

# LA MAÎTRISE DE L'APTITUDE LOGISTIQUE DANS LES DÉMARCHES D'APPROVISIONNEMENT ET L'INTÉGRATION DE LA *SUPPLY CHAIN*.

Jean-Philippe COLLIN, Ligeron

Jean-Philippe.Collin@ligeron.com

Emmanuel ARBARETIER, Sofreten

emmanuel\_arbaretier@sofreten.fr

*La supply chain est une composante économique importante de la logistique d'un système : son dimensionnement constitue un enjeu majeur en termes de budgets, de ressources, et d'aide à la décision.*

Elle intègre, , de manière plus ou moins importante suivant les domaines d'application, chacun des aspects suivants :

- le stockage et le dimensionnement des rechanges,
- leur acheminement et transport à travers le système d'approvisionnement,
- le processus de maintenance associé,
- le cas échéant, le lancement en fabrication chez les industriels identifiés,
- la gestion des composants associés,
- ...

Les éléments précédents constituent un système de paramètres d'aide à la décision constituant autant de degrés de liberté vis-à-vis des critères d'aptitude logistique, qui en fonction de leur nature donneront de l'importance à tel ou tel paramètre.

Le but de la présentation est, à travers la déclinaison de différents domaines d'application, d'évoquer la pertinence des critères d'aptitude logistique vis-à-vis des paramètres d'intégration de la *supply chain* ; les axes suivants seront développés :

- cas général des domaines relevant d'une démarche SLI classique (systèmes d'armes, aéronautique...) où les critères de performance impliquent la disponibilité opérationnelle, des indicateurs de probabilité de non rupture de stock associés élémentairement aux articles stockés, à des sites d'utilisation ou de stockage dans leur ensemble, ou alors globalement à un programme, en les associant éventuellement à des indicateurs de sécurité (au titre de la Sûreté Nucléaire par exemple), la contrepartie économique étant la plupart du temps « pensée » en terme de Coût Global,

la Maîtrise de l'Aptitude Logistique dans les démarches d'approvisionnement et l'intégration de la *Supply Chain*.

- cas des systèmes de production (automobile, industrie des biens grands public...) où le critère d'aptitude logistique principal est clairement la disponibilité de production, et lié à une notion de Profit Global dans un contexte de marché donné,
- exemple des systèmes à cycle de vie important où le Retour d'Expérience est accessible (tous domaines où l'utilisateur est lié à l'acquéreur institutionnel...), et où la *supply chain* peut faire l'objet d'ajustements et d'optimisations en temps réel dans le rapport performance / coût,
- cas des systèmes enfin, où les enjeux de sécurité ou de performance sont princeps par rapport aux implications en termes de coût (espace, nucléaire), et où la *supply chain* est toute entière axée sur la réalisation des objectifs de performance.

### *Jean-Philippe COLLIN*

*Diplômé du mastère de soutien logistique des grands systèmes de Supélec, plus de 10 ans d'expérience dans les sociétés de conseil.*

*Une première partie de carrière axée sur les études de sûreté de fonctionnement dans les domaines de l'aéronautique, du transport ferroviaire et de l'industrie de défense*

*Puis une orientation vers le soutien logistique, appliquée principalement dans l'industrie de défense et en particulier sur les programmes navals.*

*Aujourd'hui, responsable de l'activité soutien logistique au sein de Ligeron SA.*

*LIGERON SA, établissement de Brest, 21 rue Jurien de la Gravière, 29 200 BREST*

*Tel: 02 98 3389 49*

### *Emmanuel ARBARETIER*

*Est ingénieur diplômé de l'École centrale de Paris. Il a commencé sa carrière chez Thomson SDC pour l'adaptation des outils informatiques logistiques à la norme MiL-STD 1388.*

*Il est actuellement le directeur technique de Sofreten, plus particulièrement chargé des outils de simulation et d'aide à la décision dans le domaine de l'analyse du soutien.*

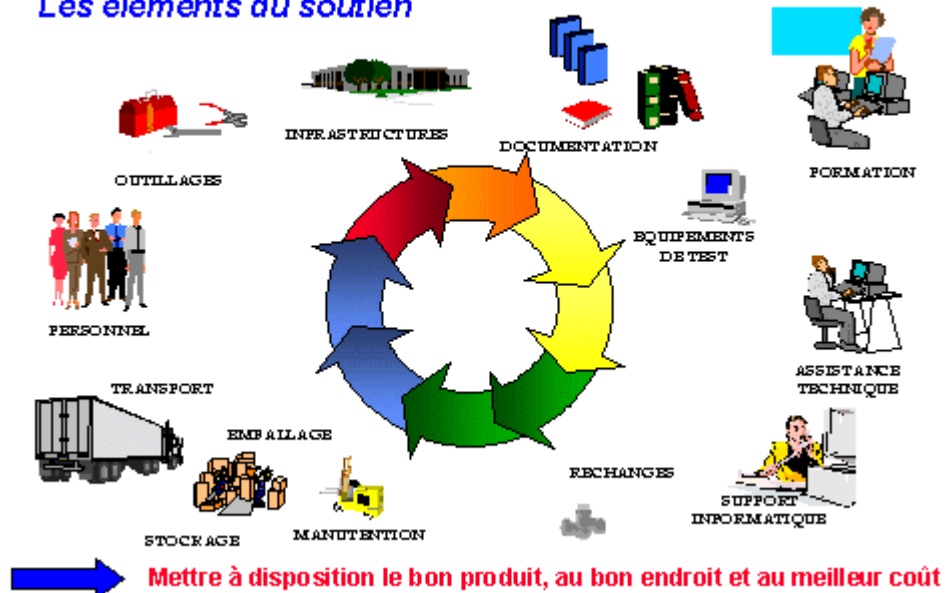
*SOFRETEN, 10, avenue de l'Entreprise, Parc St Christophe, 95865 Cergy Saint Christophe*

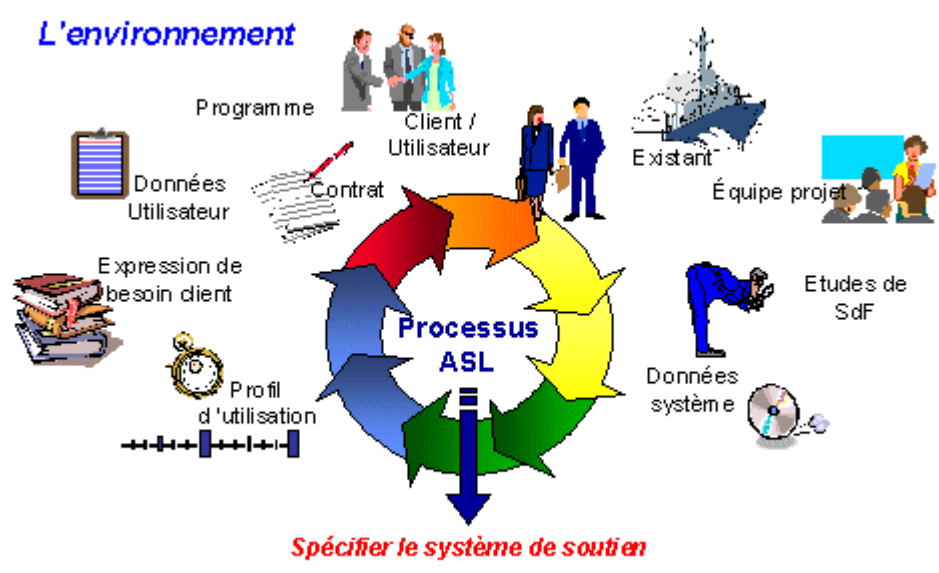
*Tel: 01-34-24-45-17 - fax: 01-34-24-44-34*

## Présentation

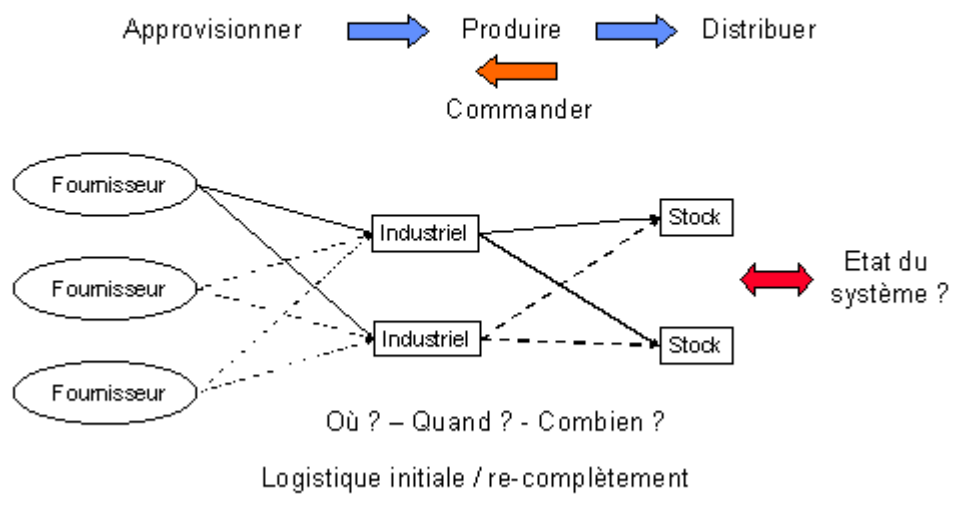
- Approche théorique
  - Dimensionnement des rechanges
- Apport du Soutien Logistique Intégré
  - Les facteurs de dimensionnement
- Domaines d'applications
  - Systèmes de production
  - Militaire
  - Nucléaire - Espace

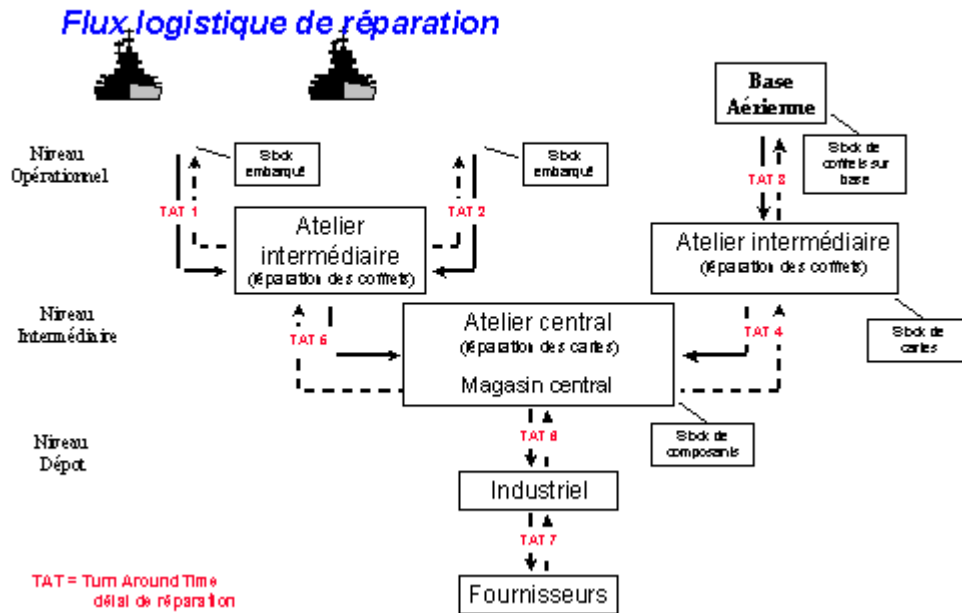
## Les éléments du soutien





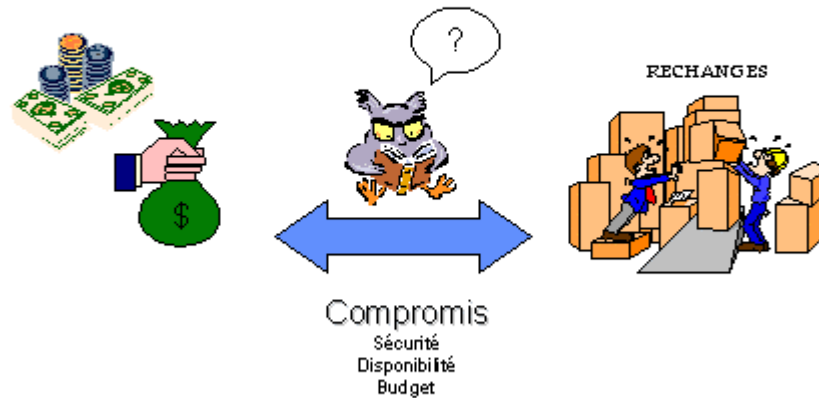
**Supply Chain**





### La problématique

- Dimensionnement des rechanges / budget / disponibilité



### Approche théorique

- Activités liées aux rechanges :
  - Identification des rechanges
  - Quantification des rechanges,
  - Optimisation des rechanges :
    - sous contrainte de disponibilité,
    - sous contrainte budgétaire.
  - Affectation des rechanges,
  - Gestion des rechanges.

### Dimensionnement du flux logistique « Rechanges »

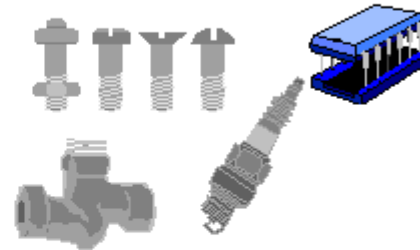
- Quantification :

- Maintenance préventive :

- fréquence des visites,
- Quantité d'articles.

- Maintenance corrective :

- fiabilité de l'article,
- Loi de mortalité,
- Probabilité de Non Rupture de Stock (PNRS).



### Les Rechanges - Données d'entrée

- Nécessite :
  - La connaissance de la Politique de Maintenance,
  - La connaissance des lois de consommation et les informations associées,
  - La connaissance de l'organisation logistique (Flux),
  - Les contraintes du programme (Coût, Disponibilité ...),
  - La prise en compte des contraintes de production des rechanges.

### Les Rechanges - Exemples de Critères Dimensionnant

- Exemples de critères dimensionnant :

Rechanges	EMST	Autres
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durée de vie du système</li> <li>• Durée de fonctionnement</li> <li>• Mode de fonctionnement</li> <li>• Taux de défaillance prévisionnel</li> <li>• Taille des équipements interchangeables</li> <li>• Temps de réparation moyen</li> <li>• Niveau technique d'intervention</li> <li>• Echelon de maintenance</li> <li>• Prix</li> <li>• Probabilité d'obsolescence</li> <li>• Dégradation en stockage (joints..)</li> <li>• Délai d'approvisionnement</li> <li>• Fragilité du fournisseur</li> <li>• Harmonisation avec parc existant (pour limiter nbre références).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume de stockage/transport</li> <li>• Fragilité du contenu</li> <li>• Environnement de stockage/transport (marin, sec, chaud..)</li> <li>• Cheminement de manutention (ex. : transport munitions)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Echelons de maintenance</li> <li>• NTI</li> <li>• Support (papier, informatique)</li> <li>• Encombrement</li> </ul>

### Les Rechanges - Lots de Rechanges

- Nécessité de définir des lots de rechanges selon différents critères :
  - L'organisation logistique retenue (selon échelon),
  - La phase d'utilisation du système :
    - Mise en service / exploitation,
    - Exploitation normale (temps de paix, utilisation nominale),
    - Exploitation extraordinaire (mission spéciale, temps de guerre).

### Quantification des Rechanges - Application de la Loi de Poisson

$$P_i = \sum_{i=0}^{i=N} \frac{(n \lambda T)^i e^{-n \lambda T}}{i!} \geq \text{PNRS}$$

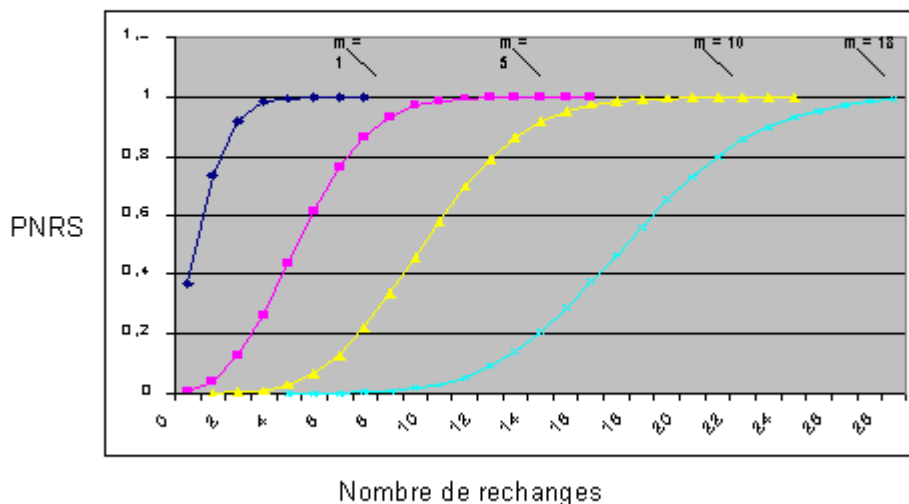
- Avec **N** : nombre de rechanges,  
**n** : nombre de matériels à soutenir,  
 **$\lambda$**  : nombre de défaillances par heure de fonctionnement,  
**T** = t x TAT,  
**t** : nombre d'heures de fonctionnement par mois,  
**TAT** (Turn Around Time) : durée du cycle de réparation exprimée en mois.

**Quantification des Rechanges - Application de la Loi de Poisson**

$$Probabilités\ cumuléés\ Pr(X \leq c) = \sum_{i=0}^c \frac{\lambda^i}{i!} e^{-\lambda}$$

Nombre de rechanges	Nombre de rechanges									
	m = 2.10	m = 2.20	m = 2.30	m = 2.40	m = 2.50	m = 2.60	m = 2.70	m = 2.80	m = 2.90	m = 3.00
0	0,12245643	0,11830316	0,11002524	0,09971795	0,08702500	0,07427338	0,06730351	0,06021006	0,05502322	0,04978707
1	0,37961493	0,35477011	0,33025418	0,30844104	0,28799750	0,26738483	0,24866040	0,23107284	0,21459026	0,19914227
2	0,64963125	0,62271375	0,59603233	0,56970275	0,54381312	0,51842938	0,49362449	0,46945322	0,44596200	0,42319002
3	0,82864225	0,79257442	0,75934705	0,72872791	0,70019613	0,67360164	0,64893113	0,62619243	0,60529242	0,58612129
4	0,92787222	0,87750369	0,83164492	0,79013141	0,75291720	0,71994234	0,69099726	0,66576006	0,64397702	0,62536204
5	0,97935092	0,92509025	0,87702431	0,83427749	0,79597206	0,76209223	0,73162233	0,70348969	0,67752620	0,65368206
6	0,99413722	0,94253265	0,89663207	0,85640592	0,82121209	0,79022990	0,76243025	0,73789322	0,71559227	0,69549146
7	0,99851397	0,94802244	0,90474116	0,8666132	0,83375330	0,80506034	0,78043223	0,75972926	0,74191549	0,72680520
8	0,99966269	0,95032042	0,90923242	0,87413202	0,84325975	0,81651305	0,79380237	0,77506722	0,75924217	0,74619701
9	0,99993073	0,95299111	0,91252066	0,87792246	0,84772265	0,82102425	0,79779264	0,77793991	0,76114122	0,74729751
10	0,99998702	0,9532021	0,91370251	0,87950266	0,84932227	0,82262929	0,79937995	0,77952227	0,76277979	0,74892702
11	0,99999776	0,95399643	0,91449444	0,88029155	0,85012740	0,82342132	0,79917224	0,77932261	0,76257977	0,74872221
12	0,99999964	0,95399940	0,91449903	0,88029246	0,85012702	0,82342132	0,79917224	0,77932261	0,76257977	0,74872221
13	0,99999995	0,95399991	0,91449924	0,88029274	0,85012732	0,82342134	0,79917227	0,77932264	0,76257982	0,74872224
14	0,99999999	0,95399999	0,91449928	0,88029296	0,85012732	0,82342132	0,79917227	0,77932264	0,76257982	0,74872224

**Quantification des Rechanges - Evolution PNRS (Loi de Poisson)**



### Quantification des Rechanges

- Besoin en maintenance correctif :
  - Si la demande  $m < 18$ , application de la loi de Poisson,
  - Si la demande  $m > 18$ , la loi de Poisson est assimilée à la loi Normale de moyenne  $m$  et d'écart type  $\sqrt{m}$ .

Approximation : stock =  $m + \alpha \sqrt{m}$

Avec  $m = n\lambda T$

$\alpha$  est issu de la table de la fonction de répartition de la loi normale réduite.

et

- PNRS = 0,84 pour  $\alpha = 1$ .
- PNRS = 0,95 pour  $\alpha = 1,64$ .
- PNRS = 0,99 pour  $\alpha = 2,33$ .

### Optimisation des Rechanges

- Objectif : Améliorer le **ratio Coût / Disponibilité** du stock.
- Deux axes d'optimisation :
  - Retrait des articles les plus chers :  
Optimisation sous contrainte **budgétaire**.
  - Retrait des articles qui dégradent le moins la PNRS :  
Optimisation sous contrainte de **disponibilité**,

### Optimisation des Rechanges

- Optimisation par le rapport  $\frac{\text{PNRS}}{\text{COUT}}$  :

$$\frac{\text{PNRS (s+1)} - \text{PNRS (s)}}{\text{Coût d '1 Rechange}}$$

- Optimisation par l'écart  $\frac{\text{PNRS}}{\text{COUT}}$  :

$$\text{PNRS (s+1)} - \text{PNRS (s)}$$

### Optimisation des Rechanges PNRS / COUT

Cas : Exemple PNRS stock > 95%, soit 98,9% / article

Article	Coût	Qté de rechanges	PNRS	(Gain PNRS / dépense)	Ordre de mise en stock	Résultat
Article 1	2 000 F	4	0,925			5
		5	0,974	$2,45 \cdot 10^{-5}$	5	
		6	0,992	$0,910^{-5}$		
Article 2	1 000 F	3	0,912			5
		4	0,975	$6,110^{-5}$	2	
		5	0,993	$2,010^{-5}$	6	
Article 3	400 F	2	0,970			3
		3	0,995	$6,2510^{-5}$	1	
		4	0,9994	$1,110^{-5}$		
Article 4	200 F	2	0,991			3
		3	0,9998	$4,410^{-5}$	3	
Article 5	100 F	2	0,997			3
		3	0,9998	$2,810^{-5}$	4	

Stock non optimisé : (6, 5, 3, 2, 2) = 96,8% - Stock optimisé : (5, 5, 3, 3, 3) = 96%

## Les Rechanges - Points Critiques

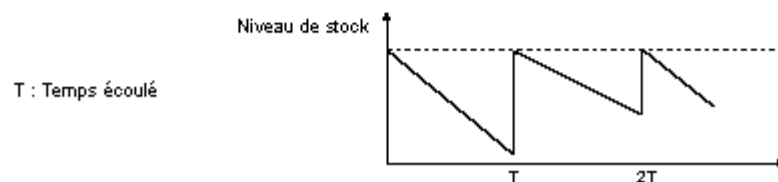
- Liste des points particuliers à traiter :
  - **Cycle de ravitaillement**
    - seuils de réapprovisionnement,
    - circuit de commande, recette / contrôle, enregistrement.
    - coût des immobilisations.
  - **Prise en compte des évolutions**
    - Gestion de configuration
    - Obsolescence des composants
    - Gestion post production

## Les Rechanges - Cycle de ravitaillement

- Méthode du point de commande :
  - **Quantité fixe / période variable .**



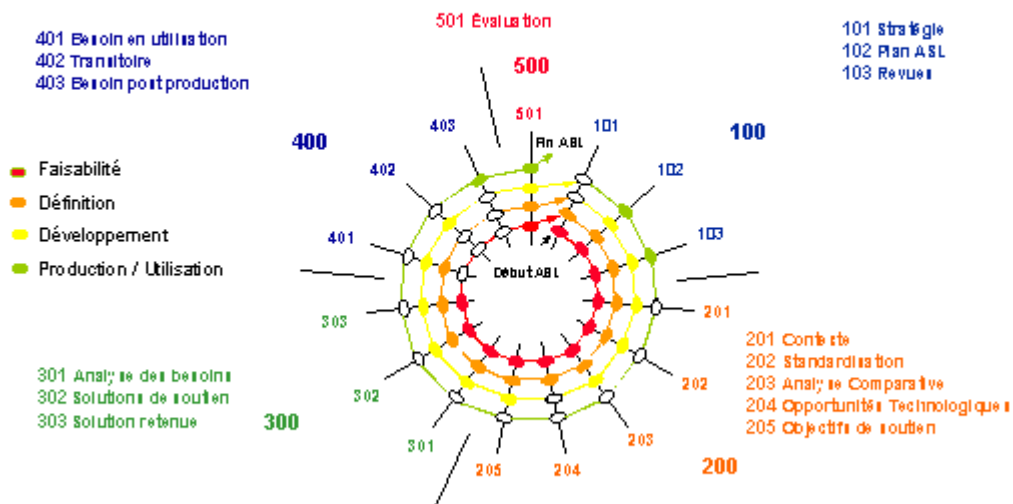
- Méthode du plan d 'approvisionnement :
  - **Quantité variable / période fixe .**



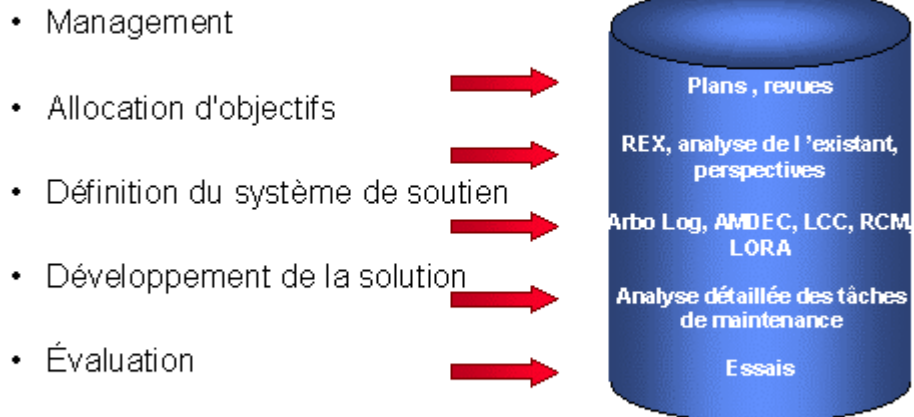
### Apport du Soutien Logistique Intégré

- S'assurer que l'aptitude au soutien est prise en compte dans la conception du système.
- Influencer très tôt la conception pour obtenir le meilleur compromis entre le Coût Global de Possession et la disponibilité.
- Spécifier les éléments de soutien.
- Évaluer et justifier l'efficacité du soutien.

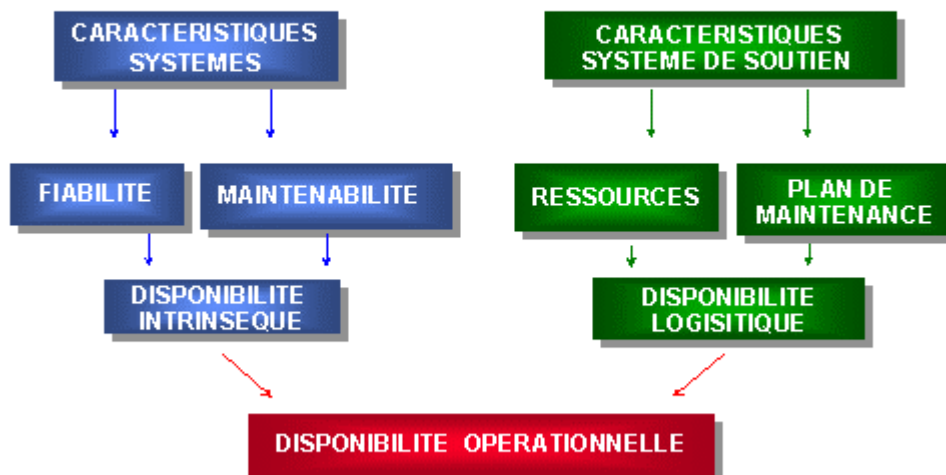
### Enchaînement des tâches



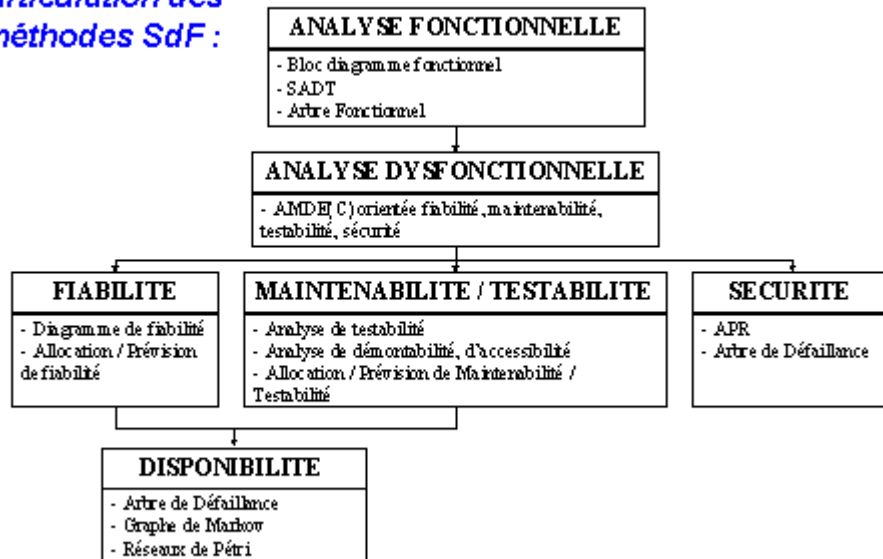
### Les outils de l'ASL



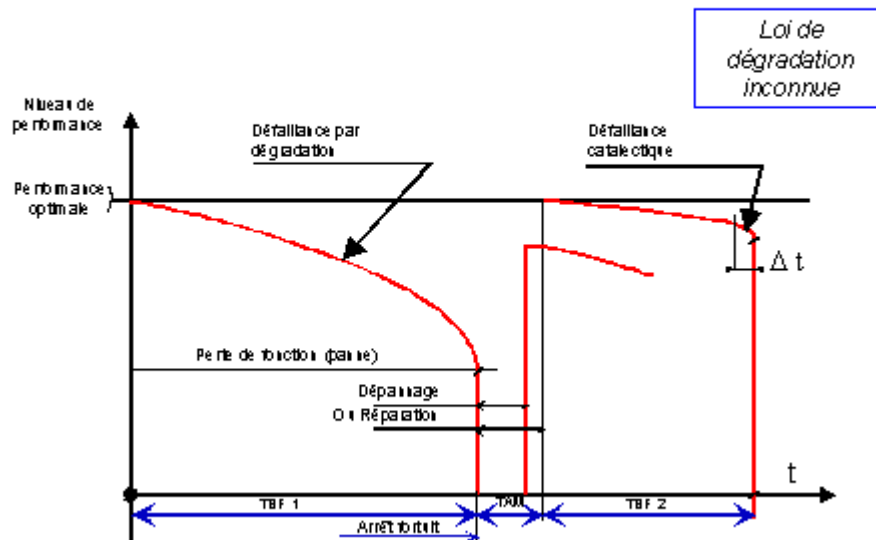
### Impacts de l'ASL

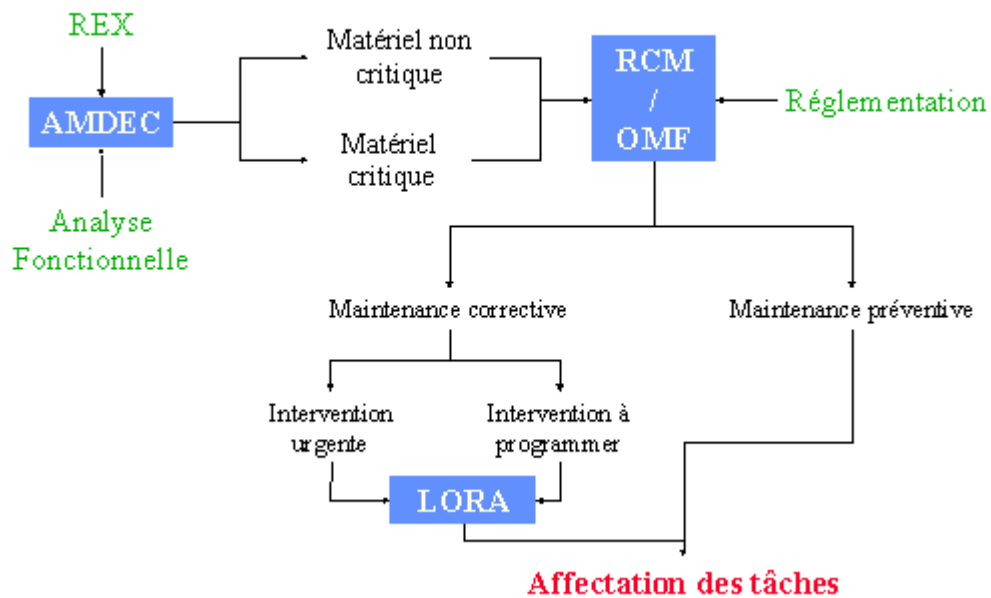


**Articulation des méthodes SdF :**



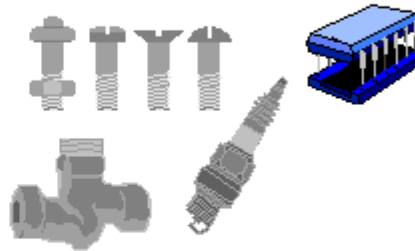
**Maintenance corrective**





### Identification du flux logistique « Rechanges »

- Plusieurs catégories :
  - Réparables,
  - Non réparables,
  - Consommables.
- Deux types d'utilisation :
  - Maintenance préventive :
    - consommation maîtrisée.
  - Maintenance corrective :
    - Consommation aléatoire.



### **Paramétrage de l'approvisionnement**

- Dimensionnement du TAT en phase production & post-production
    - Délai de commande
    - Délai administratif
    - Délai de fabrication
    - Délai de transport
- 
- Minimiser le risque /  
lambda
- Dimensionnement du flux « rechange »
    - Taux de défaillance
    - Taux de rebus
    - Profil d'emploi

### **Paramétrage de l'approvisionnement**

- Performance logistique attendue
  - PNRS
- Budget rechanges
  - Coût industriel
  - Coût de production
    - Coût matière
    - Coût de fabrication
  - Coût de transport
  - Coût de stockage

### **Flux de rechanges / réparation**

- Taux de défaillance
  - Etudes classiques de SdF
    - Composants critiques / disponibilité / sécurité
  - Etudes classiques d'ASL
    - Composants critiques / maintenance
- Conditions d'utilisation
  - Prévisionnelles
  - Réelles
- Taux d'utilisation
  - Prévisionnelles
  - Réelles

### **Importance des paramètres en fonction du domaine d'intervention (1/2)**

- Les critères de performance opérationnelle dépendent du domaine d'application
  - Disponibilité opérationnelle stationnaire de mission
    - Systèmes Réparables fonctionnant 24 h / 24
  - Disponibilité opérationnelle transitoire de mission
    - Systèmes Réparables avec missions critiques de courte durée
  - Disponibilité opérationnelle de production
    - Systèmes Réparables productifs
  - Disponibilité opérationnelle de performance
    - Probabilité que la mission soit assurée dans un environnement opérationnel donné avec un certain niveau de performance
  - (Disponibilité opérationnelle, Sécurité)
    - Systèmes Réparables où la sécurité est un critère prépondérant

### **Importance des paramètres en fonction du domaine d'intervention (2/2)**

- Les critères de coûts sont toujours de même nature
  - Coût de l'approvisionnement initial
  - Coûts récurrents de réapprovisionnement
  - Coûts de gestion des stocks
  - Coûts initiaux et récurrents des infrastructures de stockage
  - ...

### **Domaine classique – système d'armes**

- Modélisation et simulation des systèmes principaux
- Modélisation et simulation du système de soutien
- Choix LORA: optimisation du niveau d'échangeabilité et de réparabilité
- Optimisation de l'affectation des points de stockage
- Optimisations Qualitatives: où affecter les pièces de rechanges
- Optimisations Quantitatives: combien affecter de pièce sur chaque site de stockage
- Les critères d'optimisation sont toujours les suivants:
  - Les critères de performance opérationnelle sont les contraintes (en général la disponibilité)
  - La fonction objectif est toujours le coût global.

### **Production industrielle**

- Optimisation de l'architecture du process de production
- Identification des points de stockage
- Simulation par réseau de pétri stochastique ou tout langage de simulation de systèmes à flux discrets
  - Prise en compte des mécanismes de défaillance
  - Prise en compte des aléas d'avaries ou de sinistres
  - Modélisation des dispositifs de test, diagnostic et de maintenance conditionnelle
  - Simulation de la demande
- Evaluation de la dispersion statistique des indicateurs de productivité du système de production
- Optimisation de la politique de ravitaillement par rapport à une fonction objectif de type « Profit Global »

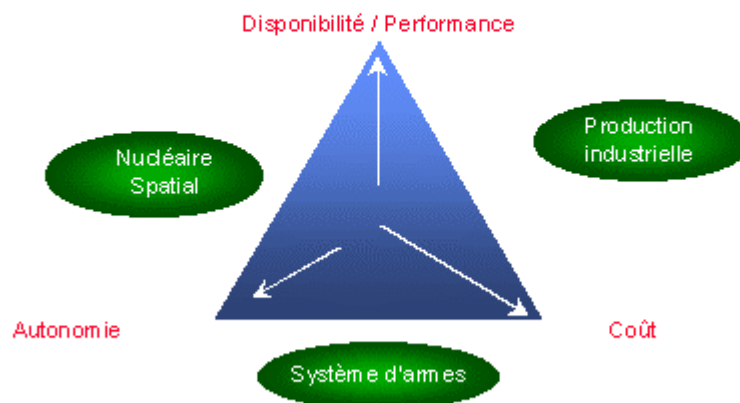
### **Cycle de vie important / exploitation du REX**

- Le modèle stationnaire de simulation des critères de performance et du coût global n'est élaboré qu'à titre de référence et définit la politique de ravitaillement initial
- L'enrichissement quasiment en « temps réel » de ce modèle quantitatif initial dans le cadre du cycle de vie opérationnel permet d'intégrer le REX à travers une démarche de type « GMAO »:
  - Interventions technique de maintenance corrective et préventive
  - Consommations de rechanges et autres consommables
  - → suivi des coûts récurrents et détection des écarts de disponibilité / coût par rapport au modèle initial
- Réajustement en temps réel de la politique de ravitaillement: « conditinal monitoring »

### Espace / Nucléaire

- Primauté des critères de performance
  - Objectifs de réalisation de la mission: fiabilité de mission pour le spatial (contribution des lanceurs...)
  - Objectifs de réalisation de la mission et de protection de la sécurité des biens et des personnes (deux critères de performance: sécurité et disponibilité)
- Critère d'optimisation de la politique de ravitaillement
  - Maximisation des critères de performance: la sécurité est prioritaire par rapport à la disponibilité
  - Le coût intervient au niveau de la logique d'optimisation au titre d'une contrainte
- Possibilité de se ramener aux problématiques précédentes en quantifiant économiquement la potentialité d'accidents ou de rupture de mission (coupures EDF par exemple...)

### Les tendances



### Conclusion (1/2)

- La maîtrise de la politique de ravitaillement doit se baser sur une modélisation « en profondeur » du comportement des systèmes (ou d'une demande) à soutenir et du système de soutien logistique intégré
- Les deux familles de critères d'optimisation à considérer intègrent à chaque fois la performance opérationnelle du système à soutenir d'une part, et le coût ou profit global associé au système et à son soutien d'autre part
- La problématique d'optimisation de ravitaillement est liée à tous les autres degrés de liberté du système de soutien et dépend des fonctions objectifs privilégiées, que ce soit un ou plusieurs critères de performance, éventuellement hiérarchisés ou un critère global économique de type profit global ou coût global...

### Conclusion (2/2)

- Importance du choix du modèle du système et de son soutien et de la manière dont le processus d'approvisionnement est intégré: réseaux de Pétri, chaînes de Markov, files d'attente, modèles métriques ou analytiques
- Importance des mécanismes d'optimisation à travers ces modèles: méthodes itératives, dynamiques, analytiques exactes par résolutions de systèmes linéaires à variables entières ou binaires
- Importance de la définition / formulation des critères d'optimisation du point de vue des contraintes et de la fonction objectifs
  - Critères de performance
  - Critères économiques