



Performance environnementale des produits "vin rouge" et "tomate" à Genève

Version finale

David Rochat, Ana Carvalho, Guillaume Massard

Avril 2009

SOFIES - Solutions For Industrial Ecosystems

1, rue du Vuache
CP 2091
1211 Geneva 1

David Rochat
david.rochat@sofiesonline.com
Tel : +41 22 338 15 24

Collaborateurs SOFIES ayant contribué à l'élaboration de ce document :
Ana Carvalho, Guillaume Massard

Contrôle qualité expert par le Prof. Suren Erkman

Avril 2009

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	4
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES FIGURES	8
1 INTRODUCTION	10
2 METHODOLOGIE	11
2.1 L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV).....	11
2.2 L'ACV DANS LE CONTEXTE AGRICOLE	12
3 PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DU PRODUIT <i>VIN ROUGE</i> A GENEVE	13
3.1 DEFINITION DU SYSTEME ETUDIE ET DES SCENARIOS POUR LE PRODUIT <i>VIN ROUGE</i>	13
3.2 ANALYSE DE L'INVENTAIRE DE LA PRODUCTION DE VIN ROUGE.....	14
3.2.1 <i>Production du raisin</i>	15
3.2.2 <i>Vinification</i>	17
3.2.3 <i>Mise en bouteille</i>	18
3.2.4 <i>Transport jusqu'à Genève</i>	19
3.3 ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU VIN ROUGE.....	20
3.3.1 <i>Vue d'ensemble des résultats d'écobilan</i>	20
3.3.2 <i>La production du raisin</i>	24
3.3.3 <i>Vinification</i>	26
3.3.4 <i>Mise en bouteille</i>	27
3.3.5 <i>Transport jusqu'à Genève</i>	28
3.4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	28
4 PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DU PRODUIT <i>TOMATE</i> A GENEVE	31
4.1 DEFINITION DU SYSTEME ETUDIE ET DES SCENARIOS POUR LE PRODUIT <i>TOMATE</i>	31
4.2 ANALYSE DE L'INVENTAIRE DE LA PRODUCTION DE LA TOMATE.....	32
4.2.1 <i>Culture de la tomate</i>	33
4.2.2 <i>Conditionnement</i>	37
4.2.3 <i>Transport jusqu'à l'UMG</i>	38
4.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA TOMATE	39
4.3.1 <i>Vue d'ensemble des résultats de l'écobilan</i>	39
4.3.2 <i>Culture de la tomate</i>	43
4.3.3 <i>Conditionnement</i>	44

4.3.4	<i>Transport</i>	44
4.4	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	45
5	CONCLUSION GENERALE	47
6	BIBLIOGRAPHIE	49
7	ANNEXES	52
7.1	DETAIL DE L'INVENTAIRE DU VIN ROUGE	52
7.1.1	<i>Production du raisin</i>	52
7.1.2	<i>Vinification</i>	57
7.1.3	<i>Mise en bouteille et stockage</i>	59
7.2	DETAIL DE L'INVENTAIRE DE LA TOMATE	62
7.2.1	<i>Culture de la tomate</i>	62
7.2.2	<i>Conditionnement</i>	69
7.3	MODELISATION DE LA DISPERSION DES NITRATES ET DES PHOSPHATES DANS LE MILIEU NATUREL.	71
7.4	MODELISATION DE L'IMPACT DES PESTICIDES SUR L'ENVIRONNEMENT.....	73
7.5	MODELISATION DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DE L'EAU EN FONCTION DE SON ORIGINE.....	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Scénarios proposés pour la production du vin rouge.....	14
Tableau 2: Rendement d'un vignoble représentatif pour chacun des scénarios étudiés.....	15
Tableau 3: Origine de l'eau utilisée pour l'irrigation des vignes dans les différents scénarios	16
Tableau 4: Flux de matières, utilisation du tracteur et main d'œuvre nécessaires à la production de 1kg de raisin	17
Tableau 5: Flux de matières et d'énergie nécessaires à la vinification de 75cl de vin rouge.....	18
Tableau 6: Flux de matières et d'énergie nécessaires pour conditionner et stocker 75cl de vin rouge	19
Tableau 7: Estimation des distances parcourues pour le transport d'une bouteille de vin rouge jusqu'à Genève	19
Tableau 8: Scénarios proposés pour la production de la tomate	32
Tableau 9: Rendement de production moyen d'une culture de tomate pour chacun des scénarios étudiés.....	33
Tableau 10: Matières nécessaires par kg de tomate pour la structure du tunnel	33
Tableau 11: Matières nécessaires par kg de tomate pour la structure de la serre	34
Tableau 12: Flux de matières, d'énergie et main d'œuvre nécessaires à la culture de 1kg de tomate	36
Tableau 13: Flux de matières et d'énergie nécessaires au conditionnement de 1 kg de tomate	38
Tableau 14: Estimation des distances parcourues pour le transport de 1 kg de tomate jusqu'à l'UMG (Genève)	38
Tableau 15: Caractéristiques des 5 variantes testées pour le scénario <i>Maroc Tunnel</i>	40
Tableau 16: Période de récolte selon le scénario considéré ainsi que période de protection douanière (phase gérée) ; la phase de croissance du plant est estimé à 3 mois pour tous les scénarios	45
Tableau 17: Besoins en fumures minérales de la vigne	52
Tableau 18 Besoins corrigés en fumures minérales de la vigne	53
Tableau 19: Dosages de fertilisants utilisés pour satisfaire les besoins de la vigne en [kg/(ha.an)].....	53
Tableau 20: Dosages (et concentration) de produits phytosanitaires appliqués sur la vigne	54
Tableau 21: Coefficient β représentant le nombre moyen de traitement par année	55
Tableau 22: Description des différents usages du tracteur dans la vigne	55
Tableau 23: Main d'œuvre nécessaire au travail de la vigne	57
Tableau 24: Caractéristique de la cuve nécessaire lors de la vinification du vin	57

Tableau 25: Température annuelle moyenne à Genève, au Chili et en Espagne	60
Tableau 26: Caractéristiques et quantités de matériaux nécessaires pour construire un tunnel de 640m ²	62
Tableau 27: Caractéristiques et quantités de matériaux nécessaires pour construire une serre de 23'040m ²	62
Tableau 28: Besoins en fumures de fond pour les plants de tomate.....	64
Tableau 29: Dosages de fertilisants utilisés pour satisfaire les besoins en fumures de fond des plants de tomate en [kg/(ha.an)]	65
Tableau 30: Besoins en fumures additionnelles pour les plants de tomate.....	65
Tableau 31: Dosages de fertilisants utilisés pour satisfaire les besoins en fumures additionnelles des plants de tomate en [kg/(ha.an)]	66
Tableau 32: Besoins en eau pour la solution nutritive pour les quatre scénarios étudiés	66
Tableau 33: Dosages (et concentration) de produits phytosanitaires appliqués sur les plants de tomate	67
Tableau 34: Coefficient β représentant le nombre moyen de traitement par année	68
Tableau 35: Besoins genevois et hollandais en gaz naturel pour le chauffage des serres	69
Tableau 36: Quantité (en kg) de substance active (SA) émise dans le sol pour 1kg de pesticide appliqué sur la culture.....	73

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Limites du système étudié pour le produit <i>vin rouge</i>	13
Figure 2: Ressources énergétiques pour les trois pays analysés (Source : IEA, 2005)	18
Figure 3: Impacts environnementaux du vin rouge produit à Genève, au Chili et en Espagne (Std=standard, Trc=tracteur, V=Vrac ; les étoiles indiquent les variantes choisies pour la suite de l'étude).....	20
Figure 4: résultats d'écobilan exprimés en points, score unique (toutes les catégories d'impact sont agrégées) .	22
Figure 5: résultats d'écobilan exprimés en points, score par catégorie d'impact.....	22
Figure 6: résultats d'écobilan exprimés en kg-équivalent de CO ₂	22
Figure 7: résultats d'écobilan pour la phase de production du raisin.....	24
Figure 8: résultats d'écobilan pour l'utilisation de phytosanitaires	24
Figure 9: résultats d'écobilan pour l'épandage de fumures minérales.....	24
Figure 10: résultats d'écobilan pour l'utilisation du tracteur	24
Figure 11: résultats d'écobilan en incluant l'utilisation de cuivre avec la méthode IMPACT 2002+ (utilisée tout au long de cette étude).....	26
Figure 12: résultats d'écobilan en incluant l'utilisation de cuivre avec la méthode Eco Indicateur 99	26
Figure 13: résultats d'écobilan pour la phase de vinification	27
Figure 14: résultats d'écobilan pour la phase de mise en bouteille	27
Figure 15: résultats d'écobilan pour la phase de transport jusqu'à Genève	28
Figure 16: Limites du système étudié pour le produit <i>tomate</i>	31
Figure 17: Ressources énergétiques pour les trois pays analysés (Source : IEA, 2005).....	37
Figure 18: Impacts environnementaux de la tomate produite à Genève, au Maroc et en Hollande (les étoiles indiquent les variantes choisies pour la suite de l'étude).....	39
Figure 19: résultats d'écobilan exprimés en points, score unique	41
Figure 20: résultats d'écobilan exprimés en points, score par catégorie d'impact.....	41
Figure 21: résultats d'écobilan exprimés en kg-équivalent de CO ₂	41
Figure 22: résultats d'écobilan pour la phase de culture de la tomate.....	43
Figure 23: résultats d'écobilan pour l'utilisation d'énergie pour la culture de la tomate	43

Figure 24: résultats d'écobilan pour le transport de la main d'œuvre	43
Figure 25: résultats d'écobilan pour le conditionnement de la tomate	44
Figure 26: résultats d'écobilan pour le transport de la tomate jusqu'à l'UMG à Genève	44
Figure 27 : résultats d'écobilan pour la production d'une bouteille	61
Figure 28: Impacts environnementaux dus aux fumures minérales azotées pour le vin rouge	72
Figure 29: Impacts environnementaux dus aux fumures minérales azotées pour la tomate	72
Figure 30: Impacts environnementaux de l'usage de 1kg de pesticide (à droite : pesticides modélisés pour la production de vin rouge, à gauche : ceux pour la production de la tomate)	74
Figure 31: Comparaison de l'impact environnemental d'un litre d'eau en fonction de son origine	75

1 INTRODUCTION

La présente étude fait suite à la volonté du service de l'agriculture du Canton de Genève d'étudier les impacts environnementaux liés à la production de tomates et de vin sur le territoire du Canton de Genève, afin de les comparer aux produits importés. Le bureau SOFIES a été sollicité en tant que spécialiste des démarches et méthodologies de l'écologie industrielle et d'analyse de cycle de vie (ACV) pour proposer un écobilan de ces deux produits.

En acquérant une meilleure connaissance des impacts liés à la production de ces produits, le service de l'agriculture souhaite utiliser les résultats des écobilans d'une part pour communiquer sur les avantages environnementaux de la production agricole locale, et d'autre part pour améliorer la performance environnementale de ces deux produits agricoles.

Cette étude s'appuie sur la méthodologie d'analyse de cycle de vie (ACV) afin de calculer l'impact environnemental de la production de tomates et de vin, et de comparer les résultats pour les différents scénarios retenus. Après une brève explication de la méthodologie, chacun de ces deux produits est discuté séparément, en expliquant les différentes étapes de calcul ainsi que les hypothèses retenues, et en présentant les résultats dans le détail afin de comprendre quelles étapes du cycle de vie influent sur l'impact environnemental total.

2 METHODOLOGIE

2.1 L'analyse de cycle de vie (ACV)

L'analyse de cycle de vie (ACV), également appelée écobilan, est une méthodologie qui permet d'analyser l'impact environnemental d'un produit tout au long de son cycle de vie, c'est à dire depuis l'extraction des matières premières pour sa fabrication jusqu'à sa gestion en tant que déchet, en passant par toutes les étapes intermédiaires de transformation, production, transport, consommation, etc.

L'ACV permet de transformer les flux de matière et d'énergie consommés et émis à chaque étape du cycle de vie d'un produit en impacts environnementaux potentiels. Il est important de noter que c'est la fonction du produit qui est étudiée. En effet, en n'étudiant que le produit lui-même, il serait difficile de comparer des produits remplissant la même fonction mais de manière différente, comme la voiture et le transport en commun dont la fonction commune est de déplacer les personnes.

L'ACV est une procédure standardisée, qui se base sur les quatre étapes définies dans les normes ISO 14'040 :

1. **La définition des objectifs et de la portée de l'étude.** Il s'agit de clairement définir quelle est la problématique étudiée, quels scénarios sont considérés et les limites du système étudié. La fonction étudiée est définie au moyen de l'unité fonctionnelle, qui permet de comparer des scénarios en apparence différents.
2. **L'analyse de l'inventaire des émissions et des ressources utilisées,** qui permet de quantifier tous les intrants du système étudié (par exemple l'eau, les engrais, les pesticides, etc.) ainsi que les sortants (CO₂, eaux usées, déchets de production, etc.).
3. **L'évaluation de l'impact environnemental,** qui permet de traduire l'inventaire en catégories d'impact (par exemple changement climatique, écosystèmes, santé humaine, usage de ressources), et même d'agrèger l'impact en un score unique moyennant une pondération des catégories d'impact. Les facteurs d'impacts ainsi que les catégories d'impact dépendent de la méthode d'ACV choisie. Pour la présente étude, la méthode IMPACT 2002+ développée à l'EPFL a été retenue.
4. **L'interprétation des résultats,** qui traduit des résultats provenant d'une démarche scientifique rigoureuse en langage commun. Elle permet de mettre en évidence quels sont les paramètres environnementaux clés de la problématique étudiée, de formuler des recommandations et d'établir une stratégie d'amélioration. Cette étape permet également d'affirmer certaines conclusions et de mettre en évidence les limites de l'analyse réalisée.

2.2 L'ACV dans le contexte agricole

Connaître l'impact environnemental d'un produit agricole, et pouvoir le comparer aux alternatives existantes pour ce même produit, est de plus en plus nécessaire autant du point de vue de consommation responsable que pour définir les stratégies d'agriculture durable.

L'analyse de cycle de vie se pose comme l'une des méthodologies pouvant amener certaines réponses, notamment du fait qu'elle analyse les impacts liés aux nombreux intrants dans la production agricole, tels que les engrais, les produits phytosanitaires, l'usage de machines ou l'occupation du sol. Néanmoins, l'ACV est un outil qui a été élaboré principalement pour l'industrie, et malgré l'apparition de nombreuses études, de nombreux aspects environnementaux liés à l'agriculture font encore défaut dans cette approche. Par exemple, l'impact des produits phytosanitaires et des fumures une fois dispersées dans l'environnement est encore mal maîtrisé, ainsi que des aspects tels que la biodiversité, l'érosion, la qualité du sol, la capacité d'infiltration d'eau, la rareté des ressources, etc. Il est possible d'intégrer certains de ces paramètres dans une approche ACV au prix de développements longs et onéreux. C'est par exemple ce qu'à fait l'ETHZ dans son étude mandatée par la COOP, dans laquelle la notion de rareté de l'eau liée au lieu de culture de la tomate a été développée spécifiquement. De tels développements dépassent le cadre du présent mandat.

Un article récent de l'ADEME¹ recommande de combiner l'approche écobilan à d'autres méthodes plus adaptées sur certains aspects, en attendant que les avancées de la recherche permettent d'intégrer ces notions dans une approche unique.

Les résultats que peut fournir une ACV de produits agricoles permettent toutefois de tirer certaines conclusions, et les limitations de cette approche appliquée aux produits vin rouge et tomate sont mis en évidence et discutés à chaque fois que cela est nécessaire dans cette étude.

Bien que la méthodologie ACV soit standardisée par les normes ISO 14'040 et suivantes, l'interprétation ainsi que la représentation graphique des résultats dépend entièrement de qui mène l'étude. De plus, certains aspects peuvent être élaborés plus en détails selon les moyens qui sont investis.

Par exemple, l'ACV sur les tomates menée par l'ETHZ sur mandat de la COOP² met l'accent sur les impacts liés à l'utilisation de l'eau, du sol et aux émissions de CO₂. Dans ce sens, un accent a été mis sur la rareté de l'eau pour les différents scénarios, ce qui n'est pas forcément pris en compte dans une ACV traditionnelle. Dans la présente étude, seule l'énergie de pompage selon la profondeur de l'eau est prise en compte.

L'utilisation du terrain a également été considérée de manière différente. Alors que dans l'étude COOP il s'agit d'un impact négatif sur l'environnement, ce paramètre a été laissé de côté dans la présente étude, étant donné qu'on considère que tout terrain utilisé à des fins agricoles dans le canton de Genève est un terrain qui préserve un espace vert et le protège des pressions liées à l'urbanisation.

¹ http://www.actu-environnement.com/ae/news/acv_agriculture6619.php4

² http://epaper.cooperation-online.ch/index.cfm?issue=319&top_pagenr=8#0

3 PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DU PRODUIT *VIN ROUGE* A GENEVE

3.1 Définition du système étudié et des scénarios pour le produit *vin rouge*

Afin de comparer les différents scénarios de production de vin rouge, l'unité fonctionnelle étudiée est définie comme étant de "fournir une bouteille de 75 cl de vin rouge au consommateur genevois". Cette fonction implique cinq étapes distinctes (Figure 1) :

- La **production** du raisin, qui comprend le travail de la vigne et l'apport de tous les intrants nécessaires à sa croissance.
- La **transformation** du raisin en vin, comprenant le pressurage et la vinification.
- Le **conditionnement** du vin, que ce soit en fût ou directement en bouteille.
- Le **stockage** au frais en cave pour une durée variable (1 an dans le cadre de cette étude).
- La **vente** au consommateur genevois en tenant compte du **transport** jusqu'au point de vente dans le cas où celle-ci n'est pas faite sur Genève.

Les étapes liées à la consommation (déplacement au point de vente, etc.) par contre, ne sont pas incluses dans les limites du système étudié, bien que le recyclage soit pris en compte, étant donné que 95 % du verre est retourné en Genève.

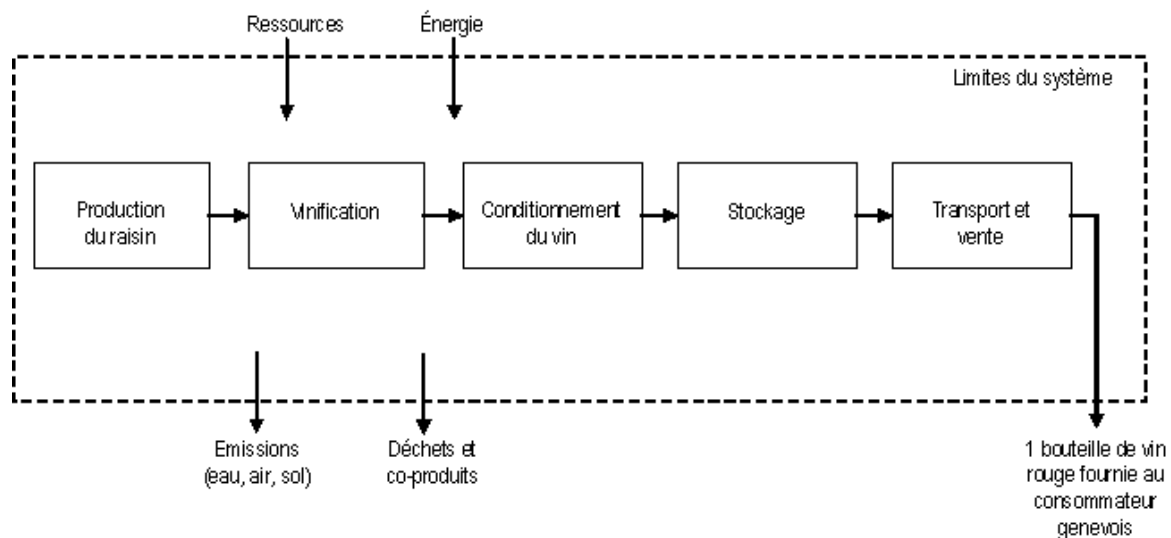


Figure 1: Limites du système étudié pour le produit *vin rouge*

Quatre scénarios sont étudiés pour le vin rouge fourni au consommateur genevois, comprenant deux modes de production locale et deux vins étrangers, tels que présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Scénarios proposés pour la production du vin rouge

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)	GENEVE (PI)	CHILI	ESPAGNE
Type de production	Biodynamie	Production intégrée	Production standard	Production standard
Conditionnement	Bouteille	Bouteille	Bouteille	Bouteille
Stockage du vin	1 an	1 an	1 an	1 an
Transport jusqu'au point de vente	Nul (vente directe à la cave)	Nul (vente directe à la cave)	Importation jusqu'à Genève	Importation jusqu'à Genève

Les variantes locales retenues comprennent la production intégrée (PI) et la biodynamie, alors que seule la production standard est étudiée pour les scénarios étrangers, vu les ressources et le temps limité pour cette étude.

Etant donné que le vin est un produit de garde, la période de production n'a pas d'importance et on considère que le vin est prêt à la consommation au bout d'une année.

Finalement, étant donné que la majorité des vigneron genevois vendent leur vin directement chez eux ou depuis la Cave de Genève SA (Satigny), la distance de transport est négligée.

3.2 Analyse de l'inventaire de la production de vin rouge

L'analyse de l'inventaire des intrants et sortants nécessaires à la production de vin rouge est présentée dans les sous-chapitres suivants pour chaque étape du cycle de vie du produit. Notons que le conditionnement et le stockage sont discutés ensemble, sous le terme générique "mise en bouteille". Pour chaque donnée d'inventaire, la source de données ou l'hypothèse émise sont indiquées.

Les données correspondant aux scénarios étrangers font l'objet de plus d'incertitudes que celles des scénarios locaux (genevois), étant donné qu'il n'a pas été possible de visiter des exploitations de référence. Par conséquent, la collecte de données pour ces scénarios a suivi trois stratégies :

- i. Entretien avec des référents : il s'agit de personnes de contact se trouvant en Suisse romande (recommandées par la DGA) et possédant une expérience ou des connaissances sur la réalité du terrain ;
- ii. Recherches bibliographiques : le vin a fait l'objet de nombreuses publications, telles qu'études scientifiques, documents officiels comme des normes ou des bonnes pratiques concernant la vitiviniculture, rapports d'associations faïtières, articles de presse, etc.
- iii. Hypothèses de travail : les données lacunaires, peu précises ou aberrantes sont remplacées par des hypothèses, dont l'influence sur la sensibilité du modèle est testée afin de connaître leurs impacts sur le résultat final.

Les sources de données sont clairement indiquées dans le Tableau 2 et suivantes selon qu'elles proviennent de:

- i. Référents: pour des raisons de confidentialité, l'identité des référents n'est pas révélée dans ce rapport. Les référents A indiquent les personnes de contact ayant fourni des données pour le scénario *Genève*

(PI) et comprennent 2 viticulteurs du canton; les référents B, les personnes de contact pour le scénario *Genève (biodynamie)* et comprennent 3 viticulteurs du canton; les référents C, les personnes de contact pour le scénario *Chili* et comprennent un œnologue et 2 viticulteurs chiliens ; finalement le référent D, est un œnologue ayant fourni l'information pour le scénario *Espagne*. Pour les scénarios genevois, outre la DGA, deux associations faïtières ont également fournis des données : AgriGenève et Agridea (Lausanne)

- ii. Publications : le document est cité par le nom de son premier auteur et l'année de sa publication. La bibliographie regroupe tous les documents cités et non cités dans ce rapport
- iii. Hypothèses : le détail des hypothèses de travail se trouve en annexe de ce rapport. La référence du sous-chapitre concerné est alors mentionnée dans le tableau de données.

Les données disponibles se réfèrent souvent à l'entier de l'exploitation ou à l'hectare. Afin de les ramener à l'unité fonctionnelle étudié, à savoir une bouteille de 75 cl de vin rouge fournie au consommateur genevois, il est nécessaire de connaître le rendement de la production de raisin (Tableau 2). En effet, on considère qu'1 kg de raisin est nécessaire à la production d'une bouteille de 75 cl de vin.

L'annexe 7.1 détaille les calculs pour les données brutes ayant du être corrigées.

Tableau 2: Rendement d'un vignoble représentatif pour chacun des scénarios étudiés

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)		GENEVE (PI)		CHILI		ESPAGNE	
		Réf.B		DGA		Réf.C		Réf.D
<i>Rendement de production en kg/ha</i>	6'400		8'050		10'000		4'000	

3.2.1 Production du raisin

Le Tableau 4 présente les données d'inventaire pour la production du raisin. Les hypothèses de travail suivantes ont été retenues :

- a. Fumures minérales pour les scénarios *Espagne* et *Chili* : les normes espagnoles et les données fournies par le référent chilien étant relativement élevées, les besoins en fumures minérales ont été corrigés afin de les ramener à des valeurs plus vraisemblables.
- b. Fumures de fond : les fumures de fond ne sont pas prises en compte dans cette étude du fait des faibles quantités et de l'intervalle de temps écoulé (30 ans, durée de vie moyenne d'un pied de vigne) entre chacune des applications.
- c. Eau d'irrigation : étant située sous le "château d'eau de l'Europe", l'usage de la ressource hydrique en Suisse est moins problématique qu'en Espagne. En l'état actuel des connaissances, la rareté de l'eau est une notion difficile à modéliser dans un écobilan. Cependant, afin de différencier une eau de surface

d'une eau provenant d'une nappe phréatique profonde, l'origine de l'eau utilisée pour l'irrigation a été prise en compte dans le modèle (Tableau 3), ce qui influe surtout sur l'énergie de pompage nécessaire.

Tableau 3: Origine de l'eau utilisée pour l'irrigation des vignes dans les différents scénarios

DESCRIPTION	GENEVE	CHILI	ESPAGNE
<i>Origine de l'eau</i>	64% eau de surface 36% eau souterraine (pompage à 5-20m)	100% eau de surface (irrigation par gravité)	100% eau souterraine (pompage à 50m)

- d. Usage du tracteur³ et main d'œuvre⁴ pour les scénarios « Chili » et « Espagne » : à défaut de données claires, des hypothèses ont été faites sur l'usage du tracteur et la main d'œuvre nécessaire au travail de la vigne dans ces deux pays.
- e. Les données concernant les produits phytosanitaires sont lacunaires pour les scénarios étrangers et reposent uniquement sur les communications avec les référents. Bien qu'il soit probable que des quantités moindres de ces produits soient utilisées dans des climats chauds, il est tout de même étonnant que le scénario espagnol n'en utilise pas du tout. Par ailleurs, une quantité de pesticides non-définis est considérée dans l'étude d'Aranda (2008).
- f. L'estimation des produits phytosanitaires utilisés à Genève (PI) repose sur des moyennes sur plusieurs années. En effet, pour éviter l'apparition de résistances à ces produits, les vigneron alternent les agents actifs de sorte que les données présentées ci-dessous ne sont pas représentatives d'une année, mais sont moyennées sur plusieurs.

Le Tableau 4 présente les différents intrants nécessaires à la production de 1 kg de raisin. Il faut relever que ces valeurs présentent une valeur moyenne des produits utilisés et ne sont pas représentatifs d'un seul producteur. Par exemple, les phytosanitaires utilisés dans le scénario Genève (PI) représentent ce que les différents référents ont utilisé en moyenne sur l'ensemble de leur production, et ne sont pas représentatifs d'une seule exploitation. En effet, certains produits sont utilisés pour les mêmes fonctions, et un producteur particulier utilisera l'un ou l'autre, mais pas les deux

³ Par usage du tracteur, il faut entendre le nombre de fois où le tracteur va sur le vignoble pour effectuer des traitements phytosanitaires, des applications de fumures ou de tisanes (dans le cas de la biodynamie) et d'autres travaux comme le cisailage, le broyage des sarments, les vendanges, etc.

⁴ Quelque soit le scénario considéré, le modèle ne prend en compte que le transport de la main d'œuvre (en équivalent 100%) jusqu'au vignoble, c'est-à-dire le transport sur une distance moyenne de 20km aller-retour. La différence réside dans le type de transport choisi selon les pays (par exemple, un minibus répondant aux normes Euro3 en Suisse)

Tableau 4: Flux de matières, utilisation du tracteur et main d'œuvre nécessaires à la production de 1kg de raisin

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)	GENEVE (PI)	CHILI	Espagne
Fumures minérales en g/UF				
Nitrate d'ammonium (35%N)	0	1.6	0.9	1.8
Phosphate d'ammonium (11%N et 52%P2O5)	0	0.5	0	1
Sulfate de potassium (50% K2O)	0	2.3	1.2	4.9
Phytosanitaires en g/UF				
Cuivre	0.63	0.49	-	0.5
Soufre	5.47	4.59	1.6	2
Switch	-	$3.73 \cdot 10^{-5}$	-	-
Amarel Folpet	-	$3.26 \cdot 10^{-5}$	-	-
Teldor	-	$2.59 \cdot 10^{-5}$	-	-
Cantus	-	$4.66 \cdot 10^{-5}$	-	-
Cyrano	-	0.03	-	-
Folpet	-	2.73	-	-
Roundup	-	0.51	0.05	-
Basta	-	0.20	-	-
Chikara	-	0.00248	-	-
Pledge	-	0.03	-	-
Eau en L/UF				
Eau	0.308	0.75	400	360
Usage du tracteur en nombre de passage par an				
Application fumures/tisanes	3	1	0	0
Traitements phytosanitaires	10	10	6	2
Autres travaux	9	5.6	4.5	4.5
Main d'œuvre en équivalent 100% par ha				
Main d'oeuvre	0.53	0.34	0.40	0.34

Les piquets (métalliques en Suisse, en bois en Espagne) et les câbles servant à soutenir la croissance des pieds de vigne n'ont pas été pris en compte dans cet inventaire. Au vu de leurs durées de vie et des quantités de matières utilisées par unité fonctionnelle, l'hypothèse a été faite que leurs impacts environnementaux étaient négligeables en comparaison de ceux des autres flux de matières et d'énergie pris en compte dans le modèle.

3.2.2 Vinification

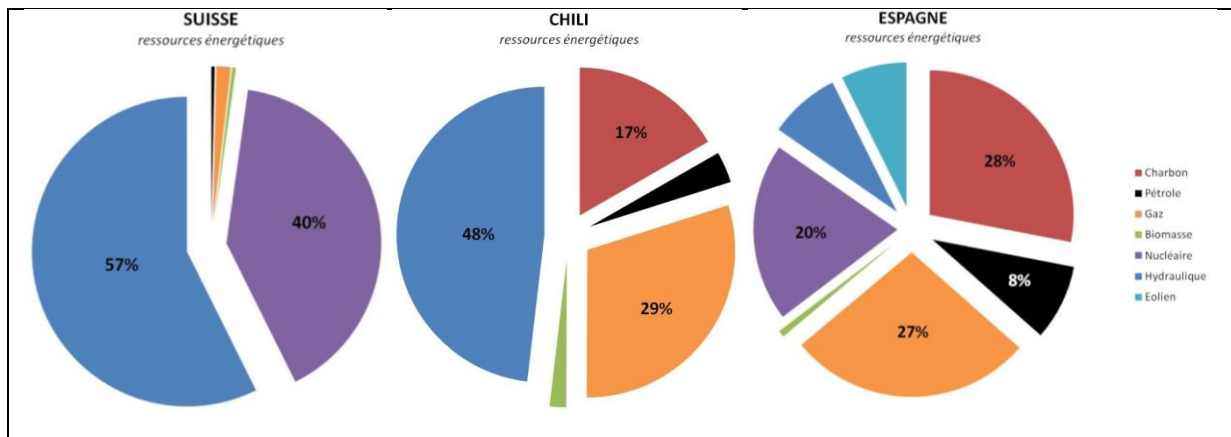
Le Tableau 5 présente les données pour l'étape de vinification. Les hypothèses de travail suivantes ont été retenues :

- a. Eau pour la cave : les installations utilisées pour cette étape étant similaires dans tous les scénarios, les besoins en eau de la cave (essentiellement pour le nettoyage de ces installations) sont considérés comme identiques.
- b. Energie de pressurage et de vinification : à défaut de données, les besoins en énergie des scénarios étrangers ont été construits sur la base des données genevoises.

Tableau 5: Flux de matières et d'énergie nécessaires à la vinification de 75cl de vin rouge

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)	GENEVE (PI)	CHILI	ESPAGNE
Vinification				
SO ₂ en mg/UF	37.5	52.5	60	52.5
Sucre en mg/UF	-	7.5	-	-
Cuve en mg/UF	2.33	2.12	1.16	1.55
Eau en L/UF	6.75	6.75	6.75	6.75
Energie en kWh/UF (pressurage, vinification)	0.009	0.009	0.029	0.035

Les ressources énergétiques utilisées pour produire l'électricité consommée dans chacun des trois pays analysés varie et ne génère pas le même impact environnemental. La Figure 2 illustre ces différences.


Figure 2: Ressources énergétiques pour les trois pays analysés (Source : IEA, 2005)

3.2.3 Mise en bouteille

Le Tableau 6 présente les données pour l'étape de mise en bouteille et de stockage du vin. Les hypothèses de travail suivantes ont été retenues :

- Conditionnement et emballage : la bouteille, le bouchon, l'étiquette, la capsule, le carton et la palette sont identiques pour tous les scénarios.
- Energie de mise en bouteille: les technologies utilisées pour la mise en bouteille, et par conséquent la quantité d'énergie consommée, sont identiques dans les quatre scénarios.
- Energie de stockage au frais : à défaut de données, les besoins en énergie des scénarios étrangers ont été construits sur la base des données genevoises.

Tableau 6: Flux de matières et d'énergie nécessaires pour conditionner et stocker 75cl de vin rouge

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)		GENEVE (PI)		CHILI		ESPAGNE	
Conditionnement en kg								
Bouteille en verre	0.5	(EDP, 2006)	0.5	(EDP, 2006)	0.5	(EDP, 2006)	0.5	(EDP, 2006)
Bouchon en liège	0.0088		0.0088		0.0088			
Etiquette en papier	0.0025		0.0025		0.0025			
Capsule en PE	0.0013		0.0013		0.0013			
Emballage en kg								
Carton d'emballage	0.034	Chap.7.1.3	0.034	Chap.7.1.3	0.034	Chap.7.1.3	0.034	Chap.7.1.3
Palette	0.0144		0.0144		0.0144			
Energie en kWh								
Mise en bouteille	0.002	Agridea	0.002	Agridea	0.002	Chap.7.1.3	0.002	Chap.7.1.3
Stockage au frais	0.003		0.003		0.004		0.004	

3.2.4 Transport jusqu'à Genève

Le Tableau 7 présente les distances parcourues par les bouteilles de vin rouge importées depuis le Chili et l'Espagne. Les hypothèses de travail suivantes ont été retenues :

- Conditionnement : le vin est importé dans des cartons de six bouteilles déposés sur des palettes. Le poids transporté par bouteille est donc de 1.31 kg⁵.
- Trajet : une bouteille importée depuis le Chili effectue le trajet Santiago de Chile-Rotterdam (via le Canal de Panama) en bateau, puis Rotterdam-Genève en camion (le trajet jusqu'au port de Santiago est négligé). Une bouteille importée depuis la région de La Rioja en Espagne effectue le trajet Logroño-Genève en camion.
- Energie : l'hypothèse a été faite que le transport des bouteilles n'est pas réfrigéré.

Tableau 7: Estimation des distances parcourues pour le transport d'une bouteille de vin rouge jusqu'à Genève

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)		GENEVE (PI)		CHILI		ESPAGNE	
Transport jusqu'à Genève en km								
Camion 1	-		-		négligé	GoogleEarth	1'187	mappy.ch
Bateau	-		-		14'000		-	
Camion 2	-		-		928		-	

⁵ Ce poids correspond à 750 g de vin, 512.6 g d'emballage, 48.4 g de carton et de palette.

3.3 Analyse des impacts environnementaux du vin rouge

Les résultats de l'écobilan du vin rouge sont présentés dans un premier temps pour l'ensemble du cycle de vie (en unités de *Points*⁶ et de *kg de CO₂ équivalent*). Différentes variantes sont présentées pour chaque scénario en faisant varier les paramètres sur lesquels il a fallu émettre des hypothèses, ce qui permet d'apprécier leur sensibilité. Dans un deuxième temps, les résultats sont discutés en détails pour les quatre étapes du cycle de vie.

3.3.1 Vue d'ensemble des résultats d'écobilan

La Figure 3 présente les impacts environnementaux en unités de *milipoint (mPt)* pour les quatre scénarios étudiés, ainsi que pour les variantes permettant d'évaluer la sensibilité du modèle. La variante "standard", indiquée par une étoile, correspond aux données présentées dans l'analyse de l'inventaire présentée plus haut, et sera la seule retenue pour discuter chaque scénario en détail.

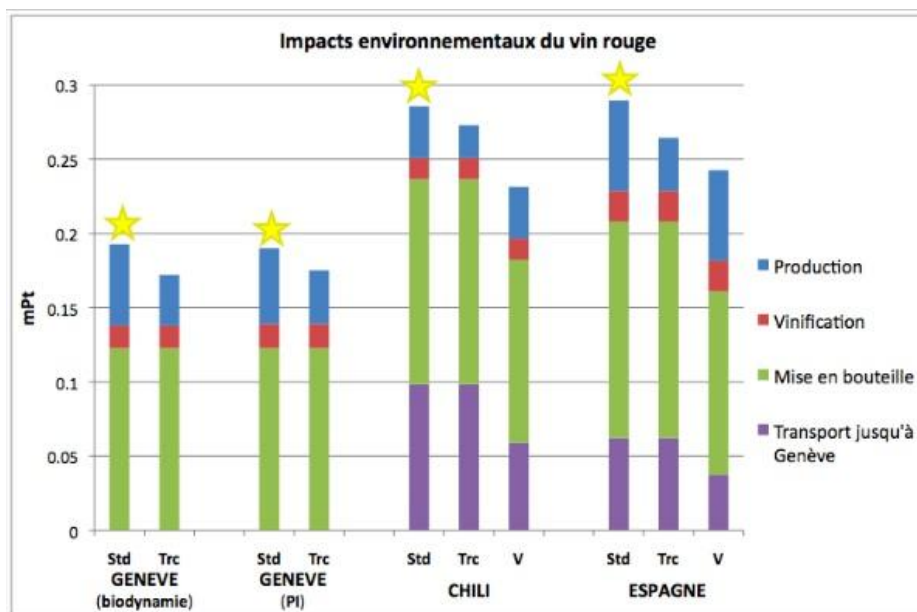


Figure 3: Impacts environnementaux du vin rouge produit à Genève, au Chili et en Espagne (Std=standard, Trc=tracteur, V=Vrac ; les étoiles indiquent les variantes choisies pour la suite de l'étude)

⁶ Les "points" représentent une valeur abstraite qui permettent d'agrèger les différentes catégories d'impact, après qu'elles aient été normalisées et pondérées.

Deux hypothèses sont suffisamment grossières pour qu'elles vailent la peine d'être testées par l'élaboration de variantes:

- la variante *tracteur* correspond à une réduction de 25% de l'usage du tracteur pour chaque scénario. L'idée est ici de tester la sensibilité du modèle par rapport aux hypothèses émises pour l'usage du tracteur dans les scénarios *Chili* et *Espagne* et de voir, dans quelle mesure ce paramètre influence le classement très proche des deux scénarios genevois.
- la variante *vrac* correspond à l'importation en vrac du vin depuis le Chili et l'Espagne. Dès le départ de l'étude, le choix a été fait de ne considérer que l'importation de vin en bouteille, l'hypothèse étant que le consommateur moyen genevois consomme majoritairement du vin de haute qualité importé directement en bouteille de 75 cl. Pourtant, d'après les statistiques fédérales des douanes pour la période 2002-2008, 50 % du vin rouge chilien et 46 % du vin rouge espagnol ont été importés en Suisse dans des contenants (bouteilles ou cuves) d'une capacité supérieure à 2 l. Cette variante prend donc en compte une réduction de 40 %⁷ des émissions dues transport ainsi qu'une mise en bouteille du vin effectuée en Suisse.

L'analyse de ces deux variantes (Figure 3) permet notamment de relever les points suivants:

- il est nécessaire d'acquérir une meilleure connaissance liée à l'usage du tracteur, notamment pour mieux comprendre les différences entre les scénarios genevois. En effet, la production intégrée et la biodynamie présentent un score très proche, légèrement en faveur de la PI dans le scénario standard, et inversement en faveur de la biodynamie si l'usage du tracteur est diminuée de 25 %.
- Le transport en vrac de vins étrangers permet une réduction significative de l'impact total, et pourrait faire l'objet d'une recommandation pour la régulation des importations. Néanmoins, l'impact lié au transport de vin étranger, qu'il soit transporté en vrac ou en bouteilles, domine clairement l'impact total en comparaison avec les scénarios genevois.

La Figure 4 et suivantes présentent les résultats pour les scénarios standards retenus en considérant l'ensemble du cycle de vie. Les résultats sont également discutés selon leur catégorie d'impact ainsi qu'en kg-équivalent CO₂.

⁷ La réduction des émissions dues au transport en vrac et non en bouteille du vin est de 40% selon les informations disponibles sur le site de l'entreprise canadienne Vin en Vrac (www.vinenvrac.ca).

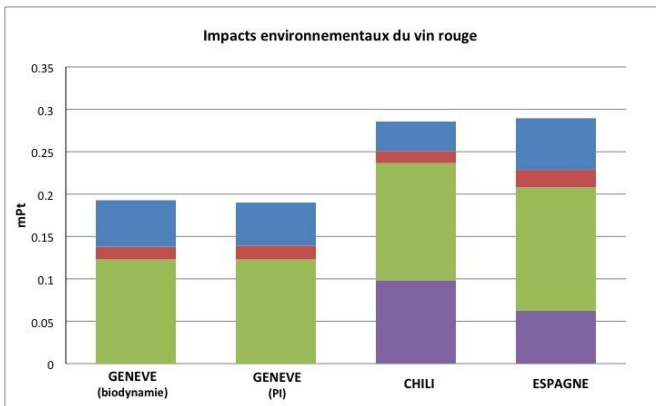


Figure 4: résultats d'écobilan exprimés en points, score unique (toutes les catégories d'impact sont agrégées)

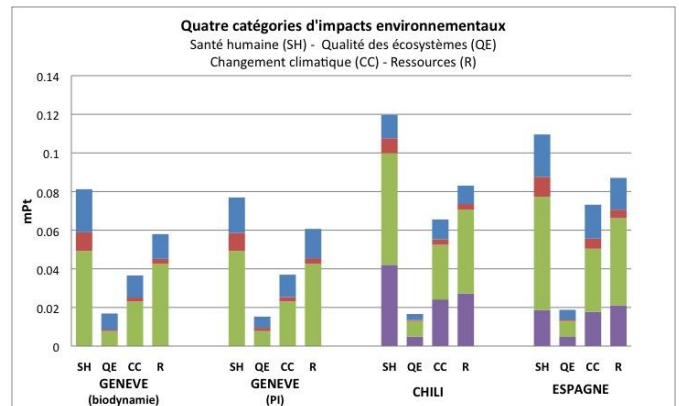


Figure 5: résultats d'écobilan exprimés en points, score par catégorie d'impact

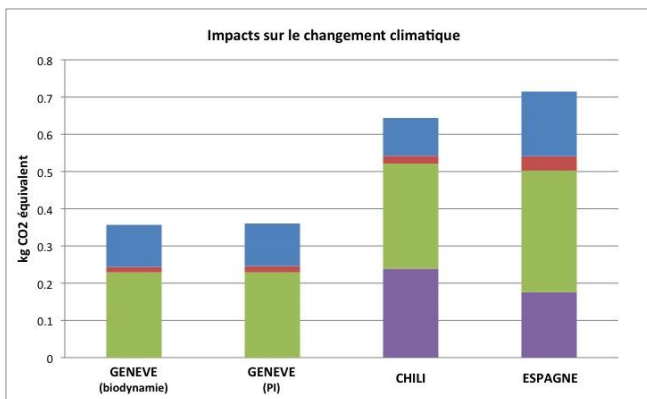


Figure 6: résultats d'écobilan exprimés en kg-équivalent de CO2

Légende

- Production
- Vinification
- Mise en bouteille
- Transport jusqu'à Genève

- SH = Santé Humaine
- QE = Qualité des Ecosystèmes
- CC = Changement Climatique
- R = Ressources

Les figures ci-dessus permettent les observations suivantes:

- Pour tous les scénarios, la phase de mise en bouteille domine largement l'impact total, suivie du transport pour les scénarios étrangers. L'impact de la production du raisin et du vin lui-même ne représente qu'environ un tiers de l'impact total pour les scénarios genevois! Les raisons de ces résultats sont discutées en détail plus bas.
- L'impact environnemental total généré par une bouteille de 75cl de vin rouge fournie au consommateur genevois varie significativement selon l'origine du vin. En effet, l'impact des scénarios étrangers est presque doublement supérieur aux scénarios genevois, en majorité expliqué par la distance de transport.
- Comme mentionné plus haut, l'usage du tracteur nécessite d'être étudié plus en profondeur, étant donné qu'une variation de 25 % de son utilisation change le classement entre les scénarios. Non seulement la biodynamie devient légèrement meilleure que la PI pour les scénarios genevois, mais l'Espagne présente également un léger avantage sur le Chili. Toutefois, ce paramètre n'influence pas la comparaison entre les scénarios genevois et étrangers.

Les résultats exprimés en kg-équivalent CO₂ permettent d'obtenir une bonne indication de l'impact sur le changement climatique:

- Une bouteille de vin fournie à un consommateur genevois correspond à environ 350 g de CO₂ éq. émis pour les scénarios locaux, et entre 600 et 700 g pour les scénarios étrangers. Pour comparaison, une voiture émet environ 180 g de CO₂ eq. par km. Boire une bouteille de vin chilien correspond à rouler 4 km en termes d'impact sur le changement climatique!
- L'Espagne comporte une part plus large d'énergies fossiles dans son mix électrique et émet plus de CO₂ eq. pour la production et pour la mise en bouteille.

L'analyse des résultats selon les catégories d'impact est typique d'un problème dominé par la consommation énergétique (par opposition à l'impact sur les écosystèmes), lorsque les catégories *Santé Humaine*, *Ressource*, *Changement Climatique* suivent une même tendance et dominent largement la catégorie *Qualité des Ecosystèmes*. En effet:

- La catégorie *Santé Humaine (SH)* comporte l'impact le plus élevé. Une analyse des données d'écobilan montre que cet impact est principalement dû à l'émission de particules fines, d'oxydes de soufre et d'azote, de composés organiques et d'autres éléments traces (arsenic, sélénium), lors de la combustion d'énergies fossiles pour la production d'électricité, pour la production de la bouteille ou pour le transport. La phase de production impacte également la santé humaine de par l'usage du tracteur, ainsi que par l'application de fumures et de produits phytosanitaires. En effet, non seulement ces derniers sont gourmands en énergie lors de leur fabrication, mais leur diffusion dans l'environnement affecte également la santé humaine.
- L'impact sur la consommation de *Ressources (R)* est principalement liée à l'extraction de combustibles fossiles pour le transport, la production de la bouteille et des substances actives des phytosanitaires.
- De même, l'impact sur le *Changement Climatique (CC)* est fortement corrélé à la consommation de ressources.
- L'impact sur la *Qualité des Ecosystèmes (QE)* est en général expliqué par l'émission de métaux lourds dans l'environnement. Le traitement du verre pour la production de la bouteille émet entre autres du cuivre, du zinc et du nickel dans le sol. L'utilisation de produits phytosanitaires émet des métaux dans l'eau, le sol et l'air (par exemple, l'utilisation de folpet génère des émissions d'aluminium dans ces trois compartiments). Le transport, et notamment la combustion de diesel, résulte dans l'émission de divers métaux.

Les prochaines sections présentent plus en détail les impacts de chacune des phases du cycle de vie pour la production de vin rouge.

3.3.2 La production du raisin

La Figure 7 présente les résultats d'écobilan pour la phase de production du raisin, et les figures suivantes le détail pour les phytosanitaires, les fumures minérales et l'usage du tracteur.

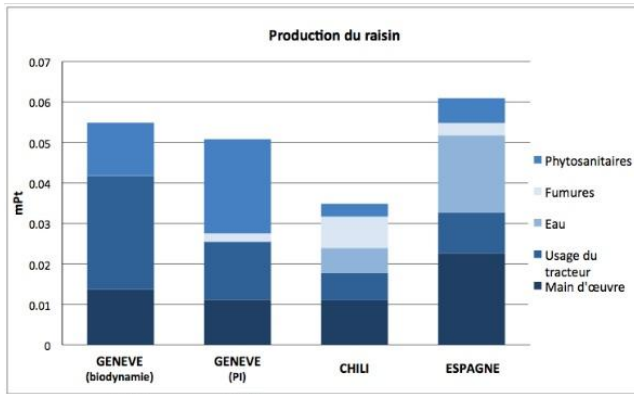


Figure 7: résultats d'écobilan pour la phase de production du raisin

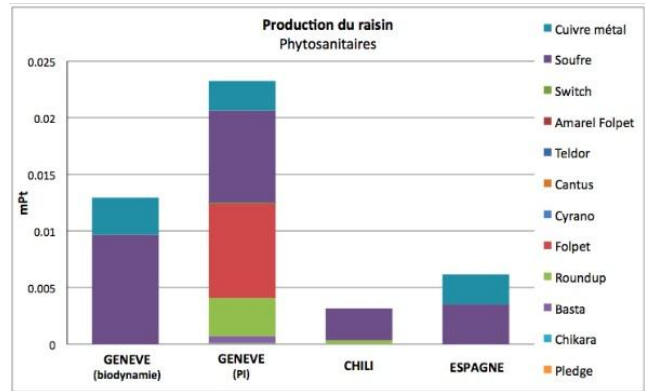


Figure 8: résultats d'écobilan pour l'utilisation de phytosanitaires

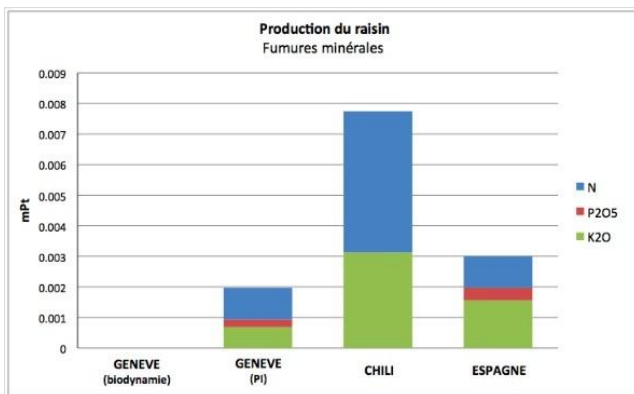


Figure 9: résultats d'écobilan pour l'épandage de fumures minérales

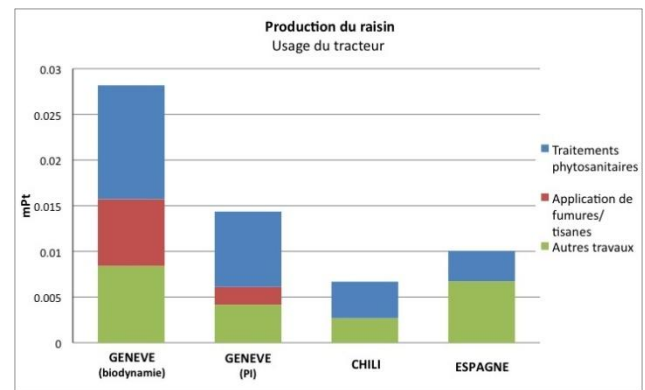


Figure 10: résultats d'écobilan pour l'utilisation du tracteur

Comme mentionné plus haut, l'hypothèse a été faite que les quatre scénarios suivent les mêmes techniques agricoles. Dans ce contexte, les paramètres qui influencent les résultats sont fortement liés aux conditions locales, notamment le climat et la qualité du sol. En effet, ces derniers déterminent notamment la quantité de fumures, de phytosanitaires et d'eau qu'il faudra apporter à la vigne pour la production de raisin.

Le rendement influence significativement le résultat, et dépend non seulement du climat, mais aussi de la méthode culturale et des contraintes de limitation du rendement. Pour une vigne à faible rendement, une plus grande part d'impact lié à la main d'œuvre ou à l'usage du tracteur est allouée au kg de raisin.

Les figures ci-dessus montrent qu'une part importante de l'impact des quatre scénarios est lié aux déplacements de la main d'oeuvre. Cet aspect a été modélisé sur la base d'hypothèses et mériterait d'être approfondi.

L'impact lié à la consommation d'eau est élevé pour les scénarios étrangers où la vigne est irriguée. Cet impact est notamment lié à l'énergie de pompage de l'eau, plus qu'à sa rareté. Cette dernière notion est difficile à modéliser dans une analyse de cycle de vie et fait actuellement l'objet de recherches.

L'impact lié à l'usage du tracteur dépend principalement du nombre d'applications de produits phytosanitaires et du rendement. Le climat suisse nécessitant plus de traitement contre les différentes maladies de la vigne entraîne un usage plus fréquent du tracteur. La biodynamie, qui exclut l'usage de produits phytosanitaires (hormis le cuivre et le soufre), doit compenser par un désherbage mécanique plus fréquent, ce qui explique l'impact élevé lié au tracteur.

L'impact lié aux fumures et aux phytosanitaires provient autant de leur fabrication que de leur dispersion dans l'environnement. Si les problèmes liés à l'épandage de fumures (azote et phosphore) sont bien connus (eutrophisation) et facilement modélisables, il est bien plus compliqué de simuler l'impact potentiel lié à la diffusion de produits phytosanitaires. D'une part, les produits sont bien plus nombreux et comportent chacun leur principe actif, qui se décomposera d'une manière bien spécifique dans le sol et l'eau. D'autre part, le devenir de ces substances dans l'environnement et l'impact potentiel qui en découle dépendent fortement des conditions locales, qui ne sont pas modélisables dans un écobilan. Au mieux, ce dernier permet d'évaluer en moyenne le dommage généré par ces produits.

Finalement, les facteurs d'impacts pour l'émission de telle ou telle substance dépendent fortement de la méthode d'évaluation de l'impact choisie, comme l'illustre l'exemple du cuivre suivant. La Figure 11 ci-dessous présente le résultat d'écobilan avec la méthode IMPACT 2002+ (utilisée tout au long de cette étude) pour l'ensemble du cycle de vie du vin si le cuivre est considéré. La phase de production (en bleu) explose et présente un résultat qui n'est vraisemblablement pas crédible, expliqué par un facteur d'impact très élevé dans cette méthode pour le cuivre. Pour comparer, la Figure 12 présente les résultats d'écobilan avec une autre méthode développée en Hollande, EcoIndicateur 99, qui n'attribue pas de poids particulièrement important au cuivre. Les résultats sont beaucoup plus équilibrés et présentent une structure similaire à ceux présentés plus haut, lorsque le cuivre n'est pas pris en compte.

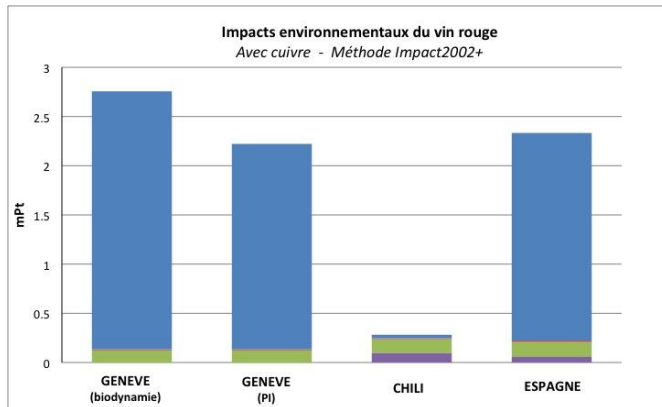


Figure 11: résultats d'écobilan en incluant l'utilisation de cuivre avec la méthode IMPACT 2002+ (utilisée tout au long de cette étude)

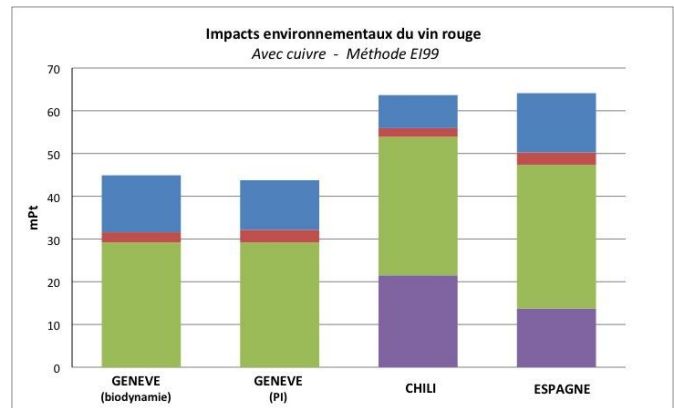


Figure 12: résultats d'écobilan en incluant l'utilisation de cuivre avec la méthode Eco Indicateur 99

Il est impossible à ce stade de déterminer quel devrait être le facteur d'impact attribué au cuivre et quelle méthode est la plus adaptée, d'autant plus que même dans la profession il est difficile de trouver un consensus⁸ sur ce point. Pour ces raisons, il a été décidé d'exclure les effets du cuivre émis dans l'environnement des résultats de ce travail, et de simplement les présenter tels que calculés avec la méthode IMPACT 2002+. Les impacts générés par la production du cuivre sont par contre pris en compte.

3.3.3 Vinification

La Figure 13 ci-dessous présente les résultats d'écobilan pour la phase de vinification, à savoir la transformation du raisin en vin.

⁸ D'après Jean-Claude Ray, auteur de *Vignerons Rebelles*, le cuivre composant la bouillie bordelaise est très discuté chez les vignerons. Les tenants du "chimique" reprochent au "bio" de charger les sols en cuivre, et les producteurs "bio" rétorquent que le cuivre doit être considéré comme un oligo-élément (même si sa concentration est plus basse dans un sol "naturel" que dans un sol traité).

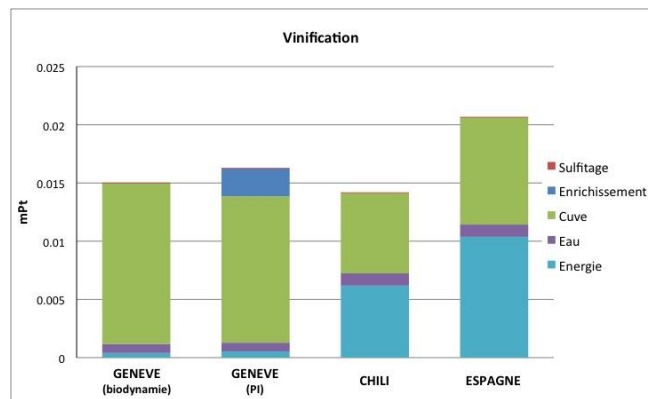


Figure 13: résultats d'écobilan pour la phase de vinification

La vinification, qui contribue relativement peu à l'impact total, est largement dominée par la fabrication de la cuve, notamment à cause de l'énergie nécessaire pour extraire et travailler le nickel et l'acier.

L'autre source d'impact pour les scénarios étrangers provient de l'énergie nécessaire pour le refroidissement.

3.3.4 Mise en bouteille

La Figure 14 présente les résultats d'écobilan pour la phase de mise en bouteille.

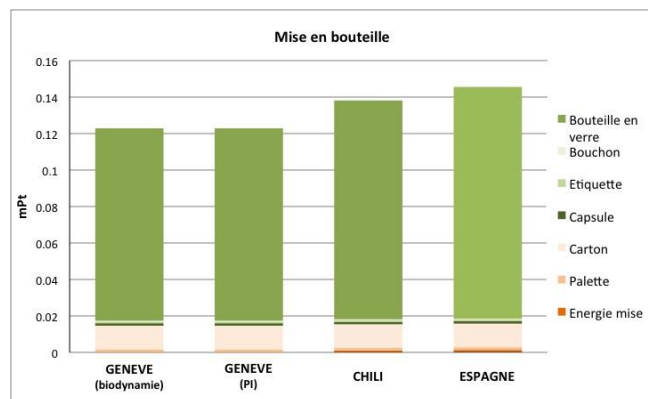


Figure 14: résultats d'écobilan pour la phase de mise en bouteille

La fabrication de la bouteille domine largement l'impact de par l'énergie nécessaire à sa fabrication. La différence entre les scénarios s'explique par le mix énergétique d'électricité propre à chaque pays. Le détail de l'écobilan de la bouteille est présenté dans l'annexe 7.1.3.4.

La deuxième cause d'impact provient du carton d'emballage, également énergivore lors de sa fabrication.

3.3.5 Transport jusqu'à Genève

La Figure 15 présente les résultats d'écobilan pour la phase de transport du vin à Genève.

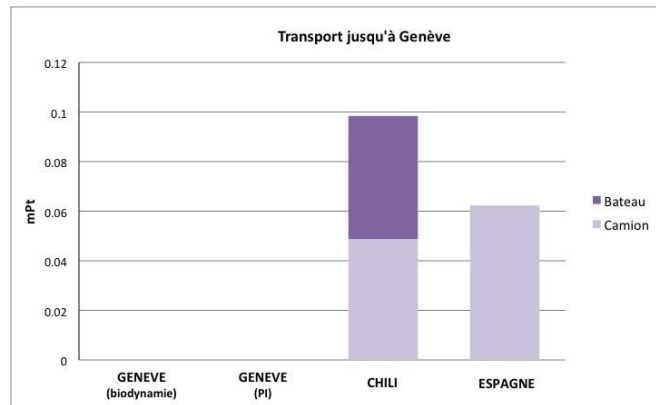


Figure 15: résultats d'écobilan pour la phase de transport jusqu'à Genève

Le transport depuis l'étranger constitue la plus grande différence entre les scénarios genevois et étrangers. L'impact dû au camion est légèrement moindre pour le Chili que pour l'Espagne, étant donné que le vin est transporté à Genève depuis le port de Rotterdam, plus proche que le centre de l'Espagne. Néanmoins, le Chili reste le plus défavorable de par son éloignement, et l'impact lié à la traversée de l'Atlantique.

Le calcul de l'impact pour le transport est certainement le plus robuste de toute l'évaluation, et ne permet aucun doute quant au désavantage que présentent les scénarios étrangers en comparaison avec les scénarios genevois sur l'ensemble du cycle de vie.

3.4 Conclusions et Recommandations

L'analyse de cycle de vie de ces quatre scénarios de production de vin rouge destiné au consommateur genevois permet d'affirmer certaines conclusions, ainsi que de mettre en évidence les limites de l'approche écobilan appliquée aux produits agricoles.

La conclusion la plus flagrante est que l'impact du transport est tel, que le vin local présentera toujours une meilleure performance environnementale qu'un vin étranger. Sans grande surprise, tant que le transport de marchandise sera basé sur la combustion d'hydrocarbures, l'impact sur le changement climatique reste suffisamment important pour éclipser les impacts liés à la production.

Ensuite, l'écobilan met en évidence que la majeure partie des impacts ne peut pas être directement maîtrisée par les différentes parties prenantes à la production de vin, qu'il s'agisse du vigneron, des services de l'Etat ou du consommateur. En effet, la majeure partie de l'impact est "encapsulée" dans les différents intrants, qu'il s'agisse

de l'impact généré par la production d'une bouteille, du transport de la main d'œuvre ou de la synthèse des produits phytosanitaires.

La fabrication de la bouteille présente étonnamment l'impact le plus important, et le seul moyen de l'éviter serait de complètement reconsidérer le modèle commercial du vin, par exemple en adoptant un système de distribution de vin en vrac⁹, ou en explorant d'autres matériaux d'emballage tels que le pack carton/plastic. Cependant, ce genre de changement risque de faire face à un blocage d'ordre culturel, étant donné l'importance de la bouteille et de l'étiquette dans la perception que le consommateur se fait du vin. Ce genre de solution pose également certains problèmes pratiques, notamment pour les vins de garde.

Une autre alternative permettant de diminuer l'impact principal lié à la bouteille serait de réintroduire un système de consigne et d'inciter la réutilisation de la bouteille plutôt que son recyclage. Cette option est d'autant plus intéressante, que le vin genevois est distribué directement à la cave. Le vigneron pourrait se charger de laver et réétiqueter les bouteilles que lui ramènent ses clients. Ce genre de solution est également difficile à faire accepter, et doit être soigneusement étudiée pour respecter les normes d'hygiène. De plus, il n'est pas certain qu'une telle solution soit économiquement viable.

Cette étude met également en évidence les limitations de l'approche ACV pour les produits agricoles. En effet, si on exclu le transport, les écarts dans les résultats sont trop faibles, et les hypothèses trop sensibles, pour conclure qu'un mode de production est meilleur qu'un autre. Tout d'abord, certaines notions telles que la rareté de l'eau, l'impact sur la biodiversité ou l'érosion et la dégradation des sols ne sont pas prises en compte dans cette approche. Ensuite, les effets des produits phytosanitaires sur l'écosystème, et indirectement sur la santé humaine, restent très mal maîtrisés dans la méthodologie ACV. Finalement, l'accès à l'information pour les scénarios étrangers étant limité, il a fallu poser certaines hypothèses grossières, par exemple pour l'utilisation d'eau d'irrigation en Espagne, qui peuvent altérer le résultat.

Il est nécessaire de faire preuve d'un certain pragmatisme pour faire face à ces incertitudes. En effet, il est toujours possible d'acquérir les connaissances nécessaires en investissant dans une recherche adéquate. Cependant, il est légitime de se demander si cela a un sens, dans le contexte genevois, de chercher à affiner les résultats d'écobilan pour la production de vins étrangers, alors que l'impact lié au transport est suffisamment important pour ne laisser aucun doute quant à la meilleure performance environnementale des produits locaux.

Pour départager les deux scénarios genevois, au contraire, il serait intéressant d'étudier plus en détail les impacts liés à la production du vin. En effet, quasiment tous les aspects sur lesquels la biodynamie est censée présenter un avantage sur la production intégrée sont mal maîtrisés ou ignorés dans une approche ACV. Celle-ci démontre uniquement que les deux scénarios sont à peu près équivalents, notamment d'un point de vue du

⁹ Voir par exemple l'initiative www.vinenvrac.ca ou l'initiative innovante d'un producteur genevois...

bagage énergétique et des impacts sur le changement climatique. Il est nécessaire dans ce cas de combiner d'autres méthodologies scientifiques pour intégrer les paramètres qui font défaut dans cette étude, et de pouvoir démontrer les avantages de l'approche biologique, pourtant reconnus instinctivement et observés empiriquement. Les initiatives de plus en plus nombreuses de viticulture biologique ou biodynamique ont en effet déjà permis d'observer une meilleure santé du sol, une diminution de la contamination des eaux, une meilleure pénétration de l'eau dans le sol, et même une augmentation de la biodiversité¹⁰.

La Direction Général de l'Agriculture a fait preuve d'une démarche innovante en commandant un écobilan pour les scénarios de production de vin étudiés dans ce travail. Si cette approche permet de mettre en évidence l'impact lié au transport pour les scénarios étrangers, elle n'est cependant pas satisfaisante pour comprendre la problématique des pesticides et départager la production biodynamique et la production intégrée. Une continuité intéressante de cette réflexion consisterait en un état des lieux du savoir sur les pesticides dans le contexte viticole, combinée à une réflexion sur les avantages de la production dite « naturelle ». Par exemple, il est possible d'estimer le devenir de la plupart des pesticides dans l'environnement sur la base de leurs propriétés physico-chimiques¹¹. D'autre part, de nombreuses études sont menées sur le sujet par des associations de consommateurs et des organisations de défense de l'environnement. Finalement, il existe également des analyses écotoxicologiques effectuées par le laboratoire cantonal qui pourraient être corrélées aux points précédents. Un état des lieux englobant ces trois approches permettrait à la DGA et à la profession d'acquérir une bonne connaissance et de définir une stratégie de gestion de l'impact environnemental lié aux produits phytosanitaires dans les vignes.

¹⁰ Alors que dans un sol non traité, le nombre de micro-organismes par gramme de biomasse est de l'ordre du milliard, les sols des campagnes industrialisées (en France) en comportent à peine quelques centaines de milliers, soit 10'000 fois moins (source: Jean-Claude Ray, *Vignerons Rebelles*).

¹¹ La distribution d'une substance dans l'air, l'eau et le sol, ainsi que sa persistance dans l'environnement dépendent de caractéristiques telles que la solubilité, la constante de Henri, sa durée de vie, son coefficient de partage octanol/eau, etc.

4 PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DU PRODUIT TOMATE A GENEVE

4.1 Définition du système étudié et des scénarios pour le produit *tomate*

Afin de comparer les différents scénarios de la production de tomates, l'unité fonctionnelle étudiée est définie comme étant de "fournir un kg de tomates au consommateur genevois". Cette fonction comporte les étapes distinctes suivantes (Figure 16):

- Premièrement, **la culture** de la tomate proprement dite. Elle est effectuée selon plusieurs techniques agricoles en fonction de la période de l'année.
- Deuxièmement, le produit est **conditionné**, soit directement à l'exploitation, soit dans un centre dédié à la préparation des produits agricoles.
- Troisièmement, le produit conditionné est **transporté** jusque chez un distributeur qui va le mettre à la vente pour le consommateur de la région genevoise. Dans le cadre de cette étude, le distributeur en question est l'Union Maraîchère Genevoise (Acacias).

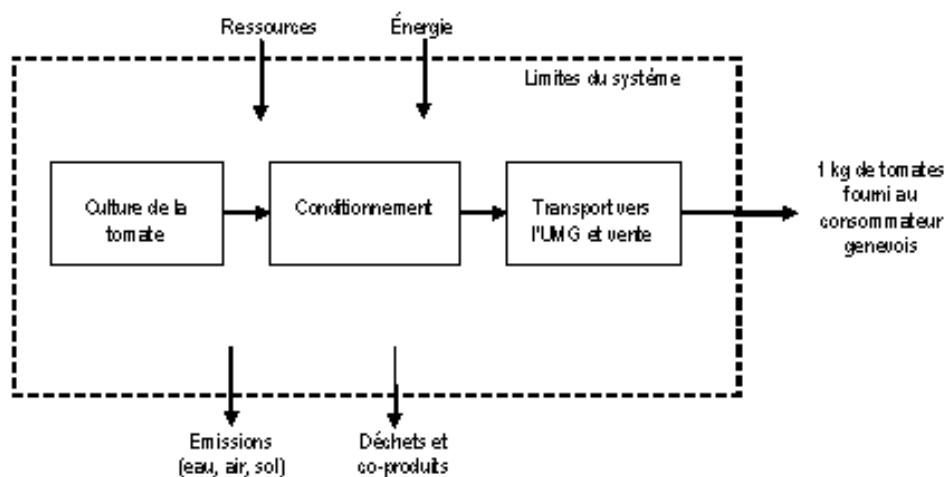


Figure 16: Limites du système étudié pour le produit *tomate*

Quatre scénarios sont étudiés pour la tomate fournie au consommateur genevois, comprenant la culture sous serre et sous tunnel, à Genève et à l'étranger, tels que présentés dans le Tableau 8:

Tableau 8: Scénarios proposés pour la production de la tomate

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)	MAROC (TUNNEL)	GENEVE (SERRE)	HOLLANDE (SERRE)
Type de production	En terre, sous tunnel	En terre, sous tunnel	Hors-sol, sous serre	Hors sol, sous tunnel
Plantation	Mars	Août	Janvier	Décembre
Récolte	Juin à Septembre	Octobre à Juin	Avril à Novembre	Mars à Novembre

Les scénarios retenus sont la production hors sol sous serre à Genève (scénario *Genève Serre*) et en Hollande (scénario *Hollande Serre*), et la production en terre sous tunnel à Genève (scénario *Genève Tunnel*) et au Maroc (scénario *Maroc Tunnel*). En outre, chaque scénario correspond à une période de culture telle que définie dans le tableau ci-dessus.

4.2 Analyse de l'inventaire de la production de la tomate

L'analyse de l'inventaire des intrants et sortants nécessaires à la production de tomates est présentée dans les sous-chapitres suivants pour chaque étape du cycle de vie du produit.

Les données correspondant aux scénarios étrangers font l'objet de plus d'incertitudes que celles des scénarios locaux (genevois), étant donné qu'il n'a pas été possible de visiter des exploitations de référence. Par conséquent, la collecte de données pour ces scénarios a suivi trois stratégies :

- i. Recherches bibliographiques : la tomate a fait l'objet de nombreuses publications, telles qu'études scientifiques, documents officiels comme des normes ou des bonnes pratiques concernant le maraîchage, rapports d'associations faitières, articles de presse, etc.
- ii. Hypothèses de travail : les données lacunaires, peu précises ou aberrantes sont remplacées par des hypothèses, dont la sensibilité est testée afin de connaître leurs impacts sur le résultat final.

Les sources de données sont clairement indiquées dans le Tableau 9 et suivantes selon qu'elles proviennent de:

- iv. Référents: pour des raisons de confidentialité, l'identité des référents n'est pas révélée dans ce rapport. Les Référents E indiquent les personnes de contact ayant fourni des données pour le scénario *Genève Tunnel* et les Référents F, les personnes de contact pour le scénario *Genève Serre*. Pour les deux il s'agit de producteurs genevois. Pour les scénarios genevois, outre la DGA, l'Union Maraîchère Genevoise (UMG) a également fourni des informations
- v. Publication : le document est cité par le nom de son premier auteur et l'année de sa publication. La bibliographie regroupe tous les documents cités et non cités dans ce rapport
- vi. Hypothèse : le détail des hypothèses de travail se trouve en annexe de ce rapport. La référence du sous-chapitre concerné est alors mentionnée dans le tableau de données.

Les données disponibles se réfèrent souvent à l'entier de l'exploitation ou à l'hectare. Afin de les ramener à l'unité fonctionnelle étudiée, à savoir un kg de tomates fourni au consommateur genevois, il est nécessaire de connaître le rendement de la production de tomates (Tableau 9).

L'annexe 7.1 détaille les calculs pour les données brutes ayant du être corrigées.

Tableau 9: Rendement de production moyen d'une culture de tomate pour chacun des scénarios étudiés

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)		MAROC (TUNNEL)		GENEVE (SERRE)		HOLLANDE (SERRE)	
		Réf.E		IAY Hassan II		Réf.F		UMG
<i>Rendement de production en kg/m²</i>	10		13.5		45		50	

4.2.1 Culture de la tomate

Les Tableau 10 et Tableau 11 présentent les données pour la construction de la structure abritant la culture de la tomate selon le scénario considéré. Les hypothèses de travail suivantes ont été retenues :

- Structure : à défaut d'information directe, les structures étrangères sont en tout point pareilles aux structures genevoises (tunnel marocain identique au tunnel genevois, serre hollandaise identique à la serre genevoise).
- Chaulage : l'usage du tracteur pour pulvériser la peinture d'ombrage sur les parois des tunnels n'a pas été pris en compte dans cette étude.

Tableau 10: Matières nécessaires par kg de tomate pour la structure du tunnel

DESCRIPTION	UTILISATION	GENEVE (TUNNEL)	MAROC (TUNNEL)
Structure en g / kg de tomate			
<i>Acier</i>	Arceaux, barres et câbles	36	27
<i>EVA</i>	Paroi plastique	0.0052	0.0039
<i>PE</i>	Protection du sol	0.9	0.7
<i>PVC</i>	Tuyaux goutte-à-goutte	1.6	1.2
<i>Chaux</i>	Peinture d'ombrage	4	3
<i>Eau</i>	Peinture d'ombrage	11	8

Tableau 11: Matières nécessaires par kg de tomate pour la structure de la serre

DESCRIPTION	UTILISATION	GENEVE (SERRE)	HOLLANDE (SERRE)
Structure en g / kg de tomate			
<i>Acier</i>	Montants de la serre, câbles, canalisation, gouttière, réservoir d'eau	3.4	3.1
<i>Aluminium</i>	Soutien du toit de la serre, écran thermique (50%)	3.8	3.5
<i>Verre</i>	Vitrage	1.22	1.10
<i>Béton</i>	Socle pour les montants et muret	0.00144	0.00130
<i>PE</i>	Ecran thermique (50%)	0.27	0.25
<i>HDPE</i>	Protection du sol, capillaire	0.57	0.52
<i>Nylon</i>	Ficelle de soutien de la plante	14.0	12.6
Pain de culture en g / kg de tomate			
<i>LLDPE</i>	Emballage plastique	10.6	9.6
<i>Bois</i>	Palette pour le transport	0.11	0.10
<i>Provenance (en km)</i>	Sri Lanka	8'940	12'830

Le Tableau 12 présente les données d'inventaire pour la phase de culture de la tomate. Les hypothèses de travail suivantes ont été retenues :

- a. Fumures pour la culture sous serre : les producteurs genevois et hollandais utilisent des pains de culture et des plantons de tomates aux caractéristiques très similaires. A défaut de données, l'hypothèse a donc été faite que les maraîchers genevois et hollandais apportent des quantités de fumures (N, P₂O₅, K₂O) équivalentes à leurs cultures.
- b. Pain de culture : les producteurs sous serre (*Genève Serre* et *Hollande Serre*) utilisent les mêmes pains de culture (BioGrow Duo).
- c. Phytosanitaires et nettoyage: à défaut de données, les dosages genevois en phytosanitaires et en produits de nettoyage sont conservés pour les scénarios étrangers (tunnel marocain identique au tunnel genevois, serre hollandaise identique à la serre genevoise).
- d. Main d'œuvre : l'hypothèse a été faite que la quantité de main d'œuvre employée dans les serres hollandaises est comparable à celle employée sous serre genevoise¹². Concernant la production sous tunnel, une main d'œuvre 4 à 5 fois plus importante a été considérée pour le scénario *Maroc* sur la base des observations de membres de l'UMG lors d'un récent voyage.

¹² Selon Réf. F, les producteurs hollandais emploient moins de personnel sous contrat, mais plus de travailleurs non déclarés et d'étudiants.

Tableau 12: Flux de matières, d'énergie et main d'œuvre nécessaires à la culture de 1kg de tomate

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)		MAROC (TUNNEL)		GENEVE (SERRE)		HOLLANDE (SERRE)	
Fumures de fond en g/UF								
Nitrate d'ammonium (35%N)	0.7	Réf.F	0	(PNTTA, 1999)	-		-	
Phosphate d'ammonium (11%N et 52%P2O5)	0.6		2.8					
Nitrate de potassium (14%N et 44%K2O)	2.0		3.4					
Fumures additionnelles en g/UF								
Nitrate d'ammonium (35%N)	0.7	Réf.E	2	(PNTTA, 1999)	0	Manuel des légumes	0	Hyp
Phosphate d'ammonium (11%N et 52%P2O5)	0		1.6		1.3		1.0	
Nitrate de potassium (14%N et 44%K2O)	1.6		13.6		1.1		0	
Nitrate de calcium (15.5%N)	0		0		4.2		11.9	
Acide nitrique 50% (11.1%N)	0		0		3.4		3.1	
Eau pour la solution nutritive en mL/UF								
Eau	20'000	Réf.E	55'850	(PNTTA, 1999)	0.0206	Réf.F	0.0185	Hyp.
Phytosanitaires								
Cuivre	-		-		0.08	Réf.F	0.07	Hyp.
Soufre			0.69		0.63			
Addax DG	0.05	Réf.E	0.04	Hyp.				
Amistar	0.020		0.015					
Alliage	0.005		0.004					
Switch	0.010		0.007					
Scala	0.0012		0.0009					
Gazelle	0.005		0.004					
Pegasus	0.015		0.011					
Désinfection du sol en g/UF								
Bromure de méthyle	-		3.9	(PNTTA, 2000)				
Nettoyage en g/UF								
Eau oxygénée	-	Réf.E	-	Hyp.	0.070	Réf.F	0.063	Hyp
Acide nitrique 13%	0.000014		0.000011		0.0019		0.0017	
Javel	0.09		0.07		-	-		
Eau pour le nettoyage	8		6		0.0069	Réf.F	0.0062	Hyp.
Electricité en kWh/UF								
Electricité	-		-		0.2904	Réf.F	0.1661	(Pluimers, 2000)
Energie en MJ/UF								
Mazout	-		-		0.1427	Réf.F	-	(Pluimers, 2000)
Gaz naturel			25.48		30.07			
Main d'œuvre en équivalent 100%								
Main d'œuvre	0.15	Réf.E	0.675	Hyp.	12.2	Réf.F	12.2	Hyp.

Le modèle utilisé pour calculer l'écobilan de la tomate tient compte également des différentes ressources énergétiques utilisées pour produire l'électricité consommée dans chacun des trois pays analysés. La Figure 17 illustre ces différences.

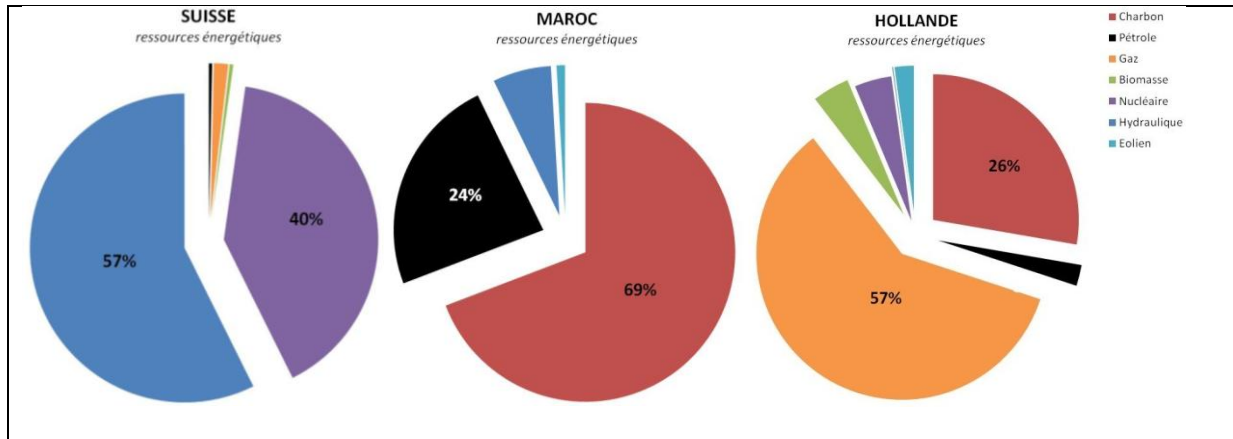


Figure 17: Ressources énergétiques pour les trois pays analysés (Source : IEA, 2005)

4.2.2 Conditionnement

Le Tableau 13 présente les données pour la phase de conditionnement. Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Colis IFCO : le même colis en polypropylène est considéré pour tous les scénarios¹³.
- Energie de conditionnement : à défaut de données, l'hypothèse est faite que les producteurs genevois et hollandais utilisent la même machine pour conditionner leurs tomates. Les besoins en énergie sont donc identiques dans les deux scénarios.
- Energie pour le stockage : l'énergie pour le stockage des tomates (maximum 7 jours avant livraison au client) dans une chambre froide est négligée dans le cadre de cette étude.

¹³ Les colis IFCO sont couramment utilisés pour le transport des produits maraîchers en Suisse. L'entreprise IFCO propose, en effet, un service d'entretien de ses caisses très pratique pour les grands producteurs et distributeurs.

Tableau 13: Flux de matières et d'énergie nécessaires au conditionnement de 1 kg de tomate

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)		MAROC (TUNNEL)		GENEVE (SERRE)		HOLLANDE (SERRE)	
Conditionnement en g / kg de tomate, Source : IFCO (colis), Internet								
<i>Colis IFCO en PP</i>	37.6	IFCO	37.6	IFCO	37.6	IFCO	37.6	IFCO
<i>Palette</i>	6.6		6.6		6.6			
Electricité en kWh/UF								
<i>Electricité</i>	-		-		0.0051	<i>Réf.F</i>	0.0046	<i>Hyp.</i>

4.2.3 Transport jusqu'à l'UMG

Le Tableau 14 présente les distances parcourues par les tomates depuis leurs lieux de production jusqu'à l'UMG¹⁴ (Genève). Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Conditionnement : les tomates sont transportées dans des colis IFCO. Le poids transporté est donc de 1.04kg / kg de tomate fourni au consommateur genevois¹⁵.
- Trajet : pour les scénarios genevois, une distance moyenne de 20 km entre l'exploitation maraîchère et l'UMG a été considérée. Le kilogramme de tomate hollandaise est transporté en camion depuis le centre de la Hollande jusqu'à Genève, tandis que le kilogramme de tomates marocaines transite en camion entre Agadir et Tanger, traverse le détroit de Gibraltar en bateau, et poursuit sa route en camion jusqu'à Genève.
- Energie de réfrigération : le transport des tomates n'est réfrigéré dans aucun des scénarios.

Tableau 14: Estimation des distances parcourues pour le transport de 1 kg de tomate jusqu'à l'UMG (Genève)

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)		MAROC (TUNNEL)		GENEVE (SERRE)		HOLLANDE (SERRE)	
Transport jusqu'à l'UMG en km								
<i>Camion 1</i>	20	<i>Mappy.ch</i>	850	<i>GoogleEarth</i>	20	<i>Mappy.ch</i>	900	<i>GoogleEarth</i>
<i>Bateau</i>			60					
<i>Camion 2</i>	-		1'917	<i>Mappy.ch</i>	-		-	

¹⁴ L'hypothèse a été faite que les tomates arrivaient de l'étranger à l'UMG, même si ce n'est pas forcément toujours représentatif de la réalité.

¹⁵ Ce poids correspond à 1'000g de tomate, 37.5g de colis IFCO et 6.6g de palette.

4.3 Impacts environnementaux de la tomate

Les résultats de l'écobilan de la tomate sont présentés dans un premier temps pour l'ensemble du cycle de vie (en unités de *millipoints* et de *kg- équivalent de CO₂*). Différentes variantes sont présentées pour chaque scénario en faisant varier les paramètres sur lesquels il a fallu émettre des hypothèses, ce qui permet d'apprécier leur sensibilité. Dans un deuxième temps, les résultats sont discutés en détail pour chaque étape du cycle de vie.

4.3.1 Vue d'ensemble des résultats de l'écobilan

La Figure 18 présente les impacts environnementaux en unités de *Points* pour les quatre scénarios étudiés, ainsi que pour les variantes permettant d'évaluer la sensibilité du modèle. La variante "standard", indiquée par une étoile, correspond aux données présentées dans l'analyse de l'inventaire présentée plus haut, et sera la seule retenue pour discuter chaque scénario en détail.

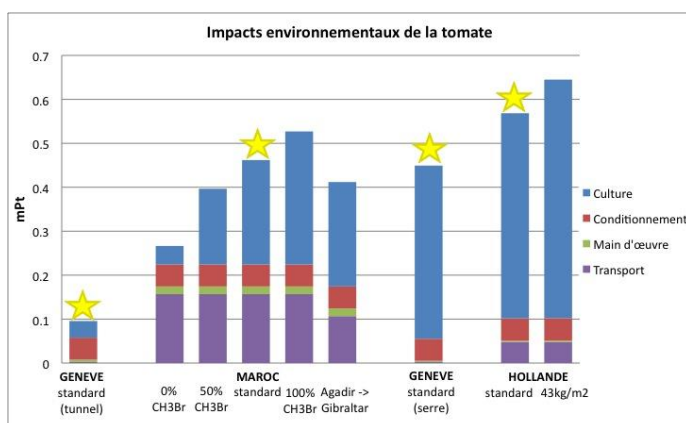


Figure 18: Impacts environnementaux de la tomate produite à Genève, au Maroc et en Hollande (les étoiles indiquent les variantes choisies pour la suite de l'étude)

Plusieurs hypothèses sont suffisamment grossières pour qu'elles vailent la peine d'être testées par l'élaboration de variantes:

- La variante *Hollande 43g/m²* a été trouvée dans la littérature, alors que c'est la variante *Hollande 50 kg/m²* qui a été retenue, correspondant à un rendement de culture plus représentatif de la réalité hollandaise selon l'UMG.
- La variante *Maroc Agadir->Gibraltar* correspond à un transport des tomates en bateau depuis Agadir jusqu'à Gibraltar.

- Les variantes *Maroc 0 %*, *50 %* et *100 % CH₃Br* servent à tester l'effet sur les résultats de l'écobilan, d'une part, de l'application du dosage de bromure de méthyle légalement autorisé au Maroc en l'an 2000 et, d'autre part, l'effet d'une élimination durable de l'utilisation de ce pesticide au Maroc. Le Maroc a, en effet, signé plusieurs accords internationaux¹⁶ visant à l'élimination de l'utilisation du bromure de méthyle d'ici 2015. Bien que d'après les objectifs fixés l'utilisation devrait être à 50 % des doses appliquées en 2000, de récentes observations de l'UMG établissent une utilisation proche de 75 % de cette dose en réalité, qui a été retenue pour le scénario standard.

Les variantes élaborées pour le scénario marocain sont résumées dans le Tableau 15.

Tableau 15: Caractéristiques des 5 variantes testées pour le scénario *Maroc Tunnel*

Variante	Désinfection du sol	Transport
<i>Standard</i>	75 % CH ₃ Br (52.5 g/m ²)	Agadir-Tanger : 800 km Tanger-Gibraltar : 60 km Gibraltar-Genève : 1'917 km
<i>0%CH₃Br</i>	0 % CH ₃ Br (0 g/m ²)	-
<i>50%CH₃Br</i>	50 % CH ₃ Br (35 g/m ²)	-
<i>100%CH₃Br</i>	100 % CH ₃ Br (70 g/m ²)	-
<i>Agadir->Gibraltar</i>	-	Agadir-port de Agadir : 30 km Agadir-Gibraltar: 823 km Gibraltar-Genève : 1'917 km

L'analyse de ces variantes (Figure 18) permet notamment de relever les points suivants :

1. Les impacts environnementaux générés pour produire et fournir 1 kg de tomates au consommateur genevois varient significativement selon le mode de production et l'origine. Le classement des scénarios peut varier selon la variante retenue pour le scénario marocain.
2. Le scénario marocain est le moins connu, et varie beaucoup selon les variantes choisies. L'usage de bromure de méthyle change radicalement le résultat, et il est probable que l'impact de la tomate marocaine diminue avec l'application des traités visant à éliminer cette substance.
3. L'influence du mode de transport au Maroc change le résultat de manière significative, de sorte que de transporter les tomates en bateau sur les longues distances rendrait ce scénario meilleur que le scénario *Genève Serre*.
4. Les deux rendements testés pour la variante hollandaise changent le résultat de 12 %, qui reste supérieur au scénario genevois en serre.

¹⁶ Protocole de Montréal (09.11.92), Convention de Vienne et leurs deux Amendements de Londres et Copenhague (13.12.95) : tous visent l'élimination des substances destructrices de la couche d'ozone (comme le bromure de méthyle).

Les Figure 19 et suivantes présentent les résultats pour les scénarios standards retenus en considérant l'ensemble du cycle de vie. Les résultats sont également discutés selon leur catégorie d'impact ainsi qu'en kg-équivalent CO₂.

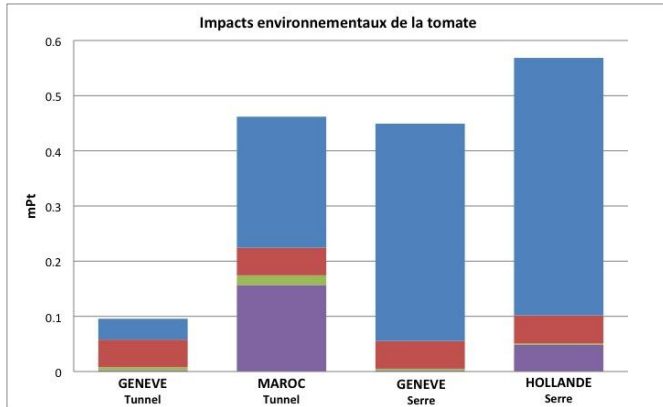


Figure 19: résultats d'écobilan exprimés en points, score unique

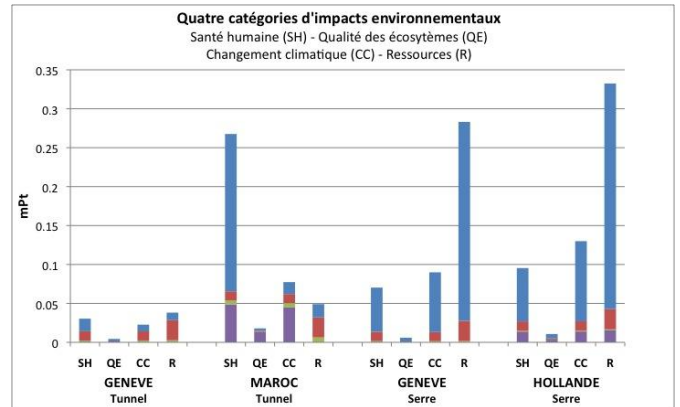


Figure 20: résultats d'écobilan exprimés en points, score par catégorie d'impact

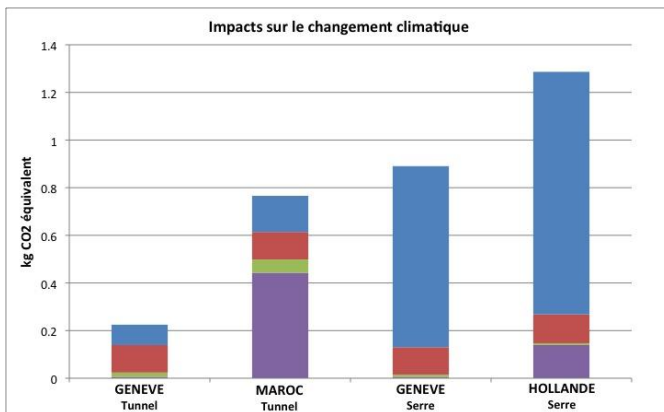
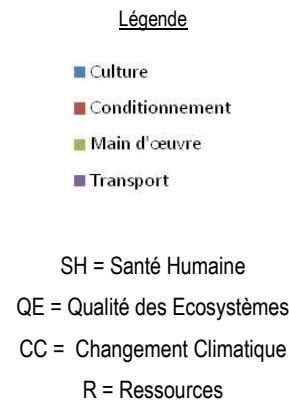


Figure 21: résultats d'écobilan exprimés en kg-équivalent de CO₂



Les figures ci-dessus permettent les observations suivantes:

- L'impact des tomates cultivées sous serres est dominé principalement par le gaz consommé pour chauffer les serres et pour "doper" la photosynthèse en augmentant artificiellement la concentration de CO₂.
- Entre les deux scénarios sous tunnel, l'utilisation du bromure de méthyle, ainsi que les longues distances parcourues en camion, expliquent l'importante différence avec le scénario genevois.
- La différence entre les deux scénarios sous serre s'explique d'abord par une plus grande quantité de gaz consommée en hollande et par le transport.

- L'impact du conditionnement est relativement élevé en comparaison aux autres phases du cycle de vie. Cela provient notamment des nombreux matériaux d'emballage qu'il faut gérer comme déchets.

Les résultats exprimés en kg-équivalent CO₂ permettent d'obtenir une bonne indication de l'impact sur le changement climatique:

- L'empreinte carbone d'un kg de tomates varie d'environ 200 grammes pour une tomate genevois sous tunnel à près de 1.5 kg pour la tomate hollandaise! Par comparaison, rouler 1 km en voiture émet environ 180 grammes de CO₂.
- La comparaison entre les deux scénarios sous tunnel montre la plus grande quantité d'énergie consommée dans le scénario marocain pour la phase de production, notamment dû à l'énergie de pompage de l'eau.
- La phase de transport au Maroc correspond à plus de la moitié de l'impact carbone de la tomate marocaine.
- Les deux scénarios de culture sous serre mettent en évidence l'impact ajouté par l'utilisation de gaz pour cultiver des tomates hors saison.

La distribution entre les quatre catégories d'impacts met en évidence:

- Le problème lié à l'utilisation du bromure de méthyle dans le scénario marocain, qui génère un fort impact sur la santé humaine.
- L'utilisation de gaz pour produire des tomates hors saison constitue plus un problème d'épuisement des ressources qu'un problème de changement climatique.
- Les impacts sur la santé humaine sont en général liés aux émissions de NO_x, de SO_x et de particules fines lors de la combustion d'énergies fossiles.

4.3.2 Culture de la tomate

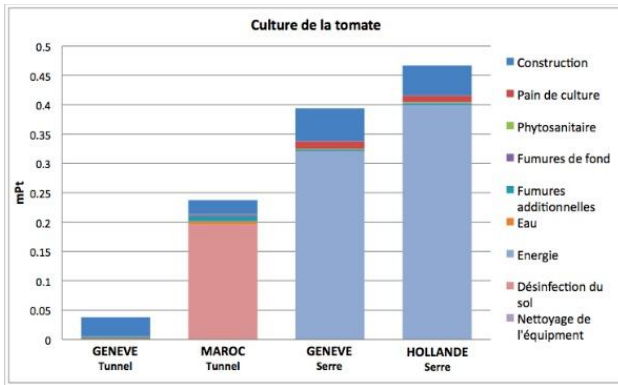


Figure 22: résultats d'écobilan pour la phase de culture de la tomate

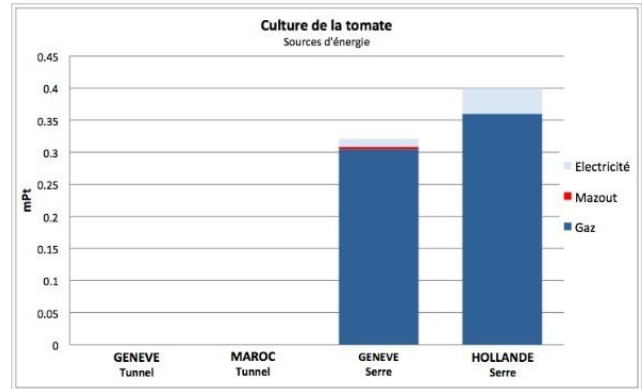


Figure 23: résultats d'écobilan pour l'utilisation d'énergie pour la culture de la tomate

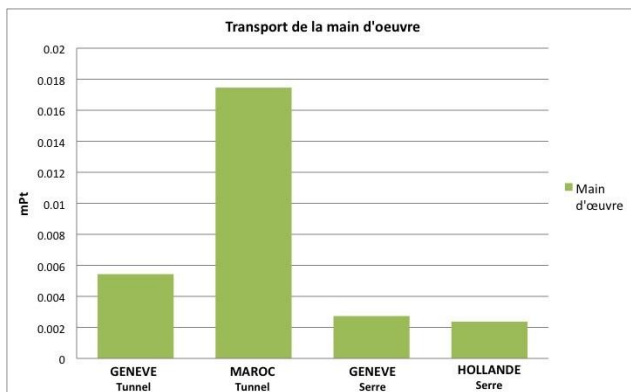


Figure 24: résultats d'écobilan pour le transport de la main d'oeuvre

Le détail des résultats d'écobilan montre bien que:

- Pour la phase de culture, l'utilisation du bromure de méthyle à elle seule désavantage le scénario marocain par rapport à une culture sous tunnel à Genève. Il est probable que la phase de culture au Maroc devienne équivalente à la phase de culture à Genève lorsque ce produit sera complètement banni.
- L'utilisation du gaz pose le principal problème pour la culture de tomates sous serre. L'importance de cet impact est telle qu'il conviendrait de chercher d'autres solutions.
- L'impact lié à la main d'oeuvre est directement lié au rendement (sauf pour le scénario marocain), mais reste insignifiant comparé à l'impact total de la phase de production
- La construction des serres constitue la deuxième source d'impact après l'utilisation de gaz.
- L'impact lié aux fumures et aux produits phytosanitaires est négligeable, notamment grâce à l'arrosage au goutte à goutte et au recyclage de l'eau dans les serres.

4.3.3 Conditionnement

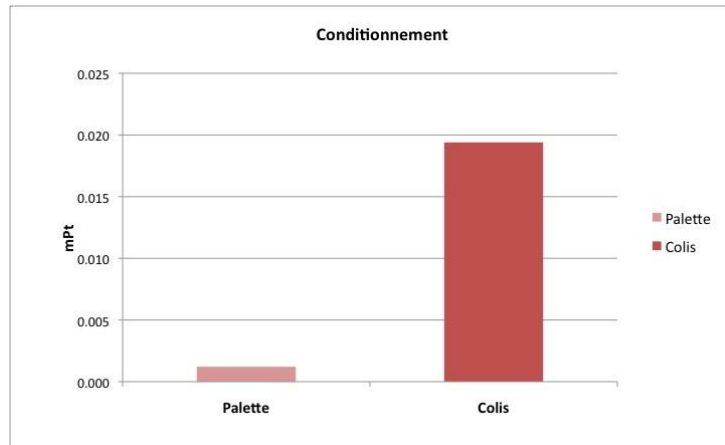


Figure 25: résultats d'écobilan pour le conditionnement de la tomate

L'impact lié au conditionnement provient principalement de la fabrication du colis en polypropylène. La même hypothèse ayant été posée pour tous les scénarios, il n'est pas possible de comparer les scénarios pour cette phase. Néanmoins, devant l'importance de l'impact lié au colis, comparé à la palette, il est pertinent de se demander si un matériau alternatif ne pourrait pas remplacer le plastic pour le colis.

Cette question nécessiterait d'être étudiée plus en détail, étant donné que le bilan environnemental des matériaux d'emballage dépend en grande partie de leur gestion en fin de vie.

4.3.4 Transport

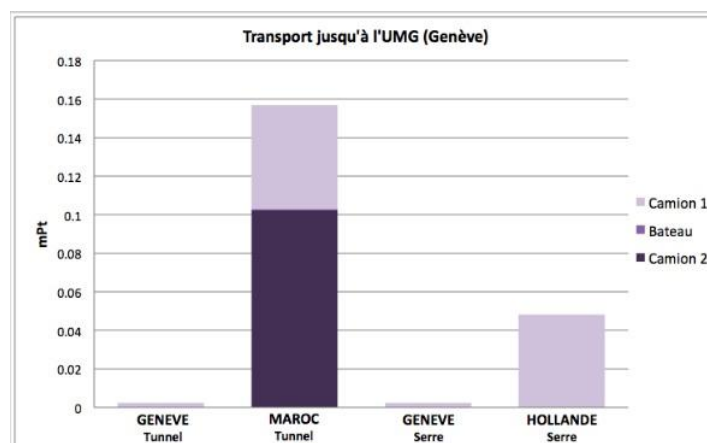


Figure 26: résultats d'écobilan pour le transport de la tomate jusqu'à l'UMG à Genève

Pour une culture égale, le transport pénalisera toujours un scénario étranger, d'autant plus que les tomates sont transportées par camion, même depuis le Maroc. L'impact lié au transport pourrait être réduit dans le cas du

Maroc si les tomates étaient transportées en bateau. Néanmoins, cette composante pénalisera toujours les scénarios étrangers, quelque soit le mode de transport.

4.4 Conclusions et Recommandations

Le calendrier cultural (Tableau 16) indique que:

- La tomate sous tunnel genevois est protégée par les barrières douanières pour la rendre compétitive par rapport à la tomate cultivée sous serre en Hollande.
- La tomate marocaine entre en compétition avec la tomate genevoise sous serre durant 5 des 8 mois de production.
- La tomate genevoise et hollandaise cultivée sous serre sont en compétition directe.

Tableau 16: Période de récolte selon le scénario considéré ainsi que période de protection douanière (phase gérée) ; la phase de croissance du plant est estimé à 3 mois pour tous les scénarios

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GENEVE Tunnel												
MAROC Tunnel												
GENEVE Serre												
HOLLANDE Serre												
<i>Protection douanière en Suisse</i>												

Les résultats d'écobilan ont montré la meilleure performance environnementale de la culture sous tunnel à Genève, ce qui justifie la protection douanière durant la saison de la tomate suisse.

Le problème réside principalement dans le fait que les rendements sous tunnels sont au moins 4 fois plus faibles que sous serre, et que seul le Maroc peut se montrer compétitif grâce à une main d'œuvre bon marché. Il est donc peu réaliste d'imaginer se passer de la culture sous serre, malgré son coût environnemental élevé.

La priorité doit donc se porter sur la réduction de l'utilisation de gaz pour la culture sous serre. Le gaz est utilisé d'une part pour chauffer les serres en début et fin de période culturale et durant la nuit, et d'autre part pour "doper" la photosynthèse en augmentant artificiellement le taux de CO₂ dans l'environnement immédiat des plants de tomate. Il est possible de diminuer cet impact en faisant preuve d'innovation et en cherchant des sources de chaleur et de CO₂ émises dans le voisinage des serres. Soit ces sources d'émissions existent déjà, et il s'agit alors d'étudier les coûts et la faisabilité de leur transport vers les serres. Soit la situation géographique des serres genevoises ne permet pas de bénéficier de telles synergies, et il conviendrait alors d'étudier quelles

activités complémentaires permettraient de récupérer la chaleur et le gaz carbonique nécessaires à la culture de tomates tout en évitant la combustion de gaz.

Aussi, la période de production au Maroc est pour l'instant complémentaire au tunnel genevois, et fait concurrence aux serres genevoises. Une fois que le bromure de méthyle aura été éliminé, sa performance environnementale et son prix attractif constitueront deux arguments de poids contre la tomate genevoise cultivée sous serre. Il est toutefois permis de douter de cette amélioration hypothétique de la tomate marocaine, l'élimination progressive du bromure de méthyle étant déjà retardée par rapport aux engagements pris par le Maroc. De plus, il semblerait que le développement du secteur de la tomate au Maroc n'aille pas dans le sens d'une pression réduite sur l'environnement : d'une part, le secteur se développe fortement dans la région de Dakhla, où l'eau est rare et se trouve dans des réserves géologiques profondes. D'autre part, on assiste à l'apparition de cultures sous serres, impliquant une consommation de gaz inexistante pour le moment, qui alourdirait l'écobilan de la tomate marocaine, même si cela permettait l'élimination du bromure de méthyle.

La comparaison entre le tunnel genevois et marocain est néanmoins limitée par les méthodes d'évaluation appliquées: d'une part, de nombreux impacts ne sont pas considérés dans l'approche écobilan, tels que la rareté de l'eau, la qualité du sol, et l'influence du type de sol sur l'impact des phytosanitaires et des fumures. D'autre part, les médias ont souvent soulevé la question des conditions sociales de l'agriculture intensive au Maroc, qu'il conviendrait de prendre en compte dans la comparaison avec les scénarios locaux. Il serait d'ailleurs essentiel de combiner les résultats de l'écobilan à des critères d'évaluation prenant en compte les aspects sociaux et économiques avant d'établir des conclusions définitives en faveur de tel ou tel scénario.

En effet, s'il est possible de diminuer l'impact lié à la consommation de gaz dans les serres genevoises, et de quantifier l'impact positif social et économique de la tomate genevoise, l'agriculture locale aura de bons arguments pour convaincre le consommateur responsable de préférer un produit de proximité, tout en ajoutant de la valeur à sa production.

5 CONCLUSION GENERALE

L'application de la méthodologie ACV pour évaluer et comparer des scénarios de production de vin et de tomates permet de tirer certaines conclusions tout en mettant les limites de l'approche en évidence. Les principales conclusions de cette étude sont:

Pour le vin:

- Le paramètre environnemental clé mis en évidence par la comparaison est le transport depuis l'étranger vers Genève. En effet, l'impact lié au transport d'une bouteille de vin désavantage les scénarios étrangers quelle que soit la technique agricole adoptée.
- L'impact principal du cycle de vie d'une bouteille de vin provient du contenant et non du contenu! En effet, l'énergie nécessaire pour fabriquer une bouteille est largement supérieure à celle nécessaire pour faire pousser 1 kg de raisin.
- Il est difficile de se prononcer entre la biodynamie et la production intégrée dans une perspective d'analyse de cycle de vie. Il est nécessaire de compléter l'étude par les aspects mal maîtrisés et ignorés dans cette approche afin de mettre en avant les différences d'impacts environnementaux entre les deux pratiques.

Pour la tomate:

- D'une manière générale, la phase de culture sous tunnel, malgré son moins bon rendement, présente un meilleur écobilan que la culture sous serre. Cet avantage est flagrant dans le cas genevois, où le bromure de méthyle est interdit.
- La tomate étant un produit de saison, le scénario comportant la meilleure performance environnementale dépend de la saison. En effet, la tomate genevoise cultivée sous tunnel présente un meilleur écobilan en été par rapport à tous les autres scénarios. En hiver, la comparaison est plus compliquée, étant donné que la tomate marocaine présente potentiellement un meilleur écobilan que les deux scénarios sous serre, y compris la genevoise.
- Les scénarios sous serre sont largement désavantagés par la consommation de gaz utilisée pour chauffer les serres et pour "doper" la photosynthèse. Les possibilités de diminuer cet impact en faisant preuve d'innovation permettraient d'améliorer le score environnemental de la tomate genevoise sous serre par rapport au scénario marocain.

Cette étude a également permis de mettre en évidence certaines limites de l'approche ACV lorsque appliquée aux produits agricoles :

Pour les deux scénarios, l'impact de la diffusion des produits phytosanitaires et des fumures dans l'environnement est mal maîtrisé. En effet, les effets écotoxicologiques de ces produits dépendent des conditions locales et peuvent donner des résultats aberrants lorsque les facteurs d'impact des bases de données sont utilisés, comme l'a montré l'exemple du cuivre pour le vin.

D'une manière générale, l'ACV ne prend pas en compte les spécificités locales non plus pour la consommation de ressources, de sorte que l'impact lié à la consommation de l'eau au Maroc ou en Espagne est uniquement fonction de la quantité et de la profondeur, mais pas de sa rareté.

De plus, les impacts sur la biodiversité, la structure du sol et les impacts indirects tels que l'infiltration d'eau qui y sont liés nécessitent pour le moment d'être étudiés en combinant d'autres méthodologies.

Ces derniers points forcent à prendre les résultats d'une analyse de cycle de vie pour des produits agricoles avec beaucoup de prudence. En effet, ces aspects sont au coeur des préoccupations environnementales liées à l'agriculture, de sorte qu'un avis ne peut être pris sur la base d'un écobilan seul.

Finalement, il serait intéressant d'inclure les aspects sociaux et économiques, d'entretien du paysage, d'identité culturelle, notamment pour les scénarios des pays en voie de développement (Maroc et Chili).

6 BIBLIOGRAPHIE

Manuel des légumes 2008

ADEME (2007) **Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres, Situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs (Synthèse)**, ADEME Angers - FR

Antón A, JI Montero and P Munoz (2005) **LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses**, Agricultural Resources Governance and Ecology, vol.4, n°2, pp.102-112

Aranda A (2008) **Eco-Efficiency Improvement in the Wine Production Sector by Implementation of LCA Methodology**, CIRCE – University of Zaragoza, Zaragoza - ES

Ardente F *and al.* (2006) **POEMS : A Case Study of an Italian Wine-Producing Firm**, Environmental Management, vol.38, n°3, pp.350-364

Baur R, W Heller et R Neuweiler (2008) **Produits phytosanitaires pour Tomates sous abris 2008**, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Baur R et W Heller (2008) **Produits phytosanitaires contre maladies et ravageurs généraux 2008**, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Costa JM et E Heuvelink (2000) **Greenhouse horticulture in Almeria (Spain): report on a study tour 24-29 January 2000**, Horticultural Production Chains Group, Wageningen - NL

De Halleux D (2005) **Chauffer à moindres coûts**, Colloque sur la serriculture, 29 sep. 2005, Montréal-Longueuil – CA

Delabays N (2007) **Utilisation des herbicides en viticulture**, intervention lors de la Formation continue Vitival à Sierre le 14 mai 2007, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Delabays N, Ch Linder *et al.* (2008) **Index phytosanitaire pour la viticulture 2008**, OFEV

DGA (2006) **Contrôle de la vendange 2005 – Statistique de l'encavage de 1987 à 2006**, Direction Générale de l'Agriculture (anciennement, Service cantonal de l'Agriculture), Genève

EDP (2008) **Bottled red sparkling wine « Grasparròssa Righi »**, validated environmental product declaration n°S-P-00109, rev. March 2008

Heuvelink E (2005) **Tomatoes**, CABI Publishing, Oxfordshire – UK

Humbert S, Margni M *and al.* (2007) **Toxicity assessment of the main pesticides used in Costa Rica**, Agricultural, Ecosystems and Environment 118, pp.183-190

INRA (2005) **Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux**, expertise scientifique collective (INRA & Cemagref), France

Le Maraîcher (2006) **Tomates à grappes : Recherche de variétés tolérantes aux basses températures**, par A.Granges *et al.*, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Le Maraîcher (2007) **Serres et énergie : les solutions à l'étude en France et aux Pays-Bas**, par C.Gilli, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Le Maraîcher (2007) **Technique culturale : la désinfection des serres étape par étape**, par C.Gilli, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Le Maraîcher (2008) **Culture sous serre : pas d'avenir sans technologie**, par C.Gilli, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Le Maraîcher (2008) **Tomates et concombres : Quelques résultats d'essais obtenus en France en 2007**, par A.Granges *et al.*, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Neuweiler R (2008) **Remarques générales sur la lutte contre les adventices 2008**, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Pluimers JC *and al.* (2000) **Quantifying the environmental impact of production in agriculture and horticulture in The Netherlands : which emissions do we need to consider ?**, *Agricultural Systems* 66, pp.167-189

PNTTA (1999) **Fiche technique Tomate sous serre**, Fiche technique n°57, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat – MA

PNTTA (2000) **Alternatives au Bromure de Méthyle dans la désinfection du sol en culture de tomate sous serre**, Fiche technique n°71, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat – MA

Ruegg A, R Baur *et al.* (2007) **Produits phytosanitaires en cultures maraîchères : Dosage et volume d'eau**, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (Suisse)

Scettrini A et G Jelmini (2004) **Test de différents substrats pour la culture hors sol de la tomate**, Agroscope RAC Changins

SOFIES (2008) **Participation d'un ingénieur SOFIES à la 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector (Zürich, 12-14 novembre 2008)**, Compte-rendu de la conférence, Genève

www.psa.blw.admin.ch (OFAG, phytosanitaires, dernière visite : janvier 2009)

http://www.alanwood.net/pesticides/class_pesticides.html (dernière visite : janvier 2009)

<http://www.vinenvrac.ca> (dernière visite : janvier 2009)

http://www.studentsoftheworld.info/menu_infopays.html (dernière visite : janvier 2009)

<http://www.pallette-europe.com> (dernière visite : janvier 2009)

<http://www.bio-grow.com> (dernière visite : janvier 2009)

<http://www.ifco.ch> (dernière visite : janvier 2009)

7 ANNEXES

7.1 Détail de l'inventaire du vin rouge

L'inventaire du vin rouge est détaillé, lorsque nécessaire, ci-dessous afin de justifier les valeurs indiquées dans les tableaux de l'analyse de l'inventaire de la production de vin.

7.1.1 Production du raisin

7.1.1.1 Fumures minérales

Le Tableau 17 décrit les besoins en fumures minérales pour chaque scénario. Seules les fumures N, P₂O₅ et K₂O sont prises en compte dans cette étude.

Tableau 17: Besoins en fumures minérales de la vigne

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)		GENEVE (PI)		CHILI		ESPAGNE	
Fumures minérales en kg/(ha.an)								
<i>Apports en N</i>	0	Réf.B	50	Agridea	30	Réf.C	30	LifeSinergia
<i>Apports en P₂O₅</i>	0		20		0		20	
<i>Apports en K₂O</i>	0		75		50		80	

Les besoins genevois se basent sur les normes Agridea. Ceux des espagnols se basent sur une publication de *LifeSinergia*¹⁷ qui, dans le cadre de cette étude, est considérée comme une norme espagnole. Les besoins chiliens se basent quant à eux sur les valeurs fournies par le Réf.C.

Selon AgriGenève, les besoins d'une culture en PI à Genève sont bien en-dessous de la norme Agridea (Tableau 18). Comme hypothèse, il a été décidé de corriger les besoins espagnols de façon à obtenir des valeurs plus réalistes (supposément plus faibles que la norme espagnole). Afin que la comparaison des quatre scénarios soit

¹⁷ Programme espagnol, soutenu par la Commission Européenne, visant la définition et la mise en application de techniques de production vitivinicoles respectueuses de l'environnement en vue d'optimiser les ressources et de minimiser l'impact environnemental lié au cycle de vie du vin de la région de La Rioja (www.lifesinergia.org).

consistante les mêmes facteurs de correction ont été appliqués aux besoins chiliens. Les facteurs de correction sont calculés grâce à la comparaison des valeurs Agridea et des valeurs réellement appliquées à Genève :

- pour l'azote : $5/50 = 0.1 = 10\%$ (5=besoins genevois en N, 50=besoins selon la norme Agridea) ;
- pour le phosphore : $2.1/20 = 0.105 = 10.5\%$; et,
- pour le potassium : $9.2/75 = 0.123 = 12.3\%$.

On obtient ainsi les besoins espagnols et chiliens suivants :

Tableau 18 Besoins corrigés en fumures minérales de la vigne

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)		GENEVE (PI)		CHILI		ESPAGNE	
Fumures minérales en kg/(ha.an)								
<i>Apports en N</i>	0	Réf.B	5	AgrifGenève	3	Hyp.	3	Hyp
<i>Apports en P₂O₅</i>	0		2.1		0		2.1	
<i>Apports en K₂O</i>	0		9.2		6.15		9.8	

La modélisation sur le logiciel SimaPro permet l'utilisation des fertilisants minéraux suivants :

- nitrate d'ammonium (35% de N) ;
- phosphate d'ammonium (11% de N et 52% de P₂O₅) ; et,
- sulfate de potassium (50% de K₂O).

Les dosages de fertilisants appliqués pour chaque scénario sont regroupés dans le Tableau 19.

Tableau 19: Dosages de fertilisants utilisés pour satisfaire les besoins de la vigne en [kg/(ha.an)]

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)	GENEVE (PI)	CHILI	ESPAGNE
<i>Nitrate d'ammonium</i>	0	13.02	8.57	7.30
<i>Phosphate d'ammonium</i>	0	4.04	0	4.04
<i>Sulfate de potassium</i>	0	18.40	12.30	19.60

Ces valeurs sont obtenues au moyen de l'équation suivante :

$$\frac{D_{fum.min}}{\eta_{vigne}} \text{ en kg/bouteille de vin rouge}$$

Avec :

$D_{fum.min}$, le dosage en fertilisant ; et,

η_{vigne} , le rendement de production de la vigne pour le scénario étudié.

7.1.1.2 Phytosanitaires

Le Tableau 20 décrit les dosages de phytosanitaires appliqués pour chaque scénario. Les dosages utilisés à Genève ont été validés par comparaison avec les dosages indiqués dans l'*Index phytosanitaire pour la viticulture 2008*.

Tableau 20: Dosages (et concentration) de produits phytosanitaires appliqués sur la vigne

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)	GENEVE (PI)	CHILI	ESPAGNE
Phytosanitaires en kg/(ha.an), entre parenthèse la concentration du produit				
Cuivre	4	4	-	2
Soufre	35	37	16	8
Switch	-	1.2 (0.1%)	-	-
Amarel Folpet	-	2.1 (0.15%)	-	-
Teldor	-	1 (0.125%)	-	-
Cantus	-	0.9 (0.1%)	-	-
Cyrano	-	3	-	-
Folpet	-	2	-	-
Roundup	-	3.3	0.5	-
Basta	-	1	-	-
Chikara	-	0.04	-	-
Pledge	-	0.8	-	-

Ces valeurs sont obtenues au moyen de l'équation suivante :

$$\frac{D_{phyto} \cdot \beta_{phyto}}{\eta_{vigne}} \text{ en kg/bouteille de vin rouge}$$

Avec :

D_{phyto} , le dosage en produit phytosanitaire (à multiplier par la concentration lorsqu'elle est fournie) ;

β_{phyto} , le nombre de traitement moyen par année. Le nombre de traitement moyen par année a été calculé sur la base des données fournies par les différents référents. Ce coefficient est présenté pour chacun des pesticides modélisé; et,

η_{vigne} , le rendement de production de la vigne du scénario étudié.

Tableau 21: Coefficient β représentant le nombre moyen de traitement par année

DESCRIPTION	COEF. β	DESCRIPTION	COEF. β
<i>Cuivre</i>	1	<i>Cyrano</i>	0.08
<i>Soufre</i>	1	<i>Folpet</i>	11
<i>Switch</i>	0.25	<i>Roundup</i>	Genève: 0.42 Chili : 1
<i>Amarel Folpet</i>	0.08	<i>Basta</i>	0.29
<i>Teldor</i>	0.17	<i>Chikara</i>	0.13
<i>Cantus</i>	0.42	<i>Pledge</i>	0.17

7.1.1.3 Usage du tracteur

L'usage du tracteur, c'est-à-dire le nombre de fois où le tracteur passe sur le vignoble, a été défini en accord avec les informations fournies par les référents et, dans le cas du scénario « Genève P.I. », en accord avec les données fournies par Agridea. La modélisation de l'usage du tracteur tient compte de sa durée de vie mais pas du nombre de lignes pouvant être traitées à la fois, une hypothèse représentative étant définie pour le nombre de lignes traitées à la fois. Une étude de sensibilité de l'usage du tracteur a été étudiée et présentée dans le rapport afin d'évaluer les faiblesses du modèle.

Pour chaque scénario, l'usage qui est fait du tracteur est détaillé dans le Tableau 22. Les vendanges sont partiellement effectuées à la main dans la production intégrée à Genève ainsi qu'au Chili, raison pour laquelle le nombre de passages avec le tracteur est inférieur à 1.

Tableau 22: Description des différents usages du tracteur dans la vigne

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)	GENEVE (PI)	CHILI	Espagne				
Usage du tracteur en nombre de passage								
<i>Application fumures/tisanes</i>	3	Réf.B	1	Agridea	0	Réf.C	0	Réf.D
<i>Description</i>	3 biodynamies		1 fumure		0 fumure car fertigation		0 fumure car fertigation	
<i>Traitements phytosanitaires</i>	10		10		6		2	
<i>Description</i>	10 fongicides		8 fongicides, 2 herbicides		4 fongiques, 2 herbicides		2 fongiques	
<i>Autres travaux</i>	9	5.6	4.5	4.5				
<i>Description</i>	2 cisailages, 4 désherbages, 3 tonte&broyage	1 prêtaille, 2 cisailages, 2 désherbages, 0.6 vendange	1 taille, 2 cisailages, 1 tonte 0.5 vendange	2 cisailages, 1 désherbage, 1 tonte 0.5 vendange				

7.1.1.4 Main d'œuvre

La main d'œuvre nécessaire pour effectuer le travail de la vigne est présentée dans le Tableau 23 pour chaque scénario. Elle a été estimée d'après les informations fournies par les référents et la DGA. L'unité « équivalent 100% par ha » correspond à une personne travaillant à plein temps, c'est-à-dire 2'200 heures par année (48 heures par semaine, 46 semaines par an) pour les scénarios genevois et 1'920 heures par année (40 heures par semaine, 48 semaines par an) pour les scénarios étrangers.

Par manque d'informations pour le scénario *Espagne*, la même force de main d'œuvre qu'à Genève a été retenue (2 équivalents plein temps pour un vignoble de 6ha). Pour tous les scénarios, l'hypothèse de travail retenue est que les ouvriers se déplacent en moyenne 5 jours par semaine sur le vignoble.

Selon l'Office cantonal des statistiques, la grande majorité des déplacements en voiture conducteur à Genève est de 10km en moyenne (microrecensement de 2005). Cette valeur a donc été choisie comme distance parcourue par l'ouvrier pour se rendre sur le vignoble dans les 4 scénarios étudiés.

Tableau 23: Main d'œuvre nécessaire au travail de la vigne

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)		GENEVE (PI)		CHILI		ESPAGNE	
Main d'œuvre en équivalent 100% par ha								
Main d'œuvre	0.53	Réf.B	0.34	DGA	0.40	Réf.C	0.34	Hyp.
Commentaires des référents	-		536h/ha (Agridea)		560h/ha, (travail effectué à la main : taille 1'000plants/pers/js, vendages 1'000kg/pers/js)		-	
Distance parcourue pour se rendre sur la vigne (aller simple)	10km		10km		10km		10km	
						Réf.C		Hyp.
km parcourus par 1 éq.100% par ha et par an	10km*2*5js/sem*46sem/an=4'600km				10km*2*5js/sem*48sem/an=4'800km			

7.1.2 Vinification

7.1.2.1 Cuve

Le Tableau 24 présente les caractéristiques des cuves modélisées dans l'étape de vinification du vin.

Tableau 24: Caractéristique de la cuve nécessaire lors de la vinification du vin

DESCRIPTION	GENEVE (BIODYNAMIE)		GENEVE (PI)		CHILI		ESPAGNE	
Cuve								
Contenance	1'000L	Réf.B	3'000L	Réf.A	50'000L	Réf.C	5'000L	Hyp.
Dimensions estimées (diamètre x hauteur x épaisseur)	1m x 1.3m x 2mm		1.1m x 3.2m x 2mm		2m x 15.9m x 2mm		1.5m x 2.8m x 2mm	
Volume d'acier	0.0160m ³		0.0436m ³		0.3998m ³		0.0533m ³	

Pour obtenir la quantité d'acier nécessaire par unité fonctionnelle, l'équation suivante a été appliquée :

$$\frac{V_{acier} \cdot \rho_{acier} \cdot 0.75}{d \cdot contenance} \text{ en kg/bouteille de vin rouge}$$

Avec :

V_{acier} , le volume d'acier en m³ ;

ρ_{acier} , la densité de l'acier (7'700 kg/m³) ;

0.75, le facteur de correction pour obtenir la valeur correspondant à l'unité fonctionnelle (75cl de vin rouge) ;

d est la durée de vie de la cuve (40 ans pour tous les scénarios), et

contenance est la contenance en litres de la cuve.

7.1.2.2 Eau pour la vinification

Selon *Agridea*, les besoins en eau d'une cave (essentiellement pour le nettoyage de la cave et de ses équipements) sont de 9L par litre de vin produit. L'hypothèse a été faite que les besoins dans les caves chiliennes et espagnoles sont identiques.

Pour obtenir la consommation en eau par unité fonctionnelle, l'équation suivante a été appliquée :

$$W_{CH} \cdot 0.75 \text{ en kg/UF}$$

Avec :

W_{CH} , l'eau consommée par la cave (9kg par litre de vin produit) ;

0.75, le facteur de correction pour obtenir la valeur correspondant à l'unité fonctionnelle (75cl de vin rouge).

7.1.2.3 Energie pour le pressurage et la vinification

Selon les *Frais généraux œnologiques de 2007*¹⁸, les besoins en énergie pour le pressurage et la vinification sont de 1.25kWh¹⁹ par hL pour une exploitation produisant plus de 2'000hL par an. La vinification du vin à Genève se fait pendant les mois de novembre et de décembre suite aux vendanges d'octobre. Après la fermentation malolactique, le vin nécessite d'être refroidi. Le vigneron-encaveur genevois ouvre alors grand les portes de sa cave afin que la température extérieure (4°C en moyenne à Genève) participe au refroidissement de ses cuves lui permettant d'économiser quelques kWh sur sa consommation en énergie.

Il en va tout autrement au Chili et en Espagne où la vinification se fait, respectivement, de mars à juillet (vendanges entre février et mai) et de septembre à novembre (vendanges de août à septembre)²⁰. La température moyenne lors de vinification est alors de 12°C au Chili et de 15°C en Espagne²¹. Dans ces deux pays, les vigneron-encaveurs ne pourront naturellement pas profiter d'un climat froid pour diminuer leur consommation en énergie pendant la phase de vinification.

N'ayant pas de données à disposition concernant les consommations énergétiques des caves chilienne et espagnole, il a été décidé de les estimer en corrigeant les besoins genevois grâce aux températures moyennes

¹⁸ Informations fournies par Agridea (Mme Wirthner, resp.viticulture) par communication téléphonique.

¹⁹ Ce qui correspond à 5.4CHF par hL (prix du kWh sur la période 2000-2007 : 0.2313CHF).

²⁰ Ces informations ont été fournies par les différents référents.

²¹ Source : http://www.studentsoftheworld.info/menu_infopays.html

extérieures de ces deux pays pendant la phase de vinification. Pour obtenir les besoins énergétiques par unité fonctionnelle, l'équation suivante a été appliquée :

$$\frac{E_{CH} \cdot \xi \cdot 0.75}{100} \text{ en kWh/UF}$$

Avec :

E_{CH} , l'énergie consommée pour la vinification à Genève (1.25kWh par hL) ;

ξ , le facteur de correction pour la température extérieure moyenne lors de la phase de vinification (1 pour Genève, 3 pour le Chili et 3.76 pour l'Espagne) ;

0.75, le facteur de correction pour obtenir la valeur correspondant à l'unité fonctionnelle (75cl de vin rouge) ; et,

$\frac{1}{100}$, le facteur de correction pour obtenir l'énergie consommée en kWh par L de vin.

7.1.3 Mise en bouteille et stockage

7.1.3.1 Emballage

Le poids du carton d'emballage a été estimé à 200gr, sa durée de vie à 1 an et sa contenance à 6 bouteilles de 75cl. On obtient ainsi, par unité fonctionnelle, $0.2/(1*6)=0.033\text{kg/UF}$ de carton.

Le poids d'une palette EUR est de 30kg²², sa durée de vie de 6ans et l'hypothèse a été faite que l'on pouvait empiler dessus 58 cartons de 6 bouteilles. On obtient ainsi, par unité fonctionnelle, $30/(6*58*6)=0.0144\text{kg/UF}$ de palette.

7.1.3.2 Energie pour la mise en bouteille

Selon les *Frais généraux œnologiques de 2007*, les besoins en énergie pour la mise en bouteille du vin sont de 0.22kWh²³ par 100 bouteilles de 75cl, pour une exploitation produisant plus de 2'000hL par an. L'hypothèse a été faite que les mêmes technologies sont utilisées à Genève, au Chili et en Espagne pour effectuer la mise en bouteille du vin et que donc, la mise en bouteille nécessite la même quantité d'énergie dans ces trois pays.

Pour obtenir les besoins énergétiques par unité fonctionnelle, l'équation suivante a été appliquée :

$$\frac{E_{CH}}{100} \text{ en kWh/UF}$$

²² www.palette-europe.com

²³ Ce qui correspond à 1.73CHF par hL (prix du kWh: 0.2313CHF).

Avec :

E_{CH} , l'énergie consommée pour la mise en bouteille du vin (0.22kWh par 100 bouteilles de 75cl) ;

$\frac{1}{100}$, le facteur de correction pour obtenir l'énergie consommée en kWh par bouteille de 75cl.

7.1.3.3 Energie pour le stockage

Selon les *Frais généraux œnologiques de 2007*, les besoins en énergie pour le stockage au frais sont de 0.40kWh²⁴ par hL pour une exploitation produisant plus de 2'000hL par an. Ne disposant pas d'informations plus détaillées afin d'estimer la consommation en énergie nécessaire pour stocker le vin pendant 7 mois (comme demandé par le mandant), les impacts environnementaux seront évalués pour un stockage du vin d'une durée de 1 an.

Comme pour l'énergie de pressurage et vinification, à défaut de données pour le Chili et l'Espagne, il a été choisi d'estimer les besoins énergétiques pour le stockage du vin dans ces deux pays en corrigeant les besoins genevois grâce aux températures annuelles moyennes (Tableau 25).

Tableau 25: Température annuelle moyenne à Genève, au Chili et en Espagne

	GENEVE	CHILI	ESPAGNE
Température en °C	10.4°C	14.5°C	14.2°C

Pour obtenir les besoins énergétiques par unité fonctionnelle, l'équation suivante a été appliquée :

$$\frac{E_{CH} \cdot \xi \cdot 0.75}{100} \text{ en kWh/UF}$$

Avec :

E_{CH} , l'énergie consommée annuellement pour le stockage au frais du vin à Genève (0.40kWh par hL) ;

ξ , le facteur de correction pour la température annuelle moyenne (1 pour Genève, 1.40 pour le Chili et 1.37 pour l'Espagne) ;

0.75, le facteur de correction pour obtenir la valeur correspondant à l'unité fonctionnelle (75cl de vin rouge) ; et,

$\frac{1}{100}$, le facteur de correction pour obtenir l'énergie consommée en kWh par L de vin.

²⁴ Ce qui correspond à 1.73CHF par hL (prix du kWh: 0.2313CHF).

7.1.3.4 Ecobilan de la production d'une bouteille

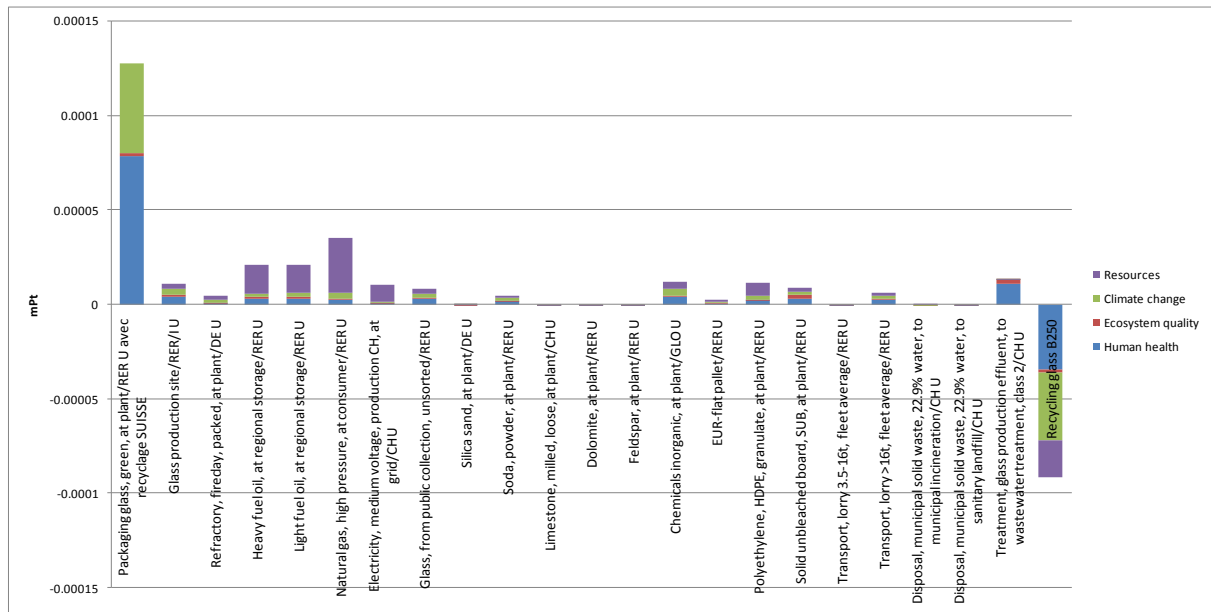


Figure 27 : résultats d'écobilan pour la production d'une bouteille

La Figure 1 montre les différentes composantes de l'impact lié à la production d'une bouteille en verre de couleur verte. Il est important de noter que :

- la première barre, qui représente la première source d'impact, regroupe toutes les émissions, notamment de particules et de métaux dans l'air, liées au processus de production de la bouteille et du travail de la matière première
- l'énergie nécessaire à la production de la bouteille est la deuxième source d'impact
- la dernière barre (négative), représente l'impact « évité » grâce au recyclage de la bouteille.

7.2 Détail de l'inventaire de la tomate

L'inventaire de la tomate est détaillé, lorsque nécessaire, ci-dessous afin de justifier les valeurs indiquées dans les tableaux de l'analyse de l'inventaire de la production de tomates.

7.2.1 Culture de la tomate

7.2.1.1 Structure

Les Tableau 26 et Tableau 27 présentent les caractéristiques et les quantités de matériaux nécessaires pour construire, respectivement, un tunnel de 640m² et une serre de 23'040m².

Tableau 26: Caractéristiques et quantités de matériaux nécessaires pour construire un tunnel de 640m²

QUANTITÉ [pcs]	DESCRIPTION	CARACTÉRISTIQUES	DURÉE DE VIE [an]	DENSITÉ [kg/m ³]
Acier				
41	Arceaux	Ø2.5mm, creux, long.12.08m	20	7770
5	Tiges longitudinales	Ø2.5mm, creux, long.80m	20	7770
41	Tiges verticales	Ø2.5mm, creux, long.1.55m	20	7770
41	Tiges horizontales	Ø2.5mm, creux, long.6.9m	20	7770
8	Câbles pour accrocher les tomates	Ø5mm, plein, long.80m	20	7770
Plastique				
20	Parois plastiques	EVA, 4.5x12.08m ² , épais.200µm	6	0.9
5	Protection du sol	PE, 1.2x80m ² , épais.35µm	4	1'400
8	Tuyaux d'arrosage au goutte-à-goutte	PVC, Ø2mm, creux (épais.2mm), long.80m	10	1'395
Chaulage				
1.18	Peinture d'ombrage	20kg pour 800m ² de surface	0.75	-

Tableau 27: Caractéristiques et quantités de matériaux nécessaires pour construire une serre de 23'040m²

QUANTITÉ [pcs]	DESCRIPTION	CARACTÉRISTIQUES	DURÉE DE VIE [an]	DENSITÉ [kg/m ³]
Acier				
835	Montants	Section 0.1x0.04m ² , creux (épais.3mm), long. 4.5m,	40	7770
31	Montants horizontaux	Section 0.1x0.04m ² , creux (épais.3mm), long. 96m	40	7770
750	Montants longitudinaux	Section 0.1x0.04m ² , creux (épais.3mm), long. 8m	40	7770
300	Câbles pour accrocher les plants	Ø5mm, plein, long.96m	40	7770
120	Canalisation pour l'eau chaude	Ø5cm, creux (épais.3mm), long.180.6m	40	7770
300	Gouttières	Demi-cercle de Ø2.5cm, creux (épais.3mm), long.90m	40	7770
0.832	Réservoir d'eau	Ø6.2m, creux (épais.2mm), long.10m	40	7770
Aluminium				
30	Tiges horizontales (toit)	0.01x0.03m ² , creux	40	2'700

		(épais.1.5mm), long. 96m		
750	Tiges verticales	0.01x0.03m ² , creux (épais.1.5mm), long. 1m	40	2'700
5'820	Tiges obliques	0.01x0.03m ² , creux (épais.1.5mm), long. 4.12m	40	2'700
Béton				
667	Socles pour soutenir les montants en acier	10x10cm ² , haut.90cm	40	-
1	Muret sur le bord de la serre	20x40cm ² , long.672m	40	-
Vitrage				
192	Verre pour la toiture	1x4.12m ² , épais.5mm	40	12.5kg/m ²
168	Verre pour les façades	4x4.5m ² , épais.5mm	40	12.5kg/m ²
120	Verre de forme triangulaire	1x2m ² , épais.5mm	40	12.5kg/m ²
HDPE				
150	Protection du sol (blanc)	1x90m ² , épais.30µm	1	960
150	Capillaire pour injection de CO ₂	∅6mm, creux (épais.1mm), long.90m	10	960
150	Capillaires pour la solution nutritive	∅25mm, creux (épais.2mm), long.90m	10	960
Ecran thermique				
0.5	Aluminium	240x96m ² , épais.5µm	40	2'700
0.5	Polyéthylène (PE)	240x96m ²	40	0.1kg/m ²
Nylon				
57'000	ficelle pour soutenir la croissance du plant	∅4.5mm, long.14m	1	1'150

Pour retrouver les valeurs des Tableau 10 et Tableau 11, il suffit d'appliquer l'équation suivante pour l'acier, l'aluminium, les plastiques (EVA, HDPE, PVC et PE), le vitrage et le nylon :

$$\frac{q \cdot V \cdot \rho}{d \cdot \eta_{tomate}} \text{ en kg/UF}$$

Avec :

q , la quantité de pièces nécessaires ;

V , le volume (le cas échéant, la surface) de matériaux nécessaires ;

ρ , la densité volumique (le cas échéant, densité par surface de m²) ;

d , la durée de vie du matériau ; et,

η_{tomate} , le rendement de production de la culture de tomate pour le scénario étudié (Tableau 9).

En ce qui concerne les quantités de béton, il suffit de diviser le volume par le rendement de production (η_{tomate}).

Pour le chaulage du tunnel, le mélange de peinture d'ombrage se fait selon les dosages suivants : 3 volumes d'eau pour un volume de peinture d'ombrage. Sachant qu'il faut 20kg de peinture pour couvrir une surface de 800m², la quantité de peinture nécessaire est de $20 \times (11.78 \times 80 \text{m}^2) / 800 \text{m}^2 = 23.56 \text{kg}$ (et donc 70.68kg d'eau). En divisant par le rendement de production, on retrouve la valeur du Tableau 11.

Pour la culture sous serre, des pains de culture importés depuis le Sri Lanka sont modélisés. Dans le cadre de cette étude, la production de la laine de coco n'est pas prise en compte. En revanche, l'impact du transport de

ces pains de culture jusqu'à Genève et en Hollande le sont. Pour une serre de 23'040m², 14'250 pains de culture sont nécessaires. Selon le rendement de production, cela correspond à 1'037 tonnes de tomates pour le scénario *Genève Serre* et 991 tonnes pour le scénario *Hollande Serre* (scénario *standard*).

Un pain de culture pèse 1.7kg pour un volume de 0.72x0.2x0.3m³ (une fois humidifié). Le volume correspondant de plastique est de 840cm³, soit un poids de 773g (densité du LLDPE 920kg/m³). Ce plastique a une durée de vie de 1 an. La palette pèse quant à elle 30kg et a une durée de vie de 6ans. Chaque palette peut transporter 600 pains de culture. Le poids total transporté pour obtenir un kilogramme de tomate est donc de (η_{tomate} étant le rendement de production du scénario considéré) :

$$\frac{1.7kg \cdot 14'250pains}{23'040 \cdot \eta_{tomate}} \text{ en kg/UF pour la laine de coco,}$$

$$\frac{0.773kg \cdot 14'250pains}{23'040 \cdot \eta_{tomate}} \text{ en kg/UF pour le plastique d'emballage, et}$$

$$\frac{30kg \cdot 14'250pains}{6ans \cdot 600pains \cdot 23'040 \cdot \eta_{tomate}} \text{ en kg/UF pour la palette.}$$

7.2.1.2 Fumures de fond

Le Tableau 28 décrit les besoins en fumures de fond pour chaque scénario. Seules les fumures N, P₂O₅ et K₂O sont prises en compte dans cette étude.

Tableau 28: Besoins en fumures de fond pour les plants de tomate

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)	MAROC (TUNNEL)	GENEVE (SERRE)	HOLLANDE (SERRE)
Fumures minérales en kg/(ha.an)				
Besoins en N	60	100	-	-
Besoins en P ₂ O ₅	30	200	-	-
Besoins en K ₂ O	90	200	-	-

La modélisation sur le logiciel SimaPro permet l'utilisation des fertilisants minéraux suivants :

- nitrate d'ammonium (35% de N) ;
- phosphate d'ammonium (11% de N et 52% de P₂O₅) ; et,
- nitrate de potassium (14% de N et 44% de K₂O) ;

Les dosages de fertilisants appliqués pour chaque scénario sont regroupés dans le Tableau 29.

Tableau 29: Dosages de fertilisants utilisés pour satisfaire les besoins en fumures de fond des plants de tomate en [kg/(ha.an)]

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)	MAROC (TUNNEL)	GENEVE (SERRE)	HOLLANDE (SERRE)
Nitrate d'ammonium	71.48	0	-	-
Phosphate de ammonium	57.69	384.62		
Nitrate de potassium	204.55	454.55		

Pour retrouver les valeurs du Tableau 12, il suffit d'appliquer l'équation suivante :

$$\frac{D_{fum.fond}}{\eta_{tomate}} \text{ en kg/UF}$$

Avec :

$D_{fum.fond}$, le dosage en fertilisant ; et,

η_{tomate} , le rendement de production de la culture de tomate pour le scénario étudié.

7.2.1.3 Fumures additionnelles

Le Tableau 30 décrit les besoins en fumures additionnelles pour chaque scénario. Seules les fumures N, P₂O₅ et K₂O sont prises en compte dans cette étude.

Tableau 30: Besoins en fumures additionnelles pour les plants de tomate

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)	MAROC (TUNNEL)	GENEVE (SERRE)	HOLLANDE (SERRE)
Fumures minérales en kg/(ha.an)				
Besoins en N	46	378	600	1'151
Besoins en P ₂ O ₅	0	115	300	272
Besoins en K ₂ O	71	810	225	0

La modélisation sur le logiciel SimaPro permet l'utilisation des fertilisants minéraux suivants :

- nitrate d'ammonium (35% de N) ;
- phosphate d'ammonium (11% de N et 52% de P₂O₅) ;
- nitrate de potassium (14% de N et 44% de K₂O) ;
- nitrate de calcium (15.5% de N) ; et,
- acide nitrique (22.2% de N).

Les dosages de fertilisants appliqués pour chaque scénario sont regroupés dans le Tableau 31.

Tableau 31: Dosages de fertilisants utilisés pour satisfaire les besoins en fumures additionnelles des plants de tomate en [kg/(ha.an)]

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)	MAROC (TUNNEL)	GENEVE (SERRE)	HOLLANDE (SERRE)
Nitrate d'ammonium	66.58	274.28	-	-
Phosphate d'ammonium	-	220.67	576.92	522.62
Nitrate de potassium	161.67	1'849.91	511.36	-
Nitrate de calcium	-	-	1'901.99	5'960.44
Acide nitrique	-	-	1'531.25	1'531.25

Pour retrouver les valeurs du Tableau 11, il suffit d'appliquer l'équation suivante :

$$\frac{D_{fum.add.}}{\eta_{tomate}} \text{ en kg/kg de tomates}$$

Avec :

$D_{fum.add.}$, le dosage en fertilisant ; et,

η_{tomate} , le rendement de production de la culture de tomate pour le scénario étudié en kg/ha.

7.2.1.4 Eau pour solution nutritive

Les besoins en eau pour les différents scénarios sont présentés dans le Tableau 32. A défaut de données pour la Hollande, les mêmes besoins en eau que pour la production sous serre genevoise ont été modélisés.

Tableau 32: Besoins en eau pour la solution nutritive pour les quatre scénarios étudiés

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)	MAROC (TUNNEL)	GENEVE (SERRE)	HOLLANDE (SERRE)
Eau pour la solution nutritive en L/an				
Eau	128'000	448'000	21.34	21.34
	Ref.E	(PNTTA, 1999)	Ref.F	Hyp.

Pour obtenir les besoins en eau pour la solution nutritive par unité fonctionnelle, l'équation suivante a été appliquée :

$$\frac{W}{\eta_{tomate} \cdot 230.4} \text{ en kWh/kg de tomates}$$

Avec :

W , les besoins en eau pour le scénario étudié en L/an ;

$\eta_{tomate} \cdot 230.4$, le rendement de production de la culture de tomate pour le scénario considéré multiplié par la surface de la serre modélisée (230.4ares) afin d'obtenir la production annuelle de tomates en kg.

7.2.1.5 Phytosanitaires

Le Tableau 33 décrit les dosages de phytosanitaires appliqués pour chaque scénario. Les dosages utilisés à Genève ont été validés par comparaison avec les dosages indiqués dans l'*Index phytosanitaire pour Tomates sous abris 2008*.

Tableau 33: Dosages (et concentration) de produits phytosanitaires appliqués sur les plants de tomate

DESCRIPTION	GENEVE (TUNNEL)	MAROC (TUNNEL)	GENEVE (SERRE)	HOLLANDE (SERRE)
Phytosanitaires en kg/(ha.an), entre parenthèse la concentration du produit				
Cuivre			36	36
Soufre			313	313
Addax DG	2.5	2.5	-	-
Amistar	1'000 (0.1%)	1'000 (0.1%)		
Alliage	1'000 (0.05%)	1'000 (0.05%)		
Switch	1'000 (0.1%)	1'000 (0.1%)		
Scala	100 (0.125%)	100 (0.125%)		
Gazelle	1'000 (0.05%)	1'000 (0.05%)		
Pegasus	1'000 (0.15%)	1'000 (0.15%)		

Afin d'obtenir les dosages par unité fonctionnelle, il suffit d'appliquer l'équation suivante :

$$\frac{D_{phyto} \cdot \beta_{phyto}}{\eta_{tomate}} \text{ en kg/kg de tomates}$$

Avec :

D_{phyto} , le dosage en produit phytosanitaire (à multiplier par la concentration lorsqu'elle est fournie) ;

β_{phyto} , le nombre de traitements moyen par année. Le nombre de traitements moyen par année a été calculé sur la base des données fournies par les différents référents. Ce coefficient est présenté pour chacun des pesticides modélisés dans le Tableau 34; et,

η_{tomate} , le rendement de production de la culture de tomate pour le scénario étudié en kg/ha.

Tableau 34: Coefficient β représentant le nombre moyen de traitement par année

DESCRIPTION	COEF. β	DESCRIPTION	COEF. β
<i>Cuivre</i>	1	<i>Switch</i>	1
<i>Soufre</i>	1	<i>Scala</i>	1
<i>Addax DG</i>	2	<i>Gazelle</i>	1
<i>Amistar</i>	2	<i>Pegasus</i>	1
<i>Alliage</i>	1		

7.2.1.6 Désinfection du sol

En Suisse, aucune désinfection du sol n'est effectuée avant le démarrage de la culture de tomate sous tunnel. Les maraîchers marocains, en revanche, semblent utiliser à cet effet du bromure de méthyle, un pesticide par ailleurs interdit d'usage en Suisse. En effet, selon la publication (PNTTA, 2000), la dose de bromure de méthyle homologuée au Maroc pour « la désinfection des sols en culture de tomate sous serre » est de 70g/m². Conscient des dangers pour la santé humaine et la couche d'ozone causés par ce pesticide, le Maroc a mis en place, toujours selon ce même document, un programme pour l'élimination progressive du bromure de méthyle d'ici l'an 2015, ceci afin de répondre aux différents accords internationaux qu'il a ratifiés (Protocole de Montréal (09.11.92), Convention de Vienne et les deux Amendements de Londres et Copenhague (13.12.95)).

Dans le cadre de cette étude, le scénario *Maroc Tunnel standard* prend donc en compte une application de 75% de la dose homologuée en l'an 2000, c'est-à-dire 52.5 g/m². Cette valeur correspond à 525 kg/ha, soit :

$$525 \text{ kg/ha} / (1350\text{kg/are} \cdot 100) = 3.9 \text{ g/UF.}$$

7.2.1.7 Energie

La culture sous serre est une culture *dite* hydroponique, c'est-à-dire que la culture de la plante est réalisée sur un substrat neutre et inerte (le pain de culture) qui est régulièrement irrigué d'une solution *dite* nutritive lui apportant les sels minéraux et les nutriments dont la plante a besoin pour pousser. Les avantages de ce procédé sont de produire avec une moindre consommation en eau et, grâce au contrôle sur les conditions de croissance de la plante (pH et teneur en fertilisants de la solution, température, éclairage et ventilation de la serre), d'augmenter le rendement de production de la culture.

Les eaux utilisées pour la solution nutritive circulent dans un circuit fermé. Les restes de solution nutritive sont donc récupérés grâce à un réseau de gouttières installé le long des pains de culture, désinfectés à haute température avant d'être réinjectés dans le circuit des eaux d'irrigation. Alors que pour le scénario *Hollande Serre* aucune énergie n'est prise en compte pour effectuer cette désinfection (Pluimers, 2000), le scénario *Genève Serre* prend lui en compte l'usage de 1'736L/ha de mazout par an pour la désinfection à haute température de ces restes de solution nutritive. Ramené à l'unité fonctionnelle, cela correspond à : $(1'736\text{L/ha}) \cdot (37\text{MJ/L}) / (4'500\text{kg/are} \cdot 100) = 0.143 \text{ MJ/kg de tomates.}$

Pour le contrôle de la température dans la serre, des circuits d'eau chaude sont installés le long des pains de culture. Cette eau est chauffée au moyen d'une chaudière à gaz, ce qui permet par la même occasion de récupérer une partie des émissions de dioxyde de carbone de cette dernière (80%) en les réinjectant dans les pains de culture pour stimuler la croissance des plants de tomate. Les maraîchers hollandais produisent cette chaleur en même temps que de l'électricité (cogénération : 65% chaleur, 35% électricité) qu'ils vendent à leur fournisseur d'électricité.

Le Tableau 35 présente les volumes de gaz naturel consommés pour chauffer les serres pour les deux scénarios *Genève Serre* et *Hollande Serre*.

Tableau 35: Besoins genevois et hollandais en gaz naturel pour le chauffage des serres

DESCRIPTION	GENEVE (SERRE)		HOLLANDE (SERRE)	
Gaz naturel en m ³ /ha/an	289'497	Réf.F	584'053	(Plumiers, 2000)

Afin d'obtenir les dosages par unité fonctionnel, il suffit d'appliquer l'équation suivante :

$$\frac{V_{gaz} \cdot \xi \cdot \kappa}{\eta_{tomate}} \text{ en MJ/kg de tomates}$$

Avec :

V_{gaz} , le volume de gaz naturel par ha ;

ξ , le pouvoir calorifique du gaz naturel (39.6 MJ/m³) ;

κ , le facteur de correction pour tenir compte de la cogénération d'électricité (1 pour Genève, 0.65 pour la Hollande) ; et,

η_{tomate} , le rendement de production de la culture de tomate pour le scénario étudié en kg/ha.

7.2.2 Conditionnement

7.2.2.1 Conditionnement

Le poids du colis IFCO est 1.24kg, sa durée de vie de 3.3 ans et sa contenance de 10kg de tomates²⁵. On obtient ainsi, par unité fonctionnelle, $1.24/(3.3 \cdot 10) = 37.6$ g de polypropylène/kg de tomates.

²⁵ www.ifco.ch

Le poids d'une palette EUR est de 30kg²⁶, sa durée de vie de 6ans et elle peut transporter 76 colis de 10kg de tomates. On obtient ainsi, par unité fonctionnelle, $30/(6*76*10)= 6.6g$ de palette/kg de tomates.

7.2.2.2 Energie pour le conditionnement

Selon les données collectées, l'énergie nécessaire à faire fonctionner la halle de conditionnement (éclairage et fonctionnement de la machine servant à calibrer le poids des colis de tomates) est de 5'282kWh. A défaut d'information pour la production en Hollande, les mêmes besoins sont simulés pour la halle de conditionnement hollandaise.

Pour obtenir les besoins énergétiques par unité fonctionnelle, l'équation suivante a été appliquée :

$$\frac{E}{\eta_{tomate} \cdot 230.4} \text{ en kWh/kg de tomates}$$

Avec :

E , l'énergie consommée pour la halle de conditionnement (5'282kWh/an) ;

$\eta_{tomate} \cdot 230.4$, le rendement de production de la culture de tomate pour le scénario considéré multiplié par la surface de la serre modélisée (230.4ares) afin d'obtenir la production annuelle de tomates en kg.

²⁶ www.palette-europe.com

7.3 Modélisation de la dispersion des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel

L'usage de fumures minérales contenant de l'azote N et du phosphate P_2O_5 dans le domaine agricole (vignoble ou culture maraîchère) provoque potentiellement une pollution en nitrate et en phosphate des eaux de surface environnantes. Afin de prendre en compte ce danger, le modèle prend en compte l'émission dans le milieu naturel (eaux de surface et souterraines) d'un certain pourcentage de la dose de fumure appliquée sur la culture.

La documentation accompagnant la base de données Ecoinvent (Ecoinvent, 2005) propose trois équations pour estimer la quantité de phosphate qui se trouve respectivement, dans les eaux souterraines sous l'effet du drainage P_{gw} , dans les eaux de surface sous l'effet du ruissellement de surface P_{ro} ainsi que sous l'effet de l'érosion hydrique du sol P_{er} . Ces équations sont présentées ci-dessous :

1. quantité de phosphore qui se retrouve dans les eaux souterraines sous l'effet du drainage :

$$P_{gw} = P_{gwl} \cdot P_{pgw} = P_{gwl} \cdot (1 + 0.2/80 \cdot P_{2O_{5sl}}) \text{ en kg/ha.an}$$

avec :

P_{gwl} , la quantité moyenne de phosphore qui perdue par un sol arable sous l'effet du drainage (0.07 kg/ha.an)

P_{pgw} , le facteur de correction pour la fertilisation du sol par des fumures organiques (boues ou liquides), et

$P_{2O_{5sl}}$, la quantité de P_2O_5 contenue dans les fumures organiques en kg/ha (considérée nulle dans cette étude).

2. quantité de phosphore qui se retrouve dans les eaux de surface sous l'effet du ruissellement :

$$P_{ro} = P_{rol} \cdot F_{ro} = P_{rol} \cdot (1 + 0.2/80 \cdot P_{2O_{5min}} + 0.7/80 \cdot P_{2O_{5sl}} + 0.4/80 \cdot P_{2O_{5man}}) \text{ en kg/ha.an}$$

Avec :

P_{rol} , la quantité moyenne de phosphore perdue par une surface arable sous l'effet du ruissellement (0.175 kg/ha.an),

F_{ro} , le facteur de correction pour la fertilisation en phosphore,

$P_{2O_{5min}}$, la quantité de P_2O_5 contenue dans les fumures minérales en kg/ha,

$P_{2O_{5sl}}$, la quantité de P_2O_5 contenue dans les fumures organiques (boues ou liquides) en kg/ha (considérée nulle dans cette étude), et

$P_{2O_{5man}}$, la quantité de P_2O_5 contenue dans les fumures solides en kg/ha (considérée nulle dans cette étude).

3. quantité de phosphore qui se retrouve dans les eaux de surface sous l'effet de l'érosion hydrique :

$$P_{er} = 10000 \cdot S_{er} \cdot P_{es} \cdot F_r \cdot F_{erw} \text{ en kg/ha.an}$$

Avec :

S_{er} , la quantité de sol érodée (4 kg/ha.an pour le produit *vin rouge*, 0 pour le produit *tomate*),

P_{es} , la teneur en phosphore de la couche supérieure de sol (0.00095 kg de P/ kg de sol),

F_r , le facteur d'enrichissement pour le phosphore (1.86), et

F_{erw} , la fraction de sol érodée qui atteint les eaux de surface (0.2).

A défaut d'avoir trouvé des données valables pour la quantité de sol érodé S_{er} , la quantité de phosphore se retrouvant dans les eaux de surface sous l'effet de l'érosion hydrique a été estimée nulle pour les scénarios *Genève Tunnel* et *Maroc Tunnel* pour le produit *tomate*.

La documentation Ecoinvent ne fournissant pas d'informations satisfaisantes concernant les quantités de nitrate se retrouvant dans les eaux de surface, trois hypothèses ont été testées : 0%, 10% et 20% du dosage d'azote se retrouve dans les eaux de surface. Ces trois hypothèses ont été testées pour les quatre scénarios de production de vin rouge et les quatre scénarios de production de tomates étudiés dans cette étude. Les impacts environnementaux associés à chacun des 8 scénarios étudiés ne montrent aucune différence significative entre ces trois hypothèses (Figure 28 et Figure 29). Les écobilans du vin rouge et de la tomate ont donc été calculés avec l'hypothèse de 10% du dosage d'azote émis dans les eaux de surface.

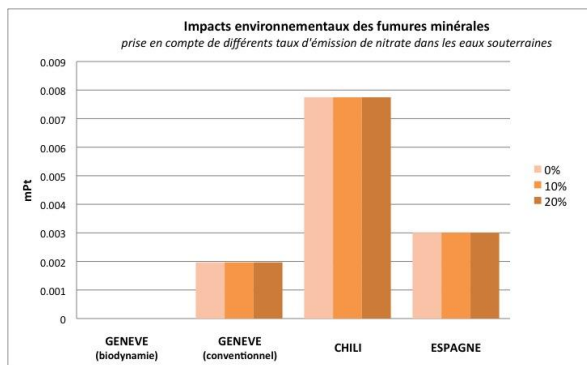


Figure 28: Impacts environnementaux dus aux fumures minérales azotées pour le vin rouge

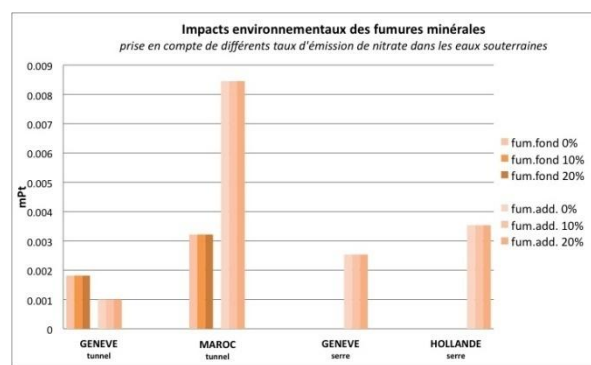


Figure 29: Impacts environnementaux dus aux fumures minérales azotées pour la tomate

7.4 Modélisation de l'impact des pesticides sur l'environnement

Selon l'étude (INRA, 2005), il existe « peu de références sur les pertes par épandage, mais on sait que les pourcentages de substances actives n'arrivant pas sur leurs cibles peuvent être importants », en fonction de :

- l'état de développement des cultures,
- le réglage du pulvérisateur,
- la composition de la bouillie pulvérisée, et
- les conditions météorologiques au moment de l'application.

L'INRA estime que 10% d'un herbicide appliqué sur un sol non cultivé n'atteint pas sa cible et finit par être transporté dans les airs pour se déposer plus ou moins loin de la cible. Pour ce qui concerne l'application de fongicides et d'insecticides, 80% du pesticide atteindrait la cible (la culture) alors que 10% finirait directement dans le sol et 10% serait transporté par les airs pour se déposer ailleurs que sur la cible.

Dans le cadre de cette étude, l'hypothèse a été retenue qu'à long terme ces substances actives du pesticide finiront par se déposer sur le sol ou, pour celles ayant atteint leurs cibles, y seront « restituées ». Le modèle prend donc en compte l'impact environnemental de 100% d'émissions de substances actives dans le sol. Le Tableau 36 présente les quantités de substances actives se retrouvant dans le sol pour 1kg de pesticide appliqué sur le vignoble et sur la culture de tomate.

Tableau 36: Quantité (en kg) de substance active (SA) émise dans le sol pour 1kg de pesticide appliqué sur la culture

PRODUCTION DU VIN ROUGE	
PESTICIDE	QUANTITE SA EMISE DANS LE SOL [KG]
<i>Cuivre</i>	1 (cuivre)
<i>Soufre</i>	1 (soufre)
<i>Switch</i>	0.375 (cyprodinil), 0.25 (fudioxonil)
<i>Amarel folpet</i>	0.535 (folpet), 0.08 (cymoxanil)
<i>Teldor</i>	0.51 (fenhexamide)
<i>Cantus</i>	0.5 (boscalid)
<i>Cyrano</i>	0.25 (folpet), 0.04 (cymoxanil), 0.5 (fosetyl-aluminum)
<i>Folpet</i>	0.8 (folpet)
<i>Roundup</i>	0.338 (glyphosate)
<i>Basta</i>	0.18 (glufosinate)
<i>Chikara</i>	0.25 (flazasulfuron)
<i>Pledge</i>	0.5 (flumioxazine)

CULTURE DE LA TOMATE	
PESTICIDE	QUANTITE DE SA EMISE DANS LE SOL [KG]
<i>Cuivre</i>	1 (cuivre)
<i>Soufre</i>	1 (soufre)
<i>Addax DG</i>	0.75 (mancozeb)
<i>Amistar</i>	0.229 (azoxystrobine)
<i>Alliage</i>	0.5 (krésoxim-méthyl)
<i>Switch</i>	0.375 (cyprodinil), 0.25 (fudioxonil)
<i>Scala</i>	0.374 (pyriméthanil)
<i>Gazelle</i>	0.2 (acetamidrid)
<i>Pegasus</i>	0.25 (diafenthiuron)

La Figure 30 présente l'impact environnemental causé par l'application de 1kg de chacun des pesticides listés dans le Tableau 36.

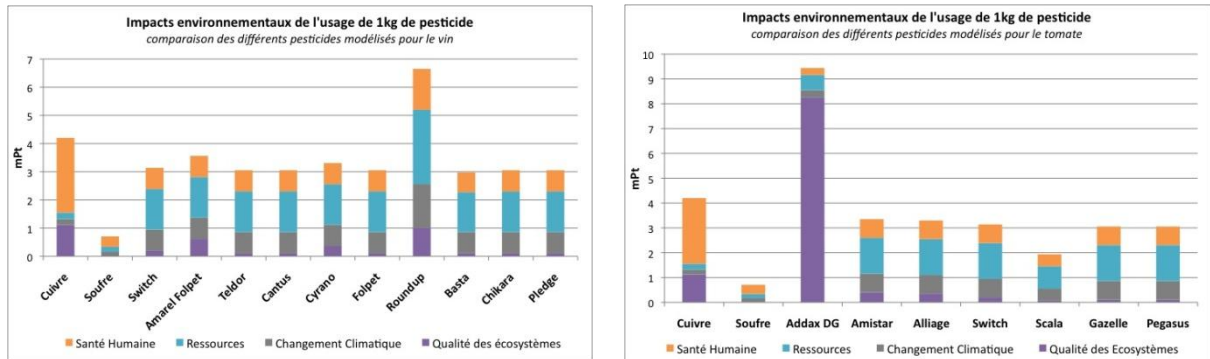


Figure 30: Impacts environnementaux de l'usage de 1kg de pesticide (à droite : pesticides modélisés pour la production de vin rouge, à gauche : ceux pour la production de la tomate)

7.5 Modélisation de l'impact sur l'environnement de l'eau en fonction de son origine

La quantité d'énergie nécessaire à pomper un litre d'eau en fonction de la profondeur à laquelle se trouve la nappe est calculée selon l'équation suivante :

$$E = \frac{m \cdot g \cdot h \cdot \varphi}{\eta} \text{ en kWh}$$

Avec :

m , la masse d'eau à déplacer (1kg),

g , la force de la pesanteur (9.8 m/s²),

h , la profondeur de pompage en mètre,

φ , le facteur de conversion pour transformer les joules en kWh (2.78*10⁻⁷), et

η , le rendement de la pompe estimé à 80%.

Naturellement, plus la nappe phréatique se trouve en profondeur, plus il faut d'énergie pour en extraire l'eau. La production de cette énergie est la principale cause de l'impact environnemental du à l'usage d'une eau pompée en profondeur.

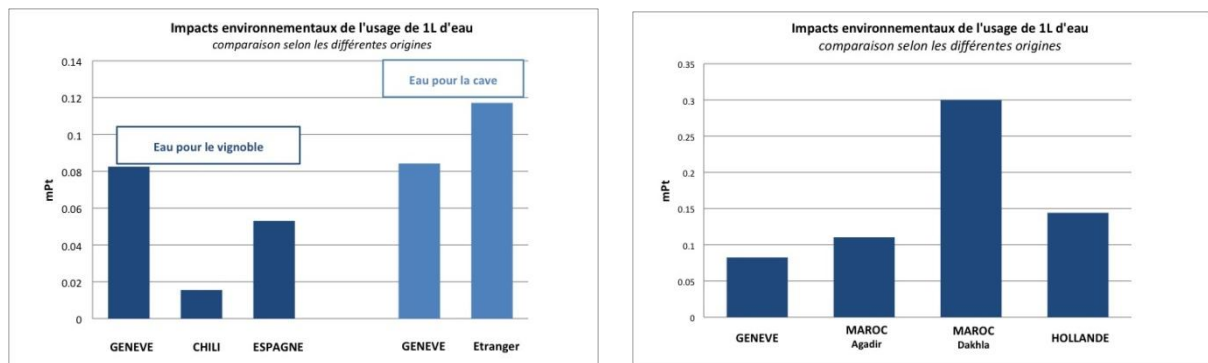


Figure 31: Comparaison de l'impact environnemental d'un litre d'eau en fonction de son origine

ANNEXE 3 – Liste des référents

REFERENTS POUR L'INVENTAIRE DU VIN ROUGE			
<i>Dénomination des référents</i>	<i>Nom du référent</i>	<i>Fonction du référent</i>	<i>Type de contact</i>
Référents A	René Desbaillets	Viticulteur-encaveur (PI), Chouilly	Visite de l'exploitation
	Pierre Graber	Viticulteur (PI), Bourdigny	Visite de l'exploitation
Référents B	Bertrand Favre	Viticulteur-encaveur (biodynamie), Choulex	Visite de l'exploitation
	Luc Mermoud	Viticulteur-encaveur (biologique & biodynamie), Bernex	Téléphone (T 022.757.14.19)
	Willy Cretegnay	Viticulteur (biologique), Satigny	Téléphone (T 079.626.08.25)
Référents C	Rodrigo Banto	Cœnologue, UvaVin SA	Téléphone (T 021.804.54.54)
	Pedro Izquierdo	Viticulteur, Chili (connaissance de M.Banto)	Courriel (pedro@ladoizquierdo.com)
	Sven Bruchfeld	Viticulteur, Chili (connaissance de M.Banto)	Courriel (sbruchfeld@santacarolina.cl)
Référent D	Alain Gruaz	Cœnologue, Schenk SA	Téléphone (M 079.342.60.74)
DGA	Alexandre de Montmollin	Cœnologue cantonal (DGA)	Séances à la DGA
	Catherine Bertone	Responsable du suivi du mandat auprès de la DGA	Séances diverses
Agridea (Lausanne)	Valérie Wirthner	Responsable viticulture	Téléphone (T 021.619.44.34)
AgriGenève	Jacques Bugon	Responsable viticulture	Téléphone (T 022.939.03.14)

REFERENTS POUR L'INVENTAIRE DE LA TOMATE			
<i>Dénomination des référents</i>	<i>Nom du référent</i>	<i>Fonction du référent</i>	<i>Type de contact</i>
Référents E	Edouard Jaquenoud	Maraîcher, Bernex	Visite de l'exploitation
Référents F	Paul Magnin	Maraîcher, Plan-les-Ouates	Visite de l'exploitation
UMG	Jacques Blondin	Directeur	Séances diverses
	Julien Mourrut-Salesse	Responsable département RD	Téléphone (T 079.433.15.69)
IFCO SYSTEMS (Schweiz) GmbH	Stefan Geiger		Téléphone (T 056.619.74.65)