

AUTRES CONFIGURATIONS

- V. 1. 64 configurations AAA, produit 1, à localisation quelconque
- V. 2. 128 configurations à efficacité homogène, produit 1 et à localisation quelconque.....
- V. 3. 512 configurations à efficacité homogène, 4 produits et à localisation quelconque ...
- V. 4. Bilan des conclusions

V. 1. 64 configurations AAA, produit 1, à localisation quelconque

Pour analyser ces 64 configurations, nous utilisons la classification hiérarchique plus explicite ici. Nous obtenons six classes. Le tableau suivant présente les caractéristiques de chacune des classes selon les quatre critères : émissions dues au transport et au stockage, nombre de kilomètres, nombre de produits stockés.

Classe	en tonne équivalent CO ₂			
	Emissions dues stockage	dues transport	Nombre de km	Nombre produits stockés
1	20.988	2544.187	33356650.000	1626.941
2	23.335	4942.753	40656069.000	1808.900
3	23.211	5195.961	64029740.000	1799.267
4	19.998	877.988	6169685.000	1550.200
5	21.978	2941.052	14021270.000	1703.714
6	24.572	7379.406	92113600.000	1904.800

Tableau 51 : Barycentres des six classes composées de 64 configurations à localisation quelconque

D'après le dendrogramme ci-dessous, les classes sont proches deux-deux et quatre classes appartiennent au même nœud.

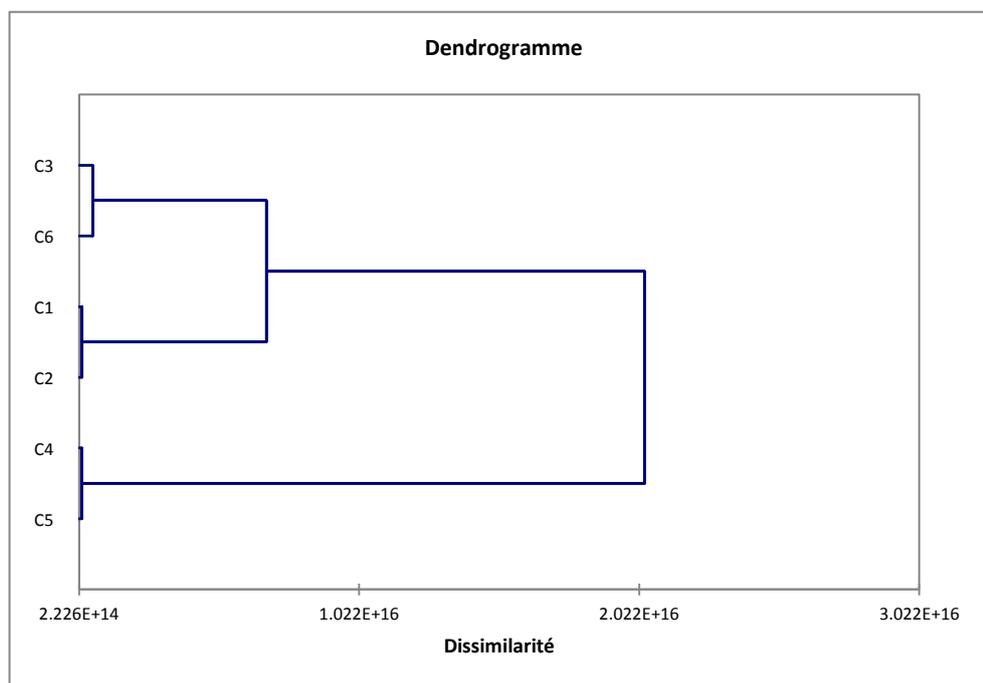


Figure 70 : dendrogramme des 64 configurations à localisation quelconque

Les six classes ont la composition suivante :

Classe	1	2	3	4	5	6
	grl	grl	grg	rcl	rcc	ggg
	grr	rgc	rgg	rcr	crc	
	rcg	gcr	gcg	llr	lcc	
	rgl	gcl	ggr	lll	clc	
	grg	gcc	ggl	llc	ccr	
	gll	cgr	ggc	rlc	ccl	
	rlg	cgl	cgg	rlr	ccc	
	lrg	cgc	glg	rll		
	crg	glc	lgg	lrc		
	lcg	ccg		lrr		
	rrg			lrl		
	glr			crl		
	llg			crr		
	clg			lcr		
	lgr			lcl		
	lgc			rrr		
	lgl			rll		
				rrc		
				clr		
				cll		

Tableau 52 : Composition des six classes

La configuration 3g (C6) a toujours une situation particulière due à l'ensemble des critères dont la valeur est plus élevée. Elle appartient au même nœud que les configurations 2g (C3). D'un autre côté, nous trouvons les configurations 1g ou 2c (C1 et C2). Celles-ci forment deux classes. L'une comporte les dégradations de c en g ou g placé en première ou deuxième position. L'autre possède principalement les configurations avec un g final ou avec uniquement des r et l. Si nous remontons au nœud de départ, un autre groupe de configuration se sépare en deux (C4 et C5). Le premier groupe comporte des configurations en 2c ou 3c et le deuxième des configurations avec 1 c et/ou uniquement des l et r.

Nous pouvons donc conclure que l'introduction d'une localisation g où qu'elle soit située influence fortement les résultats. Cela est encore plus vrai avec deux localisations et devient critique avec trois. A contrario, l'introduction d'une configuration c est moins significative puisque les configurations avec un c appartiennent à la même classe que les configurations lll et rrr. L'introduction de deux configurations c quant à elle commence à dégrader les résultats.

V. 2. 128 configurations à efficacité homogène, produit 1 et à localisation quelconque

La classification hiérarchique a permis d'identifier trois classes :

Classe	en tonne équivalent CO ₂			
	Stockage	Transport	Nombre de km	Nombre produits stockés
1	27.788	3372.808	36237329.259	2154.137
2	29.756	5354.556	67160146.500	2306.680
3	26.122	1427.468	8313102.407	2024.974

Tableau 53 : Barycentres des trois classes

Le dendrogramme représente les trois classes :

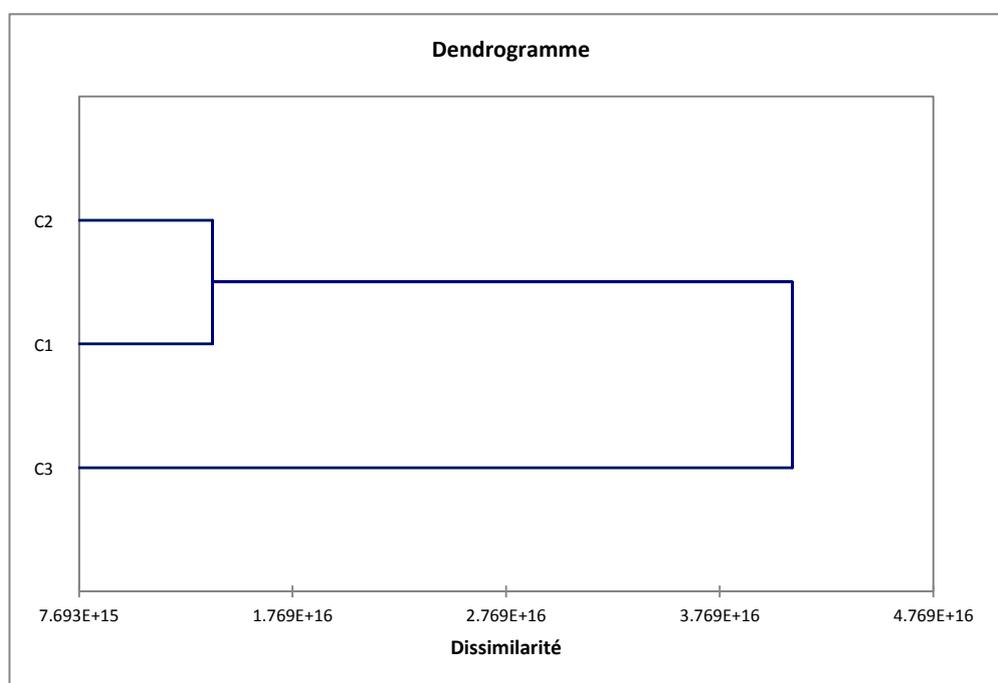


Figure 71 : dendrogramme des 128 configurations

Les 128 configurations sont réparties de la manière suivante :

Classe	1	2	3
	1AAAgrl	1AAAgrg	1AAArcl
	1AAAgrl	1AAArgg	1AAArcl
	1AAAgrr	1AAAgcg	1AAArcc
	1AAArcg	1AAAggr	1AAAllr
	1AAAgrl	1AAAggl	1AAAlll
	1AAArcg	1AAAggc	1AAAllc
	1AAAgrg	1AAAggg	1AAArcl
	1AAAgll	1AAAcgg	1AAArcl

Evaluation des impacts simultanés de la localisation, de l'efficacité et du type de produits fabriqués sur les performances environnementales et financières d'une chaîne logistique

1AAAgcr	1AAAglg	1AAArll
1AAAgcl	1AAAlgg	1AAAlrc
1AAAgcc	1DDDgrg	1AAAlrr
1AAArlg	1DDDggc	1AAAlrl
1AAAlrg	1DDDcgg	1AAAcrl
1AAAcrg	1DDDgcg	1AAAcrc
1AAAcgr	1DDDlgg	1AAAcrr
1AAAcgl	1DDDggl	1AAAlcr
1AAAcgc	1DDDggr	1AAAlcc
1AAAlcg	1DDDglg	1AAAlcl
1AAArrg	1DDDggg	1AAArrr
1AAAglr	1DDDrgg	1AAArll
1AAAglc		1AAArrc
1AAAllg		1AAAcrl
1AAAcgl		1AAAccl
1AAAccg		1AAAccl
1AAAlgr		1AAAccr
1AAAlgc		1AAAccl
1AAAlgl		1AAAccc
1DDDrng		1DDDrcc
1DDDgcl		1DDDlcl
1DDDgcr		1DDDlcr
1DDDgrr		1DDDrcc
1DDDgrl		1DDDrcc
1DDDlcg		1DDDrcc
1DDDllg		1DDDlcc
1DDDrng		1DDDlrc
1DDDccg		1DDDrcc
1DDDgll		1DDDrcl
1DDDglr		1DDDrll
1DDDcgl		1DDDrll
1DDDcgr		1DDDllc
1DDDlrg		1DDDrll
1DDDcgc		1DDDrcl
1DDDlgc		1DDDrcl
1DDDgccc		1DDDrll
1DDDglc		1DDDrll
1DDDclg		1DDDrll
1DDDrgr		1DDDrll
1DDDrgl		1DDDrll
1DDDrllg		1DDDrll
1DDDlgl		1DDDcll
1DDDlgr		1DDDcll
1DDDrng		1DDDccl
1DDDcrg		1DDDccr
1DDDgrc		1DDDcll

Tableau 54 : Classement des 128 configurations à localisation quelconque

Si nous résumons ce classement, nous obtenons :

Classe	Configurations
1	Avec 1 localisation g
2	Avec deux ou trois localisations g
3	Sans localisation g

Tableau 55 : Résumé du classement des 128 configurations

Nous confirmons donc que l'efficacité a moins d'impact que la localisation. Parmi les localisations, la localisation g est prépondérante.

V. 3. 512 configurations à efficacité homogène, 4 produits et à localisation quelconque

La classification hiérarchique donne trois classes aux composantes suivantes :

Classe	émissions dues au stockage	émissions dues au transport	nombre de kilomètres	nombre de produits stockés
1	1432,536	22547,469	67160146,500	2306,680
2	1337,801	14392,622	36237329,259	2154,137
3	1257,586	6116,353	8313102,407	2024,974

Tableau 56 : Barycentres des 3 classes représentant les 512 configurations quelconques

Le dendrogramme est en figure 72 :

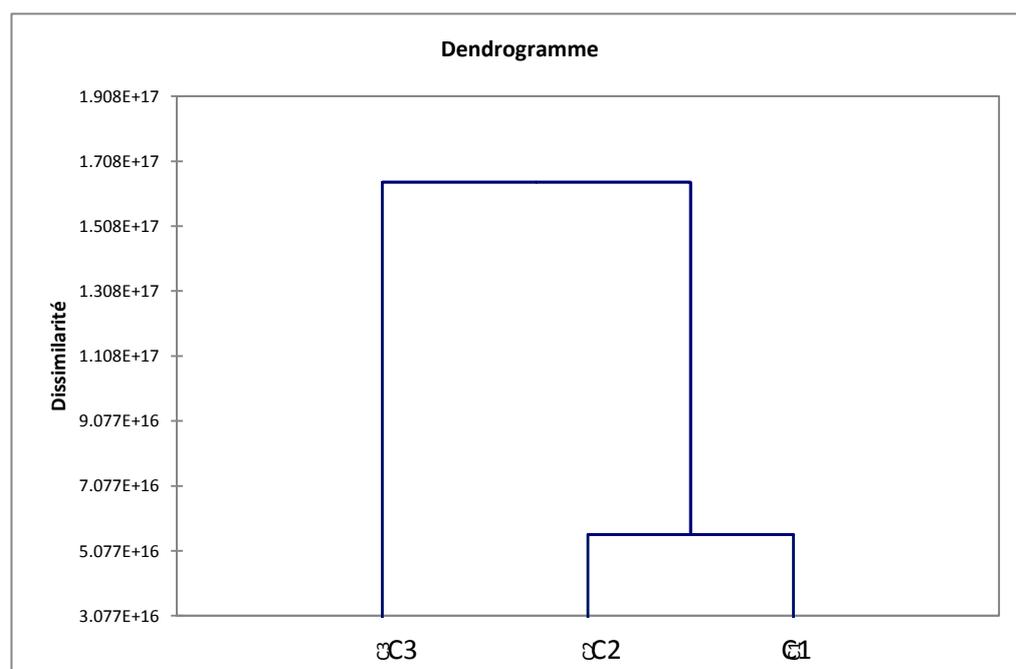


Figure 72 : dendrogramme des 512 configurations quelconques

En résumant les configurations de chacune des trois classes¹³, nous obtenons les mêmes résultats que l'analyse précédente à savoir quelle que soit l'efficacité, quel que soit le type de produit, la classe 1 ne comprend aucune localisation g, la classe 2 une et la classe 3 deux ou trois.

V. 4. Bilan des conclusions

configurations homogènes

- le type de produit est très influent
- les configurations III émettent moins que les configurations rrr
- les configurations des produits 4 III émettent autant que les autres produits rrr
- les résultats des configurations AAA sont très proches de ceux des configurations BBB
- les résultats des configurations DDD sont très proches de ceux des configurations CCC

configurations à localisation dégradée

- si la localisation dégradée est en première ou deuxième position, les résultats sont plus importants que si elle se situe en troisième position
- les configurations des produits 1 et 2 ccc sont similaires aux configurations des produits 3 et 4
- l'efficacité a moins d'influence que le type de produits

configurations à efficacité dégradée

- dès le premier maillon dégradé, les émissions dues au stockage augmentent
- les configurations DDD et DDA sont similaires
- les configurations homogènes émettent moins que les configurations hétérogènes

configurations à localisation quelconque

- de manière croissante, l'introduction d'un maillon g puis de 2 puis de 3 entraîne un fort changement des résultats
- il faut au moins introduire 2c pour noter un changement de résultats notable

¹³ Détails des classe en annexe II.1.

Chapitre VI CONFIRMATION DE LA PREDOMINANCE DE CERTAINS PARAMETRES

- VI. 1. Efficacité, localisation, type de produits
- VI. 2. Détails de la localisation globale

Une analyse de la variance ou ANOVA (ANalysis Of VAriance) permet de vérifier certaines conclusions du V.4 notamment sur la prédominance de certains paramètres.

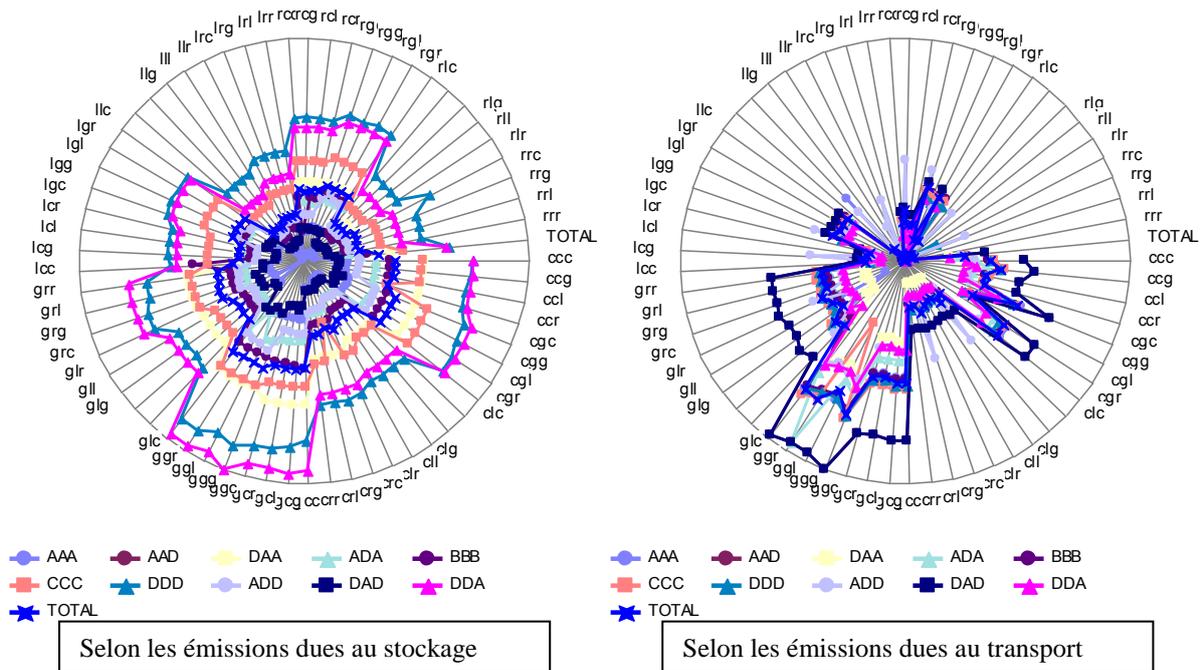
VI. 1. Efficacité, localisation, type de produits

Nous testons en premier lieu les trois données d'entrée. L'analyse de la variance donne les résultats suivants :

Effet principal/selon	les émissions dues au stockage	les émissions dues au transport	le nombre de produits stockés	le nombre de kilomètres
Localisation	Très significatif	Très significatif	Très significatif	Très significatif
Efficacité	Non significatif	Non significatif	Très significatif	Très significatif
Type de produits	Très significatif	Très significatif	Très significatif	Très significatif

Tableau 57 : Résultats de l'analyse de la variance sur efficacité/localisation/type de produits¹⁴

Le choix de la localisation et du type de produit est donc toujours très influent alors que celui de l'efficacité ne l'est que pour les critères financiers.



¹⁴ détails en annexe II.2.

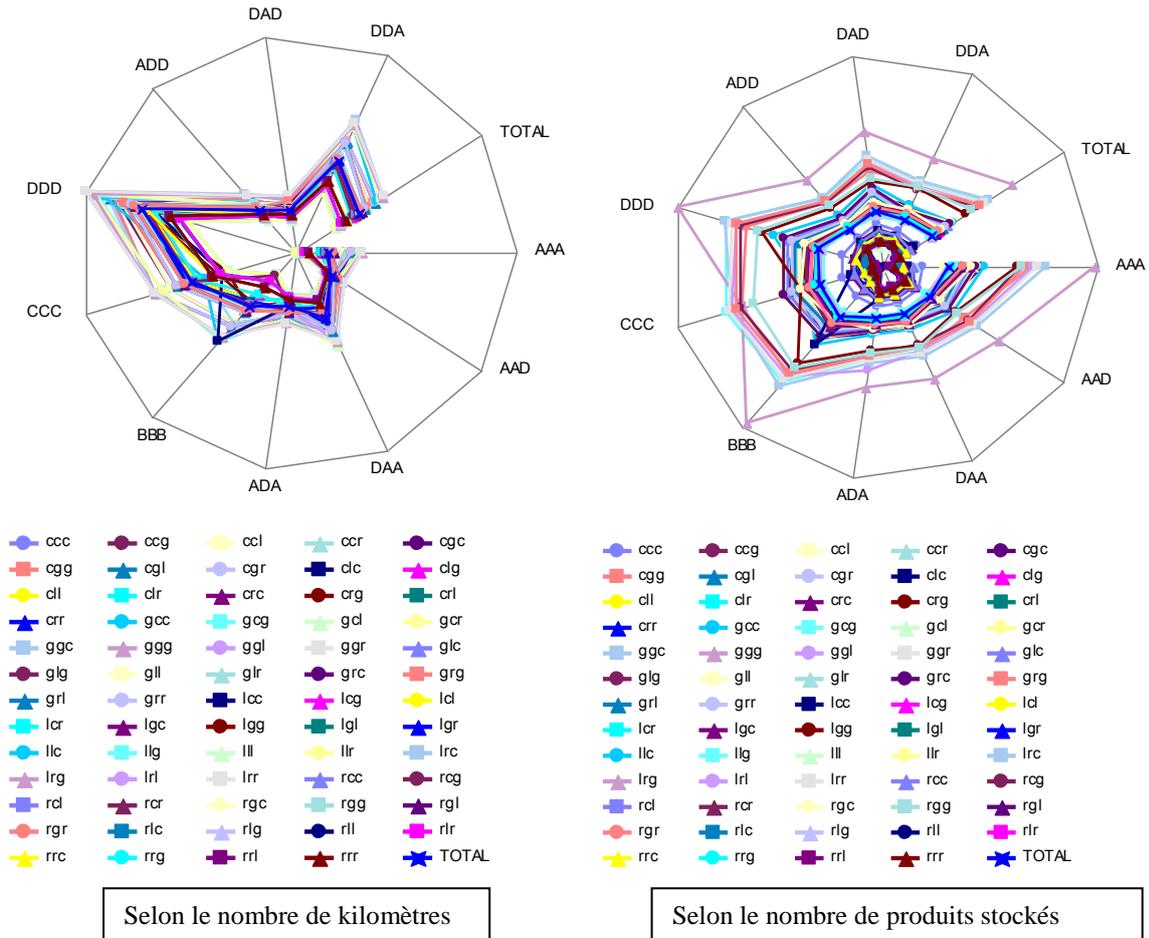


Figure 73 : Résultats pour l'efficacité et la localisation

Deux configurations ressortent :

- pour le nombre de kilomètres : DDD (avec CCC) et DDA
- pour les émissions : DDD et DDA avec les localisations gcX et ggX

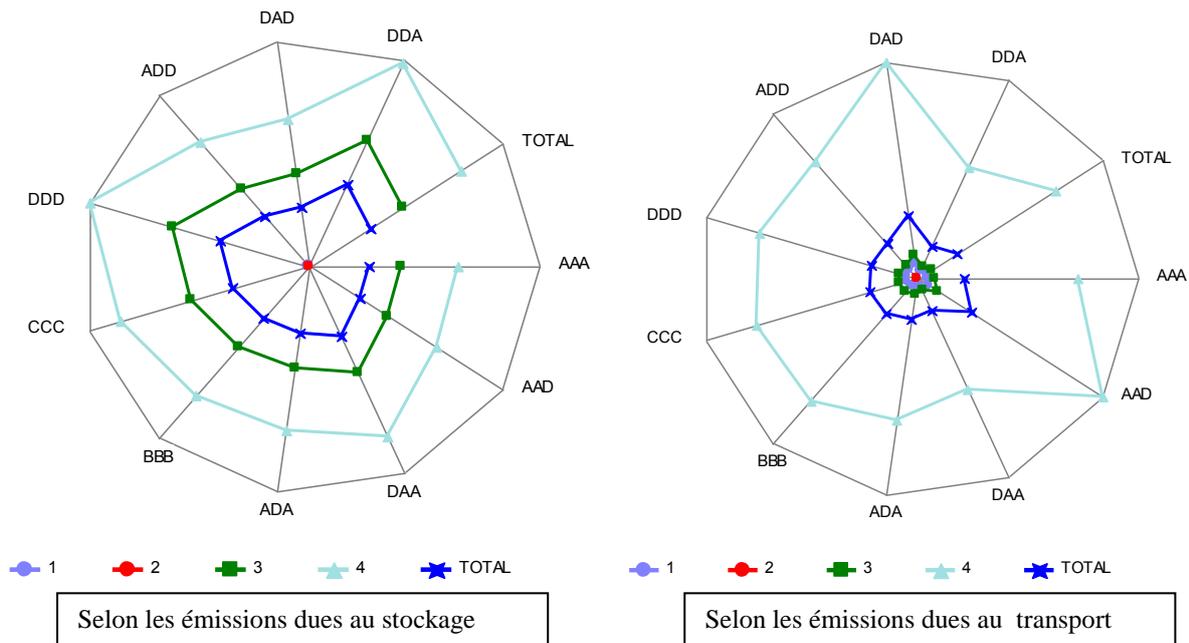


Figure 74 : Résultats pour l'efficacité et le type de produits

Logiquement, les produits émettent de moins en moins dans l'ordre 4 puis 3 puis 1 puis 2 (figure 74).

Les conclusions du chapitre précédent nous amènent à approfondir la donnée locative. Quel est le degré d'impact de la localisation sur les performances environnementales et financières ?

VI. 2. Détails de la localisation globale

Nous utilisons de nouveau l'analyse de la variance dont les résultats sont donnés au tableau 58 et à la figure 75.

Effet principal/selon	les émissions dues au stockage	les émissions dues au transport	le nombre de produits stockés	le nombre de kilomètres
Localisation 1	Très significatif	Très significatif	Très significatif	Très significatif
Localisation 2	Très significatif	Très significatif	Très significatif	Très significatif
Localisation 3	Non significatif	Non significatif	Très significatif	Non significatif

Tableau 58 : Résultats de l'analyse de la variance sur localisation 1/3/5¹⁵

Ces résultats indiquent que le choix de la première localisation et de la deuxième localisation est fondamental. Par contre, le choix de la dernière localisation est de moindre importance sauf pour le nombre de produits stockés.

¹⁵ Détails des résultats en annexe II.5.

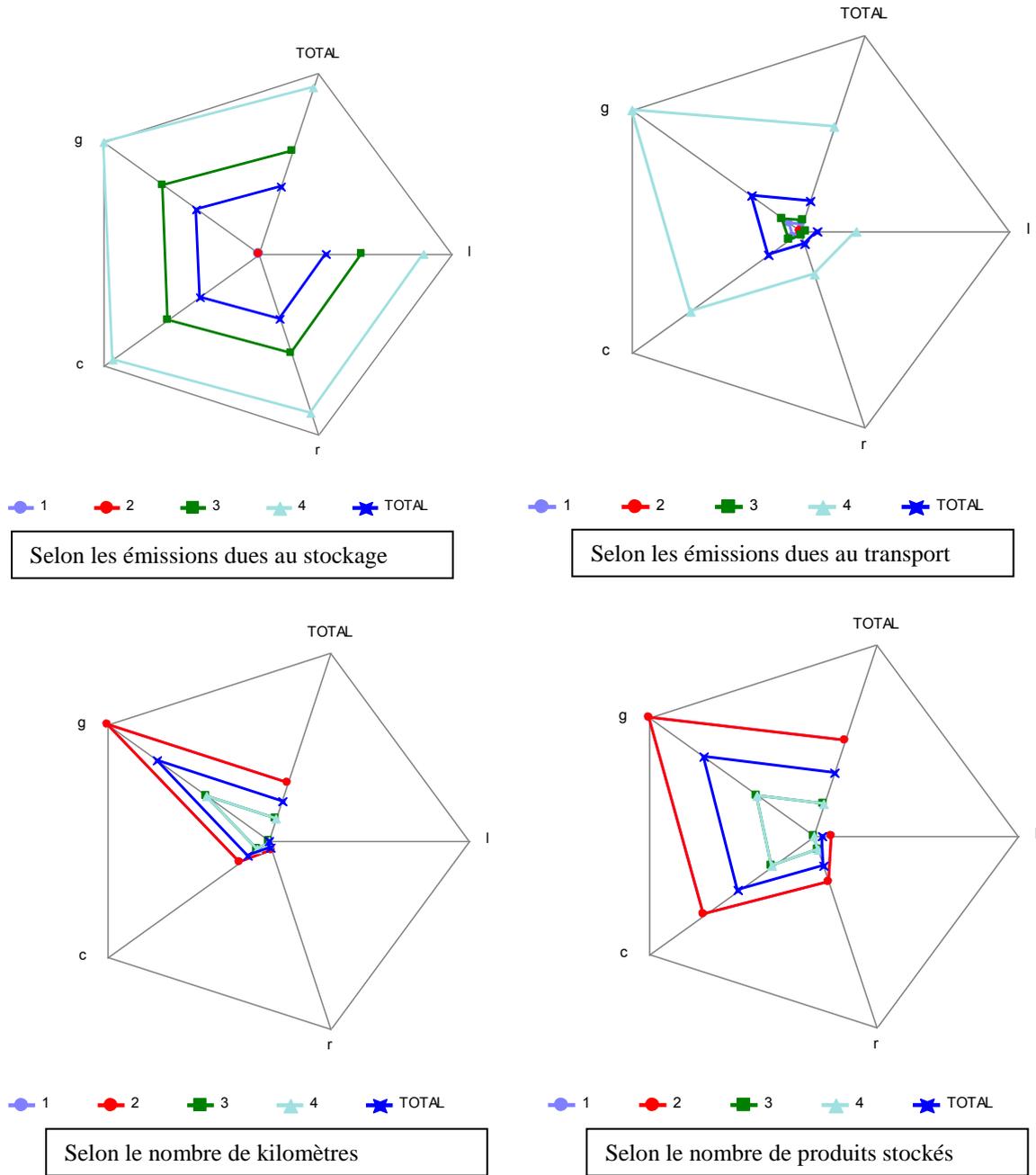


Figure 75: Résultats pour le type de produits et la localisation 1

D'après la figure 75, plus la localisation est lointaine plus les résultats sont importants quel qu'il soit le type de produits.

Evaluation des impacts simultanés de la localisation, de l'efficacité et du type de produits fabriqués sur les performances environnementales et financières d'une chaîne logistique

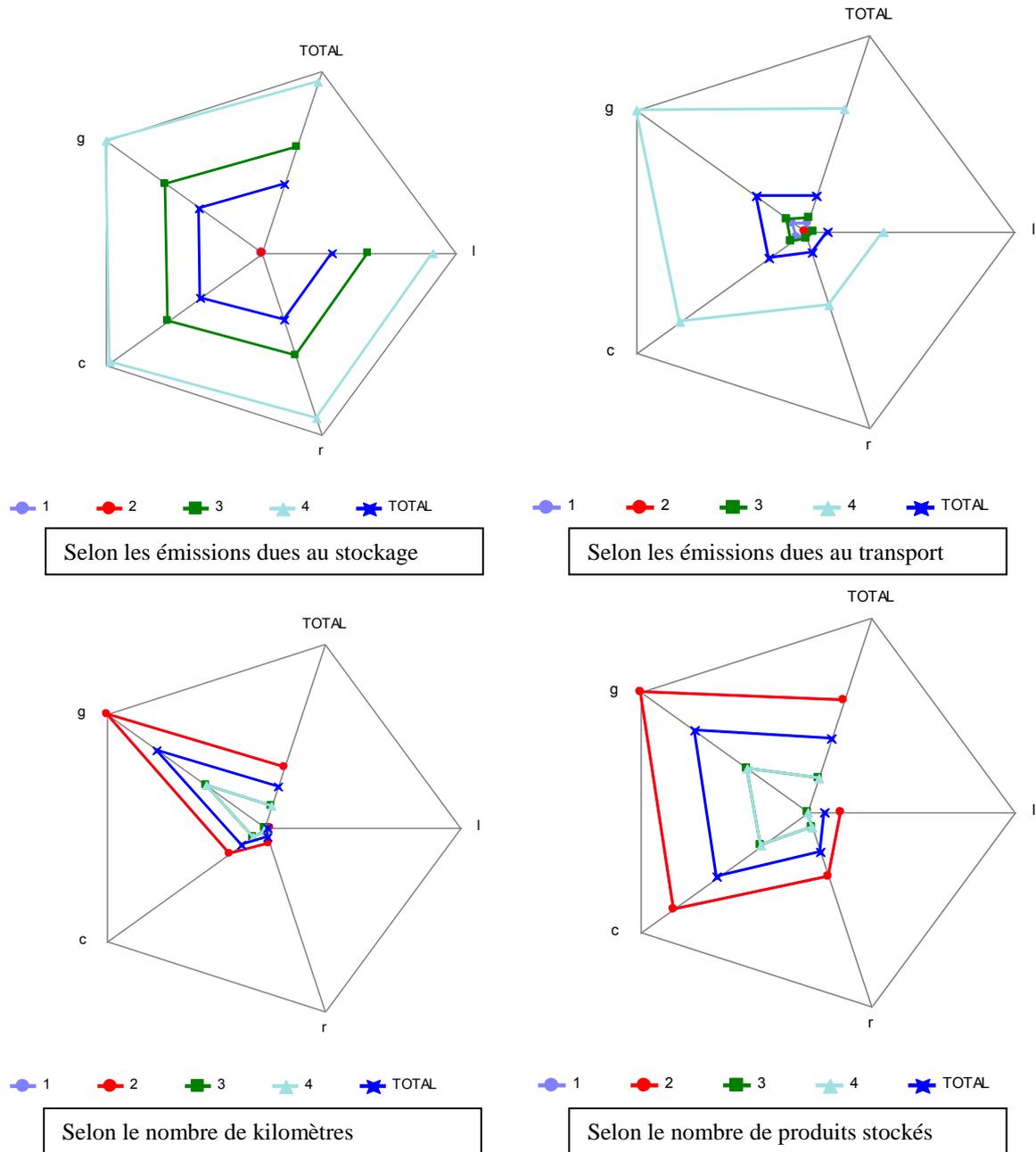


Figure 76: Résultats de la deuxième localisation et du type de produits

Nous obtenons les mêmes résultats que pour la localisation 1 à savoir l'importance de la deuxième localisation.

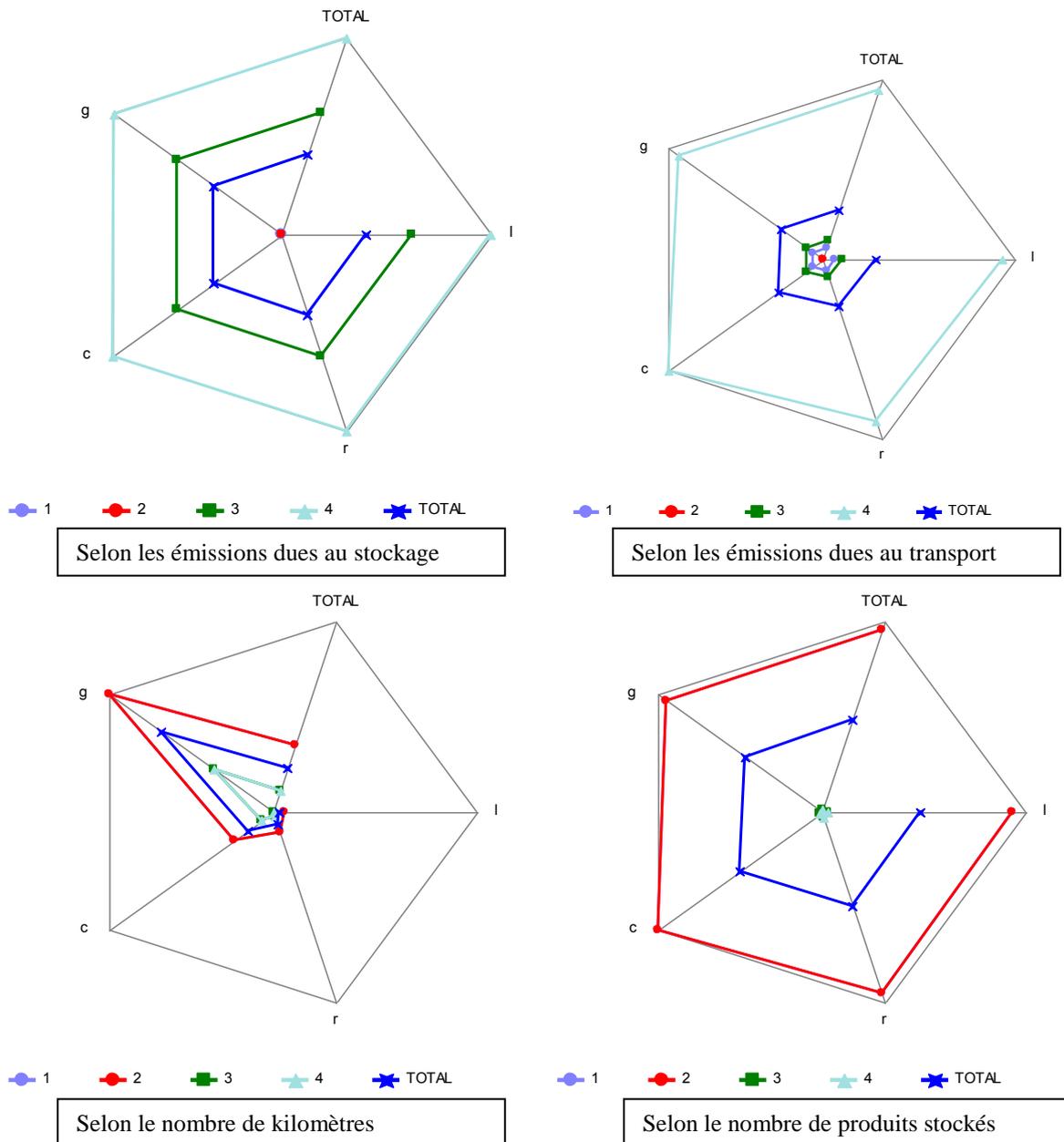


Figure 77 : Résultats pour le type de produits et la dernière localisation

La dernière localisation n'est par contre que peu influente sauf pour le nombre de produits stockés. Ceci confirme bien nos conclusions précédentes.

Synthèse

configurations homogènes	<ul style="list-style-type: none">• le type de produit est très influent• les configurations III émettent moins que les configurations rrr• les configurations des produits 4 III émettent autant que les autres produits rrr• les résultats des configurations AAA sont très proches de ceux des configurations BBB• les résultats des configurations DDD sont très proches de ceux des configurations CCC
configurations à localisation dégradée	<ul style="list-style-type: none">• si la localisation dégradée est en première ou deuxième position, les résultats sont plus significatifs que si elle se situe en troisième position• les configurations des produits 1 et 2 ccc sont similaires aux configurations des produits 3 et 4• l'efficacité a moins d'influence que le type de produits
configurations à efficacité dégradée	<ul style="list-style-type: none">• dès le premier maillon dégradé, les émissions dues au stockage augmentent• les configurations DDD et DDA sont similaires• les configurations homogènes émettent moins que les configurations hétérogènes
configurations à localisation quelconque	<ul style="list-style-type: none">• de manière croissante, l'introduction d'un maillon g puis de 2 puis de 3 entraîne un fort changement des résultats• il faut au moins introduire 2c pour noter un changement conséquent
Confirmations	<ul style="list-style-type: none">• La localisation et le type de produits sont toujours influents mais l'efficacité ne l'est que pour les critères financiers• La localisation 1 puis la localisation 2 sont très impactantes alors que la localisation 3 ne l'est pas sauf pour la quantité de produits stockés.

Chapitre VII CONCLUSION ET PERSPECTIVES

VII. 1. Apports
VII. 2. Conclusions.....
VII.2.1 Poids des différentes données d'entrée
VII.2.2 Type de produits
VII.2.3 Localisation.....
VII.2.4 Efficacité.....
VII. 3. Perspectives
VII.3.1 A court terme
VII.3.2 A long terme

VII. 1. Apports

Dans un contexte de forte compétitivité, toute décision stratégique d'une entreprise doit être prise en connaissant l'ensemble de ses implications et conséquences. Or, pour appuyer ses décisions, l'entreprise a besoin d'outils conceptuels ou de guide d'aide à la décision. Le développement durable est aujourd'hui un élément que les entreprises ne peuvent plus ignorer au moment de définir leurs choix stratégiques. L'entreprise doit statuer entre performance financière et performance environnementale. Cette thèse répond à ce double besoin en fournissant un guide d'aide à la décision dans un contexte de développement durable.

Notre problématique porte sur les performances des chaînes logistiques vertes. Nos objectifs sont notamment de proposer un guide d'aide à la décision. Grâce à une revue de littérature, nous avons créé un modèle conceptuel de chaîne logistique verte. Nous avons ensuite conçu un modèle informatique. Les données d'entrée de ce modèle sont le type de produits fabriqués, la localisation des sites de production et l'efficacité des entreprises. Enfin, nous avons simulé différents scénarii selon le principe de la simulation à événement discrets. Grâce à des analyses statistiques, nous avons comparé les performances financières (niveau de stock, nombre de kilomètres parcourus) et les performances environnementales (émissions d'équivalent CO₂) des 2560 configurations possibles.

Les apports principaux de notre travail sont :

- la création d'un modèle général de chaîne logistique verte,
- la conception d'un outil de configuration et de simulation de chaînes logistiques composées d'entreprises de différents profils en termes de localisation de sites de production, de type de produits fabriqués et d'efficacité de production,

- la réalisation de simulations de chaînes logistiques ayant différentes localisations, efficacités et produisant différents produits,
- la classification de configurations logistiques à partir d'analyses statistiques,
- des conclusions pouvant constituer un guide d'aide à la décision.

VII. 2. Conclusions

Nous repons l'hypothèse de départ de notre thèse qui est un stock dimensionné pour un taux de service au client final de 100%. En effet, le service client est un critère nécessaire à la pérennité d'une activité industrielle. Parmi nos conclusions, nous retenons les suivantes. Nous nous intéressons d'abord aux trois données d'entrée en les comparant puis nous nous focalisons sur chacune d'entre elles.

VII.2.1 Poids des différentes données d'entrée

La localisation et le type de produits sont très impactants alors que l'efficacité ne l'est que pour les critères financiers. En effet, nos hypothèses de départ consistent à d'augmenter les stocks pour palier à une efficacité moindre. Une efficacité moindre engendre donc des niveaux de stock plus élevés mais les émissions dues au stockage sont négligeables par rapport à celles émises lors du transport.

Cette conclusion nous amène à préconiser aux ingénieurs des départements de recherche et développement de porter une attention particulière au design du produit. Quant à la fonction achat, elle doit se concentrer sur la localisation des fournisseurs. Mais voyons ces deux éléments de manière plus précise.

VII.2.2 Type de produits

Plus les produits sont lourds et encombrants, plus les critères environnementaux se détériorent. Plus le produit est encombrant, plus le nombre de transport sera élevé. De plus, son poids peut également donner lieu à un nombre limite de produit par transport.

Les kilomètres et le niveau de stock restent stables d'un point de vue numérique quelque soit le type de produits. Mais plus un produit est lourd et encombrant plus un kilomètre de transport coûte cher. Un produit lourd et encombrant nécessitera également plus de m² de stockage et donc son stockage sera plus coûteux.

Que ce soit en termes financiers ou que ce soit en termes environnementaux, les ingénieurs devront se focaliser sur un design léger et compact afin de limiter les émissions d'équivalent CO₂ mais également de diminuer le coût du transport et du stockage.

VII.2.3 Localisation

Les conclusions concernant la localisation comportent deux volets :

- le type de localisation

Plus les localisations sont lointaines, plus la chaîne logistique émet d'équivalent CO₂. L'introduction d'un seuil maillon à localisation globale impacte très fortement la performance de la chaîne logistique alors qu'il faut introduire deux localisations continentales pour observer une influence significative.

- place de la localisation

La localisation du premier maillon puis du deuxième maillon sont très influentes contrairement à celle du troisième maillon.

Pour la fonction achat, le choix des fournisseurs est donc essentiel. Dans cette recherche, il faut non seulement se focaliser sur le fournisseur de rang 1 mais également sur le fournisseur de rang 2. Ceux-ci devront être le plus près possible géographiquement l'un de l'autre. La proximité de ses fournisseurs est plus importante que celle de ses clients.

VII.2.4 Efficacité

L'efficacité de la chaîne logistique peut être soit homogène, soit hétérogène, soit dégradée. Selon les cas, nous obtenons différentes conclusions :

- homogénéité de l'efficacité

Les configurations à efficacités homogènes sont moins émettrices d'équivalent CO₂ que les configurations à efficacités hétérogènes. Plus l'efficacité est faible plus il est intéressant d'avoir une chaîne logistique homogène. Par exemple, une chaîne logistique d'efficacité ADD sera plus émettrice qu'une chaîne logistique d'efficacité DDD.

- dégradation de l'efficacité

La dégradation de l'efficacité engendre une augmentation du niveau de stock.

Ainsi, dans le choix des fournisseurs, les acheteurs doivent porter attention à leur efficacité car plus elle est dégradée, plus les niveaux de stocks seront élevés. Dans un même temps, il faut privilégier un fournisseur dont l'efficacité est proche de celle de son propre outil industriel que soi.

VII. 3. Perspectives

Il faut, un jour, en arriver à la conclusion même si les limites de nos travaux n'ont pas été atteintes. De nombreuses perspectives de recherches sont envisageables : certaines à court terme, d'autres à long terme.

VII.3.1 A court terme

Nos recherches sont basées sur une politique de stockage liée à un taux de service au client final de 100%. Nous pourrions envisager d'autres politiques et en analyser les impacts sur notre modèle. De même, nous avons choisi comme moyens de transport, le camion, le bateau

et l'avion. D'autres possibilités seraient à exploiter comme le train ou encore le transport fluvial.

VII.3.2 A long terme

Deux autres perspectives sont imaginables à plus long terme :

- Nous n'avons pas pris en compte les émissions d'équivalent CO₂ liées au fonctionnement d'une usine. Or, une entreprise d'efficacité moindre, par exemple, a un taux de rebut plus élevé. Ceci engendre de nouvelles fabrications et donc de nouvelles pollutions. Nous pourrions étudier cet impact. Cependant, ces travaux nécessiteraient une recherche importante sur les émissions de fonctionnement d'une entreprise. Il faudrait ensuite réaliser une moyenne de ces rejets.
- Dans notre thèse, nous n'avons considéré que deux paramètres sur trois du développement durable. Nous n'avons pas traité du volet social. Il serait intéressant d'étudier quels indicateurs seraient configurables dans notre modèle. Ainsi, nous étudierions une performance globale de la chaîne logistique : économique, environnementale et sociétale.

Ce travail peut donc devenir le socle de nombreuses recherches futures dans un domaine encore très ouvert et pour lequel les décideurs sont en forte demande.