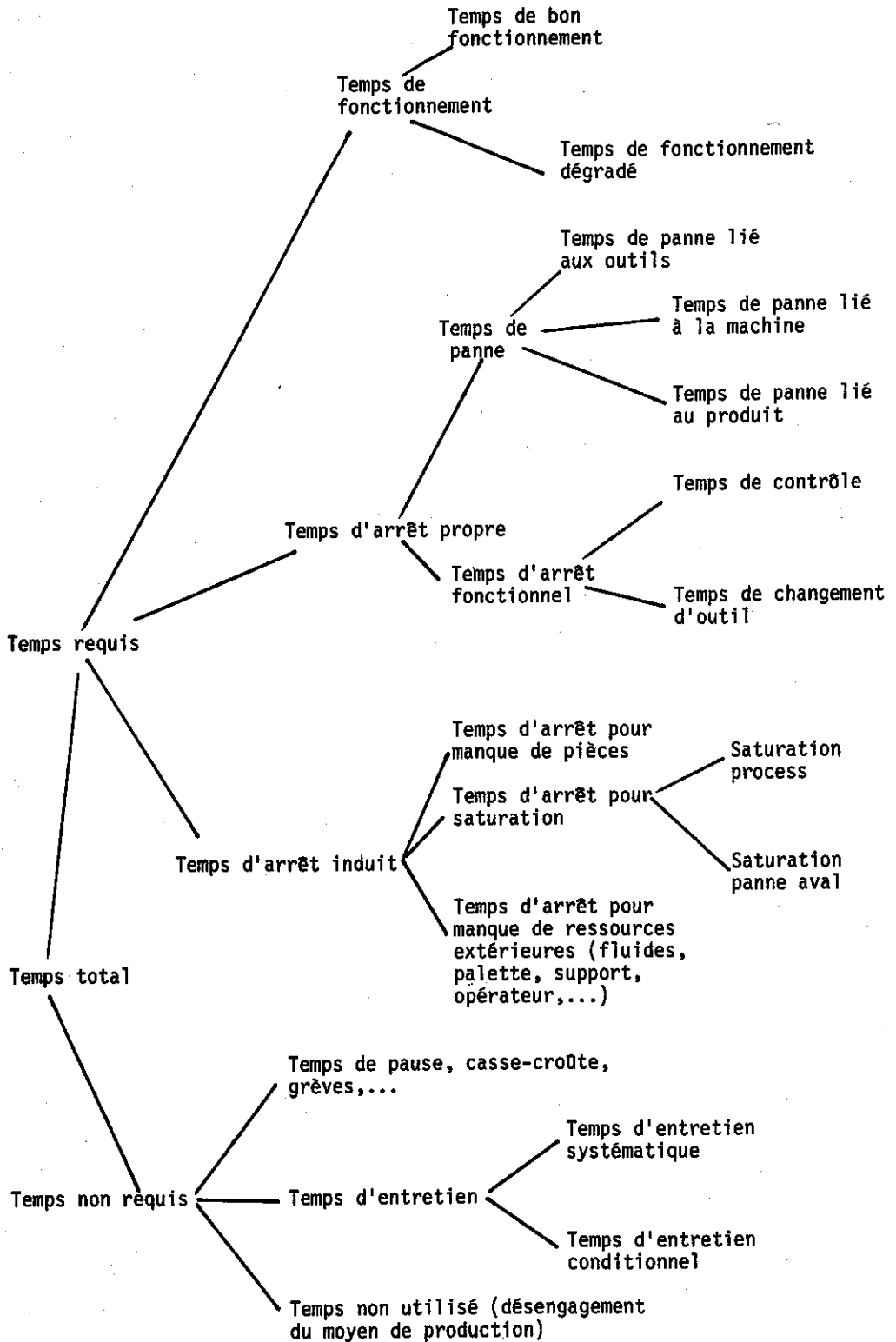
2.1.6 Temps d'arrêt propre

Temps d'arrêt dont la cause appartient au moyen, à son outillage et à la gamme de fabrication.

2.1.7 Temps d'arrêt induit

Temps d'arrêt provoqué par l'environnement du moyen.

2.2 DIAGRAMME DES TEMPS D'ETAT D'UN MOYEN DE PRODUCTION



### 2.3 INDICATEURS

- Disponibilité opérationnelle

$$= \frac{\text{Temps de fonctionnement}}{\text{Temps requis}}$$

- Disponibilité propre

$$= \frac{\text{Temps de fonctionnement}}{\text{Temps de fonctionnement} + \text{Temps d'arrêt propre}}$$

- Temps de fonctionnement moyen

$$= \frac{\text{Temps de fonctionnement}}{\text{Nombre d'arrêts propres}}$$

- Temps moyen entre pannes (mesure la fiabilité)

$$= \frac{\text{Temps de fonctionnement}}{\text{Nombre de pannes}}$$

- Temps moyen d'arrêt propre

$$= \frac{\text{Temps d'arrêts propres}}{\text{Nombre d'arrêts propres}}$$

- Temps moyen de panne

$$= \frac{\text{Temps de pannes}}{\text{Nombre de pannes}}$$

- Temps moyen de diagnostic

$$= \frac{\text{Temps de diagnostic}}{\text{Nombre de pannes}}$$

- Temps de réparation

$$= \frac{\text{Temps de réparation}}{\text{Nombre de pannes}}$$

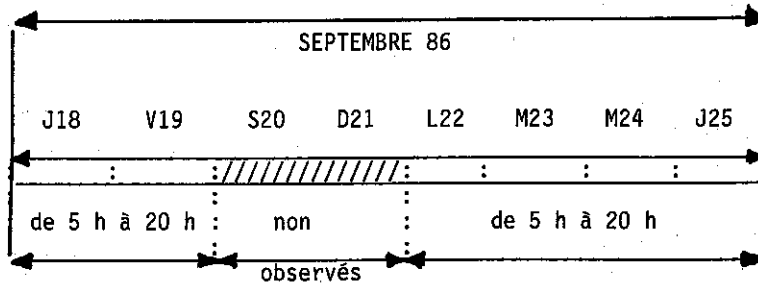
### 3. LES MESURES

Celles-ci ont été menées de façon à quantifier les différents états de diagramme d'état.

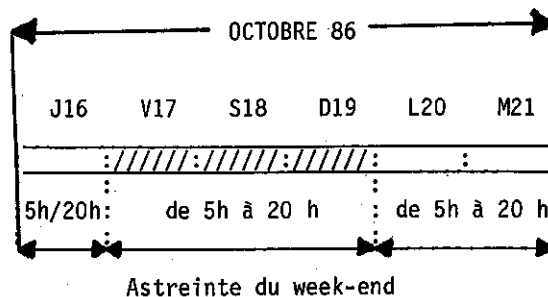
#### 3.1 PERIODE D'OBSERVATION

Les mesures ont été effectuées sur 2 périodes :

- 1ère période



- 2ème période



Entre ces 2 périodes, la méthode a été affinée de façon à simplifier la saisie des données et à l'organiser dans la perspective d'un traitement automatique.

Au total 20 postes travaillés ont été observés.

Ces observations comprennent :

- L'observation proprement dite des phénomènes inconnus qu'on cherche à mesurer (ici : pendant les postes travaillés)
- Ce qui est connu sans qu'il soit besoin de l'observer (ex : les postes non travaillés sont du temps non requis).

3.2 SAISIE DES DONNEES

Les données sont saisies sur tableur suivant le schéma :

MACHINE						
DATE	H. début réquisition	H. début fonct.	H. début fonct. dégradé	H. panne	H. début diagnostic	H. fin diagnostic

H. début réparation	M. arrivée pièces	H. redémarrage	H. tout est OK	H. fin réquisition

Organe	Evénement	Cause	Action	Notes

Les pannes, leurs causes et les remèdes sont renseignés à partir du tableau suivant où nous avons établi une codification définissant les triplets : cause-événement-action.

## CODES PANNES

TABLE DES CAUSES	TABLE DES EVENEMENTS	TABLE DES ACTIONS
:00 MATERIEL INADAPTE	:00 DEFAUT AUTOMATISME	:00 CONTROLE ET ESSAIS
:01 ERREUR CONCEPTION	:01 DEFAUT DE SCRUTATION	:01 ENREGISTREMENT
:02 ERREUR MODIFICATION	:02 PERTE DE MAIN	:02 ETALONNAGE
:03 NON CONFORMITE	:03 RAFRAICHISSEMENT	:03 ESSAIS
:20 UTILISATION	:04 TEMPS DE REPONSE	:06 MESURE
:21 UTILISATION ANORMALE	:20 DEFAUT ELECTRIQUE	:05 REGLAGE
:22 PERCEE	:21 COURT-CIRCUIT	:06 VISITE
:40 DEFAUT D'ENTRETIEN	:22 DECLenchEMENT	:20 MANOEUVRE
:41 DEFAUT DE CONNECTIQUE	:23 DEFAUT DE CONTINUITE	:21 ACQUITTEMENT DE DEFAUT
:42 DEFAUT DE LUBRIFICATION	:24 FLASH	:22 ARRET
:43 DEFAUT DE NETTOYAGE	:25 FUSION FUSIBLE	:23 CONSIGNATION
:44 PROCEDURE NON RESPECTEE	:26 ISOLEMENT ANORMAL	:24 DECONSIGNATION
:45 USURE NORMALE	:40 DEFAUT FONCTIONNEMENT	:25 DEMARRAGE
:60 ORIGINE EXTERIEURE	:41 ARRET	:26 ENCLenchEMENT
:61 COUPURE E D F	:42 CONFIGURATION ANORMALE	:27 FORCAGE
:62 ORAGE GEL VENT	:43 DEREGlage	:28 POSE DE SHUNT
:80 INTERVENTIONS	:44 MARCHE DEGRADEE	:29 RECONFIGURATION
:81 SECURITE	:60 DEFAUT MECANIQUE	:30 INITIALISATION
:82 SUITE A CONSIGNE	:61 BLOCAGE	:31 RELANCE
:83 SUITE A INCIDENT	:62 BOUCHAGE	:40 PREPARATION
:99 AUTRE	:63 DEFAUT SURFACE	:41 MANUTENTION
:	:64 DEFORMATION	:42 MISE A JOUR
:	:65 DEPLACEMENT	:60 REMISE EN ETAT
:	:66 DESSERAGE	:61 ALIGNEMENT
:	:67 ENCRASSEMENT	:62 COLLAGE
:	:68 FISSURE	:63 DEBOUCHAGE
:	:69 FUITE	:64 ISOLATION
:	:70 RUPTURE	:65 LUBRIFICATION
:	:71 USURE	:66 NETTOYAGE
:	:80 DEFAUT PHYSIQUE	:67 RACCORDEMENT
:	:81 BRUIT	:68 RECHARGEMENT
:	:82 DEBIT	:69 REMISE EN FORME
:	:83 TEMPERATURE	:70 REMISE EN PLACE
:	:84 NIVEAU	:71 REPARATION
:	:85 PRESSION	:72 SERRAGE
:	:86 VIBRATION	:73 SOUDAGE
:	:99 AUTRE	:74 USINAGE
:	:	:80 REMPLACEMENT
:	:	:81 DEPOSE
:	:	:82 POSE
:	:	:99 AUTRE



#### 4. LES RESULTATS

A partir des données saisies on établit pour chaque machine 2 graphes :

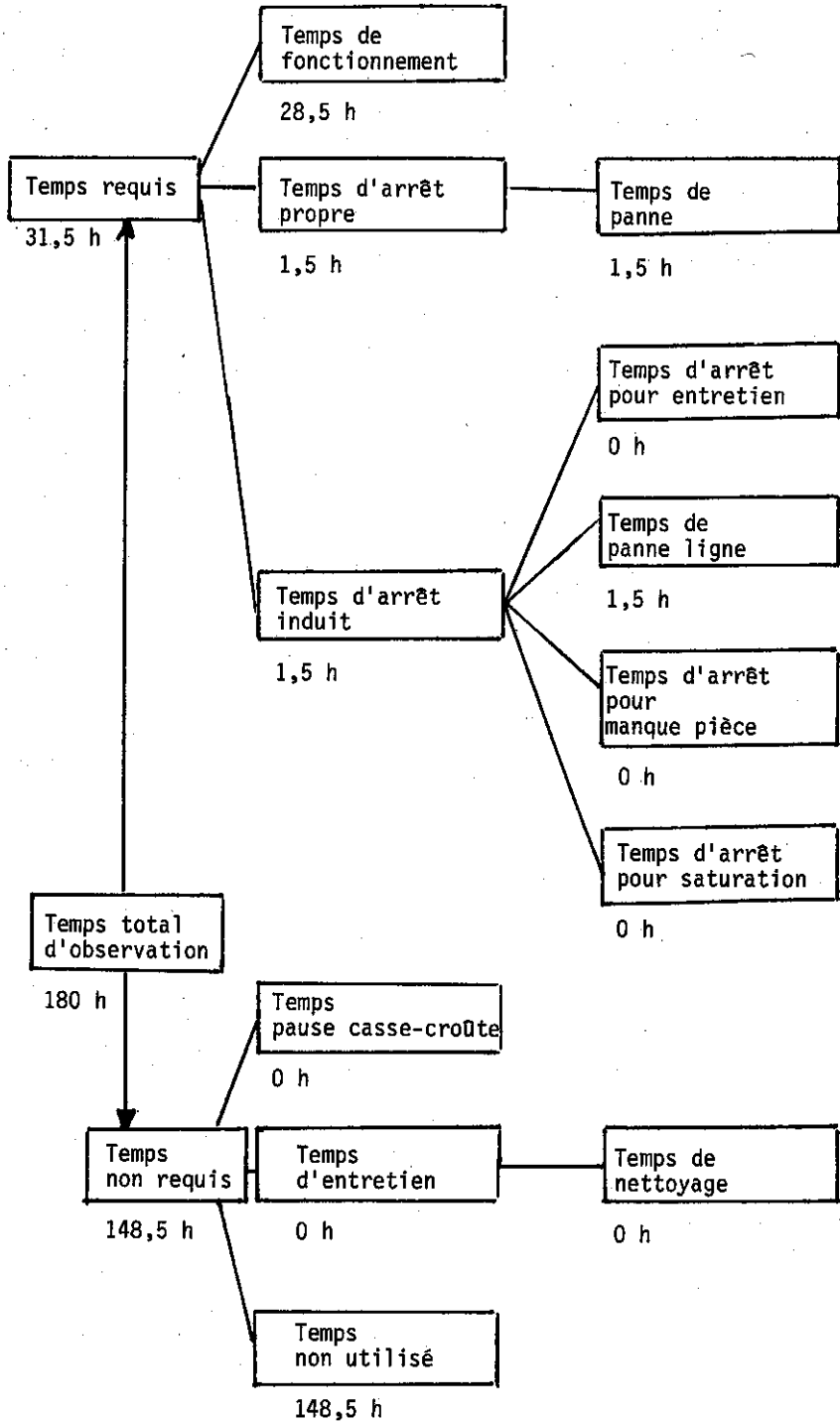
- Un premier graphe se rapportant au temps d'observation (qui n'intègre pas le "temps non utilisé" ou le "temps d'entretien systématique").

- Un second graphe -dédit du précédent- se rapportant au "temps total" ; dans le cas présent : la semaine.

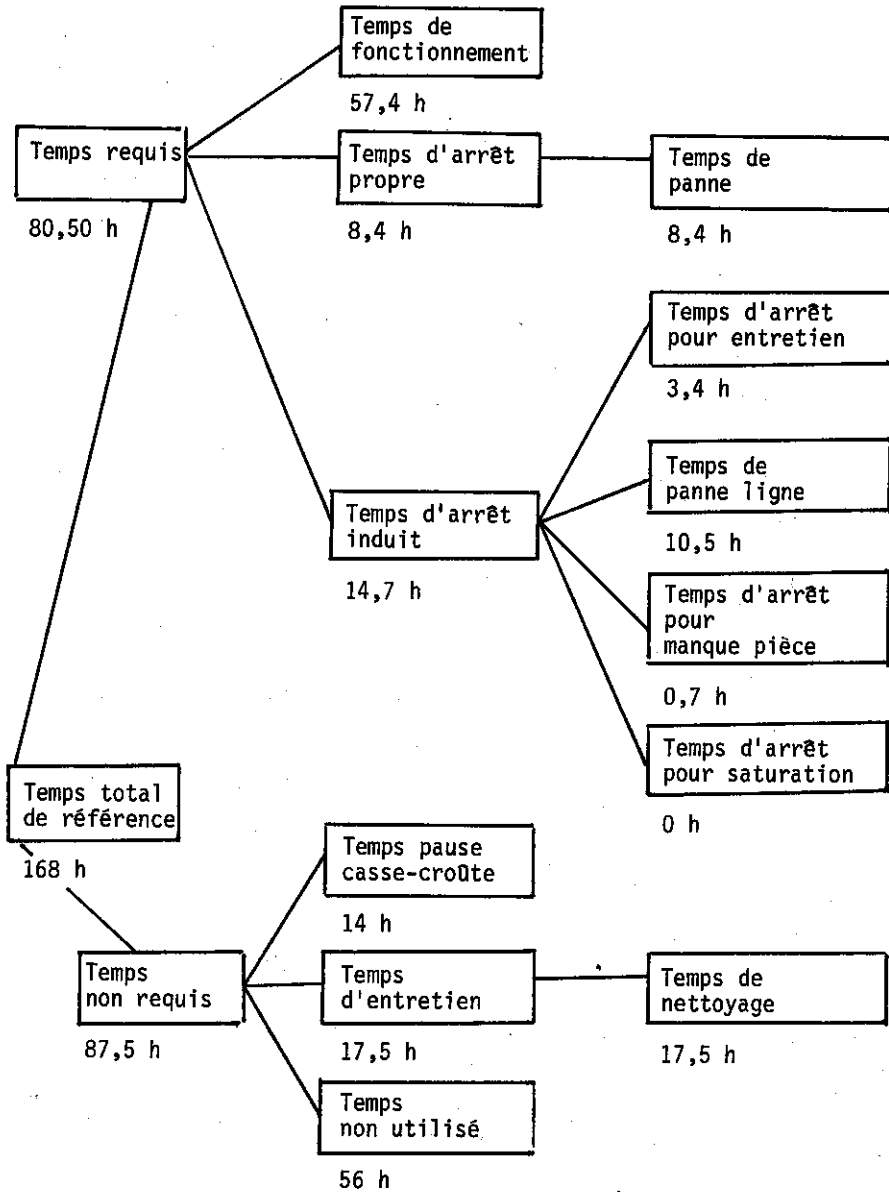
- On calcule les indicateurs présentés au § 2.3 :  
dans le cas présent, il n'y a pas d'arrêt propre fonctionnel ; les arrêts propres sont donc identiques aux pannes ; nous nous limiterons donc aux indicateurs propres à celles-ci (ie : temps moyen de fonctionnement  
= temps moyen entre pannes  
et temps moyen d'arrêts propres  
= temps moyen de pannes)

4.1 LE TRANSBORDEUR AU SOL

GRAPHE 1



GRAPHE 2



INDICATEURS

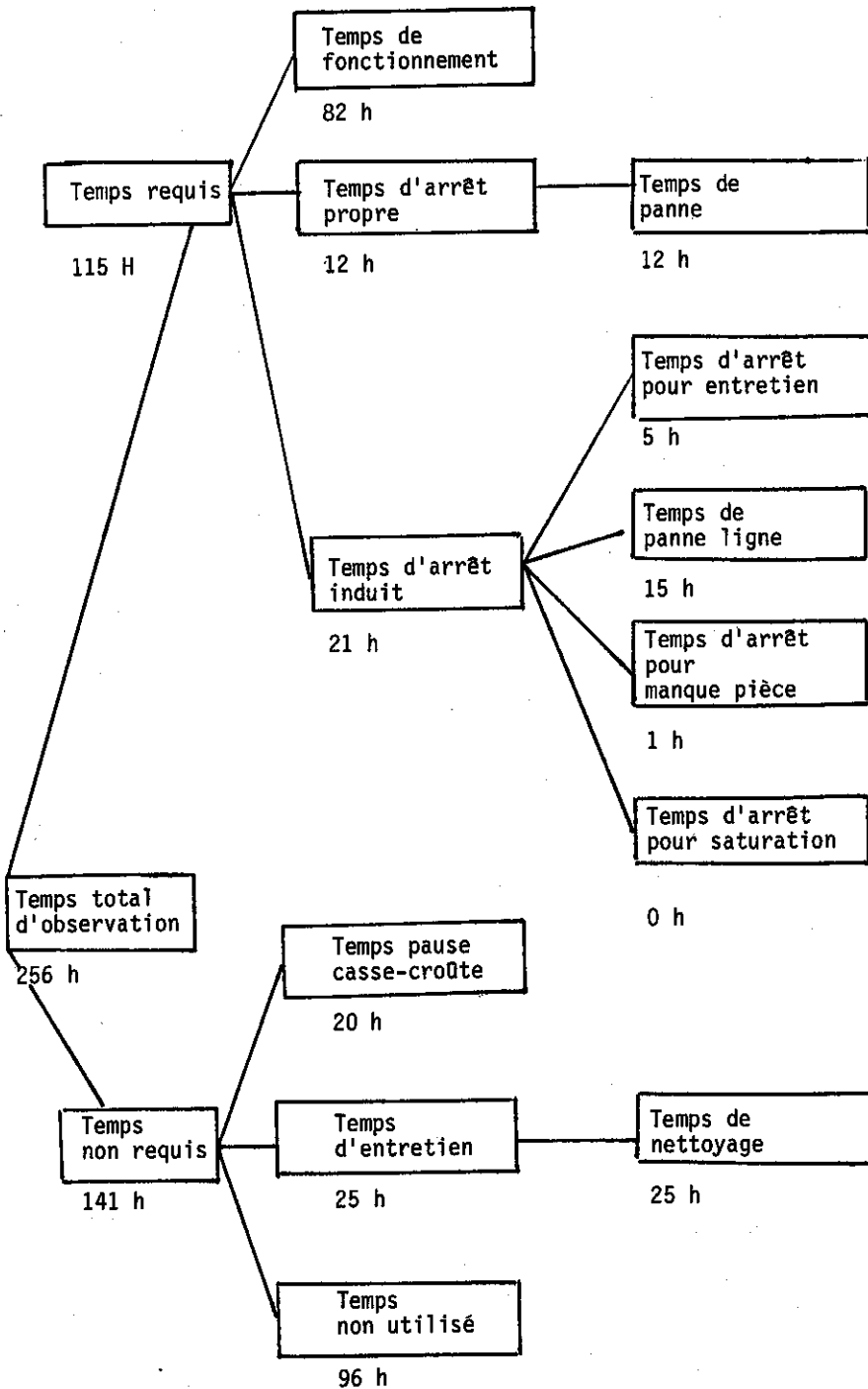
DISPONIBILITE OPERATIONNELLE  
 DISPONIBILITE PROPRE  
 TEMPS MOYEN ENTRE PANNE  
 TEMPS MOYEN DE PANNES  
 TEMPS MOYEN DE DIAGNOSTIC  
 TEMPS MOYEN DE REPARATION  
 NOMBRE MOYEN DE PANNES

71 %  
 87 %  
 40:59 (h:mn)  
 6:07 (h:mn)  
 0:03 (h:mn)  
 5:44 (h:mn)  
 1.4

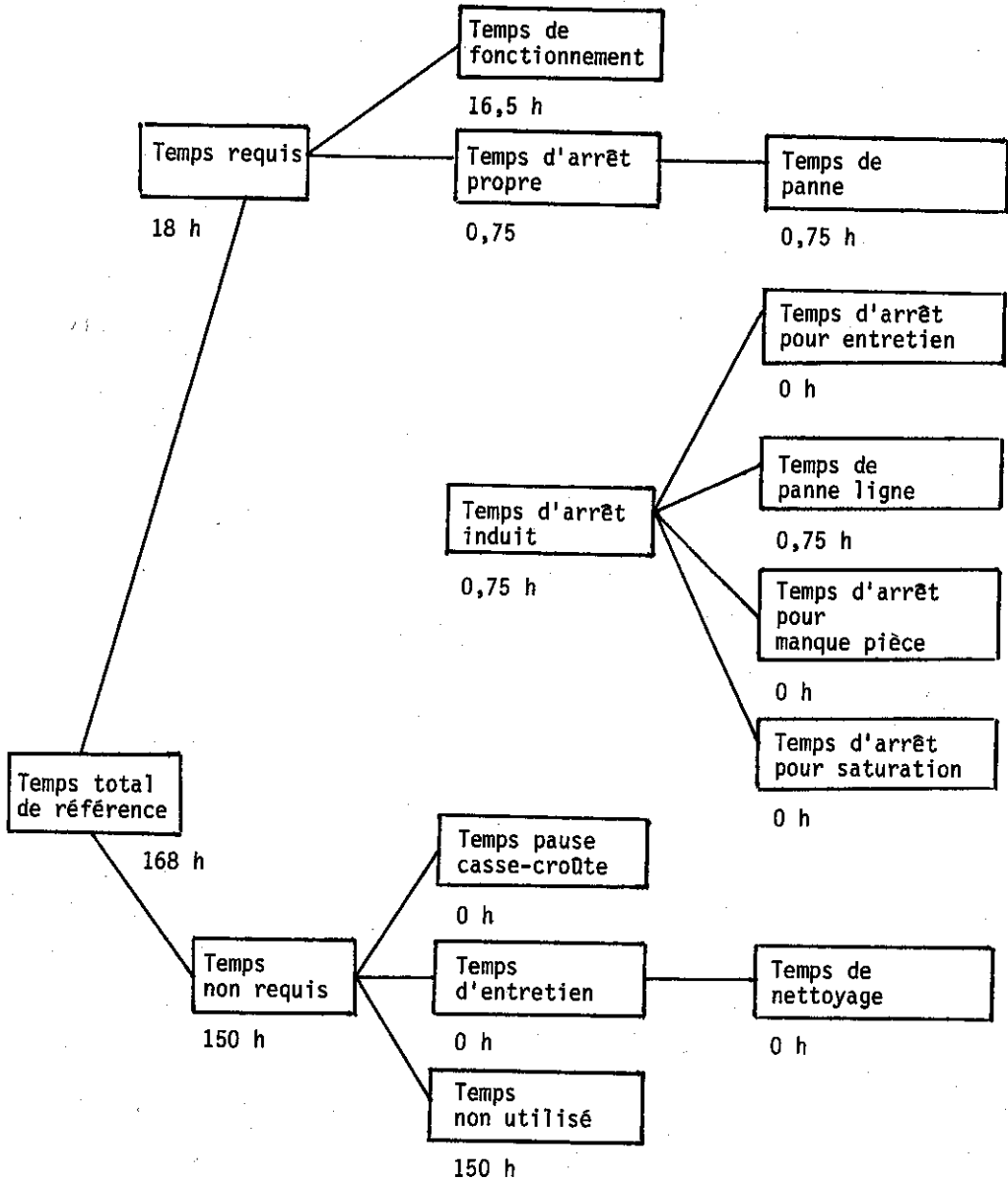
4.2 LES MACHINES DU POSTE DE NETTOYAGE

4.2.1 LE PIQUEUR

GRAPHE 1



GRAPHE 2

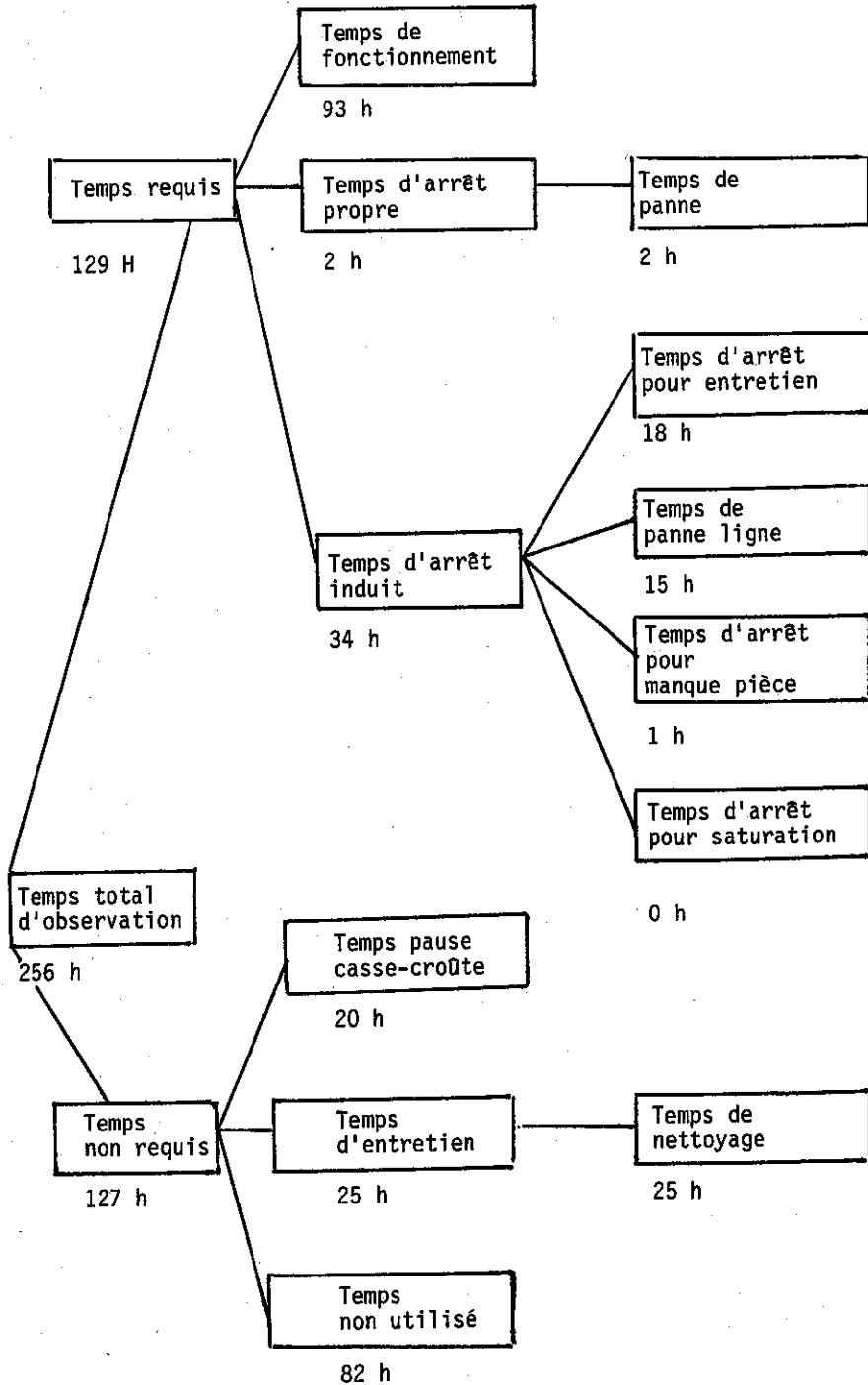


INDICATEURS

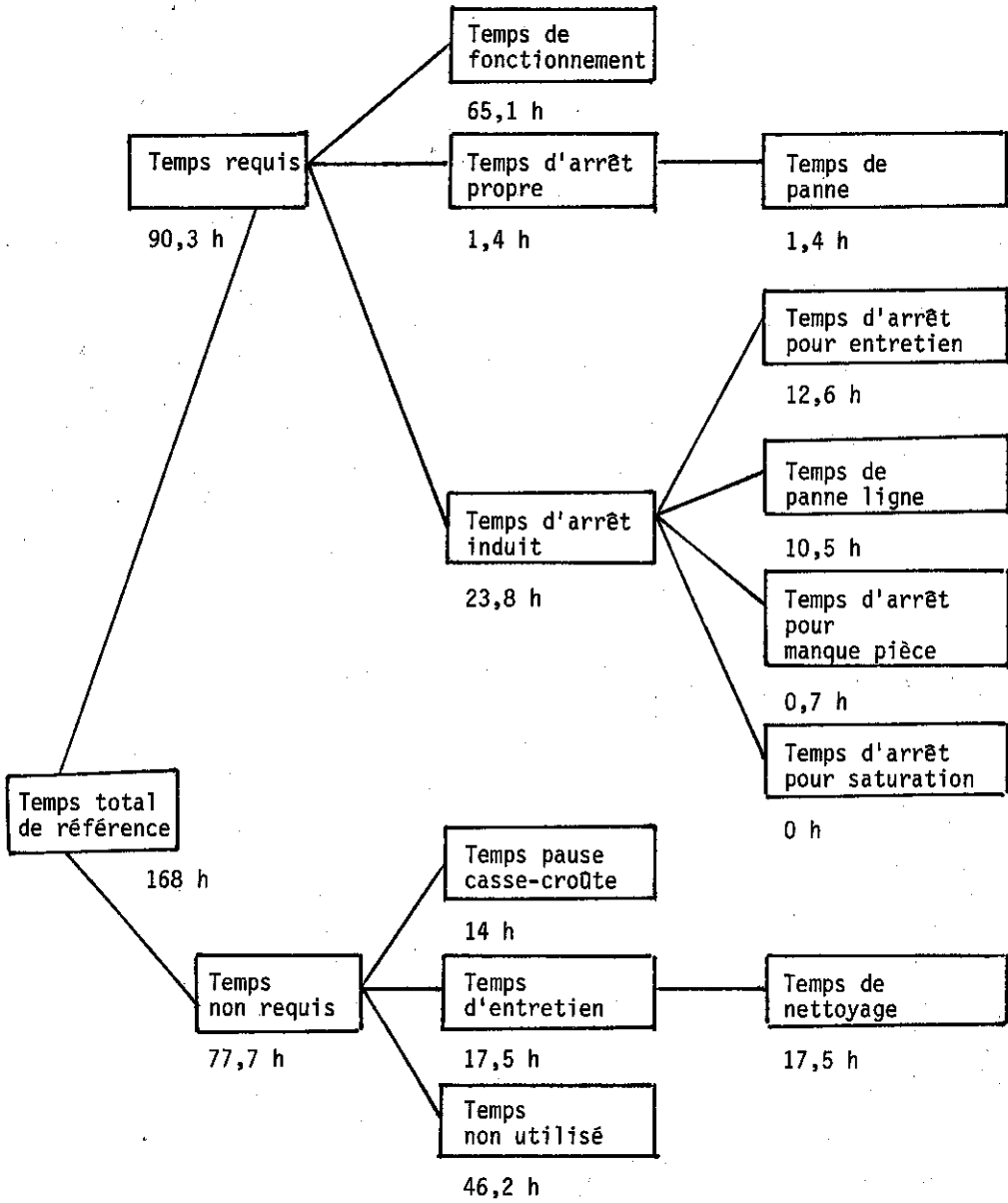
DISPONIBILITE OPERATIONNELLE	91 %
DISPONIBILITE PROPRE	95 %
TEMPS MOYEN ENTRE PANNES	3:10 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE PANNES	0:09 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE DIAGNOSTIC	0:03 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE REPARATION	0:01 (h:mn)
NOMBRE MOYEN DE PANNES	5.1

4.2.2 LA TABLE

GRAPHE 1



GRAPHE 2

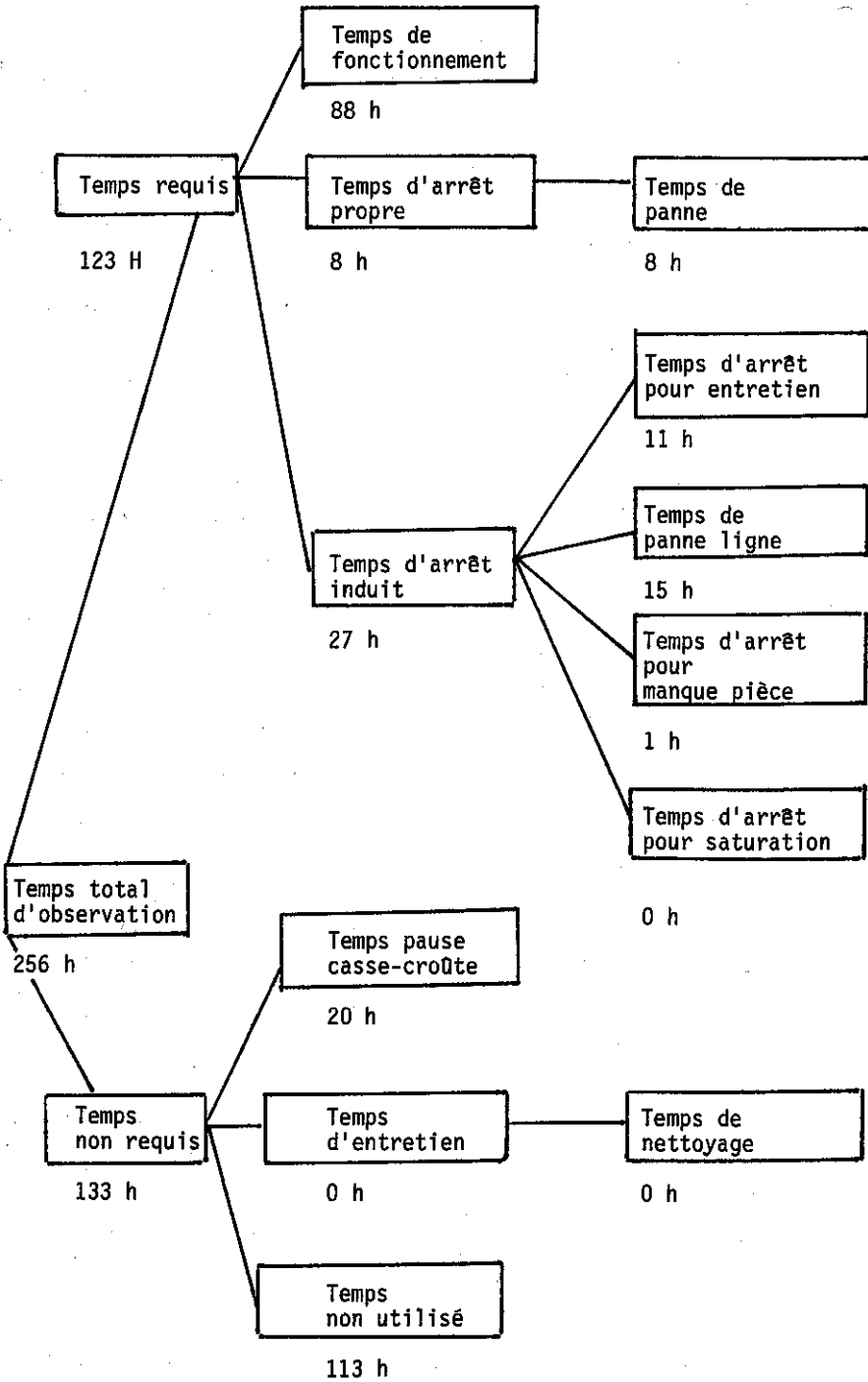


INDICATEURS

DISPONIBILITE OPERATIONNELLE	72 %
DISPONIBILITE PROPRE	98 %
TEMPS MOYEN ENTRE PANNES	30:56 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE PANNES	0:41 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE DIAGNOSTIC	0:04 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE REPARATION	0:36 (h:mn)
NOMBRE MOYEN DE PANNES	2.1

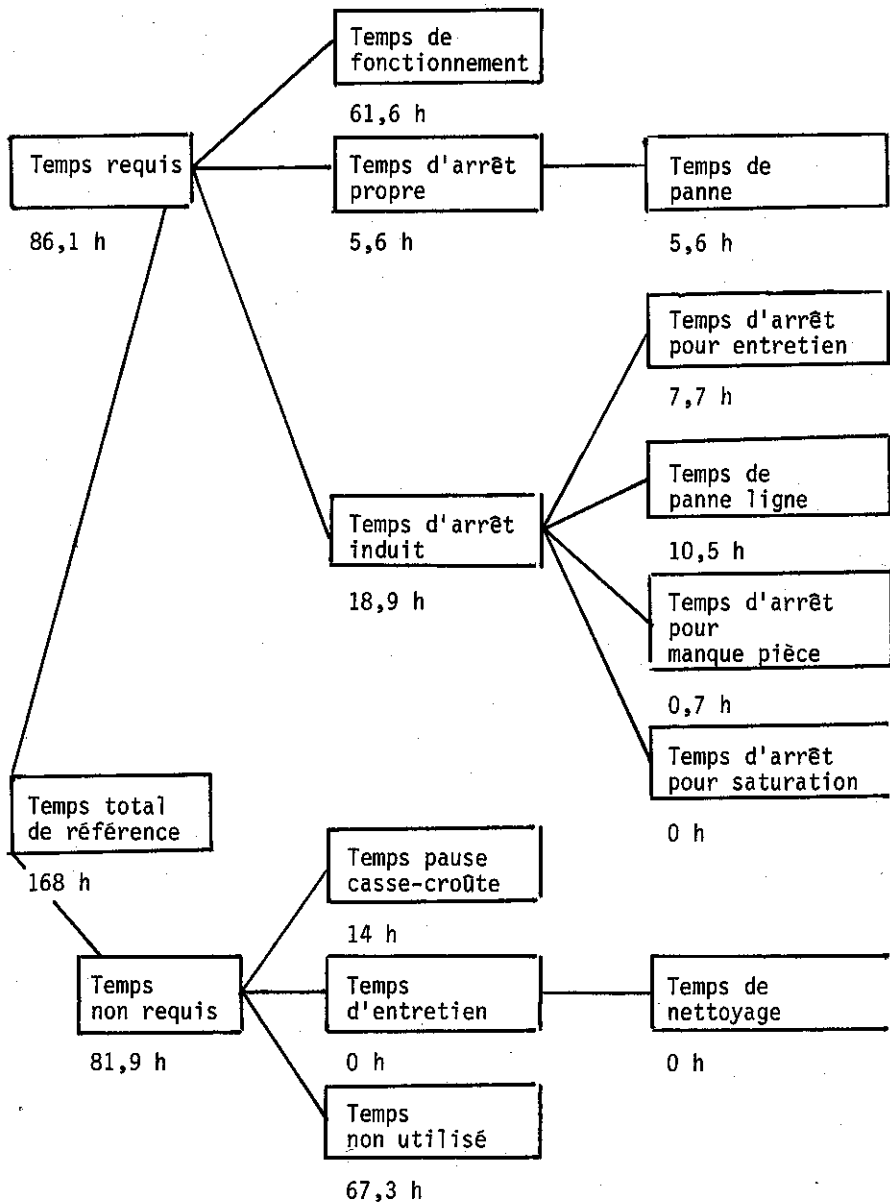
4.2.3 LE MANIPULATEUR

GRAPHE 1





GRAPHE 2



INDICATEURS

DISPONIBILITE OPERATIONNELLE	72 %
DISPONIBILITE PROPRE	91 %
TEMPS MOYEN ENTRE PANNES	88:13 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE PANNES	8:15 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE DIAGNOSTIC	0:05 (h:mn)
TEMPS MOYEN DE REPARATION	8:00 (h:mn)
NOMBRE MOYEN DE PANNES	0.7

#### 4.2.4 LE "SYSTEME DE NETTOYAGE"

La disponibilité propre la plus faible des machines du poste de nettoyage est de 87 % ; la dépendance fonctionnelle peut être analysée ainsi :

- les machines peuvent en première approximation être considérées comme fonctionnellement en série ; si l'une d'elles tombe en panne, les autres ne peuvent que terminer leur cycle.

- la dépendance fonctionnelle des machines avec le convoyeur aérien entraîne une disponibilité opérationnelle de chaque machine de 72 % ; c'est la valeur de la disponibilité opérationnelle du "système de nettoyage".

4.3 LE TRANSBORDEUR AERIEN

En faisant l'hypothèse en première approximation que le transbordeur aérien est la seule machine fonctionnellement liée au transbordeur au sol, ou plus précisément que le transbordeur au sol est disponible si et seulement si :

- il est en état de marche
- et
- le convoyeur aérien est en état de marche

On a :

$$d_o \text{ (transbordeur au sol)} = d_p \text{ (transbordeur au sol)} \\ * d_o \text{ (transbordeur aérien)}$$

La disponibilité opérationnelle du transbordeur aérien est donc égale à :

$$\frac{0.91}{0.95} \quad \text{soit } 96 \%$$

4.4 LE CONVOYEUR AERIEN

En faisant la même hypothèse avec le poste de nettoyage et le convoyeur aérien, on a :

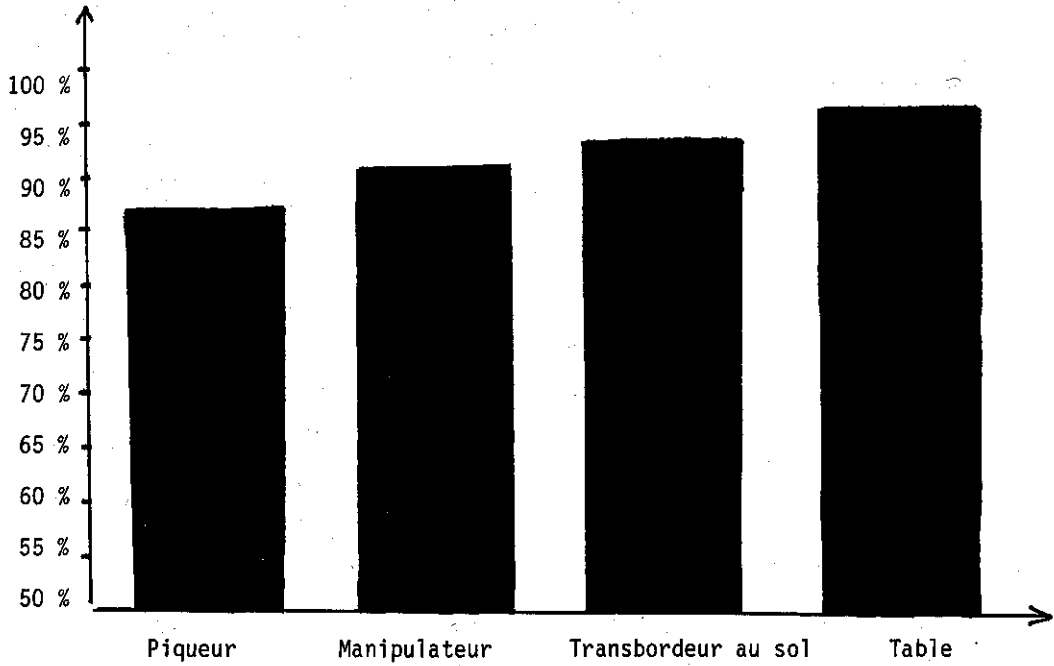
$$d_o \text{ (nettoyage)} = (d_p \text{ (manipulateur)} \\ * d_p \text{ (table)} * d_p \text{ (table)} \\ * d_p \text{ (piqueur)}) * d_o \text{ (convoyeur)}$$

La disponibilité opérationnelle du convoyeur aérien est donc égale à :

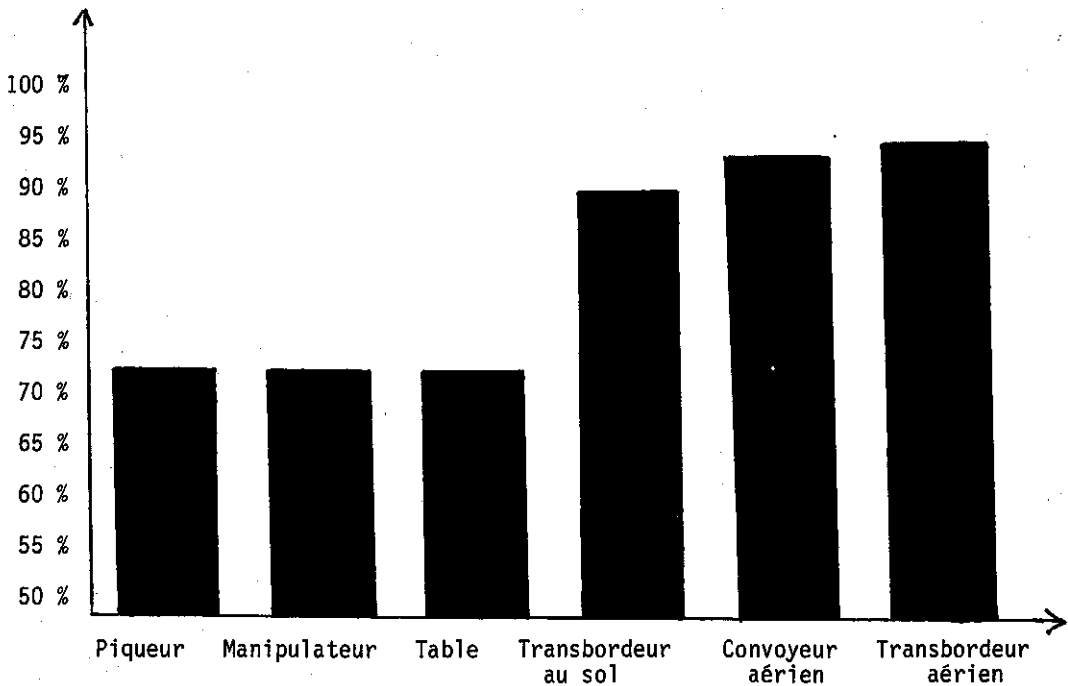
$$\frac{0.72}{0.91 * 0.98 * 0.98 * 0.87} \quad \text{soit } 95 \%$$

4.5 RECAPITULATIF

## DISPONIBILITE PROPRE



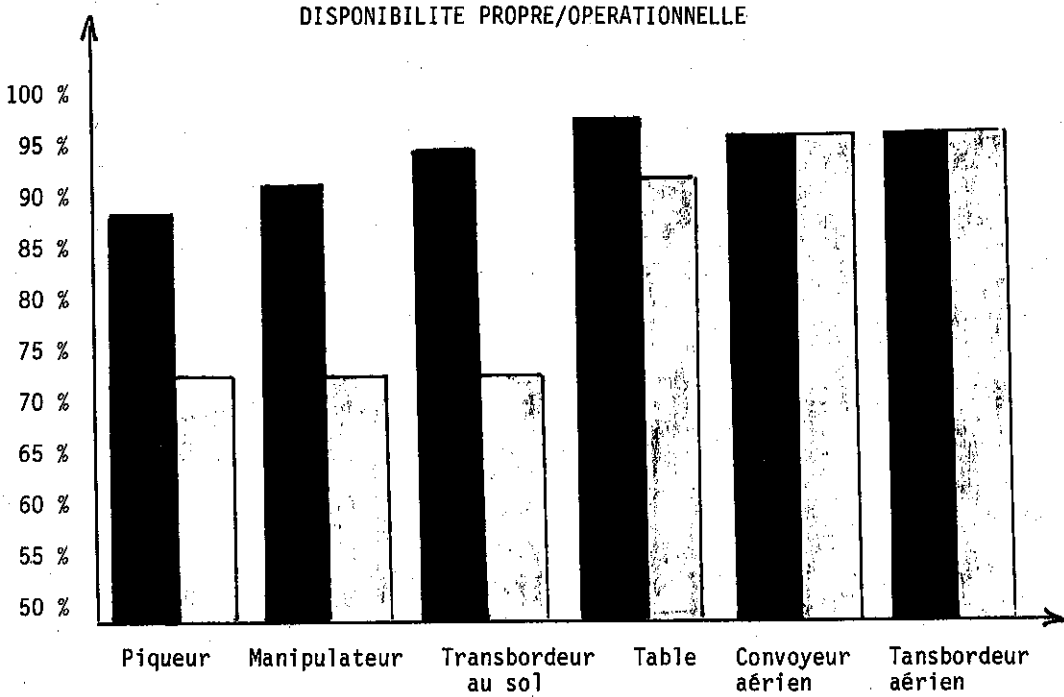
## DISPONIBILITE OPERATIONNELLE



La disponibilité propre d'une machine étant supérieure ou égale à sa disponibilité opérationnelle, on a dans le cas le plus défavorable :

$d_p$  (convoyeur aérien) = 95 %

$d_p$  (transbordeur aérien) = 96 %



Comment interpréter et analyser ces résultats ?

## 5. LES CONSEQUENCES SUR LA PRODUCTIVITE DE L'ATELIER

### 5.1 LA SITUATION ACTUELLE

Nous nous sommes limités dans une première approche au poste semi-automatisé : le poste de nettoyage.

La productivité hebdomadaire opérationnelle de ce poste est donnée par :

$$p_0 = \frac{4}{(3t_G + t_F)} * N * T_r * D_0 \quad (1)$$

où : -  $t_G$  est le temps de cycle de nettoyage d'1 produit H

-  $t_F$  est le temps de cycle de nettoyage d'1 produit I

- N est le nombre de postes travaillés dans la semaine (il y a 2 postes de nettoyage qu'on suppose identiques)

-  $D_0$  est la disponibilité opérationnelle du poste de nettoyage (mesurée précédemment)

-  $T_r$  est le temps requis par poste

On rappelle qu'on traite 3 produits H pour 1 produit I

La production objectif est de 2016 produits/semaine  
(soit 1512 produits H et 504 Produits I)

Le cahier des charges prévoit un fonctionnement pour chaque poste de nettoyage :

- "52 semaines par an

- 7 jours par semaine

- 2 postes de 8 heures par jour les autres jours de la semaine, soit 9 postes par semaine.

- 6 heures de travail effectif par poste de 8 heures"

Aujourd'hui, chaque poste de nettoyage fonctionne en moyenne 14 postes par semaine.

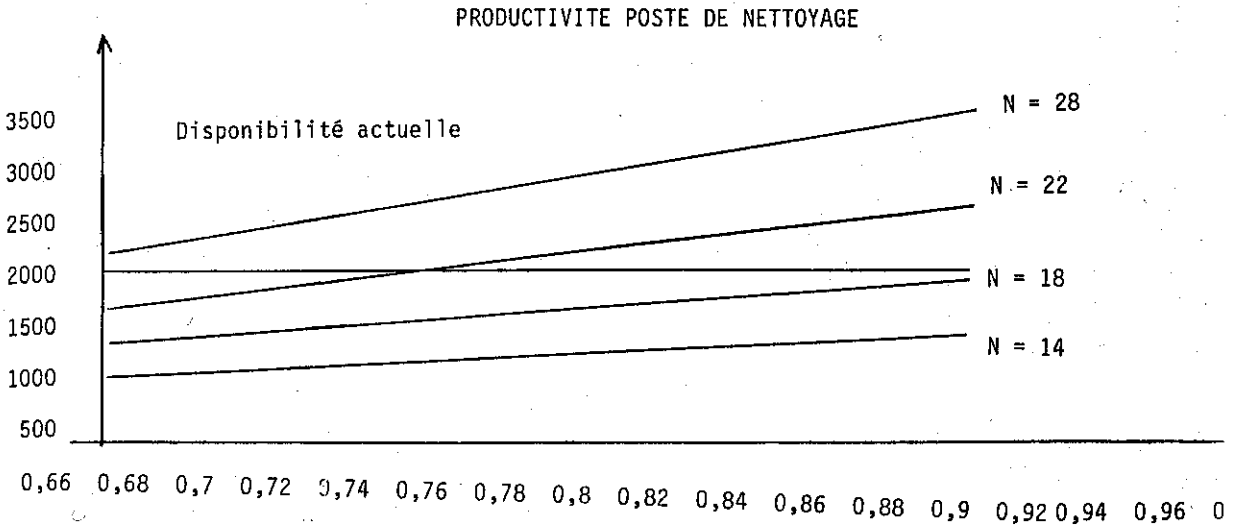
Le temps requis/poste est de 5 heures 45 minutes.

Les temps de cycle de nettoyage sont de :

- 5' pour un produit I

- 3' pour un produit H

En portant en abscisse la disponibilité opérationnelle du poste et en ordonnée la productivité opérationnelle, on obtient pour différentes valeurs du nombre de postes travaillés le faisceau de courbes suivant :



DISPONIBILITE OPERATIONNELLE

On remarque que :

- La mesure de la disponibilité opérationnelle (72 %) mesurée est représentative du mode d'exploitation actuel.

- Même avec une disponibilité opérationnelle de 100 %, toutes choses restant égales par ailleurs, le mode d'exploitation prévu dans le cahier des charges ne permet pas d'assurer la production objectif.

## 5.2 LES ACTIONS POSSIBLES

Nous considérerons que l'objectif est, à productivité opérationnelle constante, de réduire le nombre N de postes travaillés à 18.

L'expression (1) prend en compte 3 types de paramètres :

- La disponibilité opérationnelle  $D_0$
- Les temps de cycle tF et tG
- Le temps requis  $T_r$

Dans la suite, nous simulons une action sur chacun de ces paramètres sans préjuger du réalisme de l'action, mais dans le but essentiel d'évaluer ses effets.

Que se passe-t-il si :

### 5.2.1 ON AUGMENTE LA DISPONIBILITE OPERATIONNELLE

La disponibilité opérationnelle du poste de nettoyage est actuellement de 72 %.

On remarque qu'en se limitant à une fiabilisation des machines de ce poste, on pourra au mieux atteindre une disponibilité opérationnelle de 94 % (d'après la relation)

$$D_0 \text{ (nettoyage)} = D_p \text{ (nettoyage)} * D_0 \text{ (convoyeur)}$$

$$\text{avec } D_p \text{ (nettoyage)} = 1$$

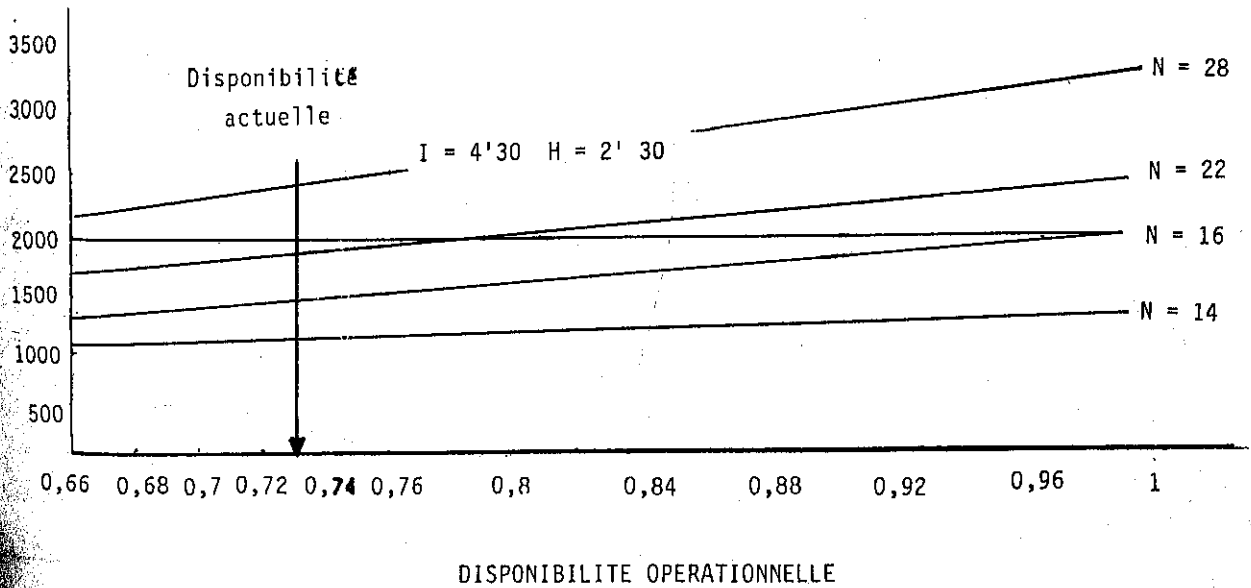
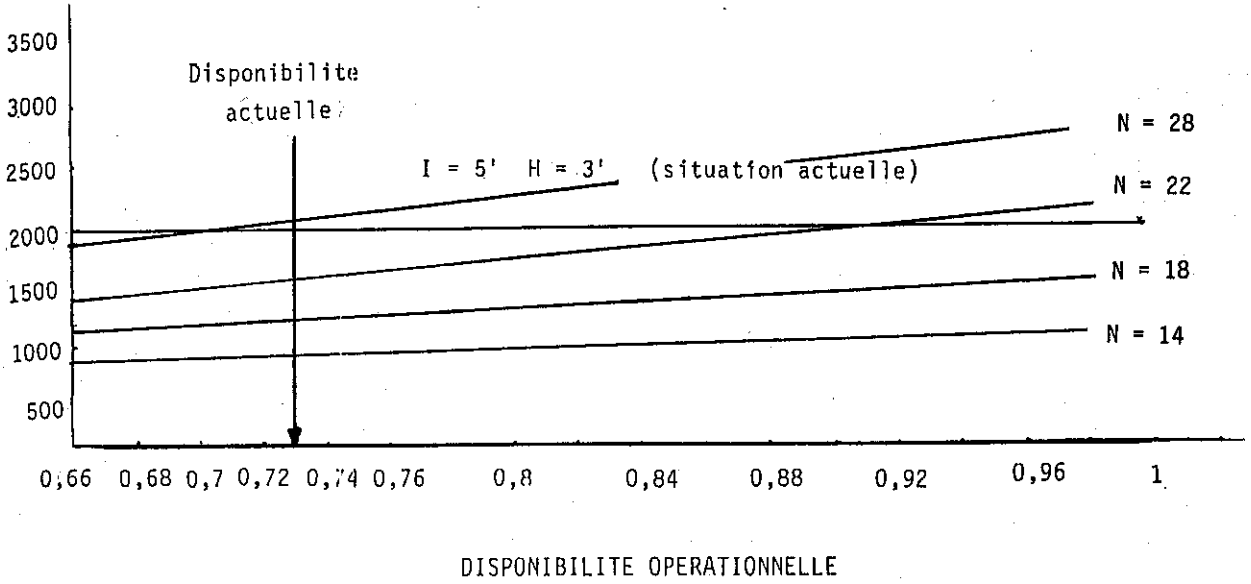
$$\text{et } D_0 \text{ (convoyeur)} = 0.94$$

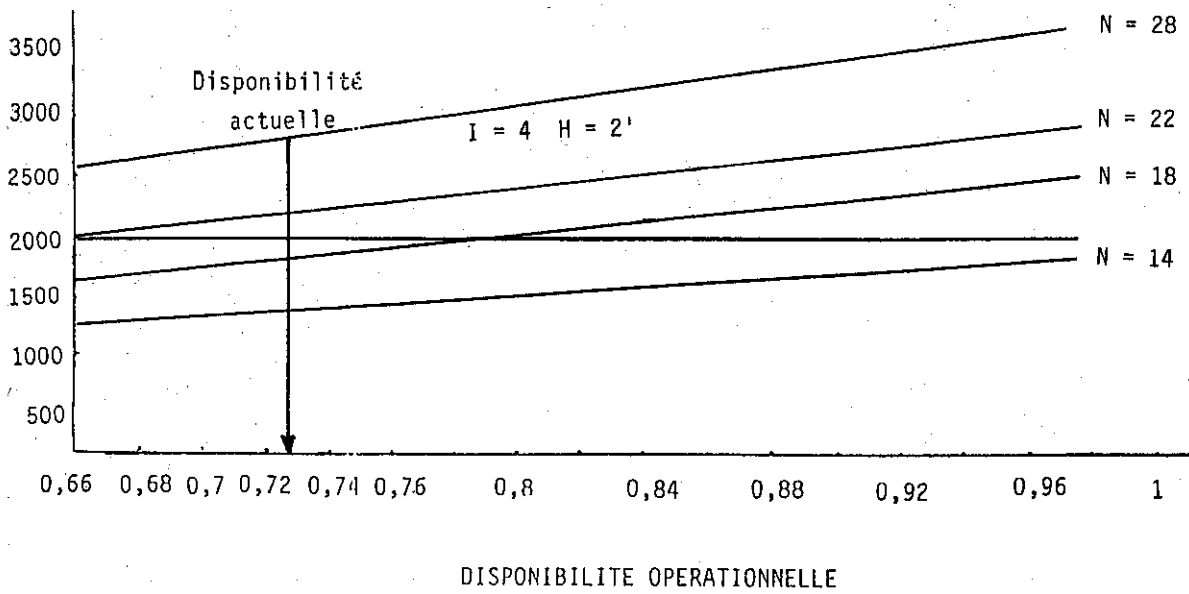
Une disponibilité opérationnelle de 92 % nécessiterait une disponibilité propre de chacune des 4 machines de 98 % -ce qui n'est pas irréaliste : c'est déjà le cas pour les tables-.

Mais on voit qu'une action sur le seul domaine de la fiabilité/maintenabilité est insuffisante pour atteindre l'objectif de 18 postes.

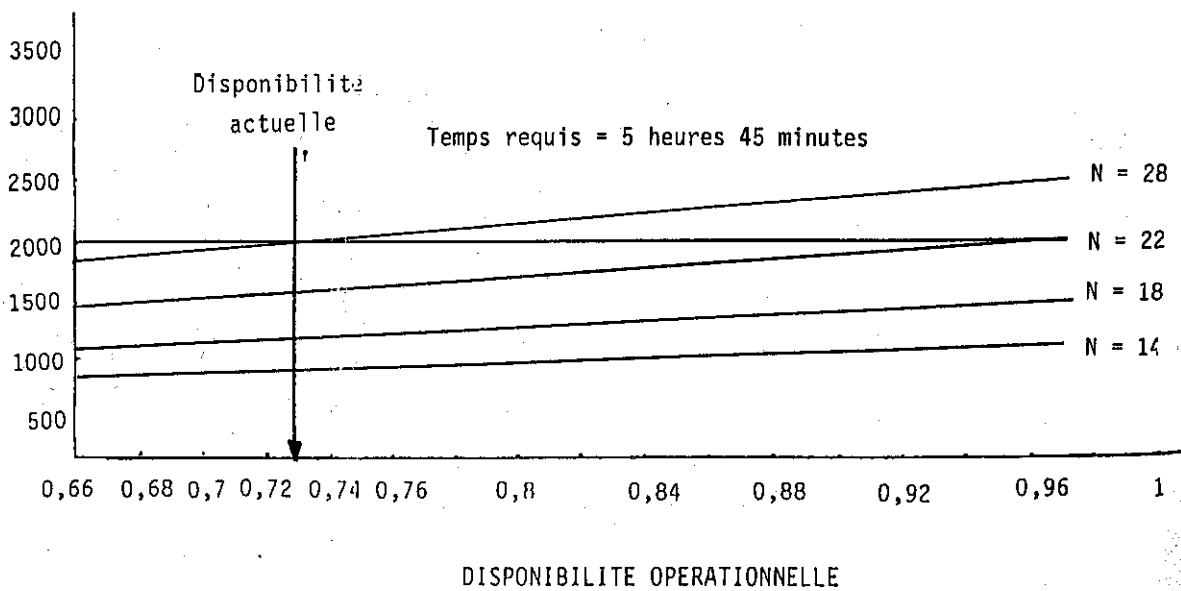


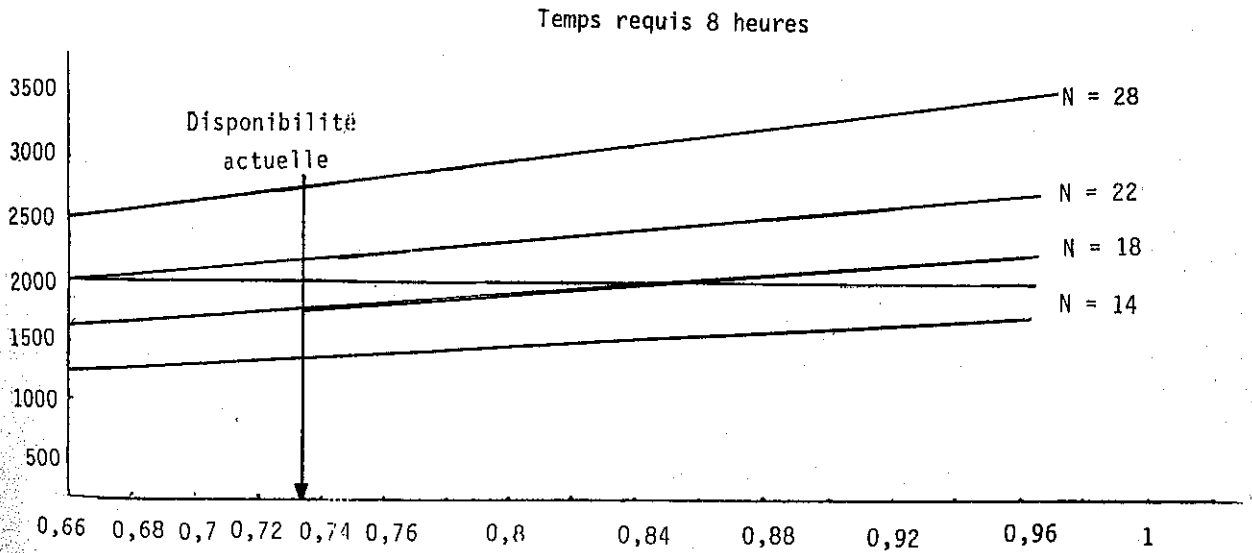
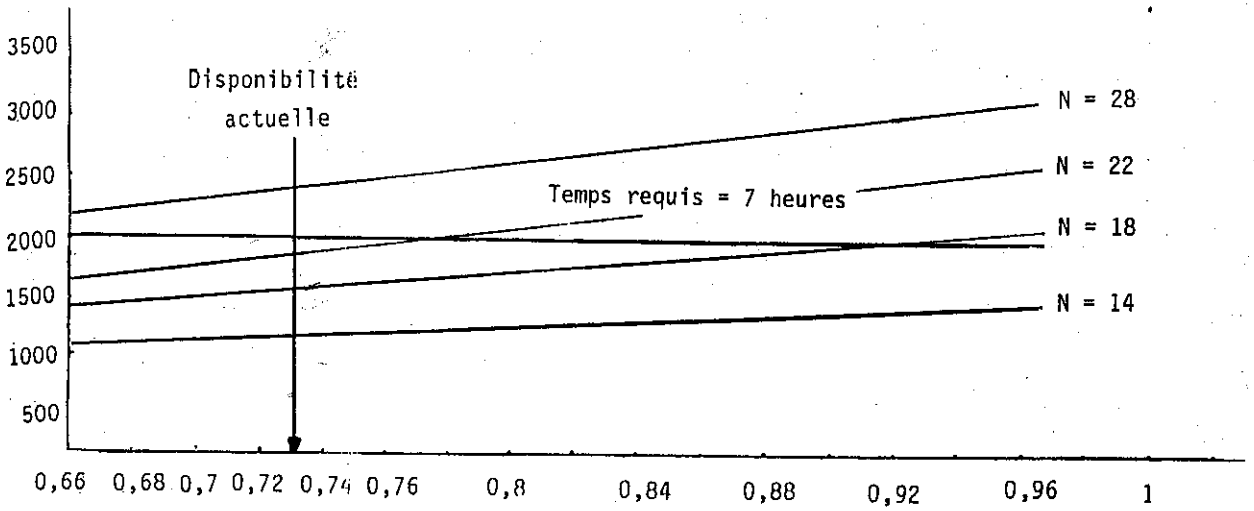
5.2.2 ON DIMINUE LES TEMPS DE CYCLE





5.2.3 ON AUGMENTE LE TEMPS REQUIS





On prendra garde de ne pas confondre "temps requis" et "temps de travail effectif" (terme du cahier des charges qui est identique au "temps de fonctionnement" défini au § 2.1.3).

Ainsi, un temps requis de 8 heures et une disponibilité opérationnelle de 82 % donnent un temps de fonctionnement de 6 heures 30' -valeur voisine des objectifs du cahier des charges-

On constate sur le dernier graphique que ce couple de valeurs permet d'assurer l'objectif de production avec  $N = 18$  postes.

Nous proposons ci-dessous une solution au problème de l'augmentation du temps requis.

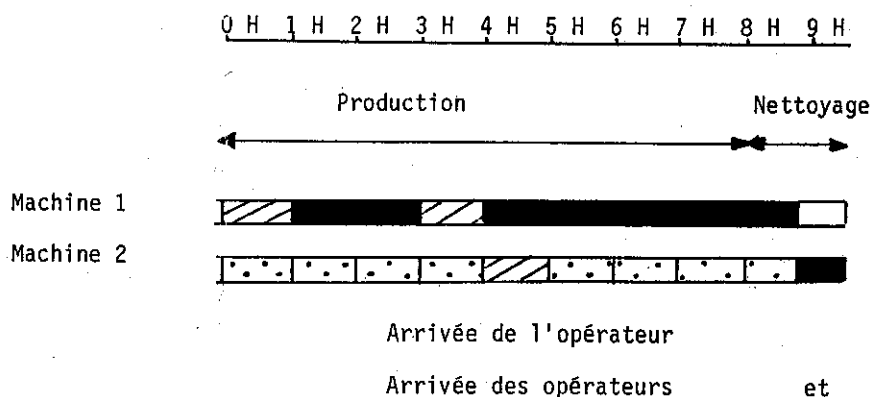
En première approximation, nous distinguons 2 types de temps non requis, suivant les contraintes temporelles qui s'y rattachent :

- les temps de pause qui interviennent "en moyenne" au milieu du temps requis
- les temps de nettoyage qui, sauf incident, interviennent en fin de temps requis

Nous posons comme hypothèse :

- que le taux d'engagement d'un opérateur est de 7 heures/poste
- qu'il est possible de décaler les temps de prise de poste de 2 opérateurs
- qu'il est matériellement possible pour un opérateur de nettoyer 2 postes de travail en 1 heure - dont celui qu'il n'a pas utilisé en dernier lieu-.

La solution proposée se représente graphiquement comme suit :



Au cycle suivant :

- l'opérateur [solid black] remplace l'opérateur [hatched]
- l'opérateur [hatched] remplace l'opérateur [dotted]
- l'opérateur [dotted] remplace l'opérateur [solid black]

Cette solution est partielle car l'activité du 3<sup>ème</sup> opérateur n'est pas complètement décrite.

En particulier, elle ne précise pas si le 3<sup>ème</sup> opérateur est déjà disponible dans l'atelier ou s'il doit être engagé à l'extérieur de l'atelier.

Dans ce dernier cas - qui est à priori le plus défavorable - on remarquera que par rapport à la situation actuelle et dans l'hypothèse d'une disponibilité opérationnelle ce 82 % du poste de nettoyage :

- l'objectif de productivité opérationnelle est atteint
- on dispose d'une ressource hebdomadaire de (7 heures - 3 heures)

\* 9 postes = 36 heures d'opérateur.

## 6. CONCLUSIONS

Les mesures effectuées ont permis de montrer que :

6.1 La méthode de mesures proposée est réaliste dans sa mise en oeuvre et dans les résultats qu'elle fournit.

6.2 Dans la conception actuelle des installations :

- les micro-pannes sur les machines automatiques sont nombreuses et dégradent la fiabilité.

- elles sont par contre bien maîtrisées par le personnel sur les machines semi-automatiques.

- la seule amélioration de la fiabilité et de la maintenabilité ne peuvent suffire à atteindre les objectifs de productivité fixés dans les cahiers des charges.

- des éléments de solution se trouvent également dans une optimisation des temps de cycle des machines et dans un engagement différent des ressources humaines de l'atelier.

- la prise en compte de ces éléments dès la conception pourra conduire à un design différent de l'installation.