

Michel Roux

# ENTREPÔTS ET MAGASINS

Tout ce qu'il faut savoir pour concevoir  
une unité de stockage

Cinquième édition

© Groupe Eyrolles, 1995, 2001, 2003, 2008, 2011  
ISBN : 978-2-212-55189-1

**EYROLLES**  
  
Éditions d'Organisation

# SOMMAIRE

<b>Chapitre 1 Introduction</b> .....	1
1. La complexité des magasins .....	1
2. Le « zéro stock » .....	1
3. L'entrepôt : maillon de la Supply chain .....	2
4. Entrepôts et e-commerce .....	3
<b>Chapitre 2 Organisation de l'ouvrage</b> .....	5
1. Le fil directeur.....	5
2. À qui s'adresse cet ouvrage ?.....	6

## **Partie 1** **Méthodologie :** **les différentes phases de conduite d'un projet**

<b>Introduction</b> .....	9
1. Sites existants, nouveaux entrepôts, transferts .....	9
2. Les différentes phases d'un projet.....	10
<b>Chapitre 1 Les phases d'études</b> .....	11
1. Le plan directeur .....	11
2. L'avant-projet sommaire.....	12
3. L'avant-projet détaillé .....	14
<b>Chapitre 2 Les phases de simulation de validation de conception</b> .....	21
1. Les logiciels dédiés .....	21
2. Les logiciels généraux .....	22
<b>Chapitre 3 Les phases de réalisation</b> .....	25
1. Les consultations.....	25
2. Les contrats de travaux.....	28
3. La direction des travaux .....	32
4. Les recettes .....	32
5. Les transferts .....	35
6. La mise en exploitation .....	35
7. La disponibilité .....	35

<b>Chapitre 4 Le planning d'un projet</b> .....	37
Les risques de dérive .....	37
<b>Chapitre 5 Les conditions de la réussite</b> .....	41
1. Le vrai problème des études gratuites .....	41
2. Résister à la tentation de vouloir aller trop vite .....	43
3. Éviter les oublis .....	44
4. Associer les flux physiques et d'informations .....	45
5. Préparer les futurs exploitants .....	45

## Partie 2

### Concevoir la partie physique du magasin

<b>Chapitre 6 Les décisions pré-requises</b> .....	49
1. Le nombre d'entrepôts .....	49
2. La situation de l'entrepôt .....	50
3. La définition du stock à accueillir .....	51
4. La définition des contraintes transport .....	51
5. Le format des cartons détail et le calage .....	52
<b>Chapitre 7 Les données statiques</b> .....	55
1. Les familles logistiques .....	55
2. Les articles .....	58
3. Les conditionnements collectifs .....	58
4. Les conditionnements intermédiaires .....	62
5. Les données logistiques .....	62
6. La quarantaine .....	63
<b>Chapitre 8 Le dimensionnement statique des besoins</b> .....	67
1. La volumétrie du stock .....	67
2. Les saisonnalités .....	67
3. L'évolution dans les cinq ans à venir .....	68
<b>Chapitre 9 Les données dynamiques</b> .....	69
1. Les différents flux .....	69
2. Les flux d'arrivée .....	69
3. La préparation de commandes .....	71
4. Les retours et les litiges .....	72
5. Les flux sortants .....	73
6. Les flux internes annexes .....	73

7. Les opérations à valeur ajoutée .....	75
8. Le classement ABC.....	77
<b>Chapitre 10 Le dimensionnement dynamique.....</b>	<b>81</b>
1. Le calcul des flux .....	81
2. Les variations de flux.....	81
3. Les périodes dimensionnantes.....	82
4. Le schéma des flux.....	83

## Partie 3

### Concevoir les différentes zones fonctionnelles de l'entrepôt

<b>Chapitre 11 La conception de l'amont et du stockage .....</b>	<b>87</b>
1. La zone de rétention entre production et magasin .....	87
2. Les quais d'arrivée .....	88
3. Les zones de contrôle.....	93
4. Les zones de conditionnement ou reconditionnement.....	94
5. Les zones de quarantaine .....	94
6. La pertinence d'un stock unique .....	95
7. La définition des volumes du palettier .....	97
8. L'automatisation du stockage .....	105
<b>Chapitre 12 La conception de la préparation de commandes et de l'aval.....</b>	<b>109</b>
1. Les éléments à prendre en compte .....	109
2. L'organisation des prélèvements.....	110
3. Le transfert des prélèvements .....	113
4. Les grands modes de préparation .....	119
5. Optimisation des mouvements .....	122
6. Le contrôle pondéral .....	122
7. Le dimensionnement des zones de préparation .....	125
8. La zone de consolidation .....	130
9. Les zones d'emballage .....	130
10. Les zones de contrôle départ.....	130
11. Les zones d'attente de départ .....	131
<b>Chapitre 13 Le cross-docking .....</b>	<b>133</b>
1. La terminologie .....	133
2. Le principe.....	134
3. Les avantages attendus .....	135
4. Les principales questions.....	136
5. Les références éligibles à ce type d'organisation.....	137
6. Les différentes stratégies envisageables.....	137

7. Un compromis, le « Put to store » .....	141
8. Les équipements dédiés .....	143
9. L'impact du X-dock sur le bâtiment.....	145
10. Conclusion du chapitre .....	145
<b>Chapitre 14 La conception globale avec les zones annexes .....</b>	<b>147</b>
1. Le stockage des palettes vides .....	147
2. Les allées de circulation .....	147
3. Les circulations de sécurité .....	148
4. Les magasins traversants et les quais départ.....	148
5. Les locaux techniques .....	149
6. Les bureaux et salles de réunion.....	151
7. Les locaux sanitaires et sociaux.....	151
8. L'implantation générale.....	152
<b>Chapitre 15 Les spécificités dues à l'activité.....</b>	<b>153</b>
1. La grande distribution .....	153
2. Les produits surgelés .....	157
3. Le textile .....	158
4. Le luxe .....	162
5. Les produits de santé.....	165
6. Le livre.....	169
7. Le e-commerce .....	174
8. Les pièces de rechange .....	178
9. Les bibliothèques .....	179
10. Les entrepôts de denrées animales .....	181
<b>Chapitre 16 Le choix du terrain.....</b>	<b>183</b>
1. Les qualités requises du terrain.....	183
2. Les qualités requises de l'environnement .....	183
<b>Chapitre 17 Le bâtiment .....</b>	<b>185</b>
1. La construction .....	185
2. Les sols .....	186

## Partie 4 Les différents équipements

<b>Chapitre 18 Les équipements statiques .....</b>	<b>191</b>
1. Les palettiers .....	191
2. Le stockage des charges longues .....	197
3. Les casiers.....	197

4. Le stockage mobile .....	197
5. Le stockage dynamique.....	199
6. Le stockage à accumulation .....	200
<b>Chapitre 19 Les équipements mobiles .....</b>	<b>201</b>
1. Les transpalettes .....	201
2. Les gerbeurs à bras porteurs .....	202
3. Les chariots élévateurs à fourches frontales .....	202
4. Les chariots à mât rétractable.....	204
5. Les chariots à fourche tridirectionnelle.....	205
6. Les chariots à fourche bidirectionnelle .....	207
7. Les chariots préparateurs.....	208
8. Les chariots combinés .....	209
9. Les chariots omnidirectionnels .....	211
10. Remarques générales sur les batteries.....	212
11. Les transtockeurs.....	213
12. Le stockage automatique à chariots autonomes.....	221
13. Les armoires rotatives.....	223
14. Les silos à tiroirs .....	224
15. Les carrousels.....	224
16. Les automates de préparation de commandes .....	225
17. L'accueil des prélèvements manuels .....	226
18. Les robots préparateurs .....	227
19. Les palettiseurs.....	228
20. Les différents convoyeurs .....	228
21. Les chariots autoguidés .....	230
22. Les machines de tri .....	231
23. Les machines d'emballage .....	236
24. Le chargement global.....	237
<b>Chapitre 20 Le calcul des temps opératoires .....</b>	<b>241</b>
1. Méthode de calcul .....	241

## Partie 5

### Le logiciel de gestion d'un magasin générique

<b>Chapitre 21 La gestion du magasin .....</b>	<b>247</b>
1. Remarques préliminaires.....	247
2. La gestion des stocks et la gestion du magasin.....	247
3. La gestion des données techniques.....	250
4. La gestion de l'activité globale .....	253
5. Historisation de l'activité.....	255

6. La traçabilité .....	255
7. La gestion des entrées magasin.....	256
8. La gestion des emplacements .....	261
9. La gestion des palettes prisonnières.....	263
10. La gestion des mouvements internes .....	263
11. Les contrôles périodiques.....	266
12. Les inventaires .....	266
13. La gestion des préparations de commandes.....	268
14. La gestion des sorties.....	276
15. Affectation des zones .....	278
16. L'annulation de commande tardive .....	278
17. Gestion des chargements .....	279
18. Génération des documents d'expédition .....	279
19. La préfacturation .....	280
20. Les sorties exceptionnelles .....	281
21. Les programmes utilitaires.....	281
22. Des fonctions annexes .....	283
23. Les apports d'une gestion informatisée .....	284
<b>Chapitre 22 Les moyens à mettre en œuvre.....</b>	<b>285</b>
1. Les moyens logiciels .....	285
2. Les moyens matériels .....	287
<b>Chapitre 23 L'identification automatique et les terminaux mobiles.....</b>	<b>291</b>
1. L'identification automatique.....	291
2. Ce qui peut être identifié.....	295
3. Les saisies que l'on peut automatiser.....	296
4. Le choix d'un code .....	299
5. L'impression des codes à barres .....	301
6. Les apports de l'identification automatique .....	302
7. Les terminaux mobiles .....	303
<b>Chapitre 24 Les marches exceptionnelles .....</b>	<b>307</b>
1. La mise en place du système .....	307
2. Les marches dégradées.....	308
<b>Chapitre 25 Les tableaux de bord de l'entrepôt.....</b>	<b>311</b>
1. Les tableaux de bord : outils du management.....	311
2. Le suivi des indicateurs internes .....	312
3. L'image de l'inventaire.....	316
4. Le suivi de l'activité .....	317
5. Le suivi de la productivité .....	319
6. Le suivi de la qualité .....	321

7. Le suivi de la sécurité.....	323
8. Le journal de bord.....	323
9. La génération de rapports.....	324

## Partie 6

### La sécurité

<b>Chapitre 26 La sécurité de l'entrepôt .....</b>	<b>327</b>
1. La complexité du problème .....	328
2. Les différents acteurs de la démarche.....	328
3. Les principaux textes législatifs et réglementaires .....	332
4. La logique de la démarche.....	338
5. La nature des risques potentiels.....	339
6. L'importance du facteur temps.....	340
7. Les chocs .....	342
8. L'incendie.....	344
9. L'explosion .....	353
10. L'inondation .....	354
11. La pollution de l'air.....	354
12. La pollution de l'eau .....	354
13. Le cas particulier des aérosols.....	355
14. Les risques particuliers .....	357
15. Les salles de charge des batteries .....	357
16. Les sprinkleurs .....	358
17. Les consignes de sécurité .....	363
18. Le transport.....	364
19. Le dossier de demande d'autorisation .....	367
20. Les équipes de secours.....	368
21. Les audits.....	369
22. Les textes réglementaires.....	369
<b>Chapitre 27 Proposition d'audit de sécurité .....</b>	<b>373</b>
1. Méthode proposée .....	373
2. Les fiches guides .....	373

## Partie 7

### Améliorer une unité de stockage

<b>Chapitre 28 Méthode d'amélioration rapide d'un entrepôt .....</b>	<b>385</b>
1. Initialisation du projet .....	385
2. Rationalisation du stock .....	386

3. La validation des données.....	387
4. Optimisation des trajets.....	387
5. Mécanisation et automatisation.....	387
6. Prise de décisions.....	388
7. Les fiches guides.....	389

## Partie 8 Changer de site

<b>Chapitre 29 Le transfert d'entrepôt.....</b>	<b>407</b>
1 Remarque liminaire.....	407
2. Les difficultés de l'opération.....	407
3. La poursuite de l'activité.....	408
4. Le suivi des références.....	408
5. Les inventaires.....	408
6. Les changements.....	409
7. Les formations complémentaires.....	411
8. Le surcroît d'activité.....	412
9. Le temps imparti au transfert.....	413
10. Le déverminage de la nouvelle installation.....	413
11. La réutilisation d'équipements existants.....	414
12. Les contraintes des systèmes informatiques.....	414
13. Le choix des bonnes unités d'œuvre.....	415
14. Le cahier des charges d'un transfert.....	415
15. Le planning d'un transfert.....	417

## Partie 9 Faire ou faire faire

<b>Chapitre 30 Les ressources humaines.....</b>	<b>423</b>
1. La définition des postes.....	423
2. La description des postes.....	426
3. Les « bonnes pratiques ».....	426
<b>Chapitre 31 La sous-traitance logistique.....</b>	<b>427</b>
1. Estimation du coût des prestations internes.....	427
2. Estimation de la qualité de service.....	428
3. La rédaction du cahier des charges.....	428

4. Sommaire proposé .....	429
5. Questionnaire type de recueil de données .....	433
<b>Conclusion</b> .....	437
<b>Notions d'ergonomie</b> .....	439
<b>Les filières de formation</b> .....	443
<b>Les adresses utiles</b> .....	447
<b>Bibliographie</b> .....	449
<b>Glossaire</b> .....	459
<b>Index</b> .....	467

# 2

## LES PHASES DE SIMULATION DE VALIDATION DE CONCEPTION

Le titre de ce chapitre n'est pas neutre. Les simulations ne sont jamais un outil de conception automatique mais permettent seulement, à la fin de l'étude mais avant toute réalisation, de vérifier, à partir des hypothèses retenues et des principes envisagés, que l'on atteint bien les résultats et les performances attendus. Ceci reste vrai quelles que puissent être la qualité et la sophistication des outils et des acteurs mis en œuvre.

Par ailleurs, une simulation ne sera valable que si le modèle utilisé et les paramètres qui l'accompagnent sont eux-mêmes valables. Les Anglo-Saxons disent de façon très claire et très lapidaire : "Garbage in, garbage out". Ce qui, traduit en français courtois, pourrait donner : "À modèle et données faux, résultats faux".

Les logiciels de simulation peuvent être classés en deux grandes catégories :  
les logiciels dédiés à des équipements particuliers ;

les logiciels généraux permettant d'appréhender les phénomènes stochastiques.

### 1. LES LOGICIELS DÉDIÉS

Ces logiciels ont été développés par les constructeurs de chariots, de transtockeurs ou de robots, voire par certaines ingénieries. Ils ont en mémoire l'ensemble des caractéristiques des matériels concernés (vitesses, rampes d'accélération et de décélération, séquences des mouvements types, etc.) et les modèles dynamiques correspondants.

Par exemple, pour réaliser la simulation de l'exploitation d'un magasin avec des chariots grande hauteur, il suffit d'introduire les données propres au magasin comme : le nombre d'allées, la longueur des allées, la hauteur du palettier, la nature ou les temps des prélèvements, etc.

La simulation calculera les performances que l'on est en droit d'attendre en nombre de missions par heure ou un taux d'engagement des équipements. Il sera ainsi possible de vérifier que le nombre prévu de chariots ou de transtockeurs est pertinent.

Généralement, les simulateurs de cette classe sont dédiés à un seul type de matériel du catalogue du constructeur, il y aura donc autant de simulations que d'équipements différents. Ils permettent néanmoins d'éviter beaucoup de calculs. Par ailleurs, comme ces outils sont purement analytiques, il convient de bien connaître les lois régissant les mouvements et il faut que ceux-ci ne fluctuent pas trop. Ce genre de simulateurs est surtout adapté à des installations ou parties d'installation monoéquipement.

Une simulation de ce type s'effectue en quelques dizaines de minutes.

Chez certains constructeurs, le simulateur traite uniquement des temps théoriques avec des engagements de 100 % ; alors que chez les autres, il intègre un coefficient correcteur, variant de 0,15 à 0,25, qui transforme les temps théoriques des équipements en temps réalistes. On parle quelquefois dans ce cas de coefficient de productivité. Il est nécessaire de bien tenir compte de cette particularité lors d'une étude comparative.

Quelques logiciels existants ont une fonctionnalité supplémentaire qui permet d'esquisser très rapidement un nouveau scénario d'implantation de magasin, cette opération s'effectuant avant la simulation proprement dite. Il devient ainsi possible de comparer l'influence de l'implantation sur la productivité du magasin en conception.

## 2. LES LOGICIELS GÉNÉRAUX

Une première génération de langages de simulation, très puissants mais strictement réservés à des spécialistes de haut niveau, est apparue sur le marché dans le courant des années 80 (Q-NAP de l'INRIA, SLAM/SIMAN de Pritsker, SIMULA de Nygaard Dahl, etc.). Ensuite, des logiciels beaucoup plus conviviaux et accessibles à tout bon technicien sont arrivés (SIMAN/CINEMA, CADENCE, WITNESS, AUTOMOD, etc.). Ils sont particulièrement bien adaptés à la simulation de projets transitiques qui doivent acheminer des flux très aléatoires.

Bien utilisés, les simulateurs permettent des dimensionnements très fins. Une fois encore il est nécessaire de prendre suffisamment de recul lors des simulations. Pourquoi s'acharner à trouver une solution ultra-précise alors que les données du problème varieront sans aucun doute très sensiblement dans les mois ou les années suivant la conception ?

### 2.1 Les différentes classes

Quelques simulateurs sont basés sur la résolution d'équations de Forrester et traitent bien le problème des variations continues ; les autres utilisent la théorie des files d'attente et les lois d'Erlang, ils peuvent décrire avec précision des événements bien

précis mais demandent des temps de calculs quelquefois importants pour des process rapides. Ce défaut tend à s'estomper rapidement par l'amélioration des logiciels et par la montée en puissance du matériel informatique.

Certains simulateurs possèdent d'origine des bibliothèques de modèles : chariots, transtockeurs, convoyeurs, chariots filoguidés, etc. Certains ont des fonctions graphiques évoluées qui animent des vues synoptiques, en couleurs, montrant les équipements en train de se déplacer. Cette fonction n'apporte rien à la valeur de la simulation mais elle favorise grandement le dialogue entre les différents participants au projet, et notamment avec les futurs exploitants.

Une simulation de ce type nécessite plusieurs jours ; pour un site complexe, elle peut atteindre plusieurs semaines. Il y a donc lieu de faire appel à une simulation uniquement dans les cas où elle est utile et quand elle est bien préparée. Il est également recommandé de faire appel à de véritables spécialistes de la simulation qui pratiquent ce genre d'étude plusieurs fois par an.

La courbe ci-après (figure 2.1) montre la simulation d'un stock tampon en amont d'un aiguillage convergent. L'analyse de cette courbe d'Erlang va permettre de déterminer la capacité optimale de ce tampon.

## 2.2 La démarche d'une simulation

La démarche à suivre est très rigoureusement la suivante :

- réflexion et formalisation de ce qu'on attend précisément de la simulation
- choix des scénarios à valider
- établissement d'un modèle correspondant au projet
- validation du modèle lui-même en le testant sur des jeux d'essais dont les résultats sont connus d'avance, on parle quelquefois de calibrage du modèle
- corrections éventuelles du modèle
- exploitation du modèle, c'est-à-dire simulations proprement dites
- analyse des résultats
- synthèse et conclusions
- itération après modification des données d'entrée ou du modèle en cas de résultats non-conformes aux attentes.

Une simulation s'impose dans les installations un peu complexes où les flux sont sujets à de forts aléas ; et dès lors que l'on ne peut plus raisonner sur des moyennes. Elle va permettre de vérifier le dimensionnement des équipements mais aussi celui des stocks tampons.

Un exemple type où une simulation s'avère indispensable est celui d'un réseau un peu compliqué de chariots filoguidés. Certains concepteurs pourraient être tentés de faire l'impasse sur cette phase d'étude supplémentaire. Ils décident de prévoir un nombre de chariots plutôt bas par économie, ou plutôt haut par prudence en projetant de corriger le tir plus tard, par le rajout de nouveaux chariots ou le retrait de ceux qui semblent inutiles.

Si la conception du réseau ne convient pas ou convient mal à l'exploitation souhaitée, l'ajout de nouveaux chariots peut diminuer le trafic en embouteillant

inutilement le circuit. À une configuration de réseau donnée et à une exploitation donnée correspond un nombre optimal de chariots pour un trafic maximal. Ce nombre est impossible à déterminer par calcul, la simulation dans ce type de problème est vraiment irremplaçable. Mieux vaut dépenser quelques jours supplémentaires et quelques milliers d'euros en phase d'étude que de dépenser des sommes, hors de comparaison, pour reprendre un investissement.

Les scénarios de la simulation pourront s'appliquer non seulement à l'exploitation normale mais également aux modes de marche perturbée. La robustesse d'une installation pourra ainsi être mesurée en simulant l'indisponibilité d'un équipement pendant le temps présumé nécessaire à sa remise en service. La mesure sera donnée par la taille des accumulations résultantes et / ou des pertes de production.

La figure 2.1 montre le résultat de la simulation du taux d'occupation d'une accumulation se situant en amont d'un aiguillage divergent. Le concepteur choisira sans doute de dimensionner ce stock tampon à 4 ou 5 places pour résoudre 98 ou 99 % des occurrences.

### 2.3 Les études de sensibilité

Les études de sensibilité sont des simulations dans lesquelles on ne fait varier qu'un seul paramètre d'entrée à la fois pour examiner l'influence de cette variation sur les résultats. Ce genre d'étude permet, par exemple, de discriminer les équipements critiques ou au contraire les équipements sous-utilisés. Cela permet aussi d'analyser les variations non linéaires à proximité des sauts de la courbe.

Une application pratique dans le domaine des magasins est l'étude des variations de taille des tournées de préparation : quelle est la taille optimale ? Plutôt grande pour pouvoir mieux optimiser ou plutôt petite pour avoir une meilleure réactivité ?

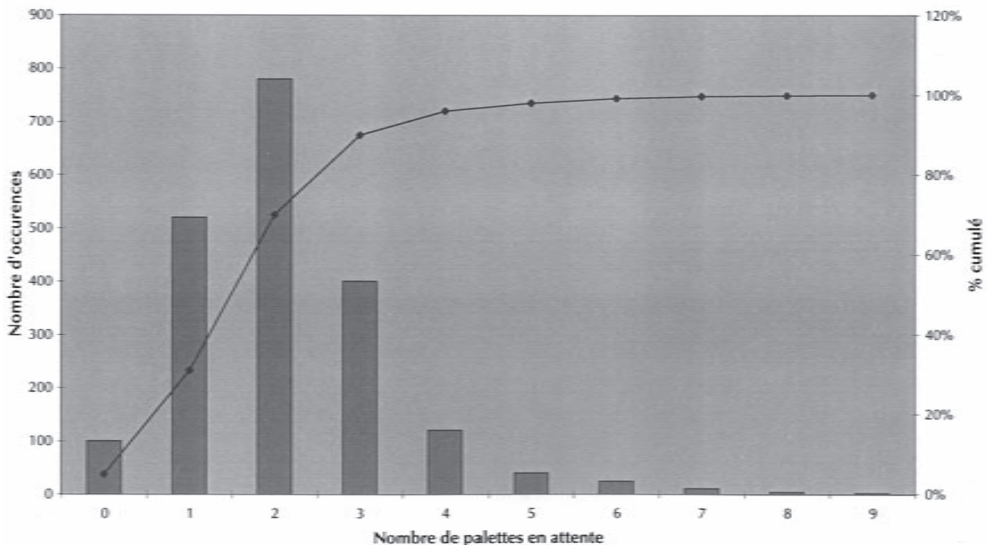


Figure 2.1 – Simulation d'une accumulation en amont d'un divergent