Devoir corrigé : analyse d'une distribution européenne (annales 2007 devoir n°2)

Remarque : la partie III est indépendante

Dans le cadre d'une logistique européenne, une société de grande distribution veut étudier l'intérêt de livrer certains produits de grande consommation non alimentaires dans ses magasins français à partir de dépôts étrangers. Evidemment seuls les produits standardisés au niveau européen (appelés par la suite produits communs) peuvent venir de tel dépôt étranger. Les autres produits (produits « français ») spécifiques à la consommation française continueront à être livrés par un entrepôt français. Dans un premier temps, pour analyser la problématique, on ne s'intéresse qu'à la livraison d'un seul magasin situé dans le sud de la France, à Toulouse (ville où le taux de maladies cardio-vasculaire est le plus faible d'Europe). Les données économiques et physiques sont données en annexe.
Deux entrepôts sont éventuellement sollicités pour les livraisons : Lyon et Barcelone. L'unité de flux est la palette. Dans toute la suite on considérera que les flux de produits « français » représentent 65% des flux, ceux de produits communs 35 %.
Deux scénarios sont à analyser :

S1 : l'ensemble des flux, communs et « français », sont livrés ensemble dans le même camion de l'entrepôt de Lyon.

S2 : les flux français proviennent de Lyon, les flux communs de Barcelone.

I Etude de la fréquence de livraison

a) Faire le schéma des flux dans chaque scénario.
b) La charge fixe, indépendante de la quantité livrée est estimée pour chaque livraison à 300 €. Le coût du stock dans le magasin est évalué à 12% par an de la valeur des produits immobilisés. On cherche à rendre minimum le coût d'approvisionnement (stock et charge de livraison, quelle sont dans ces conditions,

- la fréquence économique de livraison dans le scénario S1 ?
- les fréquences économiques dans le cas du scénario S2 (les deux types de produits sont gérés indépendamment).

c) Dans ces conditions, quels sont les coûts moyens de gestion annuels des deux scénarios ?
d) Donner qualitativement les avantages et inconvénients de chaque scénario en termes de qualité de service et de maîtrise du système d'information.

II Etude plus fine des coûts de transport aval

Désirant libérer le maximum de surface pour la vente en magasin, on décide de livrer tous les types de flux 5 fois par semaine. On considère que les coûts de stockage ne dépendent pas du scénario choisi.

a) Monter que la fonction $\lambda(p)$ qui permet de passer du coût unitaire de l'envoi d'une palette en camion complet (lot de 33 palettes) au coût unitaire dans un envoi de *p* palettes, peut être formalisée par $\lambda(p) = \frac{5,75}{\sqrt{p}}$; pour $p \leq 33$. Expliquer économiquement l'évolution de cette fonction.
b) Exprimer le coût total d'un envoi de *p* palettes sur une distance de *d* kilomètres. Si l'envoi est supérieur à 33 palettes, le tarif unitaire correspondant à 33 palettes est appliqué.
c) Dans ces conditions, en ce qui concerne le magasin de Toulouse, quel scénario de distribution retiendriez-vous ? Evaluez les enjeux en termes de transport.
d) En réalité, il y a plusieurs magasins dans la région de Toulouse appartenant à la même société et qui sont livrés par les mêmes entrepôts. Sur le plan du calcul économique, doit-on choisir les scénarios en fonction du niveau d'activité des magasins ? Expliquer qualitativement, mais néanmoins clairement, votre réponse.
e) Si le choix des scénarios diffèrent en fonction des magasins, à quel seuil de chiffre d'affaires annuel le choix doit il basculer ?
f) Monter que l'analyse de la chaîne logistique n'est pas complète dans ce qui précède. De quelles informations supplémentaires avez-vous besoin pour compléter l'étude.

III Gestion du grand import

Les importations hors Europe proviennent :

D'Amérique du nord pour 500 conteneurs par an
D'Amérique du sud pour 1000 conteneurs,
Du sud est asiatique pour 1500 conteneurs,
De Chine pour 800 conteneur.

Ces conteneurs peuvent être livrés sur les quatre ports européens : Anvers, Le Havre, Marseille, Barcelone. Sur ces ports les conteneurs sont ouverts et leur contenu est éclaté vers les différents entrepôts européens. La capacité de traitement de chaque port compte tenu de la fréquence des lignes ne peut dépasser 1000 conteneurs/an.

Les coûts de transports et déchargement par conteneur sont fournis ci-dessous en € :

	Anvers	Le Havre	Marseille	Barcelone
Am. du Nord	2000	1800	2500	2100
Am. du Sud	2500	2400	2500	2200
Sud Est asiatique	2600	2800	2400	2500
Chine	2700	2800	2600	2300

Sans chercher à tout prix une solution optimale pouvez vous fournir un plan d'approvisionnement économiquement satisfaisant.

Annexe **Magasin de Toulouse**

	demande / an palettes	%	Prix moyen palettes €	CA k€ annuel
produits français	5 200	65%	1 300	6 760
produits communs	2 800	35%	2 000	5 600
total	8 000	100%	1 545	12 360

charge fixe d'approv. € 300

Coût en €
Coût unitaire de transport en fonction de la distance (km) et du nombre de palettes livrées (p)
capacité d'un camion = 33 palettes

$(10 + 0{,}07\text{km})*\lambda(p)$

p	$\lambda(p)$
2	4,00
5	2,60
10	1,80
15	1,50
20	1,20
25	1,10
30	1,05
33	1,00

Distances

Lyon - Toulouse	500 km
Barcelonne Toulouse	300 km

Correction : Logistique EUROPE
Devoir n°2 (rédaction M. C. Ball)

I Etude de la fréquence de livraison

Informations

Produits français (α) = 65% des flux	Produits Communs (1-α) = 35% des flux
Unité de flux = la palette	Capacité d'un camion = 33 palettes
Charge fixe d'approvisionnement = 300 €	Tarifaire transporteur = (10 + 0,07 km).λ(p)
Coût du stock = 12% de la valeur immo.	λ(p) = cf. énoncé
Client = 1 magasin à Toulouse	2 entrepôts (Lyon et Barcelone)
Distance Lyon – Toulouse (dL) = 500 Km	Distance Barcelone – Toulouse (dB) = 300 Km

Scénario S1 : les flux communs et français sont livrés ensembles dans le même camion de l'entrepôt de Lyon
Scénario S2 : les flux français proviennent de Lyon, les flux communs de Barcelone

a) Faire un schéma des flux dans chaque scénario

On ne s'intéresse ici qu'aux flux avals.

Schéma de flux du scénario S1

Remarque(s)

Pour chaque camion envoyé de Lyon, 35% des produits seront des produits communs et 65% des produits français. Rien ne partira de Barcelone.

Schéma de flux du scénario S2

<u>Remarque(s)</u>
Pour 7 camions remplis de produits communs envoyés de Barcelone, 13 seront envoyés de Lyon remplis de produits français !

b) On cherche à rendre minimum le coût d'approvisionnement, quelles sont alors :
- la fréquence économique de livraison dans le scénario S1
- les fréquences économiques dans le scénario S2 (2 produits gérés indépendamment)

<u>fréquence économique pour S1</u>

Identification des coûts
Répertorions l'ensemble des coûts de livraison dans le cas du scénario S1 :

- Les coûts de livraison, constitués :
  - de coûts fixes d'approvisionnement de 300 € par commande
  - de coûts d'approche en camion complet (λt=1 pour p=33), variables = p.(a.dL+b) = p.(0,07.dL + 10) avec p : la quantité envoyée en palettes dL : la distance Lyon - Toulouse
- Les coûts d'immobilisation des stocks du magasin évalués à 12% de la valeur du stock

Il faut donc trouver une solution telle que le nombre de commandes ne soit pas trop élevé pour éviter de trop faire augmenter le coût total des frais fixes d'approvisionnement, mais suffisant pour éviter que le stock moyen ne devienne très important et que son coût d'immobilisation ne grève les économies faites sur les commandes.

Coût du stockage par rapport à la fréquence
Comme nous n'avons pas de renseignements sur les pratiques sociales du magasin, nous considérerons que le gérant du magasin est prêt à recevoir lui-même les palettes livrées le dimanche, et donc, nous allons inclure tous les jours de l'année dans nos calculs.

Si on considère que les ventes du magasin sont uniformes dans le temps (hypothèse un peu farfelue) et qu'on ne s'intéresse pas au risque de rupture (puisque nous ne disposons d'aucune donné nous permettant de l'évaluer), on considère la demande comme parfaitement connue et uniforme, et, puisqu'on se base sur un approvisionnement de type T/Q, quelle que soit la quantité Q commandée par cycle, on aura Q tonnes de produit au début du cycle et 0 à la fin. Ce qui nous donnera un stock moyen de Q/2.

Remarque : ici nous n'avons pas besoin de différentier les produits car ils sont toujours présents dans les mêmes proportions puisqu'ils sont livrés ensembles dans les proportions indiquées et consommés simultanément dans les mêmes proportions.

Puisqu'on ne dispose pas d'autre prix, on détermine la valeur unitaire de la palette d'après son prix de vente moyen des produits vup = 1545.

La quantité Q peut s'exprimer par rapport à la fréquence annuelle d'approvisionnement f puisqu'on connaît la quantité totale à commander. S'il y a 2 approvisionnements par an ils seront de 4000 chacun. On a donc :
Q = 8000 / f

Le coût du stockage est donc de :
CS(f) = i.vup.Q/2 = 0,12.1545.8000/2f = 741600/f en €
Le coût de stockage est inversement proportionnel à la fréquence, ce qui semble normal car plus la fréquence est importante, plus la quantité moyenne en stock est faible et moins le coût de stockage sera important.

Coût du transport par rapport à la fréquence
Pour ne pas trop complexifier le problème d'emblée, on considère qu'il est a priori rentable de livrer des camions complets (33 palettes). Ensuite, si le stock moyen final est très faible (fréquence forte), on pourra se poser la question de savoir s'il est intéressant de livrer 1 camion non complet par cycle, puisque c'est seulement dans ce cas que l'immobilisation de quelques unités pourrait jouer sur le coût total.

Comme on l'a vu précédemment, le coût par commande est de 300 € et le nombre de commandes étant égal à la fréquence annuelle, on a,
Charge fixe d'appro totale = 300.f

Quant au coût de transport par camion complet, il ne changera pas puisque tant la distance que le tonnage total ne seront modifiés. On a donc :
Coût d'approche total par camion complet = p.(0,07.dL + 10) = 8000.(0,07.500 + 10) = 360000 = C
Ce nombre est constant pour l'année et ne joue donc pas dans la recherche de l'optimum

Calcul de la fréquence économique
Ainsi, on peut dire que le coût total peut s'exprimer comme suit :
Ctot(f) = 300.f + C + 741600/f

Si on calcule la dérivée de cette fonction, on obtient
Ctot'(f) = 300 – 741600/f^2
La dérivée est négative puis devient positive avec les f croissant ce qui signifie que la fonction est décroissante puis croissante et que lorsque la dérivée s'annule, on se trouve au minimum du coût. Elle s'annule pour :
f^2 = 741600/300 = 2442

f = 49,72

La fréquence économique pour le scénario S1 est donc de 49, 50 ou on peut aussi imaginer livrer 1 camion non-complet ou encore si on raisonne exclusivement sur une année ou 49,72 livraisons par an si on considère qu'on va faire empiéter les livraisons d'une année sur l'autre (0,28 du temps étant affecté à la suivante).

Globalement, on a à peu près une livraison par semaine et pour :

Ctot(49,72) = 300.49,72 + C + 741600/49,72 = 29831,53 + C = 389 831,52 €

Ctot(49) = 300.49 + C + 741600/49 = 29834,69 + C = 389 834,69
Ctot(50) = 300.50 + C + 741600/50 = 29832 + C = 389 832

Comme 50 livraisons correspondent à 160 palettes, et que pour remplir 5 camions il faudrait 165 palettes, et que nous n'avons pas intérêt, aux vues du coût par camion, d'en faire circuler plus que ce qui est nécessaire, il serait bon d'envisager 49 livraisons dont 47 seront constituées de 5 camions complets et 2 de 4 camions. Livraisons judicieusement agencées afin de conserver le stock moyen au plus proche de notre idéal !

Le problème est que nous travaillons dans la réalité avec des variables discrètes alors que mathématiquement, nos variables sont continues. Nous pourrions refaire le calcul en prévoyant de commander 8019 palettes sur un peu plus d'un an soit 243 camions entiers ce qui modifierait finalement peu le résultat.

<u>fréquence économique pour S2</u>
Cette fois, les distances sont différentes et les produits français et communs peuvent avoir des fréquences différentes. Le mieux est donc de raisonner par analogie avec le cas précédent en mettant en œuvre 2 fréquences f1 et f2. On a donc :

Pour les produits français :
Ctot1(f1) = 300.f1 + 5200.(0,07.500 + 10) + 0,12.1300.5200/2f1 = 300.f1 + 234 000 + 405 600/f1
Ctot1'(f1) = 300 - 405 600/f1^2 (remarquons que 5200 = 0,65 * 8000 = α.Qtot)

Optimum pour f1 = 36,77 soit 141,42 palettes livrées en moyenne…

On pourra donc imaginer 37 livraisons en alternance de convois de 5 et 4 camions, par exemple :
165 + 132 + 132 = 429 palettes sur une période où 425 étaient nécessaires. Le stock moyen ne s'élève alors de 0,75 palette environ. Et donc le coût de 117 € par rapport à la solution mathématique.
Ctot1(36,77) = 256 061,73 €

Pour les produits communs :
Ctot2(f2) = 300.f2 + 2800.(0,07.300 + 10) + 0,12.2000.2800/2f2 = 300.f2 + 86 800 + 336 000/f2
Ctot2'(f2) = 300 - 336 000/f2^2 (remarquons que 2800 = 0,35 * 8000 = (1-α).Qtot)

Optimum pour f2 = 33,47 83,66 palettes livrées en moyenne…

On pourra imaginer 34 livraisons avec une alternance de 3 camions, 2 camions !
Ctot2(33,47) = 106 879,84 €

c) Dans ces conditions, quels sont les coûts moyens de gestion annuels des 2 scénarios ?

D'après nos précédents calculs, si on conserve les valeurs idéales (non-opérationnelles), on obtient :
Pour S1 : Ctot(49,72) = 389 831,52
Pour S2 : Ctot(36,77 ; 33,47) = Ctot1(36,77) + Ctot2(33,47) = 256 061,73 + 106 879,84 = 362 941,57

D'où CtotS1 – CtotS2 = 26 889,96 € soit environ 6,9% d'économie réalisé sur ces livraisons avec S2. Il vaut donc mieux faire livrer les produits communs depuis Barcelone, car cette solution est plus économique !

Remarque(s) : Comme nous l'avons indiqué précédemment, ces décisions ne sont pas opérationnelles, mais des solutions d'adaptation permettent d'obtenir un résultat similaire à quelques centaines d'euros près. De plus, les 3 fréquences étant entachées de cette erreur non-opérationnelle, on peut conclure que, bien qu'elle soit plus importante dans le cas de S2, cette erreur ne justifierait pas une remise en cause d'un écart aussi important et donc du choix de structure qui en découle.

d) Donner qualitativement les avantages et inconvénients de chaque scénario en terme de qualité de service et de maîtrise du système d'information.

<u>En terme de qualité de Service :</u>
Dans le cas S1, le stock moyen est de 8000 / (2.49,72) = 80,… palettes (52,… français/28,… communs)
Dans le cas S2, les stocks moyens sont de 5200 / (2.36.77) = 70,… palettes de produits français
et de 2800 / (2.33,47) = 42,… palettes de produits communs (soit 112 palettes au total en moyenne).
On peut donc dire, qu'à priori, le scénario S2 fournit une meilleure marge de sécurité quant aux ruptures de stock. Notons de plus, que l'envoi de produits n'étant pas dissocié dans le cas du scénario S1, une rupture sur un type de produit entraînerait une commande globale alors que seuls les produits communs manqueraient. S2 permet donc doublement de fournir une meilleure qualité de service aux clients toulousains que S1 !

<u>En terme de système d'information :</u>
Par contre, la gestion d'une unité logistique supplémentaire nécessite la refonte au moins partielle du système d'information. Une mise au point de nouvelles procédures locales adaptées, une modification du système de gestion des stocks… Cela aura un coût non-négligeable. Ainsi, dans le cas du scénario S2, il y aura un temps d'adaptation et des coûts à prévoir outre le fait que de nombreuses procédures devraient être complexifiées par rapport au cas S1. On note cependant que, dans le cas de S1, l'agrégation des données sur les 2 produits peut s'avérer préjudiciable sur la finesse des analyses, et, à ce titre, S2 peut s'avérer avantageux (SI + précis).

II Etude plus fine des coûts de transport aval

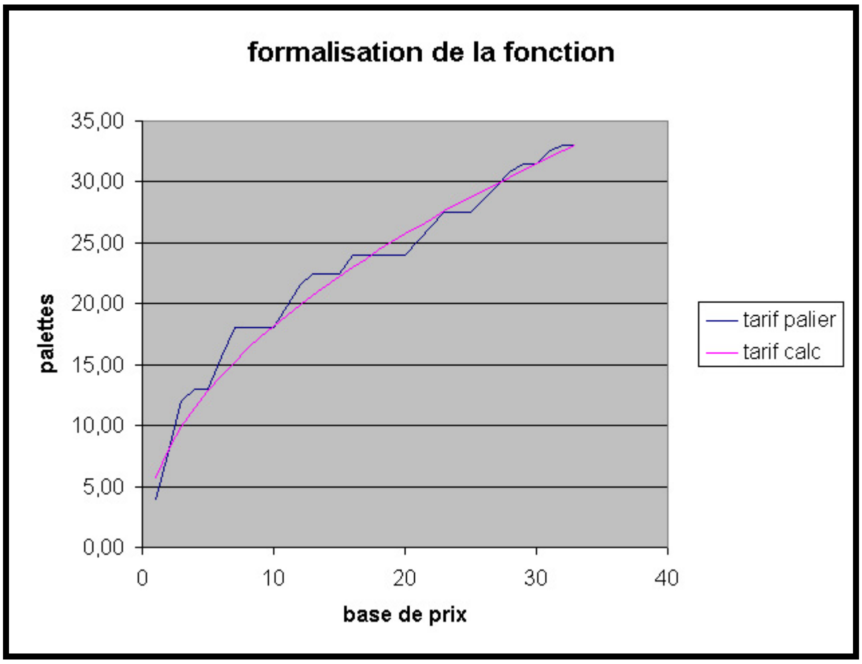
Désirant libérer le maximum de surface pour la vente en magasin, on décide de livrer tous les types de flux 5 fois par semaine. On considère que les coûts de stockage ne dépendent pas du scénario choisi.

a) Monter que la fonction λ*(p)* qui permet de passer du coût unitaire de l'envoi d'une palette en camion complet (lot de 33 palettes) au coût unitaire dans un envoi de *p* palettes, peut être formalisée par $\lambda(p) = \frac{5{,}75}{\sqrt{p}}$; pour $p \leq 33$. Expliquer économiquement l'évolution de cette fonction.

Si on rapproche les résultats donnés par l'équation des valeurs de la grille tarifaire, on obtient :

p	λ(p)	5,75/√p	écart
2	4,00	4,07	1,65%
5	2,60	2,57	-1,10%
10	1,80	1,82	1,02%
15	1,50	1,48	-1,02%
20	1,20	1,29	7,14%
25	1,10	1,15	4,55%
30	1,05	1,05	-0,02%
33	1,00	1,00	0,09%

On voit que les valeurs prises par la fonction formalisée sont très proches de la grille tarifaire, sauf pour des envois de 20 et 25 palettes où l'écart est significatif. Afin de se convaincre de cet état de fait, on peut comparer les courbes représentatives l'une du tarif calculé à l'aide de la fonction formalisée et l'autre du tarif réel (avec application des paliers « payant pour » cf. document Excel ci-joint).



A n'en pas douter, la fonction approxime relativement bien le tarif réel ! De plus, le coefficient de corrélation linéaire entre ces 2 séries est de 0,9899 (elles sont donc fortement corrélées linéairement, sans pousser bien loin l'analyse, on peut imaginer une relation de la forme x = y + ε)

<u>Explication économique</u>

$\lambda(p) = \dfrac{5{,}75}{\sqrt{p}}$ évolue inversement à la racine de p, ce qui signifie que quand p augmente, λ(*p*) diminue. Ainsi, plus la quantité envoyée par camion est importante et plus le coût unitaire de l'envoi va diminuer. On comprend qu'il est peu intéressant pour un transporteur de se faire payer le même tarif unitaire si son camion transporte 1 ou 33 palettes. En effet, s'il répercute tous ces coûts sur le prix d'une palette, son tarif devient exorbitant et il n'a plus de client. Dans le second cas, s'il répercute ses coûts sur 33 palettes et qu'on ne lui demande de n'en transporter qu'une, il va perdre beaucoup d'argent. D'où l'explication d'un tarif progressif qui lui permet d'être rentable dans tous les cas sans faire fuir sa clientèle.

b) Exprimer le coût total d'un envoi de *p* palettes sur une distance de *d* kilomètres. Si l'envoi est supérieur à 33 palettes, le tarif unitaire correspondant à 33 palettes est appliqué.

Ce coût de transport se divise en :

- frais fixes (300 €) et
- frais de transport (cette fois pas par camion complet !) on prend la quantité p que l'on multiplie par le coût unitaire (0,07d + 10).λ(*p*) (pour tout p < 33) ou (0,07d + 10).λ(*33*) = 0,07d + 10 (pour p >= 33).

Et comme λ(*p*) a été formalisée, on substitue sa fonction formalisée dans l'équation. On a donc :

CTotEnv(d,p) = 300 + p.(0,07d + 10).5,75/√p = 300 + 5,75√p.(0,07d + 10) pour tout p < 33 et CTotEnv(d,p) = 300 + p.(0,07d + 10) pour tout p >= 33

c) Dans ces conditions, en ce qui concerne le magasin de Toulouse, quel scénario de distribution retiendriez-vous ? Evaluez les enjeux en termes de transport.

Changement de situation

Dans cette situation, puisqu'on considère maintenant que les coûts de stockage sont indépendants, que les livraisons se font 5 fois par semaine et que toute palette au-dessus de 33 par envoi bénéficie du meilleur prix, les choses ont changé. En effet, d'abord, on doit exclure le calcul des coûts de stockage de notre précédent calcul. De plus, les envois ne se font plus obligatoirement par camion complet et la fréquence étant déjà fixée.

Calcul des coûts

Tout d'abord, les quantités envoyées sont connues, on a en effet 5 envois par semaine, soit environ 260 livraisons par an, on a donc :

- pour S1 : 8000/260 = 30,77 palettes en moyennes par livraison en partance de Lyon (500Km)
- pour S2 : 5200/260 = 20 palettes par livraison en partance de Lyon et
2800/260 = 10,77 palettes par livraison en partance de Barcelone (300Km)

Les scénarii aboutissent alors aux coûts totaux suivants :

- Pour S1 : Ctot1 = CTotEnv(500 ; 30,77) = 1 735,29
- Pour S2 : Ctot2 = CTotEnv(500 ; 20) + CTotEnv(300 ; 10,77) = 1457,17 + 884,95 = 2342,12

Coûts S2 >> coûts S1

Analyse : palettes vendues et distance client

On voit que cette fois, les coûts de transport pour acheminer les mêmes quantités sont bien moins importants dans le cas du scénario S1 que dans le cas S2. il vaut donc mieux choisir S1. En fait cela vient du fait, d'une part que le coût par envoi est non négligeable et qu'il joue 2 fois dans S2 et d'autre part du fait que l'envoi de camions non-complet n'est pas une pratique intéressante financièrement, et donc, que pour les envois au départ de Lyon, le scénario S2 sera toujours plus coûteux à l'unité que S1 (sauf si αp>33 auquel cas ces coûts sont égaux). De plus, compte tenu de la faible quantité de produits communs envoyés depuis Barcelone, les économies faites ne sont pas suffisantes. On remarque cependant que si on accroît les quantités vendues, les gains en terme de coût pour S1 vont être minimes car ses livraisons bénéficient déjà presque du meilleur prix. Par contre, pour le scénario S2, tant au départ de Lyon que de Barcelone, les prix pourront être améliorés de manière importante avec des quantités croissantes. Ainsi, si on prévoit un accroissement de l'activité pour l'année suivante, on pourrait quand même préconiser la mise en place de cette seconde solution. On peut aussi remarquer que le client n'est pas assez proche de Barcelone (et éloigné de Lyon) pour que l'envoi depuis Barcelone constitue un réel intérêt. Si on desservait des clients plus proches, le faible coût du transport des produits communs pourrait contrebalancer le fort coût d'expédition des produits standards.

d) En réalité, il y a plusieurs magasins dans la région de Toulouse appartenant à la même société et qui sont livrés par les mêmes entrepôts. Sur le plan du calcul économique, doit-on choisir les scénarios en fonction du niveau d'activité des magasins ? Expliquer qualitativement, mais néanmoins clairement, votre réponse.

Comme indiqué précédemment, la différence de coût entre les deux scénarii dépend fortement des quantités expédiées à chaque envoi. Plus ces quantités sont faibles, plus l'avantage est donné au scénario S1 (sauf quand les quantités envoyées sont tellement petites que cela annule l'avantage de palier de prix).

Aussi, on peut penser que de nombreuses petites expéditions vont avantager Lyon et que de gros volumes peuvent avantager Barcelone (dans la mesure où on dépasse les niveaux moyens actuels).

e) Si le choix des scénarios diffère en fonction des magasins, à quel seuil de chiffre d'affaires annuel le choix doit-il basculer ?

En calculant la différence entre les coûts du scénario 2 et 1, on peut trouver pour quelle(s) valeur(s) de p l'égalité est obtenue, à savoir :

Pour Quand $p < 33$
Ctot2 – Ctot1 = CTotEnv(300 ; (1-α)p) + CTotEnv(500 ; αp) - CTotEnv(500 ; p)
Ctot2 – Ctot1 = 300 + 5,75√[(1-α)p].(0,07.300 + 10) + 5,75√(αp).(0,07.500 + 10) - 5,75√p.(0,07.500 + 10)
Ctot2 – Ctot1 = 300 + 5,75√[(1-α)p].(0,07.300 + 10) + 5,75.[√(αp)-√p].(0,07.500 + 10)

En remplaçant α par sa valeur pour simplifier, on obtient :
Ctot2 – Ctot1 = 300 + 31.5,75√(0,35p) + 45.5,75[√(0,65p)-√p] = 300 + 178,25√(0,35p) + 258,75.[√(0,65p)-√p]
Ctot2 – Ctot1 = 300 + (178,25√0,35 + 258,75√0,65 - 258,75)√p) = 300 + 55,31√p
Il n'existe donc pas de solution pour $p < 33$
Ce qui signifie que tant que la commande totale est inférieure à 33 la solution S2 est plus coûteuse que S1.

Quand $p >= 33$
Ctot2 – Ctot1 = CTotEnv(300 ; (1-α)p) + CTotEnv(500 ; αp) - CTotEnv(500 ; q)
Ctot2 – Ctot1 = 300 + 5,75√[(1-α)p].31 + 5,75√(αp).45 - p.45
Ctot2 – Ctot1 = 300 + (178,25√0,35 + 258,75√0,65)√p – 45p = 300 + 314,06√p - 45p

Ce qui s'annule pour :
0 = 300 + 314,06√p - 45p

soit :
45p -300 = 314,06√p
en considérant que $p = w^2$ on a une racine compatible (cf. doc Excel) w = 7,83 soit p = 61
mais dans ce cas, on voit que $\alpha p > 33$ ce qui signifie encore que nous n'avons pas de solution pour $p<61$.

Comme $\alpha p>33$ les camions de Lyon pour S2 sont complets et envoient donc leurs marchandises au meilleur prix, on modifie donc encore notre équation, comme suit :
Ctot2 – Ctot1 = 300 + 5,75√0,35√p + 0,65p.45 - p.45
Ctot2 – Ctot1 = 300 + 105,45√p – 15,75p

Cette fois-ci on trouve une solution pour p = 78,28
Pour cette solution $(1-\alpha)p < 33$ donc les camions en partance de Barcelone ne sont pas pleins et c'est donc une solution correcte par rapport à l'équation.

Ainsi, il n'y a que dans le cas où on livrerait au moins 79 palettes en un envoi que la solution S2 serait préférable. Donc, à raison de 5 envois / s de 79 palettes à 1 545 € sur 52 semaines ça représente un CA de : 5 x 52 x 79 x 1545 = 31 734,34 k€ (2,5 fois plus qu'actuellement !)

f) Monter que l'analyse de la chaîne logistique n'est pas complète dans ce qui précède. De quelles informations supplémentaires avez-vous besoin pour compléter l'étude.

En fait, on ne s'est intéressé dans cette analyse qu'à la partie transport aval. Or, on ne connaît ni les capacités des entrepôts de départ, ni les coûts de stockage et de livraison en amont, ni d'éventuels des coûts de rupture. Or, si les marchandises à l'arrivée à Barcelone sont moins chères que celles à l'arrivée à Lyon, évidemment, Barcelone bénéficiera d'un petit avantage. En fait, dans le cadre de gestion de la chaîne logistique, il faut disposer d'une vue d'ensemble, afin de pouvoir bien déterminer le circuit le plus économique et la meilleure implantation !

III Gestion du grand import

Les importations hors Europe proviennent :
D'Amérique du nord pour 500 conteneurs par an
D'Amérique du sud pour 1000 conteneurs,
Du sud est asiatique pour 1500 conteneurs,
De Chine pour 800 conteneurs.

Ces conteneurs peuvent être livrés sur les quatre ports européens : Anvers, Le Havre, Marseille, Barcelone. Sur ces ports les conteneurs sont ouverts et leur contenu est éclaté vers les différents entrepôts européens. La capacité de traitement de chaque port compte tenu de la fréquence des lignes ne peut dépasser 1000 conteneurs/an.

Les coûts de transports et déchargement par conteneur sont fournis ci-dessous en € :

	Anvers	Le Havre	Marseille	Barcelone
Am. du Nord	2000	1800	2500	2100
Am. du Sud	2500	2400	2500	2200
Sud Est asiatique	2600	2800	2400	2500
Chine	2700	2800	2600	2300

Sans chercher à tout prix une solution optimale pouvez vous fournir un plan d'approvisionnement économiquement satisfaisant.

Résolution par le solveur
Dans la mesure où nous disposons d'un ordinateur et de Excel, plutôt que de recourir aux techniques empiriques (méthode du moindre coût) ou heuristiques nous allons procéder à la mise en œuvre de la résolution via le solveur d'Excel.

a) Tout d'abord, recopions le tableau de coûts présenté ci-dessus en l'exprimant en k€ afin de simplifier la lecture sous excel.

b) Prévoyons ensuite une zone de la même taille que la précédente, qui recueillera les variables, c'est à dire les quantités exportées de tel endroit à tel port. Par exemple, au croisement de la colonne AN-Le Havre on aura la quantité expédiée d'Amérique du Nord au Havre.

c) On remarque qu'à l'ai de ces 2 matrices, on pourra procéder à des calculs de sommes et de produit très simplement. Par exemple, en utilisant la fonction SOMMEPROD entre des cases variables (quantités) et leurs homologues dans l'autre zone (prix) on obtiendra le coût d'import pour ces zones.

Profitons-en pour reporter le coût total des imports dans tous les ports en utilisant la fonction SOMMEPROD entre les deux matrices. La case contenant cette formule sera la cible du solveur, c'est à dire celle qu'il essaiera d'optimiser en fonction des paramètres que nous lui aurons donnés.

d) Ensuite, nous définissons deux zones, l'une totalisant les expéditions et l'autre rappelant l'ensemble des exports prévus en partance des différents pôles . Cela servira à nous assurer que la somme des imports réellement effectués depuis différentes zones dans les différents ports n'excède pas les exports prévus.

On procède de même pour les ports (avec une zone de total et une zone de capacité à ne pas dépasser, ici, 1000 expéditions par port.

Enfin, nous pouvons appliquer les contraintes de quantités, à savoir que :

- la somme des quantités par colonne ne doit pas dépasser la capacité
  ➔ la zone totale des ports <= la zone capacité des ports (l'évaluation se fait case pas case)
- la somme des quantités par ligne ne doit au moins valoir le nombre d'importations prévues
  ➔ la zone totale par origine >= la zone capacité de demande

e) Il ne reste plus qu'à utiliser le solveur en précisant bien la valeur cible (la case qui contient la formule SOMMEPROD des matrices), l'action à effectuer (ici, minimiser le coût total), en définissant la matrice variable et en précisant les options de modèle supposé linéaire (il s'agit de la mise en œuvre d'un programme de programmation linéaire) et supposé non-négatif car on ne peut renvoyer des conteneurs dans l'autre sens pour réduire nos coûts !

f) Après calcul rapide du Solveur, on obtient le résultat suivant (en jaune le plan d'approvisionnement optimal) :

zones	Anvers	Le havre	Marseille	Barcelone	import	demande
AN	0	500	0	0	500	500
AS	300	500	0	200	1000	1000
SE Asiat	500	0	1000	0	1500	1500
Chine	0	0	0	800	800	800
Expéditions	800	1000	1000	1000		3800
capacité	1000	1000	1000	1000	4000	
Pour un coût total minimum = 8830 k€ soit 2323,68 € / palette						

Approche par la méthode du moindre coût et heuristique
Comme je me demande si vous n'attendiez pas l'utilisation d'une méthode « empirique » (logique en devoir sur table), j'explique rapidement les deux techniques :

Méthode du moindre coût :
Le but est d'affecter en premier la quantité maximum au coût le moins cher. Par exemple, ici, le AN - Le Havre est le moins cher (1800€/p), on va donc commander 500 palettes d'Amérique du Nord à destination du Havre pour un coût total de 900 k€ (une bonne affaire !), toute la ligne AN est maintenant saturée. On va donc identifier le second prix le moins cher dans ceux qui restent disponibles, on prend AS-Barcelone (2200€/p) on commande 1000 palettes et la ligne AS est saturée (car on a atteint le quota de l'AS) ainsi que la colonne Barcelone (car le port est saturé !). On choisit une 3^{e} valeur… et ainsi de suite.

Méthode heuristique (des pénalités) :
Cette fois, comme on a vu que le fait de commander 500 en AN-Le Havre ne nous a plus permis de sélectionner AN-Anvers pour 2000 € / p on a peut-être perdu des opportunités. Aussi, on va plutôt raisonner sur la différence (appelée pénalité) entre le plus bas coût et le coût qui lui est directement supérieur pour chaque colonne et chaque ligne. Une fois qu'on a établit la liste des pénalités, on commence par affecter l'import au coût le plus bas dans la colonne ou la ligne ayant la plus forte pénalité.

Par exemple, ici : la plus forte pénalité est de 600 € sur la colonne Le Havre. C'est donc l'import AN-Le Havre qu'on va saturé avec 500 palettes. Puis on recalcule les pénalités après avoir éliminé la ligne AN (et on pense à réduire la capacité résiduelle du Havre de 500). A nouveau c'est la colonne Le Havre qui a la plus grande pénalité (400 €). Ainsi, on sature la liaison AS – Le Havre avec 500 unités (la capacité résiduelle du Havre). Puis on recalcule les pénalités et on diminue la demande en provenance d'AS. Et ainsi de suite.

On remarque que cette méthode, contrairement à la méthode des moindres coûts, aboutit sur les 2 premières affectations (au moins) au même résultat que celui du solveur. En effet, cette méthode si elle n'aboutit pas toujours à une solution optimale, reste très efficace et permet de proposer des plans d'approvisionnement économiquement satisfaisants.