

## ANALYSE PM ou 2P 5M

*Suivant la méthodologie créée par le Japan Institute of Plant Maintenance  
d'après "PM Analysis an advanced step in TPM implementation"  
Kunio SHIROSE - Yoshifumi KIMURA - Mistsugu KANEDA  
Productivity Press, Inc*

L'analyse PM ou 2P 5M est une méthode incluse dans le pilier 6 "Maîtrise de la qualité" de la démarche TPM®. Ce pilier regroupe l'ensemble des activités propres à assurer le ZERO défaut par la prévention primaire. Le terme défini par le Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) est Analyse PM, nous adopterons celui d'Analyse 2P 5M pour mémoriser plus facilement son contenu.

**ANALYSE** : C'est la démarche qui conduit à mettre en évidence les principes ou les lois naturelles qui génèrent le problème et qui permet de clarifier les mécanismes et conditions d'apparition de celui-ci.

**2 P = Problème** : perte chronique (qualité, fiabilité, performance)

+ **Physique** : principe ou loi naturelle à l'origine du problème.

**5 M = Mécanisme de génération du problème**

+ **4M** : **Machine** - **Main d'œuvre** - **Matériel** - **Méthodes**

Le pilier 6 "Maîtrise de la qualité" consiste à maintenir la perfection des équipements, des méthodes, des procédés et modes opératoires pour obtenir la parfaite qualité des caractéristiques critiques du produit.

La conduite de ce pilier nécessite les actions suivantes :

- 1 - Les paramètres qui impactent la qualité sont identifiés, standardisés et mesurés systématiquement pour vérifier que leurs valeurs restent à l'intérieur des plages autorisées et ne créent pas de défauts.
- 2 - La maintenance préventive des équipements est étendue de la prévention des pannes à la prévention des défauts qualité.
- 3 - Les variations des caractéristiques du produit sont exploitées pour détecter les probabilités d'apparition de défauts et adopter les mesures correctives (Contrôle statistique de process).

L'analyse 2P 5M nous apprend comme la TPM® à ne pas porter de jugement a priori sur la valeur de contribution d'une cause. Dans cette démarche on adopte pour base que :

Toutes les causes logiques :

- ❖ sont possibles,
- ❖ doivent être inventoriées,
- ❖ doivent être vérifiées sur le terrain.

**1 / Rappel d'un processus sous contrôle :**

E.W. DEMING rappelle qu'un processus est stable, ou en état de contrôle statistique, lorsqu'il y a absence de causes spéciales de variation dites aussi causes assignables.

Pour un tel processus on peut prévoir son comportement dans un avenir proche, même s'il peut exister à tout instant une secousse imprévue qui le déstabilise.

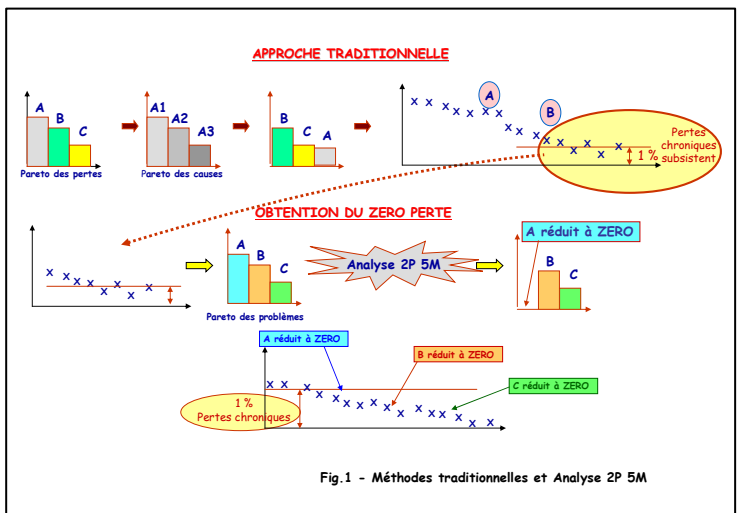
Les variations qui subsistent dans ce processus sont attribuées au hasard, c'est-à-dire à des causes aléatoires ou causes communes ou encore à des défaillances chroniques. On en déduit donc qu'une démarche logique de progrès doit être réalisée en 2 étapes :

- 1 - supprimer les causes spéciales pour établir un état de contrôle statistique,
- 2 - améliorer le processus et donc réduire sa dispersion.

Ceci correspond bien à l'idée de ZERO défaut ou à la démarche "6 SIGMA".

" L'élimination d'une cause spéciale de variation pour retrouver un état de contrôle statistique est une action importante, mais ce n'est pas une amélioration du processus ; cette action ne fait que remettre le système dans l'état où il aurait dû toujours rester. Comme dit le Dr JURAN, le problème important de l'amélioration commence lorsque le contrôle statistique est une chose acquise" (DEMING).

**2 / Vers le Zéro défaut ou le Zéro défaillance chronique :**



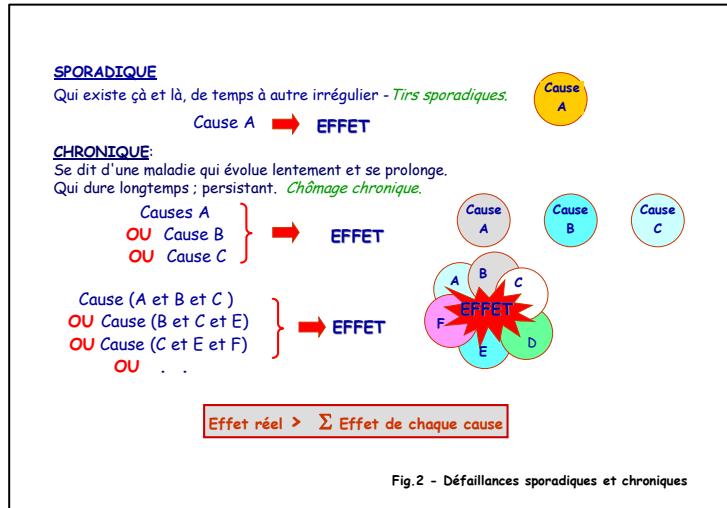
Les méthodes traditionnelles de résolution de problèmes s'adressent principalement à l'étude des causes spéciales. Elles sont souvent basées sur un diagramme de Pareto qui permet de définir les priorités (20/80). Si on s'arrête au traitement de 20 % des causes, même si ce sont les plus importantes, il reste 80 % des causes qui créent le "bruit de fond" du processus en terme de défaillances chroniques concernant la qualité ou la fiabilité du processus.

Cette logique est schématisée par la figure 1 ci-dessus. Le Zéro défaut et le Zéro défaillance nécessitent la suppression de ce bruit de fond c'est-à-dire des défaillances chroniques.

Tant que l'on est à des taux de défauts de l'ordre de 0.5 % les méthodes traditionnelles sont valables, à partir des ppm il faut pouvoir disposer d'outils plus sophistiqués.

### 3 / Difficulté de traitement des causes communes :

Les défaillances sporadiques existent de temps à autre de manière irrégulière. En général pour ce type de défaillances on constate que 1 Cause = 1 Effet.



A l'opposé les défaillances chroniques sont dues à plusieurs causes qui interagissent de manière complexe, variable (cf. fig. 2) et qui ne peuvent donc pas être mises en évidence par les méthodes traditionnelles.

En général l'effet résultant est supérieur à la somme de chaque cause.

Un manque de rigueur rend difficile le traitement des défaillances chroniques :

- on porte un jugement a priori sur l'importance des différents facteurs,
- on ne sait pas identifier tous les facteurs possibles pouvant contribuer à la défaillance,
- l'enquête relative à chaque facteur n'est pas suffisamment approfondie,
- la condition optimale relative à chaque facteur potentiel n'est pas définie,
- chaque défaut ou écart découvert n'est pas éliminé,
- les investigations sont arrêtées au premier facteur détecté,
- le phénomène n'est pas assez décomposé et analysé,
- on oublie certains facteurs en relation avec le phénomène,
- des facteurs anormaux restent cachés.

### 4 / Principe de l'analyse 2P 5M :

L'analyse 2P 5M est une méthode d'analyse systématique d'un problème qui examine tous les facteurs causals et identifie toutes les anomalies pour les réduire à ZERO.

Pour définir ce qu'est-ce qu'un facteur causal on définira les termes:

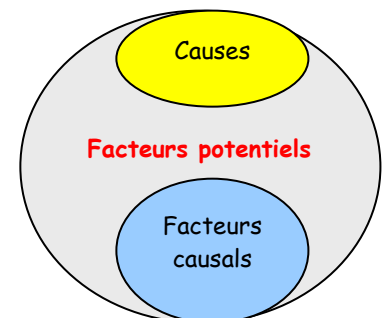
- FACTEUR POTENTIEL : Toute condition qui peut contribuer au problème.
- CAUSE : Toute condition qui précède et crée toujours le problème.

Un facteur potentiel peut :

- produire par lui-même le problème (CAUSE),
- contribuer directement ou non au problème, c'est alors un FACTEUR CAUSAL.

### 5 / Les 8 étapes de l'Analyse 2P 5M :

L'analyse 2P 5M est conduite en 8 étapes que nous détaillerons dans cette présentation. De manière synthétique elles peuvent être définies de la manière suivante :

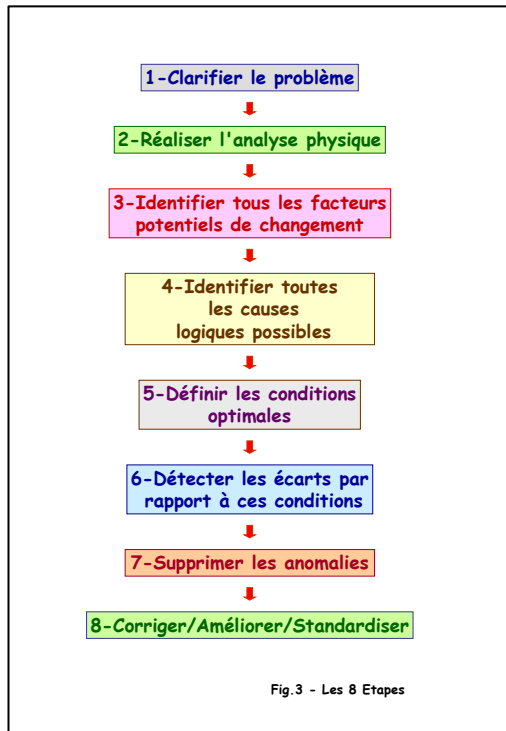


**ETAPE 1 - Clarifier le problème sans idée préconçue :**

Définir le problème - Quelle est sa manifestation extérieure ? - Qu'est-ce qu'on constate ?

**ETAPE 2 - Réaliser l'analyse physique :**

Déterminer les interactions des différentes composantes du processus au point de vue physique.



**ETAPE 3 - Identifier les facteurs potentiels de changement :**

Identifier de manière exhaustive tous les facteurs potentiels possibles pouvant être à l'origine du changement de ces interactions.

**ETAPE 4 - Identifier toutes les causes :**

Identifier à partir des 4M toutes les causes logiques possibles pouvant être à l'origine des facteurs potentiels identifiés précédemment.

**ETAPE 5 - Définir les conditions optimales :**

Définir pour chaque cause logique envisagée les conditions optimales visées (conditions nécessaires + sans risque).

**ETAPE 6 - Détecter les écarts :**

Pour chaque cause logique envisagée détecter les écarts entre existant et conditions optimales (en ayant au préalable défini COMMENT).

**ETAPE 7 - Supprimer les anomalies :**

Décider quelles sont les déviations qui sont des anomalies et qui doivent être traitées.

**ETAPE 8 - Corriger - améliorer - standardiser.**

## DEROULEMENT DE L'ANALYSE 2P 5M - LES 8 ETAPES

**ETAPE 1 - CLARIFIER LE PROBLEME SANS IDEE PRECONÇUE :**

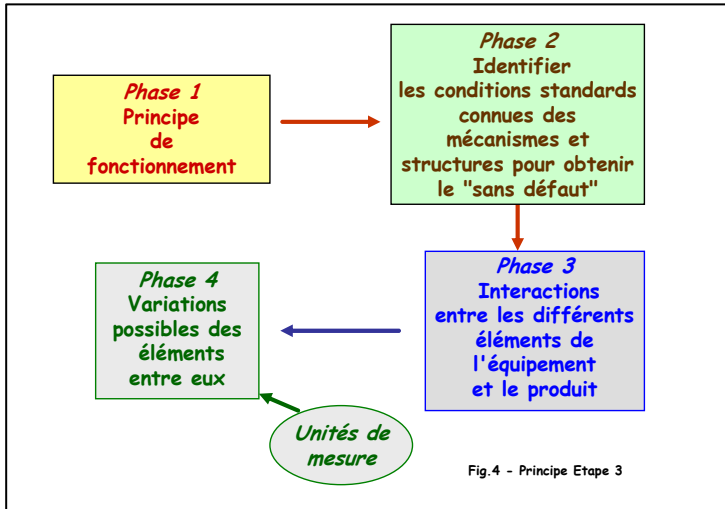
Cette étape répond à l'adage bien connu "Un problème bien posé est à moitié résolu". Elle a pour objectifs de définir clairement le problème observé à travers sa manifestation extérieure et ce que l'on a pu constater. Pour cela il est primordial d'éliminer avant tout les idées préconçues et d'écarter toute hypothèse ou supposition. On s'attachera à :

- 1 - définir la caractéristique produit (ou processus) concernée.
- 2 - décrire le problème à partir de l'observation sur le terrain.

On exprimera de manière précise ce que l'on constate en décomposant suffisamment le problème en petits éléments vérifiables. Si l'on se contente d'un constat général on ne pourra pas être exhaustif dans l'analyse et par conséquent on ne sera pas en mesure de trouver tous les facteurs causals.

- 3 - classer les observations suivant un Q Q O Q C P. (Voir document de l'exemple en annexe).
- 4 - faire l'inventaire dans le processus où sur le produit de ce qui est correct (BON) et de ce qui ne l'est pas (MAUVAIS).

**ETAPE 2 - REALISER L'ANALYSE PHYSIQUE :**



Cette étape schématisée par la figure 4 ci-contre a pour objectifs de décomposer la problème au point de vue physique pour aller au-delà de l'expérience, de l'intuition ou des impressions. Elle sera elle-même décomposée en différentes phases :

**Phase 1 - Comprendre le principe de fonctionnement du processus** (cf. Fig. 5 ci-dessous).

a / A partir de la documentation et des plans on détermine le principe ou la loi physique qui régit l'opération en question.

b / Puis on réalise le schéma de principe de l'opération en cause.

La construction d'un schéma permet de se poser des questions relatives au fonctionnement du processus, de positionner les éléments les uns par rapport aux autres, de créer l'image mentale du système. A partir de cette base on peut décrire le processus dans le groupe de travail, chaque membre du groupe de travail aura la même connaissance du problème.

c / Enfin on identifiera les mécanismes et structures qui sont directement en relation avec le problème.

Principe de fonctionnement du système	
Schéma	Description de l'opération
	Créer un arc électrique dans un gaz inerte entre l'électrode et les pièces à souder et utiliser la température de l'arc pour fondre et souder les pièces entre elles.

Fig.5 - Phase 1 Principe de fonctionnement du système

Principe de l'opération	Conditions standards connues
	- L'intensité du courant doit être égale à . . . + ou - x % - La distance entre l'électrode et les pièces doit être égale à . . . et constante. - L'électrode doit être maintenue suivant un angle de x degré lors de son déplacement. - la vitesse de déplacement doit être de . . . et constante. - Le débit de gaz doit être de x litres / h + ou - x %

Fig.6 - Phase 2 Identifier les conditions standards connues

**Phase 2 - Identifier les conditions standards connues** des mécanismes et de la structure du processus pour obtenir le sans défaut (cf. Fig. 6 ci-dessus). Cela nécessitera :

1 - d'identifier les fonctions et mécanismes des équipements en relation avec le principe de fonctionnement. On appellera :

**MECANISME** : Un groupe d'éléments du processus ayant une seule fonction.

**STRUCTURE** : Le mode d'assemblage des ces éléments.

2 - de définir quelles doivent être leurs caractéristiques pour qu'il n'y ait pas de problèmes.

**Phase 3 - Rechercher quelles sont les interactions entre les éléments** du processus (machine - outillage - montage - outils - matière) et le produit (cf. Exemple Fig. 7 ci-dessus).

Problème	Diagramme d'interaction	Éléments en interaction
Diamètre de la pièce rectifiée n'est pas constant		- Axe de rotation de la pièce A et surface meule. - Axe de rotation de la pièce A et axe de <u>rotation</u> de la meule.
La pièce obtenue est conique		- Axe de rotation de la pièce A et surface meule. - Axe de rotation de la pièce A et axe de <u>déplacement</u> de la meule.

Fig.7 - Etape 2 Phase 3

Problème + Diagramme d'interaction	Éléments en interaction	Quantification des changements
Diamètre de la pièce fluctue 	- Axe de rotation de la pièce A et surface meule. - Axe de rotation de la pièce A et axe de rotation de la meule.	Diamètre de la meule en mm Distance C en mm
La pièce obtenue est conique 	- Axe de rotation de la pièce A et surface meule. - Axe de rotation de la pièce A et axe de déplacement de la meule.	Diamètre de la meule en mm Distance C en mm

Fig.8 - Etape 2 Phase 4

**Phase 4 - Rechercher et quantifier les changements** (unité physique mesurable et valeur) qui peuvent survenir au niveau de ces interactions (cf. Exemple Fig. 8 ci-dessus).

Remarque :

Comprendre les mécanismes et structures du processus est essentiel pour pouvoir définir le problème. Si on ne comprend pas les mécanismes et structures on ne peut pas ordonner les facteurs potentiels pouvant contribuer à l'apparition du problème. Ce besoin de compréhension implique qu'un spécialiste du domaine participe au groupe de travail réalisant l'analyse 2P 5M.

**ETAPE 3 - IDENTIFIER LES FACTEURS POTENTIELS DE CHANGEMENT :**

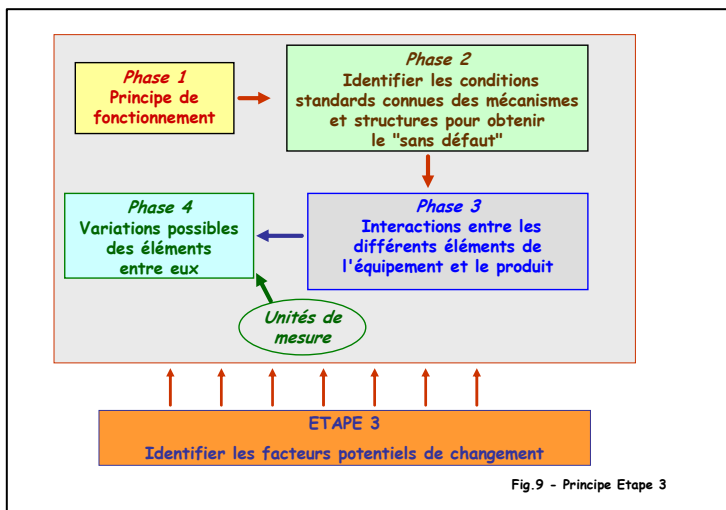


Fig.9 - Principe Etape 3

Cette étape a pour objectifs d'identifier de manière exhaustive, sans idée préconçue, tous les facteurs potentiels possibles pouvant être à l'origine du changement des interactions.

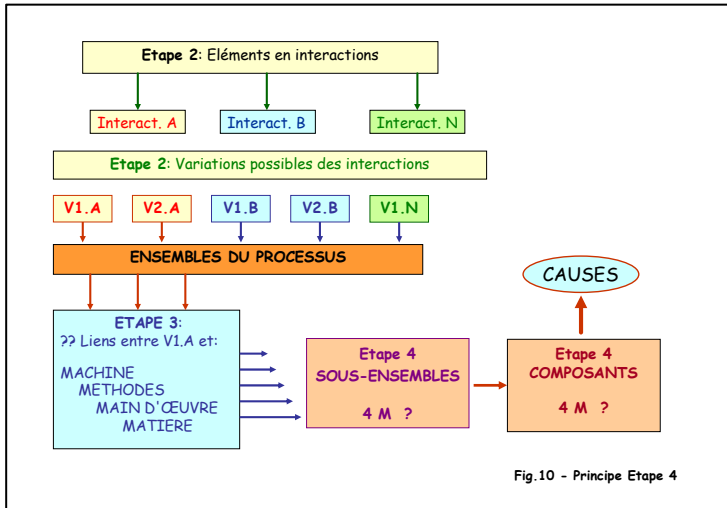
Ces facteurs doivent contenir tous les facteurs causaux (facteurs contribuant directement ou non au problème).

- A l'Etape 2 on a fait apparaître les éléments en interaction et les variations pouvant survenir sur ces interactions.
- Durant l'Etape 3 on recherche, en utilisant les 4M et en se limitant dans un premier temps aux ensembles, quels sont les liens (CAUSES/EFFETS) entre la Machine, les Méthodes, la Main d'œuvre, la Matière et la variation des interactions.

- L'Etape 4 permet ensuite d'envisager, en cascade, les causes logiques possibles au niveau des sous-ensembles et des composants.

Les 4M seront utilisés pour obtenir les réponses suivantes :

**MACHINE** : Identifier les liens que peut avoir la défaillance de chaque ensemble avec la variation de l'interaction.



**METHODES** : Identifier les liens entre la variation de l'interaction et les paramètres d'exploitation et de réglage de ces ensembles.

**MAIN D'ŒUVRE** : Si les points précédents sont corrects on vérifiera que les variations ne peuvent pas être dues à des standards trop imprécis ou à un non respect de ceux-ci par les opérateurs.

**MATIERE** : Si les points précédents sont corrects vérifier que le problème ne provient pas de la qualité des matières premières.

Précautions :

Dans l'examen des facteurs potentiels de changement susceptibles de provoquer les changements il est indispensable de :

- comprendre que les facteurs potentiels ne pourront être identifiés qu'à partir de leur corrélation avec les éléments du 4M process.
- passer en revue et comprendre les mécanismes et structures du processus avant d'essayer d'identifier les facteurs potentiels de changement (Phase 2 - Etape 2).
- déterminer l'état de chaque élément fonctionnel qui est susceptible de générer la variation et noter les conditions hors standard de chaque élément.
- confirmer que chacune des conditions repérées peut expliquer le phénomène.
- ré-exécuter les corrélations 4M pour être sûr que d'autres conditions n'ont pas été oubliées.

**ETAPE 4 - IDENTIFIER TOUTES LES CAUSES LOGIQUES POSSIBLES :**

Cette étape a pour objectifs d'identifier à partir des 4M toutes les causes logiques possibles intervenant sur les sous-ensembles et les composants qui peuvent être à l'origine des facteurs potentiels précédents.

On appellera :

**4 M PRIMAIRES** : toutes les causes qui peuvent être à l'origine des changements des mécanismes de l'équipement.

**4 M SECONDAIRES** : toutes les causes qui peuvent être à l'origine de chaque M primaire.

Le nombre de niveaux 4M est à choisir suivant le problème étudié.

On crée une cascade de "CAUSES / EFFETS" ; chaque CAUSE potentielle devient elle-même un effet.

Chaque M doit être exprimé en terme vérifiable et mesurable.

Points clés relatifs aux 4 M Primaires :

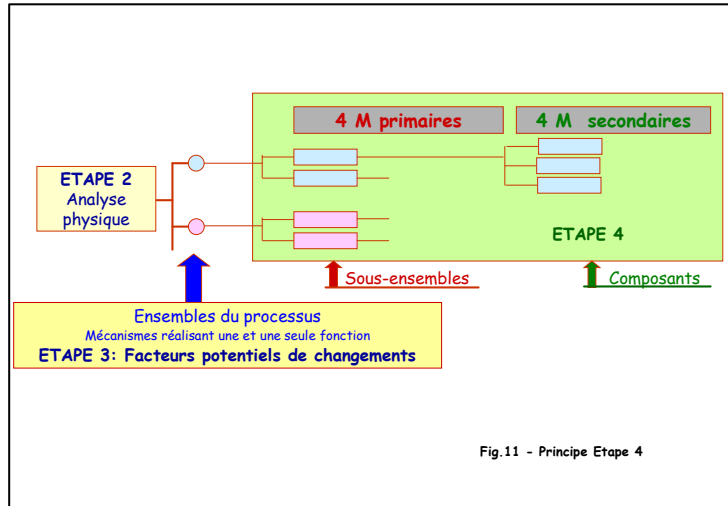


Fig.11 - Principe Etape 4

- a / Ignorer le degré de contribution ou l'importance des causes. Vouloir définir des priorités n'est pas raisonnable.
  - b / Lister toutes les causes logiques possibles relatives aux :
    - matières : précision du process précédent,
    - méthodes : fonctionnement, démarrage, modes opératoires, mesures,
    - éléments humains : savoir-faire, respect des consignes.
- Ceci aussi bien au niveau de la machine que de son environnement et de ses accessoires.

c / Vérifier que chaque corrélation primaire retenue peut être la cause du facteur potentiel étudié.

Points clés relatifs aux 4 M secondaires :

- a / Il est important de lister toutes les facteurs sans tenir compte de leur impact ou de leur degré d'importance,
- b / Prendre chaque corrélation primaire et la réduire à son propre facteur potentiel (ici le composant),
- c / Pour chaque corrélation secondaire identifiée se demander si elle contribue au facteur 4M primaire,
- d / Appliquer les mêmes précautions que pour les 4 M primaires.

Exemple :

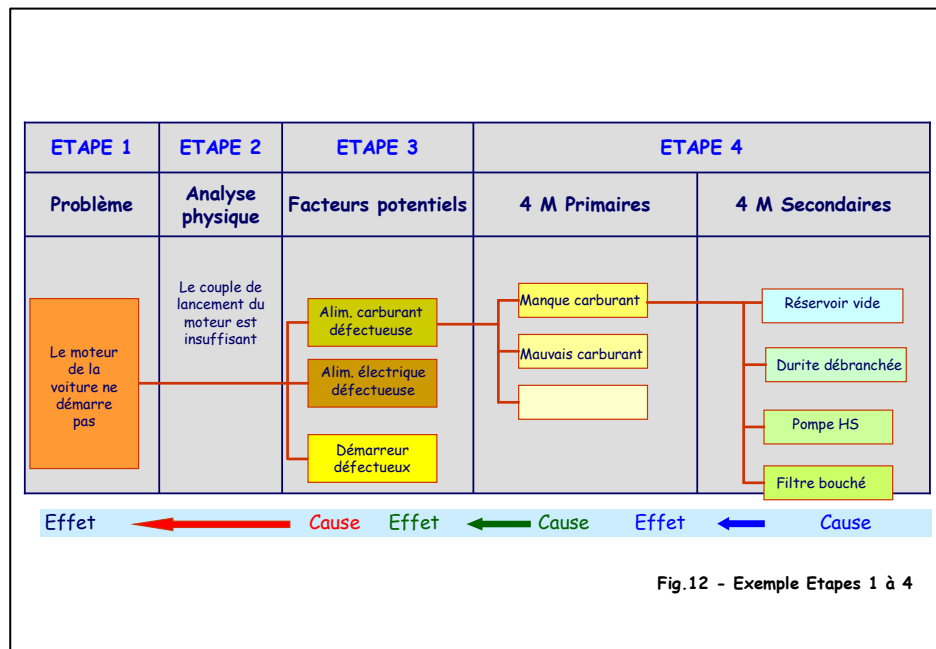


Fig.12 - Exemple Etapes 1 à 4

**ETAPE 5 - DEFINIR LES CONDITIONS OPTIMALES :**

Cette étape a pour objectif de rechercher et d'identifier toutes les anomalies (y compris les légères) existant sur les mécanismes, sous-ensembles et composants.

Le terme anomalie signifie qu'il existe un écart par rapport à un état de référence. Cet état de référence sera un état optimal.

**OPTIMAL = NECESSAIRE + SANS RISQUE**

**Nécessaire** : c'est l'état qui permet d'obtenir le fonctionnement attendu au niveau fiabilité, qualité, productivité.

**Sans risque** : c'est l'état d'origine de l'équipement plus la condition nécessaire et suffisante pour qu'il n'existe pas de risque de défaut chronique.

L'état optimal est donc un haut niveau de fiabilité (faibles probabilités de panne, de défaut, de défaillance chronique) associé à une productivité conforme aux spécifications et à une disponibilité (maintenabilité).

#### **ETAPE 6 - DETECTER LES ECARTS "EXISTANT / OPTIMAL" :**

Pour mesurer les écarts entre état existant et conditions optimales il faut appliquer les méthodes les plus fiables et les plus efficaces. Cela nécessite de :

- 1 - Pour chaque cause de changement possible des facteurs potentiels identifiée durant les étapes 3 & 4, déterminer la façon la plus fiable, la plus précise mais aussi la plus commode pour mesurer l'écart entre les valeurs existantes et les conditions optimales définies à l'étape 5.

Pour cela il est nécessaire de se faire aider par un spécialiste.

- 2 - Définir le mode opératoire de mesure.
- 3 - Réaliser les mesures, les comparer aux valeurs optimales et noter les facteurs anormaux qui sont par conséquent les causes du problème.

On commencera par mesurer les facteurs potentiels. Si ceux-ci sont conformes il ne sera pas nécessaire d'examiner les 4 M primaires et secondaires.

#### **ETAPE 7 - DEFINIR LES ANOMALIES A TRAITER :**

Durant cette étape on décidera quelles sont les déviations (Existant / Optimal) qui doivent être considérées comme des anomalies. On adoptera les précautions suivantes :

- 1 - Examiner absolument tous les facteurs potentiels,
- 2 - Comparer les conditions anormales par rapport aux standards actuels ou prévisionnels,
- 3 - Réfléchir en terme de conditions optimales et non en terme de conditions "seulement" nécessaires,
- 4 - Classer dans les anomalies tous les points qui sont à la frontière entre normal et anormal,
- 5 - S'assurer d'avoir compris les phénomènes qui sont derrière chaque condition anormale.

#### **ETAPE 8 - CORRIGER - AMELIORER - STANDARDISER :**

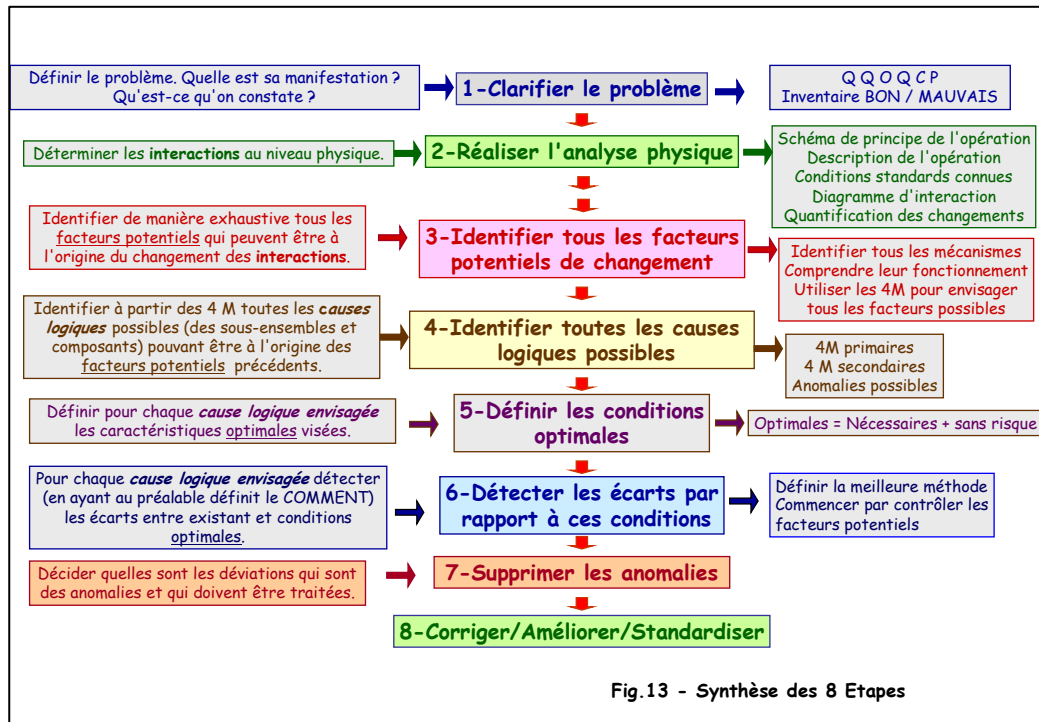
Le groupe de travail définira pour chaque anomalie toutes les corrections et améliorations nécessaires. De plus il élaborera le plan d'actions préventives à appliquer.

##### Précautions :

- 1 - Réparer avant de modifier.
- 2 - Après réparation, planifier les améliorations et le remplacement des technologies obsolètes.
- 3 - Prévoir les mesures de prévention de la récurrence.
- 4 - Grouper autant que possible les différents facteurs pour les réparer et les améliorer simultanément.
- 5 - Confirmer l'efficacité des actions en se demandant :
  - est-ce qu'on n'a pas laissé de côté certains facteurs ?
  - les valeurs standards sont-elles correctes ?

6 - Standardiser les améliorations et mettre en place les mesures préventives pour éviter la récurrence.

**SYNTHESE :**



**POINTS CLES DE L'ANALYSE 2P 5M :**

- 1 - Le groupe chargé de l'analyse doit être composé d'au moins 4 personnes : de préférence un Opérateur - un Superviseur - un Technicien de maintenance et un Technicien de production.
- 2 - Mettre en valeur l'analyse P2 5M avec des dessins simples et des croquis (pour clarifier les terminologies ou les expressions complexes ou obscures).
- 3 - Lister tous les facteurs potentiels sans tenir compte de leur amplitude ou de leur impact apparents.
- 4 - Après l'analyse complète s'assurer d'avoir passé tous les facteurs potentiels en revue de manière précise et complète. Pour chacun vérifier les liaisons Cause/Effet (de 4 M secondaires vers 4 M Primaires puis vers facteurs potentiels).
- 5 - Si une valeur standard pour un facteur causal n'est pas claire, utiliser temporairement ce standard et en établir un nouveau après examen des résultats.
- 6 - Pour ne pas se tromper et obtenir une efficacité maximale, réaliser l'analyse suivant la séquence suivante :
  - a / Examiner les facteurs potentiels et déterminer ceux qui sont anormaux,
  - b / Examiner ensuite les 4 M primaires en corrélation avec les facteurs potentiels anormaux,
  - c / Examiner seulement les 4 M secondaires en corrélation avec les 4 M primaires anormaux.
- 7 - Grouper les anomalies qui ont été identifiées et les corriger simultanément.
- 8 - Il est impératif de retrouver les conditions initiales (sans défaut) avant de rechercher des améliorations.
- 9 - Se demander continuellement "POURQUOI" au sujet de chaque anomalie et remonter aux causes potentielles parmi les 4 M y compris le comportement humain.
- 10 - Lorsque le résultat de l'analyse est décevant, cela signifie que des facteurs ont été oubliés ou que les valeurs standards sont trop indulgentes. Dans ce cas on doit exécuter à nouveau l'analyse.

- 11 - Les paramètres fixés dans les check-list de maintenance préventive doivent permettre d'assurer les conditions optimales.
- 12 - Contrôler le process pour être sûr que les décisions prises sont efficaces.
- 13 - L'analyse 2P 5M est moins une méthode qu'une manière de voir les choses. Chaque manager de production doit avoir cette approche. Après 2 ou 3 exemples d'application de l'analyse 2P 5M on constate généralement un changement.

Jean BUFFERNE

Instructeur T P M® certifié JIPM