Grand Genève - Agglomération franco-valdo-genevoise

Analyse des Risques et Opportunités liés aux changements climatiques en Suisse

Etude de cas
Canton Genève et Grand-Genève

Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Rapport final

Genève, 10 novembre 2015

INFRAS
Research and Consulting
www.infras.ch

sofies
leading sustainability

Egli Engineering

inddigo

Mentions légales

Mandant
Office fédéral de l'environnement (OFEV),
Division Climat
CH-3003 Berne
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

ARC Syndicat mixte
74100 Ambilly
France

La présente étude a été réalisée sur mandat de l'**Office fédéral de l'environnement** (OFEV) avec le support financier de **ARC Syndicat mixte** - Assemblée régionale de coopération du Genevois français - pour son extension à l'ensemble du Grand Genève ainsi que l'appui technique du **Service cantonal du développement durable** (SCDD) de l'Etat de Genève.

Mandataire

INFRAS
Binzstrasse 23, CH-8045 Zürich
Tel. +41 44 205 95 95
zuerich@infras.ch
www.infras.ch

Egli Engineering
Bogenstrasse 14, CH-9000 St. Gallen,
Tel. +41 71 274 09 00
egli@naturgefahr.ch
www.naturgefahr.ch

Sofies
Rue du Vuache 1, CH-1211 Genève
Tel. +41 22 338 15 24
contact@sofiesonline.com
www.sofiesonline.com

INDDIGO
367 avenue du Grand Ariétaz, F-73024 Chambéry,
Tél. +33 4 79 69 89 69
inddigo@inddigo.com
www.inddigo.com

Auteur

Jürg Füssler, Bettina Schäppi, Mario Betschart	(INFRAS)
David Martin, Anahide Bondolfi	(SOFIES)
Daniel Aubron	(Inddigo)
Luca Mini, Thomas Egli	(Egli Engineering)

Accompagnement
OFEV : Pamela Köllner-Heck, Martina Zoller, Carla Gross, Thomas Probst, Roland Hohmann, Paul Filliger
SCDD / Etat de Genève : Rémy Zinder, Sabine Stefanoto, Léo Bouvier
Grand Genève : Hervé Villard (ARC Syndicat mixte), Hervé Fauvin (Etat de Genève)

Remarque :
Seul le mandataire porte la responsabilité du contenu du présent rapport.

Remerciements :
L'équipe de projet adresse ses vifs remerciements aux nombreux-ses expert-es thématiques et collaborateurs des administrations pour leurs orientations et leurs contributions constructives tout au long de cette étude. Grâce à un atelier de travail qui a réuni 60 personnes le 11 mars 2014 et une large circulation de la première version du rapport, ces nombreux enrichissements ont été autant que possible intégrés aux résultats de l'analyse. Un grand merci surtout aux responsables de l'OFEV, de l'ARC et du SCDD pour leur collaboration.

Table des matières

Mentions légales 2
Table des matières 4
Glossaire 9
1. Evaluation globale et synthèse 11
1.1. Méthode 11
1.2. Aperçu des principaux résultats 12
1.3. Résumé des risques et opportunités 15
1.4. Stratégies d'adaptation 20
1.5. Perspectives et gestion des incertitudes 21
Références du chapitre 1 24
2. Introduction 25
2.1. Contexte de l'étude 25
Références chapitre 2 33
3. Méthode et éléments analysés 34
3.1. Aperçu de la méthode 34
3.2. Analyse des informations qualitatives et quantitatives 36
3.3. Prise en compte systématique des incertitudes 39
3.4. Différences avec la méthode appliquée pour les études de cas Argovie et Uri 41
Références du chapitre 3 43
4. Scénarios climatiques pour le canton de Genève et le Grand-Genève et aléas et effets correspondants 44
4.1. Climat actuel et scénarios climatiques 44
4.2. Déduction des aléas et effets à partir des scénarios climatiques 2060 53
4.3. Scénarios socio-économiques et démographiques 59
Références du chapitre 4 63
5. Risques et opportunités des changements climatiques en 2060 par domaine d'impact 64
5.1. Points forts de l'analyse 64
5.2. Domaine d'impact Santé 65
Références du sous-chapitre 5.2 86
5.3. Domaine d'impact Agriculture 89
Références du chapitre 5.3 119
5.4. Domaine d'impact Forêts 122
Références du sous-chapitre 5.4 138
5.5. Domaine d'impact Energie (production et consommation) 140
Références du sous-chapitre 5.5 166
5.6. Domaine d'impact Infrastructures et bâtiments 168
Références du sous-chapitre 5.6 190
5.7. Domaine d'impact Gestion des eaux (approvisionnement et assainissement) 191
Références du sous-chapitre 5.7 203

5.8. Domaine d'impact Biodiversité et espaces verts 204
Références du sous-chapitre 5.8 **221**
5.9. Vision d'ensemble de tous les domaines d'impact 222

Tables des figures

Figure 1 : Modification climatique attendue en termes de risques et d'opportunités 13
Figure 2 : Modification climatique attendue en termes de risques et d'opportunités 14
Figure 3 : Carte des régions étudiées 28
Figure 4 : Occupation du sol dans l'agglomération du Grand Genève 29
Figure 5 : Répartition des nouveaux logements dans le Grand Genève entre 2000 et 2010 30
Figure 6 : Principaux secteurs d'emplois privés 30
Figure 7 : Aéroport International de Genève et vue sur le cœur de l'agglomération 31
Figure 8 : Facteurs d'incertitude des bénéfices attendus par année 40
Figure 9 : Température moyenne actuelle à Genève avec et sans effet d'îlot de chaleur 45
Figure 10 : Scénarios climatiques pour la Suisse 46
Figure 11 : Température moyenne annuelle aujourd'hui et en 2060 à Genève-Cointrin et Bâle-Ville 48
Figure 12 : Température moyenne saisonnière aujourd'hui et en 2060 à Genève-Cointrin 48
Figure 13 : Sommes des précipitations annuelles à Genève et à Bâle-Ville 49
Figure 14 : Sommes des précipitations saisonnières à Genève 49
Figure 15 : Nuits tropicales aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville 50
Figure 16 : « Jours très chauds » aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville 50
Figure 17 : Nombres moyens de degrés-jours de climatisation aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville 51
Figure 18 : Degrés-jours de chauffage aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville 51
Figure 19 : Jours de gel aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville 52
Figure 20 : Période de végétation aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville 52
Figure 21 : Modification annuelle moyenne estimée des précipitations intenses journalières en 2060 53
Figure 22 : Modification annuelle moyenne des pics de débits de crue en 2060 54
Figure 23 : Modification annuelle moyenne du régime de précipitations en 2060 55
Figure 24 : Modification annuelle moyenne de la sécheresse générale en 2060 56
Figure 25 : Modification annuelle moyenne des vagues de froid en 2060 56
Figure 26 : Modification annuelle moyenne des vagues de chaleur en 2060 57
Figure 27 : Température moyenne annuelle aujourd'hui et en 2060 à Genève-Cointrin et Bâle-Ville 58
Figure 28: Evolution de la population dans le Grand Genève 60
Figure 29: Evolution de la pyramide des âges dans l'espace transfrontalier de 2010 à 2040 61
Figure 30: Répartition actuelle de l'usage du sol du Grand Genève par périmètre et type d'usage 62
Figure 31 : Matrice de pertinence 64

Figure 32: Coûts/bénéfices annuels moyens dus aux vagues de chaleur _____ 75
Figure 33: Coûts et bénéfices moyens annuels dans le domaine de la santé (Canton de Genève) 79
Figure 34: Coûts et bénéfices moyens annuels dans le domaine de la santé (Grand Genève) __ 80
Figure 35: Bilan total dans le domaine de la santé (Grand Genève et canton de Genève) _____ 81
Figure 36: Coûts/bénéfices annuels moyens dus à la sécheresse générale _____ 101
Figure 37: Coûts/bénéfices annuels moyens dus à la modification de la température (Canton Genève, hormis viticulture)_____ 107
Figure 38: Index Huglin Genève aujourd'hui et en 2060_____ 109
Figure 39: Coûts/bénéfices annuels moyens dus à la modification de la température sur la viticulture (Canton Genève et Nyon) _____ 112
Figure 40: Coûts et bénéfices moyens annuels dans le domaine d'agriculture (canton de Genève) _____ 115
Figure 41: Coûts et bénéfices moyens annuels dans le domaine d'agriculture (Grand Genève) 116
Figure 42: Bilan total dans le domaine d'impact Agriculture _____ 117
Figure 43: Occupation du sol dans l'agglomération (www.grand-geneve.org) _____ 123
Figure 44: Espace forestier et naturel du Grand Genève _____ 124
Figure 45: Eau disponible pour les plantes _____ 128
Figure 46: Variations des stocks de carbone en fonction des types d'usage du sol _____ 130
Figure 47: Début de la feuillaison officielle du marronnier de Genève _____ 132
Figure 48 : Politiques, bases légales et outils du domaine de l'énergie en Suisse et en France _ 140
Figure 49 : Evolution de la consommation d'énergie finale dans les différents périmètres du Grand Genève _____ 142
Figure 50: Puissance énergétique actuelle par type de production du Genevois français _____ 144
Figure 51: Coûts/bénéfices annuels moyens dus aux vagues de froid _____ 155
Figure 52: Evolution et répartition du nombre de requêtes d'installations de climatisation dans le canton de Genève (source : Hollmüller 2011)_____ 158
Figure 53: Coûts/bénéfices annuels moyens dus aux vagues de chaleur _____ 160
Figure 54: Coûts et bénéfices annuels moyens dans le domaine Energie (canton de Genève) _ 161
Figure 55: Coûts et bénéfices annuels moyens dans le domaine Energie (Grand Genève) ____ 162
Figure 56: Bilan total dans le domaine Energie_____ 163
Figure 57 : Evénement du 20 juin 2013, canton de Genève _____ 169
Figure 58 : Bassins versants et contrats de rivière transfrontaliers de la région genevoise____ 172
Figure 59 : Carte de synthèse indicative des dangers dus aux crues _____ 174
Figure 60 : Exemple de carte transfrontalière des zones inondables pour différents temps de retour _____ 175
Figure 61 : Matrice cantonale d'objectifs de protection contre les crues (canton de Genève) _ 177
Figure 62 : Dommages potentiels causés par les crues de l'Arve et de l'Aire_____ 179
Figure 63 : Chenal vert à section abaissée pour l'évacuation des eaux de ruissellement à Copenhague _____ 180
Figure 64 : Calcul des pertes selon quatre différents scénarios climatiques et démographiques 183

Figure 65 : Production et sources d'eau potable dans les territoires suisses et français du Grand Genève 191
Figure 66 : Cartographie des installations de gestion des eaux sur l'ensemble du territoire du Grand Genève 193
Figure 67 : Principe du déversoir d'orage 196
Figure 68 : Abaissement du niveau de la nappe phréatique dans le Pays de Gex 197
Figure 69 : Sécurité saisonnière en eau potable du Grand Genève à l'horizon 2030 avec connexions existantes 198
Figure 70 : Les entités naturelles du Grand Genève 204
Figure 71 : Aperçu des espaces inventoriés ou protégés dans le périmètre du Grand Genève 205
Figure 72: Légende de la figure précédente 206
Figure 73 : Corridors grande faune du bassin genevois et secteurs prioritaires pour les contrats corridors biologiques 208
Figure 74: Occupation du sol dans l'agglomération urbaine dense 208
Figure 75: Légende de la figure précédente 209
Figure 76 : Vue d'ensemble des risques et opportunités annuels moyens attendus pour 2060 exprimés en termes monétaires (canton de Genève) 223
Figure 77 : Vue d'ensemble des risques et opportunités annuels moyens attendus pour 2060 (Grand Genève) exprimés en termes monétaires 224

Tables des tableaux

Tableau 1 : Glossaire des termes techniques 9
Tableau 2 : Classement des estimations qualitatives en comparaison des informations quantitatives 39
Tableau 3: Valeurs annuelles moyennes actuelles (station Genève-Cointrin) 44
Tableau 4: Population effective en 2010 et projection 2015,2030 et 2060 pour les 3 entités politiques appartenant au Grand Genève 61
Tableau 5: Aperçu des impacts des changements climatiques pour le domaine de la santé 66
Tableau 6: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 74
Tableau 7: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 74
Tableau 8: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 75
Tableau 9: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 75
Tableau 10: L'utilisation des surfaces agricoles par territoire 89
Tableau 11 : Aperçu des impacts des changements climatiques dans le domaine de l'agriculture 93
Tableau 12 : Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 100
Tableau 13 : Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 100
Tableau 14 : Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 100
Tableau 15 : Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 100
Tableau 16 : Modification des recettes annuelles potentielles par hectare 104
Tableau 17: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 107

Tableau 18 : Prix moyens de différentes bouteilles de vin selon des cépages actuellement cultivés dans le canton de Genève 108
Tableau 19 : Prix moyens actuels de différentes bouteilles de vin selon des cépages peu cultivés dans le canton de Genève actuellement 110
Tableau 20: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 111
Tableau 21: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 111
Tableau 22 : Principales installations centralisées de production d'énergie du canton de Genève 143
Tableau 23 : Aperçu des aléas et effets analysés dans le domaine d'impact Energie 146
Tableau 24 : Consommation d'énergie finale pour le canton de Genève 151
Tableau 25 : Consommation d'énergie finale pour le chauffage pour le district de Nyon 151
Tableau 26 : Consommation d'énergie finale pour le chauffage pour les territoires français du Grand Genève 152
Tableau 27 : Prix moyens de l'énergie en Suisse et en France 153
Tableau 28 : Coûts annuels moyens de l'énergie de chauffage 153
Tableau 29 : Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 154
Tableau 30 : Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 154
Tableau 31 : Consommation et coûts de l'électricité pour la climatisation 159
Tableau 32 : Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 159
Tableau 33 : Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 160
Tableau 34 : Aperçu des aléas et effets analysés dans le domaine d'impact Infrastructures et bâtiments 171
Tableau 35: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 182
Tableau 36: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 182
Tableau 37 : Coûts et bénéfices en 2060 pour le canton de Genève et le Grand Genève 182
Tableau 38: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) 184
Tableau 39: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) 184
Tableau 40 : Coûts et bénéfices en 2060 185
Tableau 41 : Aperçu des aléas et effets analysés 194
Tableau 42 : Aperçu des aléas et effets dans le domaine d'impact Biodiversité et espaces verts 211
Tableau 43 : Facteur de conversion des impacts qualitatifs par rapport aux impacts quantifiables pour le canton de Genève et le grand Genève 225

Glossaire

Tableau 1 : Glossaire des termes techniques

Aléa	Phénomène naturel avec une certaine occurrence et intensité (crue, glissement de terrain, etc.)
Degrés-jours de chauffage	Somme des différences, déterminées quotidiennement, entre une température ambiante souhaitée de 20°C et la température moyenne de tous les jours de chauffage
Degrés-jours de refroidissement	Somme des différences, déterminées quotidiennement, entre une température ambiante souhaitée de 18,3°C et la température moyenne de tous les jours de refroidissement
Effet	Modification globale du climat (température moyenne, régime de précipitation, etc.)
Jours avec couverture neigeuse	Jours où la hauteur de neige atteint ou dépasse 1 cm
Jours avec neige fraîche	Jours où la hauteur de neige fraîche atteint ou dépasse 1 cm
Jours d'été	Jours où la température atteint ou dépasse 25°C
Jours d'hiver	Jours où la température reste au-dessous de 0°C
Jours de chauffage	Jours où la température moyenne reste au-dessous de 12°C (correspondant généralement à la mise en route des installations de chauffage)
Jours de dégel	Jours où la température atteint ou dépasse 0°C
Jours de gel	Jours où la température descend au-dessous de 0°C
Jours de refroidissement (ou de climatisation)	Jours où la température moyenne atteint ou dépasse 18,3°C (correspondant généralement à la mise en route des installations de climatisation)
Jours très chauds	Jours où la température maximum atteint ou dépasse 35°C et la température minimum reste au-dessus de 20°C
Jours tropicaux	Jours où la température atteint ou dépasse 30°C
Sécheresse	Période la plus longue (nombre maximal de jours) pendant laquelle les précipitations journalières sont inférieures à 1 mm
Nuits tropicales	Nuit où la température ne descend pas au-dessous de 20°C
Ouragans	Tempête forte avec une vitesse de plus de 117 km/h, et une force de 12 sur l'échelle de Beaufort
Période de végétation	Jours par année entre la première période d'au moins six jours avec des températures moyennes quotidiennes supérieures à 5°C et la première période d'au moins six jours avec des températures moyennes quotidiennes en-dessous de 5°C au-delà du 1er

	juillet
Précipitations intenses	Précipitations de plus de 10 mm/1h ou de plus de 20 mm/6h
Précipitations maximales sur 1 jour	Quantité de précipitations la plus élevée mesurée sur 1 jour
Régime de précipitations	Le régime de précipitations caractérise l'intensité, la durée, la quantité et la distribution temporelle dans une région
Température moyenne journalière	Température moyenne d'un jour calculée à partir de la température maximale du jour et de la température minimale
Température moyenne mensuelle	Température moyenne d'un mois calculée à partir de la moyenne des températures moyennes quotidiennes des jours de ce mois
Tempêtes	Tempête forte avec une vitesse de plus de 75 km/h, et une force de 9 sur l'échelle de Beaufort.
Vague de chaleur (= canicule)	Période prolongée (au moins six jours consécutifs entre mai et septembre) avec des températures maximales en dessus du 90^{e} centile des températures locales maximales sur la période de référence (1981-2010). Pour la Suisse, cela correspond à des températures ne descendant pas au-dessous de 30 à 35 degrés environ la journée et de 20 à 25 degrés la nuit.
Vague de froid	Période prolongée (au moins six jours consécutifs entre novembre et mars) avec des températures minimales en dessous du 10^{e} centile des températures locales minimales sur la période de référence (1981-2010).

1. Evaluation globale et synthèse

1.1. Méthode

La présente étude de cas sur les risques et opportunités liés aux changements climatiques dans les périmètres du canton de Genève et du Grand Genève a été élaborée dans le cadre des analyses des risques climatiques réalisées dans toute la Suisse. Cette étude a pour objectif de dresser une évaluation et une quantification des risques et opportunités représentative pour la région d'étude « grandes agglomérations ». Elle s'appuie sur le rapport méthodologique (EBP/SLF/WSL 2013a).

Cette méthode suit une approche systématique. Elle définit différents domaines d'impact, qui sont ensuite mis en parallèle avec les modifications qui s'exercent sur de nombreux aléas et effets (terme générique qui englobe les dangers naturels et les modifications climatiques directes) en raison des changements climatiques.

Les impacts de ces modifications induites par les changements climatiques sont estimés sur les plans quantitatifs et qualitatifs. Cette étude de cas a pour but, lorsque cela est possible, de quantifier les coûts et les bénéfices supplémentaires auxquels il faut s'attendre en 2060. Sinon l'analyse est effectuée de façon qualitative, selon une méthode prédéfinie et en s'appuyant sur les estimations des experts et sur la littérature scientifique. Cette approche a pour but d'obtenir une image uniforme et globale des risques et opportunités attendus, ainsi qu'une estimation des ordres de grandeurs des impacts monétaires.

Les incertitudes sont également considérées; elles sont toujours prises en compte dans l'évaluation globale sous la forme de classes d'incertitudes agrégées. De nombreux aspects sont traités en s'appuyant sur les meilleures estimations disponibles (*best estimates*) afin d'obtenir une image globale des futurs risques et opportunités qui soit la plus cohérente possible. De plus, les principales modifications socio-économiques attendues d'ici à 2060 sont décrites pour chaque domaine d'impact afin de démontrer que les risques et opportunités ne sont pas liés aux seuls changements climatiques mais que d'autres facteurs entraînent des défis futurs supplémentaires.

Le but principal de la présente étude n'est donc pas de déterminer le montant exact des différents risques et opportunités pour l'horizon 2060. Il s'agit bien plus d'estimer correctement l'ordre de grandeur des impacts liés aux changements climatiques dans les différents domaines d'impact afin de fournir une base de discussion pour les mesures d'adaptation.

Rôle important des conséquences indirectes des changements climatiques

L'économie de la région franco-valdo-genevoise est fortement axée sur les échanges internationaux. L'influence *indirecte* des changements climatiques notamment sur le pouvoir économique et la demande des partenaires commerciaux importants, ou encore l'influence exercée sur les infrastructures clés du commerce mondial (systèmes portuaires), pourraient avoir un impact

monétaire sur notre économie bien supérieur à celui des impacts économiques directs analysés dans la présente étude (INFRAS et al. 2007).

1.2. Aperçu des principaux résultats

Les résultats mettent en lumière d'une part les domaines d'impact dans lesquels il faut s'attendre à d'importantes modifications dues aux changements climatiques et, d'autre part, les domaines pour lesquels les données disponibles et les connaissances actuelles permettent uniquement d'estimer les évolutions possibles.

Pour chacun des domaines d'impact, l'étude identifie les principaux aléas et effets et, sur la base d'hypothèses transparentes et très simplifiées, en déduit une estimation de valeurs quantitatives pour les risques et opportunités possibles (davantage d'informations aux chapitres 2 et 3). Parallèlement, les auteurs procèdent à une analyse qualitative des chaines d'impact pour les risques et opportunités qui, en raison de la complexité de leurs interactions et du manque de données disponibles, ne peuvent être quantifiés.

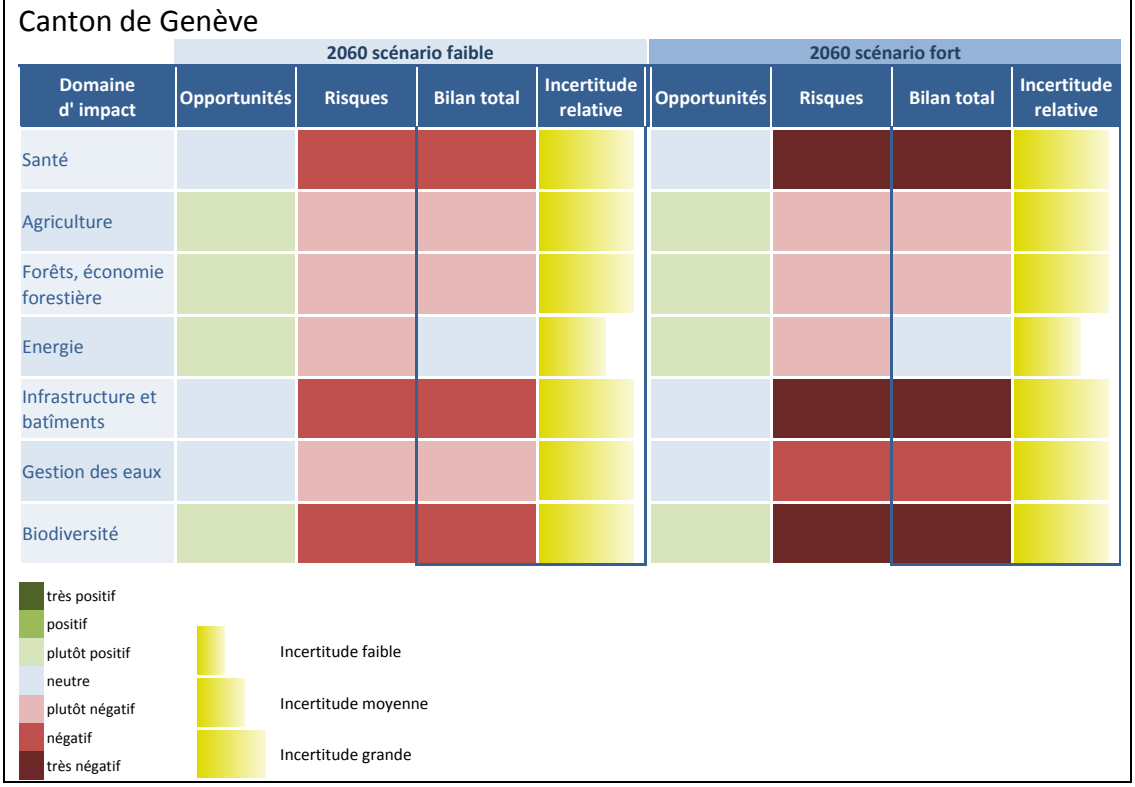
Compte tenu des résultats quantitatifs et qualitatifs, les figures ci-après donnent une vue d'ensemble des risques et opportunités liés aux changements climatiques pour le canton de Genève et l'ensemble du Grand Genève (le canton de Genève, le district de Nyon et le Genevois français). **Globalement, on constate que le bilan est clairement négatif pour les deux périmètres d'étude.**

Les domaines d'impact les plus touchés en termes de risques sont la santé, les infrastructures et bâtiments et la biodiversité, et ce pour le canton de Genève comme pour l'ensemble du Grand Genève. Les domaines de l'eau, de l'agriculture et des forêts ont un bilan également négatif mais dans une moindre mesure.

Pour les domaines de l'agriculture, des forêts et de la biodiversité, l'analyse met en évidence des opportunités de faible amplitude liée principalement à l'impact positif des températures sur la croissance des végétaux (hausse des récoltes nouvelles espèces..).

Pour le domaine de **l'énergie**, l'étude tire un bilan plutôt positif, en particulier en raison des économies de chauffage en cas d'augmentation des températures moyennes. Ce résultat est à interpréter avec grande prudence puisque les « économies » estimées par l'étude sont infimes au regard des montants nécessaires pour assainir le parc de bâtiments existants. Les efforts consacrés à réduire la consommation énergétique doivent également être maintenu.

Figure 1 : Modification climatique attendue en termes de risques et d'opportunités



Modification climatique attendue en termes de risques et d'opportunités[1] dans les différents domaines d'impact[2] et domaines d'incertitude relatifs[3]. Cf. section 5.9.2 pour l'analyse purement qualitative.

[1] Les risques et opportunités dans le domaine Energie sont basés sur une évaluation qualitative effectuée par le canton de Genève.
[2] Classification des impacts globaux: plutôt positif 0-70 Mio. CHF, positif 70-250 Mio. CHF, très positif> 250 Mio. CHF, plutôt négatif 0- -70 Mio. CHF, négatif -70- -250 Mio. CHF, très négatif<- 250 Mio. CHF
[3] Classification des incertitudes globales: peu élevées entre 0 et 30%; moyennes entre 30 et 100%; élevées >100%

Figure 2 : Modification climatique attendue en termes de risques et d'opportunités

Grand Genève

Modification climatique attendue en termes de risques et d'opportunités[4] dans les différents domaines d'impact[5] et domaines d'incertitude relatifs[6]. Cf. section 5.9.2 pour l'analyse purement qualitative.

L'écart entre les deux scénarios climatiques est bien visible: avec le *scénario faible amplitude* (qui suppose que la communauté internationale s'accorde sur une politique ambitieuse d'atténuation des changements climatiques qui vise une baisse rapide et durable des émissions mondiales de gaz à effet de serre), les risques dans tous les domaines d'impact confondus sont bien moins élevés que ceux attendus avec le *scénario grande amplitude*, qui indique l'évolution si aucune mesure n'était prise à l'échelle internationale (*business as usual*).

Toutefois, les **incertitudes sont généralement considérées comme très élevées**. Dans certains cas, les incertitudes estimées sont supérieures à la valeur attendue pour les risques et opportunités. Les chiffres doivent donc être interprétés avec une certaine retenue.

Le présent chapitre présente d'abord succinctement les principaux résultats de l'étude dans chaque domaine d'impact (section 1.3). Il évoque ensuite les stratégies d'adaptation en

[4] Les risques et opportunités dans le domaine Energie sont basés sur une évaluation qualitative effectuée par l'administration du Grand Genève.
[5] Classification des impacts globaux: plutôt positif 0-250 Mio. CHF, positif 250-600 Mio. CHF, très positif> 600 Mio. CHF, plutôt négatif 0- -250 Mio. CHF, négatif -250- -600 Mio. CHF, très négatif<- 600 Mio. CHF
[6] Classification des incertitudes globales: peu élevées entre 0 et 30%; moyennes entre 30 et 100%; élevées >100%

cours de déploiement en Suisse et en France (section 1.4), avant d'aborder la question des incertitudes et de l'évaluation globale des résultats et des perspectives (section 1.5).

1.3. Résumé des risques et opportunités

Les prochains paragraphes synthétisent les résultats les plus importants pour les différents domaines d'impact. De manière générale, les chiffres donnés correspondent soit à l'état actuel soit au scénario 2060 « forte amplitude » (ce dernier étant le plus probable des deux scénarii).

1.3.1. Santé

Dans le domaine de la santé, **les risques majeurs sont liés à l'augmentation des vagues de chaleur**. Ces dernières génèrent une **diminution de l'efficacité au travail et donc des pertes de productivité**. Une **augmentation du nombre de décès liés à la chaleur** dans l'espace urbain est à prévoir aussi. De telles projections impliquent une augmentation de coûts estimée pour l'aléa vague de chaleur correspondant au *scénario forte amplitude* 2060 à :

- Pour le canton de Genève, environ CHF 560 millions pour un évènement moyen annuel et CHF 2'370 millions pour un évènement centenaire.
- Pour le Grand Genève, environ CHF 1'280 millions pour un évènement moyen annuel et CHF 6'170 millions pour un évènement centenaire.

La perte de productivité au travail génère des coûts plus élevés que ceux liés aux décès lors de canicules. Il est toutefois possible d'anticiper ce type de dommages et **limiter ces impacts d'une part en améliorant l'isolation des espaces de vie et de travail et d'autre part en élaborant des plans canicule pour les populations les plus vulnérables**.

Peu d'opportunités associées aux changements climatiques en termes de santé ont été repérées. Toutefois la réduction du nombre de vagues de froid peut avoir un impact positif sur la qualité de l'air, ainsi que la diminution des accidents dus à la neige et au verglas.

1.3.2. Infrastructures et bâtiments

Les scénarios climatiques de 2060 sont susceptibles d'augmenter l'intensité d'aléas tels que **les crues, le ruissellement de surface, la grêle et les tempêtes de vent**.

Les auteurs estiment, sur la base des données disponibles, les moyennes annuelles de dommages *pour l'état actuel* de ces aléas à CHF 4.8 millions pour le canton de Genève et à CHF 5.2 millions pour l'ensemble du Grand Genève. Les dommages en cas d'événement centennal s'élèvent *aujourd'hui* – selon les données de dommages existantes – respectivement à CHF 60 millions pour le canton de Genève et à CHF 96 millions pour l'ensemble du Grand Genève. Si des études de risques détaillées étaient effectuées sur l'ensemble du territoire, il est très probable que les estimations de dommages potentiels seraient bien plus élevées.

En raisons du manque de données et parce que les incertitudes sur l'évolution de ces aléas sont très importantes, les scénarios 2060 n'ont pas pu être quantifiés. Cependant, il est dé-

montré qu'une légère augmentation d'intensité est susceptible d'augmenter les coûts des dommages causés – surtout aux bâtiments – de façon significative.

En matière **d'inondations**, il semble que le risque de dommages les plus importants se situe dans le système touché par la régulation des barrages de Verbois et Chancy-Pougny et les enjeux de gestion sédimentaires associés à ces ouvrages. En cas de crue centennales ou millénaire de l'Arve, des risques très importants existent pour les quartiers denses de la Jonction, de Plainpalais, des Acacias et de la Praille. Plus en aval, les usines chimiques Givaudan et Firmenich peuvent également être atteintes.

Les risques identifiés peuvent être réduits de façon importante par **l'anticipation et la mise en œuvre de mesures de mitigation ou de protection dans le cadre des prescriptions d'urbanisme**. De nombreuses actions menées actuellement par les collectivités vont dans ce sens dans le domaine des inondations. Toutefois, la **grêle** et les **tempêtes** semblent être pour l'instant moins bien prises en compte dans les politiques publiques.

1.3.3. Biodiversité

Dans le domaine de la biodiversité, il est difficile d'évaluer quantitativement les impacts attendus. Néanmoins, les impacts sur les espaces verts et la biodiversité sont dans l'ensemble plutôt négatifs.

Ces derniers concernent en particulier les domaines de **l'écologie des eaux** (impactant les poissons d'eau froide par exemple) et de la propagation d'espèces exotiques envahissantes. De plus, la problématique du renforcement des étiages (et le lien aux sources d'alimentation en eau potable et irrigation) représente potentiellement le problème le plus important pour les écosystèmes aquatiques et riverains.

Globalement, l'enjeu principal consiste à **maintenir l'espace vital et la bonne santé des écosystèmes afin qu'ils puissent réagir avec leur pleine résilience**.

Les impacts des scénarios socio-économiques seront nettement plus importants que ceux liés aux changements climatiques. En effet, c'est surtout l'extension de l'urbanisation qui met en dangers les milieux naturels, avec des impacts négatifs sur la biodiversité. A ce titres, des mesures de compensation sont déjà en cours de déploiement (« nature en ville », corridors écologiques, renaturation, etc.).

1.3.4. Gestion des eaux

Actuellement, la **disponibilité des ressources en eau** est excellente dans le canton de Genève. Elle est plus limitée dans pour les territoires valdo-français du Grand Genève situés au pied du Jura et du Salève calcaires. En effet, certains de ces secteurs urbanisés souffrent déjà localement de manque d'eau, en raison de la forte augmentation de la population depuis plusieurs décennies. L'augmentation attendue des périodes de sécheresse menace les sources d'alimentation de ces secteurs. Afin de répondre aux conséquences de ces changements à l'échelle du Grand Genève, il est recommandé d'avoir une meilleure interconnexion des ré-

seaux alimentés par les ressources importantes à disposition. En particulier, **le lac Léman constitue un immense réservoir** qui garantit – moyennant adaptation des réseaux – de pourvoir alimenter le Grand Genève même en période de sécheresse lorsque les autres ressourcessont limitées.

Par ailleurs, en termes de **qualité des eaux**, l'augmentation des pluies de forte intensité (de type « pluies tropicales ») augmentera les risques et la fréquence des déversements d'eaux usées dans les cours d'eau. Des démarches en cours dans le cadre par exemple des SDAGE, SAGE et PREE vont dans le sens d'une meilleure maîtrise de ces phénomènes : augmenter le taux de réseau séparatif, optimiser la gestion des déversoirs d'orage et limiter significativement l'imperméabilisation des sols (voir également 1.3.2 pour les questions relatives aux réseaux d'évacuation des eaux & dangers liés au ruissellement de surface).

.Globalement, l'agglomération ne sera pas particulièrement impactée dans le domaine de la gestion des eaux par les scénarios climatiques futurs de 2060 et le bilan des risques et opportunités est assez modéré pour ce domaine d'impact.

1.3.5. Energie

Dans ce domaine, l'analyse quantitative a porté essentiellement sur la **consommation d'énergie des bâtiments liée au chauffage et à la climatisation**.

Les changements climatiques pourraient entraîner des impacts positifs dans le domaine de la consommation d'énergie de chauffage. Ce résultat concorde avec les résultats d'une autre étude de référence (CH2014-Impacts) qui conclut que la diminution des degrés-jours de chauffage apportera des gains économiques, certes de faible ampleur, même avec la prise en compte de l'effet rebond.

L'élévation de la température moyenne devrait donc entraîner une réduction des coûts de chauffage. Ce gain économique est d'environ 30% en 2060 (*scénario grande amplitude*). Les mesures d'efficacité énergétique devraient également contribuer à diminuer la consommation d'énergie. A titre d'exemple, la Conception générale de l'énergie du Canton de Genève prévoit déjà pour 2035 une diminution de 37% (par rapport à 2000) de la consommation d'énergie spécifique par habitant. En revanche, la forte croissance de la population (estimée à titre indicatif à +68% en 2060) contrecarrera en partie les économies d'énergie liées aux changements climatiques et aux mesures d'efficacité énergétique.

L'augmentation des périodes de canicule entraînera en revanche une augmentation des besoins en énergie de climatisation. Il faut s'attendre avec le scénario *grande amplitude* à ce que les coûts annuels moyens augmentent d'environ CHF 52 millions pour le canton de Genève et de CHF 73 millions pour l'ensemble du Grand Genève. Bien que cela soit dans ce domaine que les changements relatifs sont les plus importants, l'augmentation de la consommation d'énergie liée à la climatisation en été est de moins grande amplitude que la diminution de la facture énergétique en hiver.

Parmi les différents aléas climatiques analysés, le **bilan des effets liés à la modification des températures dans le domaine de la consommation d'énergie des bâtiments est donc dans l'ensemble positif**, tant à l'échelle du canton de Genève que du Grand Genève. Le bilan total quantitatif calculé par cette étude - sans prise en compte des scénarios-socioéconomiques – est estimé ainsi :

- Canton de Genève : économie de CHF 57 millions (*scénario grande amplitude* 2060)
- Grand Genève : économie de CHF 152 millions (*scénario grande amplitude 2060*)

Ces résultats doivent être interprétée avec la plus grande prudence pour les raisons suivantes :

- La production de l'énergie et les prix de l'énergie sont dépendant de **facteurs conjoncturels nombreux et complexes** (cf. 5.5.3 scénarios socio-économiques) qui n'ont pas tous pu être simulé dans cette étude.
- Le potentiel d'économie calculé ci-dessus est infime au regard des **efforts d'assainissement du parc de bâtiments – qui s'élèvent à plusieurs dizaines de milliards de francs** pour le territoire étudié – à engager rapidement afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Enfin, l'analyse qualitative des impacts sur la production hydroélectrique (crues et régime de précipitation) a démontré qu'aucune influence significative n'est à prévoir en l'état des connaissances, notamment en raison des incertitudes entachant les modifications attendues du régime des débits. En outre, l'impact des changements climatiques sur le potentiel hydrothermique (chaleur ambiante) du système Léman-Rhône-Arve est considéré comme négligeable.

1.3.6. Agriculture

L'augmentation des **épisodes de sécheresse générale aura un impact négatif sur l'agriculture**. *L'augmentation des coûts* estimée pour une *événement centenaire* est de :

- Canton de Genève : environ CHF 70 millions (*scénario grande amplitude 2060*)
- Grand Genève : environ CHF 400 millions *(scénario grande amplitude 2060*)

Les territoires de plaine feront donc face à plus de risques en raisons de l'augmentation des coûts induits par la **sècheresse sur les grandes cultures**, or ces dernières contribuent de façon significative à l'alimentation de la population de la région.

Il est possible que le **secteur viticole** gagne une plus grande liberté concernant le choix des cépages et ainsi une augmentation de la valeur des vins produits. Certains secteurs du Canton de Genève et du district de Nyon pourront saisir davantage d'opportunités notamment en raison de la viticulture (avec des bénéfices supplémentaires potentielles estimées respectivement à 37 et 25 millions CHF).

Dans le **domaine de l'élevage**, les événements de sécheresse et de vagues de chaleurs causeront des défis importants en termes d'approvisionnement en fourrage et de productivité laitière du cheptel.

En somme, **les changements climatiques généreront plus de coûts que de bénéfices**. En effet, malgré une certaine augmentation de la productivité et quelques opportunités de nouvelles cultures, les analyses quantitatives et qualitatives montrent que les changements climatiques auront un **impact globalement défavorable pour l'agriculture**, et cela pour tous les territoires de l'étude.

Sur le plan socio-économique, les changements seront a priori plus importants encore, en particulier pour les exploitations de petite taille dont la capacité d'adaptation est plus limitée.

1.3.7. Forêts

Les forêts du Grand Genève occupent une fonction de production et offrent également de nombreuses prestations écosystémiques (77 % des réserves naturelles du territoire sont en forêt), de protection (56 % des périmètres de captage d'eau potable sont en zone forestière, et d'espace de détente pour les habitants, ce qui participe grandement à la qualité de vie de la région.

D'un point de vue strictement économique, **l'évolution des différents aléas climatiques induite par les changements climatiques augmenta clairement les risques à l'horizon 2060**, avec **des conséquences négatives sur l'économie forestière et la fonction de protection des forêts pour les personnes et les biens**.

Il faut s'attendre à des effets sur la production de bois. Toutefois, cet effet est moins important pour le canton de Genève - où les activités forestières sont déjà surtout orientées vers des fonctions écosystémiques et non d'exploitation - que pour **les territoires plus élevés valdo-français du Grand Genève**, où la filière bois, et notamment le bois œuvre, est très active.

La résilience et les capacités d'adaptation de la forêt au changement peuvent être améliorées en réduisant les menaces des facteurs non climatiques, et en favorisant une sylviculture plus proche du fonctionnement naturel de l'écosystème. Il semble alors important de continuer l'investissement en forêt afin de suivre l'évolution des peuplements et d'accompagner les mutations des aires écologiques **afin maintenir les fonctions de production, sociales, environnementales et de protection des forêts.**

L'économie forestière fait face à **des défis autres** que les changements climatiques qui souvent sont et resteront tout aussi importants : concurrence du bois importé, pénurie de main d'œuvre, handicaps structurels lié au morcellement foncier et aux difficultés d'accès.

Afin d'accompagner les impacts des changements climatique et les défis socio-économiques, il est important de **mettre en place des programmes permettant d'une part aux acteurs de l'économie forestière de s'adapter et d'autre part aux forêts d'augmenter leur capacité de résilience**.

1.4. Stratégies d'adaptation

La Suisse et la France se sont dotées au niveau national d'une stratégie d'adaptation aux changements climatiques.

En Suisse, le Conseil fédéral a approuvé en avril le second volet de sa stratégie d'adaptation aux changements climatiques, soit un plan d'action pour la période allant de 2014 à 2019 (OFEV 2014). Sur les 63 mesures du plan d'action, 54 concernent les secteurs suivants: gestion de l'eau, gestion des dangers naturels, agriculture, gestion des forêts, énergie, tourisme, gestion de la biodiversité, santé et développement territorial ; les 9 autres mesures sont transversales. Les mesures sont élaborées et mises en oeuvre dans le cadre des différentes politiques sectorielles des offices fédéraux qui doivent permettre de saisir les opportunités liées aux changements climatiques, de minimiser les risques et d'augmenter la capacité d'adaptation de la société, de l'économie et de l'environnement. Ce plan d'action fait suite à la validation en 2012 d'un premier volet définissant les objectifs, les défis et les champs d'action à prendre en compte (OFEV 2012).

En France, la stratégie nationale d'adaptation a été élaborée dans le cadre d'une large concertation, menée par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, impliquant les différents secteurs d'activités et la société civile sous la responsabilité du Délégué Interministériel au Développement Durable. Elle a été validée par le Comité interministériel pour le développement durable réuni en novembre 2006 par le Premier ministre. Quatre grandes finalités sont identifiées dans cette démarche face au changement climatique :

- Sécurité et santé publique.
- Aspects sociaux : les inégalités devant le risque.
- Limiter les coûts, tirer parti des avantages.
- Préserver le patrimoine naturel.

Les approches sectorielles concernent les domaines suivants : l'eau, la santé, la biodiversité, l'agriculture, l'énergie et l'industrie, les transports, le bâtiment et l'habitat, le tourisme, les banques et les assurances.
Sur cette base, un plan national d'adaptation au changement climatique 2011 à 2015 (PNACC) présente des mesures concrètes, opérationnelles pour préparer la France à faire face et à tirer parti de nouvelles conditions climatiques.

Les résultats de la présente étude sont cohérents avec les orientations données par ces stratégies nationales. Les lecteurs sont invités à s'y référer pour toute action développée dans une perspective d'adaptation dans le canton de Genève et le Grand Genève afin d'assurer une bonne cohérence des politiques publiques aux différents échelons décisionnels.

1.5. Perspectives et gestion des incertitudes

Pour que les résultats obtenus pour chaque domaine d'impact puissent être comparés de manière transparente, la présente étude cherche le plus possible à quantifier les risques et les opportunités attendus en raison des changements climatiques, tout en analysant qualitativement d'autres facteurs. Cette quantification, qui s'appuie sur les connaissances actuelles en termes de processus, de modélisation et de données, est liée à de grandes incertitudes ; ces dernières se retrouvent donc dans les résultats finaux de l'étude. Le lecteur est donc invité a prendre le recul nécessaire quant à l'interprétation et l'utilisation des résultats.

Cependant, **ces résultats présentent des tendances intéressantes ainsi qu'une importante quantité d'informations** sur les risques et opportunités identifiés. **Cette matière demande à être exploitée davantage afin d'être convertie en un plan d'action pour l'adaptation aux changements climatiques à l'intention des décideurs** du canton de Genève et de l'ensemble du Grand-Genève.

Incertitudes dans l'évaluation des risques naturels

L'évaluation des risques naturels dans leur état actuel est généralement entachés de grandes incertitudes (+/- 30% en termes d'ampleur du processus). Les modélisations des paramètres nécessaires à l'évaluation des dangers ne constituent souvent que la meilleure représentation possible de la nature, comme le sous-entend déjà le terme « modèle » (p. ex. les modèles numériques de terrain, les hypothèses sur les précipitations et les débits, etc.). Ces incertitudes sont souvent plus importantes que l'impact attendu des changements climatiques sur ces processus naturels.

Il faut aussi préciser que les principales conséquences des changements climatiques sur les processus naturels se traduisent par des évolutions très lentes. En raison des connaissances encore trop lacunaires dont on dispose aujourd'hui, l'évaluation des dangers naturels de type gravitationnel (pour 2060) suit une approche basée sur des valeurs climatologiques moyennes. En effet, les événements extrêmes, le caractère non linéaire de certains processus et les nombreuses interactions entre ces processus ne sont que peu, voire pas du tout, connus à ce stade. Il n'est donc pas possible de formuler de manière concluante des affirmations fiables sur l'évolution des processus tels que les crues. Pour ces raisons, la présente étude utilise généralement une approche linéaire, sachant toutefois que l'évolution des dangers naturels pourrait aussi être exponentielle.

La stratégie suisse « Sécurité contre les dangers naturels[7] » propose à ce titre une approche intéressante pour gérer ces défis car elle permet de tenir compte des incertitudes, des possibles interactions entre les processus et des changements que ces derniers subissent. Dans le domaine de la protection contre les crues, par exemple, l'analyse des événements (notamment des crues de 2005) tient compte du phénomène de surcharge pour les nouveaux ouvrages.

[7] www.planat.ch

Comment les résultats et les incertitudes doivent-ils être interprétés?

Pour réaliser une quantification pragmatique, les auteurs ont le plus souvent dû identifier eux-mêmes les principales interactions entre les différents effets et processus, en s'appuyant sur la littérature scientifique et les discussions d'experts, pour obtenir des valeurs estimées qui, dans un deuxième temps, ont été plausibilisées sous la forme de *storylines*[8]. En s'appuyant sur des hypothèses transparentes, cette approche permet d'obtenir une image globale qualitative et quantitative des risques et des opportunités. Les importantes lacunes identifiées dans les connaissances des processus et dans la disponibilité des données constituent un moteur pour définir les besoins qu'il reste à combler en matière de recherche et d'analyse.

Les résultats donnent une vue d'ensemble des domaines d'impact pertinents et décrivent les interactions et processus centraux qui pourraient faire que, dans les périmètres d'étude, les changements climatiques se traduisent en risques ou en opportunités. Ils peuvent servir d'aide à long terme pour l'administration et le public intéressé dans l'objectif de procéder aux premières évaluations et de prioriser les besoins d'action. Dans ce contexte, il est donc important de communiquer non seulement les résultats mais aussi les éventuelles incertitudes, afin que celles-ci soient comprises. La présente étude constitue une première étape pour se préparer aux situations futures que rencontreront les agglomérations. Il s'agira, dans les années à venir, de surveiller son évolution afin de pouvoir faire face de manière adéquate aux possibles conséquences des changements climatiques. La longue période de 50 ans constitue un défi pour les processus politiques et sociaux actuels.

En **utilisant les résultats pour (i) interpréter les risques, (ii) identifier les champs d'action nécessaires, (iii) planifier et (iv) mettre en œuvre les mesures d'adaptation**, il convient d'accorder une attention particulière à la manière dont les impacts des changements climatiques s'inscrivent dans l'évolution socio-économique. L'analyse montre en effet que **l'influence que les facteurs socio-économiques exercent sur les modifications est souvent comparable voire plus importante que celle des facteurs climatiques**. Cet élément peut donc renforcer ou atténuer les conséquences attendues des changements climatiques. Par exemple, la croissance démographique attendue entraîne une augmentation supplémentaire des coûts de climatisation. En revanche, les développements technologiques dans le secteur de l'efficacité énergétique des appareils de refroidissement et de climatisation permettent de compenser une partie de ces coûts supplémentaires.

Besoins en matière de recherche et interface avec le public

La collaboration qui s'est établie dans le cadre de cette étude de cas entre les auteurs, les administrations et les différents experts locaux s'est avérée très fructueuse et il se pourrait bien

[8] Les storylines sont les bases élaborées généralement en s'appuyant sur des avis d'experts et permettent de faire des estimations quantitatives et d'élaborer des scénarios (cf. IPCC – *Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. chapitre 2.4.)

qu'elle ait généré une compréhension meilleure et plus transversale des problématiques sociales et politiques induites par les impacts des changements climatiques.

Les répercussions et les domaines d'impact reconnus comme pertinents nécessitent maintenant **une analyse plus approfondie**. Pour pouvoir ensuite définir les champs d'action et soutenir la planification concrète de mesures, il est nécessaire de disposer de connaissances approfondies sur les processus, les répercussions et les données analysés. En raison du caractère limité des bases scientifiques, les risques et opportunités difficilement (voire pas du tout) quantifiables sont généralement sous-représentés dans la présente étude. Mais c'est en particulier dans ces cas que les besoins en matière de recherche et d'analyse sont les plus importants pour mieux se préparer aux risques qui pourraient survenir.

S'il est important de **rappeler ici les efforts plus que jamais nécessaires pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, il est également essentiel de mobiliser les acteurs autour d'actions qui permettront à notre société de s'adapter aux changements à prévoir**. Les risques et opportunités identifiés dans cette étude et la matière qu'elle fournit méritent d'être exploités dans une perspective de **plan d'action pour l'adaptation aux changements climatiques.**

Références du chapitre 1

OFEV 2012: Adaptation aux changements climatiques en Suisse, Objectifs, défis et champs d'action ; Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012

OFEV 2014 : Adaptation aux changements climatiques en Suisse, Plan d'action 2014-2019 ; Deuxième volet de la stratégie du Conseil fédéral du 9 avril 2014

EBP/SLF/WSL 2013a : Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz, Schlussbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom Juli 2011)

EBP/SLF/WSL 2013b : Risques et opportunités liés aux changements climatiques en Suisse, Projet de rapport méthodologique ; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; OFEV Berne (version du 31.05.2013)

Infras et al. 2007: Auswirkungen des Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft – internationale Einflüsse, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Ittigen.

2. Introduction

2.1. Contexte de l'étude

Les changements climatiques sont déjà perceptibles aujourd'hui et ils continueront de se faire sentir à l'avenir sur nos régions avec des répercussions, positives et négatives, sur l'environnement, l'économie et la société (CH2011, 2011). Au cours du 21e siècle, l'environnement, la population et l'économie devront s'adapter aux changements climatiques. Afin d'exploiter les opportunités et de minimiser les risques liés à ces changements, il est nécessaire d'élaborer une stratégie d'adaptation.

En Suisse, la loi sur le CO_2 constitue la base légale de la stratégie d'adaptation. L'art. 8 demande à ce que la Confédération élabore les bases nécessaires pour prendre les mesures qui s'imposent afin d'éviter et de maîtriser les dommages causés à des personnes ou à des biens d'une valeur notable par les changements climatiques. Une **stratégie d'adaptation** a donc été élaborée pour la Suisse, sous la conduite du Comité interdépartemental Climat (CI Climat).

En France, les engagements politiques sont établis dans le cadre de la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE du 13 juillet 2005) dont l'objectif est de diviser par quatre les émissions françaises de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. Cette politique se décline d'une part sous l'angle des politiques d'**atténuation des émissions de gaz à effet de serre** (principalement à travers le Plan national d'action en matière d'efficacité énergétique) et d'autre part à travers un Plan national d'**adaptation** aux changements climatiques. A l'échelle locale, les Plans climat-énergie territoriaux (PCET) sont les outils employés par les collectivités de plus de 50'000 habitants pour identifier les actions à mener en termes d'atténuation et d'adaptation. Les PCET comporte notamment une « étude de vulnérabilité » pour chaque territoire. A ce jour, 466 PCET ont été recensés par l'observatoire mis en place par l'ADEME[9].

L'analyse des risques et des opportunités liés aux changements climatiques constitue en particulier l'un des fondements de la stratégie suisse d'adaptation. A cet effet, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a élaboré - dans le cadre d'un projet pilote - une méthode supra-sectorielle d'analyse des risques et des opportunités climatiques qui a été validée dans le canton d'Argovie (EBP, SLF, WSL 2013a). Cette méthode repose sur une quantification et une monétarisation d'une part, et d'une appréciation qualitative d'autre part, des impacts dus aux changements climatiques. Les résultats de cette étude de cas montrent qu'il est possible, sur la base des connaissances actuelles, d'identifier les principaux risques et opportunités climatiques, ainsi que de les évaluer. Les différents risques et opportunités peuvent donc être comparés et les priorités de l'adaptation dégagées.

[9] http://observatoire.pcet-ademe.fr

Pour arriver à une appréciation portant sur l'ensemble des régions géographiques, le projet de l'OFEV découpe le territoire suisse en six espaces géographiques : le Plateau, les Alpes, les Préalpes, le canton du Tessin, le versant sud des Alpes, le Jura, et les grandes agglomérations. Pour chacun de ces espaces, un canton représentatif est défini, et analysé en détail. L'analyse du canton d'Argovie et du Plateau est terminée. L'étude de cas portant sur Uri (et les Alpes) sera disponible prochainement. Parallèlement à la présente étude de cas, une autre étude est réalisée dans le canton de Fribourg pour la région des Préalpes. L'ensemble de ces études constitue les bases pour l'évaluation des risques et des opportunités liés aux changements climatiques pour l'ensemble de la Suisse.

Dans le cadre de la présente étude, les **cantons de Bâle-Ville et de Genève** ont été choisis par l'OFEV comme représentatifs des **grandes agglomérations**. Les effets du changement climatique dans les agglomérations étant en effet très variables, cette étude de cas traite deux agglomérations afin de pouvoir appréhender les différences et similitudes.

L'étude portant sur Genève a par ailleurs été étendue à **l'ensemble du territoire de l'agglomération du Grand Genève**. Ces nouvelles études de cas doivent permettre de mieux comprendre les risques et opportunités spécifiques aux zones urbaines, caractérisées par une forte densité de population potentiellement vulnérable, un développement rapide et un important patrimoine composés de bâtiments, d'infrastructures et d'équipements.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de plusieurs démarches actuelles:

- La stratégie d'adaptation aux changements climatiques en Suisse du Conseil Fédéral[10],
- Le Plan climat du Canton de Genève qui est un des objectifs de la loi sur l'action publique en vue d'un développement durable (Agenda 21) (A 2 60),
- Le Schéma de Cohérence Climat-air-Energie Territorial (SC2ET) du Grand Genève, qui regroupe les différentes initiatives liées au climat lancées sur le territoire.

Les partenaires de ce projet sont l'OFEV, les services de l'Etat de Genève et du Grand Genève. Le mandat de réalisation de l'étude est confié aux bureaux Infras (pilote), Sofies, Egli Engineering et Inddigo.

Il est important de clairement distinguer cette démarche des questions dites *d'atténuation* des changements climatiques visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre *qui ne seront pas abordées ici* mais dans le cadre des plans d'action également en cours d'élaboration.

[10] http://www.bafu.admin.ch/klimaanpassung/11529/index.html?lang=fr

2.1.1. La méthode d'analyse des risques et des opportunités liés aux changements climatiques

La présente étude consiste à examiner les opportunités et les risques liés aux changements climatiques avec l'ambition particulière, lorsque cela est possible, de chiffrer les conséquences dans différents secteurs (domaines d'impact). Elle permet ainsi une comparaison supra-sectorielle des impacts dus aux changements climatiques. La comparaison des différents domaines d'impact indique les besoins les plus urgents et les plus importants et permettra ainsi aux décideurs de hiérarchiser les mesures d'adaptation.

La méthode appliquée pour la présente étude étant la même que pour les études de cas des cantons d'Argovie et d'Uri, elle n'est pas décrite en détail, mais il est fait référence aux études existantes. La description générale est en partie tirée du rapport sur l'étude du cas dans le canton d'Argovie (EBP 2013d).

L'analyse comporte une appréciation des risques et des opportunités induits par des scénarios climatiques prédéfinis[11] pour les domaines de l'agriculture, de l'économie forestière, de la gestion des eaux, de l'énergie, des infrastructures et bâtiments, de la santé et de la biodiversité.

L'approche méthodologique proposée[12] se veut :

- systématique et cohérente – tous les secteurs sont analysés,
- pragmatique et collaborative – les publications scientifiques sont complétées par des estimations de spécialistes,
- quantitative et qualitative – autant que possible, les résultats doivent être exprimés sous forme de coûts positifs ou négatifs, ou lorsque cela n'est pas possible, par une analyse qualitative.

Etant donné que cette étude sert de fondement à l'élaboration de mesures d'adaptation dans le domaine du climat, l'accent est mis sur les conséquences liées aux changements climatiques. Les scénarios socio-économiques sont donc uniquement pris en compte d'un point de vue qualitatif, même si l'évolution démographique et économique devrait entraîner des effets semblables, voire plus importants.

Puisque la région étudiée a été sélectionnée en tant qu'étude de cas représentative des grandes agglomérations, l'essentiel de l'effort de quantification sera consacré aux thématiques caractéristiques d'une agglomération urbaine dense. Pour les thématiques à caractéristiques plus rurales, les auteurs privilégieront les évaluations qualitatives et valoriseront les résultats d'autres études existantes.

[11] Selon la méthode, les scenarios climatiques à prendre en compte sont les scenarios « RCP3PD » (faible changement) et « A1B » (changement fort) de l'IPCC Assessment Report

[12] http://www.bafu.admin.ch/klimaanpassung/11529/11578/index.html?lang=fr (en allemand)

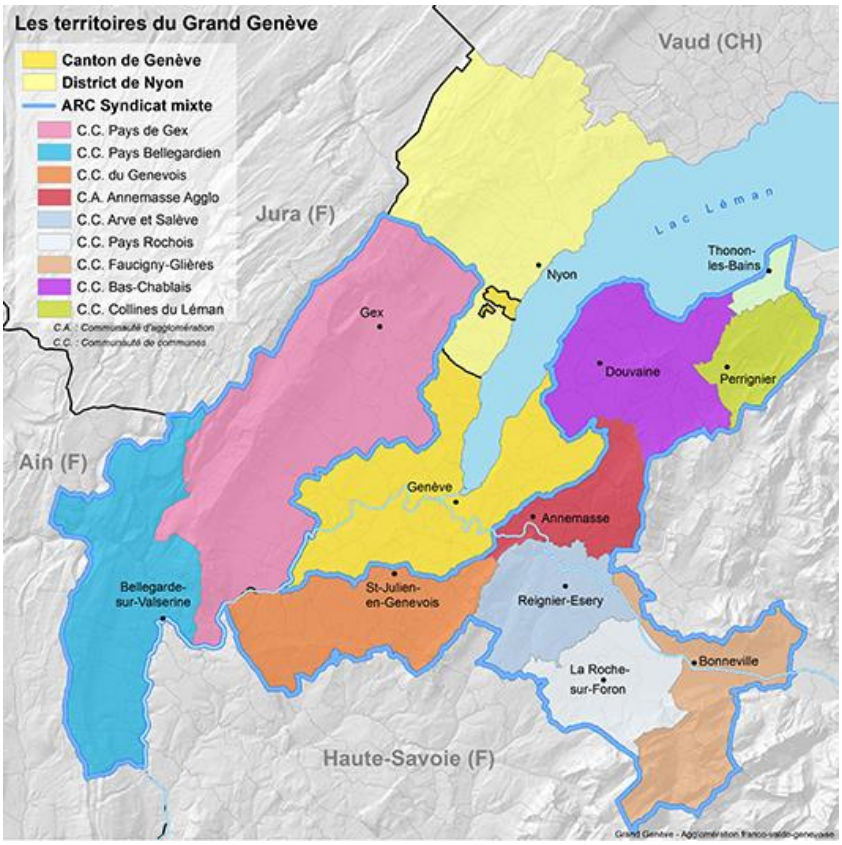
Mentionnons enfin que cette méthode vise à évaluer les impacts des changements climatiques localement à l'intérieur du territoire d'étude. Elle ne considère donc pas les risques et opportunités à large échelle tels que les questions liées aux migrations de populations vulnérables et à la sécurité alimentaire ou aux grands équilibres économiques. Bien que très importants, ces risques ne sont pas pris en compte dans la méthode d'analyse développée par l'OFEV.

2.1.2. Description synthétique des régions étudiées

S'étendant sur environ 2'000 km^2, l'agglomération du Grand-Genève réunit plusieurs entités territoriales et politiques englobant le canton de Genève, le district de Nyon (canton de Vaud) et une partie des départements de l'Ain et de la Haute-Savoie.

L'ensemble forme un bassin de population de 946'000 habitants (2014) et un pôle économique de 451'000 emplois (2014) dont 66% sont situés dans le canton de Genève[13]. Les données et les projections de population sont détaillées à la partie 4.3.2.

Figure 3 : Carte des régions étudiées



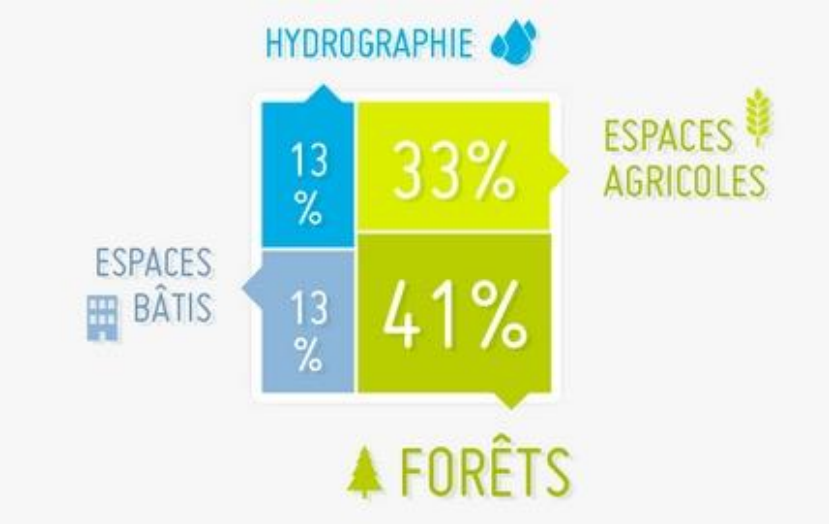
Les limites du périmètre étudié correspondent formellement aux limites de l'agglomération franco-valdo-genevoise. (Source : www.grand-geneve.org)

[13] http://www.grand-geneve.org/grand-geneve/le-territoire/chiffres-cles

En plus des défis spécifiques aux agglomérations, la région étudiée du Grand Genève présente la particularité d'être **transfrontalière** – au même titre que Bâle d'ailleurs. Dans les deux cas, l'agglomération s'étend sur plusieurs cantons et pays, ce qui est susceptible de poser des défis importants en matière de gestion des changements climatiques. C'est justement dans ce contexte-là que les structures de gouvernance transfrontalière en place telles que le Groupement local de coopération transfrontalière du Grand Genève peuvent jouer un rôle essentiel.

Les espaces naturels occupent une part prépondérante du territoire (Figure 4) qui sera étudiée dans le cadre des chapitres portant sur la biodiversité, l'agriculture, l'eau et la forêt. Néanmoins, comme déjà mentionné, le focus principal de l'analyse quantitative sera donné aux thématiques caractéristiques d'une agglomération urbaine dense. Pour les thématiques à caractéristiques plus rurales, les auteurs privilégieront les évaluations qualitatives et valoriseront les résultats d'autres études existantes.

Figure 4 : Occupation du sol dans l'agglomération du Grand Genève



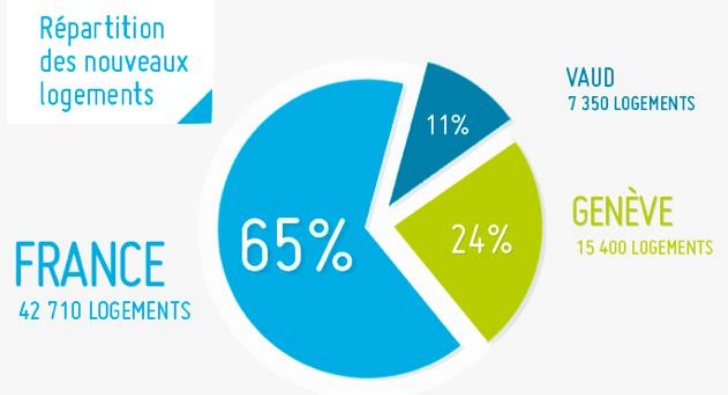
Occupation du sol dans l'agglomération du Grand Genève (source : www.grand-geneve.org)

Le canton de Genève et le Grand Genève constituent un centre de dynamisme économique important. A titre d'exemple, la croissance du seul canton de Genève atteindra 2,7% en 2014 (moyenne suisse à 2%). Cette situation économique avantageuse pose néanmoins des défis majeurs pour le Grand Genève :

- Depuis plus de 50 ans, on observe que le canton de Genève compte davantage d'emplois que de personnes actives. Comment rééquilibrer la création d'emplois de part et d'autre de la frontière ? Un engagement politique a été pris de créer 100'000 nouveaux emplois (notamment des emplois qualifiés) à l'horizon 2030, dont 30% sur le territoire français.
- Inversement, le canton de Genève fait face à une grave pénurie de logement. Or au cours des 10 dernières années, 65% des nouveaux logements ont été construits sur le territoire fran-

çais, avec des conséquences évidentes sur le flux de pendulaires et la génération de trafic motorisé pour pallier le déficit de transports publics transfrontaliers.

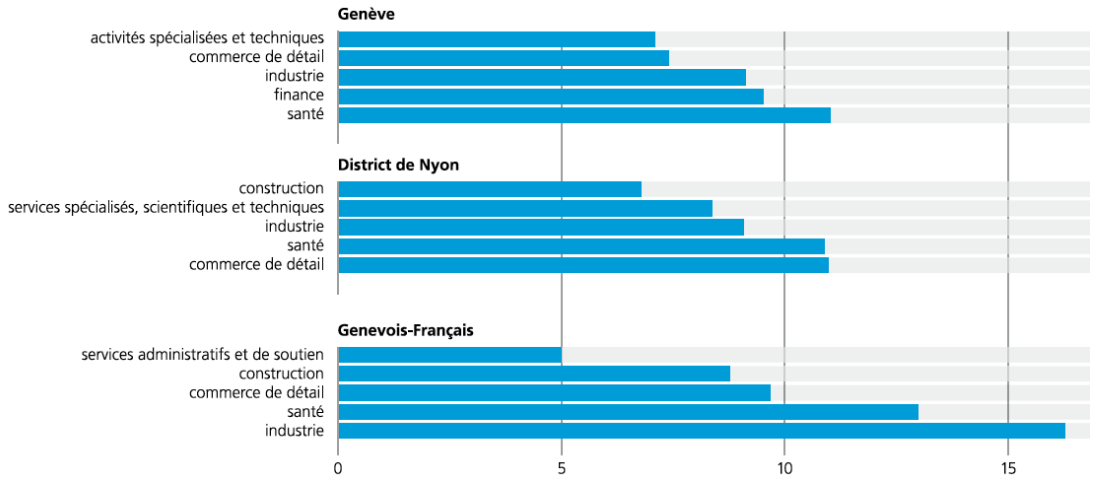
Figure 5 : Répartition des nouveaux logements dans le Grand Genève entre 2000 et 2010



Répartition des nouveaux logements dans le Grand Genève entre 2000 et 2010 (source : www.grand-geneve.org)

Sur le plan économique, on observe sans surprise que l'agglomération du Grand Genève est en voie de tertiarisation. Si l'on considère les 5 secteurs qui créent le plus d'emplois, on trouve la santé, l'industrie et le commerce de détail. Seul le district de Nyon conserve une part d'agriculture supérieure à 5%.

Figure 6 : Principaux secteurs d'emplois privés



Principaux secteurs d'emploi privés en 2008 (source : BCGE 2011)

A Genève, les secteurs qui créent le plus d'emplois sont la santé, l'horlogerie, la finance et l'hôtellerie-restauration. Côté français, ce sont surtout les secteurs de la construction, du commerce de détail, des services à la personne (économie de proximité) qui se développent. Quant au district de Nyon, son développement économique participe des deux modèles (croissance des industries de pointe et du commerce de détail) (BCGE 2011).

Plusieurs infrastructures d'importance régionale se trouvent à Genève. On peut notamment citer :

- l'Aéroport International de Genève (14,4 millions de passagers en 2013) qui dessert toute la région transfrontalière et notamment les stations touristiques alpines proches,
- la gare de triage de la Praille qui constitue une porte d'entrée logistique importante pour la Suisse et la région en général,
- Les barrages de Verbois et de Genissiat avec une production importante d'électricité.

Figure 7 : Aéroport International de Genève et vue sur le cœur de l'agglomération

Aéroport International de Genève et vue sur le cœur de l'agglomération (library.kiwix.org)

2.1.3. Démarches en cours

Comme mentionné plus haut, la présente étude s'inscrit dans le cadre d'autres démarches concomitantes :

- Afin de se doter d'un instrument opérationnel et transversal en matière de climat, le Canton de Genève a lancé courant 2013 l'élaboration d'un Plan Climat Cantonal qui comporte :
    1. Un diagnostic des émissions de gaz à effet de serre (bilan carbone),
    2. La présente étude de risques et opportunités liés aux changements climatiques en 2060
    3. Un profil climat territorial (synthèse du diagnostic et de l'étude de vulnérabilité)
    4. Un plan d'action visant à réduire efficacement les émissions de gaz à effet de serre et à prévoir des adaptions aux changements climatiques.

- Cette démarche, analogue aux PCET (Plan Climat Energie Territorial[14]) existants en France, est reprise à l'échelle du Grand Genève, afin d'homogénéiser les approches et de disposer d'une stratégie harmonisée sur l'ensemble du Genevois français et du district de Nyon. Notons également que Annemasse Agglomération et le Pays de Gex, à l'échelle de leur territoire, sont également engagés dans une procédure officielle de PCET.

2.1.4. Définition des périmètres d'étude

Comme indiqué à la Figure 3 (Carte des régions étudiées), la présente étude porte sur différents périmètres. Par souci de clarté, les intitulés suivants qui seront utilisés dans les chapitres sont présentés ici :

- Le **Canton de Genève** : périmètre administratif du canton de Genève.
- Le **District de Nyon** : périmètre administratif du district de Nyon (canton de Vaud).
- Le **Genevois français** ou la partie française du Grand Genève : périmètre administratif englobant le **Genevois de l'Ain** et **le Genevois haut-savoyard**, fédérés au sein de l'ARC (Assemblée Régionale de Coopération du Genevois français).
- Le **Grand Genève** : périmètre administratif englobant l'ensemble du territoire franco-valdo-genevois à savoir les trois périmètres précités. Ce terme sera également employé pour désigner l'entité géographique correspondante en se référant à ses caractéristiques climatiques, hydrologiques etc.
- La partie suisse du Grand Genève : canton de Genève et district de Nyon.

En synthèse de chapitre, des conclusions spécifiques seront exposées spécifiquement par périmètre, au minimum pour le canton de Genève et l'ensemble du Grand Genève, et si cela est pertinent et dans la limite du niveau de détail de la présente étude, pour certains des autres sous-périmètres.

Parfois, les termes suivants peuvent également être utilisés

- **Genève** : lorsqu'il est employé seul, le nom de Genève désigne la région sans contour précis, p.ex. « le débit du Rhône au niveau de Genève » ou « l'évolution du nombre de jours de canicule à Genève » se réfère à une référence moyenne à l'échelle de la région.
- **Ville de Genève** : périmètre administratif de la commune Ville de Genève.
- **Agglomération urbaine dense** : périmètre géographique approximatif englobant toutes les zones fortement urbanisées du Grand Genève, avec une référence particulière au cœur urbain du canton de Genève.

La « couronne » française et vaudoise : périmètre géographique approximatif désignant les zones à caractéristiques plus rurales souvent situées à moyenne altitude.

[14] Un Plan Climat Energie Territorial (PCET) est un projet territorial de développement durable dont la finalité est la lutte contre le changement climatique et l'adaptation du territoire. Le résultat visé est un territoire résilient, robuste, adapté, au bénéfice de sa population et de ses activités (source : www.pcet-ademe.fr)

Références chapitre 2

BCGE 2011: Le « grand Genève » : Centre urbain et pôle métropolitain, BCGE-OCSTAT-CCIG, Novembre 2011

BFS 2010b: Kantonale Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung – Altersstruktur der Kantone 2010 – 2035. Bundesamt für Statistik – BFS, Neuchâtel.

BFS 2014: Kennzahlen – Regionalporträts 2014: Kantone; Statistischer Atlas der Schweiz, Bundesamt für Statistik (BFS) Neuchâtel 2014

BFS, 2004 / 2009: Arealstatistik 2004/09. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

CH2011 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88p.

EBP/SLF/WSL 2013a: Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz, Schlussbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom Juli 2011)

EBP/SLF/WSL 2013b: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Methodenbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

EBP/SLF/WSL 2013c: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

EBP/SLF/WSL 2013d: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Arbeitsdokumentation; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

IPCC 2007. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

MEDDE 2014 : Politiques climat et efficacité énergétique, Synthèse des engagements et résultats de la France, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), juin 2014

MétéoSuisse 2014: MétéoSuisse, «Scénarios climatiques Suisse – un aperçu régional», rapport technique n° 243, 2014.

3. Méthode et éléments analysés

3.1. Aperçu de la méthode

La présente étude analyse les risques et les opportunités en tenant compte de l'état actuel et selon deux scénarios climatiques (faible ou fort) à l'horizon 2060. Autant que possible, les auteurs ont cherché à mener l'étude sur Genève en parallèle avec celle de Bâle-Ville afin d'assurer une bonne cohérence. Les effets du changement climatique dans les agglomérations étant en effet très variables, cette étude de cas traite deux agglomérations afin de pouvoir appréhender les différences et similitudes.

La méthode suit une approche systématique. Elle définit différents domaines d'impact, qui sont ensuite mis en parallèle avec les modifications qui s'exercent sur de nombreux aléas et effets (terme générique qui englobe les dangers naturels et les modifications climatiques) en raison des changements climatiques.
La marche à suivre pour l'étude de cas « grandes agglomérations » figure dans le rapport méthodologique « Risques et opportunités liés aux changements climatiques en Suisse » (EBP/SLF/WSL 2013b). Le présent chapitre donne un aperçu de la méthode. Les divergences avec la méthode initiale sont documentées au point 3.4. Plusieurs aspects méthodologiques sont en outre décrits en détail aux points 3.2 et 3.3.

Matrice de pertinence

L'analyse repose sur une matrice de pertinence, qui indique pour chaque domaine d'impact ainsi que pour chaque aléas et effet la pertinence des modifications attendues en raison des changements climatiques. Cette matrice permet ainsi de déterminer les priorités de l'analyse (cf. 5.1). On qualifie de « pertinents » les impacts fortement influencés par les changements climatiques. Il se peut donc que des impacts potentiellement élevés soient considérés comme non pertinents si les modifications attendues imputables aux changements climatiques sont minimes. La matrice de pertinence définit également, pour tous les aléas et effets pertinents, le degré de détail appliqué dans l'analyse des impacts. C'est donc sur elle que repose la méthode.
Les impacts des modifications climatiques attendues pour les différents domaines d'impact sont évalués sur les plans quantitatif ou qualitatif sur la base de la matrice. Le degré de détail fixé initialement est ensuite réévalué à l'aune des résultats obtenus et adapté si nécessaire. L'élaboration de la matrice de pertinence se fait donc selon un processus itératif (cf. 5.1).

Scénarios climatiques et déduction des aléas et effets

Les impacts actuels des aléas et effets sont d'abord résumés pour chaque domaine d'impact sur la base d'une étude de la littérature. L'évolution de certains risques et effets spécifiques a été déduite (selon la matrice de pertinence présentée au point 5.1) à partir des informations sur deux scénarios possibles pour la période autour de 2060, tirées de modèles climatiques (cf. 4.2). Pour des raisons de simplification, on part du principe que les impacts se modifient dans

la même ampleur que les aléas et effets correspondants. Les scénarios et les indicateurs climatiques sont présentés sous 4.1.2.
Les incertitudes de cette déduction sont généralement très élevées, si bien que les projections en termes d'aléas et d'effets doivent être considérées comme des « storylines » (IPCC 2007 wg2) et ne peuvent donc en aucun cas être interprétés comme des prévisions. Ces affirmations s'appuient largement sur la littérature existante et les avis d'experts. Dans certains cas, en raison du manque de données disponibles, les auteurs ont dû formuler leurs propres estimations.

Analyse quantitative par domaine d'impact
Les conséquences pour les domaines d'impact concernés sont évaluées sur la base de l'évolution des risques et des impacts liés aux changements climatiques (cf. 5.2 à 5.8). Une première étape consiste à chiffrer les coûts et bénéfices actuels, puis, sur la base des modifications attendues en termes d'aléas et d'effets, à déterminer ceux qui sont attendus à l'horizon 2060. La différence entre les coûts et les bénéfices des deux horizons temporels permet ainsi d'identifier les opportunités et les risques liés aux changements climatiques pour chaque combinaison d'aléas/effets et de domaine d'impact.
Le bilan global des modifications attendues des opportunités et des risques par domaine d'impact est déterminé en tenant compte des incertitudes frappant d'une part les données dont nous disposons aujourd'hui et, d'autre part, les modifications attendues des aléas et effets (cf. 5.9.1). Les impacts qui ne peuvent pas être quantifiés sont étudiés au plan qualitatif et mis en parallèle avec l'analyse quantitative (cf. 5.9.2). La comparaison suprasectorielle des opportunités et des risques permet ensuite d'identifier, dans le cadre d'une synthèse (cf. chapitre 1), les domaines d'impact les plus touchés par les changements climatiques.

Analyse qualitative par domaine d'impact
Il faut souligner que, pour certaines combinaisons de domaines d'impact et certains risques/impacts, les données manquent ou sont incomplètes, ce qui ne permet pas de réaliser une analyse quantitative. Les auteurs n'ont donc pas toujours été en mesure d'évaluer les effets attendus, même avec l'aide d'experts (p. ex. pour les domaines d'impact « Infrastructures et bâtiments », « gestion des eaux »). Dans ces cas, ils ont dû renoncer à représenter quantitativement les opportunités et les risques (même si leur ampleur est significative) et e contenter de réaliser une estimation qualitative.

Scénarios socio-économiques
Outre les modifications attendues d'ordre climatique, les évolutions socio-économiques et démographiques influencent elles aussi fortement les domaines d'impact étudiés. Un scénario socio-économique et démographique a donc également été élaboré afin de mettre en relation les impacts avec la croissance démographique, le contexte économique et les changements sociaux. La présente étude porte toutefois principalement sur les impacts liés au climat; les conséquences socio-économiques font donc uniquement l'objet d'une description qualitative

(cf. 4.3). Les conséquences des évolutions démographique, économique et sociale sont néanmoins très importantes et doivent être prises en compte lorsque les mesures d'adaptation seront concrétisées.

Termes utilisés et définitions

- *Coûts et bénéfices*:
  Une fois quantifiés, les impacts des aléas et effets sont traduits en coûts et en bénéfices. Les coûts peuvent être réguliers (p. ex. coûts de l'énergie, coûts annuels moyens) ou ponctuels, c'est-à-dire qu'il peut s'agir des coûts des dommages liés à un événement isolé, comme les coûts occasionnés par une catastrophe naturelle ou résultants d'un événement naturel (p.ex. dégâts suite à une crue, caractérisés par un certain temps de retour et une quantité de dommages). Les coûts des dommages sont estimés en s'appuyant sur des événements historiques pour lesquels on estime une période de retour.
  Les coûts et bénéfices réguliers sont estimés sur la base des données les plus actuelles. Sauf indication contraire, les coûts et bénéfices sont basés sur l'année de référence 2010 (dans le texte « aujourd'hui » ou « actuel »). Les coûts sont toujours précédés d'un signe « moins » et les bénéfices d'un signe « plus ».

- *Période de retour:*
  La période de retour (ou temps de retour) est la moyenne à long terme du temps entre deux événements qui atteignent ou dépassent une intensité donnée. Exemple : un événement dont la probabilité statistique est de 1 sur 10 a un *temps de retour* de 10 ans.

- *Risques et opportunités*:
  Dans la présente étude, « risques et opportunités » est employé pour qualifier la modification des coûts et bénéfices imputables aux changements climatiques. On parle d'opportunité lorsque les coûts diminuent ou que les bénéfices augmentent, entre la situation actuelle et le scénario attendu pour 2060. Si les coûts sont plus élevés ou les bénéfices moindres, on parle alors de risques. Le bilan global tient aussi compte des opportunités et des risques des impacts étudiés au plan qualitatif.

  Les termes techniques spécifiques aux conditions climatiques sont décrits dans le glossaire au début du rapport.

3.2. Analyse des informations qualitatives et quantitatives

Toutes les modifications des coûts et bénéfices induites par les changements climatiques sont analysés quantitativement à chaque fois que cela est possible (cf. 3.2.1). S'agissant des conséquences climatiques pertinentes pour lesquelles les données correspondantes manquent, les impacts sont analysés qualitativement (cf. 3.2.2). La synthèse des risques et opportunités tient

compte des résultats de l'analyse qualitative ainsi que de ceux de l'analyse quantitative (cf. 1.2).

3.2.1. Impacts analysés quantitativement

L'évaluation quantitative s'appuie le plus possible sur les données existantes ou sur des estimations d'experts ; elle est réalisée selon un ensemble d'indicateurs. Pour les indicateurs qui ne sont pas relevés comme des grandeurs monétaires, le rapport méthodologique prévoit une monétarisation (EBP/SLF/WSL 2013b).

Quantification des impacts

Les impacts sont quantifiés en utilisant les valeurs attendues annuelles. Ces dernières correspondent aux coûts ou aux bénéfices prévisibles chaque année en moyenne. Les impacts sont monétarisés afin de pouvoir comparer les différents domaines d'impacts. Les impacts étudiés qualitativement sont mis en relation avec les données quantitatives en tenant compte de leur ordre de grandeur.

Dans certains cas, les valeurs annuelles attendues ne donnent qu'une image incomplète de la situation. Dans ces cas, les événements rares (p. ex. les crues de grande ampleur) fournissent des éléments essentiels pour compléter l'analyse. C'est pourquoi, pour les aléas qui se matérialisent avant tout sous la forme d'événements isolés, on présente non seulement les valeurs attendues, mais aussi les impacts d'un événement comme il en survient tous les 100 ans. Les valeurs sont entachées d'incertitudes[15], qui dépendent de la qualité des données disponibles. Un facteur d'incertitude est défini pour les différentes affirmations. Le point 3.3 décrit la méthode appliquée pour l'analyse des incertitudes.

L'estimation des impacts climatiques selon les données disponibles s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle les processus et les relations de causes à effet sont constants. L'étude suppose en outre que la modification des impacts est proportionnelle à celle des aléas et effets. Ces hypothèses ne sont toutefois pas toujours justifiées. En effet, tant le climat que les impacts liés aux changements climatiques dépendent de processus non linéaires. Ainsi, il se peut que l'ampleur de certains impacts ne puisse pas être estimée sur la base des données disponibles aujourd'hui, notamment en cas de dépassement d'une valeur seuil. Il est donc possible que les conséquences soient nettement plus graves. Ces interactions sont également décrites dans la présente étude en tant que « variables aléatoires ». Il s'agit alors d'une estimation qualitative des risques qui, dans certaines conditions précises, pourraient être nettement plus élevés. En raison de ces non-linéarités, il se pourrait également que les effets attendus ne se produisent pas, ou alors plus tard que prévu.

[15] Dans beaucoup de cas, les données disponibles aujourd'hui ne permettent pas de quantifier un événement survenant tous les 100 ans. Faute de séries chronologiques uniformes pour les différents types d'impacts, la présente étude estime les valeurs attendues annuelles et celles pour un événement qui survient tous les 100 ans. Ces valeurs s'appuient donc sur des séries chronologiques dont la longueur diffère en fonction du domaine d'impact et de l'effet.

Agrégation des opportunités et des risques

Les impacts par aléa et par effet sont également déterminés globalement pour chaque domaine d'impact. Les impacts sont en outre répartis en risques (changements négatifs) et en opportunités (changements positifs). Les conséquences des différents effets sont additionnées en conséquence. Dans leur forme agrégée, les impacts peuvent ensuite être mis en parallèle avec les risques et les opportunités attendus (bilan global).

Les impacts agrégés permettent de calculer les opportunités et les risques : différence par rapport à la valeur attendue actuelle. Les résultats obtenus constituent le fondement (quantitatif) pour procéder à une comparaison suprasectorielle.

Les opportunités comprennent les coûts pour lesquelles on s'attend à une baisse et les bénéfices qui, par rapport à aujourd'hui, pourraient augmenter. Dans le cas contraire, on parle alors de risques. La synthèse tient également compte de l'évaluation qualitative des opportunités et des risques. Notons toutefois que les opportunités et les risques attendus peuvent évoluer en raison des incertitudes qui, dans certains cas, peuvent être supérieures aux modifications attendues: une opportunité peut alors devenir un risque et vice versa.

Analyses de sensibilité

Pour certains aléas et effets, la modification induite par les changements climatiques ne peut être estimée pour le futur. Il s'agit par exemple des événements atmosphériques qui se produisent à petite échelle, tels que la grêle ou les orages. Etant donné que ces aléas et effets font explicitement partie de l'analyse, ils sont examinés en procédant à une analyse de sensibilité. Des modifications de +50% ou de -50% sont alors additionnées ou soustraites aux coûts (ou aux bénéfices). Cette approche permet d'étudier au moins certains aléas et risques comme des risques ou opportunités potentielles devant être pris au sérieux pour l'horizon 2060, afin que leurs dommages potentiels à venir ne soient pas sous-estimés dans le cadre de cette étude de cas.

3.2.2. Impacts analysés qualitativement

Dans beaucoup de domaines d'impacts, les données dont on dispose aujourd'hui ne suffisent pas pour une analyse quantitative des impacts, si bien qu'il n'est pas possible de chiffrer les coûts et les bénéfices attendus. Mais il ne faut pas pour autant négliger ces domaines, car ils peuvent être aussi importants que les opportunités et les risques quantifiés. Pour que les impacts potentiels des opportunités et des risques non quantifiés soient intégrés au bilan global, les impacts qualitatifs sont répartis entre différentes classes et mis en relation avec les impacts quantitatifs. Pour chaque domaine d'impact, la gravité des impacts qualitatifs est, d'une part, évaluée comme étant nettement plus faible, plus faible, négligeable, comparable ou plus grande (Tableau 2) et, d'autre part, chiffrée au moyen d'un facteur correspondant (cf. 5.9.2).

Ces facteurs définissent la part des impacts qualitatifs par rapports aux opportunités et risques quantifiés. Cette approche permet ainsi de calculer les risques et opportunités dans

leur globalité. Le facteur est défini tant pour les risques que pour les opportunités; le bilan global découle de la somme des risques et opportunités. Ces facteurs permettent de tenir compte de l'estimation des impacts qualitatifs dans l'évaluation globale présentée au chapitre 1 (synthèse).

Tableau 2 : Classement des estimations qualitatives en comparaison des informations quantitatives	
Facteur	**Description**
0.1	Nettement plus faible
0.33	Plus faible
1.0	Comparable
3.0	Plus grande
0.0	Négligeable

Définition des facteurs de conversion utilisés pour mettre les informations qualitatives en parallèle avec les valeurs quantifiées.

3.3. Prise en compte systématique des incertitudes

L'évaluation des impacts liés aux changements climatiques est entachée de grandes incertitudes. Celles-ci portent d'une part sur l'ampleur des changements et des aléas et effets qui en découlent et, d'autre part, sur les impacts attendus. De plus, les données disponibles ne permettent pas d'estimer avec précision les coûts et bénéfices actuels. En complément à la méthode donnée (EBP/SLF/WSL 2013a,b), ces imprécisions sont quantifiées sous formes d'incertitudes.

Par incertitude, on entend l'inexactitude ou la part d'inconnu qui affecte la représentation d'une situation dans un modèle. Selon leur complexité, les situations peuvent être plus ou moins bien représentées (c.-à-d. avec plus ou moins de précision) dans l'analyse. L'incertitude englobe aussi la part d'inconnu qui existe à propos des conséquences des scénarios climatiques et du scénario socio-économique et démographique sur les domaines d'impact. Pour tous les impacts quantifiés, l'incertitude est évaluée dans sa globalité au moyen de classes d'incertitude. Elles englobent les incertitudes portant sur les impacts actuels et attendus, sur les changements climatiques attendus et sur les modèles.

3.3.1. Classes d'incertitude

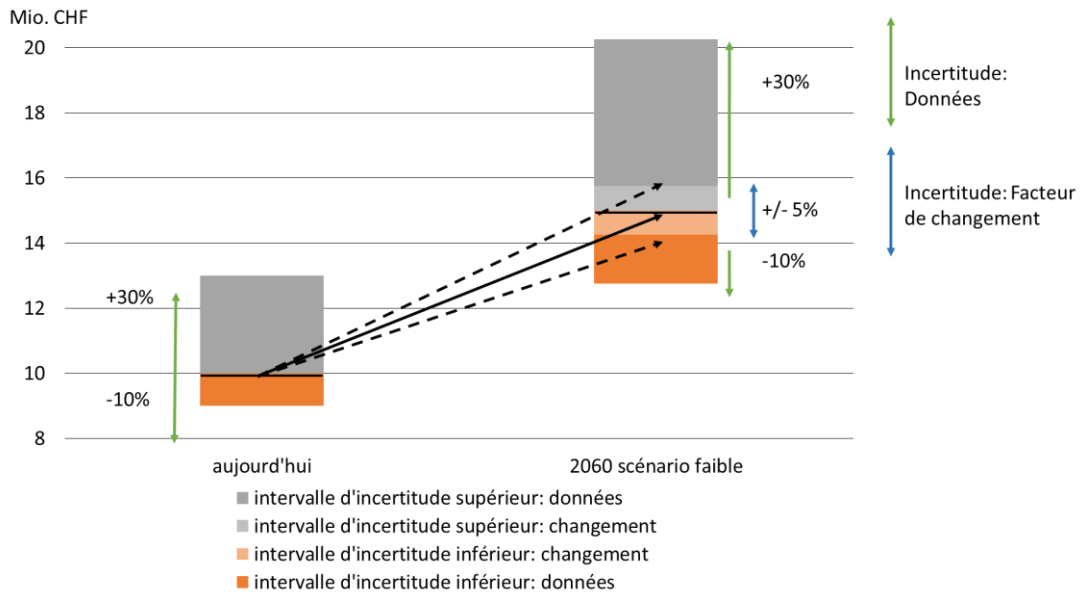
Les incertitudes sont interprétées comme impacts minimaux et maximaux auxquels il faut s'attendre. Celles des impacts par aléa/effet agrégés correspondent à la somme de chaque maximum ou minimum. Cette somme représente les impacts maximaux possibles (scénario « worst case » et scénario « best case »). Les imprécisions sont représentées sous forme de classes d'incertitude (cf. tableau suivant).

Classe d'incertitude	Description	Facteur d'incertitude (basé sur une valeur absolue du scénario)
0	« très faible »	0.93<f<1.1
1	« faible »	0.8<f<1.3
2	« moyen »	0.5<f<2
3	« grand »	f<0.5 ou f>2

Définition des catégories d'incertitude appliquées (adaptation d'après EBP/SLF/WSL 2013a,b). Classes d'incertitude: Une classe d'incertitude supplémentaire est introduite pour la situation actuelle; elle est appliquée pour les situations pour lesquelles l'on dispose de données suffisantes. Les autres valeurs sont reprises du rapport méthodologique EBP.

Les facteurs d'incertitudes dépendent à la fois de l'incertitude des données à disposition pour l'état actuel et de l'incertitude relative aux modifications induites par les changements climatiques. Cela est illustré à la Figure 8 ci-dessous. L'incertitude quant à la valeur attendue actuelle englobe à la fois la disponibilité des données et la variabilité annuelle des impacts ; on parle alors d'incertitude des données. Une incertitude supplémentaire s'ajoute pour le scénario futur : cette incertitude quantifie l'ampleur possible de la modification des impacts en fonction du scénario climatique donné. Par soucis de simplification, le facteur d'incertitude agrégé des deux composantes s'obtient en additionnant les différentes incertitudes des composantes partielles. Cette approche permet d'illustrer les impacts possibles maximaux, résultant de la combinaison de différentes incertitudes. Il s'agit ici de scénarios *worst-case* et *best-case* pour lesquels la probabilité d'occurrence est faible.

Figure 8 : Facteurs d'incertitude des bénéfices attendus par année



Les facteurs d'incertitude obtenus quantifient l'incertitude globale selon le tableau ci-dessus. Avec le scénario actuel, l'exemple illustré (Figure 8) a un facteur d'incertitude de 1. Dans cet exemple, il ne faut pas s'attendre à ce que l'incertitude relative des données se modifie dans le futur. Comme la valeur attendue augmente, l'incertitude entachant la valeur est toutefois plus

élevée avec le scénario futur. De plus, l'incertitude augmente car la modification n'est pas connue avec précision. Cette contribution supplémentaire à l'incertitude globale a pour effet d'augmenter le facteur d'incertitude de l'exemple illustré pour le scénario 2060.

Limites imposées par la méthode

La méthode appliquée dans cette étude agrège les incertitudes partielles en admettant, avec un scénario worst-case dans tous les domaines d'impact, que les coûts estimés sont maximaux (ou les bénéfices minimaux). La probabilité d'occurrence de la limite supérieure de l'impact global ainsi obtenu est donc plutôt faible. La méthode ne précise toutefois pas la probabilité d'occurrence des impacts situés dans l'intervalle d'incertitude. Elle permet néanmoins d'obtenir une estimation prudente de l'éventail des impacts attendus.

Prise en compte des mesures d'adaptation

La présente étude analyse les risques et les opportunités vers 2060 sans tenir compte des éventuelles mesures d'adaptation aux changements climatiques. Elle doit servir de base pour déterminer, dans un deuxième temps, les besoins d'adaptation et pour élaborer les mesures qui s'imposent. L'analyse des risques et des opportunités par domaine d'impact ne tient donc pas compte des mesures d'adaptation. Les résultats seront toutefois encore discutés en regard de certains aspects importants de la stratégie d'adaptation de la Confédération (OFEV 2012) (cf. 1.3).

3.4. Différences avec la méthode appliquée pour les études de cas Argovie et Uri

La présente étude diffère en certains points de la méthode recommandée dans le rapport méthodologique (EBP/SLF/WSL 2013a,b), ainsi que de celles appliquées pour les études de cas du canton d'Argovie (EBP/SLF/WSL 2013c,d) et d'Uri (INFRAS/Egli Engineering AG 2014).

Différences avec l'étude de cas du canton d'Argovie

- Les incertitudes frappant les opportunités et les risques n'ont pas été estimées au moyen d'une simulation de type Monte-Carlo, mais calculées avec la méthode décrite au point 3.1.
- L'incertitude concernant les risques et opportunités est elle aussi examinée au moyen de catégories d'incertitude. Au lieu des trois classes d'incertitude, une catégorie supplémentaire a été introduite pour la situation actuelle pour permettre de mieux recenser les paramètres avec des incertitudes très faibles (« état actuel ») (cf. 3.3.1).
- Affirmations concernant les aléas et effets: Même pour la situation actuelle, il n'est pas toujours possible de déterminer avec certitude la période de retour et l'intensité d'un aléa ou d'un effet. Dans de nombreux cas, les scénarios reposent sur des estimations ou des modèles, avec toutes les incertitudes que cela implique. Lorsque cela est possible, une af-

firmation est faite concernant la fréquence ou l'intensité d'un processus mais, en raison des incertitudes, il ne s'agit que d'un ordre de grandeur.

- Application des aléas et effets dans les domaines d'impact: comme mentionné plus haut, de grandes incertitudes frappent le domaine des aléas et des effets (situation « aujourd'hui » et évolution d'ici 2060). Par soucis d'uniformité, l'évolution estimée des aléas et des effets a été appliquée de manière linéaire sur l'évolution, d'ici à 2060, de l'estimation des coûts et bénéfices dans chaque domaine d'impact, bien que de nombreux processus ne devraient pas réagir de façon linéaire. La situation est nettement simplifiée en raison du manque de données disponibles et de connaissances des processus, mais elle tient le plus possible compte des incertitudes.
- Par soucis de simplification et compte tenu des grandes incertitudes, les impacts attendus selon le scénario socio-économique ne sont pas analysés quantitativement en valeurs absolues; au plan qualitatif, ils sont catégorisés en fonction de la gravité des impacts liés aux changements climatiques (faible, comparable ou plus grande). De plus, comme le but de cette anlyse est d'étudier les risques et opportunités liés au climat, l'intégration de l'évolution socio-économique aurait pour conséquence de ne plus rendre perceptible ou de relativiser excessivement les effets des changements climatiques.
- Pour les différents domaines d'impact, les effets ne sont pas évalués uniquement sous forme de bilan global; les opportunités et les risques sont présentés en sus de manière séparée.

Différences avec l'étude de cas du canton d'Uri

- Les incertitudes ne sont pas agrégées selon les imprécisions (incertitudes classifiées), car l'incertitude globale serait surestimée. Les calculs sont faits sur la base des incertitudes effectivement estimées et seul le résultat final est classifié.
- Une valeur seuil de 500 000 francs a été fixée pour l'analyse quantitative des impacts. Les coûts et les bénéfices inférieurs à ce montant tant avec la situation actuelle qu'avec les scénarios futurs, ne sont pas pris en compte dans la quantification des impacts.

Références du chapitre 3

EBP/SLF/WSL 2013a: Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz, Schlussbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom Juli 2011)

EBP/SLF/WSL 2013b : Risques et opportunités liés aux changements climatiques en Suisse, Projet de rapport méthodologique ; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; OFEV Berne (version du 31.05.2013)

EBP/SLF/WSL 2013c: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

EBP/SLF/WSL 2013d: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Arbeitsdokumentation; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

IAC ETHZ 2007: Klimasystem und Wasserkreislauf – Vorlesung Erd- und Produktionssysteme, Herbstsemester 2007. Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich.

INFRAS/Egli Engineering AG 2014: Klimabedingte Risiken und Chancen 2060, Regionale Fallstudie Kanton Uri; INFRAS und Egli Engineering AG, im Auftrag des BAFU (Bundesamt für Umwelt), Bern.

INFRAS 2014a: Städtischer Wärmeinsel-Effekt – Grundlagenarbeit für die Klimarisikoanalysen 2060. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf

4. Scénarios climatiques pour le canton de Genève et le Grand-Genève et aléas et effets correspondants

4.1. Climat actuel et scénarios climatiques

4.1.1. Climat actuel

Les graphiques ci-dessous présentent les paramètres et indicateurs climatiques appliqués pour cette étude. Pour les besoins de la présente analyse des risques, l'effet d'îlot de chaleur (EIC) dans les villes a fait l'objet d'une étude spécifique détaillée dans la publication INFRAS (2015a). Les encadrés ci-dessous contiennent les valeurs synthétisées des paramètres et indicateurs climatiques selon les données et scénarios MeteoSuisse (MétéoSuisse 2014d) pour le point de référence Genève-Cointrin. La manière dont les indicateurs climatiques ont été déterminés est décrite en détail dans INFRAS/Egli Engineering (2015a), qui fournit des explications spécifiques concernant les hypothèses et les réserves formulées.

Définition de la période de référence:

Climat actuel: Paramètres climatiques selon la norme climatologique pour la période 1981-2010

Les définitions des termes techniques utilisés dans ce chapitre sont données dans le glossaire en page 9.

Description du climat actuel

Une température moyenne de 10,5°C a été mesurée à la station de Genève-Cointrin pour la période de 1981 à 2010 (cf. Tableau 3). Cette station enregistre en moyenne annuelle environ 73 jours de gel, quelque 9 jours sans dégel et 15 jours de canicule. Les précipitations annuelles s'élèvent à 1005 mm, dont 3,2% sous forme de neige, avec 8 jours de neige fraîche.

Tableau 3: Valeurs annuelles moyennes actuelles (station Genève-Cointrin)

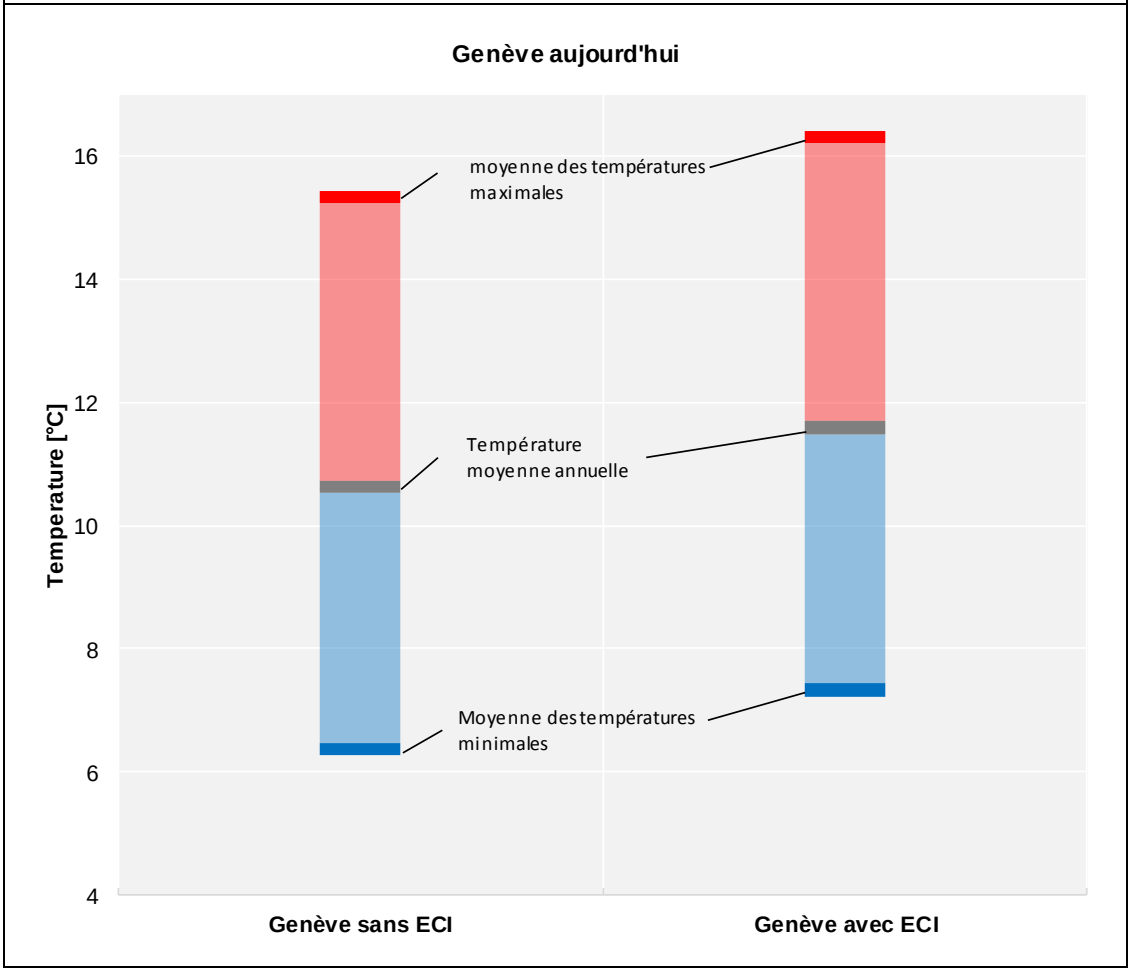
Station Genève-Cointrin	Moyenne annuelle de la période 1981-2010
Température [°C]	10.5
Température maximum [°C]	15.2
Jours de glace [d]	9.0
Jours de gel [d]	73.2
Jours d'été [d]	60.0
Jours très chauds [d]	15.0
Précipitation [mm]	1005.0
Précipitation [d]	109.0
Neige fraîche [cm]	32.1
Neige fraîche [d]	8.2

Normes climatiques choisies pour la période de 1981 à 2010, station de Genève-Cointrin. Source: MétéoSuisse (2014c)

Températures actuelles en tenant compte de l'effet d'îlot de chaleur

La température annuelle moyenne, la température journalière moyenne minimale et la température journalière moyenne maximale mesurée à Genève-Cointrin sont illustrées pour l'état actuel avec et sans prise en compte de l'effet d'îlot de chaleur (cf. Figure 9). L'effet d'îlot de chaleur a été déterminé selon la méthode décrite dans INFRAS (2014). Les valeurs représentées doivent être interprétées uniquement comme un signal de l'effet de chaleur arrondi sur un an. Cet effet d'îlot de chaleur peut, certains jours, être nettement plus prononcé. Le supplément « îlot de chaleur » s'élève à environ 1°C. Les modifications des différents indices climatiques entre la situation actuelle et celle de 2060, en tenant compte des scénarios *faible amplitude* et *grande amplitude*, sont illustrées ci-après.

Figure 9 : Température moyenne actuelle à Genève avec et sans effet d'îlot de chaleur



Température annuelle moyenne (gris), température journalière moyenne maximale (rouge) et température journalière moyenne minimale (bleu) mesurées à la station de Genève-Cointrin. A gauche: sans prise en compte de l'effet d'îlot de chaleur (ECI). A droite: avec prise en compte de l'effet d'îlot de chaleur (EIC) selon INFRAS (2014). Données modélisées: MétéoSuisse 2014d.

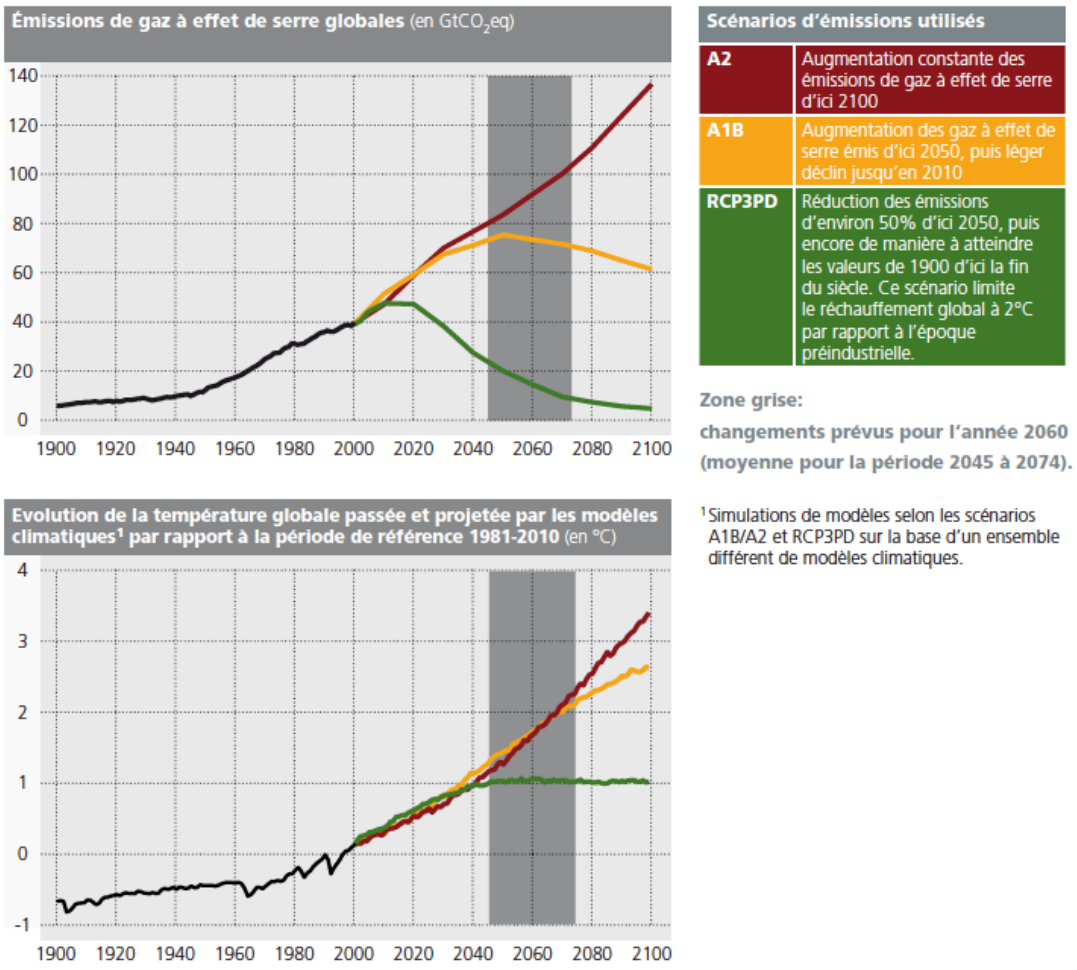
4.1.2. Scénarios climatiques en 2060

Les données et informations pertinentes concernant l'évolution du climat sont présentées de manière exhaustive dans le rapport INFRAS/Egli Engineering AG (2015). Les encadrés ci-dessous contiennent les valeurs synthétisées des paramètres et indicateurs climatiques.

Définition des scénarios climatiques pour 2060

A partir du milieu du 21e siècle, l'évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre aura un impact de plus en plus grand sur le climat de notre pays. L'étude utilisera les scénarios CH2011 ainsi que des modélisations complémentaires fournies par MétéoSuisse. Ces scénarios climatiques sont établis sur la base de trois scénarios d'émissions différents (Figure 10).

Figure 10 : Scénarios climatiques pour la Suisse



Trois scénarios sur l'évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre (en haut) ainsi que sur les modifications des températures annuelles (en bas). Source de la figure : MétéoSuisse 2014.

Deux d'entre eux sont fondés sur une nouvelle augmentation des émissions (le scénario A2 prévoit une augmentation constante des émissions de GES d'ici 2100 et le scénario A1B, une augmentation d'ici à 2050, puis un léger déclin des émissions jusqu'en 2010), tandis que le troisième (le scénario RCP3PD) part de l'hypothèse que, d'ici 2050, les émissions auront diminué de 50 % par rapport à leur niveau de 1990. Ce dernier scénario correspond approximati-

vement à une limitation du réchauffement planétaire à 2 °C depuis le début de l'industrialisation. Pour plus d'information sur ces scénarios climatiques, se référer à la publication *Swiss Climate Change Scenarios CH2011*.

L'impact des deux scénarios A1B et A2 est sensiblement identique dans la première moitié du 21e siècle. La raison en est que le cours des émissions mondiales, et par conséquent, la quantité totale de gaz à effet de serre existant dans l'atmosphère jusqu'à la période de 2045 à 2074 (zone gris foncée), est très similaire pour les deux scénarios. Il en résulte aussi des effets très similaires à propos du développement de la température globale et régionale. Or, vers la fin du siècle des différences importantes démarquent les différents scenarios (MétéoSuisse 2014).

Les scénarios climatiques utilisés pour la présente étude sont les suivants :

Scénario climatique de faible amplitude - scénario optimiste : Estimation moyenne **RCP3PD** 2060 (valeur moyenne 2045-2074) pour la température (chiffres arrondis à 0,1°C) et les précipitations (chiffres arrondis à 5%).

Scénario climatique de grande amplitude - scénario pessimiste : Estimation supérieure **A1B** 2060 (valeur moyenne 2045-2074) pour la température tout au long de l'année (chiffres arrondis à 0,1°C) et les précipitations (chiffres arrondis à 5%) en hiver et au printemps. Pour les précipitations en été et en automne, on applique l'estimation inférieure A1B afin de pouvoir prendre en compte une éventuelle forte baisse.

Les graphiques ci-après synthétisent les principales modifications climatiques attendues à l'horizon 2060 pour les deux scénarios de travail. Pour les définitions précises des termes utilisés se référer au glossaire en page 9.

Modification de la température annuelle moyenne

Figure 11 : Température moyenne annuelle aujourd'hui et en 2060 à Genève-Cointrin et Bâle-Ville

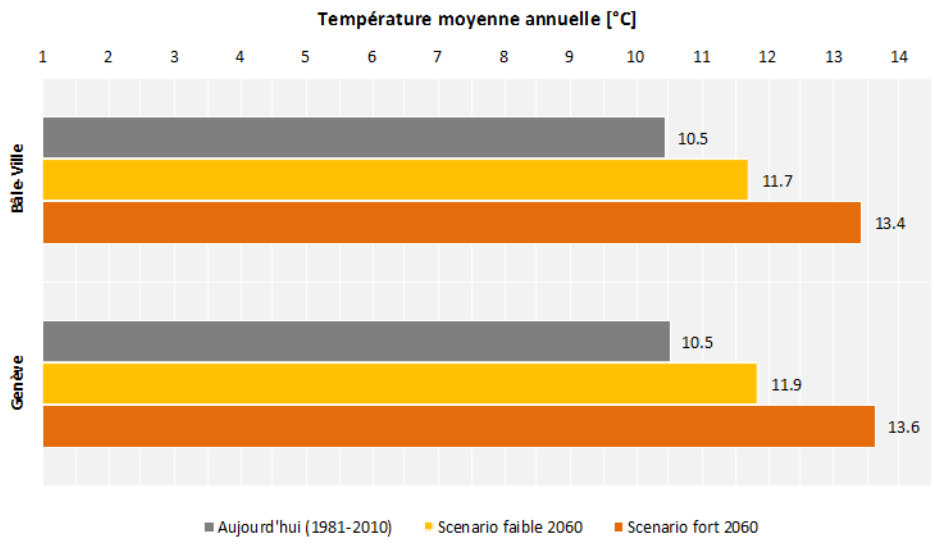
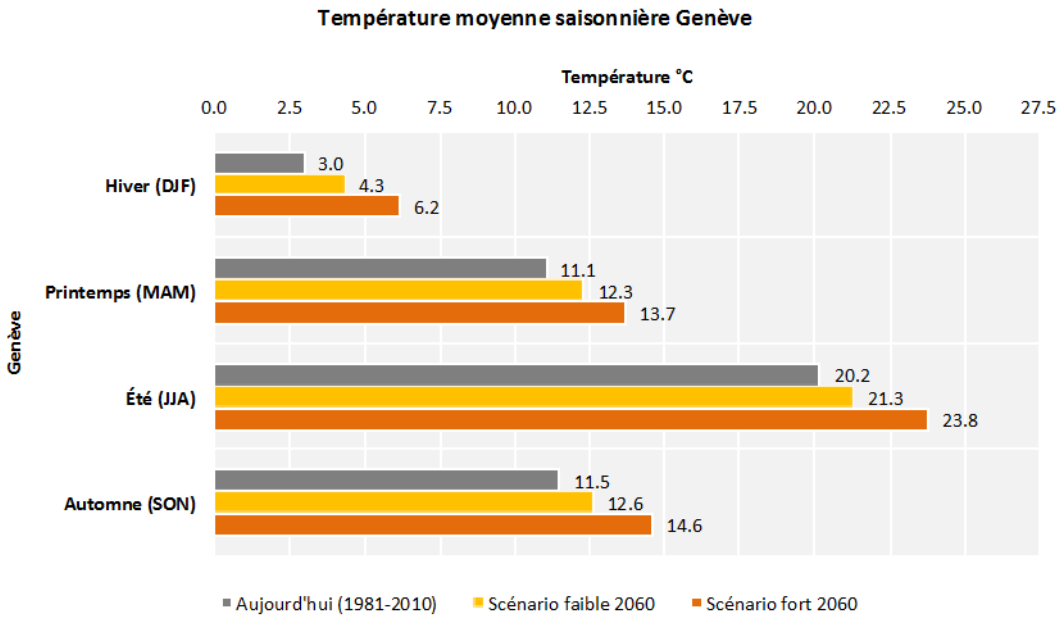


Figure 12 : Température moyenne saisonnière aujourd'hui et en 2060 à Genève-Cointrin



Températures annuelles moyennes et moyennes saisonnières (arrondie) pour *aujourd'hui* (gris) et pour 2060, pour les deux scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange) mesurée à la station de Genève-Cointrin; chiffres tirés de INFRAS/Egli Engineering (2015). Source: MétéoSuisse (2014d).

Modification des cumuls annuels de précipitations

Figure 13 : Sommes des précipitations annuelles à Genève et à Bâle-Ville

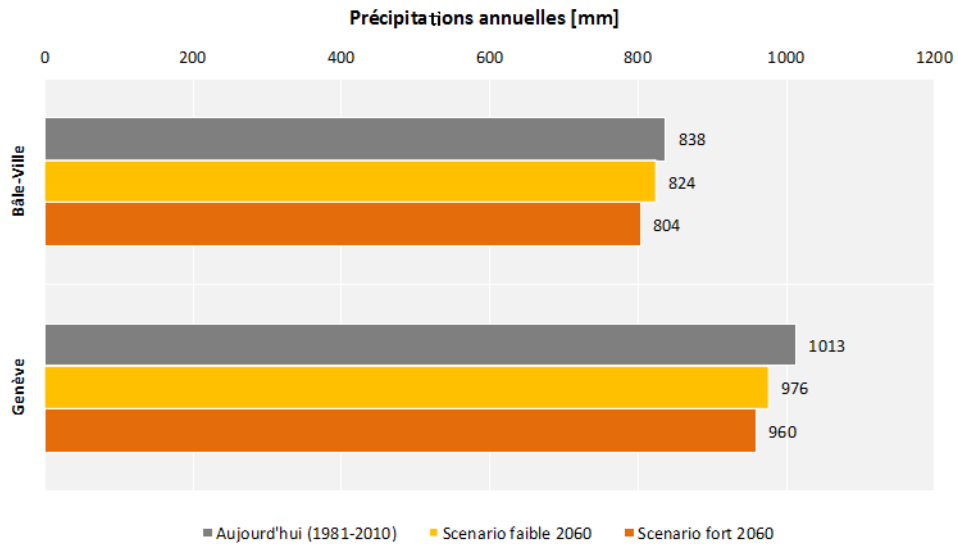
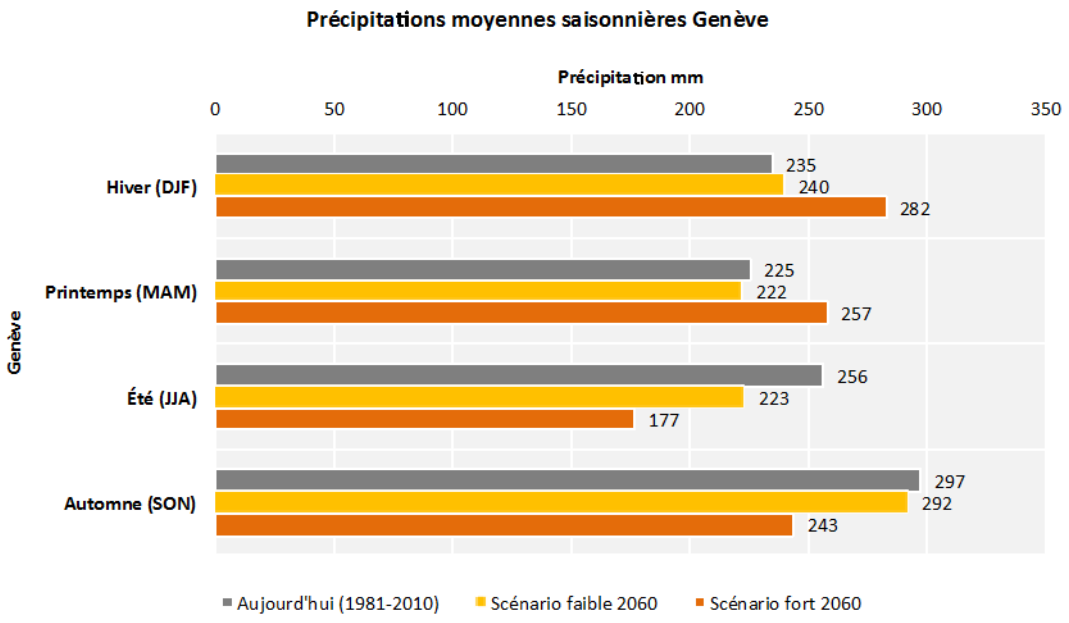


Figure 14 : Sommes des précipitations saisonnières à Genève



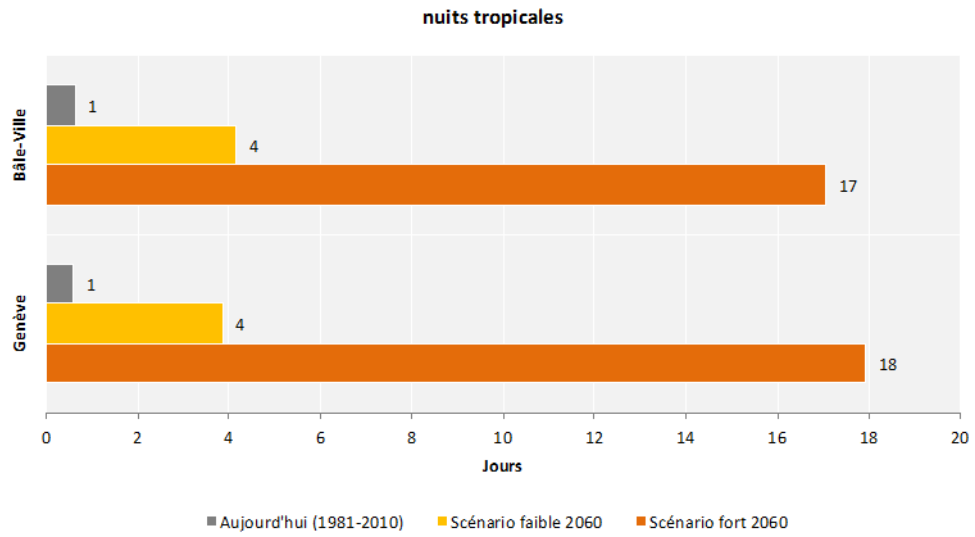
Chiffres tirés de INFRAS/Egli Engineering (2015). Source: MétéoSuisse (2014d).

Modification du nombre de jours très chauds et de nuits tropicales

Définitions (voir aussi glossaire en page 9) :

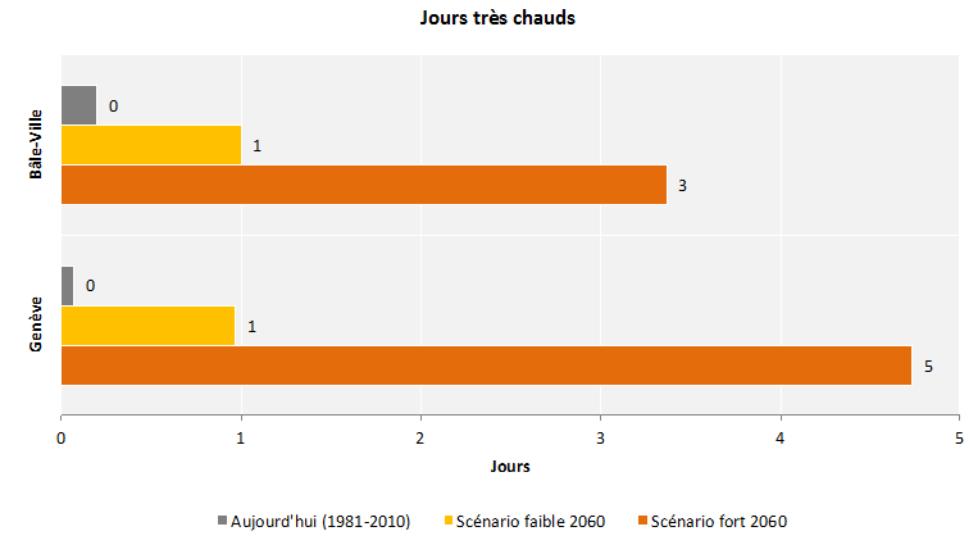
- Nuit tropicale : Nuit où la température ne descend pas au-dessous de 20°C.
- Jours très chauds : Jours où la température maximum atteint ou dépasse 35°C et la température minimum reste au-dessus de 20°C.
- Jours tropicaux : Jours où la température atteint ou dépasse 30°C (pour la projection climatique cf. INFRAS/Egli Engineering (2015) page 32).

Figure 15 : Nuits tropicales aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville



Nombres de nuits tropicales (arrondis) pour *aujourd'hui* (gris) et pour 2060, pour les deux scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange) mesurés à la station De Genève-Cointrin; chiffres tirés de INFRAS/Egli Engineering (2015). Source: MétéoSuisse (2014d).

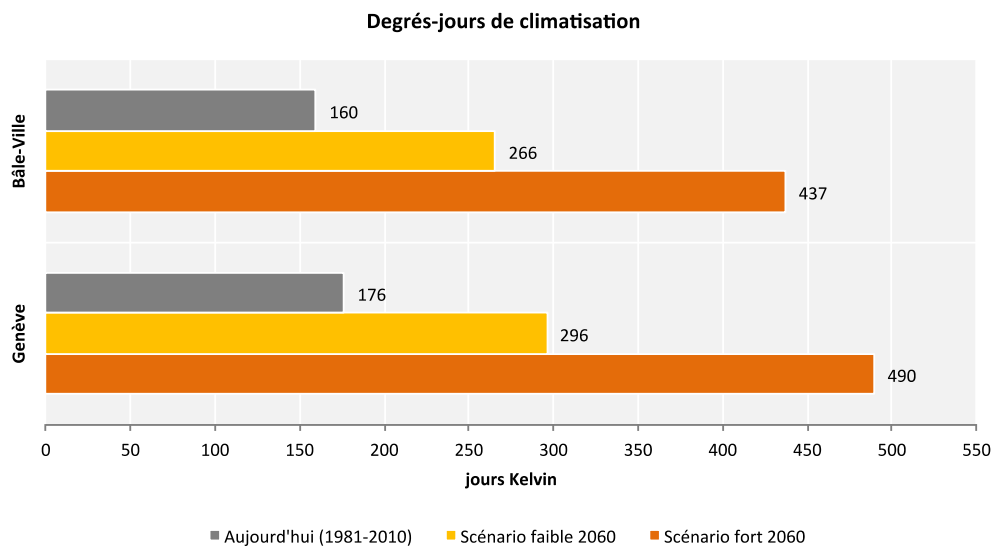
Figure 16 : « Jours très chauds » aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville



Nombres de « jours très chauds » (valeurs arrondies) pour *aujourd'hui* (gris) et pour 2060, pour les deux scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange) mesurés à la station de Genève-Cointrin; chiffres tirés de INFRAS/Egli Engineering (2015). Source: MétéoSuisse (2014d).

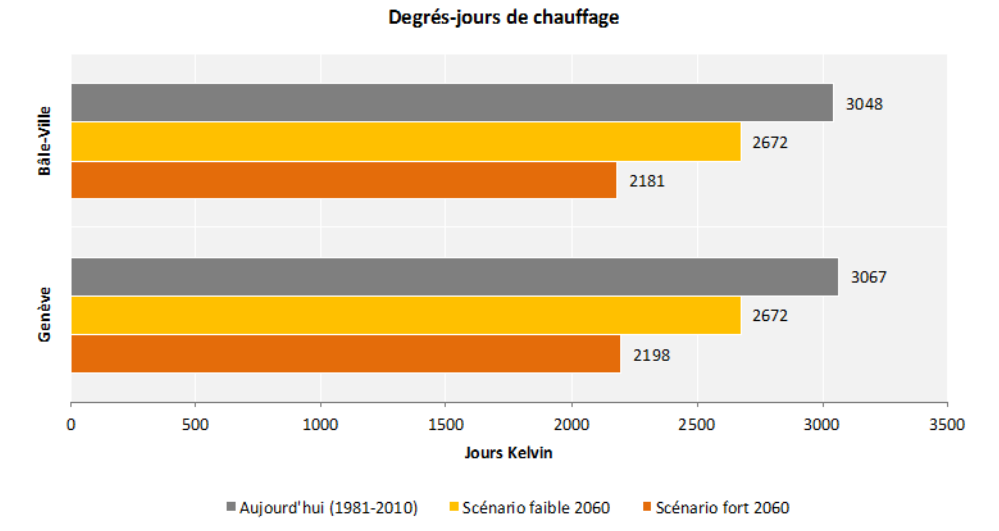
Modification du nombre de degrés-jours de chauffage et de climatisation

Figure 17 : Nombres moyens de degrés-jours de climatisation aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville



Nombres de degrés-jours de refroidissement [exprimés en Kelvin-jour](arrondis) pour *aujourd'hui* (gris) et pour 2060, pour les deux scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange) mesurés à la station de Genève-Cointrin; chiffres tirés de INFRAS/Egli Engineering (2015). Source: MétéoSuisse (2014d).

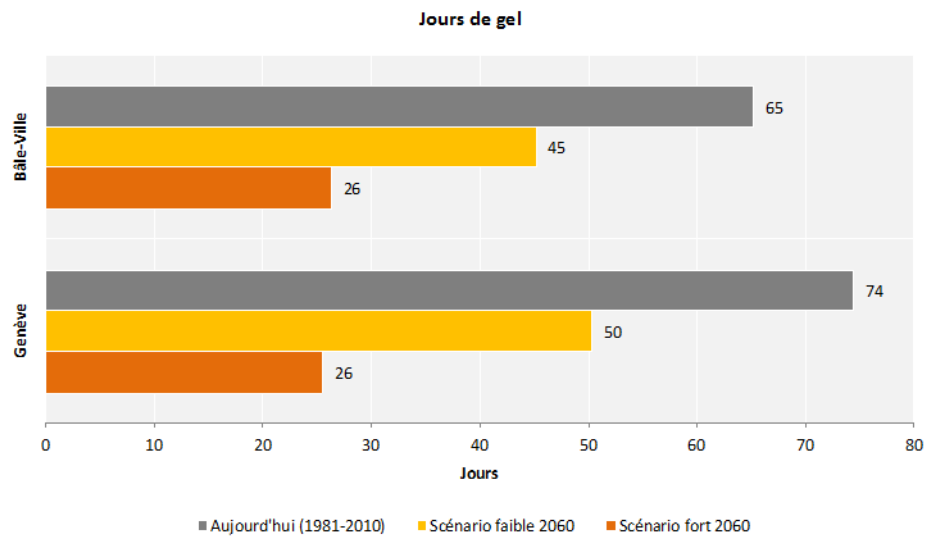
Figure 18 : Degrés-jours de chauffage aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville



Nombres de degrés-jours de chauffage [exprimés en degrés-Kelvin](arrondis) pour *aujourd'hui* (gris) et pour 2060, pour les deux scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange) mesurés à la station de Genève-Cointrin; chiffres tirés de INFRAS/Egli Engineering (2015). Source: MétéoSuisse (2014d).

Modification du nombre de jours de gel et de la durée de la période de végétation

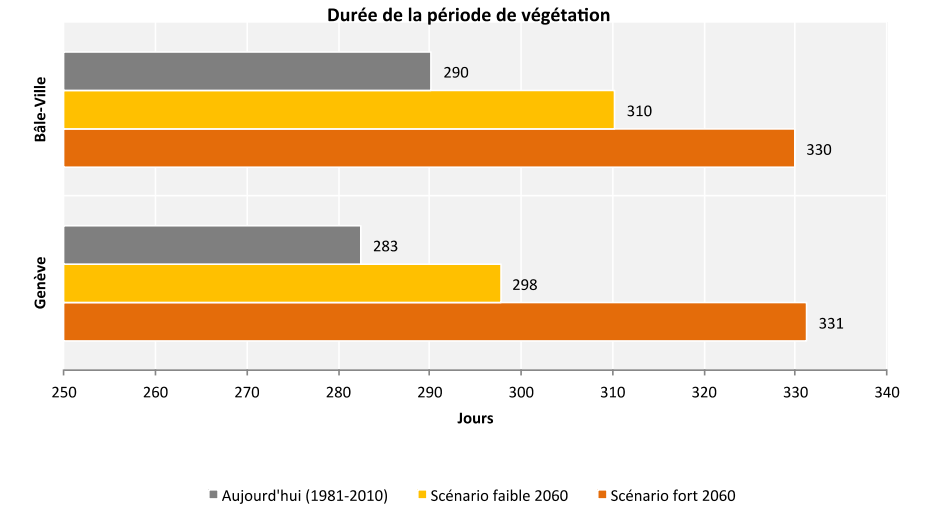
Figure 19 : Jours de gel aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville



Nombres de jours de gel (arrondis) pour *aujourd'hui* (gris) et pour 2060, pour les deux scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange) mesurés à la station de Genève-Cointrin; chiffres tirés de INFRAS/Egli Engineering (2015). Source: MétéoSuisse (2014d).

Modification de la durée de la période de végétation

Figure 20 : Période de végétation aujourd'hui et en 2060 à Genève et à Bâle-Ville



Longueur de la période de végétation [exprimée en nombre de jours](valeurs arrondies) pour *aujourd'hui* (gris) et pour 2060, pour les deux scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange) mesurée à la station de Genève-Cointrin; chiffres tirés de INFRAS/Egli Engineering (2015). Source: MétéoSuisse (2014d).

4.2. Déduction des aléas et effets à partir des scénarios climatiques 2060

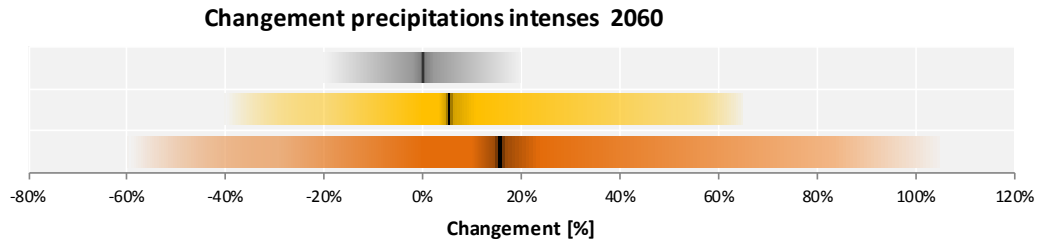
La manière dont les aléas et les effets ont été déterminés est décrite en détail dans INFRAS/Egli Engineering (2015a), qui fournit des explications spécifiques concernant les hypothèses et les réserves formulées. Seules les modifications et les résultats qui en découlent sont présentés ici pour la station de Genève-Cointrin; ils constituent la base pour l'estimation des risques et des opportunités.

Les principales définitions sont données dans le glossaire en page 12.

4.2.1. Précipitations intenses en 2060

L'incertitude frappant les données actuelles de précipitations intenses est estimée à 1.

Figure 21 : Modification annuelle moyenne estimée des précipitations intenses journalières en 2060



Valeurs estimées pour la modification (zones foncées au milieu) des sommes journalières des précipitations intenses (précipitations journalières cumulées), sous la forme d'estimations déduites (*best estimate*) basées sur des réflexions concernant l'étude de Rajczak et al. (2013) pour les deux scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange) en 2060 et leurs incertitudes estimées (bandes horizontales) en comparaison avec l'état actuel (aujourd'hui) (gris). Les modifications moyennes estimées [%] correspondent à une hausse pour les deux scénarios.

Scénario climatique de faible amplitude: Sommes des précipitations intenses

Modification jusqu'en 2060	**+5%**
Facteur d'incertitude	**3 (grand)**

Scénario climatique de grande amplitude: Sommes des précipitations intenses

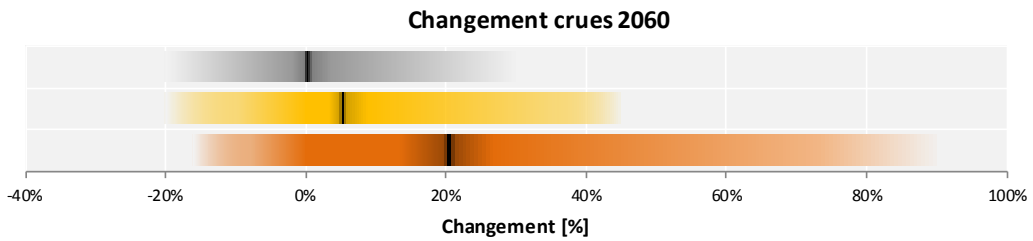
Modification jusqu'en 2060	**+15%**
Facteur d'incertitude	**3 (grand)**

A noter qu'en terme de risque d'inondations, en plus de l'augmentation des précipitations intenses, il faut également prendre en compte l'élévation de la limite pluie-neige, qui augmente la taille des bassins versants recueillant des précipitations liquides.

4.2.2. Crues 2060

L'incertitude frappant les données actuelles sur les crues est estimée à 1.

Figure 22 : Modification annuelle moyenne des pics de débits de crue en 2060



Estimation de la modification de l'intensité des pics de débits de crue jusqu'en 2060 pour les scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange), y. c. les incertitudes (bandes horizontales) en comparaison avec l'état actuel (aujourd'hui) (gris).

Scénario climatique de faible amplitude:

Augmentation des pics de débits de crue de 5%

Facteur d'incertitude: 2

Scénario climatique de grande amplitude:

Augmentation des pics de débits de crue de 20%

Facteur d'incertitude: 2

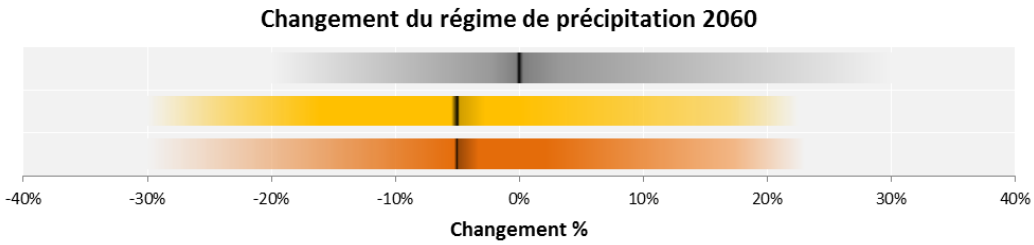
4.2.3. Orages (y compris érosion et grêle)

Aucune affirmation sûre ne peut être avancée concernant l'évolution des orages. A ce titre, une analyse de sensibilité est réalisée dans les différents domaines d'impact.

4.2.4. Régime des précipitations

L'incertitude frappant les données du régime de précipitations actuel est estimée à 0.

Figure 23 : Modification annuelle moyenne du régime de précipitations en 2060



Estimation de la modification du régime de précipitations jusqu'en 2060 pour les scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange), y c. les incertitudes (bandes horizontales) en comparaison avec l'état actuel (aujourd'hui) (gris).

Scénario climatique de faible amplitude:

Les précipitations se modifient comme suit:

Précipitations annuelles:	-5%
Précipitations saisonnières	
Hiver:	+5%
Printemps:	0
Eté:	-10%
Automne:	0
Facteur d'incertitude:	2

Scénario climatique de grande amplitude:

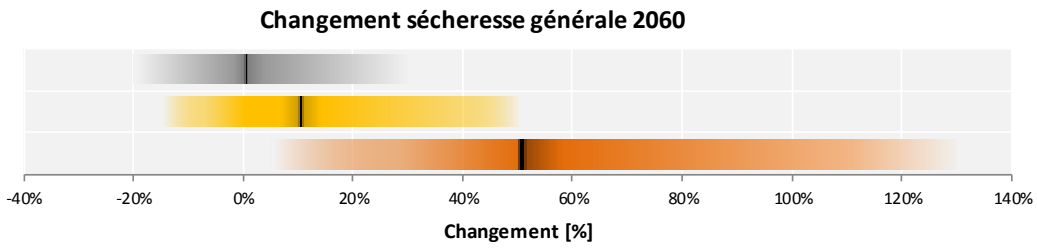
Les précipitations se modifient comme suit:

Précipitations annuelles:	-5%
Précipitations saisonnières	
Hiver:	+20%
Printemps:	+15%
Eté:	-30%
Automne:	-15%
Facteur d'incertitude:	2

4.2.5. Sécheresse générale

L'incertitude frappant les données actuelles relatives à la sécheresse générale est estimée à 1.

Figure 24 : Modification annuelle moyenne de la sécheresse générale en 2060



Estimation de la modification de la sécheresse générale jusqu'en 2060 pour les scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange), y. c. les incertitudes (bandes horizontales) en comparaison avec l'état actuel (aujourd'hui) (gris).

Scénario climatique de faible amplitude:

Allongement des périodes de sécheresse de 10 %.

Facteur d'incertitude: 2

Scénario climatique de grande amplitude:

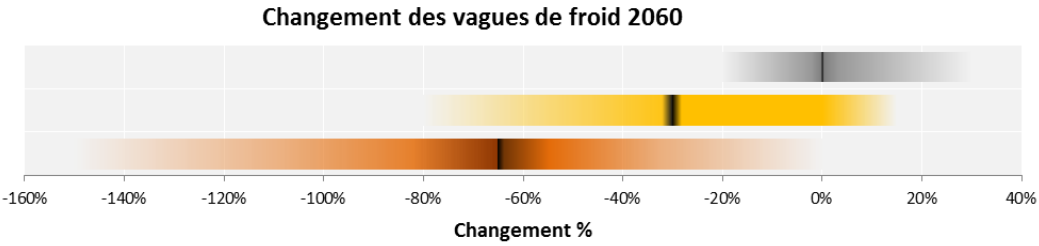
Allongement des périodes de sécheresse de 50 %.

Facteur d'incertitude: 2

4.2.6. Vagues de froid

L'incertitude frappant les données actuelles relatives aux vagues de froid est estimée à 1.

Figure 25 : Modification annuelle moyenne des vagues de froid en 2060



Estimation de la modification des vagues de froid jusqu'en 2060 pour les scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange), y. c. les incertitudes (bandes horizontales) en comparaison avec l'état actuel (aujourd'hui) (gris).

Scénario climatique de faible amplitude:

Diminution de vagues de froids de 30%.

Facteur d'incertitude: 2

Scénario climatique de grande amplitude:

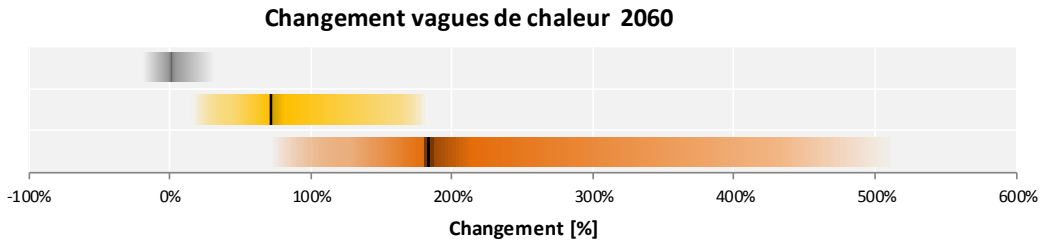
Diminution de vagues de froids de 65%.

Facteur d'incertitude: 2

4.2.7. Vagues de chaleur

L'incertitude frappant les données actuelles relatives aux vagues de chaleur est estimée à 1.

Figure 26 : Modification annuelle moyenne des vagues de chaleur en 2060



Estimation de la modification des vagues de chaleur jusqu'en 2060 pour les scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange), y. c. les incertitudes (bandes horizontales) en comparaison avec l'état actuel (aujourd'hui) (gris).

Scénario climatique de faible amplitude:

Augmentation de la durée des vagues de chaleur de 70%.

Facteur d'incertitude: 2

Scénario climatique de grande amplitude:

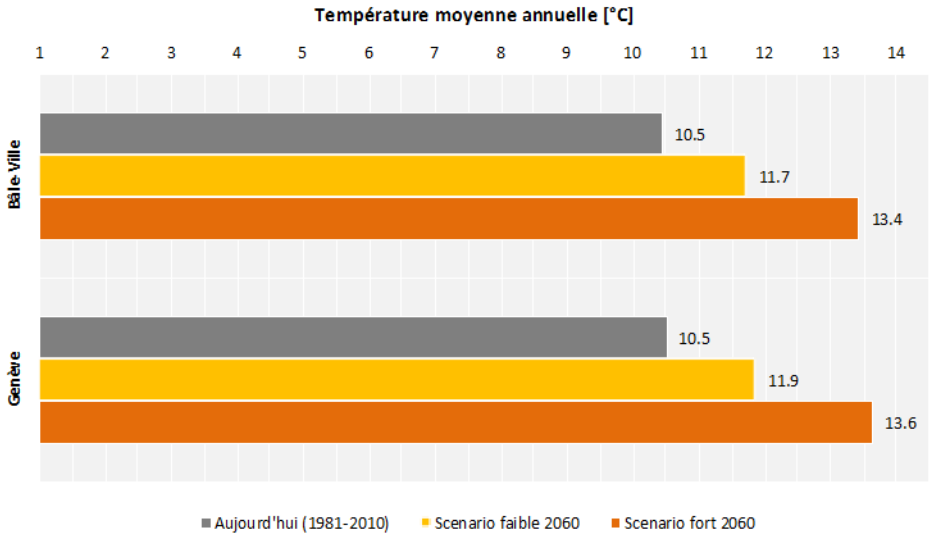
Augmentation de la durée des vagues de chaleur de 160%.

Facteur d'incertitude: 2

4.2.8. Température moyenne

L'incertitude frappant les données relatives à la température moyenne est estimée à 0; ici, elle est toutefois considérée comme non pertinente car la modification de la température d'ici à 2060 fait partie de l'hypothèse de base dans les scénarios climatiques examinés dans cette étude (cf. 2.1.2). Seules les conséquences qui en résultent (dangers naturels et impacts sur les coûts et les bénéfices) sont frappées d'incertitudes.

Figure 27 : Température moyenne annuelle aujourd'hui et en 2060 à Genève-Cointrin et Bâle-Ville



Estimation de la modification de la température annuelle moyenne jusqu'en 2060 pour les scénarios climatiques *faible amplitude* (jaune) et *grande amplitude* (orange), y. c. les incertitudes (bandes horizontales) en comparaison avec l'état actuel (aujourd'hui) (gris).

Scénario climatique de faible amplitude:

Modification de la température moyenne avec effet d'îlot de chaleur: +1,3°C

Scénario climatique de grande amplitude:

Modification de la température moyenne avec effet d'îlot de chaleur: +3,0°C

4.2.9. Tempêtes/ouragans

Aucune affirmation sûre ne peut être avancée concernant les tempêtes ou les ouragans. A ce titre, une analyse de sensibilité est réalisée dans les différents domaines d'impact.

4.3. Scénarios socio-économiques et démographiques

4.3.1. Prise en compte des scénarios socio-économiques et démographiques

Les effets socio-économiques et démographiques peuvent accentuer ou affaiblir les impacts attendus des changements climatiques. Pour de nombreux domaines d'impact, les effets des changements climatiques sont souvent moins importants que les effets socio-économiques et démographiques. Ces effets sont toutefois entachés de grandes incertitudes, à l'instar des risques climatiques.

Les principaux changements socio-économiques et démographiques dans ce canton sont analysés pour chaque domaine d'impact et, lorsque cela est possible, leur impact est comparé aux aléas et effets dus aux changements climatiques.

Le scénario socio-économique et démographique formule les tendances pertinentes en ce qui concerne l'évolution des différents domaines d'impact. D'un point de vue qualitatif, il s'inscrit dans le prolongement de la situation présente, en prenant en compte :

- les tendances actuelles ;
- l'évolution politique ;
- les prévisions connues ;
- et d'autres hypothèses. (EBP/SLF/WSL 2013b).

Le présent rapport se concentre sur les impacts des changements climatiques. D'après la méthode, il n'y a lieu de faire référence aux hypothèses et aux résultats liés à la prise en compte du scénario socio-économique et démographique que lorsque cela est particulièrement pertinent pour l'interprétation des résultats (EBP/SLF/WSL 2013b).

A titre indicatif, les changements socio-économiques peuvent également faire d'objet d'une quantification (EBP/SLF/WSL 2013a) en employant par analogie à la même méthode que pour les aléas et effets qualitatifs (cf. section 3.2.2). Dans certains cas, la présente étude tente ainsi de mettre en relation ces aspects socio-économiques avec l'ordre de grandeur des effets climatiques ayant pu être quantifiés. Les chiffres correspondants ne sont cependant pas inclus dans le bilan total.

4.3.2. Données socio-économiques et démographiques importantes

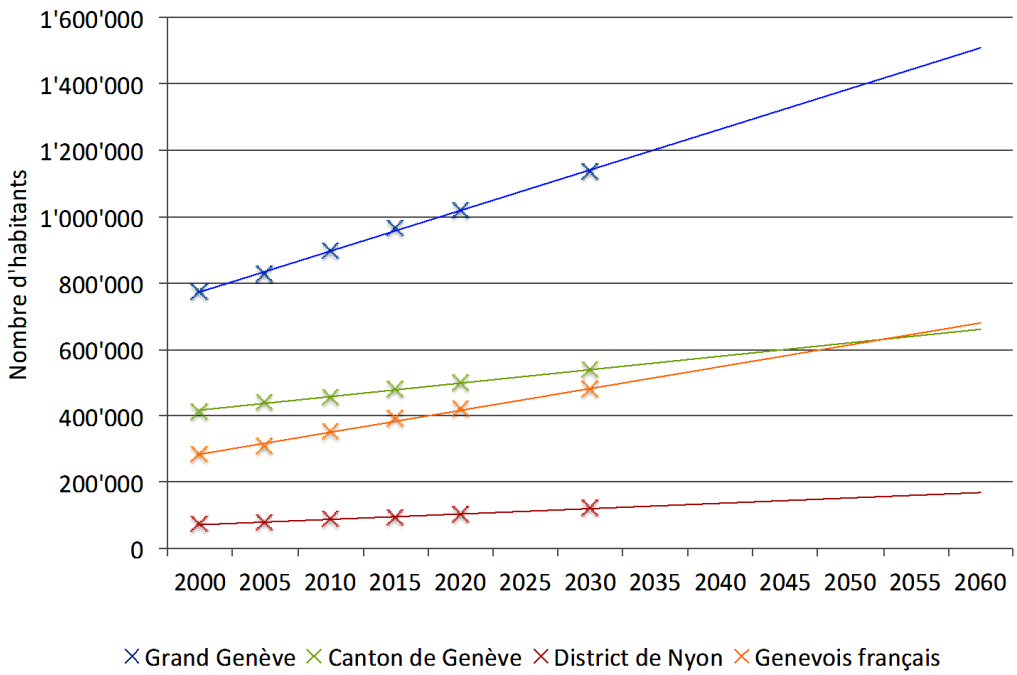
Evolution démographique

En 2010, la population résidente du Grand Genève était de 904'664 habitants, à savoir :

- 457'628 habitants dans le canton de Genève,
- 85'877 habitants dans le district de Nyon,
- 361'159 habitants dans le Genevois français.

D'après le scénario "tendance" du projet d'agglomération[16], basé sur le scénario 1 des projections démographiques élaborées en 2012 par l'Observatoire statistique transfrontalier (OST), la population du Grand Genève devrait croitre de près de 27% à l'horizon 2030 par rapport à 2010. Il convient de souligner que ce scénario n'est pas celui retenu par le projet d'agglomération. Les auteurs estiment la population en 2060 par une projection linéaire à partir de ces scénarios (Figure 28) qui correspond à une croissance de 68% par rapport à 2010. Cette projection est utilisée à titre indicatif uniquement et n'a donc aucune portée de planification politique. Elle est utilisée pour comparer les ordres de grandeur des effets des changements climatiques avec les effets démographiques.

Figure 28: Evolution de la population dans le Grand Genève



Evolution de la population dans le Grand Genève en fonction du scénario tendance (source: B. Beurret, Grand Genève) pour les 4 périmètres considérés, à savoir le canton de Genève, le district de Nyon, le Genevois français et l'ensemble du Grand Genève.

[16] Le scénario « tendance », basé sur le scénario 1 des projections démographiques élaborées en 2012 par l'Observatoire statistique transfrontalier (OST), n'est pas celui qui est visé par le projet d'agglomération. Il est utilisé comme référence pour la présente étude car il constitue le cas le plus défavorable.

Tableau 4: Population effective en 2010 et projection 2015,2030 et 2060 pour les 3 entités politiques appartenant au Grand Genève

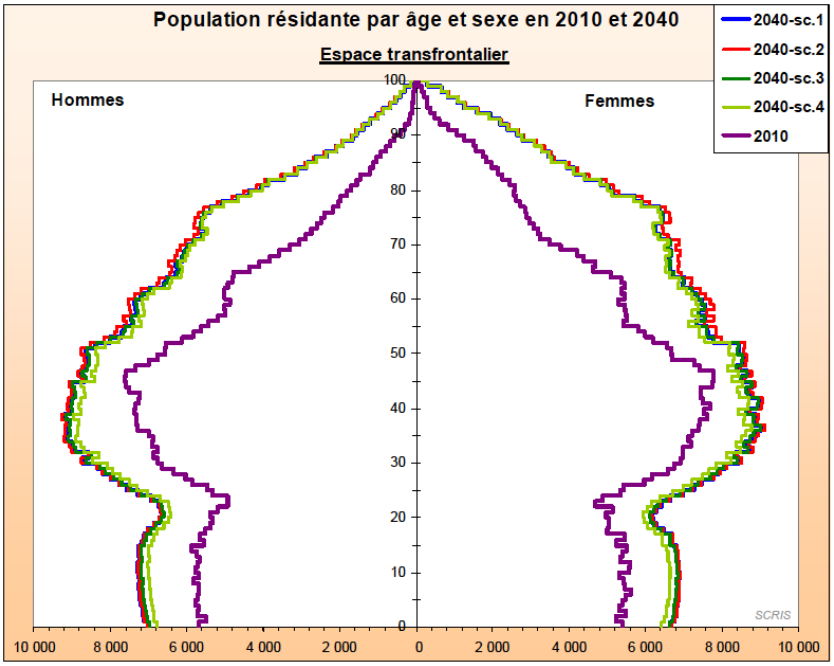
Périmètre PA	2010	2015	2030	2060
Canton de Genève	457'628	480'700	537'600	660'800
Genevois français	351'398	390'300	478'000	680'000
District de Nyon	88'640	94'500	121'000	168'600
Grand Genève	897'666	965'500	1'136'600	1'509'400

Population des 3 entités politiques appartenant au Grand Genève en 2010 et projections selon le scénario tendance du projet d'agglomération à 2030 (source: B. Beurret, Grand Genève) et projections linéaires effectuées par les auteurs.

La population est appelée à s'accroître à l'avenir, mais également à vieillir. Les projections de l'OST à l'échelle de l'espace transfrontalier fournissent notamment les observations suivantes pour 2040 (Figure 29):

- l'âge moyen de 39,1 ans en 2010 passerait à 42,6 ans en 2040.
- une augmentation importante de la proportion des 80 ans et plus dans la population passant de 4,0% en 2010 à 7,2% en 2040.
- l'arrivée progressive à l'âge de la retraite de la génération nombreuse du baby-boom, âgée de 35-65 ans en 2010.

Figure 29: Evolution de la pyramide des âges dans l'espace transfrontalier de 2010 à 2040

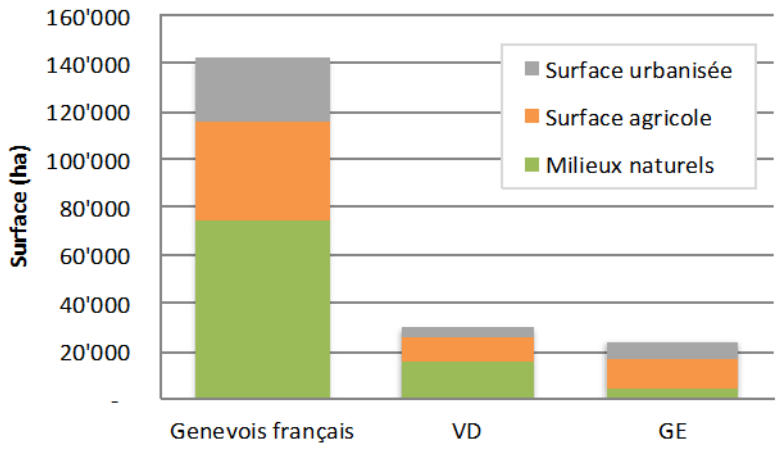


Evolution de la pyramide des âges dans l'espace transfrontalier. Les courbes de couleur correspondent à l'état actuel (violet) et à différents scénarios de développement de l'agglomération à l'horizon 2040 (source: Statistiques VD 2012)

Evolution de la surface urbanisée

Afin de pouvoir accueillir la forte croissance prévue, à savoir une population qui aura augmenté de 27% d'habitants et de 27% d'emplois d'ici 2030, le territoire du Grand Genève subit, et continuera à subir, une progression très forte de la surface urbanisée. Clairement, un des enjeux du projet d'agglomération consiste à maîtriser la consommation de sol liée à l'extension de l'urbanisation afin de respecter l'objectif d'une agglomération qui se veut « compacte, multipolaire et verte »[17].

Figure 30: Répartition actuelle de l'usage du sol du Grand Genève par périmètre et type d'usage



Source : monitoring du Grand Genève, données transmises en septembre 2013

Selon le scénario tendance de l'étude prospective de la consommation et de l'occupation du sol dans le Grand Genève, scénario que cherche à contrecarrer le projet d'agglomération en luttant contre l'étalement urbain, une extension de la surface urbanisée de +40% serait nécessaire afin d'accueillir le développement envisagé à l'horizon 2060. L'étude conclut également que l'ensemble des terrains urbanisables en zone constructible (existante, future et à affectation différée) ne serait pas suffisante : des déclassements supplémentaires seraient donc nécessaires.

Les auteurs considèrent que cette tendance se maintiendra à l'horizon 2060. Le fort développement de l'urbanisation constitue un enjeu déterminant dont les effets sur les domaines d'impact considérés dans la présente étude (p.ex. infrastructures et bâtiments, gestion des eaux, agriculture etc. seront majeurs). Dans de nombreux cas, ces effets seront d'ailleurs plus importants que ceux prévisibles en raison des changements climatiques.

[17] Charte du Projet d'Agglomération 2ème génération, juin 2012

Références du chapitre 4

ARE 2012: Analyse der Trends der Siedlungsflächenentwicklung im Mittelland, im Jura und in Teilen der Alpen. Auswertung aus raumplanerischer Sicht auf Basis der Arealstatistik Schweiz des Bundesamts für Statistik. September 2012.

BFS 2012: Arealstatistik 1979/85, 1992/97, 2004/09: Entwicklung der Bodennutzung und –bedeckung in den Kantonen nach 4 Hauptbereichen. Bundesamt für Statistik BFS, Ausgabe 20120821, Neuchâtel.

BFS 2010a: Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2010-2060. Bundesamt für Statistik - BFS, Neuchâtel.

BFS 2010b: Kantonale Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung – Altersstruktur der Kantone 2010 – 2035. Bundesamt für Statistik – BFS, Neuchâtel.

CH2011 (2011) : Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

EBP/SLF/WSL 2013a: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Methodenbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern.

EBP/SLF/WSL 2013b: Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau; Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

EBP/SLF/WSL 2013c: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz, nicht-öffentliche Arbeitsdokumentation; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

Grand Genève 2013 : Prospective de la consommation et de l'occupation du sol pour le Projet d'agglomération franco-valdo-genevois, Monitoring, Grand Genève / CSD, août 2013

INFRAS/Egli Engineering 2015a: Klima, Gefahren und Effekte – Herleitung für die Agglomerationsfallstudien. INFRAS und Egli Engineering AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt – BAFU.

OFEV 2012: Adaptation aux changements climatiques en Suisse, Objectifs, défis et champs d'action ; Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012

Observatoire statistique transfrontalier – OST: Projections démographiques 2011-2040 pour l'espace transfrontalier genevois, octobre 2012

MétéoSuisse 2014: MétéoSuisse, «Scénarios climatiques Suisse – un aperçu régional», rapport technique n° 243, 2014.

MeteoSchweiz 2014d: Lieferung spezifischer Daten zur Temperatur, Niederschlag und verschiedener Klimaindikatoren für Klimaszenarien 2060 – Kanton Basel-Stadt und Genf, unpubliziert. Diverse E-Mails von Elias Zubler (MeteoSchweiz) an Mario Betschart (INFRAS), 2014.

Rajczak, J., Pall, P. and Schär C. 2013: Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 118, 1-17.

Statistiques VD 2012 : Projections démographiques, Espace transfrontalier genevois, 2010 – 2040, Résultats par région, Statistiques Vaud, octobre 2012

5. Risques et opportunités des changements climatiques en 2060 par domaine d'impact

5.1. Points forts de l'analyse

Figure 31 : Matrice de pertinence

Domaine du changement	Fortes précipitations						Précipitations moyennes								Températures extrêmes				Températures moyennes				Vent	
Aléas et effets	Crues		Laves torrentielles/glissements de terrain /coulées de boue		Orages (y.c. érosion) / Grêle		Modification du régime des précipitations		Sécheresse générale		Chutes de neige		Incendies		Vagues de froid		Vagues de chaleur		Gel (nb jours gel pour l'agriculture)		Modification de la température moyenne		Tempêtes / ouragans	
Domaine d'impact	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD	GE	FR-VD
Santé																								
Agriculture																								
Forêts, économie forestière																								
Energie (Production, Consommation)																								
Infrastructures et bâtiments																								
Gestion des eaux																								
Biodiversité																								

Très important, Analyse detaillée
Important, Analyse détaillée
Important, Analyse succinte
Important, Analyse qualitative
Peu pertinent

Les priorités d'analyse de la présente étude sont illustrées par une « matrice de pertinence » pour l'ensemble des combinaisons d'aléas et effets climatiques (en colonne) et des domaines d'impact (en ligne). Cette matrice permet d'évaluer les enjeux les plus pertinents à analyser dans le cadre de l'étude et le niveau de détail correspondant au degré de l'enjeu. A partir d'une première version réalisée en début de projet pour démarrer l'évaluation, cette matrice a été mise à jour en fonction des résultats effectifs de l'étude. Une distinction est faite entre le canton de Genève (GE) et les territoires français et vaudois du Grand Genève (FR-VD) (dans la suite de l'étude ces territoires sont inclus dans le périmètre Grand Genève).

5.2. Domaine d'impact Santé

Selon le préambule de 1946 de la Constitution de l'Organisation Mondiale de la Santé, la santé est définie comme un état de bien-être physique, mental et social. La santé va donc au delà de l'absence de maladie. Dans ce chapitre, le thème de la santé couvre des problématiques très variées: accidents de la route liés au verglas, hospitalisations et décès liés aux vagues de chaleur et à l'ozone, ou encore fatigue liée à un mauvais sommeil durant les vagues de chaleur. En plus de ces impacts directs, le chapitre traite des impacts indirects sur la santé, comme l'augmentation du risque de maladies liées à des vecteurs qui peuvent plus facilement se répandre avec une augmentation de la température (tiques porteuses de la borréliose, dengue, salmonelles etc.).

A l'instar de chaque chapitre, les impacts pour la santé sont présentés en termes de gains et de coûts économiques. A titre d'exemple, l'impact des décès est quantifié en donnant une valeur économique à la vie humaine, et l'impact d'un mauvais sommeil est quantifié en perte de valeur ajoutée brute liée à une baisse de la productivité au travail. Certains impacts sont toutefois difficiles à quantifier : par exemple une moins bonne qualité de l'air impacte le bien être, sans générer de décès ni augmenter le nombre de visites chez le médecin. Par conséquent, ils ne sont pas traités quantitativement dans cette étude.

Certains impacts liés aux changements climatiques ont par ailleurs des effets positifs sur la santé, comme la réduction des accidents de la route liés au verglas grâce à la diminution des vagues de froid. Toutefois, d'autres ont des effets négatifs, à l'instar de l'augmentation des décès durant les canicules due à l'augmentation de la durée des vagues de chaleur.

5.2.1. Analyse des aléas et effets en 2060

Selon la matrice de pertinence au point 5.1, les vagues de chaleur sont étudiées quantitativement. Les crues, les vagues de froid et la modification des températures moyennes sont analysées de manière qualitative.

Tableau 5: Aperçu des impacts des changements climatiques pour le domaine de la santé		
Aléas/effets:	**Impacts analysés quantitativement**	**Impacts analysés qualitativement**
Crues	Sécurité des personnes	Nombre de décès ou blessés
Vagues de froid		Réduction des accidents lors de gel ou verglas
Vagues de chaleur	• Réduction de la productivité au travail liée à des températures élevées lors de vagues de chaleur. • Augmentation du taux de mortalité lors de vagues de chaleur, en prenant en compte l'effet d'îlot de chaleur urbain	
Modifications des températures moyennes (augmentation de la température moyenne)		• Augmentation des maladies infectieuses transmises par l'alimentation et l'eau (par ex. salmonelle) • Augmentation du risque de maladies transmises par des vecteurs, notamment l'encéphalite liée aux tiques, ou les fièvres dengue ou du Nil occidental, liées à des moustiques • Augmentation des allergies liées aux plantes allergènes

a) Santé: crues

Domaines pris en compte et disponibilité des données

Les données disponibles sont trop peu nombreuses pour se prononcer de manière fiable sur l'évolution du nombre de décès ou d'accidents liés aux crues. Le risque d'accidents dépend surtout du comportement individuel et du respect des instructions données par les autorités. Il n'est donc pas possible de procéder à une estimation quantitative suffisamment précise, si bien que seule une évaluation qualitative est réalisée pour cet aléa.

Impacts qualitatifs

Les changements climatiques peuvent impacter la fréquence et l'intensité des précipitations, et donc le risque de crues. Les changements climatiques attendus entraîneront pour 2060 une augmentation des précipitations intenses en 2060 de 5% (scénario faible) à 15% (scénario fort), et une augmentation des pics de débits de crue en 2060 de 5% (scénario faible) à 20% (scénario fort) (Cf. Chapitre 4.2.1 et 0). Toutefois, de nombreux travaux ont été entrepris au cours des dernières décennies pour limiter les risques d'accidents liés aux crues, en particulier des aménagements dans les lits des rivières et des plans de gestion, notamment dans le cadre des contrats de rivières transfrontaliers. **Le risque de crues ayant un impact sur l'homme (morts, blessés) devrait donc être moins important que pour les autres aléas dans le canton de Genève et dans le Grand Genève**. A noté que l'impact limité du risque de crue n'est pas lié à l'absence d'effet du climat mais à sa prise en compte dans les politiques publiques de gestion des inondations et d'aménagement du territoire. Cependant, un incident du type de la

crue du Borne (rivière qui se jette dans l'Arve à l'amont de Bonneville) de 1987, crue qui a causé environ 23 morts en détruisant un camping, n'est pas à exclure.

Par ailleurs, des crues pourraient également impacter la santé des habitants du Grand Genève en augmentant le risque de pollution de l'eau liée au développement de vecteurs dans les eaux stagnantes suite aux crues. Cet impact est toutefois difficilement quantifiable.

D'après les estimations des auteurs, la somme de ces effets négatifs devrait être nettement plus faible que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Santé (avec notamment les coûts dus aux décès de centaines de personnes lors d'épisodes caniculaires). Ainsi, les effets négatifs des crues dans le domaine de la santé sont qualifiés de nettement plus faibles, avec un facteur d'incertitude élevé.

b) Santé: vagues de froid

Domaines analysés et disponibilité des données

Une réduction des vagues de froid entraînerait une réduction du nombre d'accidents sur la route et durant les activités de loisirs. Un calcul précis n'a pas été effectué car il nécessiterait d'estimer le nombre d'accidents et les coûts associés en période normale et lors de jours de gels, ce qui est complexe.

Impacts qualitatifs

Les changements climatiques attendus entraîneront pour 2060 une diminution de vagues de froids de 30% (scénario faible) à 65% (scénario fort). Le nombre de jours de gel par an diminuera de 74 à 50 (scénario faible) voire 26 (scénario fort) (cf. chapitre 4.2.6 et Figure 19). **Pour le canton de Genève et pour le Grand Genève, une diminution de la neige, de la glace et du verglas aurait un impact positif sur la santé lié à une réduction du nombre d'accidents sur la route et durant les activités de loisirs.**

Une réduction du nombre de vagues de froid peut également avoir un impact positif sur la qualité de l'air, en réduisant les besoins de chauffage et donc les émissions de particules fines.

D'après les estimations des auteurs, la somme de ces effets positifs devrait être nettement plus faible que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Santé. Ainsi, les effets positifs de l'aléa et effet vagues de froid sont qualifiés de nettement plus faibles, avec un facteur d'incertitude élevé.

c) Santé: vagues de chaleur

Domaines analysés et disponibilité des données

Les changements climatiques attendus entraîneront pour 2060 une augmentation de la durée des vagues de chaleur en 2060 de 70% (scénario faible) à 160% (scénario fort). Le nombre de jours très chaud[18] par an augmenterait de 0 à 1 (scénario faible) voire 5 (scénario fort), et le

[18] Jours où la température maximum atteint ou dépasse 35°C et la température minimum reste au-dessus de 20°C

nombre de nuits tropicales par an augmenterait de 1 à 4 (scénario faible) voire 18 (scénario fort) (cf. chapitre 4.2.7, Figure 16 et Figure 15). Ces changements climatiques peuvent avoir un impact sur la santé. Ils peuvent entraîner davantage de stress et de fatigue, et diminuer les performances, voire augmenter le nombre de décès. Pour cette étude, l'aléa et effet vague de chaleur du domaine d'impact Santé a été classé par les auteurs parmi les plus significatifs (voir matrice de pertinence au point 5.1).

Deux aspects ayant trait aux vagues de chaleur sont examinés en détail et évalués quantitativement. Il s'agit d'une part des **pertes de production liées à une capacité de travail réduite** durant les « jours tropicaux »[19]. Cette approche a déjà été suivie dans le cadre de l'étude de cas du canton d'Uri (INFRAS/Egli Engineering 2015b). D'autre part, il s'agit du **nombre de décès (taux de mortalité) liés à la chaleur**. Diverses études ont démontré le lien qui existe entre le taux de mortalité et les températures élevées (e.g. Robine et al. 2007; Grize et al. 2005). Selon Patz et al. (2005), la mortalité due à la chaleur est l'un des impacts directs des changements climatiques sur l'homme. Le nombre de décès dus à la chaleur est calculé en tenant compte de l'été caniculaire de 2003 ainsi que des données tirées de la littérature pour un cas extrême se produisant aujourd'hui.

Augmentation des vagues de chaleur

Della-Marta et al. (2007) sont parvenus à démontrer qu'en Europe, la durée des vagues de chaleur a déjà doublé entre 1880 et 2005, et que la fréquence des jours tropicaux a triplé. Grize et al. (2005) et Robinet et al. (2007) ont montré qu'en cas d'événements extrêmes comme celui de l'été caniculaire de 2003, une augmentation du taux de mortalité pouvait être constatée pour l'ensemble de la population.

Si l'on analyse la problématique des périodes de chaleur sur une échelle plus grande, il apparait qu'elle est tout aussi importante. Selon Swissre (2014), les sécheresses, feux de forêts et vagues de chaleur étaient le danger naturel le plus fréquent en 2013 en Suisse de par leur nombre, directement derrière les crues, les tempêtes et les séismes. La Banque mondiale considère l'été caniculaire de 2003, avec 70 000 décès supplémentaires dans toute l'Europe, comme l'un des événements les plus mortels en lien avec les changements climatiques et leurs impacts (The World Bank, 2014).

A ce titre, **cette étude accorde une importance particulière à cet aléa** qui sera analysé plus en détail que les autres aléas et effets.

Impacts de l'été caniculaire de 2003 en termes de taux de mortalité

La canicule de l'été 2003 fut dans de grandes parties de l'Europe un événement extrême qui dépasse toutes les données connues. Même en considérant les incertitudes relatives aux informations sur le climat des siècles passés, l'été 2003 fut très probablement le plus chaud en Europe depuis au moins 500 ans (OcCC/SCNAT 2005). En Suisse, environ 1000 (surmortalité

[19] Définis comme les jours où la température a atteint ou dépassé 30°C

d'environ 7%) décès dus à la chaleur ont été enregistrés (OcCC/SCNAT 2005). Les chiffres vont de 975 (Grize et al. 2005) à 1039 (Robine et al. 2007) décès supplémentaires ou prématurés. Dans l'ensemble de l'Europe, le nombre de décès dus à la vague de chaleur a été chiffré entre 35 000 (e.g. UNEP 2004; Kovats et al. 2004a; OcCC/SCNAT 2005; Kosatsky 2005) et 70 000 (e.g. Robine et al. 2007; The World Bank 2014).

En Suisse, ce sont les personnes âgées et les citoyens habitant dans des agglomérations qui ont été les plus touchés en raison de l'effet d'îlot de chaleur urbain. Dans les villes de Bâle et de Genève, la mortalité fut particulièrement élevée: respectivement +13,6 à 36,3% et +8,4 à 27,4% (Grize et al. 2005; SCNAT 2005).

En France, on observe des tendances similaires. Dans les départements de l'Ain et de la Haute-Savoie, la surmortalité se situe respectivement entre 49% et 78%, et entre 26% et 37% (Hémon et al., 2003). Selon ces données, la partie française du Grand Genève a ainsi été plus touchée que la partie suisse. Cela peut être dû à une différence dans la méthodologie de calcul entre les études suisses et françaises, et ainsi qu'à une plus grande vulnérabilité à la chaleur en France liée à une moins bonne isolation de l'habitat ou à une différente prise en charge médicale des personnes sensibles.

Les villes sont plus fortement touchées par les impacts des vagues de chaleur que les campagnes de part l'effet d'îlot de chaleur urbain. (Patz et al. 2005). Selon Grize et al. (2005), une augmentation du nombre de « jours très chauds » a été constatée durant l'été 2003, principalement à Bâle-Ville et à Genève. Les analyses portant sur la capacité de travail réduite et sur l'augmentation des taux de mortalités ont donc été réalisées pour le Grand Genève en tenant compte de l'effet d'îlot de chaleur (cf. 4.1).

Méthode de calcul pour le taux de mortalité

La méthode appliquée dans cette étude prévoit de mettre en relation les décès supplémentaires déterminés par Grize et al. (2005) et par l'INSERME pour l'été (Hémon et al., 2003) avec l'indicateur climatique « jours très chauds »[20] (voir aussi INFRAS/Egli Engineering 2015a).

Durant un été moyen, le Grand Genève et le canton de Genève n'enregistrent que quelques jours tropicaux et aucun lien statistique n'est mesurés entre ces occurrences et le taux de mortalité. Pour la situation actuelle, on ne s'attend donc pas à des coûts supplémentaires dus à un taux de mortalité accru. L'indicateur « jours très chauds » est par conséquent utilisé afin de pouvoir procéder à une estimation des changements d'ici à 2060. **A l'horizon 2060, on s'attend à une augmentation des « jours très chauds » (voir** Figure 16**)** et à des coûts supplémentaires (estimés) liés au nombre de décès dus à la chaleur.

[20] Jours avec température maximale >35°C et minimale >20°C.

A la de Genève-Cointrin, trois « jours très chauds » ont été enregistrés durant l'été 2003. La même année, l'augmentation des décès par rapport à la valeur moyenne calculée sur plusieurs années (1990-2003) s'est située entre 8.4 et 27.4% en Ville de Genève, soit une moyenne de 17.5% de décès supplémentaires. En partant de l'hypothèse que le taux de mortalité est identique pour tout le canton, ceci correspond à **123 décès supplémentaires dans le canton de Genève durant l'été 2003**. Les détails concernant la méthode, les incertitudes et les hypothèses peuvent être repris directement de Grize et al. (2005). L'augmentation du nombre de morts pour le district de Nyon a été estimée en partant de l'hypothèse que le pourcentage de surmortalité y est égal à celui de la Ville de Genève, soit 17.5%, donc **24 décès supplémentaires pour le District de Nyon**. Pour la France, l'augmentation de la mortalité du département de l'Ain est de 49% à 78%, soit une moyenne de 63.5%, et de 26% à 37% dans le département de Haute Savoie, soit une moyenne de 31.5 % (Hémon et al, 2003). En partant du principe que la surmortalité est identique pour chaque commune des départements, on obtient **une augmentation des décès de 102 pour le genevois de l'Ain, et 132 pour le genevois Haut-savoyard**.

Les taux de mortalité peuvent aussi être influencés par d'autres facteurs tels que l'ozone et d'autres polluants atmosphériques. L'influence de la concentration d'ozone sur la mortalité a été étudiée et démontrée (Jerrett et al. , 2009). La Commission fédérale de l'hygiène de l'air (CFHA) a estimé qu'environ 13 à 30% des décès supplémentaires durant l'été 2003 étaient dus aux valeurs accrues d'ozone (EKL 2004). Le coefficient de corrélation pour l'ozone photochimique, qui se forme facilement sous des conditions chaudes et ensoleillées, était alors de 0,8 entre les températures maximales journalières et la concentration d'ozone horaire maximale pour le versant nord des Alpes (Grize et al. 2005).

L'analyse des risques climatiques doit également tenir compte de cet état de fait. Pour des raisons de simplification, on admet qu'environ 20% des décès supplémentaires sont imputables à l'ozone près du sol, ce dernier suivant l'évolution des températures maximales journalières moyennes annuelles. Ainsi, la présente analyse des risques admet, pour simplifier, que la mortalité accrue en cas d'événements chauds est due à 80% à la modification du nombre de « jours très chauds[21] » et à 20% à l'augmentation de la charge moyenne en ozone qui suit l'évolution des températures journalières maximales moyennes. Bien que cette méthode contienne toute une série d'omissions, de simplifications et d'hypothèses, elle tient compte des différents aspects de la mortalité accrue en cas de chaleur, en utilisant les informations tirées de la littérature de manière pragmatique et approximative afin d'obtenir la meilleure évaluation possible pour l'année 2060. Les détails de calcul figurent dans INFRAS (2015a). La monétarisation s'appuie quant à elle sur le rapport méthodologique (EBP/SLF/WSL 2013a).

Diminution de la capacité de travail

[21] Jours où la température maximum atteint ou dépasse 35°C et la température minimum reste au-dessus de 20°C

Pour quantifier la diminution de la capacité de travail en tant qu'effet consécutif à la chaleur, aux vagues de chaleur ou aux jours tropicaux , le nombre de « jours tropicaux » enregistrés aujourd'hui est comparé à celui de 2060. Seuls les « jours tropicaux » sont pris en compte, car les modèles climatiques ne permettent pas encore d'évaluer des indicateurs qui tiennent aussi compte de l'humidité.

Selon une étude du WWF Allemagne (WWF 2007), les performances mentales et physiques peuvent déjà diminuer à partir de températures supérieures à 26°C. La diminution de la productivité avec des températures entre 26 et 36°C se situe entre 3 et 12% (Bux 2006).

En s'appuyant sur cette étude, les auteurs estiment les **pertes moyennes annuelles de capacité de travail dues aux jours tropicaux pour aujourd'hui et pour 2060, en tenant compte de la création de valeur ajoutée**. La même méthode avait déjà été appliquée pour l'étude de cas du canton d'Uri (INFRAS/Egli Engineering, 2015b).

Dans le canton de Genève, la valeur ajoutée brute est de CHF 44.8 milliards (OFS 2013). Pour le district de Nyon, la valeur ajoutée brute a été estimée sur la base de celui du canton de Vaud (OFS 2013), rapporté à la part d'habitants du district, soit un total de **CHF 5.9 milliards pour le district de Nyon**. Pour le Genevois français, la valeur ajoutée est estimé à partir des données par département (chiffres Clés 2013/2014), rapporté à la part d'habitants du Genevois de l'Ain et du Genevois haut-savoyard. En partant de l'hypothèse que l'activité économique est plus importante dans la zone frontalière qu'en moyenne dans les départements concernés, la valeur rapportée à la part d'habitants a été augmentée d'un facteur 1.5. On obtient ainsi une **valeur ajoutée brute de CHF 15.4 millions pour le Genevois français** (3.8 pour le Genevois de l'Ain et 11.6 pour le Genevois Haut-savoyard).

Pour pouvoir étudier un événement survenant une fois tous les 100 ans, la méthode d'analyse décrite ci-dessus est appliquée à l'été caniculaire de 2003. En été 2003, la station de Genève Cointrin a enregistré 50 jours tropicaux tandis qu'il se situe à 14 lors d'un été normal. Il est estimé à 22 au centre-ville compte tenu de l'effet d'îlot de chaleur urbain (INFRAS 2014a).

Réserves et hypothèses

Réserves et hypothèses pour l'estimation des taux de mortalité accrus

Bien que les vagues de chaleur touchent en particulier les personnes âgées et les plus vulnérables (Grize et al. 2005, Patz et al. 2005), seuls les impacts sur l'ensemble de la population sont pris en compte dans cette étude. Une analyse statistique et non représentative réalisée par l'office de la statistique de la ville de Zurich a toutefois pu démontrer que, par exemple durant l'été caniculaire de 2003, seule la couche de population la plus âgée a présenté un taux de mortalité accru (Statistik Stadt Zürich 2004).

Pour évaluer les taux de mortalité accrus en 2060 dus à la chaleur dans le Grand Genève, les auteurs ont formulé des hypothèses et procédé à des omissions, si bien que, dans le cadre de cette étude, les impacts ne peuvent être quantifiés que grossièrement (« best estimate »).

Pour les évaluations quantitatives, on applique un supplément « îlot de chaleur » moyen qui dépend de la saison (INFRAS 2014a). Ce supplément se situe entre 0,6 et 1,4°C pour Bâle-

Ville. En l'absence de données pour Genève, le même supplément est appliqué. Cette décision est justifiée par le fait que la situation climatique est similaire entre les deux villes, avec un effet d'îlot de chaleur urbain en partie atténué par le Rhin à Bâle et par le Rhône, l'Arve et le lac Léman à Genève. Le supplément est appliqué de manière uniforme dans tout le canton. L'été caniculaire de 2003 est pris comme base pour un événement survenant une fois tous les 100 ans[22]. Néanmoins, puisqu'il faut un événement extrême comme celui de l'été 2003 pour que le taux de mortalité lié à la chaleur soit « visible », cet événement sert de base pour estimer les taux de mortalité annuels moyens par scénario climatique pour l'année 2060 en ramenant les chiffres de manière linéaire. Les décès supplémentaires dus à la chaleur mentionnés dans Grize et al. (2005) ne sont valables que pour la ville de Genève. Pour ce qui est des régions situées dans l'agglomération, aucune estimation des coûts n'est effectuée, faute de données sur les taux de mortalité dans ces régions. On peut partir du principe que les données de la ville de Genève comprennent aussi les décès des communes avoisinantes du canton de Genève étant donné qu'elles proviennent des hôpitaux de la ville. Il est donc possible d'appliquer le supplément « îlot de chaleur » aux données de Grize et al. (2005).

Les simplifications faites plus haut, selon lesquelles 20% des décès dus à la chaleur sont liés à l'ozone proche du sol et 80% à la chaleur, sont elles aussi des réserves nécessaires. L'hypothèse linéaire selon laquelle les valeurs d'ozone moyennes annuelles suivent la même évolution que les températures maximales annuelles moyennes et que les taux de mortalité dus à la chaleur suivent quant à eux l'évolution des « jours très chauds[23] » sont des approches pragmatiques qui se fondent toutefois sur des bases scientifiques.

Selon Hajat et al. (2002), les jours chauds survenant au début de la saison estivale ont un effet plus important sur la mortalité que ceux qui surviennent plus tard.

Les évaluations quantitatives projetées (« best estimates ») supposent que les modifications des jours tropicaux peuvent être chiffrées selon un rapport 1:1. On part du principe qu'il n'y a pas de tendance visible d'ici à 2060, et que la modification des extrêmes (p. ex. les « jours très chauds ») par augmentation de 1°C de la température moyenne reste constante et qu'elle se comporte de façon linéaire.

Pour tenir compte de la pollution en ozone, on part de la température maximale moyenne annuelle pour en déduire les modifications attendues d'ici à 2060. La valeur est arrondie. Bien qu'elle illustre les modifications annuelles, les valeurs horaires journalières maximales lorsqu'une vague de chaleur survient ne sont pas représentées. La quantification repose donc plutôt sur des estimations prudentes car les pics peuvent éventuellement être nettement plus élevés. Dans ce contexte, les auteurs partent aussi du principe qu'il ne faut pas s'attendre à des décès avec les températures estivales maximales (juin, juillet et août) que l'on connait aujourd'hui et que la pollution par l'ozone ne devient problématique qu'une fois que la valeur connue aujourd'hui est dépassée.

[22] La question de savoir si l'été caniculaire de 2003 est un événement survenant uns fois tous les 100 ans n'est pas encore clarifiée de manière définitive. Pour suivre une approche pragmatique, la présente étude admet que c'est le cas. Selon OcCC (2005), l'été 2003 a probablement été l'été le plus chaud depuis au moins 500 ans.

[23] Jours où la température maximum atteint ou dépasse 35°C et la température minimum reste au-dessus de 20°C

De plus, les limites des différentes études citées s'appliquent, en particulier celles de Grize et al. (2005).

Pour la monétarisation du nombre de décès, il convient de noter que, conformément à ce qui est décrit dans le rapport méthodologique (EBP/SLF/WSL 2013a), les coûts pour une personne décédée s'élèvent à CHF 5 millions quelle que soit la tranche d'âge. La monétarisation ne tient donc pas compte du nombre d'années de vie perdues, ce qui, dans le cas des événements liés à la chaleur, peut tendanciellement impliquer une surestimation des coûts. Par ailleurs, il est à noter que pour cette étude, les coûts par mesure de protection sont identiques pour la partie suisse et française du Grand Genève.

Les jours tropicaux d'une ampleur encore jamais atteinte en raison de la présence concomitante de plusieurs facteurs ne peuvent être analysés. Des coûts significativement plus élevés ou plus bas que ceux calculés ci-après ne sont toutefois pas à exclure.

Réserves et hypothèses pour l'estimation des pertes de performance

Pour pouvoir procéder à une quantification sur la base des données disponibles, les auteurs admettent, pour simplifier, des pertes moyennes de performance de 7% pour un jour tropical, que la température ait été enregistrée durant une heure ou la moitié de la journée. En revanche, aucun calcul n'est fait pour déterminer les pertes possibles de performance en cas de températures entre 26 et 30°C.

Les auteurs admettent en outre que la création de valeur ajoutée est générée uniformément durant 365 jours par an. Les employés et les travailleurs de tous secteurs confondus sont touchés de la même manière par la diminution des performances de travail. Les éventuelles climatisations ou autres installations de refroidissement visant à réduire le stress thermique ne sont pas prises en compte, étant donné que ce sont des mesures d'adaptation aux changements climatiques, et que cette étude vise à quantifier l'impact économique dans le cas où aucune adaptation n'est réalisée.

En raison du niveau d'agrégation important des données disponibles sur la valeur ajoutée brute, l'effet d'îlot de chaleur urbain est pris en compte de manière simplifiée. Il est donc impossible de faire une distinction entre les régions périphériques et le centre-ville.

Les auteurs considèrent que l'événement de vague de chaleur de l'été 2003 représente un événement dont la probabilité est de 1 sur 100..

Impacts qualitatifs

Les problèmes cardio-vasculaires, les coups de chaleur, la déshydratation et l'hyperthermie sont autant d'exemples d'impacts directs des vagues de chaleur (Thommen et Braun-Fahrländer 2004; OcCC/SCNAT 2005). Les personnes âgées, qui ont une moins bonne régulation thermique, sont particulièrement touchées (OcCC/SCNAT 2005). Autres groupes à risque : les personnes ayant une maladie préexistante, les enfants en bas âge, les malades chroniques, les personnes souffrant de troubles de la mémoire, les personnes à bas revenus, les personnes seules, les personnes socialement isolées ou alitées ainsi que les personnes qui suivent un certain traitement médicamenteux (substances psychotropes etc.). Ainsi, **on s'attend à une aug-**

mentation des problèmes cardio-vasculaires, des coups de chaleur, de la déshydratation et de l'hyperthermie pour les habitants du canton de Genève et du Grand Genève. Ce type d'impacts ne peut toutefois pas être quantifié ni monétarisé avec précision.

La somme de tous ces effets qualitatifs dus à la chaleur génèrent aussi des coûts, qui sont toutefois nettement plus faibles que ceux qui ont été quantifiés en rapport avec les événements liés à la chaleur. En comparaison avec les autres estimations quantitatives du domaine d'impact santé, les impacts qualitatifs sont évalués par les auteurs comme étant nettement plus faibles.

Impacts quantifiables

Les coûts supplémentaires quantifiables du domaine d'impact Santé figurent dans les tableaux (ci-dessous). Ces tableaux indiquent la somme des coûts estimés qui sont dus à une diminution des performances et de ceux qui sont dus à l'augmentation du taux de mortalité en raison de fortes chaleurs et de l'augmentation de la charge en ozone (INFRAS 2015a, INFRAS 2015c). Les chiffres présentés ci-dessous tiennent compte de l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ils sont présentés pour le canton de Genève et pour le Grand Genève. **Le total des coûts d'un événement moyen annuel pour le Grand Genève s'élève à CHF 742 millions avec le scénario *faible amplitude* et environ CHF 1'590 millions avec le scénario *grande amplitude*. Pour le Canton de Genève le total des coûts d'un événement moyen annuel s'élève à CHF 400 millions avec le scénario *faible amplitude* et CHF 756 millions avec le scénario *grande amplitude.* Les coûts liés à la perte de productivité au travail sont plus élevés que ceux liés aux décès lors de canicules.**

Tableau 6: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui /Scénario	Coûts/Bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-198	2
Scénario faible	-400	3
Scénario fort	-756	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Santé et les facteurs d'incertitude correspondants

Tableau 7: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève)
Evènement centenaire Mio. CHF

Aujourd'hui /Scénario	Coûts/Bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-979	2
Scénario faible	-1371	3
Scénario fort	-3346	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Santé et les facteurs d'incertitude correspondantes

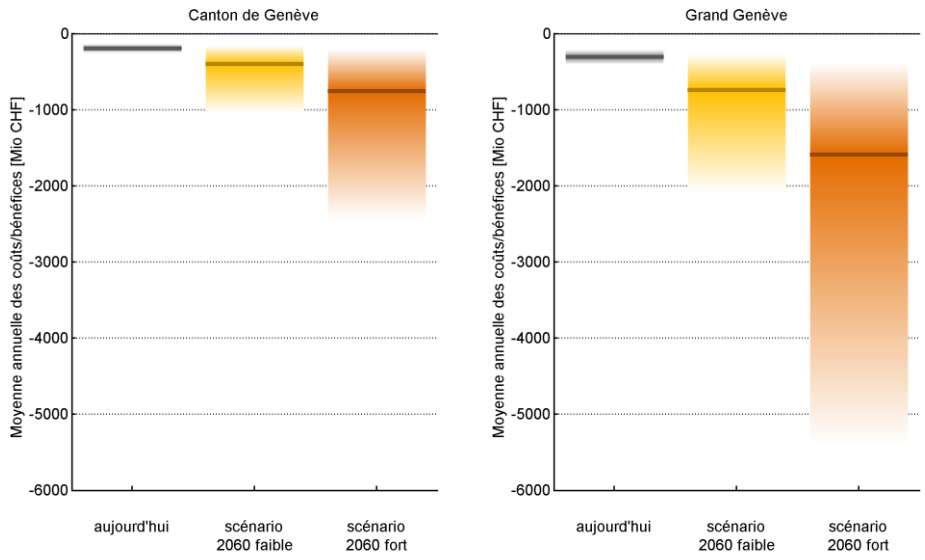
Tableau 8: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) Evènement moyen annuel Mio. CHF		
Aujourd'hui /Scénario	**Coûts/Bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui	-311	2
Scénario faible	-742	3
Scénario fort	-1590	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Santé et les facteurs d'incertitude correspondantes

Tableau 9: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) Evènement centenaire Mio. CHF		
Aujourd'hui /Scénario	**Coûts/Bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui	-2447	2
Scénario faible	-3208	3
Scénario fort	-8617	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Santé et les facteurs d'incertitude correspondantes

Figure 32: Coûts/bénéfices annuels moyens dus aux vagues de chaleur



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

d) Santé: modification de la température moyenne

Domaines analysés et disponibilité des données

La température moyenne se modifie progressivement. La température moyenne annuelle augmenterait de + 1.4°C (scénario faible) à + 3.1° C (scénario fort) (cf. Figure 11). L'homme ne percevra pas directement cette augmentation. Mais la hausse des températures exerce une influence sur divers éléments de manière directe et indirecte.

Impacts qualitatifs

Maladies infectieuses transmises par l'alimentation et l'eau

Selon l'étude de cas réalisée pour le canton d'Argovie (EBP/SLF/WSL 2013b), aucun lien n'a pu être établi sur la base de données entre la hausse des températures et l'augmentation des maladies transmises par les aliments. L'épidémiologie des agents pathogènes connus jusqu'à présent (campylobacter, salmonelles, Escherichia coli entérohémorragique, listeria) est particulièrement complexe et dépend de nombreux facteurs. Même si la hausse des températures devrait avoir une certaine influence sur un agent pathogène, le nombre de facteurs qui interviennent ne permet pas de faire des affirmations scientifiquement valables (EBP/SLF/WSL 2013b). Le danger représenté par les maladies infectieuses transmises par les aliments joue essentiellement un rôle dans les ménages ayant peu de connaissances sur la manière correcte de stocker les aliments en cas de températures élevées (Kanton Basel-Stadt 2011). La méthode décrite dans Kovats et al. (2004b) permet d'établir un lien entre la présence de salmonelle et la hausse de la température moyenne. Selon cette étude, les cas de salmonellose augmentent d'environ 50% à chaque fois que la température moyenne s'élève de 5°C. Mais le nombre de cas de salmonellose n'est pour l'heure actuelle pas connu avec précision. Ainsi, **il n'est pas possible de déterminer si, pour le Grand Genève, il y aurait une augmentation des maladies infectieuses transmises par l'alimentation et l'eau.**

Par ailleurs, **dans le canton de Genève et le Grand Genève, la qualité des eaux de baignade pourrait se détériorer** : celles-ci devraient connaître une intensification des risques liés à la présence de cyanobactéries. L'amibe libre Naegleria fowleri pourrait devenir problématique, tout comme la remontée d'algues tropicales[24].

Maladies infectieuses transmises par des vecteurs

Des maladies infectieuses peuvent être transmises par différents vecteurs, comme les tiques, les moustiques ou les mouches. Les changements climatiques peuvent favoriser le développement de certains vecteurs. Les hivers doux et les températures estivales élevées favorisent les chances de survie des tiques. Les changements climatiques attendus auront des répercussions sur la propagation des tiques et des maladies qu'elles transmettent. On s'attend à une expansion des tiques au nord des Alpes ainsi qu'en altitude, alors que leur propagation pourrait reculer en plaine et dans les régions méridionales de la Suisse en raison des températures élevées et de l'air moins humide (OFSP 2007). **Il est difficile d'estimer l'évolution de la propagation des tiques et dans quelle mesure le canton de Genève et le Grand Genève sont concernés.**
Selon l'OFSP (2007), la malaria est la principale maladie transmise par les moustiques (espèces d'anophèles). Les modélisations indiquent que le risque de transmission de la malaria pourrait augmenter si les températures augmentent de quelques degrés Celsius, tant dans les régions tropicales que dans les régions tempérées. De plus, avec le réchauffement des températures en Europe centrale, il faut s'attendre à une propagation du phlébotome, un moustique respon-

[24] Source : Etat de la connaissance sur l'adaptation au changement climatique en Rhône-Alpes Fiche thématique – Préparation du SRCAE

sable de la transmission de la leishmaniose (OFSP 2007). A l'avenir, des cas de contamination par le virus de la dengue (fièvre de la dengue) et par d'autres arbovirus (p. ex. fièvre du Nil occidental, fièvre jaune, Chikungunya et Sindbis) sont possibles.

Toutefois, il est à noter que, par analogie à l'étude de cas du canton d'Argovie (EBP/SLF/WSL 2013b), les maladies transmises par vecteurs seront plus fréquentes principalement en raison de la mobilité croissante et de la situation géographique du canton de Genève et du Grand Genève (aéroport international, situation frontalière, forte implantation d'organisations internationales et de multinationales). Les risques sont liés aux denrées et souvenirs que ramènent les touristes dans leur pays (animaux, nourritures, végétaux). De plus, le nombre de voyageurs longs courriers ne cesse d'augmenter, surtout dans les régions à risques sanitaires élevés. La mobilité pourrait contribuer au transport, à l'adaptation et à la mutation de micro-organismes et vecteurs[25].

Ainsi, l**es maladies infectieuses transmises par des vecteurs pourraient augmenter dans le canton de Genève et le Grand Genève.** De plus, ces vecteurs, une fois arrivés à Genève, pourraient rencontrer des conditions de prolifération plus favorables qu'aujourd'hui en raison des températures plus élevées. **Toutefois, sur ce point, l'influence des changements climatiques jusqu'en 2060 est comparativement moins importante que celle de l'augmentation du transport de personnes.**

Plantes allergènes

Les changements climatiques devraient induire des modifications des zones de végétation, un allongement des périodes de pollinisation (donc un allongement de la période d'exposition aux allergènes), voire une augmentation des quantités de pollen produites. L'élévation des températures rendrait également le pollen plus allergisant[26]. Les principales pathologies associées aux allergènes respiratoires sont l'asthme et les rhino-conjonctivites allergiques. Selon les experts de Swiss TPH[27], il n'existe toutefois pour l'heure aucune preuve de la relation entre le prolongement de la saison des pollens et le nombre de personnes allergiques.

Aucun impact dû à une charge élevée en pollen ou à un type de polluant atmosphérique n'a été quantifié (monétarisé), à l'exception de l'ozone, qui survient souvent en cas de situations météorologiques stationnaires (y compris les situations d'inversion stables en hiver).

Par ailleurs, des conditions climatiques modifiées peuvent entraîner la **propagation de plantes hautement allergènes,** telles que l'ambroisie et d'autres espèces méditerranéennes.

L'ambroisie est déjà fortement présente dans la région Rhône-Alpes au sud du Grand Genève : la pollinisation des ambroisies est importante sur la région lyonnaise, le Dauphiné et la vallée

[25] Etude Vulnérabilité - Conseil Général de la Haute-Savoie - Année 2012
[26] Etat de la connaissance sur l'adaptation au changement climatique en Rhône-Alpes Fiche thématique – Préparation du SRCAE
[27] http://www.swisstph.ch/

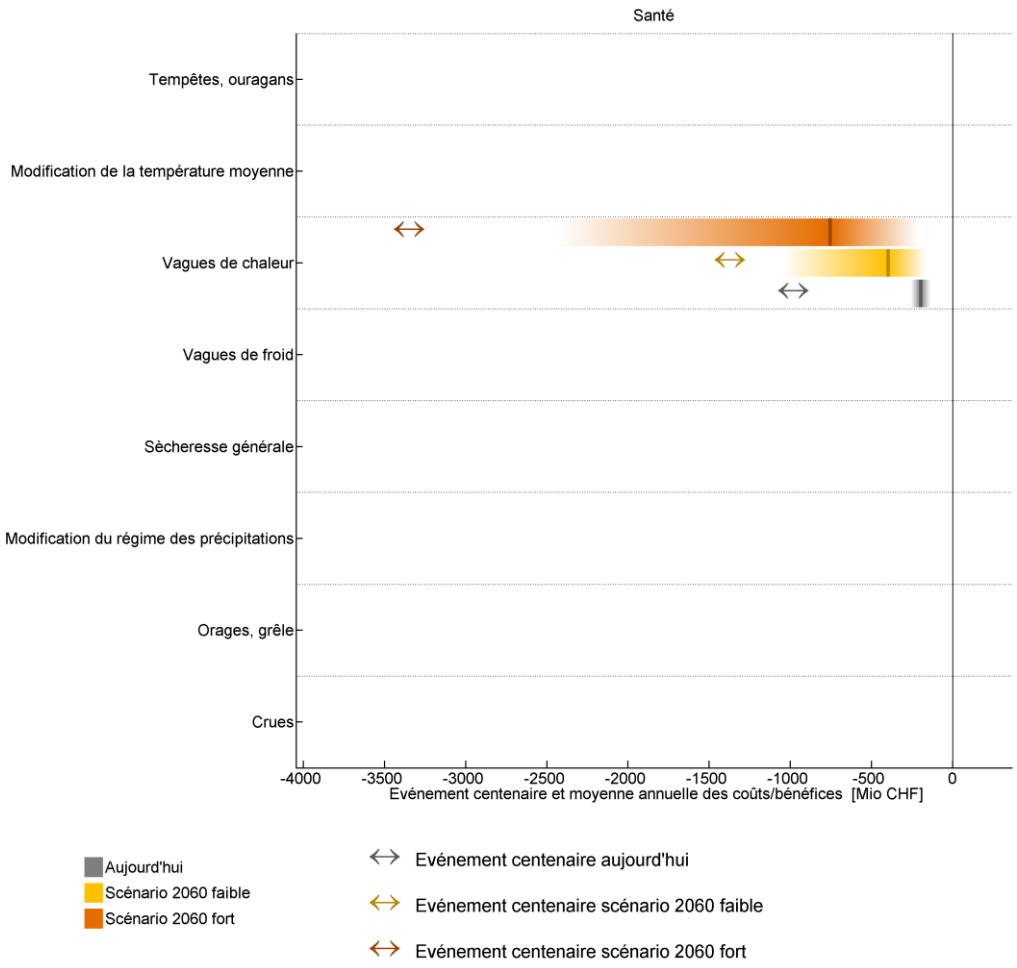
du Rhône entre Lyon et Avignon. L'ambroisie se développe notamment dans les secteurs agricoles, le long des voies de communication, dans les terrains mal entretenus (jachères, chantiers, etc.). En Rhône Alpes, 6 à 12% de la population souffrirait d'allergies liées à la plante[28].

D'après les estimations faites par les auteurs, la somme de ces effets négatifs devrait être plus faible que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Santé. Ainsi, les effets négatifs de l'aléa et effet modification de la température moyenne sont qualifiés de plus faibles, avec un facteur d'incertitude élevé.

[28] http://srcae.rhonealpes.fr/static/cms_page_media/24/rapport-adaptation.pdf

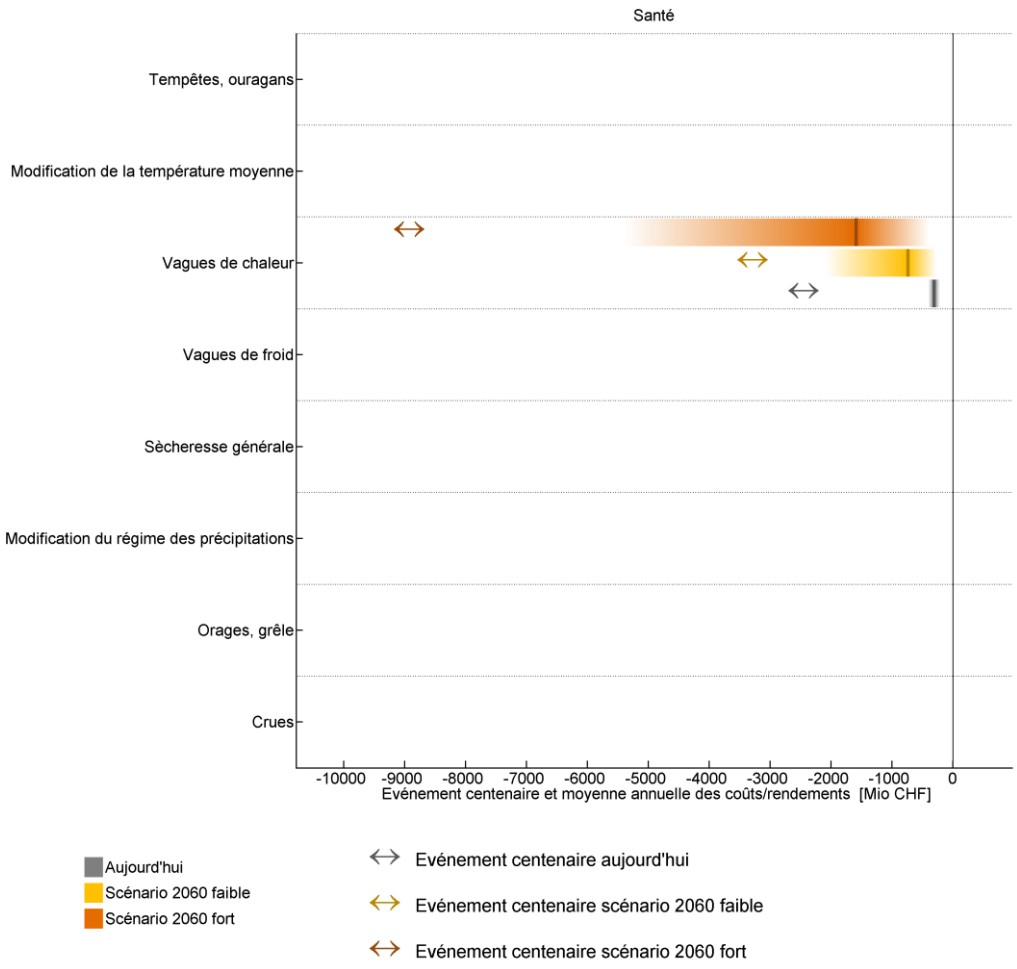
5.2.2. Synthèse du domaine d'impact Santé

Figure 33: Coûts et bénéfices moyens annuels dans le domaine de la santé (Canton de Genève)



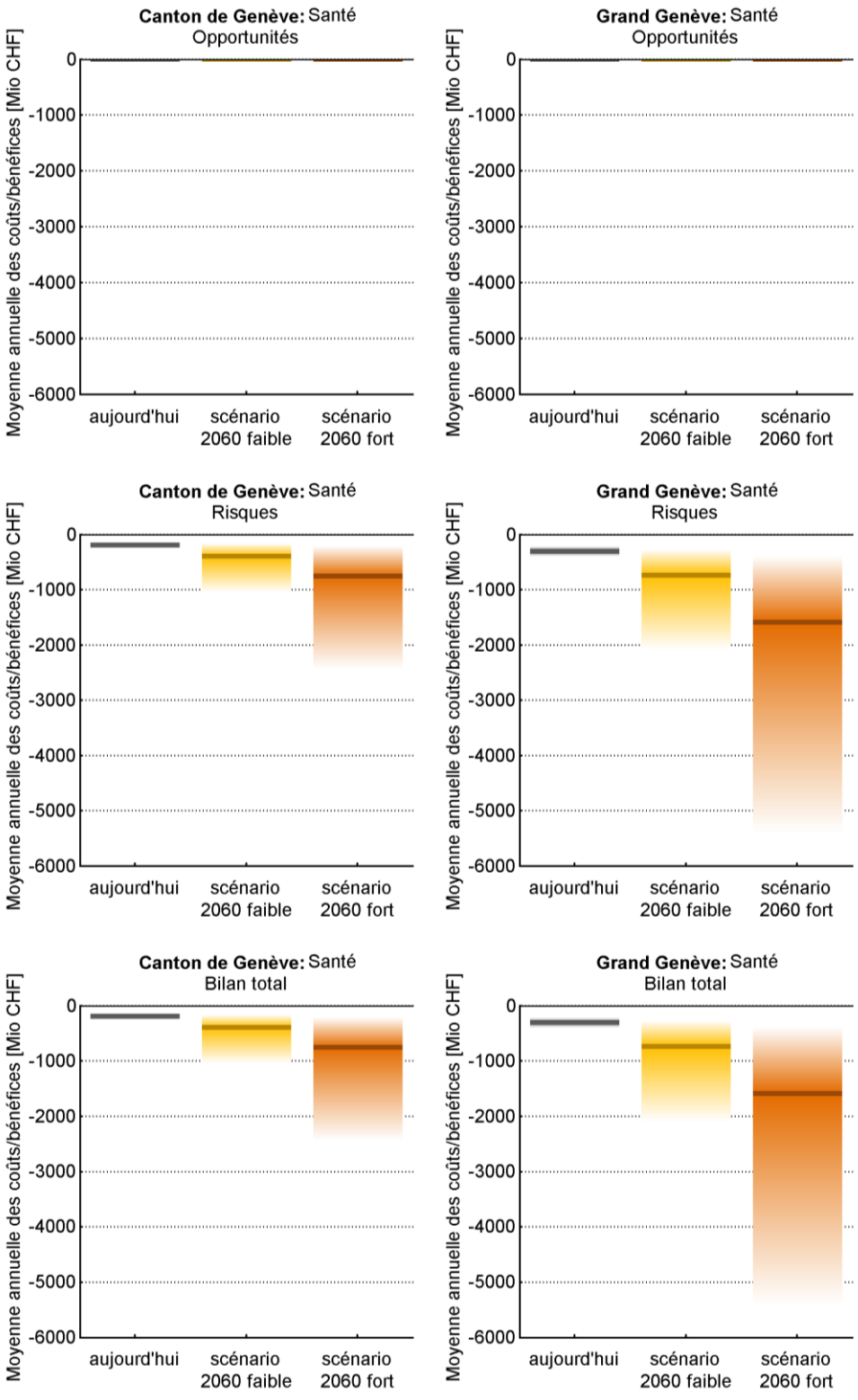
Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

Figure 34: Coûts et bénéfices moyens annuels dans le domaine de la santé (Grand Genève)



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

Figure 35: Bilan total dans le domaine de la santé (Grand Genève et canton de Genève)



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

Coûts et bénéfices aujourd'hui et en 2060 pour tous les aléas et effets qui sont pertinents

- Opportunités

Globalement, peu d'opportunités liées au changement climatique ont été identifiées et quantifiées. La réduction du nombre de **vagues de froid** peut toutefois avoir un **impact positif sur la qualité de l'air** pour le canton de Genève et le Grand Genève, en réduisant les besoins de chauffage et donc les émissions de particules fines. Par ailleurs, une diminution de la neige, de la glace et du verglas aurait également un impact positif sur la santé grâce à une **réduction du nombre d'accidents** sur les routes et durant les activités de loisirs. Cet impact a été évalué qualitativement et donc aucun bénéfice chiffré n'a été calculé.

- Risques

Les risques liés aux changements climatiques sont multiples. **L'augmentation du nombre de vagues de chaleur générera des pertes de production dues à la diminution des performances au travail ainsi qu'une augmentation du nombre de décès** liés à la chaleur dans l'espace urbain. A l'horizon 2060, **l'augmentation des coûts** estimée pour l'aléa vague de chaleur correspondant au *scénario forte amplitude* est de :

- Pour le canton de Genève, environ CHF 560 millions pour un évènement moyen annuel et CHF 2'370 millions pour un évènement centenaire.
- Pour le Grand Genève, environ CHF 1'280 millions pour un évènement moyen annuel et CHF 6'170 millions pour un évènement centenaire.

Les coûts liés à la perte de productivité au travail sont plus élevés que ceux liés aux décès lors de canicules. En outre, on s'attend à une augmentation des problèmes cardio-vasculaires, des coups de chaleur, de la déshydratation et de l'hyperthermie pour les habitants du canton de Genève et du Grand Genève.

A noter que des mesures d'adaptations de la population viendront certainement limiter dans une certaine mesure les impacts des vagues de chaleur (mesures constructives sur les bâtiments, climatisation naturelle, modification des comportements, etc.). Cependant, au sens de la méthode de travail employée, ces mesures d'adaptations ne sont pas prises en compte pour la quantification. L'évaluation doit être faite sans intégrer les mesures d'adaptation afin de simuler les impacts maximaux en cas d'absence de mesures.

Le **risque de crues ayant un impact sur l'homme (morts, blessés) devrait être limité** dans le canton de Genève et dans le Grand Genève, notamment grâce aux politiques publiques de gestion des inondations et à l'aménagement du territoire. En revanche, **la qualité des eaux de baignade pourrait se détériorer** dans le canton de Genève et le Grand Genève**.** De plus, des conditions climatiques modifiées peuvent entraîner la propagation de plantes hautement allergènes, telles que l'ambroisie et d'autres espèces méditerranéennes.

Pour certains aléas, la tendance n'est pas claire. Il n'est pas possible de déterminer si, pour le Grand Genève, il y aurait une augmentation des maladies infectieuses transmises par l'alimentation et l'eau. Il est également difficile d'estimer l'évolution de la propagation des

tiques et dans quelle mesure le canton de Genève et le Grand Genève sont concernés. Il est enfin difficile de prédire si l'allongement des périodes de pollinisation et donc de la période d'exposition aux allergènes augmenterait le nombre de personnes allergiques.

- Bilan

En conséquence des points ci-dessus, **les risques sont importants** pour ce domaine d'impact. L'intensification des vagues de chaleur et des jours de canicule peuvent entraîner une augmentation de la fatigue, du stress et du nombre de décès, ainsi qu'une diminution des capacités de travail. Les mesures d'anticipation qui permettent de limiter ces impacts existent et sont nombreuses, telles que l'amélioration de l'isolation des logements et des espaces de travail, et la mise en œuvre à large échelle de plan canicule pour les populations vulnérables. Ces mesures d'isolation permettront par ailleurs de réduire la consommation d'énergie pour la climatisation (cf. §5.5).

5.2.3. Scénarios socioéconomiques pour le domaine d'impact santé en 2060

Nombre de personnes âgées[29]

Par rapport aux données suisses qui montrent que la part de la population de 65 ans et plus passera de 17.1% en 2010 à 26.0% en 2035, la part de la population de 65 ans et plus progressera moins fortement dans le **canton de Genève, de 16% en 2010 à 21% en 2040**. Dans le même temps, ce taux augmentera de **12-13% à un peu plus de 20% pour le Genevois de l'Ain**, **21-22% pour le Genevois de haut-savoyard** et **22-24% pour le district de Nyon** (selon les scénarios). On observe donc un vieillissement de la population qui, bien que plus faible que la moyenne suisse, accentuerait l'impact négatif des vagues de chaleur en augmentant la part de personnes exposées aux risques de décès liés aux canicules.
Les incertitudes peuvent être considérées comme moyennes.

Nombre de personnes nécessitant des soins médicaux

Dans le canton de Genève, l'accroissement relatif le plus fort concernera les 80 ans et plus avec un effectif multiplié par un facteur de 2,1 à 2,2 en 30 ans (2010 à 2040), soit d'environ 20'000 à plus de 40'000. **Dans le district de Nyon, l'accroissement relatif le plus fort concernera également les 80 ans et plus avec un effectif multiplié par un facteur de 3,6 en 30 ans** (soit environ de 3'000 à 10'000), et le groupe des 65-79 ans verra aussi ses effectifs doubler (multipliés par 2,4). La situation sera similaire dans le Genevois de l'Ain puisque la part des 80 ans et plus triplera en 30 ans (environ 3'500 à 9'500), et le groupe des 65-79 ans verra aussi ses effectifs plus que doubler (multipliés par 2,2 à 2,3). Dans le **Genevois haut-savoyard, l'accroissement relatif le plus fort concernera les 80 ans et plus avec un triplement des effec-**

[29] Rapport projections démographiques aggloGE (octobre 2012)

tifs en 30 ans (10'000 à 30'000), et le groupe des 65-79 ans doublera ses effectifs (multipliés par 2,2 à 2,3). Au total sur le Grand Genève, les plus de 80 ans augmenteront de près de 37'000 à plus de 90'000.

Il faut donc s'attendre à davantage de personnes âgées nécessitant des soins. Selon EBP/SLF/WSL (2013c), le nombre de personnes de plus de 64 ans nécessitant des soins augmentera de 46% en Suisse entre 2010 et 2030 et passera en Suisse de 125 000 à 182 000 personnes (voir aussi Höpflinger et al. 2011; Höpflinger & Hugentobler 2003) si la durée des soins nécessaires reste constante avec l'augmentation de l'espérance de vie. Par analogie à l'étude de cas du canton d'Argovie (EBP/SLF/WSL 2013d), on estime que les chiffres passeront à 290'000 entre 2030 et 2060 (+50% environ). Il n'existe pas de chiffres spécifiques selon les régions.

Les incertitudes peuvent être considérées comme moyennes.

Nombre de personnes souffrant de maladies cardio-vasculaires

Les maladies coronariennes (maladies chroniques des vaisseaux coronaires) sont actuellement la principale cause de décès en Suisse, suivies de près par les attaques cérébrales (EBP/SLF/WSL 2013d). Les couches sociales inférieures sont davantage concernées que les personnes issues des couches sociales supérieures. Si l'on tient compte du taux de mortalité standardisé, 131 personnes sont décédées en 2014 d'un infarctus aigu (des suites d'une maladie coronaire) pour 100 000 habitants (EBP/SLF/WSL 2013d). Pour les AVG, ce taux s'élevait à 146 personnes pour 100 000 habitants (Meyer et al. 2008). Avec le vieillissement de la population, il faut s'attendre à une augmentation des maladies cardio-vasculaires, bien que les deux taux soient en recul depuis les années 90 (Meyer et al. 2008). Selon la documentation de travail non publiée sur la méthode à appliquer pour les études des risques liés aux changements climatiques (EBP/SLF/WSL 2013c), la mortalité des deux maladies susmentionnées s'élèvera de 10% d'ici à 2060, même si on ne dispose pas de chiffres régionalisés pour Genève.

Les incertitudes peuvent être considérées comme moyennes.

Offre de prestations médicales ambulatoires

En raison du vieillissement de la population et des exigences plus élevées en termes de traitements ambulatoires ainsi que de la tendance chez les médecins à travailler davantage à temps partiel et du nombre décroissant de médecins généralistes, il faut s'attendre, d'ici à 2030, à un déficit de l'offre de prestations médicales ambulatoires en Suisse (Seematter-Bagnoud et al. 2008). Selon EBP/SLF/WSL (2013c), ce déficit devrait demeurer jusqu'en 2060.

Les incertitudes peuvent dans l'ensemble être considérées comme importantes.

Scénarios socio-économiques et aléas et dangers quantifiés

Les observations faites au point 4.3.2 supposent que la structure par âge et les données démographiques restent constantes. En réalité, comme décrit ci-dessus, ces valeurs vont évoluer et entraîneront parfois des modifications plus importantes que celles qui sont attendues en raison des changements climatiques.

Au cours des années, plusieurs valeurs utilisées pour la quantification seront influencées par les modifications socio-économiques. Ainsi, par exemple, les calculs de la diminution des performances due aux vagues de chaleur reposent sur la valeur ajoutée brute, qui elle aussi aura changé d'ici à 2060, de même que les coûts estimés. En outre, la vulnérabilité en termes de mortalité liée à la chaleur augmentera probablement dans un futur proche en raison de la croissance démographique dans les régions urbaines et suburbaines (en particulier pour les générations les plus âgées, ce qui n'est pas pris en compte dans les estimations quantitatives).

Dans l'ensemble, pour ce qui est des coûts attendus d'ici à 2060, les changements socio-économiques pourraient être comparables aux impacts sur la santé humaine dus aux changements climatiques. D'ici à 2'060, il faut ainsi s'attendre à des coûts supplémentaires pour le Grand Genève de CHF 742 millions avec le scénario *faible amplitude* et environ CHF 1'590 millions avec le scénario *grande amplitude*.

Les incertitudes sont toutefois élevées dans l'ensemble.

Références du sous-chapitre 5.2

BFS 2013: Bruttowertschöpfung nach Kantonen und Branchen. Bundesamt für Statistik.

Bux, 2006: Bux K.**,** Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse - Bedarfsanalyse für weitere Forschungen. Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund.

CH2011 (2011) : Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

Dear et al. ,2005: Dear, et al. 2005, Effects of Temperature and Ozone on Daily Mortality During the August 2003 Heat Wave in France. Archives of Environmental & Occupational Health, Vol. 60 (4):205-2012.

Della-Marta et al. (2007) : Della-Marta, P.M., Haylock, M.R., Luterbach, J., Wanner, H. 2007, Doubled length of western European summer heat waves since 1880. Journal of Geophysical Research, Vol. 112, D15103.

EBP/SLF/WSL 2013a: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Methodenbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern.

EBP/SLF/WSL 2013b: Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau; Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

EBP/SLF/WSL 2013c: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz, nicht-öffentliche Arbeitsdokumentation; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

EKL 2004: Sommersmog. Eidgenössische Expertenkommision für Lufthygiene – EKL. [http://www.ekl.admin.ch/fileadmin/ekl-dateien/dokumentation/Sommersmog_D_2011-07-18.pdf]

Filleul et al. , 2008 : Filleul, et al. 2008, The relation between temperature, ozone and mortality in nine French cities during the heatwave 2003. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, Berlin. Newsletter No. 41:2-9.

Grize et al. 2005 : Grize, L., Huss, A., Thommen, O., Schindler, C. and Braun-Fahrländer C. 2005, Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. Swiss Medical Weekly, 135, 200-205.

Hajat, S., Kovats, R.S., Atkinson, R.W., Haines, A. 2002: Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. Journal of Epidemiology and Community Health, Vol. 56: 367-372.

Hemon et al. , 2003 : Hémon D., Jougla E. 2003, Surmortalité liée à la canicule d'aout 2003 – Rapport d'étape (1/3) : Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques, INSERM.

Höpflinger & Hugentobler 2003 : Höpflinger, F., Hugentobler, V. 2003, Pflegebedürftigkeit in der Schweiz – Prognosen und Szenarien für das 21. Jahrhundert. Bern

Höpflinger et al. 2011 : Höpflinger, F., Bayer-Oglesby, L., Zumbrunn, A. 2011, Pflegebedürftigkeit und Langzeitpflege im Alter. Aktualisierte Szenarien für die Schweiz. Bern.

INFRAS 2014a: Städtischer Wärmeinsel-Effekt – Grundlagenarbeit für die Klimarisikoanalysen 2060. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf.

INFRAS/Egli Engineering 2015a: Klima, Gefahren und Effekte – Herleitung für die Agglomerationsfallstudien. INFRAS und Egli Engineering AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt – BAFU.

INFRAS/Egli Engineering 2015b: Klimabedingte Risiken und Chancen 2060 – Regionale Fallstudie Kanton Uri. INFRAS und Egli Engeneering im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt – BAFU, Entwurfsversion vom 04. April 2014.

INFRAS 2015c: Berechnungen der klimabedingten Risiken und Chancen im Auswirkungsbereich Gesundheit. Interne Arbeitsdokumentation

Jerrett et al. , 2009 : Jerrett et al. 2009 ,Long-Term Ozone Exposure and Mortality. The New England Journal of Medicine; 360: 1085-1095.

Kanton Basel-Stadt, 2011 : Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011**,** Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt –Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt.

Kosatsky, 2005: Kosatsky T., The European heat waves. Euro Suveill. Published online July 2005, 10(7).

Kovats et al. 2004a : Kovats, R.S., Wolf, T., Menne, B. 2004a, Heatwave of August 2003 in Europe: provisional estimates of the impact on mortality. Eurosurveillance Weekly 2004, 8(11).

Kovats et al. 2004b : Kovats, R.S., Edwards, S.J., Hajat, S., Armstrong, B.G., Ebi, K.L., Menne, B., et al. 2004b: The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. Epidemiology and Infection, Vol. 132 (03): 443-453.

Meyer et al. 2008 : Meyer, K., Simmet, A., Mattle, H.P., Arnold, M. 2008, Herz-Kreislauf-Krankheiten (Koronare Herzerkrankung und Hirnschlag). Aus Meyer, K.: Gesundheit in der Schweiz. Nationaler Gesundheitsbericht 2008: 153-169.

OcCC/SCNAT 2005: Hitzesommer 2003 – Synthesebericht. OcCC/SCNAT, ProClim – Forum for Climate and Global Change, Platform of the Siwss Academy of Sciences, Bern.

OFSP, 2007 : Schutz bei Hitzewellen – Klimaänderung: Auswirkungen auf die Gesundheit. Bundesamt für Gesundheit - BAG und Bundesamt für Umwelt - BAFU

Patz et al. , 2005 : Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J.A. 2005, Impact of regional climate change on human health. Nature Reviews, Vol. 438/17: 310-317.

Robine et al. 2007: Report on excess mortality in Europe during summer 2003.

Seematter-Bagnoud et al. 2008 : Seematter-Bagnoud, L., Junod, J., Jaccard Ruedin, H., Roth, M., Foletti, C., Santos-Eggimann, B. 2008, Offre et recours aux soins médicaux ambulatoires en Suisse – Projections à l'horizon 2030 (OBSAN Document de travial 33). Neuchâtel.

Statistik Stadt Zürich, 2004 : Sommerhitze und Alterssterblichkeit. INFO 2/2004. Amt für Statistik der Stadt Zürich, nicht veröffentlichte Auswertung zum Hitzesommer 2003.

Swissre 2014: Sigma 1/2014 – Natural cataststophes and man-made disasters 2013: large losses from floods and hail; Haiyan hits the Philippines, 2014.

The World Bank 2014: Turn Down the Heat – Why a 4°C Warmer World Must be Avoided. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics, November 2012.

Thommen et Braun-Fahrländer, 2004 : Thommen, O., Braun-Fahrländer, C. 2004, Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG).

UNEP 2004: Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. 2nd issue of Early Warning on Emerging Environmental Threats. United Nations Environment Programme (UNEP) – United Nations Environment Programme.

WWF 2007: Kosten des Klimawandels – Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Aktualisierte Fassung vom Juli 2007. Institut für Weltwirtschaft Kiel im Auftrag des WWF Deutschland, Frankfurt.

5.3. Domaine d'impact Agriculture

L'agriculture exploite près de la moitié de la superficie du territoire du Grand Genève et constitue une activité importante en termes de retombées économiques directes et indirectes, de production et d'emplois. En chiffre, il s'agit de près de 1'300 entreprises agricoles, réparties sur 167 communes, générant plus de 6'000 emplois directs, et près de 30'000 emplois indirects (CRFG 2007).

En plus d'accueillir certaines productions agricoles d'importance régionale tels que la production fromagères (plusieurs AOC de renom), le maraichage et l'arboriculture ou encore la viticulture, l'agriculture franco-valdo-genevoise joue un rôle crucial dans la préservation du paysage et, par conséquent, dans le maintien de la qualité de vie de cette région.

Agriculture: état actuel et changements climatiques

Selon des données extraites de l'Evaluation environnementale stratégique du projet d'agglomération franco-valdo-genevoise deuxième génération 2012, plus de 71'000 hectares d'espaces agricoles, soit un tiers (33.2%) de la superficie du Grand Genève, sont utilisés par l'agriculture.

Le canton de Genève compte 12'783 hectares de zones agricoles et viticoles. Cela correspond à **53% de la superficie totale du canton de Genève**[30]. La part de surface agricole est plus faible dans le **genevois français et dans le district de Nyon, représentant respectivement 29% et 37% de la surface totale**. L'utilisation des surfaces agricoles est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10: L'utilisation des surfaces agricoles par territoire

	Genève	District de Nyon	Genevois de l'Ain	Genevois haut savoyard	Moyenne Grand Genève
Grandes cultures	61%	51%	17%	19%	**32%**
Surfaces herbagères	23%	34%	82%	79%	**61%**
Viticulture	14%	10%	0.11%	0.37%	**5%**
Arboriculture fruitière	1%	3%	0%	0%	**1%**
Maraîchage	2%	1%	0%	1%	**1%**

Evaluation environnementale stratégique du projet d'agglomération Franco-Valdo-Genevoise deuxième génération 2012

Concernant l'élevage, on compte au total pour le **Grand Genève plus de 27'000 unités de gros bétail** (UGB), dont 80% de vaches pour la production de lait, 11% d'équins, 6% de bovins pour la viande, 2% de porcs et moins de 1% de volaille. Les vaches pour la production de lait se si-

[30] Selon une autre source (OFS, Exploitations agricoles, emplois et surface utile par canton, en 2013), le Canton de Genève compte 11'191 ha de surfaces agricoles utiles en 2013. Cela correspond à 46% de la superficie totale du canton.

tuent principalement dans le Genevois haut-savoyard (57%), puis dans le Genevois de l'Ain (20%) et dans le district de Nyon (18%), et en faible quantité dans le canton de Genève (5%) (Faessler, 2009). L'élevage dans le canton de Genève est le plus faible des cantons suisses (Agriculture suisse, Statistique de poche 2012).

Le Grand Genève compte au total 1'294 exploitations agricoles, dont 376 dans le canton de Genève, 223 dans le district de Nyon, 156 dans le Genevois de l'Ain et 539 dans le Genevois haut-savoyard. Les exploitations agricoles du Grand Genève génèrent au total plus de 6'000 emplois directs, et plus de 30'000 emplois indirects (CRFG, 2007). Les exploitations suisses génèrent beaucoup plus d'emplois salariés que les françaises, de par le fait notamment que la production plus spécialisée pratiquée en Suisse nécessite davantage de main-d'œuvre.

Performance économique

Dans le canton de Genève, la valeur de production 2012 de la branche agricole est estimée à CHF 221 millions (AgriGenève, 2013) et à CHF 20'200 par hectare, soit plus du double de la moyenne suisse, qui s'élève à CHF 9'800 (Agriculture suisse, Statistique de poche 2012, statistiques arrondies à la centaine). Cela s'explique notamment par l'importance de la viticulture, culture à forte valeur ajoutée : même si elle représente 14% des surfaces agricoles utiles (Faessler, 2009), elle contribue à 28% de la valeur de production de l'agriculture (AgriGenève, 2013). Les subventions accordées à l'agriculture se montent à CHF 2'100 par hectare, ce qui est légèrement en dessous de la moyenne suisse, estimée à 2'800 (OFS, 2012, statistiques arrondies à la centaine).

Bien que la valeur par hectare soit plus importante que la moyenne suisse, la valeur ajoutée brute (VAB) du secteur primaire (agriculture et sylviculture) ne représente que 0.5% de la VAB du canton, contre 1.2% en moyenne suisse (OCSTAT, 2010).

Concernant le district de Nyon, les valeurs ne sont pas connues, mais présentées pour l'ensemble du canton de Vaud : la valeur de production de l'agriculture y est de CHF 10'500 par hectare (OFS, 2012, statistiques arrondies à la centaine). La valeur est probablement plus élevée pour le district de Nyon, où la viticulture représente 10% des surfaces agricoles (Faessler, 2009). Les subventions pour le canton de Vaud s'élèvent à CHF 2'500 par hectare (OFS, 2012, statistiques arrondies à la centaine).

Du côté français, la région Rhône-Alpes est la 4ème région française en termes de production agricole. Avec plus de 3'091 millions d'euros de chiffre d'affaires, elle représente 5% du chiffre d'affaires national. En Haute-Savoie, l'agriculture a représenté 217 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2006. L'élevage est la première production agricole : il totalise près de 60% de la production départementale (2006), contre 40% environ pour Rhône-Alpes (Chambre d'Agriculture de Rhône-Alpes, 2008 et DRAAF 2012).

Agriculture et changements climatiques

Les changements climatiques pourraient avoir des effets sur l'agriculture perceptibles pour plusieurs aléas et impacts. Contrairement à d'autres secteurs, la production agricole dépend directement de diverses variables climatiques comme la température ou les précipitations. D'importants facteurs dans le domaine de l'agriculture (humidité des sols, durée de la période de végétation, durée et moment des jours de gel, périodes de précipitations, etc.) ainsi que leurs modifications induites par les changements climatiques sont interdépendants. On connaît comment ces facteurs ont interagi par le passé. Il est toutefois plus difficile d'estimer comment ces facteurs vont interagir à l'avenir.

Un exemple d'interdépendance est celui de l'été caniculaire de 2003 durant lequel on a été témoin de températures très élevées et d'une quasi absence de précipitations. Cette combinaison a donné lieu à ce que la population et les stations de mesures ont perçu et mesuré comme une période de chaleur exceptionnelle. Les impacts sur l'agriculture étaient très variés. Selon les régions, des impacts considérables (positifs ou négatifs) ont pu être observés durant l'été 2003 (SCNAT 2005).

Un autre exemple d'interdépendance est celui des glissements de terrain en lien avec les précipitations et la sécheresse : les fortes précipitations peuvent engendrer des glissements de terrain dans les zones en pente. Ces mêmes zones sont concernées par le phénomène de retrait et de gonflement des argiles. Les alternances de périodes de fortes précipitations et de sécheresse favorisent ce phénomène, qui contribue à la perte du potentiel agricole.

Ces événements ne peuvent pas être recensés à l'aide de la méthode choisie pour cette étude et sont difficilement estimables, même par des experts. Il se pourrait ainsi qu'une combinaison malheureuse entraîne un dépassement considérable des coûts.

Les analyses présentées ci-après pour les différents aléas et effets ne tiennent pas compte de ce type de réaction en chaîne ni d'éventuels effets « dominos ». Le bilan global présenté à la fin du chapitre doit donc être interprété en tenant compte de cet état de fait. Les effets socio-économiques doivent impérativement être pris en compte lors de la planification des mesures.

5.3.1. Analyse des aléas et effets en 2060

Comme présenté dans la matrice de pertinence au chapitre 5.1, les aléas étudiées quantitativement sont les modifications de la température moyenne et la sécheresse générale.

L'impact de la sécheresse générale sur la production agricole (toute cultures confondues) est évalué quantitativement en calculant la baisse de la productivité en raison d'une pénurie d'eau due à la sécheresse combinée à des températures élevées.

Pour la modification de la température moyenne, l'impact de la productivité en raison du prolongement de la période de végétation des grandes cultures est analysé quantitativement. La viticulture est analysée séparément, afin de mieux prendre en compte ce secteur à forte valeur ajoutée.

La modification du régime des précipitations est analysée de manière qualitative. Bien que le régime des précipitations ait une influence importante sur l'agriculture, cet aléa n'est pourtant pas analysé quantitativement puisqu'il est délicat de chiffrer l'impact de ces scénarios climatiques pour 2060.

Les autres aléas analysés qualitativement sont les vagues de chaleur (impact sur l'élevage), la grêle, les orages, les vagues de froid et le nombre de jours de gel. Le nombre de jours de gel est étudié conjointement aux vagues de froid.

Tableau 11 : Aperçu des impacts des changements climatiques dans le domaine de l'agriculture		
Aléas/effets	**Impacts analysés quantitativement**	**Impacts analysés qualitativement**
Orages (y compris érosion)/grêle		• Dommages naturels sur les cultures liés à la grêle • Possibilité de perte de valeur des sols liée à l'érosion (ruissellement, glissements de terrain)
Modification du régime des précipitations		• Possibles baisses de rendement des cultures et de l'élevage en cas de réduction spatio-temporelle des ressources en eau due à des changements dans la répartition des précipitations • Pertes de production liées à des épisodes climatiques particuliers (printemps pluvieux favorisant les champignons et bactéries)
Sécheresse générale	• Baisse de la productivité en raison d'une pénurie d'eau due à la sécheresse combinée à des températures élevées (comme en été 2003)	• Types d'espèces qui ne sont plus cultivables • Impact négatif sur la qualité de la vigne
Vagues de froid		• Hivers trop doux pouvant avoir des conséquences négatives sur les récoltes • Apparition d'espèces nuisibles aux cultures liée aux températures plus clémentes • Gel tardif ou vague de froid tardive, avec des conséquences négatives sur les récoltes • Culture de nouvelles espèces permise par les températures plus clémentes
Nombre de jour de gel		Voir *vagues de froid*
Vague de chaleur	Voir *sécheresse générale*	• Atteinte au bien-être des animaux • Réduction de la production laitière
Modification de la température moyenne	• Hausse ou baisse de la productivité en raison du prolongement de la période de végétation • Dans la viticulture, hausse de la valeur de production grâce à la plus grande liberté dans le choix des cépages, et de la culture de cépage produisant des vins à des prix plus élevés.	• Hausse de la température moyenne favorable à la majorité des productions agricoles • Impacts négatifs liés au décalage temporel dans les stades phénologiques des espèces végétales

a) Agriculture: orages et grêle

Domaines analysés et disponibilité des données

Les orages et la grêle peuvent générer des dégâts directs aux cultures à cause de la grêle, et des impacts indirects liés aux fortes précipitations durant les orages, précipitations qui contribuent au phénomène d'érosion.

Concernant la grêle, les scénarios climatiques ne peuvent prédire si le risque de tempête de grêle sera plus élevé ou plus faible. Dans l'étude d'Uri, les dommages naturels causés par la grêle dans l'agriculture ont été étudiés de manière quantitative par une analyse de sensibilité. Une analyse similaire n'a cependant pas pu être effectuée car des données genevoises aussi précises n'ont pu être obtenues. Ainsi, seule une analyse qualitative est effectuée. Toutefois, en se basant sur les coûts de l'importante tempête de grêle du 20 juin 2013, on peut avoir un ordre de grandeur des coûts liés à la grêle.

Impacts qualitatifs

Concernant les coûts liés à la tempête de grêle du 20 juin 2013, le montant global des **dommages aux cultures agricoles assurées dans le canton de Genève** est de CHF 4.0 millions, dont 3.5 pour la vigne et 0.5 pour les autres cultures (Suisse Grêle, 2013). Ainsi, à l'avenir, même avec une modification de la fréquence ou de l'intensité des tempêtes de grêle impliquant une augmentation ou une réduction des coûts de 50%, l'impact se chiffre à quelques millions, montant important mais toutefois largement en dessous des autres impacts quantifiés dans ce chapitre.

Les fortes précipitations liées aux orages peuvent engendrer des glissements de terrain dans les zones de pentes du Grand Genève. Une partie du territoire est concernée par le phénomène de retrait ou de gonflement des argiles. Les alternances de périodes de fortes précipitations et de sécheresse favorisent le phénomène.

De plus, toujours **dans les pentes et particulièrement dans le cas de l'élevage**, les **risques d'érosion des sols**, et par conséquent de perte du potentiel agricole sont accrus lors :

- de fortes précipitations : les prés sont rapidement dégradés sur les terrains gorgés d'eau.
- de fortes sécheresses : la végétation, grillée, ne retient plus les maigres sols.
- d'alternance période de sécheresse / période de fortes pluies : le tassement des terres par le cheptel en période sèche favorise ensuite en cas de fortes précipitations le ruissellement et l'érosion des sols.

Par ailleurs, les dommages résultant de vents violents liés à des orages ne sont pas spécifiquement pris en compte. En effet, ces phénomènes ne se produisent qu'à une échelle très locale, si bien que les données disponibles ne permettent pas de faire d'affirmations suffisamment sûres.

b) Agriculture : modification du régime de précipitations

Domaines analysés et disponibilité des données

La modification du régime des précipitations a deux conséquences principales : un stress hydrique sur les cultures et l'élevage plus important lié au changement dans la répartition saisonnière des précipitations, et un risque plus élevé de maladies des cultures au printemps.

Impacts qualitatifs

Pour l'agriculture, c'est la période où les plantes ont le plus besoin d'eau qui est critique : le printemps et l'été. Les changements climatiques attendus entraîneront pour 2060 une augmentation des précipitations en hiver (scénario faible et fort) et au printemps (scénario fort uniquement), mais une diminution des précipitations en été (scénario faible et fort) et en automne (scénario fort uniquement) (cf. chapitre 4.2.4).

Pour les plantes, cela veut dire que la période de stress hydrique d'été sera plus longue ou plus intense, d'autant plus si parallèlement les températures sont plus élevées. **Sans irrigation, certaines espèces ne seront plus cultivables.** Cet aspect est développé dans l'aléa sécheresse générale.

Par ailleurs, avec des conditions agronomiques favorisées par une grande disponibilité de l'eau au printemps (scénario fort), **les printemps doux et pluvieux favorisent également différentes pathologies dans les cultures**.

Citons par exemple le mildiou, un champignon qui peut parasiter la vigne, les pommes de terre ou encore les tomates. On peut citer encore l'oïdium, une maladie cryptogamique également, qui peut toucher la vigne, les arbres fruitiers ou encore les cultures maraîchères. Autre champignon, le botrytis (ou pourriture grise) qui s'attaque particulièrement aux cultures maraîchères, à l'arboriculture et à la viticulture. En ce qui concerne les céréales, les printemps doux et pluvieux favorisent des champignons parasites à l'origine de pertes de rendement qui peuvent être considérables, comme la septoriose pour le blé ou l'helminthosporiose pour l'orge. **Dans le Grand Genève, l'agriculture de plein champ (céréales) serait particulièrement touchée, ainsi que l'arboriculture. Le maraîchage sous serre serait préservé.**

Ces impacts phytosanitaires pourraient être affinés dans le cadre d'études ultérieures en se basant sur les modèles épidémiologiques existants. Par exemple, l'augmentation de la pression du feu bactérien devrait pouvoir être estimée en appliquant au modèle actuel validé, l'augmentation attendue, au printemps, de la température et des précipitations.

En revanche, d'autres effets plus positifs sont possibles (INRA Avignon) :

- L'accélération des rythmes phénologiques pourrait permettre une esquive partielle des stress hydriques accrus et du nombre croissant de jours échaudants de printemps et d'été.

- Une moindre humidité des sols à l'automne conduirait à davantage de jours disponibles pour les travaux d'automne (scénario fort uniquement).
- Une augmentation des rendements dans les cas où les stress hydriques sont évités ou compensés par une croissance à des périodes hors stress : cultures d'hiver, prairie et cultures pérennes.

D'après les estimations faites par les auteurs, le bilan de ces effets devrait être nettement plus faible que la somme des autres bénéfices et coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Agriculture. Ainsi, les effets de l'aléa modification du régime des précipitations dans le Grand Genève et dans le canton de Genève sont qualifiés de nettement plus faibles, avec un facteur d'incertitude élevé.

c) Agriculture: sécheresse générale

Domaines analysés

Selon le Tableau 15, les coûts pour l'agriculture occasionnés par une longue période de sécheresse sont examinés en lien avec les jours tropicaux et les vagues de chaleur (INFRAS/Egli Engineering 2015a); pour l'analyse quantitative, l'été 2003 est considéré comme un événement survenant tous les 100 ans. En effet, la pratique tient compte des baisses de rendement dans leur ensemble, sans distinction quantitative. L'analyse des coûts et des baisses de rendement liés aux sécheresses combinées aux vagues de chaleur doit donc tenir compte des expériences de l'été 2003, un événement bien documenté.

Disponibilité des données

Pour quantifier les impacts sur l'agriculture liés à une sécheresse générale, les réflexions des auteurs reposent sur des études portant sur l'été caniculaire de 2003 (Keller et Fuhrer 2004) et le besoin d'irrigation dans l'agriculture (Fuhrer 2010; Fuhrer et Jasper 2009). D'après ces études, sous les mêmes conditions météorologiques qu'en été 2003, les recettes de la production agricole dans son ensemble seraient réduites de 20 %, voire de 50 % dans les cas les plus extrêmes.

Les études susmentionnées analysent le besoin potentiel moyen d'irrigation annuelle, notamment pour l'été caniculaire de 2003, comme exemple d'événement pouvant survenir tous les 100 ans. Elles utilisent pour cela la méthode de l'évapotranspiration potentielle (ET/ETP). Selon Fuhrer (2010), le besoin annuel moyen en irrigation actuel s'élève à 1,9 millions de m^3 d'eau pour les surfaces agricoles du canton de Genève. Des estimations grossières de Fuhrer (2013, communication écrite) indiquent que tous les espaces agricoles du canton devraient être irrigués.

Pour les besoins de la présente étude, ces données sont mises en relation avec les valeurs de production par hectare (données 2009 de l'OFS) pour pouvoir estimer les baisses moyennes

de rendement liées à la sécheresse et à la chaleur pour la situation moyenne aujourd'hui ainsi que pour les événements survenant tous les 100 ans (en s'appuyant pour cela sur les données de l'été caniculaire de 2003); il est ainsi possible d'estimer les coûts attendus pour 2060.

Réserves et hypothèses

Les valeurs calculées dans les études de Fuhrer (2010) et Fuhrer et Jasper (2009) quant au besoin potentiel moyen d'irrigation sont purement théoriques; il peut en être tout à fait autrement dans la pratique. A défaut de disposer de sources de données alternatives et dans l'optique d'une approche pragmatique, ces données doivent néanmoins permettre d'estimer les baisses de rendement. Faute de données concrètes sur les baisses de rendement et les coûts qui seraient nécessaires à une analyse quantitative d'un événement survenant une fois tous les 100 ans, la présente étude ne fournit pas d'examen séparé de la sécheresse. Selon les auteurs, il est bien plus probable que les deux événements - sécheresse et période de chaleur - surviennent de manière combinée. Puisqu'il existe des données suffisantes pour l'été caniculaire de 2003, c'est cette variante « couplée » qui est examinée. Selon les auteurs, on peut partir du principe que la combinaison sécheresse et chaleur cause des baisses de rendement plus importantes que si l'un des deux événements survient seul. Les auteurs estiment que cette simplification est compatible avec la méthode et donc judicieuse et applicable.

Ils admettent donc que **si les surfaces ne sont pas irriguées, les baisses de rendement dans le canton de Genève s'élèvent à maximum 20 % de la valeur de production par hectare** (toutes cultures confondues), comme cela a également été démontré par Keller et Fuhrer (2004) et Fuhrer et Jasper (2009) pour l'été caniculaire de 2003. Il convient de noter que ces valeurs sont des estimations plutôt prudentes.

Dans le département de l'Ain, la canicule de 2003 a entrainé une baisse de 60% de la production fourragère, une baisse de production de 29% pour le maïs et de 20% pour le blé (Département de l'Ain, 2013).

Les impacts indirects de la baisse de la production fourragère (ou d'un changement en qualité) sur la **production laitière et l'élevage** ne sont pas pris en compte dans les estimations qualitatives en raisons des incertitudes trop élevées qui relient ces deux domaines.

Les données sont tirées d'études qui présentent la situation dans le canton de Genève. En l'absence de données similaires pour le district de Nyon, le Genevois de l'Ain et le Genevois haut-savoyard, des estimations ont été effectuées en rapportant les coûts estimés pour le canton de Genève à la superficie des autres territoires, en partant de l'hypothèse que les coûts par hectare sont identiques. Les incertitudes sont par conséquent élevées.

Par ailleurs, aucune estimation n'a été faite explicitement pour les cas de sécheresse hivernale, dont l'impact est jugé de moindre importance.

Impacts qualitatifs

Les plantes disposent de ce que l'on appelle une capacité de régulation hydrique, phénomène complexe qui commence par la fermeture des stomates pour éviter l'assèchement. Cette capacité de régulation est bonne par exemple pour le maïs et le pois (espèces dites isohydriques), moindre chez le tournesol (espèce anisohydrique) (INRA Montpellier). Quoi qu'il en soit, les périodes de sécheresse induisent des arrêts de croissance qui peuvent être **préjudiciables aux rendements** : fruits moins gros (voire qui tombent), graines plus petites (céréales), feuilles plus petites, montées en graines plus rapides (salades, radis, épinards, …). **Peu d'espèces cultivées (et non irriguées) actuellement dans le Grand Genève supporteront des sécheresses à répétition ou des périodes de stress hydrique longues**.

Des **variétés plus résistantes à la sécheresse existent, tandis que d'autres sont en cours de développement**. La profession agricole adapte très vite ses cultures en fonction de l'évolution du climat : c'est une adaptabilité constante : elle le fait depuis des centaines d'années en fait. Outre le développement de variétés plus résistantes, de nouvelles espèces pourront être cultivées, comme le sorgho, les aubergines, les poivrons, etc.

Quelques types de cultures en raison de leur caractère pluriannuel ont en revanche plus de **difficultés à s'adapter** (et rejoignent en cela la problématique du domaine d'impact Forêt) : **la viticulture et l'arboriculture**. La politique d'adaptation viticole passera par la plantation de variétés ou d'espèces supportant mieux les périodes chaudes. C'est le cas pour certains cépages viticoles. Un stress hydrique intense au moment de la véraison (maturation) a des effets néfastes sur la croissance de la vigne et ralentira le stockage des sucres, ce qui pourrait à l'avenir impacter négativement sa qualité (DREAL Rhône-Alpes, 2010). Quant aux variétés arboricoles, elles s'orienteront vers des productions localisées actuellement plus au sud (bassin méditerranéen).

Pour ce qui est des plantes herbacées que l'on retrouve dans les prairies, les travaux de l'INRA ont mis en évidence que la survie aux sécheresses sévères est assurée par une combinaison de mécanismes : les plantes doivent mûrir plus rapidement (précocité de l'épiaison), elles doivent supporter un ralentissement de croissance estival, le système racinaire doit être plus profond, etc. Elles doivent par ailleurs supporter des températures plus élevées.

On peut donc s'attendre à ce que **les cortèges floristiques des prairies du Grand Genève évoluent, d'où une qualité différente de production de la prairie et donc de l'élevage (viande et lait).** L'impact sur la qualité du lait est décrit dans l'aléa modification des températures moyennes. **Il est par ailleurs vraisemblable que des compléments fourragers d'été soient à prévoir si l'on continue à élever les mêmes variétés de cheptel.** Des espèces plus adaptées, voire des changements de type d'élevage (par exemples des ovins en remplacement de bovins), seront certainement une des réponses du milieu agricole en 2060.

D’après les estimations faites par les auteurs, la somme de ces effets négatifs devrait être nettement plus faible que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d’impact Agriculture. Ainsi, les effets négatifs de l’aléa sécheresse générale dans le Grand Genève et dans le canton de Genève sont qualifiés de nettement plus faibles, avec un facteur d’incertitude élevé.

Impacts quantifiables

Tableau 12 : Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) Evènement moyen annuel Mio. CHF		
Aujourd'hui /Scénario	**Coûts/Bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui	-6 millions	2
Scénario faible	-11 millions	3
Scénario fort	-16 millions	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par la sécheresse générale combinée avec les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Agriculture et les facteurs d'incertitude correspondants

Tableau 13 : Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) Evènement centenaire Mio. CHF		
Aujourd'hui /Scénario	**Coûts/Bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui	-43 millions	2
Scénario faible	-51 millions	3
Scénario fort	-111 millions	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par la sécheresse générale combinée avec les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Agriculture et les facteurs d'incertitude correspondants

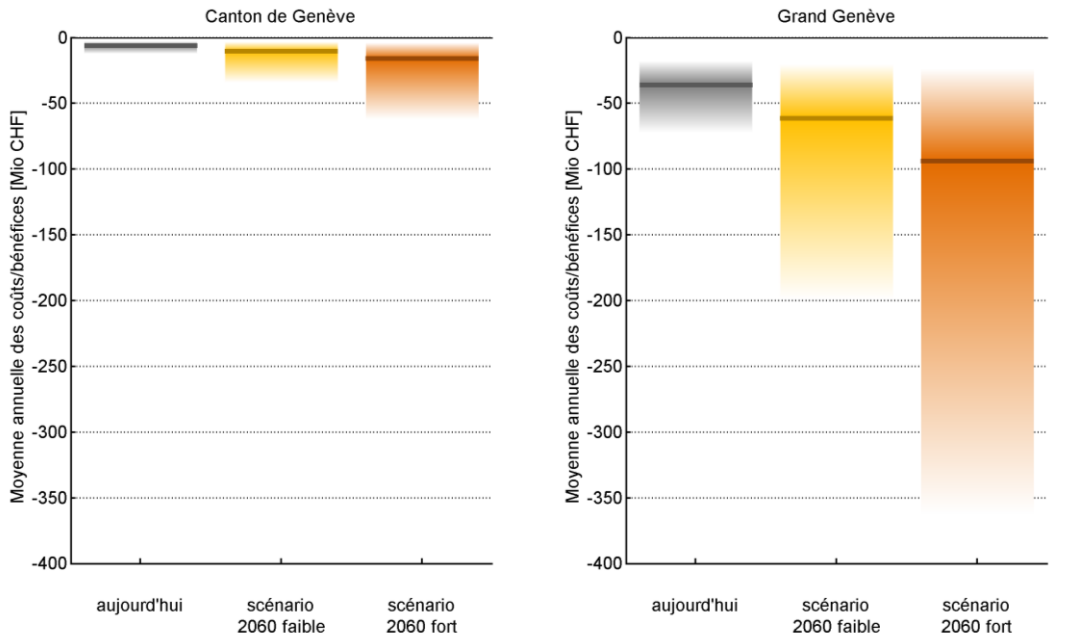
Tableau 14 : Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) Evènement moyen annuel Mio. CHF		
Aujourd'hui /Scénario	**Coûts/Bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui	-36 millions	2
Scénario faible	-62 millions	3
Scénario fort	-94 millions	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par la sécheresse générale combinée avec les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Agriculture et les facteurs d'incertitude correspondants

Tableau 15 : Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) Evènement centenaire Mio. CHF		
Aujourd'hui /Scénario	**Coûts/Bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui	-248 millions	3
Scénario faible	-297 millions	3
Scénario fort	-644 millions	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par la sécheresse générale combinée avec les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Agriculture et les facteurs d'incertitude correspondants

Figure 36: Coûts/bénéfices annuels moyens dus à la sécheresse générale



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

d) Agriculture: vagues de froid

Domaines analysés et disponibilité des données

On sait que de nombreuses espèces ont besoin d'une période de froid pour déclencher leur phase de reproduction. C'est le cas par exemple de la levée de dormance pour certaines graines (blé d'hiver par exemple) : l'usure par le froid de la protection de la graine permet la germination (processus de la vernalisation). De fait, on utilise la notion de « besoin en froid » pour la levée de dormance de certaines cultures comme celles des fruitiers. Pour le pommier par exemple, pour que les bourgeons entament leur période de croissance, on estime cette durée nécessaire de froid à 1'200 à 1'500 heures (durée pendant laquelle la température est inférieure à 7°C), soit l'équivalent d'un peu plus d'un mois et demi. Pour l'abricotier, c'est de l'ordre de 800 heures[31].

Globalement, les conséquences d'un manque de froid hivernal peuvent être les suivantes, variables en fonction des espèces :

- Chute des bourgeons, partielle ou totale,
- Appareil foliaire peu développé
- Rameaux fragiles,
- Floraison tardive,
- Fleurs déformées ayant peu de pollens,
- Peu de fruits et de mauvaise qualité.

[31] http://www.fruits-et-legumes.net/besoinsenfroid/fruitsapepins/Besoins.aspx

L'absence de grands froids est réputée être favorable aux animaux nuisibles aux récoltes. C'est essentiellement vrai pour les rongeurs, dont les portées peuvent être plus rapprochées en cas d'hivers doux. Pour les insectes, les avis diffèrent : les insectes dits nuisibles pour certaines productions peuvent s'avérer utiles pour d'autres. Le tout est de pouvoir contrôler leur quantité. L'exemple typique est le criquet pèlerin, inoffensif sous sa forme solitaire : il est déjà capable d'atteindre l'Europe du Sud sous sa forme grégaire (nuage de criquets) (CIRAD). Le criquet à ailes rouges a quant à lui proliféré dans l'Aveyron en 2005, lors d'un été sec, au point de ravager les récoltes (Mission d'animation des agrobiosciences).
Les insectes peuvent par contre être porteurs de virus ou de bactéries qui n'étaient pas présents en Europe. C'est le cas de la fièvre catarrhale du mouton (infection dévastatrice des ruminants) : confiné au bassin méditerranéen, il a été transporté jusqu'en Europe du Nord par des moucherons qui ont migré en raison des températures plus clémentes (FAO, 2007).

Un autre effet négatif des hivers doux est le déclenchement de printemps précoces. Une vague de froid ou de gel tardif peut avoir des conséquences très néfastes pour les récoltes, en particulier pour les arbres fruitiers et la vigne. Les changements dans la phénologie, comme le développement plus précoce des cultures (arboriculture, viticulture), pourraient augmenter le risque de gelée sur les jeunes plantes. Des perturbations physiologiques de certaines espèces (comme les abricotiers) peuvent être causées par des hivers doux, se traduisant par la chute de bourgeons ou des fruits avortés (DREAL Rhône-Alpes, 2010).

En revanche, les températures plus clémentes d'hiver vont permettre la mise en culture de plantes plus sensibles au froid, notamment au froid extrême. Au niveau arboricole, on peut penser qu'en 2060 il sera par exemple possible de cultiver l'olivier dans l'agglomération (il supporte jusqu'à -8°C). Il en va de même pour les plantes dont la saison végétative est plus longue et qui demandent un peu plus de chaleur. Il est vraisemblable que de nouvelles cultures dites méditerranéennes (ail, aubergines, poivrons, sorgho, …) pourront être cultivées sans risque.

Impacts qualitatifs

Le nombre de jours de gel par an diminuerait de 74 à 50 (scénario faible) voire 26 (scénario fort) (cf. Figure 19). Deux éléments liés à la réduction des vagues de froids peuvent avoir des **impacts négatifs sur les cultures du Grand Genève: d'une part des hivers trop doux peuvent être la cause d'une mauvaise production de certaines espèces qui ont besoin d'une longue période de froid pour déclencher la phase de reproduction, et d'autre part le manque de rigueur de l'hiver peut être favorable au développement de certains animaux nuisibles aux récoltes.**
Par ailleurs, même si on s'attend à une réduction globale des vagues de froids, il se peut que les vagues de froid surviennent de manière tardive. **Le gel tardif peut en effet avoir un impact négatif sur les cultures du Grand Genève**.

En revanche, la **réduction des vagues de froid peut aussi avoir un impact positif sur l'agriculture du Grand Genève**, en permettant la culture de nouvelles espèces grâce aux températures plus clémentes

D'après les estimations faites par les auteurs, la somme des effets qualitatifs négatifs est légèrement plus élevée que les effets positifs, le bilan est donc négatif. La somme de ces effets négatifs devrait être nettement plus faible que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Agriculture. Ainsi, les effets négatifs de l'aléa vague de froid sont qualifiés de nettement plus faibles, avec un facteur d'incertitude élevé.

e) Agriculture: vagues de chaleur

Cet aléa est étudié avec la sécheresse générale. Seul un aspect qualitatif lié principalement à la chaleur est traité ici, celui de l'impact sur le bien-être des animaux

Impacts qualitatifs

Les vagues de chaleur pourraient causer un **stress thermique et hydrique et ainsi porter atteinte au bien-être des animaux, et ainsi, à la productivité de l'élevage**. Le bétail pourrait être affecté. Ces stress augmenteraient la mortalité ou la vulnérabilité aux maladies (DREAL Rhône-Alpes, 2010). Pour les vaches laitières, l'augmentation de la température et du taux d'humidité impacte directement la consommation de fourrage et par conséquent la quantité et la qualité de son lait. Par ailleurs, ses besoins en eau augmente alors que l'approvisionnement peut devenir localement plus compliqué en période de sécheresse. Cet enjeu touche en particulier le territoire du Genevois français où l'élevage est très présent.

f) Agriculture : modification de la température moyenne (hormis viticulture)

Domaines pris en compte

L'analyse quantitative tient compte des coûts ou bénéfices pour l'agriculture liés à la modification de la température moyenne. Le revenu moyen des cultures est estimé en prenant le nombre d'hectares de cultures, multiplié par le rendement moyen en tonnes par hectare et par le coût moyen d'une tonne produite. Seul le revenu moyen des cultures de blé, de maïs, de colza et des prairies est pris en compte. Une fois ce revenu moyen obtenu, il est multiplié par la modification des coûts attendus avec une modification de la température. **Dans le cas du blé et du maïs, on s'attend à une perte de productivité avec une augmentation de la température moyenne, alors qu'on s'attend à une augmentation de productivité pour le colza et les praires.**

Notons toutefois que la modification de la température moyenne implique de nombreux autres changements dans le système climatique, avec lesquels il y a des interactions. Par ailleurs, la modification de la température moyenne n'est pas étudiée dans le cadre d'un évènement centenaire.

La modification de la température moyenne aura également un effet sur les besoins en énergie (chauffage) nécessaires pour les productions sous abris. Cet aspect concerne plus directement le domaine d'impact Energie (voir chap. 5.5).

Disponibilité des données

Les changements climatiques attendus entraîneront pour 2060 une modification de la température moyenne de +1,3°C (scénario faible) à + 3.0°C (scénario fort) (cf. chapitre 4.2.8). Pour pouvoir quantifier les impacts d'une possible modification de la température moyenne sur l'agriculture, la présente étude s'appuie sur des données de l'Agroscope (Fuhrer, 2013). **Les données présentées sont celles du canton de Genève.**

La modification de la température moyenne a été estimée à l'aide d'un modèle simple pour le canton de Genève sur la base des modifications de la période de végétation (par J. Fuhrer à l'attention d'Infras, cf. Fuhrer 2013). Seule la modification des recettes annuelles potentielles des cultures de blé, de maïs, de colza et des prairies pour l'année 2060 – par rapport à la période de référence 1981-2010 – a été prise en compte (selon les paramètres climatiques calculés dans CH2011 et leurs modifications tout en tenant compte des scénarios climatiques de *faible* ou de g*rande amplitude*[32]). Les valeurs estimées sont présentées dans le tableau ci-dessous. Elles ont été mises à disposition pour les besoins de cette étude (par Agroscope, cf. communication de Fuhrer 2013):

Tableau 16 : Modification des recettes annuelles potentielles par hectare

	Scénario climatique de faible amplitude	Scénario climatique de grande amplitude
Blé	-7.5 %	-17.0 %
Maïs	-4.2 %	-9.3 %
Colza	+9.9 %	+22.5 %
Prairie	+13.6 %	+36.1 %

La monétarisation a été faite sur la base des valeurs de production dans le domaine de la production de blé, maïs, colza et prairie[33] (OFS 2013, données 2009); l'état actuel a servi de valeur indicative à partir de laquelle ont été déduits les changements effectifs attendus d'ici à 2060. La valeur d'une tonne de culture a été estimée à partir du prix du marché[34] .

[32] La modification de la période de végétation pour l'année 2060 peut être évaluée avec une précision de 24 heures. La période de végétation se modifie selon les scénarios du chapitre 4, Indicateurs climatiques de la durée de la période de végétation en 2060.

[33] Autre source en complément des données OFS : http://www.sbv-usp.ch/de/statistik/

[34] Finazen.ch, prix au 29.9.2014, http://www.indexmundi.com/de/rohstoffpreise/?ware=mais&wahrung=chf, http://www.sbv-usp.ch/de/preise/pflanzenbau/futtermittel/stehendes-gras/

Réserves et hypothèses

Les données utilisées pour l'analyse sont des estimations grossières et ne portent que sur le blé, le maïs, le colza et les prairies. A noter que la productivité des cultures qui sont effectuées sous serre ne devrait pas être affectée par la modification des températures moyennes. Par ailleurs, les auteurs font l'hypothèse simplificatrice d'une relation linéaire entre augmentation de la température et augmentation de la productivité, sans tenir compte des nombreux autres facteurs qui influencent le rendement agricole.

Les sources disponibles permettent d'effectuer les estimations pour le canton de Genève. Pour la partie française du Grand Genève et le district de Nyon, aucune estimation quantitative n'est effectuée. En effet, les données ne sont pas facilement disponibles et il ne semble pas pertinent d'effectuer une analyse détaillée en regardant les résultats pour le canton de Genève : étant donné que pour certaines cultures, on s'attend à une perte de productivité, et à une augmentation pour d'autres, les effets se compensent en partie. Les bénéfices totaux de l'impact sur les cultures de la modification de la température moyenne sont relativement faibles comparés à l'aléa sécheresse générale ou à la viticulture dans le cadre de l'aléa modifications des températures moyennes. Ainsi, aucune estimation n'est effectuée pour le Grand Genève.

Impacts qualitatifs

La hausse de la température moyenne est favorable à la majorité des productions agricoles : meilleure pousse dans les prairies, meilleure production maraichère et arboricole. Elle n'est dans la plupart des cas pas un facteur limitant. Au contraire elle augmente l'amplitude des cultures possibles qui aiment la chaleur telles que les poivrons, aubergines, tomates, etc.. Toutefois, comme présenté dans l'analyse quantifiée, dans le cas du blé et du maïs, on s'attend pour le canton de Genève à une perte de productivité.

Par ailleurs, pour les prairies, comme pour l'ensemble des autres cultures, les changements climatiques induits un décalage temporel dans les stades phénologiques des espèces végétales. Les effets des changements climatiques sur la croissance de l'herbe sont les suivantes (INRA Toulouse) :

- Une avancée de la phénologie des plantes au printemps et un raccourcissement de la période de production.
- Une augmentation de la biomasse disponible au printemps, à récolter en un temps plus court.
- Une croissance des prairies naturelles stoppée en été. D'autres types de prairies sont moins sensibles, notamment celles à base de légumineuses.
- Une repousse d'automne qui peut se révéler importante en zone de montagne.

Il est constaté de plus une modification de la composition botanique des prairies, avec une plus grosse proportion de légumineuses et moins de graminées (INRA Avignon).

De fait, **des conséquences sont à attendre sur la qualité du lait produit dans le Grand Genève**. Au minimum ses qualités organoleptiques seront affectées, d'où des répercussions également sur la qualité du fromage, en particulier pour les AOC de type reblochon. Voir en cela les répercussions des scénarios du changement climatique sur l'agriculture de montagne et le devenir des AOC (GIS Alpes-Jura). La question sera alors de savoir comment évolue l'AOC et si d'une part d'autres races bovines sont plus appropriées à ce type de prairie et si d'autre part les caractéristiques de fabrication du fromage changent.

On constate par ailleurs un décalage temporel entre les insectes pollinisateurs et les floraisons, qui peut également impacter négativement les cultures.

Il est en outre probable que l'augmentation de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère favorise la croissance des plantes. Toutefois, cette possibilité est très controversée, notamment pour les raisons suivantes (Imagine, 2007, DOE/Oak Ridge National Laboratory, 2009, Tubiello, 2007) **:**

- Tout le carbone disponible actuellement dans l'atmosphère n'est pas consommé par les plantes : à ce titre, une augmentation du taux de CO_2 ne mène pas forcément à une consommation accrue des plantes.
- Le carbone n'est pas un facteur limitant pour les plantes, ce n'est pas uniquement ce facteur qui va contribuer à la croissance. A titre d'exemple, l'azote disponible dans le sol est beaucoup plus contraignant.
- On observe une grande variabilité selon les espèces.

Il n'est donc pas possible de savoir si l'augmentation de CO_2 représente une opportunité supplémentaire pour l'agriculture dans les territoires du Grand Genève, ou si cela n'aura pas de conséquences.

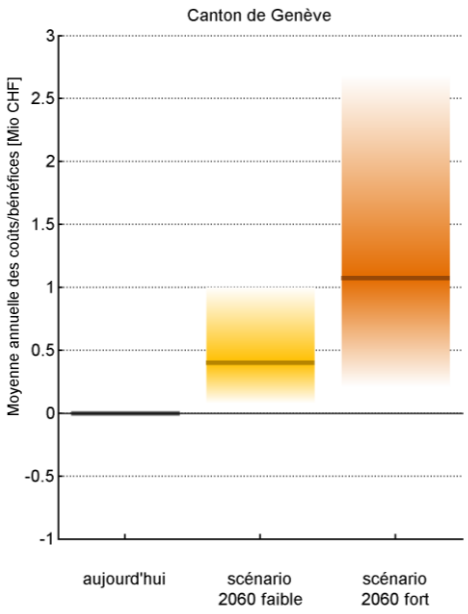
D'après les estimations faites par les auteurs, la somme des effets qualitatifs négatifs est légèrement moins élevée que les effets positifs, le bilan est donc positif. La somme de ces effets positifs devrait être nettement plus faible que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Agriculture. Ainsi, les effets positifs de l'aléa modification de la température moyenne sont qualifiés de nettement plus faibles, avec un facteur d'incertitude élevé.

Impacts quantifiables

Tableau 17: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève) Evènement moyen annuel Mio. CHF		
Aujourd'hui/Scénario	**Coûts/bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui		
Scenario faible	CHF 0.4 millions	3
Scenario fort	CHF 1.1 millions	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par la modification de la température moyenne dans le domaine d'impact de l'agriculture, excepté la viticulture, et les facteurs d'incertitude correspondants

Figure 37: Coûts/bénéfices annuels moyens dus à la modification de la température (Canton Genève, hormis viticulture)



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

g) Viticulture: modification de la température moyenne

Domaines analysés

L'impact sur la viticulture est analysé quantitativement pour le canton de Genève et le district de Nyon, où la vigne représente respectivement 14% (1'346 hectares) et 10% (941 hectares) des surfaces agricoles (Faessler, 2009). Pour le Genevois français, avec aujourd'hui moins de 1% des surfaces cultivées, l'analyse n'est pas effectuée. Cependant, il est possible qu'avec l'augmentation des températures, l'intérêt pour la culture de la vigne augmente sur la partie française du Grand Genève.

Disponibilité des données

La valeur ajoutée brute de la viticulture et de la production de vin en 2013 est de CHF 59 millions dans le canton de Genève (AgriGenève, 2013), soit CHF 44'000 par hectare. En partant de l'hypothèse que la valeur par hectare est identique dans le district de Nyon, on obtient une valeur ajoutée brute pour la viticulture de CHF 42 millions pour le district de Nyon, soit un total de 101 millions pour la partie suisse du Grand Genève.

L'impact des changements climatiques est calculé en regardant quels cépages sont les plus courants actuellement, et quels cépages pourraient être les plus courants en 2060. Les trois cépages actuellement les plus courants dans le canton de Genève sont - dans l'ordre d'importance en fonction de la surface totale dans le canton de Genève - le Gamay, le Chasselas, et le Pinot noir (Changins, 2011). Ils couvrent plus de la moitié des terres viticoles du canton. Le prix de ces cépages a été estimé par des experts dans le tableau ci-dessous:

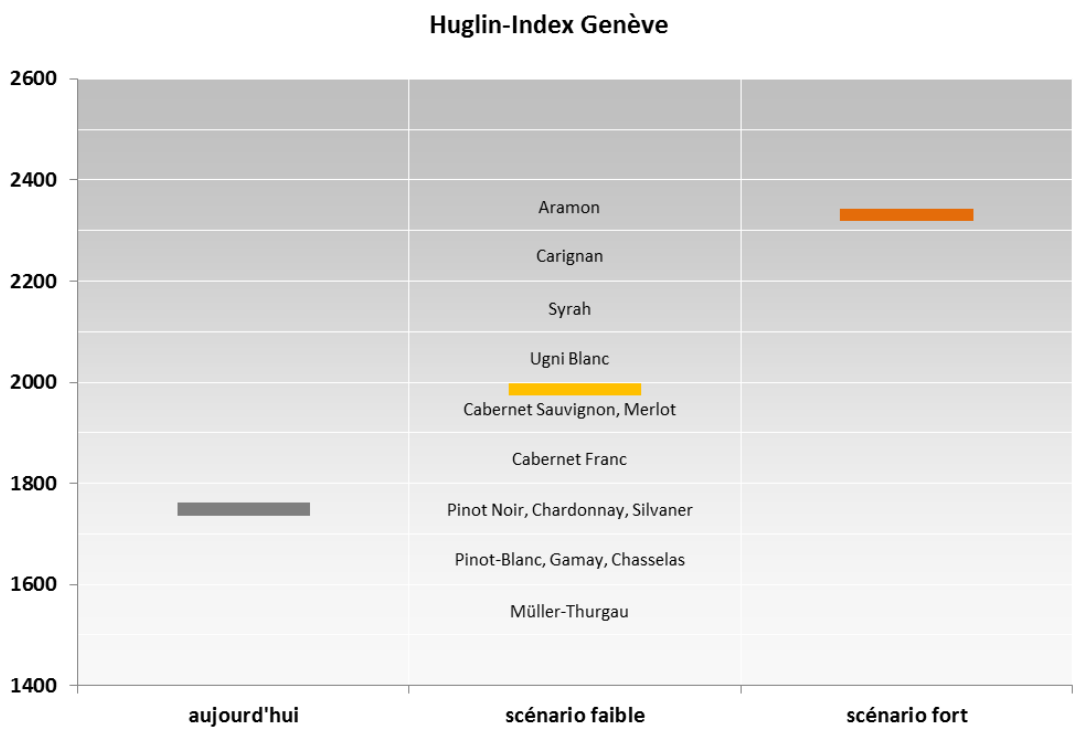
Tableau 18 : Prix moyens de différentes bouteilles de vin selon des cépages actuellement cultivés dans le canton de Genève

Cépage	Prix par bouteille moyenne inférieure (CHF)	Prix par bouteille moyenne supérieure (CHF)	Prix par bouteille moyenne (CHF)
Gamay	11.00	14.00	12.50
Chasselas	9.00	12.00	10.50
Pinot noir	13.00	15.00	14.00
Prix moyen des 3 cépages			12.35

Source : estimation d'experts

L'estimation des coûts ou bénéfices pour 2060 part du principe que les viticulteurs auront planté les cépages les plus adaptés au climat de 2060, c'est-à-dire qu'ils auront arraché les cépages précoces comme le Gamay pour planter plus de cépages de deuxième époque comme le Cabernet Sauvignon. Les cépages qui conviendront le mieux aux conditions climatiques de 2060 sont déterminés à l'aide de l'Index Huglin.

Figure 38: Index Huglin Genève aujourd'hui et en 2060



Index Huglin: Situation aujourd'hui à Genève, représentée par un trait gris (gauche), en 2060 dans le cas d'un scénario faible, représentée par un trait jaune (milieu), en 2060 dans le cas d'un scénario fort, représentée par un trait orange (droite). Les cépages appropriés selon l'index Huglin sont indiqués au milieu (Huglin 1973; Holzkämper 2013). Source: MeteoSuisse (2014).

Cet index héliothermique, développé par Huglin (1978), permet d'évaluer le potentiel en sucre de différents cépages. Couplé aux projections de modifications de la température moyenne, il permet d'estimer le type de cépage adapté aux conditions climatiques de 2060. L'indice, actuellement évalué à environ 1750 pour le canton de Genève, passerait à 2000 avec le scénario faible et plus de 2300 avec le scénario élevé. Avec de tels indices, les cépages adaptés sont le Cabernet Sauvignon et le Merlot (scénario faible), et l'Aramon (scénario élevé).

Le prix des cépages adaptés à des conditions climatiques plus chaudes est basé sur les prix actuels des cépages en question, qui sont pour certains déjà cultivés dans le canton de Genève. Les prix ont été estimés par des experts dans le tableau ci-dessous :

Tableau 19 : Prix moyens actuels de différentes bouteilles de vin selon des cépages peu cultivés dans le canton de Genève actuellement			
Cépage	**Prix par bouteille moyenne inférieure (CHF)**	**Prix par bouteille moyenne supérieure (CHF)**	**Prix par bouteille moyenne (CHF)**
Cabernet Sauvignon	19	24	21.50
Merlot	17	20	18.50
Aramon	Actuellement non existant, pas de valeur disponible		
Prix moyen des deux cépages			20.00

Source : estimations d'experts

Réserves et hypothèses

Aucune estimation n'est effectuée pour le scénario fort étant donné que selon l'index Huglin, le cépage adapté serait l'Aramon, qui n'est actuellement pas planté à Genève et dont la valeur ne peut donc pas être calculée selon la méthode présentée ci-dessus. En l'absence d'estimation pour le scénario fort, la valeur pour le scénario fort est indiquée comme étant identique au scénario faible.

Les valeurs pour le district de Nyon sont estimées en partant du principe que les cépages les plus courants actuellement et en 2060 sont les mêmes que dans le canton de Genève, et que ces cépages sont vendus aux mêmes coûts.

Par ailleurs, les experts estiment que, bien que l'augmentation des températures semble plutôt bénéfique pour la viticulture, notamment du fait qu'une plus large palette de cépages pourra être plantée, une estimation chiffrée des impacts serait plus pertinente en prenant en compte les adaptations du marché. En effet, les cépages qui sont vendus à un prix plus élevé actuellement, comme la Syrah et le Cabernet Sauvignon, sont des vins produits en petites quantités. Ils ne représentent que respectivement 8 et 15 hectares cultivés dans le canton de Genève (Changins, 2011), soit seulement environ 2 % des surfaces viticoles, et encore moins en termes de quantité de vin produit. Si ces cépages deviennent plus courants du fait des changements climatiques, il est probable que le prix de la bouteille diminue. Une étude sur l'évolution des marchés serait ainsi nécessaire pour estimer de manière plus précise l'impact sur les coûts. Comme l'évolution du marché est une adaptation aux changements climatiques, non prise en compte dans cette étude, ces estimations sortent du cadre de la présente analyse. Par ailleurs, un autre élément à prendre en compte dans le cadre d'une étude plus poussée est le fait que les cépages sont en général plantés pour 30 ans. Cet aspect ne reflète donc pas toujours la situation climatique présente.

Impacts quantifiables

Avec un prix moyen par bouteille passant de CHF 12.35 à 20.00, on constate que la valeur de production de la viticulture et de la production de vin augmente de 62% dans le cas du scé-

nario climatique faible, passant pour le canton de Genève de CHF 59 millions actuellement à 96 millions pour 2060 et pour la partie suisse du Grand Genève de CHF 101 millions actuellement à 163 millions pour 2060, soit une augmentation respectivement de CHF 36.6 millions et de CHF 62 millions. Les incertitudes sont élevées.

Les rendements actuels de la viticulture dépendent de nombreux facteurs. La température n'est qu'un paramètre parmi d'autres. Le calcul des scénarios à 2060 ne prend donc en compte que la différence entre la situation d'aujourd'hui et le changement prévu à 2060.

Tableau 20: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui/Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui		
Scenario faible	CHF 36.6 millions	3
Scenario fort	CHF 36.6 millions	3

Coûts et bénéfices en 2060 causés par la modification de la température moyenne dans le domaine d'impact de l'agriculture, sous-chapitre viticulture, et les facteurs d'incertitude correspondants.

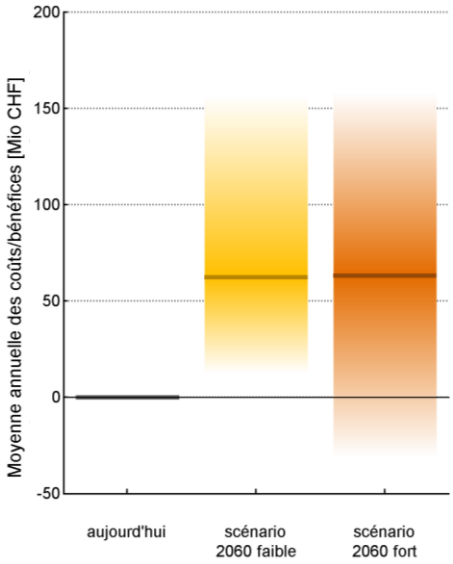
Tableau 21: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève)[35]
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui/Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui		
Scenario faible	CHF 62 millions	3
Scenario fort	CHF 62 millions	3

Coûts et bénéfices en 2060 causés par la modification de la température moyenne dans le domaine d'impact de l'agriculture, sous-chapitre viticulture, et les facteurs d'incertitude correspondants.

[35] Ces données ne prennent en compte que le Canton de Genève et le district de Nyon

Figure 39: Coûts/bénéfices annuels moyens dus à la modification de la température sur la viticulture (Canton Genève et Nyon)



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues

5.3.2. Synthèse du domaine d'impact Agriculture

Coûts et bénéfices aujourd'hui et en 2060 pour tous les aléas et effets pertinents

- **Opportunités**

L'élévation de la température moyenne est favorable à la majorité des productions agricoles. Toutefois, dans le cas du blé et du maïs, on s'attend pour le canton de Genève à une perte de productivité. Le bilan des **impacts quantitatifs liés à la modification de la température moyenne présente un léger bénéfice**, estimé entre CHF 0.4 million (scénario faible) et CHF 1.1 million (scénario fort) pour le canton de Genève. En l'absence de données pour le Genevois français et le District de Nyon, et étant donné que les bénéfices de l'impact de la modification de la température moyenne sont relativement faibles, aucune estimation n'est effectuée pour le Grand Genève.

Les principaux gains potentiels chiffrés concernent la viticulture. **Les bénéfices potentiels dans le canton de Genève et le district de Nyon** sont dus à l'élévation des températures moyennes et représentent un **gain de CHF 62 millions**, un bénéfice bien plus élevé que les coûts potentiels liés à la grêle sur la viticulture. Toutefois, même si les experts estiment que l'augmentation des températures semble plutôt bénéfique pour la viticulture (notamment grâce à la culture éventuelle de cépages produisant des vins à des prix plus élevés), une estimation chiffrée des impacts serait plus pertinente en prenant en compte les adaptations du marché (par ailleurs difficilement prévisibles à l'horizon 2060).

La **réduction des vagues de froid** peut également avoir un impact positif sur l'agriculture du Grand Genève, en permettant la **culture de nouvelles espèces grâce aux températures plus clémentes**. Plusieurs types de cultures pluriannuelles telles que la **viticulture et l'arboriculture** auront en revanche plus de **difficultés à s'adapter.** La politique d'adaptation viticole passera par la plantation de variétés ou d'espèces supportant mieux les périodes chaudes. Quant aux variétés arboricoles, elles s'orienteront vers des productions localisées actuellement plus au sud (bassin méditerranéen).

- **Risques**

Concernant les impacts quantitatifs liés à la sécheresse, une estimation a été effectuée sur la base de la connaissance des événements historiques de sécheresse et des impacts sur l'ensemble des cultures. Les coûts s'élèvent à CHF 11 millions (scénario faible) et CHF 16 millions (scénario fort) pour un évènement annuel pour le canton de Genève, et à CHF 62 millions (scénario faible) et CHF 94 millions (scénario fort) pour le Grand Genève. Ils s'élèvent à CHF 51 millions (scénario faible) et CHF 111 millions (scénario fort) pour un évènement centenaire pour le canton de Genève, et à CHF 297 millions (scénario faible) et CHF 644 millions (scénario fort) pour le Grand Genève.

Concernant les impacts qualitatifs liés à la sécheresse, peu d'espèces cultivées et non irriguées actuellement dans le Grand Genève supporteront des sécheresses à répétition ou des

périodes de stress hydrique longues. Un risque potentiel est à signaler pour certaine Appellation d'Origine Contrôlé (AOC). Des variétés plus résistantes à la sécheresse devraient être cultivées.

Les autres impacts qualitatifs sont les suivants :

- **La grêle** engendrerait des coûts à priori faibles dans le canton de Genève et principalement liés à la viticulture, secteur agricole où les opportunités semblent plus importantes.
- **Les fortes précipitations** dues aux orages peuvent engendrer des glissements de terrain dans les zones de pentes du Grand Genève et des risques d'érosion des sols.
- **Les vagues de chaleur** pourraient causer un stress thermique et hydrique et ainsi porter atteinte au bien-être des animaux et, ainsi, à la productivité de l'élevage. Cet aléa aurait principalement un impact pour le Genevois français, l'élevage est très important.
- **La hausse de la température moyenne, ainsi que la sécheresse générale,** peuvent impacter les cortèges floristiques des prairies du Grand Genève, modifiant la qualité de production de la prairie et donc de la viande et du lait, et par conséquent du fromage. De plus, il est vraisemblable que des compléments fourragers d'été seront à prévoir si l'on continue à élever les mêmes variétés de cheptel.
- **La réduction des vagues de froid** et des hivers trop doux peuvent être la cause d'une mauvaise production de certaines espèces qui ont besoin d'une longue période de froid pour déclencher la phase de reproduction, et le manque de rigueur de l'hiver peut être favorable au développement d'animaux nuisibles aux récoltes. Les printemps doux et pluvieux favorisent différentes pathologies dans les cultures, notamment pour la vigne. Dans le Grand Genève, l'agriculture de plein champ (céréales) serait particulièrement touchée, ainsi que l'arboriculture. Le maraîchage sous serre serait préservé.

- **Bilan total**

En termes de bilan quantitatif, on constate plus de coûts que de bénéfices, avec cependant un degré d'incertitude très élevé. Les coûts sont principalement liés à l'impact de la sécheresse sur les grandes cultures. Les bénéfices sont principalement liés à l'augmentation de la température moyenne dans la viticulture, où les incertitudes sont toutefois élevées.

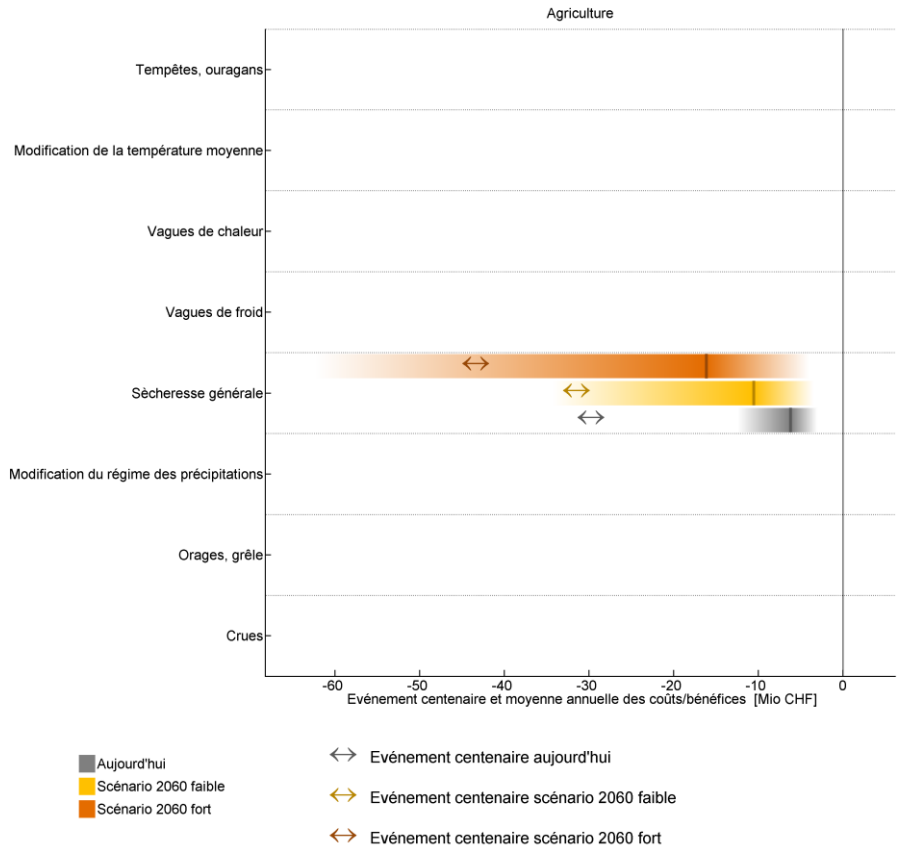
Pour la vigne, le bilan semble positif grâce à la plus grande liberté dans le choix des cépages. Toutefois, le stress hydrique impactant la qualité de la vigne, des pathologies liées aux printemps doux et pluvieux et la faible capacité d'adaptation de la viticulture pourraient atténuer ces bénéfices.

Dans le domaine de l'élevage, les événements de sécheresse et de vagues de chaleurs causeront des défis importants en termes d'approvisionnement en fourrage et de productivité laitière du cheptel.

Concernant l'augmentation de CO_2, il n'est pas possible de savoir si elle représente une opportunité supplémentaire pour l'agriculture dans les territoires du Grand Genève, ou si cela n'aura pas de conséquences.

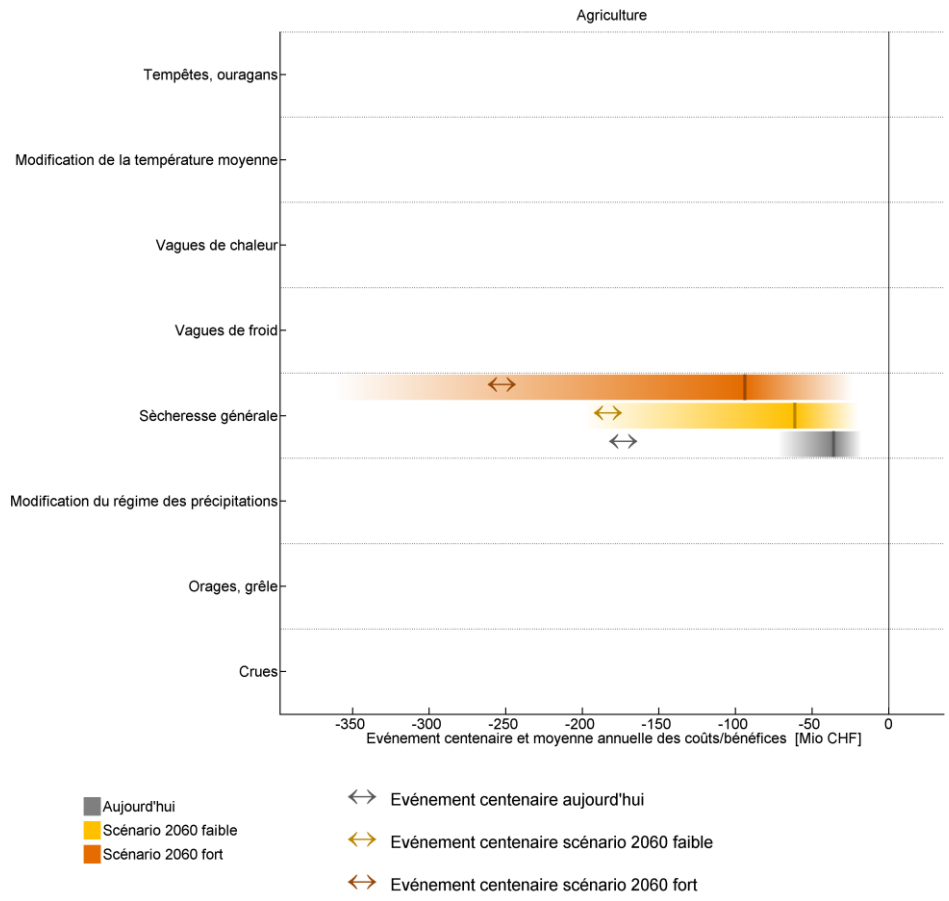
Malgré les incertitudes, les principaux effets du changement climatique sur l'agriculture peuvent déjà être pris en compte pour adapter les systèmes agricoles et **engager des mesures d'adaptation** : choix de précocité variétale, affectation des sols, systèmes de cultures économes en eau (cultures résistantes à la sécheresse, recours aux rotations…), etc.

Figure 40: Coûts et bénéfices moyens annuels dans le domaine d'agriculture (canton de Genève)



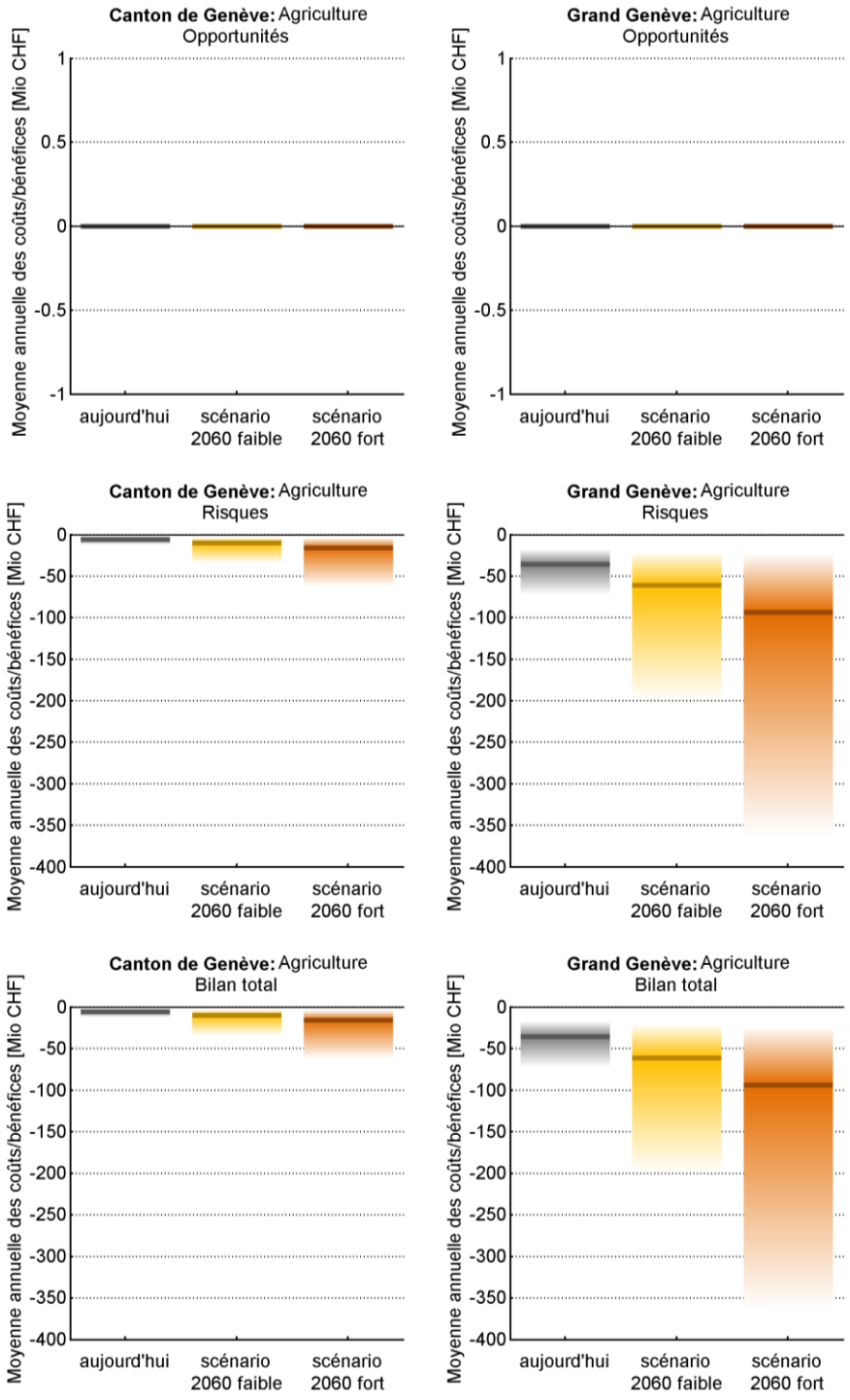
Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

Figure 41: Coûts et bénéfices moyens annuels dans le domaine d'agriculture (Grand Genève)



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

Figure 42: Bilan total dans le domaine d'impact Agriculture



5.3.3. Scénarios socio-économiques pour le domaine d'impact Agriculture en 2060

Les considérations ci-dessus partent de l'hypothèse selon laquelle le secteur agricole n'adapte pas sa structure à l'évolution du marché et des régulations politiques. En réalité, les effets qui en découlent seront plus importants pour les petites exploitations que les modifications induites par les changements climatiques en eux-mêmes.

Dans l'ensemble, la pression sur les surfaces agricoles dues aux constructions devrait continuer de s'accroître, ce qui peut entraîner une diminution de ces surfaces et, par conséquent, de la production.

Une déréglementation des marchés au plan international et une suppression des droits de douane pourraient fortement influencer le nombre d'exploitations agricoles en Suisse et dans le canton de Genève, ce qui pourrait avoir des conséquences importantes sur les chiffres de production.

Dans l'ensemble, les changements structurels opérés dans le secteur agricole pourraient entraîner des modifications en termes de coûts et de bénéfices supérieures à celles induites par les changements climatiques.

Références du chapitre 5.3

AgriGenève, 2013 : Comptes de production de l'agriculture genevoise 2008-2013: Comptes régionaux de l'agriculture, Office fédéral de la statistique, Neuchâtel 2013. Relevés des structures agricoles, Office fédéral de la statistique, Neuchâtel 2007-2012. Ratios selon propres calculs, AgriGenève, Meyrin 2013

CIRAD : La recherche agronomique par le développement, Montpellier, site http://locust.cirad.fr/

Chambre d'Agriculture de Rhône-Alpes, 2008 : Chambre d'Agriculture de Rhône-Alpes « la production agricole rhônalpine : panorama des productions alimentaires », juin 2008.

Changins, 2011 : Analyse de l'encépagement du vignoble genevois en fonction du climat et de la pédologie, Section 3, Ecole de Changins, 2011. Disponible sous : http://ge.ch/agriculture/viticulture-et-oenologie/etude-des-terroirs-viticoles-de-geneve

CH2011, 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88p.

CRFG, 2007 : L'agriculture dans l'aménagement du territoire franco-valdo-genevois. Synthèse du diagnostic de l'espace agricole transfrontalier, réalisé sous l'égide du CRFG. Février 2007.

Département de l'Ain, 2013 : Plan Climat Energie Territorial du Département de L'Ain, septembre 2013, Département de l'Ain

DOE/Oak Ridge National Laboratory, 2009 : Nitrogen Cycle: Key Ingredient In Climate Model Refines Global Predictions, in http://www.sciencedaily.com/releases/2009/10/091009204032.htm , DOE/Oak Ridge National Laboratory, 2009.

DRAAF, 2012 : Direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt, « diagnostic – Plan régional de l'agriculture durable en Rhône-Alpes », mars 2012

DREAL Rhône-Alpes, 2010 : Engagement du volet adaptation au changement climatique du SRCAE. Etat de la connaissance en Rhône-Alpes. 7 décembre 2010. DREAL RHONE-ALPES - CONSEIL REGIONAL RHONE-ALPES

Evaluation environnementale stratégique du projet d'agglomération franco-valdo-genevois deuxième génération 2012

Faessler, 2009 : Métabolisme agricole franco-valdo-genevois, Etat des lieux et synthèse. Réalisé pour la Direction de l'Agriculture du Département du Territoire de la République et Canton de Genève. Carouge, le 26 juin 2009. Jérôme Faessler, David Gallay, Bernard Lachal.

FAO, 2007 : FAO (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), Salle de Presse, 2007, « la diffusion de la fièvre catarrhale ovine confirme la progression des maladies animales », site http://www.fao.org/Newsroom/fr/news/2007/1000675/index.html

Fuhrer, J. und Jasper, K. 2009: Bewässerungsbedürftigkeit von Acker und Grasland im heutigen Klima. Agrarforschung 16, 396-401.

Fuhrer J. 2010: Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft. Abschlussbericht vom 08. März 2010. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) und die Kantone BE, LU, FR, AG, VD, VS, GE und ZH vertreten durch Dr. Fritz Zollinger, Amt für Landwirtschaft, Zürich.

Fuhrer, J. 2013: Spezifische Abschätzung der potenziell bewässerten Fläche des Kantons Uri sowie Ertragssteigerung von Wiesen bis 2060. Email von J. Fuhrer Agroscope an Mario Betschart INFRAS, 03.06.2013

GIS Alpes-Jura : GIS Alpes-Jura, Claire Sérès, Courrier de l'environnement de l'INRA n° 59, « L'agriculture de montagne face au changement climatique : exposition des territoires et marges de manœuvre des exploitations laitières », octobre 2010

Huglin, 1978: Nouveau mode d'évaluation des possibilités d'héliothermique d'un milieu viticole C.R. Académie d'Agriculture (Acad. Agric.).

Holzkämper, 2013: Temperaturtrends und Rebbau in der Schweiz Annelie Holzkämper und Jürg Fuhrer, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Christoph Frei, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz.

Imagine, 2007 : Impacts du changement climatique sur la biodiversité et le cycle du carbone en prairie (IMAGINE), Equipe Fonctionnement et Gestion de l'Ecosystème Prairial, Unité d'Agronomie. INRA, Clermont-Ferrand.

INRA Avignon : ANR, « Livre vert du projet CLIMATOR : changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces », 2007-2010

INRA Montpellier : laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environnementaux (LEPSE), laboratoire de modélisation des plantes (AMAP), « La résistance des plantes à la sécheresse », février-mars 2000.

INRA Toulouse, 2010 : Orphée – UMR AGIR, « Conception de systèmes d'élevage adaptés au changement climatique, Application aux systèmes bovin lait et bovin allaitant des Pyrénées centrales en 2050 »

Keller, F. und Fuhrer, J. 2004: Die Landwirtschaft und der Hitzesommer 2003. Agrarforschung 11, 403-410.

MeteoFrance: Simulateur, site http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/changement-climatique/simulateur-climatique-decouvrir-le-climat-de-demain-en-france

MeteoSuisse 2014: non publié, données transmises pour Bâle et Genève par mail de Elias Zubler (MeteoSuisse) à Mario Betschart (INFRAS), 2014.

Mission d'animation des agrobiosciences : Midi-Pyrénées, 2005, site : http://www.agrobiosciences.org/ article.php3?id_article=1457

OCSTAT, 2010: Estimation du PIB du canton de Genève, Office cantonal de la statistique (OCSTAT) Genève, 2010.

OFS, 2012 : Agriculture suisse, Statistique de poche 2012, Office fédéral de la statistique

OFS, 2013: Bundesamt für Statistik, System der Gesamtrechnung und Satellitenkonten des Primärsektors, Regionale landwirtschaftliche Gesamtrechnung (R-LGR). Bundesamt für Statistik, Neuchâtel. [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/02/blank/data/01/03.html]

ONERC : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie – Observatoire sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC), site http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Indicateurs-du-changement,2907-.html

SCNAT, 2005: Hitzesommer 2003 – Synthesebericht. SCNAT, ProClim – Forum for Climate and Global Change, Platform oft he Siwss Academy of Sciences, Bern.

Suisse Grêle, 2013 : Communiqué de presse du 16 juillet 2013, Bilan intermédiaire de la tempête de grêle du 20 juin 2013. Site : http://hagel.ch/fr/medien/communications/communications/news/2013/07/16/bilan-intermediaire-de-la-tempete-de-grele-du-20-juin-2013/

Tubiello, 2007 : Crop and pasture response to climate change, coll., Tubiello (Goddard Institute for Space Studies, Columbia University, USA), Soussana (INRA Clermont-Ferrand), Howden (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization Sustainable Ecosystems, Australia), 2007.

5.4. Domaine d'impact Forêts

Situation actuelle et lien avec les changements climatiques

Les changements climatiques ont une incidence directe sur la forêt. L'augmentation de la durée des vagues de chaleur et l'allongement des périodes de sécheresse contribuent à l'affaiblissement des arbres et aux attaques de ravageurs et parasites, provoquant une augmentation du risque de dépérissement. Les répercussions sur les écosystèmes forestiers donc sont importantes.

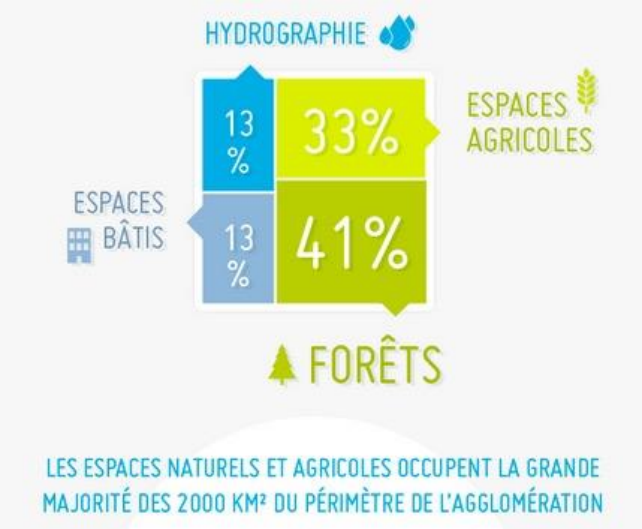
Certains impacts liés aux changements climatiques ont cependant des effets positifs sur les forêts. L'augmentation de la température moyenne provoquera un allongement de la période de végétation, avec à la clé une augmentation de la capacité de séquestration du carbone des forêts du territoire. Par exemple, **dans le Genevois français, l'accroissement naturel de la forêt permet chaque année de stocker près de 692'000 tonnes de carbone supplémentaires**, ce qui correspond à près de 1% de l'engagement annuel de réduction des émissions de GES de la France (CDDRA CDDRA, 2011).

En plus de sa fonction de production de bois, l'espace forestier du Grand Genève remplit de multiples fonctions complémentaires. Il protège contre les dangers naturels, préserve la biodiversité, stocke du carbone (et atténue ainsi les changements climatiques), accueille les personnes en quête de détente et contribue à la qualité de l'air ainsi qu'au filtrage de l'eau. Les forêts remplissent ainsi des fonctions protectrices, sociales et économiques, fonctions sont reconnues par les lois suisses et françaises sur la forêt.

Surface forestière

En France comme en Suisse, environ 30% de la surface du pays sont recouverts de forêts. La moyenne est plus élevée dans le Grand Genève, qui compte 41% de surface de forêt, avec une forte disparité entre les régions du territoire : le taux de couverture est de 47 % sur le Genevois de l'Ain et de 12 % sur le canton de Genève (CRFG, 2007).

Figure 43: Occupation du sol dans l'agglomération (www.grand-geneve.org)

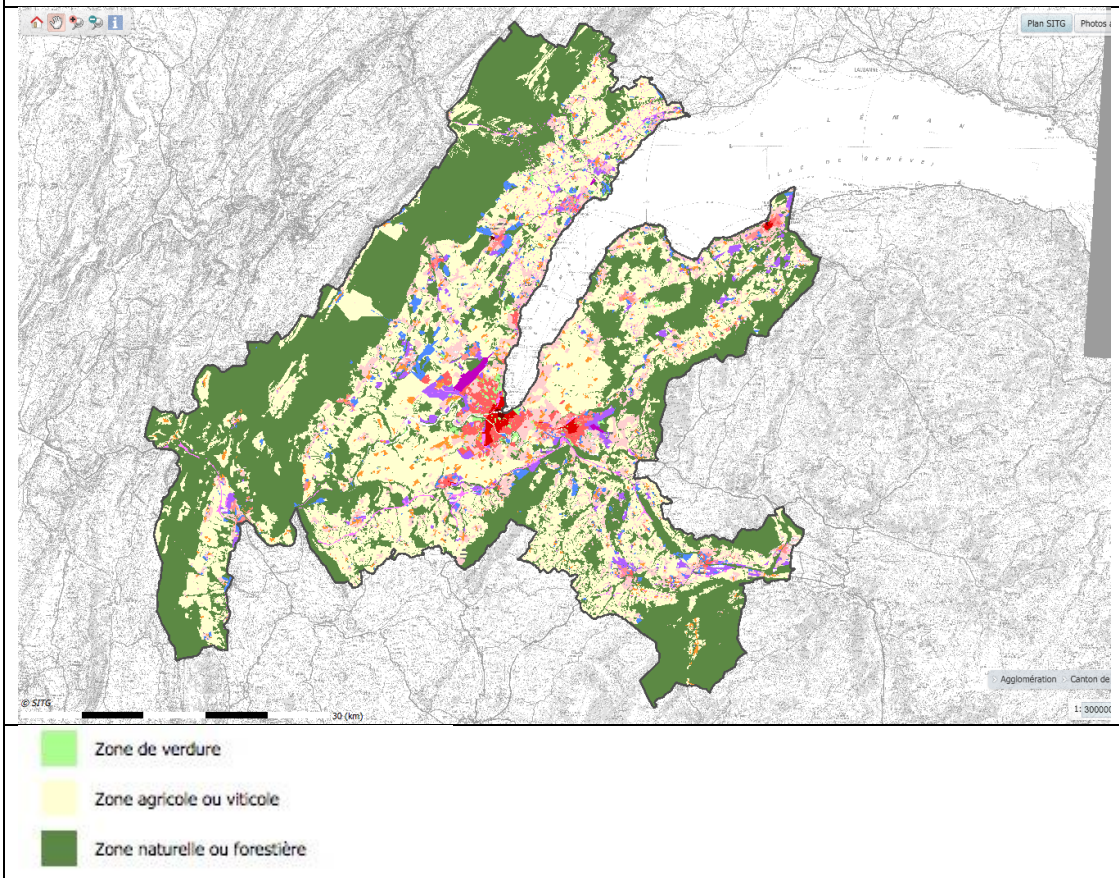


Occupation du sol dans l'agglomération (Source : www.grand-geneve.org)

La superficie forestière particulièrement faible du canton de Genève (environ 3'000 ha) s'explique historiquement par un faible intérêt économique du bois suite à une surexploitation sous le régime du taillis (coupe rase avec rotations courtes) entre le 17ème et la première moitié du 20ème siècle. La majorité de la forêt genevoise est donc constituée de rejets issus d'anciennes souches épuisées par une exploitation intensive[36].

[36] http://ge.ch/nature/information-nature/foret/la-foret-genevoise

Figure 44: Espace forestier et naturel du Grand Genève



Espace forestier et naturel du Grand Genève (source : ge.ch/carte [37])

Propriétaires forestiers

Le canton de Genève est propriétaire de 50 % des forêts sur son territoire tandis que le reste appartient à des propriétaires privés ou communaux. Par manque d'intérêts économiques, les forêts privées ne sont plus exploitées depuis le milieu du 20ème siècle. La redynamisation de ces parcelles est soutenue par des dispositions financières prévues par la loi cantonale.

Dans la région Rhône-Alpes, 75% des forêts sont privées et gérées par 460'000 propriétaires. 25% des forêts sont publiques[38]. Dans le **Genevois français, la forêt privée représente 67% des surfaces forestière**s totales, la forêt publique 34% (CDDRA, 2011).

Composition des essences

L'essence principale des forêts du canton de Genève est le chêne, à raison de 51% en nombre de tiges et de volume à l'unité de surface (Inventaire GE, 2009). Du fait de sa tendance plus chaude et sèche par rapport au reste du plateau suisse, le climat genevois favorise les

[37] http://ge.ch/carte/pro/
[38] http://www.onf.fr/rhone-alpes/sommaire/onf/chiffres-cles/@@index.html

chênes, et plus particulièrement le chêne pédonculé (Quercus robur) et le chêne sessile (Quercus petraea). Parmi les autres essences prédominantes, on trouve le charme (12%) ou encore le frêne (8%) (Inventaire GE, 2009).

Dans les forêts du Genevois français, les essences prédominantes sont l'épicéa, le sapin pectiné et le hêtre dans les régions montagneuses et également le chêne dans les secteurs de plaine.

Economie forestière aujourd'hui

La **Grand Genève** possède un **stock de bois** estimé à environ **11'860'000 tonnes**.

Dans le canton de Genève et le district de Nyon, la gestion sylvicole produit principalement du bois énergie (près de 95%), dont la valorisation participe à la mise en œuvre des politiques publiques en matière d'énergie renouvelable. Les collectivités assurent l'approvisionnement d'installations de chauffage au bois d'équipements publics et peut également vendre du bois de chauffage aux particuliers[39].

Dans le **canton de Genève, entre 6'000 et 8'000 m^3 sont récoltés annuellement**, dont 95% sont valorisés sous la forme de bois énergie. Théoriquement, la production annuelle des forêts genevoises pourrait atteindre 15'000 m^3 de bois énergie, ce qui permettrait de chauffer une quarantaine d'écoles communales (DIAE 2000).

Pour une gestion durable des forêts, un entretien sur le long terme est attendu. Dans cette perspective, le Plan Directeur Forestier de Genève (DIAE 2000) stipule que :

- La récolte de bois soit adaptée aux besoins d'entretien sylvicole et de rajeunissement et qu'elle tienne compte de l'accroissement de l'ensemble des arbres.
- La surface de jeunes peuplements doit permettre le rajeunissement adapté de la forêt dans son ensemble.
- La pression extérieure que subit la forêt soit maintenue à un niveau tolérable.

Les coûts d'exploitation et les prix de revente suivants sont avancés par l'Etat de Genève :

- Les coûts moyens d'exploitation annuelle du bois sur le canton de Genève sont de 85 CHF/m^3. Ces Coûts comprennent le bûcheronnage et le débardage à port camion, soit jusqu'au bord d'un chemin forestier accessible aux poids lourds.
- Le prix moyen du bois de service, bois rond à port camion est de 90 CHF/m^3.
- Le prix moyen du bois énergie, bois rond à port camion est de 50 CHF/m^3 dans le canton de Genève et de CHF/m^3 dans le canton de Vaud.

[39] http://ge.ch/nature/information-nature/foret/la-foret-genevoise/foret-cantonale

En Suisse, la gestion des forêts est donc actuellement déficitaire, ce qui représente un des enjeux majeurs à l'avenir.

Dans le **Genevois français, on estime à 27'262 m^3 la quantité de bois commercialisé chaque année**. Ce volume est calculé en rapportant la quantité totale de bois commercialisé dans la région Rhône-Alpes au 3.2% de la surface que représente le Genevois français[40].
La région Rhône-Alpes est la première région productrice de bois en France. Elle fournit principalement du bois d'oeuvre pour la construction. Rien qu'en Haute-Savoie, la filière bois dégage un chiffre d'affaire de l'ordre de 760 million d'Euros par an (CG-HS 2005). Toutefois, l'économie forestière fait face à d'importants défis : concurrence du bois importé, pénurie de main d'œuvre, handicaps structurels lié au morcellement foncier et aux difficultés d'accès.
On estime le prix de revient du mètre cube de bois en Rhône-Alpes à 44.50 €[41] (2014).
On peut considérer un coût d'exploitation moyen de 20 €/m^3, en excluant l'exploitation par câble qui peut concerner les zones de montagne, mais qui reste un cas particulier[42].
L'exploitation forestière est donc une fonction importante de la forêt dans les territoires français du Grand Genève.

5.4.1. Analyse des aléas et effets en 2060

Les changements climatiques auront une influence directe sur les différentes fonctions forestières, avec une influence sur l'économie forestière et des risques d'augmentations des coûts d'entretien des écosystèmes forestiers. Evidemment, la forêt ne disparaitra pas d'ici à 2060, mais les coûts de préservation de ses prestations seront déterminants.

Les aléas et effets qui sont analysés de manière qualitative sont les modifications du régime des précipitations, la sécheresse générale, les vagues de chaleur et la modification de la température moyenne. Bien que jugés importants, les incendies et les tempêtes /ouragans sont également analysés de manière qualitative et non quantitative.

[40] http://www.onf.fr/rhone-alpes/sommaire/onf/chiffres-cles/@@index.html
[41] http://www.onf.fr/rhone-alpes/sommaire/onf/chiffres-cles/@@index.html (données économiques)
[42] Communication de M. Claude Gemignani, Direction Départementale des Territoires, Préfecture de Haute-Savoie

Tableau 22 : Aperçu des impacts des changements climatiques dans le domaine des forêts	
Aléas/effet:	**Impacts analysés qualitativement**
Modification du régime de précipitations	• Dépassement de la capacité de rétention, crues plus fréquentes et plus fortes et glissements de terrain
Sécheresse générale	• Limite de la croissance des arbres • Attaque plus fréquente de ravageurs et de parasites • Diminution de la fonction protectrice des forêts • Risque de dépérissement, impact sur paysage et perte économique
Vague de chaleur	• Affaiblissement des arbres • Dépérissement
Incendie	• Libération massive du carbone stocké dans la biomasse • Diminution de la fonction de protection des forêts • Mise à nue des sols • Perte de biodiversité • Perte économique
Modification de la température moyenne	• Remontée altitudinale des boisements • Allongement de la période de végétation • Modification des compositions floristiques et peuplements forestiers
Tempêtes / ouragans	• Rajeunissement • Augmentation des attaques de ravageurs • Augmentation du bois mort au sol et sur pied • Diminution de la fonction de protection des forêts • Pertes économiques et coûts de reconstitution

a) Forêts: modification du régime de précipitations

Domaines pris en compte et disponibilité des données

Les changements climatiques attendus entraîneront pour 2060 une légère augmentation des précipitations en 2060 avec le scénario fort (+5%) et une légère baisse avec le scénario faible (-5%) avec des variations saisonnières importantes. La température moyenne annuelle augmenterait de + 1.4°C (scénario faible) à + 3.1° C (scénario fort) (cf. chapitre 4.1.2)

Impacts qualitatifs

Une augmentation des précipitations extrêmes peut entrainer une saturation des sols et provoquer une augmentation du ruissellement. Accompagnée par une augmentation des fréquences et de l'intensité des crues, le risque d'inondation et d'érosion des berges devient alors croissant. De telles précipitations peuvent alors avoir pour conséquences de **diminuer la fonction protectrice[43] des forêts, impliquant alors pour le canton de Genève et le Grand Genève des conséquences pour la protection des personnes et des biens**. Ces impacts peuvent être caractérisés de non négligeables le long des cours d'eau en milieu urbain, au niveau des berges boisées, à l'instar des crues du Borne en 1987 ou de Lully en 2002. En hiver, les fortes précipitations et les conditions géologiques du plateau peuvent provoquer le dépassement des capa-

[43] http://www.bafu.admin.ch/klimaanpassung/11529/11624/11634/index.html?lang=fr

cités de rétention des sols avec des conséquences sur la sécurité des personnes et des biens. En présence d'un sol saturé, les écoulement superficiels augmentent avec les précipitations.

b) Forêts: sécheresse générale

Domaines pris en compte et disponibilité des données

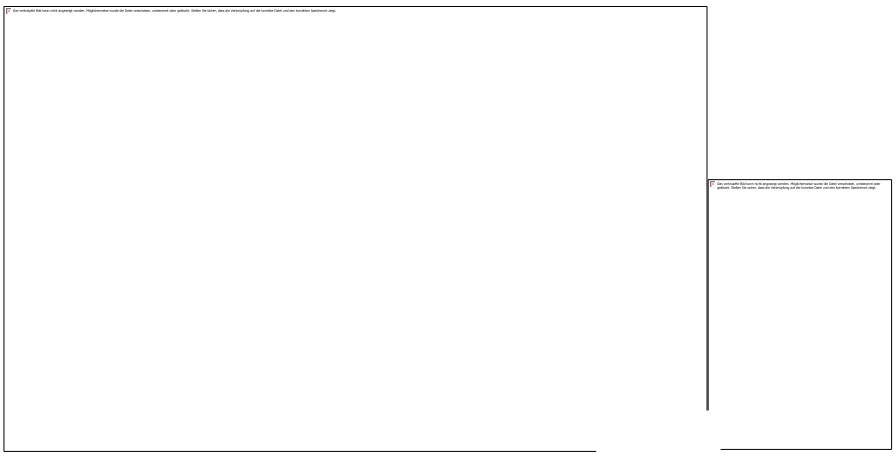
Les événements de sécheresse seront traités de manière qualitative seulement en raison du manque de données chiffrées.

Un épisode de sécheresse générale influence la croissance des arbres, génère des attaques plus fréquentes de ravageurs et de parasites, et diminue les fonctions protectrice et productrice des forêts.

Impacts qualitatifs

Les périodes de sécheresse et de canicule peuvent limiter la croissance des arbres et leur infliger des dommages potentiellement fatals. Cette diminution temporaire de l'accroissement des arbres a pu être mesurée pour les régions de basse altitude (< 1200 m). Ceci est notamment expliqué par le manque d'eau (OFEV 2013).

Figure 45: Eau disponible pour les plantes



L'eau disponible pour les plantes (premiers 90 jours de la période de végétation) décroit depuis les années 1980.
Légende : 100% : Les arbres peuvent couvrir leur besoins en eau complètement. Le seuil critique est à 80%.
Source : Meteotest

L'épisode de canicule et de sécheresse de l'été 2003 a mené à la plus grande attaque de bostryches (ou scolyte typographe), un coléoptère ravageur qui avait commencé à se développer suite à l'ouragan Lothar en décembre 1999 et le printemps chaud de l'année 2000. Le bostryche attaque et tue exclusivement l'épicéa. Les forêts d'épicéas, les pessières, sont présentes principalement dans le Genevois haut-savoyard. Actuellement, 50% du volume d'épicéa et 9% du volume de sapin sont en situation de risque sanitaire fort, ou les arbres sont affaiblis et

subissent des attaques d'insectes. Des estimations montrent qu'une augmentation de 0.6°C pourrait augmenter le risque d'attaques de 27% et une perte de plusieurs centaines de milliers de mètres cubes de bois (AIN, 2013). Or, la température moyenne annuelle en 2060 augmenterait de + 1.4°C (scénario faible) à + 3.1° C (scénario fort) (cf. Figure 11).

Entre 1995 et 2005, près de 4,4 millions de m^3 d'épicéa ont été détruits par des tempêtes sur le Plateau et dans les Préalpes et 3,7 millions de m^3 d'épicéa ont été atteints par le bostryche (OFEV, 2011). En affaiblissant les arbres, les attaques de bostryches diminuent la productivité des forêts mais elles contribuent également à réduire la fonction protectrice des forêts.

Toutefois, la hausse des températures est mieux supportée par des espèces plus robustes (telles que le chêne), qui résistent à des conditions plus chaudes et sèches. Cette adaptation des feuillus sur le plateau accroitra la tendance au recul des forêts de résineux (OFEV, 2013) et favorisera les écotypes et les espèces mieux adaptées.

Une étude de l'INRA allant dans le même sens préconise le mélange des essences et les plantations de feuillus en général pour une meilleure résilience des forêts[44].

Dans les territoires du Grand Genève, les épisodes de sécheresse auront pour principales conséquences la multiplication des attaques de ravageurs et participent alors à la diminution des fonctions productrice et protectrice des forêts, avec des pertes économiques certaines à la clé (qui n'ont cependant pas pu être chiffrées par manque de données sur les effets de la sécheresse).

c) Forêts: vagues de chaleur

Domaines pris en compte et disponibilité des données

Les vagues de chaleur peuvent contribuer à provoquer des incendies de forêt. Cet aléa est présenté plus bas. Les impacts liés à la prolifération des ravageurs sont présentés avec l'aléa « sécheresse générale ».

Impacts qualitatifs

La dernière grande vague de chaleur qui a touché le Grand Genève est celle de l'été 2003 (SCNAT, 2005). Suite à cette canicule, les plantes ont connu un développement très précoce par rapport à une année moyenne. Suite à la canicule de 2003 notamment, les feuillus ont bruni et ont perdu leurs feuilles prématurément (WSL, 2004). Si les forêts venaient à faire face à plusieurs étés de ce type, cela pourrait provoquer à long terme une **modification des aires de répartition végétales et changer la composition des écosystèmes dans le Grand Genève.**

[44] http://www.actu-environnement.com/ae/news/foret-changement-climatique-plan-national-adaptation-13155.php4

Les vagues de chaleur ont par ailleurs pour effet direct d'affaiblir les arbres. Si elles sont combinées à un stress hydrique, les effets des ravageurs et des parasites sur les peuplements sont plus importants.

d) Forêts: incendie de forêt

Domaines pris en compte et disponibilité des données

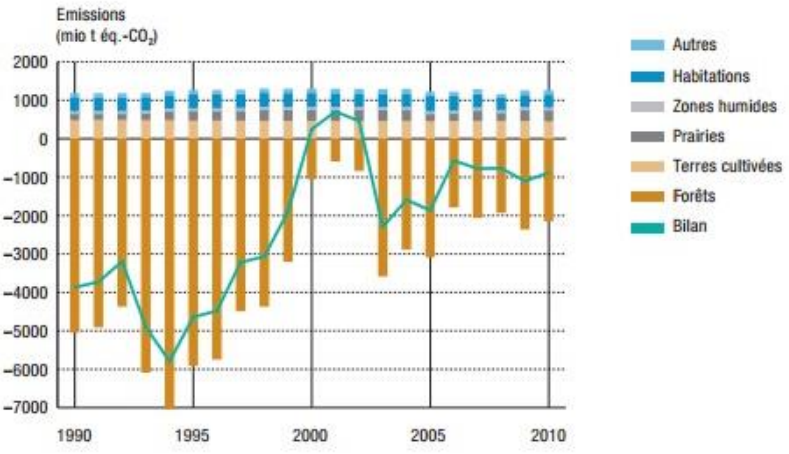
L'augmentation des températures et la diminution des précipitations en été fait craindre l'apparition plus régulière d'incendie de forêt.

Puisqu'il est difficile de savoir précisément quelles quantités de dioxyde de carbone seront potentiellement relâchées par les incendies résultants du réchauffement climatique, l'analyse des impacts des incendies est uniquement qualitative.

Impacts qualitatifs

Les forêts jouent un rôle de puits de carbone et conserveront ce rôle aussi longtemps que leurs surfaces et leurs volumes sur pied augmenteront. En Suisse, la tendance actuelle est à l'augmentation de la surface et du volume sur pied des forêts (en montagne surtout). A dire d'expert, cette tendance ne devrait pas durer en raison d'une augmentation de l'exploitation[45]. La Figure 44 ci-dessous (OFEV 2013) montre les sources et puits de carbone de différents usages du sol et montre en particulier le fort pouvoir d'assimilation des forêts.

Figure 46: Variations des stocks de carbone en fonction des types d'usage du sol



Changements annuels dans les Stocks de Carbone à travers l'utilisation et les changements d'affectation des terres pour six catégories de sols entre 1990 et 2010. Une valeur négative signifie un puits , ce qui correspond à une augmentation des réserves de carbone. Source : Confédération Suisse (2012)

[45] Source : Entretien avec M. Sciacca, République et Canton de Genève, Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture (DETA), Service des forêts et des habitats riverains.

En ce qui concerne les puits de carbones, il faut rappeler que :

- Lorsque les arbres poussent et que leur volume sur pied augmente, ces derniers séquestrent du carbone.
- Un bois qui se casse en forêt et qui se décompose libère le carbone alos qu'un bois exploité et posé p.ex. sur le toit d'une maison stocke ce carbone pendant de nombreuses années ;
- L'usage du bois permet de ne pas utiliser un autre matériau (comme l'acier) et contribue (par substitution) à limiter les émissions de carbone. C'est également le cas pour le « bois énergie », où le carbone est relargué en substitution de consommation d'énergie fossile.

En conclusion, l'augmentation de l'exploitation des forêts est donc favorable à l'effet « puits de carbone » des forêts.

Les épisodes d'incendie libèrent le carbone stocké dans la biomasse. L'impact le plus grave reste la mise à nu des sols et les risques inhérents de lixiviation, à savoir la perte de sols exposés à de fortes précipitations, ce qui génère des coûts de reconstitution et une perte des fonctions forestières[46].

Dans le canton de Genève, l'exploitation en taillis des chênes par coupe rase tous les 20 à 40 ans a facilité l'apparition régulière de feux qui parcouraient très facilement la strate herbacée. Autrefois la faible biomasse des forêts et l'absence de bois mort réduisaient toutefois l'intensité de ces incendies[47].

Dans le territoire du Grand Genève, les incendies de forêts auront pour principal effet de libérer des stocks de carbone et d'affecter les différentes fonctions de ces forêts.

e) Forêts: modification de la température moyenne

Domaines pris en compte et disponibilité des données

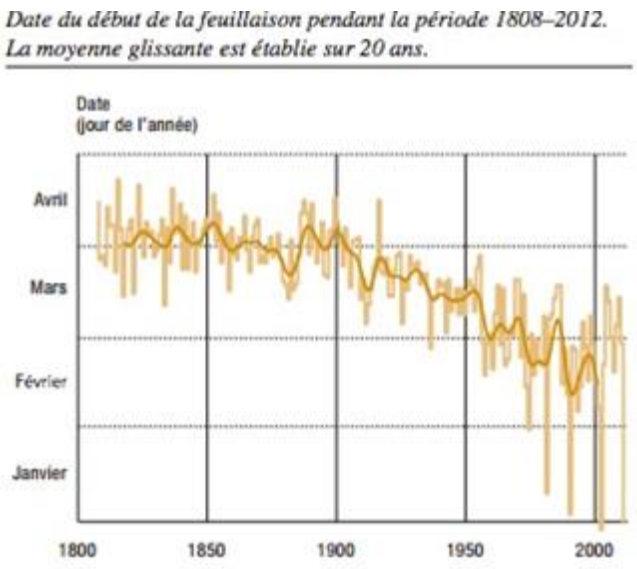
La modification de la température moyenne et ses effets sur les forêts du Grand Genève sont présentés en partie dans les paragraphes sur les incendies, la sécheresse générale et les vagues de chaleur. L'élévation des températures moyennes contribue notamment à l'augmentation des attaques de ravageurs et de parasites, impact présenté dans l'aléa sécheresse générale.

Impacts qualitatifs

La figure ci-dessous démontre que l'augmentation progressive de la température moyenne tend à avancer le début de la feuillaison du marronnier officiel de Genève (OFEV 2013).

[46] Source : Correspondance avec M. Claude Gemignani, Direction Départementale des Territoires, Service Eau Environnement, Cellule "Milieux naturels, forêt et cadre de vie".
[47] Source : Entretien avec M. Sciacca, République et Canton de Genève, Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture (DETA), Service des forêts et des habitats riverains.

Figure 47: Début de la feuillaison officielle du marronnier de Genève



Source : Météosuisse, 2012

Ce type de changement génère des modifications des interactions au sein de la forêt (OFEV 2013). L'équilibre entre les plantes et les animaux tend à évoluer, notamment en raison d'une augmentation des risques d'invasion d'insectes (cf. chapitre 5.8).

Dans le Grand Genève, une modification des températures moyennes peut également encourager le développement des espèces néophytes. L'introduction de ces espèces végétales, volontairement ou pas par l'homme, représente un danger pour la population, l'économie, la santé et la biodiversité. Elles peuvent en particulier causer l'érosion des sols et la détérioration des ouvrages situés à proximité des cours d'eau. Dans le canton de Genève, un observatoire genevois des plantes exotiques envahissantes a été mis en place.

Pour des années avec suffisamment de précipitations, l'augmentation des températures moyennes pourrait cependant prolonger la période de végétation des arbres de quelques semaines. Comme présenté au chapitre 4.2.4, la période de végétation s'allongerait de 283 à 298 jours par an (scénario faible), voire 331 (scénario fort). La tendance à l'augmentation de la croissance devrait être suivie par un plateau voire un déclin, d'ici les années 2070-2100 selon les résultats du projet CARBOFOR (INRA 2007).

Enfin, on peut s'attendre à une remontée altitudinale des boisements. L'allongement des périodes de végétation et la hausse des températures augmentent la croissance et entraînent l'élévation de la limite des forêts.

f) Forêts: tempêtes/ouragans

Domaines pris en compte et disponibilité des données

Les impacts liés à l'exploitation forcée des forêts suite à une tempête ou à un ouragan sont estimés de façon qualitative. En ce qui concerne l'évolution des tempêtes pour les prochaines

décennies, aucun pronostic solide ne peut être établi pour la Suisse. Toutefois, il est possible d'avancer qu'une augmentation du nombre de tempêtes et de leurs intensités augmentera l'ampleur des dommages de façon exponentielle et non linéaire. Si la tempête Lothar est un événement centenaire, on s'attend à devoir faire face à une multiplication de tempêtes d'ampleur plus faible, qui provoqueront néanmoins des exploitations forcées des forêts et des pertes économiques dans le domaine de la forêt.

Impacts qualitatifs

Les événements exceptionnels, comme la tempête Lothar, entraînent une augmentation de bois morts au sol et sur pied, avec des risques accrus d'attaques des attaques de ravageurs et de parasites (tels que le bostryche). Une tempête de cette envergure entraîne également une chute des prix du bois, en raison de la surproduction engendrée et de la baisse de sa qualité. Pour ces raisons, des événements de ce type ont pour conséquence de déstabiliser fortement l'économie forestière.

Dans le canton de Genève, les coûts liés à une exploitation forcée ne seraient pas supérieurs aux coûts d'exploitation normale[48]. En France, le surcoût[49] lié à l'exploitation de chablis provoqués par une tempête a été évalué à 10 €/m^3. La tempête Lothar a généré 450'000 m^3 de chablis à l'échelle de la Haute-Savoie et 750'000 m^3 de bois scolytés supplémentaires durant les sept années qui suivirent. Ces chiffres sont à comparer à la moyenne habituelle du volume exploité annuellement[50] sur le département : 250'000 m^3. Les données spécifiques au Genevois français ne sont pas disponibles.

La tempête Lothar aurait cependant profité à la nature : des études ont démontré que la diversité des espèces s'est accrue sur les surfaces forestières dans lesquelles de nombreux arbres sont tombés. La principale raison provient du fait que le sol forestier a reçu plus de lumière[51]: il s'agit là d'une augmentation liée uniquement à la phase pionnière de l'évolution des forêts qui est très courte comparée au temps de retour des ouragans de l'ampleur de Lothar, temps estimé à 100 ans.

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes due au changement climatique sur le territoire du Grand Genève provoquera donc des effets variés :

- Elle aura pour effet de fragiliser d'avantage une économie forestière qui peine déjà à être rentable, avec des conséquences évidentes pour le Genevois français où l'activité d'exploitation du bois constitue un secteur relativement important. Cependant ces risques

[48] Source : Entretien avec le département de l'environnement, des transports et de l'agriculture de l'Etat de Genève
[49] Source : Communication de l'administration fiscale française après la tempête Lothar

[50] Données du Groupe « scolyte » de la DDAF74 (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt, devenue Direction Départementale des Territoires)
[51] http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=fr&msg-id=30489

semblent nettement inférieurs comparativement aux autres risques identifiés dans ce rapport.

- D'un point de vue écosystémique, l'impact des tempêtes semble être positif sur la biodiversité et la capacité de résilience des forêts et donc indirectement sur les fonctions écologiques, sociale et de protection des forêts. Ce processus de transformation étant un processus à long terme (au delà de 2060), il est très probable que les forêts fragilisées perdent ponctuellement et localement des fonctions existantes de protection, avec des conséquences pour la protection des personnes et des biens.

5.4.2. Synthèse du domaine d'impact Forêts

Coûts et bénéfices aujourd'hui et en 2060 pour tous les aléas et effets pertinents

Tous les impacts des changements climatiques analysés ont des conséquences négatives pour l'économie forestière, exceptés l'allongement de la saison de croissance qui pourrait avoir des conséquences positives.

- **Opportunités**

Si on favorise des conditions d'adaptation naturelle des forêts, les aléas climatiques plus fréquents devraient avoir pour effet d'augmenter à long terme leur capacité de résilience. La diversification des plantations permettrait le choix, dans un horizon de 10 à 20 ans, de nouvelles essences plus adaptées aux futures conditions de températures et d'humidité et plus résistantes aux vents. A défaut de pouvoir prédire quelles seront les essences adaptées à cette échéance, il convient au minimum de prendre garde, plus encore qu'auparavant, à installer des essences diversifiées et adaptées aux différents écosystèmes.

L'augmentation de la croissance des arbres liée à l'augmentation des températures moyennes sera vraisemblablement limitée par les risques décrits ci-après.

- **Risques**

Les forêts des territoires du Grand Genève auront à faire face de nombreux risques, à savoir:

- Une augmentation des précipitations extrêmes qui entrainera principalement une diminution de la fonction protectrice des forêts, avec des conséquences pour la protection des personnes et des biens.
- L'augmentation des épisodes de sécheresse et de vagues de chaleur aura pour principales conséquences une plus faible croissance et la multiplication des attaques de ravageurs et ainsi la diminution des fonctions protectrices et productrices des forêts. Cela pourrait provoquer à long terme une modification des aires de répartition végétale et changer la composition des écosystèmes forestiers, avec notamment un recul des résineux par rapport aux feuillus.
- L'augmentation probable des incendies de forêts aura pour principal effet de libérer temporairement des stocks de carbone et d'affecter les différentes fonctions des forêts.
- Une modification des températures moyennes favorisera le développement des espèces néophytes.
- L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes aura pour effet de fragiliser d'avantage l'économie forestière.

- **Bilan total**

D'un point de vue strictement économique, les différents aléas climatiques induits par les changements climatiques augmenteront clairement les risques à l'horizon 2060, avec des conséquences négatives sur l'économie forestière et la fonction de protection des forêts pour les personnes et les biens.

Il faut s'attendre à des effets sur la production de bois. Toutefois, cet effet est moins important pour le canton de Genève - où les activités forestières sont déjà surtout orientées vers des fonctions d'entretien et non d'exploitation - que pour les territoires d'altitude valdo-français du Grand Genève, où la filière bois, et notamment le bois œuvre, est très active.

La rapidité avec laquelle surviennent les changements climatiques, ne permet pas toujours aux forêts de s'adapter naturellement, et a pour conséquence la diminution, voire la disparition, de certaines prestations forestières essentielles, par exemple la fonction de protection.

Les effets d'une tempête comme Lothar ont montré qu'il est primordial d'améliorer à long terme la résistance des forêts, c'est-à-dire leur résilience, afin de réduire le risque de dégâts. La stratégie sylvicole devrait donc viser à diversifier sa structure (structure irrégulière) ainsi que sa texture (composition des essences) et à les choisir en fonction des caractéristiques de la région. **L**a présence dominante de feuillus dans les secteurs de faible altitude du Grand Genève permettra à ces forêts de résister plus longtemps et durablement à la hausse des températures. En revanche, les forêts de résineux très présentes dans les zones montagneuses font face à des risques de fragilisation importants. .

La résilience et les capacités d'adaptation de la forêt au changement peuvent être améliorées en réduisant les menaces des facteurs non climatiques, et en favorisant une sylviculture plus proche du fonctionnement naturel de l'écosystème. Il semble alors important de continuer l'investissement en forêt afin de suivre l'évolution des peuplements et d'accompagner les mutations des aires écologiques afin maintenir les fonctions de production, sociales, environnementales et de protection des forêts.

5.4.3. Scénarios socio-économiques pour le domaine d'impact Forêts en 2060

Les forêts du Grand Genève occupent une fonction de production et offrent également de nombreuses prestations écosystémiques (77 % des réserves naturelles du territoire sont en forêt), de protection (56 % des périmètres de captage d'eau potable sont en zone forestière, et d'espace de détente pour les habitants, ce qui participe grandement à la qualité de vie de la région.

L'économie forestière fait face à des défis autres que les changements climatiques qui souvent sont et resteront tout aussi importants : concurrence du bois importé, pénurie de main d'œuvre, handicaps structurels lié au morcellement foncier et aux difficultés d'accès.

Afin d'accompagner les impacts des changements climatique et les défis socio-économiques, il est important de mettre en place des programmes permettant d'une part aux acteurs de l'économie forestière de s'adapter et d'autre part aux forêts d'augmenter leur capacité de résilience.

Les coûts d'exploitation des forêts sont particulièrement élevés dans la partie suisse du Grand Genève et ces prestations sont aujourd'hui déficitaires. Même si le bois de sciage est bien plus intéressant en termes de revenus, il ne suffit pas à couvrir les frais d'exploitation. A ce titre, la gestion économique de l'espace forestier est amenée à être repensée de sorte à assurer sa pérennité.

Dans le Genevois français, les surfaces forestières sont très étendues et l'économie forestière est plus active. La surface exploitable dépend essentiellement des constructions des routes forestières, qui sont elles-mêmes largement conditionnées à l'existence de subventions (Union européenne et Etat français principalement). Ces infrastructures étant souvent déjà mises en place et requérant d'importants travaux d'entretien, il devient de plus en plus difficile d'augmenter la surface exploitable. Actuellement, le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER) encourage jusqu'en 2020 le développement économique de la filière bois et de la production de bois.

Il convient enfin de rappeler ici le rôle de captation de carbone que la forêt peut avoir, notamment dans une perspective de compensation de la croissance de l'agglomération. Sachant qu'une forêt jeune capte plus qu'une forêt sénescente, les stratégies territoriales relative au maintien, au renouvellement et au développement des forêts ont donc toute leur importance.

Références du sous-chapitre 5.4

Ain 2013 : Plan Climat Energie Territorial du département de l'Ain, AlternConsult, Conseil Général de L'Ain, Rapport du mois de Septembre 2013

Brändli U-B (Réd.) 2010 : Inventaire forestier national suisse. Résultats du troisième inventaire 2004-2006. Brimensdorf, institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL. Berne, Office fédéral de l'environnement, OFEV 312 p.

CDDRA 2011 : Diagnostic PSADER du Genevois Français, Inddigo, ARO Syndicat Mixte, Office National des Forêts, Région Rhône-Alpes, Mai 2011

CG-HS 2005 : La Forêt, Aménagement&Développement 2020, Observaoire départemental, Conseil Général de Haute Savoie, 2005.

CRFG 2007 : L'agriculture dans l'aménagement du territoire franco-valdo-genevois, Synthèse du diagnostic de l'espace agricole transfrontalier réalisé sous l'égide du CRFG, 2007, 36 pages

DIAE 2000 : Plan Directeur forestier, République et Canton de Genève, Département de l'intérieur, de l'agriculture, de l'environnement et de l'énergie ; DIAE- Service des forêts, de la protection de la nature et du paysage, novembre 2000

DREAL : Auffray A., et al. Climat de la région Rhône-Alpes, Météo France Centre-Est, Division développements –Etudes-Climatologie, document réalisé pour la DREAL Rhône-Alpes

Faessler J. 2011 : Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 200W. Thèse de doctorat : Université de Genève, 20011, no. Sc. 4336

FCBA, 2014 : Mémento 2014 - FCBA Institut Technologique, 5th Forest Engineering Conference , supplément spécial

IGN 2013 : Résultats d'inventaire forestier, Résultats standards des campagnes d'inventaire 2008 à 2012, Les résultats : Rhône-Alpes, Institut National de l'information géographique et forestière. 2013.

INRA 2007 : Forêt et changement climatique. Conférence de presse du 27 février 2007. L'INRA au Salon International de l'Agriculture 2007.

OCCC 2007 : Les changements climatiques et la Suisse en 2050, impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie. Forum of the Swiss Academy of sciences, Organes Consultatifs sur les Changements Climatiques, juin 2007

OFEV 2011 : Adaptation aux changements climatiques dans le secteur des forêts et de l'économie forestière en Suisse. Contribution de l'office fédéral de l'environnement à la stratégie d'adaptation du conseil fédéral. Office fédéral de l'environnement OFEV, Septembre 2011.

OFEV 2013 : Perroud M. et Bader S. 2013: Changements climatiques en Suisse – Indicateurs des causes, des effets et des mesures. Etat de l'environnement no 1308. Office fédéral de

l'environnement, Berne, et Office fédéral de météorologie et de climatologie, Zurich, 86 p.

RAETZ PH. 2004 : Les enseignements de la gestion d'une crise. Synthèse du programme de recherche Lothar. Cahier de l'environnement n° 367. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 84 p.

SCNAT, 2005 : Canicule de l'été 2003, Rapport de synthèse, Basée sur les exposés et contributions du forum du 7 juillet 2005 sur la canicule de l'été 2003. Forum of the Swiss Academy of sciences, Organes Consultatifs sur les Changements Climatiques, novembre 2005

WaMos, 2013 : OFEV et WSL (Ed.) 2013: La population suisse et sa forêt. Rapport sur l'enquête sur le monitoring socioculturel des forêts (WaMos 2). Office fédéral de l'environnement, Berne, et Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Birmensdorf. Connaissance de l'environnement n° 1307: 92 p.

WSL, 2004 : Protection des forêts – Vue d'ensemble 2003, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf 2004

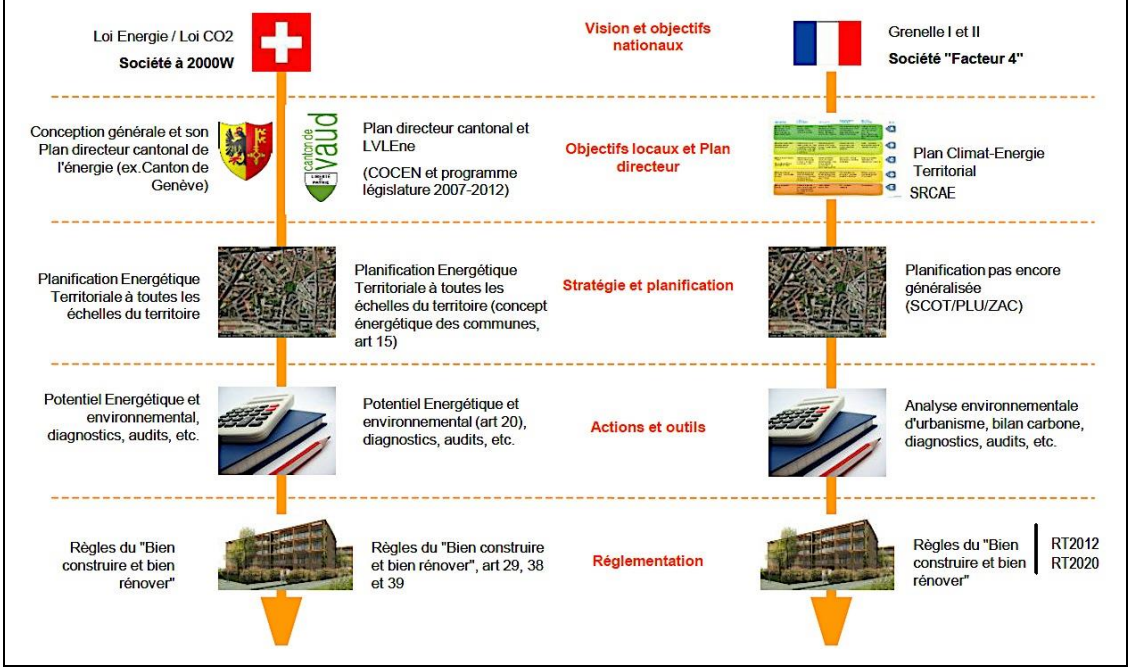
5.5. Domaine d'impact Energie (production et consommation)

Situation actuelle et lien avec les changements climatiques

A l'échelle du Grand-Genève, des engagements forts sont pris pour une meilleure prise en compte des enjeux climatiques, énergétiques et de qualité de l'air. C'est dans ce cadre qu'a été mis en place en 2010 le Schéma de Cohérence Climat Energie Territorial (SC^{2}ET) pour construire une vision partagée et transversale des enjeux environnementaux et des moyens d'action sur le territoire franco-valdo-genevois[52].

Défini comme une véritable "boîte à idées", le SC^{2}ET a pour mission d'impulser, de valoriser et/ou de coordonner les divers projets d'actions environnementales sur le territoire, de faire prendre conscience aux différents acteurs, élus ou citoyens, acteurs des transports ou de l'habitat, de l'aménagement ou de l'industrie, des enjeux environnementaux et de les faire travailler ensemble sur ce sujet.

Figure 48 : Politiques, bases légales et outils du domaine de l'énergie en Suisse et en France



Comparaison des politiques, bases légales et outils de l'énergie en Suisse et en France (SC2ET 2013)

Les objectifs stratégiques suivants ont été mis en avant par le SC^{2}ET :

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre en cohérence avec les objectifs partagés et définis sur les plans nationaux et européens.

[52] Le Schéma de Cohérence Climat-Air-Energie Territorial (SC2ET) du projet d'agglomération Franco-Valdo-Genevois – rapport final, BG Ingénieurs Conseils SAS, ARC Syndicat Mixte, 2013

- Réduction des émissions de polluants primaires (NO_x et PM_{10}) et précurseurs d'ozone afin de garantir une qualité de l'air répondant aux exigences environnementales et sanitaires sur l'ensemble du territoire de l'agglomération.
- Utilisation rationnelle de l'énergie et développement des énergies renouvelables, avec la définition d'objectifs qualifiés dans les documents d'urbanisme et de planification.

Pour le **Genevois français**, les outils de planifications en place sont le Schéma Régional Climat-Air-Energie (SRCAE) Rhône-Alpes et les plans climat énergie territorial (PCET) existants à l'échelle de plusieurs sous-territoires (PCET de la Communauté d'agglomération Annemasse - Les Voirons, PCET de la Communauté de communes du Pays de Gex, PCET du Parc naturel régional du Haut Jura).

Le **canton de Genève** s'est doté d'une loi ambitieuse en matière d'énergie (*Loi sur l'énergie - LEn L2 30*) dont la modification en 2010 a posé les bases des objectifs que le canton s'est fixé dans sa Conception générale de l'énergie, inspirée du principe de la société à 2000 watts (à savoir une réduction de la consommation énergétique globale par 3) sans nucléaire[53].

Actuellement, la consommation énergétique des bâtiments représente environ 50% de l'énergie totale utilisée dans le canton - principalement sous forme de mazout et de gaz - et deux tiers des émissions de CO_2 du canton. La loi genevoise sur l'énergie vise à réduire massivement la consommation énergétique globale – sans pour autant diminuer le confort – tout en recourant le plus possible aux sources d'énergies renouvelables.

Le Concept énergétique territorial (CET) est un des outils inscrits dans la loi. Ainsi chaque plan d'aménagement mis à jour ou nouveau doit comporter une étude des ressources énergétiques potentiellement utilisables – en priorité locales et d'origine renouvelable – de la géothermie à la biomasse en passant par les rejets thermiques des industries. Depuis 2002, des dizaines de plans d'aménagement – à commencer par celui de Genève-Lac-Nations – ont été traités, et ont connu une amélioration significative sur le plan énergétique grâce à l'introduction de cet outil.

Enfin, le programme éco21 initié en 2007 par SIG a pour objectif d'aider les Genevois à réduire leurs consommations d'énergies et émissions de CO_2, sans sacrifier ni confort ni compétitivité. Le potentiel d'économies d'énergie est élevé. La consommation d'électricité pourrait être réduite d'un tiers et l'optimisation des installations permet de diminuer la consommation d'énergie thermique jusqu'à 15% en améliorant le confort des usagers. A ce jour, près de 80 entreprises ont choisi ce programme à Genève et les résultats ont confirmé un potentiel d'économies significatif.

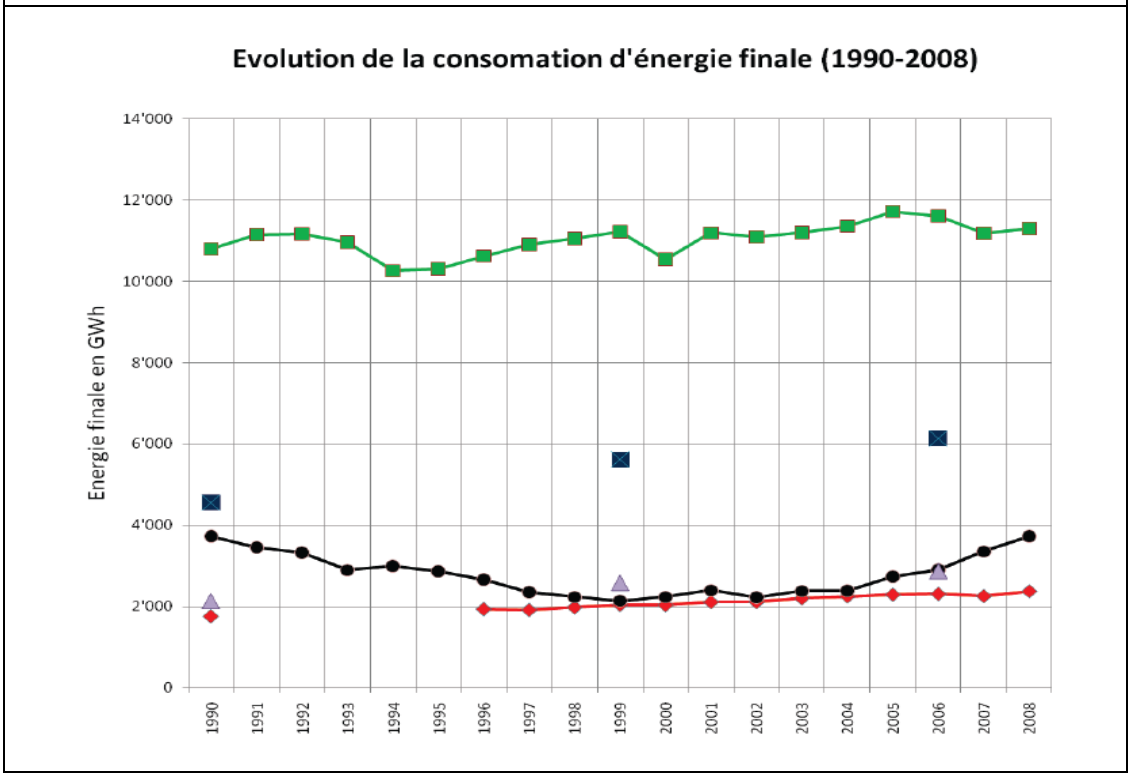
[53] http://ge.ch/energie/contexte

Dans le **canton de Vaud**, les objectifs de la politique énergétique visent notamment l'augmentation de la part d'énergie renouvelable dans la consommation finale d'énergie de 6.1% en 2004 à 10% en 2020 et 20% à l'horizon 2050. Un effort important de réduction des émissions de CO_2 est également prévu puisqu'elles devront passer de 3.1 millions de tonnes en 2004 à 2.5 millions de tonnes en 2020 puis à 1.5 millions de tonnes en 2050.

Consommation d'énergie

Les **données ci-après sur la consommation d'énergie** ont été obtenues auprès de l'Office cantonal de l'Energie (Genève), du bilan carbone cantonal (Maneco 2014), l'Observatoire de l'énergie et des gaz à effet de serre (OREGES Rhône-Alpes), le district de Nyon et de travaux de recherches scientifiques (UNIGE).

Figure 49 : Evolution de la consommation d'énergie finale dans les différents périmètres du Grand Genève



Evolution de la consommation d'énergie finale dans le Grand Genève[54] : en vert le **canton de Genève** (sans AIG et CERN), en rouge le **district de Nyon**, en rectangles (■) le **Genevois haut-savoyard** et en triangles (▲) le **Genevois de l'Ain** (Faessler 2011)

D'après la Conception générale de l'énergie du canton de Genève, la consommation d'énergie finale du canton s'élevait en 2010 à 89.7 GJ/habitant (soit environ 12'000 GWh), avec la répartition suivante : 50% chauffage, 25% électricité et 25% transport (carburant).

[54] La courbe noire représente la consommation de carburant de l'Aéroport international de Genève qui ne concerne pas la présente étude.

Les impacts attendus sur la consommation d'énergie en raison des changements climatiques sont une modification du nombre de degrés-jours de chauffage et de refroidissement. Il faut donc s'attendre à une modification de la consommation d'énergie de refroidissement et de chauffage. Dans le domaine du chauffage, ce sont les ménages qui sont les plus concernés car l'énergie de chauffage représente pour eux la plus grosse part de la consommation d'énergie totale. Mais il faut également s'attendre à des changements dans les entreprises industrielles, artisanales et de services, en particulier en ce qui concerne la consommation d'énergie de climatisation.

Production d'énergie

Dans le **canton de Genève**, l'approvisionnement en électricité et en gaz naturel est assuré par les SIG. L'approvisionnement électrique du réseau du canton de Genève provient pour 25% de la production locale. Quelques 85% de cette électricité « locale » sont issus de l'hydraulique, complétés par le solaire, la biomasse et l'énergie thermique[55].

Le tableau **ci-dessous** recense les principales installations de production centralisées d'énergie dans le canton de Genève. L'ensemble des chaudières mazout et gaz n'est pas comptabilisé ici car leur capacité de production ne sera pas impactée par les changement climatiques. Pour cette même raison, les installations CAD-Lignon et CADIOM alimentées respectivement au gaz et par l'incinération des déchets ne sont mentionnées ici qu'à titre informatif.

Tableau 22 : Principales installations centralisées de production d'énergie du canton de Genève

Installation de production	Energie		Année
Electricité hydraulique (SIG, Chancy-Pougny)	738	GWh	2012
Chaleur thermique (CAD-Lignon SIG)	271	GWh	2012
Chaleur thermique (CADIOM)	124	GWh	2012
Chaudières à bois (Cartigny, Chancy, Troinex...)	110	GWh	2010
Electricité thermique (Cheneviers, CCF SIG)	103	GWh	2012
Genève Lac Nations (GLN thermique)	23	GWh	2014
Energie solaire thermique	18	GWh	2013
Solaire photovoltaïque (producteurs privés)	13	GWh	2012
Solaire photovoltaïque (SIG)	9	GWh	2012
Biogaz (Biogaz Mandement, Millo-Zeller)	2	GWh	2012
Biogaz (Châtillon, SIG)	0.9	GWh	2013
Total	1412	GWh	

Principales installations de production d'électricité ou de chaleur du canton de Genève (sources : Maneco 2014 et divers)

La production hydroélectrique du canton de Genève est assurée principalement par le barrage de Verbois (65%) et celui de Chancy-Pougny (30%), les deux situés sur le Rhône en aval du centre de Genève (Chancy-Pougny est à cheval sur la frontière franco-suisse). Un projet de

[55] http://www.sig-ge.ch/nous-connaitre/nos-activites/chiffres-cles-de-SIG

création d'une retenue d'eau supplémentaire au lieu-dit Sous-Conflan en aval de Chancy est actuellement à l'étude (140 GWh).

Dans le **Genevois français**, la distribution d'énergie est sous la supervision du *Syndicat des Energies et de l'Aménagement numérique de la Haute-Savoie* (SYANE) et du *Syndicat intercommunal d'énergie et de e-communication de l'Ain* (SIEA), tous deux étant des organismes intercommunaux en charge de la planification, de la maitrise d'ouvrage et du contrôle des concessions pour l'électricité, le gaz, l'éclairage public et les télécommunications.

Les données disponibles à l'OREGES (2014) font état – pour la production d'énergie – d'une *puissance énergétique* sur les territoires français du Grand Genève (hors chaudières mazout et gaz individuelles) de 120 MW avec la répartition indiquée à la figure suivante. Clairement, l'hydroélectricité et le bois-énergie sont les deux ressources renouvelables locales principalement exploitées aujourd'hui.

Figure 50: Puissance énergétique actuelle par type de production du Genevois français

Type d'énergie	Puissance totale (kW)
Hydroélectricité	59'700
Bois-énergie	39'000
UIOM	12'400
Photovoltaïque	8'100
Valorisation de biogaz	1'500
Chaudières gaz (sans individuelles)	200
Total	**120'976**

Puissance énergétique actuelle par type de production du Genevois français (hors chaudières mazout et gaz individuelles) – source : OREGES 2014

On peut citer les principales installations de production d'énergie suivantes :

- l'important barrage de Genissiat produit annuellement 1'700 GWh/an,
- l'incinérateur du SIDEFAGE[56] produit 55 GWh,
- une dizaine de chaudières à bois de petite envergure dans l'Ain.

La majeure partie de l'énergie consommée sur le territoire du Grand Genève est cependant produite en dehors des frontières du territoire (mazout, gaz, électricité...). Bien que ces sources d'énergie puissent également être touchées par les changements climatiques (de par l'incidence des grands équilibres politico-économiques internationaux), elles ne sont pas étudiées dans le cadre de cette étude en raison des limites du périmètre d'étude. Le sujet mériterait cependant une étude à part entière.

[56] Syndicat Intercommunal de gestion des Déchets du Faucigny Genevois, étendu depuis sa création au Bassin Bellegardien, Pays de Gex, Pays de Seyssel et Haut Bugey (www.sidefage.fr)

Sur la base de cet inventaire de la production énergétique du canton de Genève et du Grand Genève, la présente étude approfondira uniquement certains vecteurs énergétiques particuliers influencés par les changements climatiques :

- La **force hydraulique** dépend directement du régime de débits des rivières et est donc potentiellement influencée par les changements climatiques.
- Les **eaux** du Lac, du Rhône, de l'Arve et celles des nappes phréatiques sont utilisées comme énergie renouvelable de refroidissement ou de chauffage. L'évolution des débits ou des températures est influencée par les changements climatiques.
- La **ressource bois** fournit une part significative de la puissance énergétique du Genevois français (Figure 50). Cependant son potentiel de développement semble assez limité (Faessler 2011). Les changements climatiques ne sont pas susceptibles d'avoir une influence sur la production d'énergie à partir de bois, si ce n'est indirectement en raison de changements au niveau de la gestion des forêts, aspects qui sont traités au chapitre 5.4.
- Les **ordures ménagères et le gaz naturel** n'étant pas directement influencés par le climat, ces agents énergétiques ne sont pas analysés.
- Le domaine des panneaux **solaires** thermiques et photovoltaïques n'est pas non plus examiné en détail car les impacts climatiques sur ce domaine sont très faibles.
- La **géothermie** n'est pas significativement influencée par les changements climatiques.

A noter que parmi les vecteurs énergétiques renouvelables qui ne sont pas analysés dans le cadre de cette étude, plusieurs jouent **un rôle primordial dans le cadre de la transition énergétique** : c'est le cas du bois-énergie, de la valorisation des rejets industriels et des énergies géothermique, solaire et éolienne.

5.5.1. Analyse des aléas et effets en 2060

En ce qui concerne la consommation d'énergie, il faut surtout s'attendre à des modifications liées une **augmentation de la température moyenne**, à **une diminution des vagues de froid et à une recrudescence des vagues de chaleur**. Les impacts résultants d'un besoin accru en énergie de refroidissement et moindre en énergie de chauffage sont analysés sur le plan quantitatif.

Pour la production d'énergie, l'analyse porte essentiellement sur les impacts des changements hydrologiques sur la production des barrages.

Tableau 23 : Aperçu des aléas et effets analysés dans le domaine d'impact Energie		
Aléas/effet	**Impacts analysés quantitativement**	**Impacts analysés qualitativement**
Crues		• Impacts sur la production hydraulique liés aux crues
Modification du régime de précipitations		• Modifications de la production hydraulique liées à une modification du régime des débits
Vagues de froid	• Diminution du besoin en énergie de chauffage	
Vagues de chaleur	• Augmentation du besoin en énergie pour la climatisation	• Impacts sur les systèmes de refroidissement utilisant l'eau des lacs et rivières
Modification des températures moyennes[57]	• Diminution du besoin en énergie de chauffage • Augmentation du besoin en énergie pour la climatisation	• Diminution des besoins de chauffage pour la production agricole sous abris.

[57] Avec la modification attendue des températures moyennes, il fait s'attendre à une diminution du besoin en énergie de chauffage et à une augmentation du besoin en énergie de refroidissement. Pour pouvoir analyser ces deux impacts séparément, ils sont traités dans les chapitres « Energie – vague de froid » et « Energie – vague de chaleur ». L'impact de la modification de la température moyenne sur la consommation d'énergie s'obtient en additionnant les modifications des besoins de chauffage et de refroidissement.

a) Energie: crues

Domaines analysés et disponibilité des données

La gestion sédimentaire du Rhône liée à l'exploitation des barrages est un aspect sensible du point de vue de la productivité des centrales, des coûts de maintenance et de l'acceptabilité des milieux de la pêche et la protection de la nature.

Selon les informations obtenues auprès du Responsable du Centre de conduite des centrales hydrauliques des SIG, les crues en tant quel telles ne représentent pas un danger critique pour l'exploitation de la centrale, ni sur le fonctionnement des ouvrages ni sur la productivité.

Les crues pourraient toutefois influencer la vitesse de déplacement des sédiments dans le lit du cours d'eau et donc de « remplissage » des barrages. Cependant, lors de réflexions récentes autour d'une nouvelle stratégie sédimentaire en collaboration avec la DGEau et la DREAL, les SIG (SIG/SFMCP 2014) ont considéré que **les crues** – et à fortiori l'impact des changements climatiques sur ces dernières – n'étaient **pas un facteur à considérer dans l'évaluation des coûts futurs**.

A titre indicatif, les coûts actuels de la gestion sédimentaire du barrage de Verbois s'élèvent à environ 0.6 mio CHF/an (SIG, 2014). Ce barrage est le plus sensible du point de vue sédimentaire puisqu'il reçoit les eaux de l'Arve, et il « protège » ainsi les 2 barrages situés en aval (Chancy-Pougny et Génissiat). La fréquence des travaux de maintenance et les données à disposition ne permettent pas de comparer les coûts de maintenance et entretien avec les événements de crues, si bien que cet aspect est traité ici de façon qualitative.

Si la modification du régime des crues n'entraine que des modifications marginales du coût de l'énergie, ses implications sur la biodiversité (cf. §5.7) et la gestion des eaux (cf. §5.8) peuvent être importantes, notamment à cause de la **gestion complexe des éclusés et des risques d'inondations associés**.

Impacts qualitatifs

Compte tenu des éléments ci-dessus, les auteurs considèrent donc que les effets négatifs liés aux crues devraient être nettement plus faibles que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Energie.

b) Energie: modification du régime de précipitations

Domaines analysés et disponibilité des données

La modification du régime de précipitations influence le régime du débit du Rhône et donc également la production hydroélectrique.

Plusieurs importants projets de recherche portent sur l'impact des changements climatiques sur les débits du Rhône : le projet ACQWA (*Assessing climate impacts on the quantity and quality of water*) – un programme européen coordonné par l'Institut des sciences de l'environnement de l'Université de Genève, le projet GICC-Rhône qui regroupe plusieurs partenaires (BRGM, CEMAGREF, CNRS, EDF et MétéoFrance) et le projet GouvRhône. Des résultats de ces recherches, on peut tirer le diagnostic suivant :

- Le bassin versant du Rhône en amont de Genève devrait recevoir des précipitations restant à l'intérieur de la fourchette de la variabilité naturelle du climat avec de fortes disparités régionales.
- La répartition de la ressource en eau au cours de l'année sera différente : plus de précipitations en hiver et moins en été. Cette tendance se reflète déjà dans la variation saisonnière des débits. Les changements sont toutefois plusieurs fois plus faibles que les variations annuelles naturelles.
- Au niveau de Genève, le débit du fleuve aura un débit annuel moyen plus ou moins inchangé d'ici à 2050 (ACQWA).
- Au delà de 2050, des changements notoires sont attendus sur le haut Rhône au niveau saisonnier (ACQWA 2012) et sur sa partie aval[58] ; aucune tendance nette ne se dessine pour Genève, en raison de trop fortes incertitudes.
- Le projet ACQWA conclut que si les barrages recevront moins d'eau, ce déficit pourra être partiellement compensé par une meilleure gestion des réservoirs.

Sur cette base, les auteurs considèrent que **l'impact de la modification du régime de précipitations n'aura pas une influence significative sur la production hydroélectrique des barrages de la région genevoise à l'horizon 2060**.

Le principal problème futur lié aux variations saisonnières du Rhône se situe en aval du périmètre d'étude et concerne l'impact du renforcement des étiages sur les centrales nucléaires françaises qui utilisent des quantités importantes d'eau du Rhône pour le refroidissement. Lors de la canicule de 2003, le phénomène d'étiage a rendu la situation particulièrement critique et laisse présager d'importants enjeux à l'avenir. Ces aspects sont étudiés dans le cadre d'un projet en cours appelé GouvRhône. Cet enjeu est notamment en lien avec la poli-

[58] A la hauteur de Ternay (20 km au Sud de Lyon), le débit annuel moyen devrait baisser de -3% à -18% pour la période 2050-2060 (EDF-CEMAGREF 2008) et jusqu'à -63% pour la période 2070-2100 (GouvRhône 2014).

tique de régulation des niveaux du Léman et d'éventuels changements de régulation pour compenser (ou non) les variations saisonnières en aval.

Impacts qualitatifs

Compte tenu des éléments ci-dessus, les auteurs considèrent donc que les effets négatifs liés au changement du régime des précipitations devraient être nettement plus faibles que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Energie.

c) Energie: vagues de froid (et modification de la température moyenne)

Domaines analysés et disponibilité des données

Avec la diminution attendue de la fréquence et de l'intensité des vagues de froid, il faut s'attendre à une diminution de la consommation d'énergie de chauffage. En raison du manque de données disponibles, les auteurs ont renoncé à faire une différenciation entre les impacts durant une vague de froid et ceux sur toute l'année. La diminution des besoins en énergie de chauffage est donc examinée sur l'ensemble de l'année et non uniquement durant les vagues de froid.

Les données utilisées proviennent de différentes sources en fonction du périmètre :

- pour le **canton de Genève**, les données ont été collectées par le bureau Maneco dans le cadre de l'établissement du Bilan Carbone du canton de Genève et sont principalement issues de l'OCSTAT et des SIG.
- Pour le **district de Nyon**, des données agrégées de l'étude Energie Région Nyon ont été fournies directement par le bureau Amstein + Walthert.
- Pour les **territoires français**, des données agrégées ont été obtenues directement auprès de l'observatoire OREGES et Burgeap.

Différentes hypothèses ont ensuite été utilisées pour pouvoir estimer le besoin en énergie de chauffage à partir de ces données.

Réserves et hypothèses

Le calcul de la modification du besoin en énergie de chauffage induite par les changements climatiques s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle ce besoin est proportionnel au nombre de degrés-jours de chauffage. Etant donné que les éventuelles mesures d'adaptation ne sont pas prises en compte dans la quantification de la consommation d'énergie[59], les parts

[59] Le parc bâti évoluera certainement vers plus d'efficience, même si la rénovation du parc bâti ne sera pas complète d'ici 2060. A noter cependant que la méthode la méthode d'analyse utilisée ne prend pas directement en compte ces aspects. L'évaluation doit être faite sans intégrer les mesures d'adaptation afin de simuler les impacts maximaux en cas d'absence de mesures.

des différents agents énergétiques restent constantes. De plus, les calculs partent de l'hypothèse selon laquelle les prix de l'énergie sont constants. L'évolution du prix de l'énergie - qui évidemment a une influence très importante - fait partie de l'évolution socio-économique traitée de façon qualitative au chapitre 5.5.3 plus bas.

Pour le **canton de Genève**, les statistiques disponibles font la distinction entre agents énergétiques et utilisateurs mais ne sont pas associées à un usage. Cela signifie que pour chaque agent énergétique et chaque utilisateur, il faut estimer la part utilisée pour le chauffage de locaux. Les hypothèses suivantes ont été faites :

- Part d'énergie de chauffage des ménages:
    - Les auteurs partent du principe que les changements climatiques n'influencent pas la consommation d'eau chaude.
    - La part de la consommation d'énergie finale nécessaire pour l'eau chaude sanitaire est estimée à 14% et celle pour le chauffage des locaux s'élève donc à 86%. Cette valeur s'appuie sur des consommations d'eau chaude spécifiques de respectivement 75 MJ/m^2/an selon la norme SIA 380-1 (immeuble collectif) et la valeur de l'indice de dépense de chaleur moyen du parc du canton de 520 MJ/m^2 (information de l'OCEN). Selon l'analyse de la consommation énergétique suisse en fonction de l'usage, cette part se situe dans un ordre de grandeur similaire (environ 15%) (Prognos/Infras/TEP 2013).
    - Etant donné que les capteurs solaires thermiques sont principalement utilisés pour la production d'eau chaude, il faut partir du principe que la part utilisée pour le chauffage des locaux est nettement plus faible. Les auteurs estiment cette part à 10%.
- Part d'énergie de chauffage de l'industrie, de l'artisanat et des services:
    - Ici, la part d'énergie de chauffage doit être estimée en excluant également la part d'énergie utilisée pour les procédés industriels. Les ratios utilisés sont tirés de documents de référence (BS 2011, Kirchner & Matthes et al. 2009). Les données disponibles sur la consommation d'énergie en fonction de l'usage indiquent une part d'énergie de chauffage d'environ 70% pour le tertiaire et une part nettement inférieure dans le secteur secondaire (environ 10%), étant donné que les procédés industriels représentent une grande partie de la consommation d'énergie dans ces entreprises.
    - Les besoins en énergie (chauffage) nécessaires pour les productions agricoles sous abris sont inclus dans la catégorie « industriel ». Malgré l'importance des cultures maraîchères et horticoles pour le canton de Genève, l'impact d'une augmentation des températures moyennes sur la consommation énergétique des serres est négligeable en regard de l'énergie du résidentiel et ne sera pas donc traité individuellement.

Une part de la consommation d'électricité est aussi utilisée pour le chauffage des locaux. Tous les systèmes de chauffage utilisent une part d'énergie auxiliaire estimée à 1 % de l'énergie de chauffage consommée (Prognos/Infras/TEP 2013). Les pompes à chaleur utilisent quant à elles une quantité d'électricité qui s'élève à un tiers de la chaleur consommée.

Le tableau suivant donne une vue d'ensemble des consommations d'énergie pour le chauffage par rapport à la consommation globale d'énergie finale par agent énergétique et par secteur pour le canton de Genève.

Tableau 24 : Consommation d'énergie finale pour le canton de Genève

		Consommation d'énergie finale [GWh]	Part pour le chauffage	Consommation d'énergie pour le chauffage [GWh]
Industries	Electricité	350	0.2%	1
	Gaz	118	10%	12
	Mazout	104	10%	10
	Total	**571**		**23**
Autres secteurs d'activités	Electricité	1'789	0.2%	4
	Gaz	270	70%	189
	Mazout	238	70%	166
	Total	**2296**		**359**
Ménages	Geothermie	12	86%	10
	Solaire thermique	18	10%	2
	Bois	111	86%	95
	CAD	417	86%	357
	Gaz	2'205	86%	1887
	Mazout	1'949	86%	1668
	Electricité	807	5%	43
	Total	**5519**		**4063**
Grand total		**8387**		**4445**

Consommation d'énergie pour le chauffage par secteur d'activité et agent énergétique pour le canton de Genève (sources: Maneco, OCEN, Faessler). La part de la consommation d'énergie de chauffage par rapport à la consommation totale d'énergie finale repose sur des estimations (voir explications dans le texte).

Pour le **district de Nyon,** les données obtenues fournissent directement l'énergie finale pour le chauffage par type d'affectation.

Tableau 25 : Consommation d'énergie finale pour le chauffage pour le district de Nyon

	Consommation d'énergie pour le chauffage [GWh]
Activités	237
Ménages	743
Total	**980**

Consommation d'énergie pour le chauffage par secteur pour le district de Nyon (sources: Région Nyon et A+W)

Pour les **territoires français du Grand Genève**, les données obtenues auprès de l'OREGES fournissent directement l'énergie finale pour le chauffage du résidentiel et du tertiaire[60]. Par ailleurs, les données retravaillées par Burgeap dans le cadre du bilan carbone du Grand-Genève nous fournissent une répartition moyenne de la consommation par source d'énergie utilisée ci-après pour le calcul des coûts.

Tableau 26 : Consommation d'énergie finale pour le chauffage pour les territoires français du Grand Genève

	Consommation d'énergie pour le chauffage [GWh]
Tertiaire	617
Résidentiel	2520
Total	**3137**

	Répartition par source d'énergie
Produits pétroliers	23%
Gaz	31%
Electricité	34%
EnR thermiques	12%
Total	100%

Consommation d'énergie pour le chauffage par secteur d'activité et agent énergétique pour les territoires français du Grand Genève (sources: OREGES)

Hypothèses concernant les prix de l'énergie:

- Genève et Nyon : Les prix du gaz naturel et de la chaleur à distance ainsi que les prix de l'électricité ont été obtenus auprès des SIG. Pour le mazout, c'est le prix de 2013 qui est appliqué tel que recensé par l'association des propriétaires fonciers[61]. Pour les autres systèmes de chauffage (capteurs solaires, pompes à chaleur et IUOM/eaux usées), les auteurs se basent sur les valeurs de documents de référence (BS 2011 et Infras 2014).
- Pour la France, les prix utilisés sont basés sur des valeurs moyennes fournies par la littérature spécialisée (EnergiePlus n°531 septembre 2014 et www.aqualys.fr).

Pour rappel, les prix indiqués sont les prix actuels. La question de l'évolution des prix de l'énergie est traitée au §5.5.3 dans le cadre des scénarios socio-économiques.

[60] Les données sur l'énergie de l'industrie ne sont pas fournies par l'OREGES pour des raisons de confidentialité. Compte tenu de la faible part d'énergie industrielle consacrée au chauffage (10-20%), les auteurs considèrent que cette lacune n'impacte pas significativement la méthode.

[61] http://www.hev-schweiz.ch/vermieten-verwalten/heizoelpreise/monatsmittel-heizoelpreise/

Tableau 27 : Prix moyens de l'énergie en Suisse et en France

Pour la Suisse :

Prix de l'énergie en CHF/kWh	Mazout	Gaz	CAD	Electricité
2013 Mazout, 2014 pour le reste	0.10	0.07	0.07	0.16
Source	HEV	SIG	SIG	SIG

Prix de l'énergie en CHF/kWh	Capteurs solaires	Géothermie	Bois
2010	0.24	0.15	0.05
Source	BS 2011 / Infras 2014	BS 2011 / Infras 2014	Infras 2014

Pour la France :

Prix de l'énergie en EUR/kWh	Fuel	Gaz	Electricité	Bois
2014	0.07	0.06	0.11	0.06
Source	EnergiePlus	EnergiePlus	EnergiePlus	AQUALYS

Prix de l'énergie des différents agents énergétiques et sources de données pour la Suisse et la France.

Impacts qualitatifs

Dans le domaine d'impact Energie, aucun impact non quantifiable lié à la raréfaction des vagues de froid n'est prévisible en termes de consommation d'énergie.

Impacts quantifiables

Les coûts de l'énergie de chauffage sont obtenus par le produit des valeurs de consommation par vecteur énergétique avec les coûts moyens de ces différents vecteurs dans les différents territoires. Sur cette base, les coûts moyens annuels calculés sont les suivants :

Tableau 28 : Coûts annuels moyens de l'énergie de chauffage

	Consommation	Incertitude	Coûts de chauffage
Canton de Genève	4'450 GWh / an	2	370 mio CHF / an
District de Nyon	980 GWh / an		83 mio CHF / an
Territoires français du Grand Genève	3'140 GWh / an	2	250 mio EUR / an (300 mio CHF / an)

Pour la monétarisation de la consommation d'énergie de chauffage, on en déduit un prix moyen de l'énergie de 0,08 CHF/kWh pour la Suisse et de 0,08 EUR/kWh pour la France.

La disponibilité des données sur la consommation d'énergie finale est assez bonne. L'incertitude sur les coûts est considérée comme moyenne. A noter que les calculs sont basés sur les prix actuels de l'énergie (l'incertitude relative l'évolution future des prix n'est pas prise en compte car elle relève des scénarios socio-économiques). Il existe en outre une incertitude supplémentaire liée à la variation annuelle des jours-degrés de chauffage. Sur la base des séries chronologiques des jours-degrés de chauffage annuels, celle-ci est estimée à environ 7% pour la situation actuelle. S'agissant de la modification du nombre de jours-degrés de chauffage pour les deux scénarios 2060, les auteurs admettent une incertitude plutôt faible de l'ordre de 15%.

Sur la base de ces hypothèses, le facteur d'incertitude pour la situation actuelle ainsi que pour les deux scénarios est de 2 (voir chapitre 3.3).

Avec le scénario *faible amplitude*, on admet que la consommation d'énergie actuelle et les coûts qui y sont liés diminuent de 12%. Avec le scénario *grande amplitude*, la diminution est de 30%. Les modélisations effectuées prennent systématiquement en compte l'effet d'îlot de chaleur.

En suivant l'hypothèse selon laquelle la consommation d'énergie de chauffage baisse de manière proportionnelle (INFRAS/Egli Engineering 2015a), on obtient les coûts annuels moyens suivants avec les deux scénarios.

Tableau 29 : Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui /Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-370	2
Scenario faible	-322	2
Scenario fort	-259	2

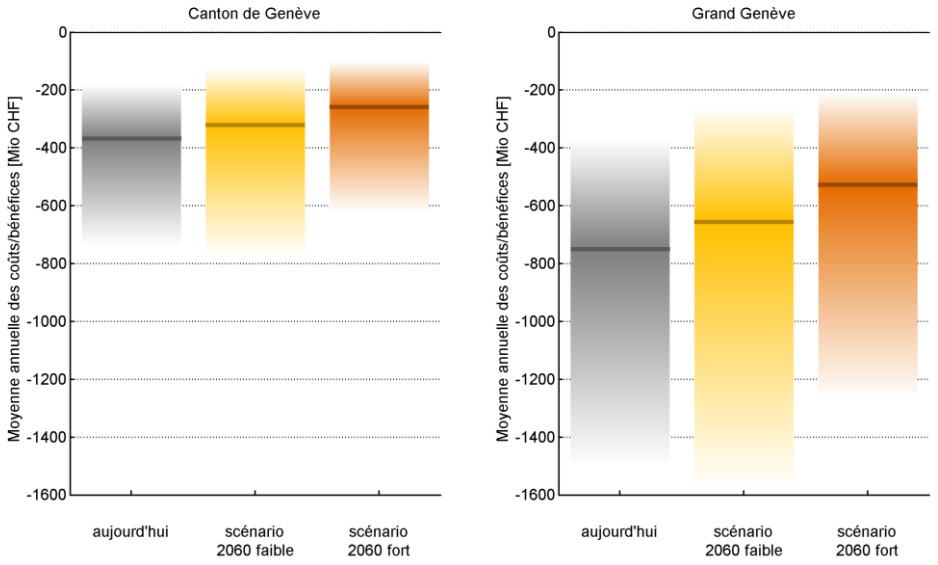
Coûts et bénéfices 2060 causés par les vagues de froid dans le domaine d'impact d'énergie et facteurs d'incertitude correspondants (Canton de Genève)

Tableau 30 : Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui /Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-750	2
Scenario faible	-666	2
Scenario fort	-536	2

Coûts et bénéfices 2060 causés par les vagues de froid dans le domaine d'impact d'énergie et facteurs d'incertitude correspondants (Grand Genève sans canton de Genève)

Figure 51: Coûts/bénéfices annuels moyens dus aux vagues de froid



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

d) Energie: vagues de chaleur (et modification de la température moyenne)

Domaines analysés et disponibilité des données

Systèmes de refroidissement utilisant l'eau des lacs et rivières

En raison des changements attendus dans la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur, une augmentation de la consommation d'énergie pour la climatisation est à prévoir.

Faessler (2011) recense une dizaine d'autorisations existantes pour l'utilisation thermique des eaux du système Rhône-Léman (totalisant 6.33 m^3/s avec une puissance maximale de 300 MW) dont une seule sur l'Arve compte tenu des difficultés de gestion de cette ressource (régime torrentiel). Leur dimensionnement et fonctionnement doivent respecter les exigences légales relatives à l'augmentation de températures au droit du point de rejet de façon à protéger l'écologie de l'eau (température de l'eau du milieu récepteur max. 25°C, +1.5°C d'augmentation dans la masse d'eau).

A Bâle, le refroidissement des installations industrielles avec l'eau du Rhin a été fortement entravé par la canicule de 2003 (Infras 2014). La situation du système Léman-Arve-Rhône est différente dans la mesure où les eaux proviennent en partie des couches profondes froides du Léman et des eaux d'origine glaciaire de l'Arve, ce qui tamponne l'impact des canicules sur la température de l'eau du Rhône genevois.

Les études consultées montrent ainsi que l'impact de la variation de la température de l'eau (liée aux rejets thermiques ou à une augmentation de la température de l'air) sur le potentiel de refroidissement en aval est négligeable. Faessler (2001) synthétise ainsi les recherches menées sur cette question : « *L'influence des débits et de la météorologie (variations quotidiennes, hebdomadaires, saisonnières, interannuelles) sur la température du Rhône paraît nettement plus importante que les apports thermiques des rejets actuels issus des climatisations ou des industries. Dans de rares cas, des problèmes très localisés peuvent apparaître, par exemple un rejet spécifique proche d'un lieu de frai.* »

Par ailleurs, avec le développement actuel du projet GENILAC en direction du centre ville - qui sera une extension du projet Genève-Lac-Nations (GLN), le recours aux eaux des strates profondes du Léman augmentera et sa mise en service permettra de remplacer plusieurs systèmes de refroidissement captant actuellement l'eau du « Rhône urbain ». Ce développement devrait donc même avoir un impact positif puisque les eaux rejetées par GENILAC dans le Rhône auront une température de rejet relativement basse.

Comme évoqué plus haut, le potentiel des eaux quittant le bassin genevois intéresse en particulier les centrales nucléaires françaises en aval qui utilisent des quantités importantes

d'eau du Rhône pour le refroidissement (puissance rejetée environ 16'000 MW). Là encore, la préoccupation porte uniquement sur une question de débit et non pas de température de l'eau. Des recherches à ce sujet sont en cours dans le cadre du projet GouvRhône[62] (BRETHAUT 2011).

Consommation d'énergie pour la climatisation des bâtiments

En raison de l'augmentation attendue du nombre de degrés-jours de climatisation, il faut aussi s'attendre à une hausse de la consommation d'énergie de refroidissement des bâtiments.

Dans les perspectives énergétiques 2050 de la Suisse, on admet aujourd'hui un besoin spécifique moyen en énergie de refroidissement de 13 kWh/m^2 et une augmentation de 130% d'ici à 2050, soit 30 kWh/m^2 (Prognos 2012). D'autres études parlent d'une augmentation de +115% des besoins en refroidissement d'ici à 2035 (Aebischer 2006).

Une autre étude (Brunner et al. 2007) propose une modélisation de la modification attendue du besoin en électricité en partant de l'hypothèse selon laquelle la consommation spécifique totale d'énergie de refroidissement s'élève à 0,4 kWh/m^2 pour les bâtiments d'habitation et à environ 10 kWh/m^2 pour les bâtiments du tertiaire ainsi que pour les bâtiments industriels. Cette étude estime, pour les bâtiments d'habitation, une part de surface climatisée aujourd'hui d'environ 1%, pour les bâtiments tertiaires, de 10% et pour la production industrielle, de 23%.

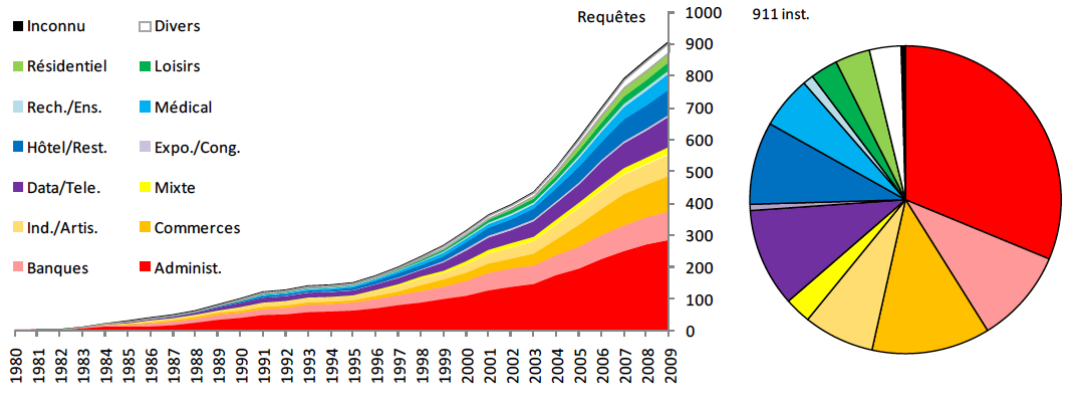
Sur le canton de Genève, il n'existe actuellement pas de statistiques complètes sur l'énergie de climatisation. Des recherches poussées ont cependant traité ce sujet en analysant les requêtes en autorisation de construire déposées depuis 1980 (qui ont subi une très forte croissance, notamment suite à la canicule de 2003). En voici les principaux résultats :

- 911 requêtes totalisant une puissance nominale 272 MW,
- une consommation d'électricité de 225 GWh par an,
- 60% de cette consommation électrique correspond aux datacenters.

Considérant les enjeux énergétiques liés au développement des datacenters, les auteurs ont choisi de les inclure dans les calculs. En effet, bien qu'ils ne soient pas liés au besoin de confort thermique des personnes, il est considéré que ces deux domaines seront impactés de façon similaire par les changements climatiques. Enfin, on utilisera ici la consommation totale d'électricité et non pas l'énergie utile afin de ne pas exclure des calculs de coûts, la part très importante d'énergie liée au faible rendement des systèmes de climatisation.

[62] http://www.unige.ch/environnement/polet/research/gouvress/gouvrhone.html

Figure 52: Evolution et répartition du nombre de requêtes d'installations de climatisation dans le canton de Genève (source : Hollmüller 2011)



En l'absence de données pour le district de Nyon, on utilisera une extrapolation de la consommation genevoise en fonction du nombre d'emplois des deux périmètres. Le district de Nyon équivaut à 13% des emplois du canton de Genève et donc **la consommation électrique liée à la climatisation pour le district de Nyon est estimée à 29 GWh/an.**

Concernant le territoire français, l'OREGES fournit une estimation de la consommation énergétique du tertiaire liée à la climatisation s'élevant à 70 GWh/an, qui est entendu comme énergie électrique. A titre de vérification, le même calcul d'analogie pour Nyon donnerait une valeur de 86 GWh (le Genevois français contient l'équivalent de 38% des emplois du canton de Genève) qui se situe dans le même ordre de grandeur. On conservera donc la valeur de **70 GWh/an pour la consommation électrique liée à la climatisation.**

Réserves et hypothèses

Les auteurs admettent que la consommation d'énergie de refroidissement se modifie proportionnellement au nombre de degrés-jours de refroidissement[63].

En raison du manque de données disponibles, les auteurs ont renoncé à faire une différenciation entre les impacts durant une vague de chaleur et ceux sur toute l'année. L'augmentation du besoin en énergie de refroidissement est donc prise en compte pour toute l'année (et pas uniquement durant les vagues de chaleur).

Pour la monétarisation, on admet un prix de l'électricité de 0,16 CHF/kWh pour la Suisse (base SIG) et de 0.11 EUR/kWh sur France.

[63] Le parc bâti évoluera certainement vers plus d'efficience, même si la rénovation du parc bâti ne sera pas complète d'ici 2060. A noter cependant que la méthode la méthode d'analyse utilisée ne prend pas directement en compte ces aspects. L'évaluation doit être faite sans intégrer les mesures d'adaptation afin de simuler les impacts maximaux en cas d'absence de mesures.

Impacts qualitatifs

Compte tenu des éléments avancés plus haut, l'impact des changements climatiques sur le potentiel thermique du système Léman-Rhône-Arve est considéré comme négligeable. Autrement dit, ces impacts devraient être nettement plus faible que la somme des autres coûts quantifiés et estimés dans le domaine d'impact Energie.

Impacts quantitatifs

Selon les données disponibles, la consommation actuelle d'énergie électrique pour le refroidissement de bâtiments et son coût annuel moyen sont les suivants :

Tableau 31 : Consommation et coûts de l'électricité pour la climatisation

	Consommation d'électricité pour la climatisation [GWh]	Coûts de l'énergie	Monnaie
Canton de Genève	225	36'000'000	CHF
District de Nyon	29	4'640'000	CHF
Genevois français	70	7'700'000	EUR
		9'240'000	CHF

Consommation d'électricité pour la climatisation et coûts correspondants par secteur (sources détaillées plus haut)

Compte tenu des grandes incertitudes sur les données de consommation spécifique d'énergie de refroidissement, l'imprécision est considérée comme élevée. En particulier, le recensement des autorisations de climatisation n'inclut pas les installations illégales, potentiellement nombreuses. L'incertitude est donc estimée à 50%. S'agissant de la modification du nombre de degrés-jours de refroidissement d'après les deux scénarios, les auteurs admettent une incertitude plutôt faible de l'ordre de 10%. Sur la base de ces hypothèses, le facteur d'incertitude pour la situation actuelle dans son ensemble est donc de 3.

Avec le scénario *faible amplitude*, on admet que la consommation d'énergie actuelle et les coûts qui y sont liés augmentent de 56%. Avec le scénario *grande amplitude*, la hausse est de 143%. Si l'on admet que l'augmentation de la consommation d'énergie de refroidissement est proportionnelle (INFRAS/Egli Engineering 2015a), on obtient les coûts annuels moyens suivants pour les deux scénarios.

Tableau 32 : Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

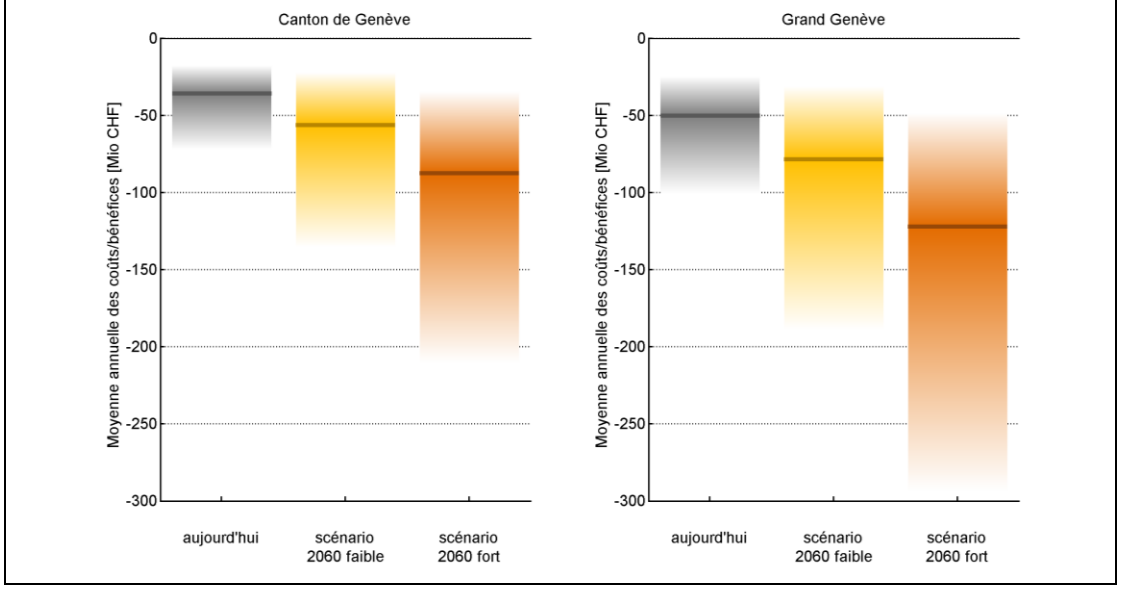
Aujourd'hui /Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-36	3
Scenario faible	-57	3
Scenario fort	-88	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Energie et facteurs d'incertitude correspondants (canton de Genève)

Tableau 33 : Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève) Evènement moyen annuel Mio. CHF		
Aujourd'hui /Scénario	**coûts/bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui	-50	3
Scenario faible	-80	3
Scenario fort	-123	3

Coûts et bénéfices 2060 causés par les vagues de chaleur dans le domaine d'impact Energie et facteurs d'incertitude correspondants (Grand Genève sans canton de Genève)

Figure 53: Coûts/bénéfices annuels moyens dus aux vagues de chaleur



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

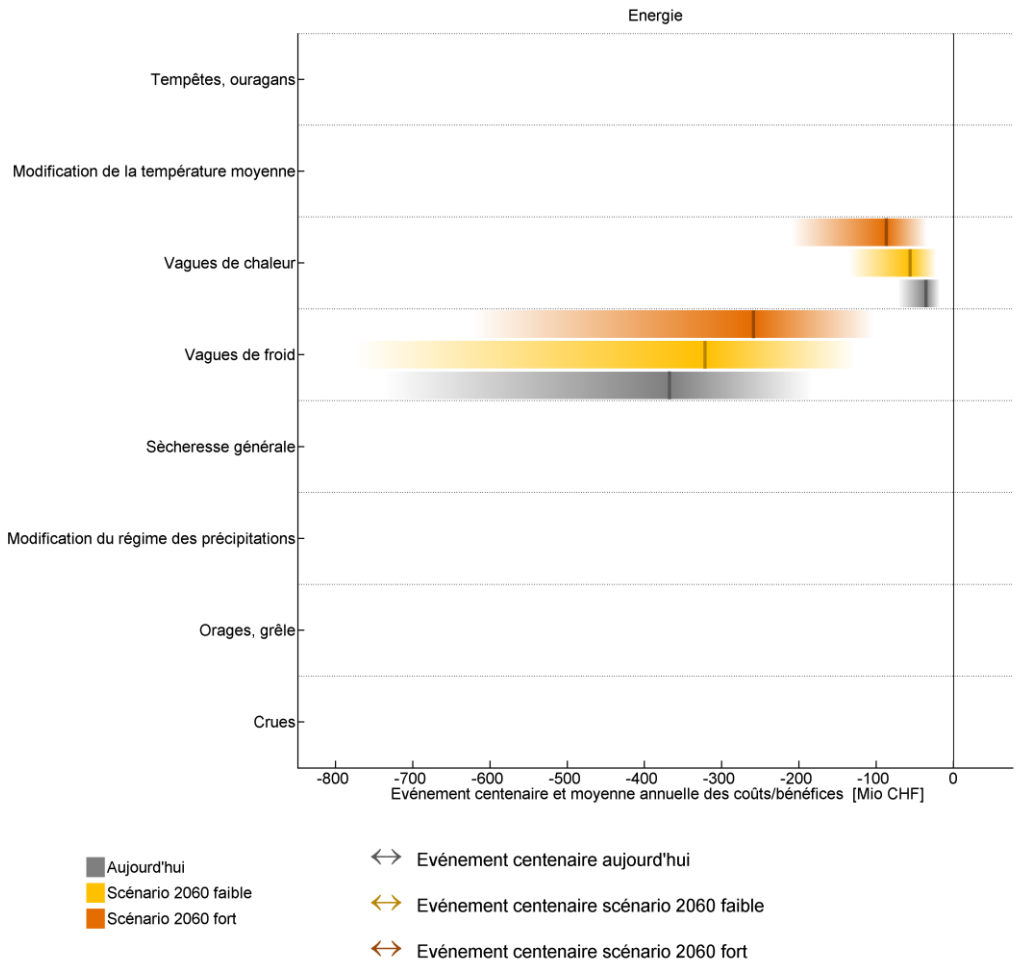
5.5.2. Synthèse du domaine d'impact Energie

Coûts et bénéfices aujourd'hui et en 2060 pour tous les aléas et effets pertinents

Au niveau de la production d'énergie, aucun impact significatif n'a été identifié.

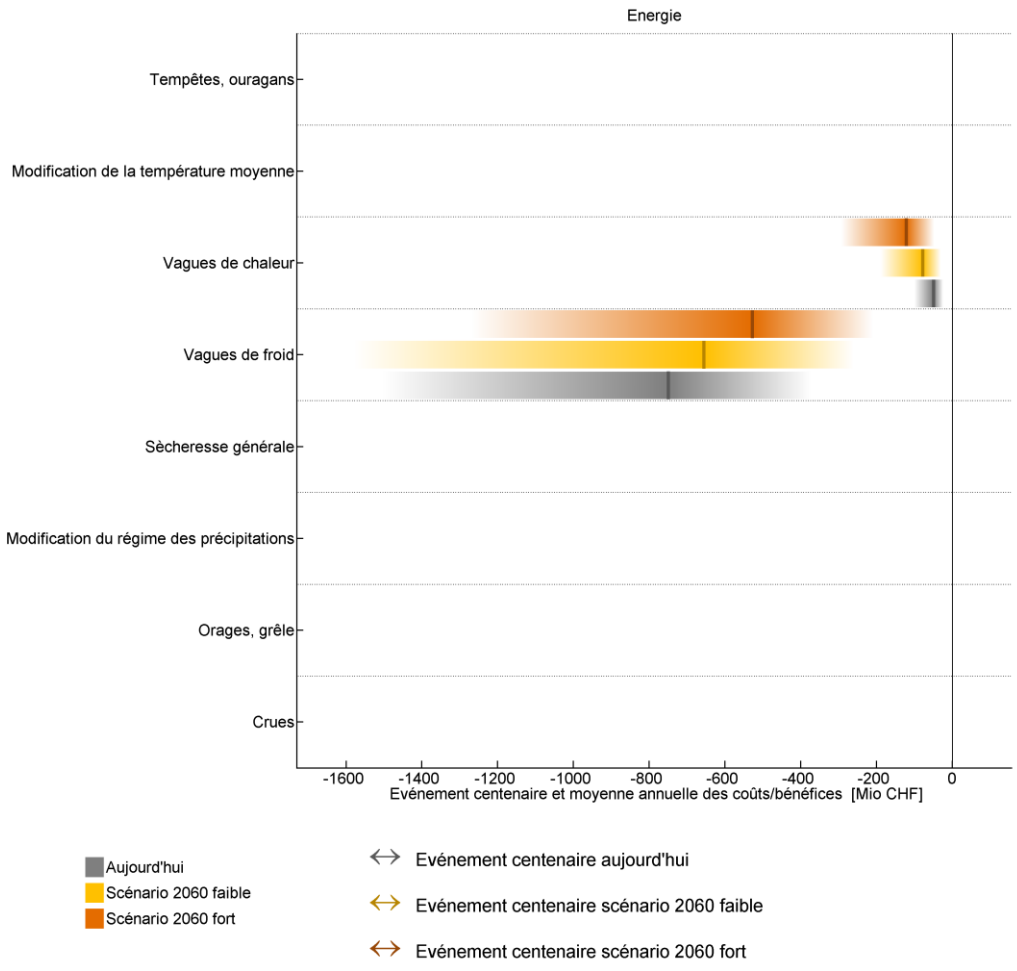
Les impacts dans le domaine de la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation ont été examinés en procédant à une évaluation quantitative. L'illustration ci-dessous montre que c'est dans le domaine de la consommation d'énergie de chauffage qu'il faut s'attendre aux gains les plus importants (jusqu'à 30%). L'augmentation de la consommation d'énergie liée à la climatisation en été est de moins grande amplitude que la diminution de la facture énergétique du chauffage. Le bilan des effets liés à la modification des températures dans le domaine de la consommation d'énergie des bâtiments est donc dans l'ensemble nettement positif, tant pour le canton de Genève que pour le Grand Genève.

Figure 54: Coûts et bénéfices annuels moyens dans le domaine Energie (canton de Genève)



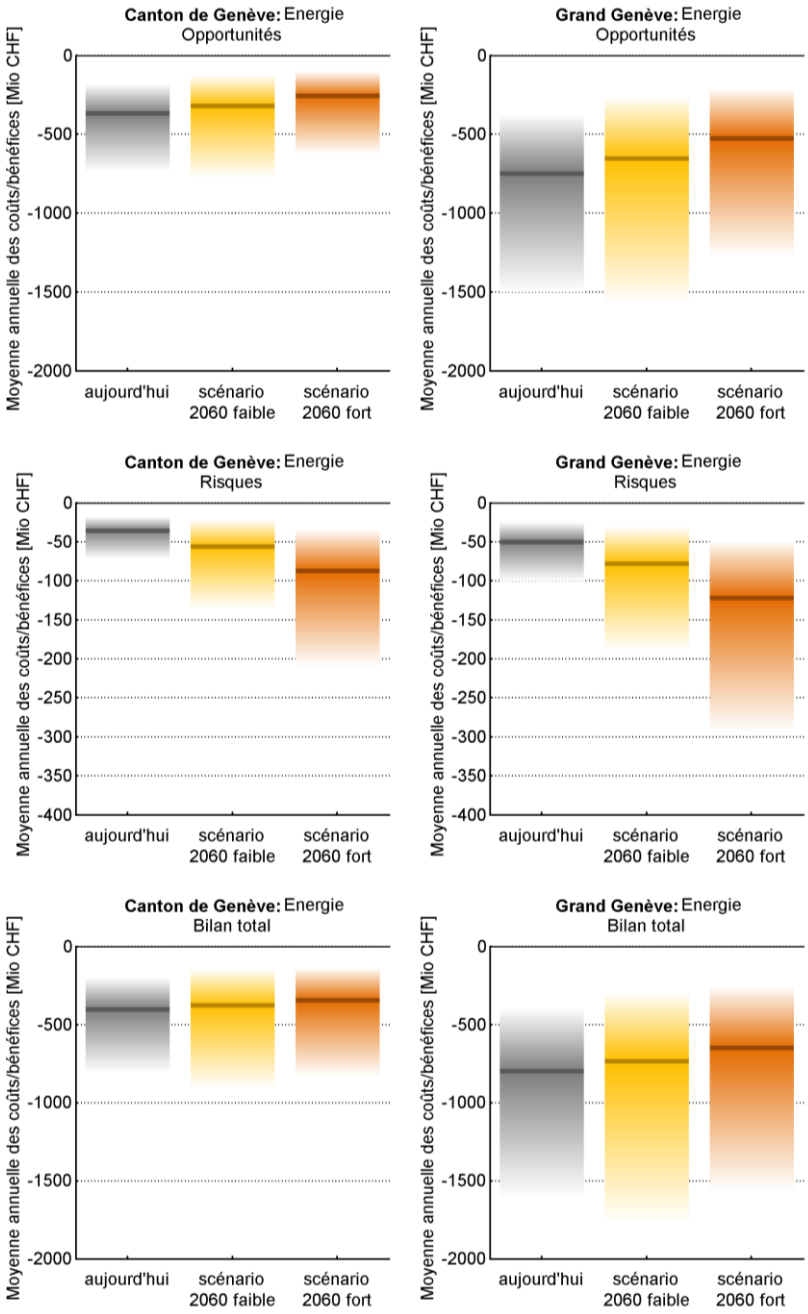
Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

Figure 55: Coûts et bénéfices annuels moyens dans le domaine Energie (Grand Genève)



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

Figure 56: Bilan total dans le domaine Energie



Les données ne montrent pas le changement mais les valeurs absolues.

- **Opportunités**

Les changements climatiques pourraient entraîner des impacts positifs dans le domaine de la consommation d'énergie de chauffage. Ce résultat concorde avec les résultats d'une autre étude de référence (CH2014-Impacts) qui conclut que la diminution des degrés-jours de chauffage apportera des gains économiques, certes de faible ampleur, même avec la prise en compte de l'effet rebond.

D'après les données analysées dans la présente étude, l'élévation de la température moyenne et la diminution de la durée et de l'intensité des vagues de froid entraînent à l'horizon 2060 une réduction nette de 30% des coûts de chauffage, soit en valeur absolue:

- Canton de Genève : économie de CHF 110 millions (*scénario grande amplitude*)
- Grand Genève : économie de CHF 226 millions (*scénario grande amplitude*)

Ces résultats doivent être interprétés avec la plus grande prudence pour les raisons suivantes :

- La production de l'énergie et les prix de l'énergie sont dépendants de **facteurs conjoncturels nombreux et complexes** - qui n'ont pas été intégrés dans le calculs en raison des exigences de la méthode utilisées - alors que leur impact sera probablement supérieur à celui des changements climatiques (cf. scénarios socio-économiques §5.5.3).
- Le potentiel d'économie calculé ci-dessus est infime au regard des **efforts d'assainissement du parc de bâtiments – qui s'élèvent à plusieurs dizaines de milliards de francs** pour le territoire étudié – **à engager rapidement afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre et limiter autant que possible l'ampleur des changements climatiques.**

- **Risques**

L'augmentation des périodes de canicule entraîne une augmentation des besoins en énergie de climatisation. Il faut s'attendre à ce que les coûts annuels moyens augmentent d'environ :

- Canton de Genève : augmentation de CHF 52 millions (*scénario grande amplitude*)
- Grand Genève : augmentation de CHF 73 millions (*scénario grande amplitude*)

- **Bilan total**

Etant donné que, en valeur absolue, les effets liés à la modification des températures sont supérieurs dans le domaine de la consommation d'énergie de chauffage, les impacts analysés quantitativement sont positifs. Le bilan total des opportunités (chauffage) et des risques (climatisation) est le suivants :

- Canton de Genève : économie de CHF 57 millions (*scénario grande amplitude*)
- Grand Genève : économie de CHF 152 millions (*scénario grande amplitude*)

Enfin, l'analyse qualitative des impacts sur la production hydroélectrique (crues et régime de précipitation) a démontré qu'aucune influence significative n'est à prévoir en l'état des connaissances, notamment en raison des incertitudes entachant les modifications attendues du régime des débits. En outre, l'impact des changements climatiques sur le potentiel hydrothermique (chaleur ambiante) du système Léman-Rhône-Arve est considéré comme négligeable.

5.5.3. Scénarios socio-économiques dans le domaine de l'énergie en 2060

La consommation et la production d'énergie dépendent toutes deux fortement des différentes évolutions socio-économiques. Le développement très important attendu des énergies renouvelables – notamment de la géothermie, du solaire thermique et photovoltaïque et de la récupération des rejets de chaleur – changera significativement le profil énergétique de la région. L'évolution de la production d'énergie dépend en outre fortement de l'évolution du marché de l'électricité. Le développement et la promotion des énergies renouvelables exigent, à long terme, une réorganisation en profondeur du marché de l'énergie, ce qui implique aussi des changements en termes de prix.

Ainsi, on estime que, **dans le domaine de la production d'énergie, les impacts socio-économiques seront nettement plus élevés que les modifications dues aux changements climatiques.**

Du point de vue de la consommation, l'évolution technologique, **l'assainissement du parc immobilier et la croissance démographique auront un impact très important**. Les différents engagements pris par les collectivités et l'évolution de l'état de la technique doivent permettre de réduire l'empreinte énergétique.

A titre d'exemple, la Conception générale de l'énergie du Canton de Genève prévoit déjà pour 2035 une diminution de 37% (par rapport à 2000) de la consommation d'énergie spécifique par habitant pour le chauffage. Par extrapolation de cette même tendance (indicatif), la réduction en 2060 serait de 60%. La forte croissance de la population (estimée à titre indicatif à +68% en 2060) contrecarrera en partie les économies d'énergie dues aux changements climatiques. En guise de comparaison, le gain économique lié à l'augmentation des températures moyennes quantifié dans cette étude est de 13% à 30% en 2060 (resp. scénario faible et fort).

En outre, les scénarios de consommation sont aussi fortement influencés par l'évolution des prix de l'énergie. Enfin, en ce qui concerne les besoins de climatisation, ceux-ci dépendent beaucoup des exigences de confort des utilisateurs et de l'évolution des comportements, de la législation et de l'évolution des techniques architecturales et de refroidissement.

Dans le domaine de la consommation d'énergie, les modifications socio-économiques attendues seront donc également supérieures à celles des changements climatiques.

Dans les travaux de planification énergétique à venir, il serait cependant intéressant d'intégrer l'influence – bien que moindre – des changements climatiques, tout en identifiant clairement la contribution des autres hypothèses d'évolution des consommations énergétiques (population, évolution technique, coûts, etc.).

Références du sous-chapitre 5.5

ACQWA 2012: Assessing Climate impacts on the quantity and quality of Water, Consolidated scientific findings of key impacts of climate change on water resources, aquatic ecosystems and sectoral users, M. Hill, M. Beniston, M. Stoffel, 2012, http://www.acqwa.ch/docs/deliverables/ACQWA_D.Policy.5a.pdf

Aebischer 2006 : Aebischer B., G. Henderson and G. Catenazzi (2006). Impact of climate change on energy demand in the Swiss service sector - and application to Europe. In Bertoldi P. and B. Atanasiu (editors), "Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings". Proceeding of the International Conference IEECB'06, Frankfurt, Germany, 26 / 27 April 2006. European Communities, EUR 22316 EN, ISBN 92-79-02748-4 http://www.cepe.ethz.ch/publications/Aebischer_IEECB_06_paper_9-3-06.pdf

BRETHAUT 2013 : BRETHAUT Christian. Transboundary management of the Rhône : Governance analysis and climate modeling as tools to support policy making processes in a climate of change. In: University College workshop on Integration of Spatial Decision Support Systems and Evidence Based Modelling in National/Regional Policy Applications and Regulatory Systems: Scientific and Policy Challenges, Dublin (Irland), 10-12 juillet 2013, 2013

Brunner et al. 2007: Conrad U. Brunner, Urs Steinemann, Jürg Nipkow, Bauen, wenn das Klima wärmer wird. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfS), 2007

BS 2011: Endbericht, Energetische Optimierung des Kantons Basel-Stadt Studie im Auftrag des Kantons Basel-Stadt 2009 – 2011, EKP Energie-Klima-Plan GmbH, Fachhochschule Nordhausen, Universität Liechtenstein, seecon gmbh im Auftrag des Kantons Basel-Stadt (BS), Basel 2011

CH2014-Impacts (2014): Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland, published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

Ecofys 2011 : Kjell Bettgenhäuser, Thomas Boermans, Markus Offermann, Anja Krechting, Daniel Becker, Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung, Ecofys Germany GmbH, Köln im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), 2011

EDF-CEMAGREF, 2008 : Les constats et les prévisions d'évolution de l'hydrologie et de la température des cours d'eau, Colloque HYDROECOLOGIE, 16-17 Octobre 2008 http://innovation.edf.com/fichiers/fckeditor/2.2-Sauquet%20Hendrickx.pdf

Explore 2070, Impacts possibles du changement climatique sur les eaux de surface, Résultats et premiers enseignements, http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Explore2070_Hydrologie_de_surface_240513.pdf

FAESSLER, 2011 : FAESSLER Jérôme. Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 2'000W. Thèse de doctorat : Univ. Genève, 2011, no. Sc. 4336

GouvRhône 2014 : , V. Ruiz, M. Stoffel,: Sous-étude changements climatiques, Lyon, 10.04.2014

http://www.unige.ch/environnement/polet/research/gouvress/gouvrhone/GOUVRHONE_RUIZ_STOFFEL_PDF.pdf

HOLLMULLER 2014 : HOLLMULLER, Pierre, FAESSLER, Jérôme, LACHAL, Bernard Marie. Enjeux de la climatisation au niveau territorial : le cas de Genève. In: 18. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt». 2014.

Infras 2014 : Fallstudie Basel, BAFU, 2014

INFRAS/Egli Engineering 2015a: Klima, Gefahren und Effekte – Herleitung für die Agglomerationsfallstudien. INFRAS und Egli Engineering AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt – BAFU.

Kirchner und Matthes et al. 2009: Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Eine Studie im Auftrag des WWF Deutschland. Basel/Freiburg, Prognos AG, Ökoinstitut, 495

MANECO 2014 : Bilan Carbone territorial du canton de Genève, Maneco, 2014

Prognos 2012: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050, Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem. Prognos AG im Aufrtrag des Bundesamtes für Energie (BfE), Basel 2012

Prognos/Infras/TEP 2013: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2012 nach Verwendungszwecken, Prognos AG, Infras AG, TEP Energy GmbH im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE). 2013.

SIG, 2011 : HOLLMULLER, Pierre, HUNZIKER, Stefan Michael, LACHAL, Bernard Marie. Enjeux de la climatisation au niveau genevois et tour d'horizon de possibles alternatives. [Mandate from:] SIG. Genève

SIG/SFMCP 2014 : Evaluation des scénarios de gestion sédimentaire pour le Rhône genevois, Comité technique franco-suisse sur la gestion sédimentaire sur le rhône genevois et le haut-rhône francais, SIG/SFMCP, octobre 2014

5.6. Domaine d'impact Infrastructures et bâtiments

Situation actuelle et lien avec les changements climatiques

Les impacts des changements climatiques sur les infrastructures et les bâtiments ont été étudiés dans une étude de référence (OcCC / ProClim 2007). Cette étude identifie **les inondations, les orages, la grêle et les tempêtes** comme étant les aléas qui présentent le plus gros potentiel de dommages pour les bâtiments et les infrastructures des agglomérations.

Les scénarios climatiques pour 2060 prévoient des précipitations plus fréquentes et plus intenses (notamment sous forme de grêle ou de « pluie tropicale »). Par ailleurs l'élévation de la limite pluie-neige augmentera la taille des bassins versants recueillant des précipitations liquides et ainsi des débits de pointe des cours d'eau (p.ex. Arve). Une **augmentation des risques d'inondations est donc prévisible**, soit en cas de crue de rivière mais également – et de façon non négligeable – en cas de saturation ponctuelle des réseaux d'évacuation des eaux.

Les statistiques des assurances montrent que les tempêtes et la grêle causent chaque année des millions de francs de dégâts aux bâtiments tant à l'échelle mondiale qu'à l'échelle du Grand Genève et du canton de Genève. Il faut donc s'attendre à une **hausse des coûts** en cas de dégâts liés aux orages et aux inondations. A noter également que l'augmentation de la surface utile dans les sous-sols rend les bâtiments exposés plus vulnérables.

En ce qui concerne les tempêtes, il faut s'attendre à une augmentation dans le nord de l'Europe et à une diminution dans le sud, si bien qu'aucun pronostic solide ne peut être établi pour la Suisse, et encore moins à l'échelle du périmètre du Grand Genève. On procédera donc à une analyse de sensibilité pour cet aléa.

Les données quantitatives sur les dommages des aléas climatiques ont été obtenues auprès de l'Association Suisse d'Assurances (ASA, www.svv.ch/fr) et de la Fédération française des sociétés d'assurances (FFSA, www.ffsa.fr). Les données ASA reçues couvrent la période 2001 à 2013 et les données FFSA, la période 1982-2012.

L'ASA regroupe 85% des assureurs et les données transmises couvrent environ 90% des sinistres. On a donc considéré que les données reçues devaient être augmentées de 33% pour être représentatives de la réalité des dommages sur le canton de Genève.

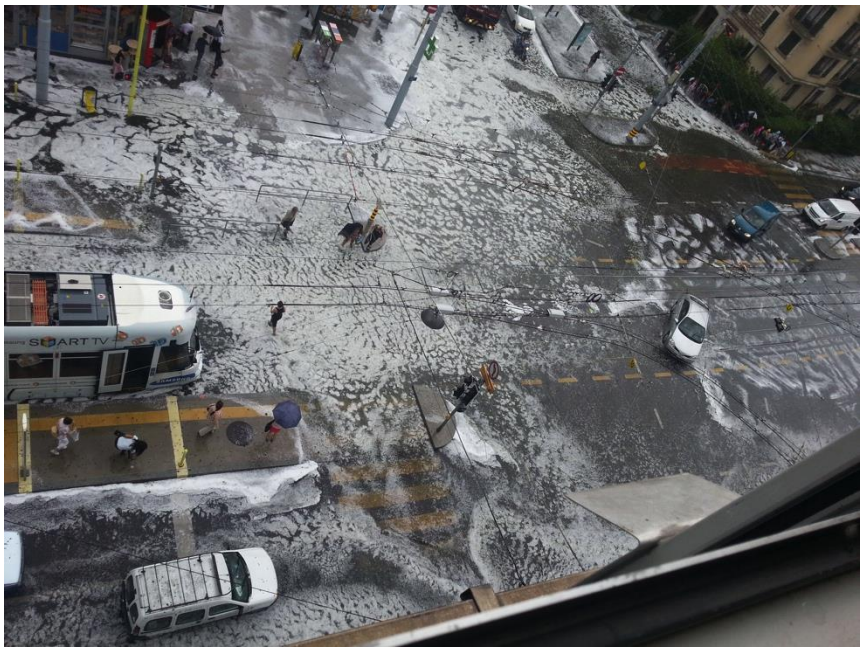
La série de données obtenue auprès de l'ASA couvre la période allant de 2001 à 2013. Sur cette période, un total de 108 millions de francs de dommages ont été causés par les aléas climatiques, dus à 99% par les trois éléments suivants : **grêle** (39%), **tempête de vent** (32%) et **inondations** (28%). Cette réalité est extrapolable à l'ensemble du Grand Genève.

Les données issues de la FFSA sont fortement agrégées. Elles fournissent par département la sinistralité cumulée et l'indemnité moyenne pour les deux couvertures d'assurance suivantes :

- la garantie tempêtes, grêle, neige (TGN),
- le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles dit « CatNat » qui couvre essentiellement les inondations et les phénomènes de retraits argileux liés à la sècheresse.

Ces chiffres nous apprennent que la sinistralité des départements de l'Ain et de Haute-Savoie est généralement faible et sans évolution significative depuis les années 80 (FFSA-TGN 2014, FFSA-CATNAT 2014). Les indemnités moyennes permettent théoriquement d'obtenir des estimations de dommages par multiplication avec le nombre d'habitations. Mais compte tenu des caractéristiques très hétérogènes des départements partiellement inclus par le territoire du Grand Genève, les auteurs ont renoncé à utiliser cette approche. En raison d'une disponibilité de données plus limitée sur les dommages assurés en France, on procédera donc au besoin par analogie à partir des données suisses.

Figure 57 : Evénement du 20 juin 2013, canton de Genève



Evènement orageux violent avec grêle à Genève le 19 juillet 2013 (source : www.signegeneve.ch)

Le croisement des données avec les dates d'événements climatiques majeurs sur la période permet de mettre en évidence (les coûts sont ceux du canton de Genève):

- L'orage avec forte grêle du 20 juin 2013 provoquant également de nombreuses inondations par saturation des canalisations causant près de CHF 30 millions (données ASA seulement) de dommages dus à la **grêle**.

- L'évènement de pluie très important survenu le 15 novembre 2002 ayant causé la saturation du réseau d'évacuation et des dommages aux bâtiments dus aux **inondations** dans le village de Lully de près de 13 millions de CHF (données ASA seulement).
- L'année 2005 où deux épisodes de **tempête** de moyenne ampleur ont traversé la région (26 janvier et 18 juillet) provoquant ensemble 11 millions de CHF de dégâts (données ASS seulement). A noter que le bilan des dommages dus au seul passage de Lothar en 1999 s'élève à 600 millions de CHF pour l'ensemble de la Suisse, ce qui, rapporté à la valeur du parc immobilier genevois (5% du parc suisse[64]), correspond à 30 millions de CHF. Cette valeur sera utilisée pour un événement de tempête centennal.

Parmi les événements extrêmes rares, l'analyse des données disponibles (données ASS 2001-2013) montre que ceux impliquant **la grêle** représentent **de loin le plus grand risque matériel** compte tenu de l'ensemble des aléas et effets examinés dans le domaine des bâtiments.

Les analyses des chapitres suivant portent **essentiellement sur les bâtiments**. En effet, contrairement aux régions alpines, les infrastructures du Grand Genève semblent globalement moins vulnérables aux aléas climatiques. D'importantes incertitudes existent cependant à ce sujet en raison de l'absence d'événement extrême au cours des dernières décennies. Selon la direction du génie civil de l'Etat de Genève (Thierry Michel, DGC/GE, août 2014), les mesures suivantes permettent de limiter fortement les risques de dommages :

- Les routes, voies ferroviaires et autres ouvrages de génie civil (ponts, tunnels,…) sont dimensionnés pour résister à de fortes variations de température et, en particulier, les ponts sont dimensionnés pour résister à une crue millénale.
- Les risques de chutes d'arbres en cas de tempête sont minimisés dans la mesure où le canton se charge de sécuriser tout arbre situé à moins de 30 mètres d'une chaussée.

Plusieurs infrastructures d'importance régionale font exceptions à l'affirmation précédente :

- L'aéroport international de Genève (AIG) recense CHF 1'700'000 et CHF 340'000 de dommages assurés causés par des grêles ou tempêtes sur leurs bâtiments pour les années 2012 et 2013 respectivement (email de D. Teuscher du 8.10.14). Les auteurs partent du principe que ces coûts sont inclus dans les données de l'ASA.
- La gare de triage de la Praille - porte d'entrée logistique importante - qui n'a pas fait à ce jour l'objet d'une évaluation des risques naturels au sens large. Elle est cependant incluse dans l'évaluation du secteur en cas de crue de L'Aire (cf. sous-chapitre « Crues » plus bas).

Sur les territoires français du Grand Genève au relief plus escarpé et donc davantage concernés par l'impact des aléas sur les infrastructures, notamment en raison des mouve-

[64] https://www.wuestundpartner.com/fr/publikationen/publikationen-schweiz/immobilienmarkt-schweiz.html

ments/glissements de terrain ou aux chutes de blocs. Une étude du SM3A a cependant montré par modélisation que les dommages dus aux inondations pour les réseaux de transport sont infimes (<1%) comparativement à ceux causés aux bâtiments d'habitations et d'activités - et ce même dans la partie supérieure de la vallée de l'Arve (SM3A 2012).

D'autres études existantes portant sur les régions de montagne (INFRAS/Egli Engineering AG 2014) fournissent d'autres résultats intéressants. Par exemple, l'étude menée sur le canton d'Uri a montré que l'augmentation des dommages due aux changements climatiques sur les infrastructures de transport est modérée (7% avec le scénario fort). L'étude conclut que l'influence des mesures de protection et le développement socio-économique ont un impact nettement plus important sur les risques que les changements climatiques en eux-mêmes. Elle préconise que le dimensionnement des mesures de protection tienne compte des conditions futures afin de garantir qu'en cas d'événement extrême, ces mesures fonctionnent ou du moins qu'elles ne péjorent pas la situation.

Pour ces différentes raisons, les chapitres suivants se focalisent surtout sur **les dommages causés aux bâtiments du cœur de l'agglomération**, qui par ailleurs sont mieux recensés puisqu'ils sont couverts par les assurances (contrairement aux infrastructures).

5.6.1. Analyse des aléas et effets en 2060

Comme présenté dans la matrice de pertinence au chapitre 5.1, les aléas et effets sont analysés quantitativement ou qualitativement en fonction de leur pertinence pour le domaine d'impact en question et de la disponibilité de données. La prise en compte du résultat des analyses qualitatives est explicitée dans le chapitre méthodologique (cf. Chapitre 3).

Tableau 34 : Aperçu des aléas et effets analysés dans le domaine d'impact Infrastructures et bâtiments

Aléas/effets:	Impacts analysés quantitativement	Impacts analysés qualitativement
Crues	Dégâts aux bâtiments et aux infrastructures de transport (routes, rail, navigation)	
Orages / Grêle	Dégâts aux bâtiments dus à la grêle et aux eaux de surface	
Tempête/ouragan	Dégâts aux bâtiments et aux infrastructures	
Chutes de neige	Diminution des besoins de déneigement 30%	

a) Infrastructures et bâtiments: crues

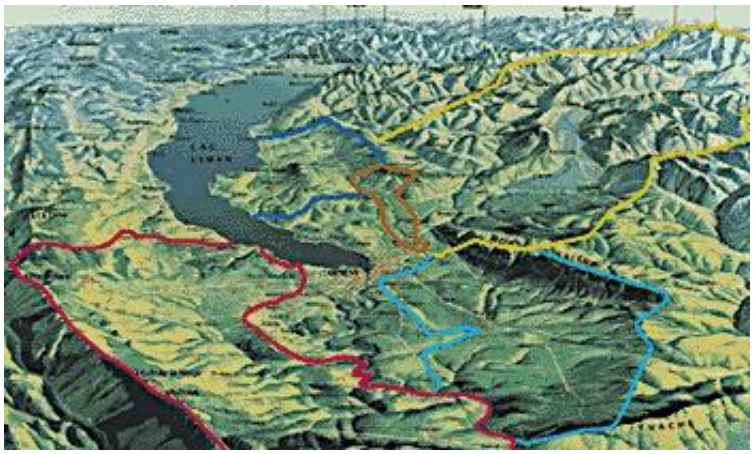
Domaines analysés et disponibilité des données

Ce sous-chapitre vise à analyser **les dégâts subis en cas de crue** par les bâtiments et les infrastructures.

La majorité des cours d'eau du Grand Genève sont transfrontaliers (Figure 58) : ils naissent en France sous forme de torrents ou rivières de montagne avec un régime d'écoulement semi-torrentiel et ont une confluence dans la plaine genevoise en Suisse. Cette situation a un impact direct tant sur la question de disponibilité de la ressource que sur la vulnérabilité aux inondations.

Une efficace collaboration transfrontalière existe depuis 1997 entre la France et la Suisse (récemment réaffirmée par le « protocole d'accord transfrontalier sur l'eau » du 3 décembre 2012 pour une durée de 15 ans). Elle se concrétise à travers plusieurs outils de planification :de nombreux « contrats de rivière » (voir ci-après), le contrat de territoire entre Genève et le chablais français, les contrats corridors transfrontaliers (qui intègrent en partie la dimension eau), le programme d'actions et de prévention des inondations de l'Arve (PAPI), etc.

Figure 58 : Bassins versants et contrats de rivière transfrontaliers de la région genevoise



Bassins versants des différents contrats de rivière transfrontaliers de la région genevoise (source : ge.ch/eau)

Les contrats de rivières sont des accords techniques et financiers, couvrant l'ensemble d'un bassin versant de une ou plusieurs rivières. Assainissement, lutte contre les crues, gestion de la ressource et revitalisation du cours d'eau sont étudiés; des objectifs sont fixés et des actions proposées. Chaque contrat est passé entre les collectivités locales concernées (maîtres d'ouvrage) et leurs partenaires : l'Etat, la région, le département, l'Agence de l'eau (organisme public dépendant de l'Etat) ainsi que les usagers (industriels, agriculteurs, fédérations de pêche, associations écologiques…)[65]. Cinq contrats sont actuellement en vigueur :

- Contrat de rivières du sud-ouest lémanique
- Contrat de rivières du pays de Gex

[65] http://ge.ch/eau/cours-deau/contrats-de-rivieres

- Contrat de rivière du Foron
- Contrat de rivières du Genevois (entre Arve et Rhône)
- Contrat de rivière Arve

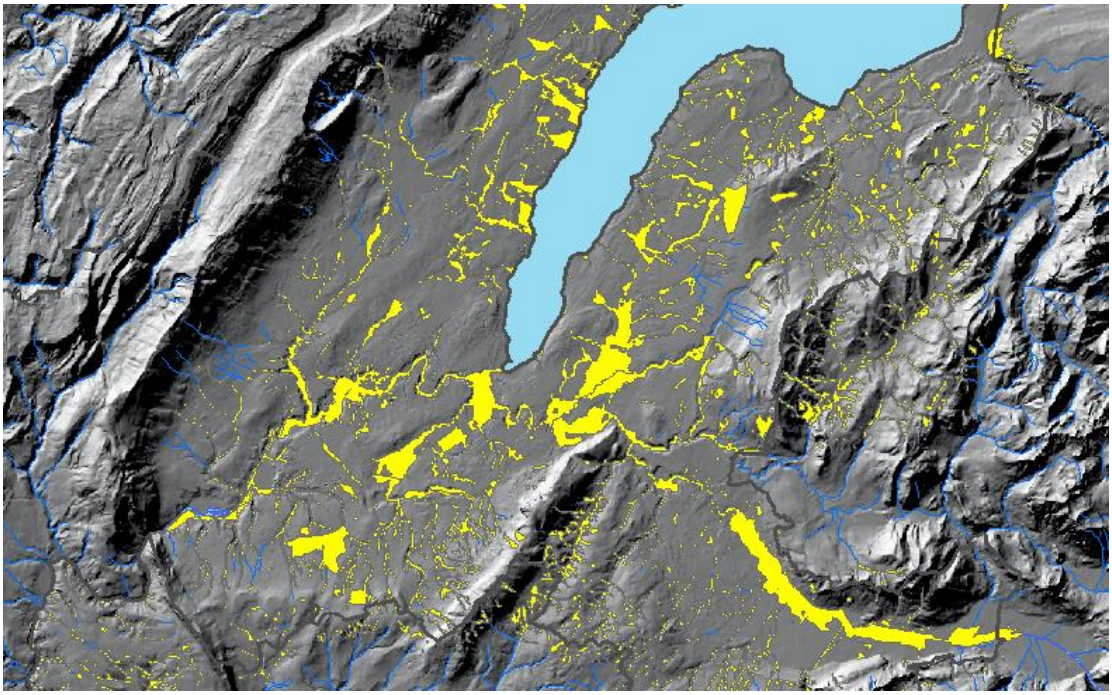
Dans **le canton de Genève**, le SPAGE (schéma de protection, d'aménagement et de gestion des eaux) est un outil destiné à planifier la gestion intégrée des eaux par bassin versant qui permet à l'Etat de coordonner les actions dans le domaine de la gestion des eaux. Les SPAGE sont élaborés par bassin versant basés sur des critères hydrologiques et dépassent les frontières cantonales. Chaque bassin versant s'étend sur le territoire français et/ou vaudois dans sa partie amont. Des passerelles avec la France sont effectuées au travers des contrats de rivière et des SAGE (pour l'instant celui de l'Arve).

Côté français, les outils de planification sont les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) qui découlent à plus large échelle du SDAGE Rhône – Méditerranée (SDAGE 2009). Sur **le Grand Genève**, le SAGE en vigueur est celui du bassin de l'Arve [66] – qui couvre 2164 km^2 – et dont la gestion est assurée par le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Abords, le SM3A.

La démarche d'évaluation des risques liés aux crues est globalement bien avancée tant au niveau du canton de Genève qu'à l'échelle de l'ensemble du Grand Genève à travers l'élaboration de cartes de dangers, avec différents niveaux de détail selon les secteurs. Ces informations ont été regroupées par les responsables du Grand Genève pour l'ensemble du territoire (Figure 59).

[66] http://www.riviere-arve.org/outils/sage-bassin-versant.htm

Figure 59 : Carte de synthèse indicative des dangers dus aux crues



Carte de synthèse indicative des dangers dus aux crues (GeoAgglo, 2014)[67]

La carte de la Figure 60 montre les zones à risque d'inondation sur le secteur Etrembières-Jonction et les emprises pour des crues de différents temps de retour lorsque celles-ci ont été modélisées.

L'analyse qualitative de l'historique des sinistres montre que les cas de crues à proprement parler sont rares dans l'histoire plus ou moins récente du Grand Genève. Les derniers événements en dates sont (à noter que les coûts de dommage de ces événements ne sont pas inclus dans les données statistiques à dispositions) :

- La crue du Borne (affluent l'Arve à l'amont de Bonneville) du 14 juillet 1987 qui a causé environ 23 morts en détruisant un camping.
- Le débordement de la Seymaz en 1979 au niveau du chemin de la Montagne.

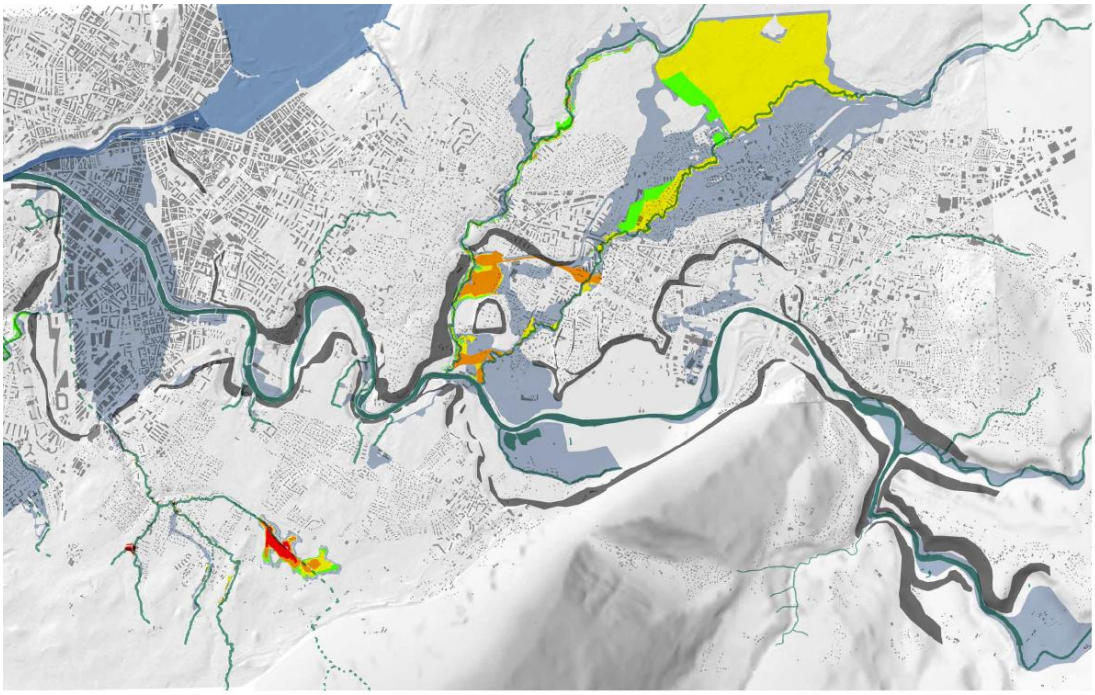
Les cas d'inondation par saturation du réseau ou ruissellement de surface sont plus fréquents (cf. sous-chapitre orage plus bas).

De nombreuses actions menées au cours des deux dernières décennies ont permis de réduire les risques notamment autour du Foron, de la Seymaz et de la plaine de l'Aire. Renaturation de rivière, zones inondables temporaires en amont, revêtements favorables à l'infiltration

[67] Plus d'information sur cette carte: http://ge.ch/sitg/sitg_catalog/data_details/97632EDE-0067-4461-973E-DD6DB99BE143/xhtml

et volumes de rétention obligatoires sur les projets de construction sont des mesures courantes soutenues par les collectivités.

Figure 60 : Exemple de carte transfrontalière des zones inondables pour différents temps de retour



Exemple de carte des zones inondables pour différents temps de retour sur la rive gauche autour des affluents Arve, Drize, Seymaz, Foron et Menoge (Source: HEPIA 2013)

S'il n'existe pas d'études à l'échelle de l'ensemble du territoire sur l'estimation des dommages en cas de crues centennales ou extrêmes, quelques éléments d'analyse peuvent cependant être mentionnés ici :

- La gestion des risques de la DGEau ne se base pas sur une évaluation du potentiel de dommages mais sur la matrice cantonale d'objectifs de protection contre les crues (Figure 61) qui détermine le niveau d'inondation toléré en fonction de la sensibilité d'un site donné.
- Dans le cadre des réflexions autour de la nouvelle **gestion sédimentaire du Rhône** (cf. Chapitre 5.5), des études sont en cours pour déterminer l'impact d'une accumulation plus importante de sédiments sur la **remontée des lignes d'eau du Rhône, de l'Arve et du lac Léman**, sur les niveaux des nappe d'accompagnement (inondation de caves) et sur la saturation du réseau d'évacuation (SIG/SFMCP 2014). La problématique de la gestion sédimentaire est complexe puisqu'elle est à l'interface d'enjeux hydrologiques, énergétiques, économiques et environnementaux (production des barrages, impacts écologique des éclusées, etc.). Le scénario privilégié actuellement vise à garantir un niveau de comblement de

la retenue de Verbois qui permet d'assurer une protection optimale des biens et des personnes, moyennant des mesures de protection raisonnables.

- Le **charriage dans l'Arve** risque à terme de causer un problème significatif de sécurité dans le centre urbain. Comme évoqué au chapitre 5.5 (production d'énergie), le changement climatique est susceptible de modifier également les apports de matériaux solides, même s'il n'est pas possible aujourd'hui de le quantifier. Par ailleurs, les actions de dragage en amont dans la rivière de L'Arve suspendues depuis quelques années augmente les apports de matériaux. L'augmentation des flux de sédiments, naturels ou artificiels, peuvent **provoquer des dépôts important dans le dernier secteur urbain de l'Arve**, faisant ainsi remonter les niveaux d'eau, d'où une capacité réduite du cours d'eau, et un risque d'inondation plus fort. Cet aspect fait l'objet d'études et d'une attention particulière, et des mesures seront décidées dans les années à venir avec l'objectif de permettre un charriage naturel, mais limité à un niveau respectant les objectifs de protection contre les crues.
- Certains **tronçons sur le Rhône genevois en aval de la Jonction** peuvent aussi voir un exhaussement important de leurs lignes d'eau. En particulier, les usines chimiques de Givaudan (retenue de Verbois) et de Firmenich (retenue de Chancy-Pougny) peuvent également être atteintes (SIG/SFMCP 2014). Les scénarios qui seront mis en œuvre doivent tenir compte de ces risques de dommages importants.
- Au centre de Genève, les risques de dommages potentiels les plus importants sont liés à une **crue extrême de l'Arve au niveau de la Jonction et de la Praille** mais aucune étude de dommages potentiels n'a été menée pour l'instant.
- Dans le cadre des travaux de renaturation de **l'Aire**, une évaluation coût-bénéfice a été effectuée au moyen de la méthode ecoNome (B+C 2011) sur différentes tronçon de cette rivière. Les travaux sont aujourd'hui pratiquement finalisés. Le danger résiduel correspond à des dommages sur les bâtiments (notamment le secteur de la Praille) estimés respectivement à 2.6, 7 et **214 millions de CHF** pour des crues de temps de retour 100, 300 ans et **une crue extrême de l'Aire**.
- Une analyse coût-bénéfice des actions du programme de prévention des inondations sur le **territoire de l'Arve** (SM3A 2012) couvrant la « moyenne vallée de l'Arve » et l'agglomération d'Annemasse estime à environ 4 millions d'euros les coûts d'une crue de temps de retour 100 ans et à environ 11 millions d'euros les coûts d'une crue de temps de retour 300 ans.

Figure 61 : Matrice cantonale d'objectifs de protection contre les crues (canton de Genève)

Catégorie d'objets	Objectifs de protection *Temps de retour [en années]*			
	1 - 30 fréquent	30 - 100 rare	100 - 300 très rare	>300 extrem. rare
Hôpitaux Services d'urgence Industries OPAM Installations de fourniture d'énergie/eau...	0	0	0	1
Habitations permanentes Ecoles Stations des moyens de transport (gare,...) Industries ; Artisanats Terrains de camping	0	0	1	2
Voies de communication nationales Voies de communication cantonales Jardins familiaux Serres agricoles permanentes Installations de sport et loisir - Bâtiments	0	1	1	2
Voies de communication communales Etables Granges	1	2	3	3
Installations de sport et loisir - Terrains Vignes ; Vergers Terrains agricoles "maraîchers" Terrains agricoles extensifs Terrains agricoles intensifs Chemins agricoles	2	2	3	3
Chemins pédestres inscrits au plan directeur	2	3	3	3
Forets protectrices Paysages naturels	3	3	3	3
Risques spéciaux, vulnérabilité particulière ou dommages secondaires	Détermination au cas par cas			

Protection	Inondation tolérée		
Complète	Aucune		0
Contre les intensités moyennes et fortes	Intensité faible	($h < 0.5m$ ou $v \times h < 0.5m^2/s$)	1
Contre les intensités fortes	Intensité moyenne	($0.5m < h < 2m$ ou $0.5m^2/s < v \times h < 2m^2/s$)	2
Aucune	Intensité forte	($h > 2m$ ou $v \times h > 2m^2/s$)	3

Niveau de protection établi par catégorie d'objets, défini en fonction du niveau d'inondation tolérée
(source : M. Monbaron, DGEau, nov. 2014)

Réserves et hypothèses

L'évolution des dommages potentiels dépend fortement de l'évolution socio-économique (cf. sous-chapitre 5.6.3), des mesures d'aménagement du territoire et des mesures de protection contre les crues.

Impacts quantitatifs

Sur le canton de Genève, entre 2001 et 2012, en moyenne 1,6 millions de francs de dommages annuels causés aux bâtiments par des inondations sont reportés (données ASS + 33%). A noter que ce chiffre inclut indistinctement toutes les inondations qu'elles soient dues à une crue de rivière, au ruissellement de surface, à la saturation d'une canalisation ou même à un problème de plomberie intérieure.

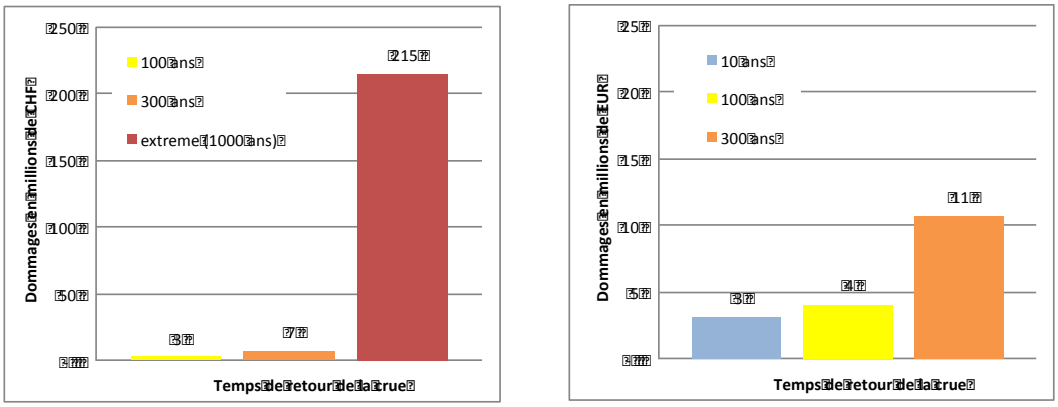
Sur les territoires français du Grand Genève, les données disponibles ne sont pas suffisamment détaillées pour estimer l'ampleur des dommages en cas de crue. Enfin les données de l'ECA-Vaud n'ont pas pu être intégrées car les registres ne sont pas publics.

En raison du manque de données disponibles et de leur niveau de précision, les auteurs renoncent à estimer quantitativement les dommages sur les bâtiments liés aux crues à l'échelle de l'ensemble des territoires d'étude. L'extrapolation des données disponibles n'est pas possible puisque les crues dépendent très fortement des caractéristiques géographiques locales. A fortiori, si des données partielles sont fournies pour l'état actuel, les scénarios 2060 n'ont pas pu être quantifiés. Des études de risques plus détaillées croisant cartes de dangers et valeurs des biens et infrastrucutres pourraient être lancées afin d'identifier les zones les plus vulnérables et de mettre à disponition des données à l'échelle de l'ensemble du territoire.

Les scénarios climatiques prévoient une augmentation des débits de pointe des crues, en particulier pour les cours d'eau proches des reliefs montagneux. Par ailleurs, l'augmentation des dommages n'est pas proportionnelle avec celle des crues. Bien qu'il n'existe peu d'études détaillées à ce sujet, les auteurs estiment l'augmentation de débit de pointe en cas de crue à +5% pour le scénario faible et +20% pour le scénario fort (cf. chapitre 0). Sans pouvoir la chiffrer, les auteurs estiment que l'évolution des dommages sera elle largement supérieure à ces valeurs.

Les exemples de modélisation mentionnés fournissent une indication ponctuelle des dommages à prévoir en cas de crue sur deux portions importantes du territoire, à savoir l'Arve dans le Genevois haut-savoyard et l'Aire sur le secteur de la Praille. La Figure 62 montre que si les mesures de protection sont dimensionnées pour un temps de retour donné (p.ex. 100 ou 300 ans), une augmentation de l'intensité des crues constitue un risque important puisque les dommages correspondants augmentent de façon exponentielle. C'est en particulier le cas de la crue extrême de l'Aire.

Figure 62 : Dommages potentiels causés par les crues de l'Arve et de l'Aire



Modélisation des dommages causés par des crues de différents temps de retour de l'Aire sur le secteur de la Praille après travaux de renaturation (gauche, source : B+C 2011) et de l'Arve dans la région entre Annemasse et Bonneville (droite, source : SM3A 2012). Ces exemples illustrent les fortes différences de coûts et les effets de seuils entre les temps de retour 100 ans, 300 ans et extrême.

En raison des très fortes incertitudes constatées et de l'important potentiel de dommages, il serait judicieux d'approfondir les enjeux relatifs à l'impact des changements climatiques sur les temps de retour des crues.

Enfin, il est probable que l'augmentation future des risques dépende d'avantage du développement (ou non) de l'urbanisation et de la création de valeur patrimoniale dans les secteurs à risque – et de la mise en place de mesures de protection – que des variations liées aux changements climatiques. Ces aspects seront abordés dans le chapitre consacré aux scénarios socio-économiques.

b) Infrastructures et bâtiments: orages et grêle

Domaines analysés et disponibilité des données

Ce paragraphe vise à analyser les dégâts subis par les bâtiments en cas d'orages, en particulier en cas de **grêle** ou de **ruissellement de surface**.

Ruissellement

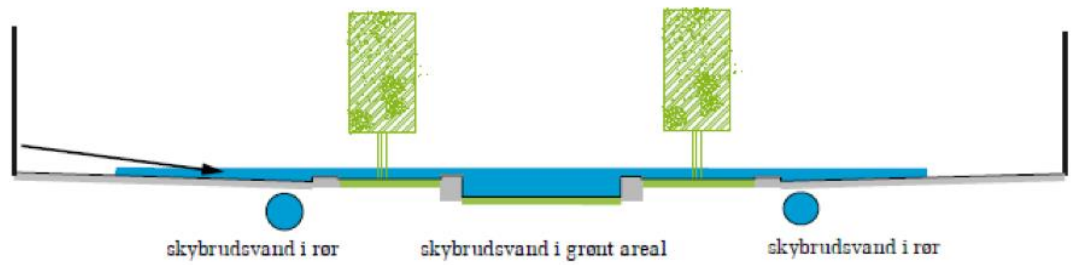
On entend par ruissellement des eaux de surface les écoulements survenant en cas de fortes pluies et qui peuvent provoquer des inondations dans les bâtiments, les caves, les souterrains, les rues et les places. L'impact de ce risque est en grande partie identique à celui d'inondations provoquées par une crue de rivière, à cela près qu'il peut survenir également à grande distance d'un plan d'eau. Le phénomène de ruissellement de surface est favorisé par les surfaces fortement imperméabilisées et la topographie en pente. Il survient lorsque les

débits d'écoulement dépassent la capacité du réseau d'évacuation ou que ce dernier est obstrué.

La prévention des dangers dans ce domaine en est à ses débuts. Seules quelques cartes de danger ont été établies à l'heure actuelle en Suisse. L'OFEV prépare actuellement une directive spécifique et la DGEau commence à se pencher sur la question, notamment en prenant pour cas d'étude un événement récent d'inondation de sous-sols à Lancy. En France, le sujet est déjà bien connu des pouvoirs publics en raison des nombreuses inondations de ce type survenues dans le sud et une directive spécifique a été élaborée (MEDAD 2008). A l'échelle du bassin Rhône Méditerranée, le nouveau SDAGE en cours de finalisation prévoit d'introduire des règles de compensation des nouvelles surfaces imperméabilisées à hauteur de 150 %. Une fois le SDAGE en vigueur, ces dispositions deviendront opposables. Les outils locaux de planification (PLU, SCOT, SAGE,…) devront donc les intégrer.

Des solutions innovantes sont développées pour faire face à ces nouveaux défis, notamment dans le cadre du programme européen Aqua-Add (Interreg IVC). C'est le cas de ce projet de la Ville de Copenhague qui prévoit la conversion d'une route en un nouvel espace vert à section abaissée tout en étant en mesure de rejeter de grandes quantités d'eau pendant des pluies torrentielles (Figure 63).

Figure 63 : Chenal vert à section abaissée pour l'évacuation des eaux de ruissellement à Copenhague



Exemple de chenal vert à section abaissée pour l'évacuation des eaux de ruissellement (source : Nielsen 2013)

Avec une augmentation de l'intensité des précipitations journalières à l'horizon 2060, ce type de dommage est susceptible de connaître une forte augmentation dans les zones urbaines. Cependant, l'évolution des dommages dépend principalement de l'utilisation des sous-sols et des mesures de protection structurelles. A noter à ce titre qu'aujourd'hui les normes de conception de mesures de protection des bâtiments se basent généralement sur des événements à faible temps de retour (10 ans avec facteur de sécurité).

Comme mentionné plus haut, les données de l'ASA incluent indistinctement toutes les inondations qu'elles soient dues à une crue de rivière, au ruissellement de surface, à la saturation d'une canalisation ou même à un problème de plomberie intérieure. Sur le canton de Ge-

nève, entre 2001 et 2012, en moyenne 1,6 millions de francs de dommages annuels causés aux bâtiments par des inondations sont reportés (données ASA +33%).

L'évènement de pluie très important du 15 novembre 2002 a produit des inondations importantes dans le village de Lully en raison du ruissellement de surface avec des dommages conséquents. Cette année-là, les primes d'assurances versées pour cause d'inondations à l'échelle du canton s'élèvent à près de 13 millions de CHF (données ASA). On réalise avec cet exemple l'impact d'un événement extrême sur la facture de dommages.

Il n'existe pas d'estimation officielle sur les dommages potentiels dus aux inondations *par ruissellement* ni dans le canton de Genève, ni dans les autres périmètres du Grand Genève. Les auteurs renoncent à effectuer une estimation systématique pour ce type de dommages compte tenu du manque de données à disposition.

Enfin, notons qu'avec l'augmentation de l'intensité des pluies, il existe un risque de dégradation pour les petits cours d'eau sensibles aux fortes variations de débits. Les démarches de limitation de débit de pointe et de renaturation déjà engagées doivent donc être poursuivies.

Grêle

Les fortes chutes de grêle causent des dégâts considérables aux bâtiments. L'exemple récent de l'orage du 20 juin 2013 est exemplaire à ce sujet puisqu'il a laissé une facture estimée à près de 30 millions de CHF (données ASA +33%) de dommages dus à la grêle sur les bâtiments sur le canton de Genève. En moyenne annuelle, ces dommages s'élèvent à environ 1,1 millions de CHF par an (toujours à l'échelle du canton).

Il n'existe pas d'estimation officielle sur les dommages potentiels dus à la grêle à l'échelle du Grand Genève. Bien que les événements de grêle soient également souvent assez localisés (p.ex. l'orage de grêle de 2013 a complètement épargné la rive gauche du lac Léman), les auteurs se permettent ici une extrapolation des données à l'ensemble du territoire du Grand Genève en considérant les hypothèses approximatives suivantes :

- Une répartition des bâtiments semblable entre le canton de Genève et le reste du territoire du Grand Genève (OST 2014), soit une quantité de bâtiments dans le Grand Genève correspondant au double du canton de Genève.
- Une valeur des biens immobiliers du canton de Genève environ 40% plus élevée que dans le reste du Grand Genève (GG 2014).

Sur cette base on obtient les résultats suivants pour le Grand Genève :

- événement de grêle annuel : 1,8 millions de CHF
- événement de grêle centennal : 48 millions de CHF

A titre de comparaison, l'assurance cantonale des bâtiments de Bâle-Ville estime les dommages d'un événement de grêle centennal à 45 millions et, pour un événement extrême (temps de retour 1000 ans), à environ 1,5 milliard de CHF.

L'évolution future des orages et des chutes de grêle ne peut être modélisée de manière fiable. On procèdera donc à une analyse de sensibilité. Les valeurs actuelles sont multipliées ou divisées par un facteur de 1.5.

Impacts quantifiables

Tableau 35: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui/Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-1.1	2
Scenario faible	-0.7	-
Scenario fort	-1.7	-

Tableau 36: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui/Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-1.8	2
Scenario faible	-1.2	-
Scenario fort	-2.6	-

Coûts et bénéfices en 2060 par analyse de sensibilité d'un événement annuel causés par la grêle et facteurs d'incertitude correspondants

Les chiffres des tableaux ci-dessus servent à illustrer au moyen d'une analyse de sensibilité l'impact des changement attendus (facteur +/- 1.5). Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne sont pas reprises dans les tableaux de synthèse.

Tableau 37 : Coûts et bénéfices en 2060 pour le canton de Genève et le Grand Genève
Evènement centennal Mio. CHF

Aujourd'hui/Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui canton de Genève	- 30	2
Aujourd'hui Grand Genève	- 48	2

Coûts et bénéfices d'un événement centennal causés par la grêle et facteurs d'incertitude correspondants

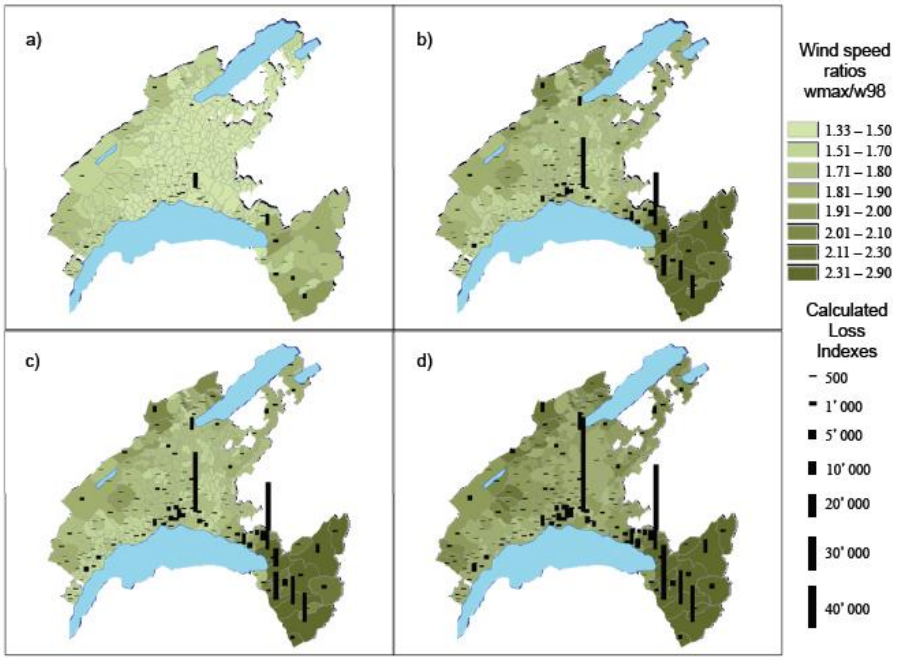
c) Infrastructures et bâtiments: tempêtes / ouragans

Domaines analysés et disponibilité des données

Cette partie vise à analyser les dégâts subis par les bâtiments en cas de tempêtes et d'ouragans.

Comme évoqué plus haut, l'impact des changements climatiques sur la fréquence et l'intensité des tempêtes est incertaine. Une étude récente a montré que l'augmentation des dommages n'est pas proportionnelle à celle de la puissance d'une tempête (Etienne 2012). En cas d'augmentation de 5% d'intensité, les dommages – tels que simulés par cette étude sur le canton de Vaud – pourraient eux être de 35% supérieurs ! Cette étude met en évidence les impacts économiques des tempêtes de vent selon différents scénarios climatiques et démographiques (Figure 64). Elle recommande, pour éviter des pertes extrêmes, de vérifier que dans les endroits où des dommages structurels élevés ont déjà été observés dans le passé, la résistance des bâtiments soit suffisante.

Figure 64 : Calcul des pertes selon quatre différents scénarios climatiques et démographiques



Calcul de l'indice de perte, avec des vitesses de vent normalisées correspondant à (a) tempête n°4 (1995), (b) la tempête Lothar (1999), (c) la tempête Lothar avec une population projetée pour l'année 2030 et (d) la tempête Lothar avec une vitesse de vent de 10% supérieure (source : Etienne 2012). Cet exemple montre également que les zones impactées sont principalement les zones urbanisées et les régions de montagne.

Sur le canton de Genève, entre 2001 et 2012, en moyenne 2,1 millions de francs de dommages annuels causés aux bâtiments par les tempêtes de vent sont reportés (données ASA). Les événements plus violents pourraient provoquer des dommages estimés à 30 millions de CHF.

Comme déjà évoqué, ces chiffres ne sont pas disponibles pour les autres territoires mais il est possible d'appliquer la même extrapolation que pour la grêle (cf. §b), avec les résultats suivants pour l'ensemble du Grand Genève:

- événement de tempête de périodicité annuelle : 3.4 millions de CHF
- événement de tempête de périodicité centennale : 48 millions de CHF

Impacts quantifiables

Etant donné que l'évolution de ces processus ne peut être estimée, on procède à une analyse de sensibilité. Les valeurs actuelles sont multipliées ou divisées par un facteur de 1,5.

Tableau 38: Coûts et bénéfices 2060 (canton de Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui/Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-2.1	2
Scenario faible	-1.4	-
Scenario fort	-3.2	-

Tableau 39: Coûts et bénéfices 2060 (Grand Genève)
Evènement moyen annuel Mio. CHF

Aujourd'hui/Scénario	Coûts/bénéfices	Incertitude classifiée
Aujourd'hui	-3.4	2
Scenario faible	-2.2	-
Scenario fort	-5	-

Coûts et bénéfices en 2060 par analyse de sensibilité d'un événement annuel causés par une tempête de vent et facteurs d'incertitude correspondants

Les chiffres des tableaux ci-dessus servent à illustrer au moyen d'une analyse de sensibilité l'impact des changement attendus (facteur +/- 1.5). Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne sont pas reprises dans les tableaux de synthèse.

Tableau 40 : Coûts et bénéfices en 2060 Evènement centennal mio. CHF		
Aujourd'hui/Scénario	**Coûts/bénéfices**	**Incertitude classifiée**
Aujourd'hui canton de Genève	-30	2
Aujourd'hui Grand Genève	-48	3

Coûts et bénéfices d'un événement centennal causés par une tempête de vent et facteurs d'incertitude correspondants

d) Infrastructures et bâtiments: chutes de neige

Domaines analysés et disponibilité des données

En effet, les scénarios climatiques prévoient une réduction de plus de 50% des jours de neige pour les régions de plaine du Grand Genève.

Aujourd'hui, les coûts de déneigement des routes cantonales s'élèvent à environ 10 millions par an (hors coûts de personnel, Th. Michel, DGC, août 2014).

Impacts qualitatifs

Les jours de neige ont par ailleurs un impact sur l'ensemble de l'activité économique en raison des retards occasionnés sur le système de transport et en particulier sur les chantiers de construction. On peut donc prévoir une évolution positive dans ce domaine d'impact.

Impacts quantifiables

La réduction du nombre de jours de neige n'implique pas une réduction proportionnelle des coûts de déneigement. En effet, les équipements de déneigement constituent des coûts fixes qui dépendent d'avance des volumes de neige à dégager et de la vitesse d'intervention.

On peut cependant estimer ici qu'au moins 30% de réduction des coûts sont à prévoir, notamment en raison d'une diminution des besoins de salage. Les auteurs estiment donc que les coûts du déneigement passeront pour le canton de Genève de 10 à 7 millions de CHF.

Une évolution du même ordre de grandeur est attendue pour les autres périmètres du Grand Genève à l'exception des régions de montagne.

De manière générale, la diminution du nombre de jours de chutes de neige constitue une opportunité.

5.6.2. Synthèse du domaine d'impact Infrastructures et bâtiments

Coûts et bénéfices aujourd'hui et en 2060 pour tous les aléas et effets pertinents

Les scénarios climatiques de 2060 sont susceptibles d'augmenter l'intensité d'aléas tels que les crues, le ruissellement de surface, la grêle et les tempêtes de vent[68]. Pour le domaine d'impact Infrastructure et bâtiments, cette évolution constitue donc un risque important.

Cependant, ce domaine est associé à de fortes incertitudes tant au niveau des scénarios climatiques qu'en termes de disponibilité des données et des connaissances des dommages potentiels.

Les moyennes annuelles de dommages suivantes ont été estimées *pour l'état actuel* :

- Dégâts d'inondations (canton de Genève) : environ 1,6 Mio CHF par année, correspondant indistinctement aux différentes causes d'inondation possibles (et notamment les crues et le ruissellement de surface).
- Dégâts dus à la grêle : 1,1 Mio CHF par année (canton de Genève) ou 1,8 Mio CHF à l'échelle de l'ensemble du Grand Genève.
- Dégâts dus aux tempêtes : 2,1 Mio CHF par année (canton de Genève) ou 3,4 Mio CHF à l'échelle de l'ensemble du Grand Genève.

Les coûts moyens suivants ont été estimés pour des événements centennaux *pour l'état actuel* :

- Dégâts dus à la grêle : 30 Mio CHF par année (canton de Genève) ou 48 Mio CHF à l'échelle de l'ensemble du Grand Genève.
- Dégâts dus aux tempêtes : 30 Mio CHF par année (canton de Genève) ou 48 Mio CHF à l'échelle de l'ensemble du Grand Genève.

Pour tous ces aléas, l'estimation des coûts pour 2060 n'a pas pu être effectuée en raison de l'absence de données ou de trop fortes incertitudes.

En ce qui concerne **les risques d'inondations**, il importe de relever les points suivants :

- Dans le domaine des **crues**, les dommages augmentent de façon exponentielle avec l'intensité des crues. De nombreuses actions menées actuellement par les collectivités du Grand Genève vont dans le sens d'une meilleure anticipation et protection contre les crues (renaturations, infiltration-rétention à la parcelle, etc.). Bien que l'impact des changements climatiques sur les crues soit difficile à évaluer, il serait judicieux de tenir compte de cette incertitude dans le dimensionnement des mesures de protection, au minimum par une analyse de sensibilité.

[68] Bien que pertinents pour les parties montagneuses du Grand Genève, les enjeux liés aux mouvements de terrain et aux chutes de pierre ne sont pas traités par cette étude en raison de son focus sur l'agglomération urbaine dense.

- Sur l'ensemble territoire d'étude, il semble que **le risque de dommages les plus importants** se situe dans le système touché par la **régulation des barrages** de Verbois et Chancy-Pougny et les enjeux de **gestion sédimentaires** associés à ces ouvrages. **En cas de crue centennales ou millénaire de l'Arve, des risques très importants existent pour les quartiers denses de la Jonction, de Plainpalais, des Acacias et de la Praille.** Plus en aval, les **usines chimiques Givaudan et Firmenich** peuvent également être atteintes.
- Dans le domaine du **ruissellement de surface**, les changements climatiques pourraient renforcer les risques d'inondations en raison de précipitations de plus forte intensité et des risques de saturation des réseaux d'évacuation. Les démarches entamées par les collectivités pour mieux appréhender cette problématique qui gagne en importance doivent donc être poursuivies et soutenues (techniques constructives sur la voirie et réflexion sur l'usage des souterrains).

Les événements de **grêle** de temps de retour 100 ou 300 ans sont particulièrement destructeurs et coûteux dans une agglomération fortement urbanisée et où la valeur du patrimoine immobilier est élevée. Des recommandations sur les techniques constructives résistantes à la grêle devraient donc être diffusées afin de minimiser la vulnérabilité des bâtiments.

Les **tempêtes de vent** coûtent plusieurs millions par années. Les études spécialisées recommandent d'inventorier les zones particulièrement exposées au vent (en fonction des dommages passés) et d'y vérifier la résistance des bâtiments les plus à risque. Compte tenu des risques de dommages importants, il serait intéressant d'effectuer une évaluation plus poussée de la vulnérabilité du territoire et des dommages potentiels afin d'évaluer les mesures de mitigation ou de protection nécessaires à mettre en place.

Les coûts de l'Etat de Genève liés au **déneigement** devraient eux diminuer en passant de 10 à 7 mio CHF par année en 2060. Une évolution du même ordre de grandeur est attendue pour les autres collectivités du Grand Genève à l'exception des régions de montagne.

Bilan global pour tous les aléas et effets

- **Opportunités**

La diminution des jours de neige pourrait faire économiser aux collectivités des coûts de déneigement.

- **Risques**

L'augmentation de l'intensité d'aléas tels que les crues, le ruissellement de surface, la grêle et les tempêtes de vent **est susceptible d'augmenter les coûts des dommages causés aux bâtiments de façon significative**.

- **Bilan**

En vertu des points ci-dessus, **les risques sont importants** pour ce domaine d'impact.

Les risques identifiés peuvent être réduits de façon importante par l'anticipation et la mise en oeuvre de mesures de mitigation ou de protection. De nombreuses actions menées actuellement par les collectivités vont dans ce sens dans le domaine des inondations. La grêle et les tempêtes semblent être pour l'instant moins bien prises en compte dans les politiques publiques.

5.6.3. Scénarios socio-économiques 2060 concernant les infrastructures et les bâtiments

L'augmentation de la valeur des bâtiments et des infrastructures ainsi que la modification de leur vulnérabilité face aux aléas et effets sont les facteurs d'influence déterminants du point de vue des scénarios socio-économiques de 2060. Alors que l'augmentation de la valeur ne peut guère être influencée, **la modification de la vulnérabilité des bâtiments et des infrastructures peut l'être de façon décisive.**

La vulnérabilité des bâtiments aux inondations dépend en grande partie de l'usage des sous-sols et souterrains. L'augmentation récente de la construction de parkings souterrains augmente le potentiel de dommages en cas d'inondation. Les démarches récentes visant à mieux appréhender le ruissellement en surface et son « orientation fine » par la forme de la voirie (profils de route, etc.) sont intéressantes à cet égard. Un travail d'évaluation du potentiel de dommages dans les secteurs exposés (aux crues ou au ruissellement) permettrait de mettre en évidence les secteurs à protéger en priorités tout en mettant en perspective le coût des dommages potentiels avec le coût des mesures de protection.

En ce qui concerne la grêle et les tempêtes, une meilleure anticipation de la part des propriétaires et des concepteurs est souhaitable. En effet, il n'y a de dégâts que s'il y a des objets vulnérables. Or il est aujourd'hui possible de choisir des matériaux résistants pour l'enveloppe du bâtiment afin de réduire leur vulnérabilité. Des actions concrètes devraient être entreprises à ce sujet, notamment à travers un travail de sensibilisation des concepteurs (architectes et ingénieurs civils) et des travaux de recherche-développement permettant d'établir des bonnes pratiques.

Si les changements climatiques constituent un risque croissant pour les bâtiments, l'évolution socio-économique – à savoir le dynamisme de construction-rénovation, les techniques constructives utilisées à l'avenir, la croissance du parc immobilier – aura certainement un impact plus important sur l'évolution des risques de dommages pour les bâtiments.

Références du sous-chapitre 5.6

AERMC 2009 : SDAGE Rhône-Méditerranée 2010-2015, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, 2009

B+C 2011 : Renaturation de l'Aire 3ème étape, Cartes des dangers, faisabilité Econome, rapport hydraulique, B+C Ingénieurs SA, Septembre 2011

Etienne 2012 : Wind storm loss estimations in the Canton of Vaud, C. Etienne and M. Beniston, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 3789–3798, 2012

FFSA-CATNAT 2014 : L'assurance des catastrophes naturelles en 2012, Direction des études et des statistiques FFSA-GEMA, avril 2014

FFSA-TGN 2014 : Tempêtes, grêle et neige : Résultats de l'année 2012, Direction des études et des statistiques FFSA-GEMA, mars 2014

GG 2013 : Cahier 10-5, Production et marchés du logement dans le Grand Genève – Monitoring, GEODES, Commission Logement du CRFG juin 2013

HEPIA 2013: L'Arve en projet, HEPIA / Grand-Genève, 2013

INFRAS/Egli Engineering AG 2014: Risques et opportunités liés aux changements climatiques en 2060, étude de cas du Canton d'Uri; Infras et Egli Engineering AG sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, Berne.

MEDAD 2006 : Les collectivités locales et le ruissellement pluvial, Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables, 2006

Nielsen 2013 : Approche adaptative holistique dans le square Sct Annae à Copenhague, Nielsen et al., NOVATECH, 2013

OcCC / ProClim 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. 172 S., OcCC / ProClim, Bern.

OST 2014 : Parc de logements et bâtiments dans l'espace transfrontalier genevois, Observatoire statistique transfrontalier - fiche 1 – 2014

SIG/SFMCP 2014 : Evaluation des scénarios de gestion sédimentaire pour le Rhône genevois, Comité technique franco-suisse sur la gestion sédimentaire sur le rhône genevois et le haut-rhône francais, SIG/SFMCP, octobre 2014

SM3A 2012 : Analyse coût-bénéfice des actions du programme de prévention des inondations sur le territoire de l'Arve, egis-eau, SM3A, juin 2012

5.7. Domaine d'impact Gestion des eaux (approvisionnement et assainissement)

Situation actuelle et lien avec les changements climatiques

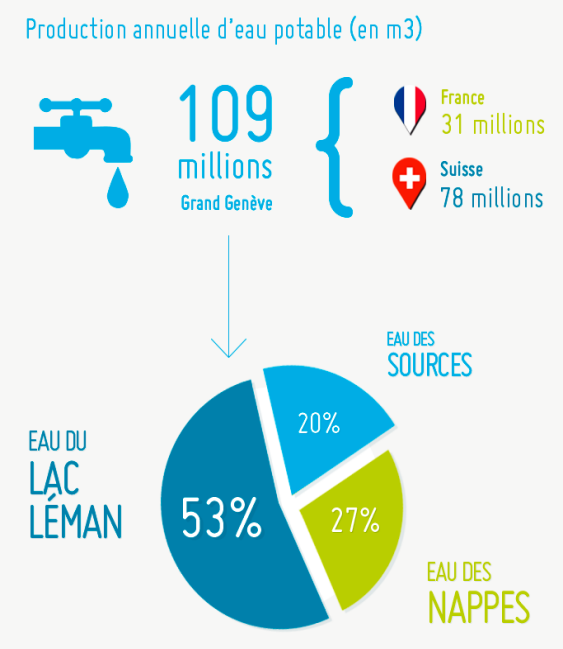
La majorité des **ressources en eau des territoires du Grand Genève s'étend de façon transfrontalière** : c'est notamment le cas du lac Léman, de la nappe du Genevois et de nombreux cours d'eau. Cette situation a un impact direct sur la question de la disponibilité et de la gestion de cette ressource. Une collaboration transfrontalière efficace existe depuis 1997 entre la France et la Suisse. Elle se concrétise à travers plusieurs outils de planification : contrats de rivière, SPAGE (Schéma de Protection, d'Aménagement et de Gestion des Eaux), Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), etc. (cf. sous-chapitre 5.6).

L'approvisionnement en eau potable et la gestion de l'assainissement sont à la charge du:

- Canton de Genève : Services Industriels de Genève (SIG),
- Genevois français : les communautés de commune, les syndicats intercommunaux, quelques communes, ou, le cas échéant, leurs concessionnaires,
- District de Nyon : les Services Industriels de Nyon et quelques communes.

Les sources d'approvisionnement en eau à l'échelle du Grand Genève sont principalement le lac Léman (53%), les nappes (27%) et les sources (20%). Pour le canton de Genève, cette répartition est la suivante : 80 % du lac et 20 % de la nappe du Genevois.

Figure 65 : Production et sources d'eau potable dans les territoires suisses et français du Grand Genève



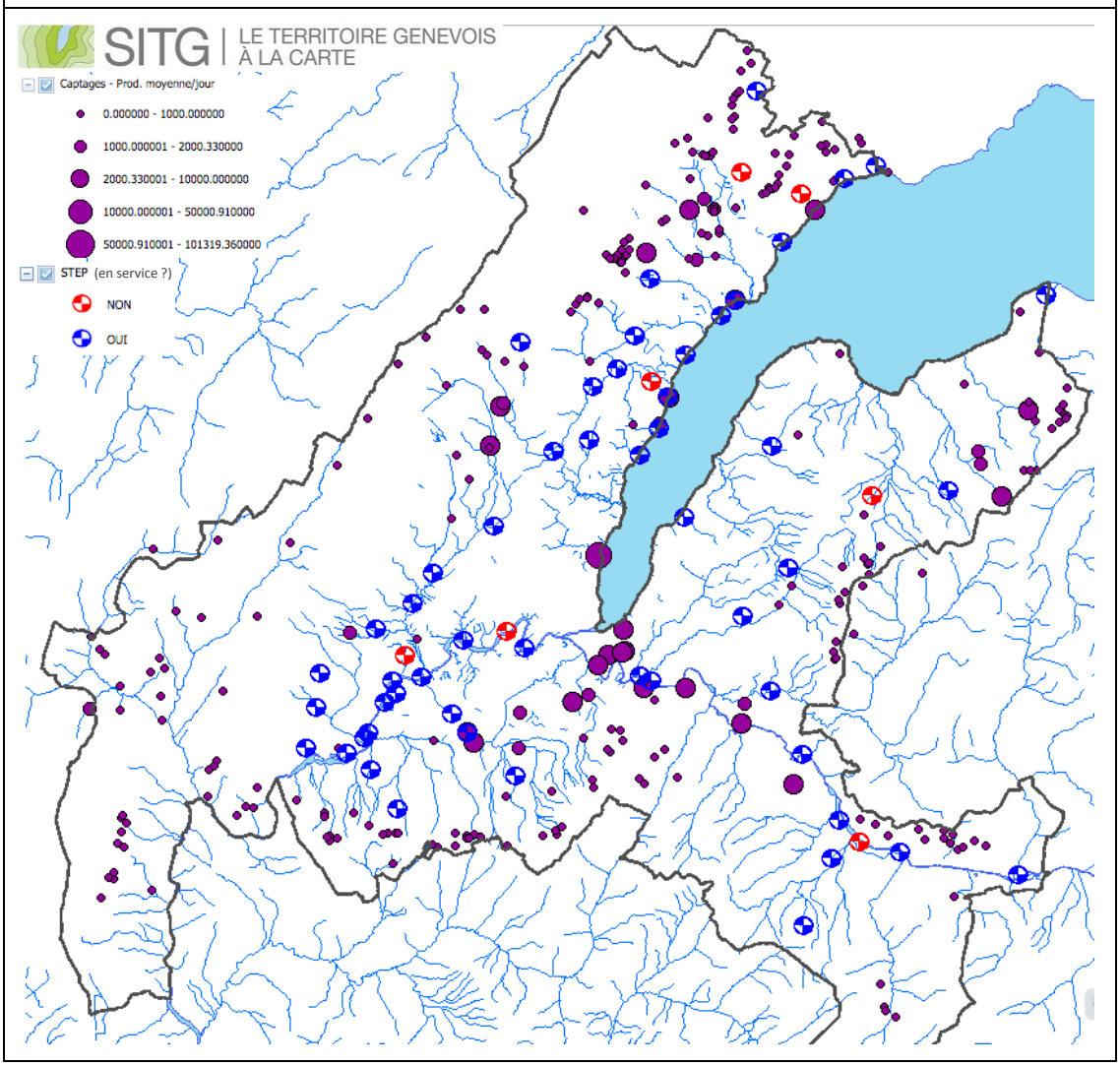
Production d'eau potable dans le Grand Genève (source : grand-geneve.org)

Globalement la situation actuelle concernant la **disponibilité des ressources** en eau est excellente pour le canton de Genève et relativement bonne pour les territoires valdo-français du Grand Genève où plusieurs collectivités dépendent aujourd'hui de sources locales qui sont vulnérables aux périodes d'étiage et qui se renforceront avec les changements climatiques.

Avec ses 89 milliards de m^3, **le Léman offre un réservoir d'eau extrêmement important pour alimenter les populations et les activités socio-économiques** du canton de Genève, du Grand-Genève et de la cuvette lémanique. Il constitue en quelque sorte une assurance tous risques de pénurie d'eau pour la région.

En termes de **qualité des eaux**, la situation est également bonne dans la mesure où d'importants efforts ont été faits tant en Suisse qu'en France pour améliorer la couverture des réseaux d'assainissement, leur raccordement aux stations d'épuration des eaux usées (STEP) et la performance de ces dernières. Un travail important est également en cours afin de contrôler les rejets d'eaux polluées dans les eaux de surface et notamment ceux des déversoirs d'orage lors d'événements pluvieux importants. Ce point constitue également un enjeu à étudier en lien avec les changements climatiques.

Figure 66 : Cartographie des installations de gestion des eaux sur l'ensemble du territoire du Grand Genève



Captages d'eau potable (selon le volume prélevé en m^3) et des STEP sur le périmètre du Grand Genève (source : GeoAgglo)

5.7.1. Analyse des aléas et effets en 2060

Comme présenté dans la matrice de pertinence au chapitre 5.1, les aléas et effets sont analysés quantitativement ou qualitativement en fonction de leur pertinence pour le domaine d'impact en question et de la disponibilité de données. La prise en compte du résultat des analyses qualitatives est explicitée dans le chapitre méthodologique (cf. chapitre 3).

Tableau 41 : Aperçu des aléas et effets analysés

Aléas/effets:	Impacts analysés quantitativement	Impacts analysés qualitativement
Crues		Dommages éventuels aux infrastructures d'eau potable et d'épuration
Orages / Grêle		Impact des fortes précipitations sur la saturation du réseau d'évacuation et les déversoirs d'orage
Sécheresse générale		Atteintes à l'approvisionnement en eau en raison de périodes d'étiage prolongées de certaines ressources.
Modification de la température moyenne		Effets sur la stratification thermique des lacs.

a) Gestion des eaux: crues

Domaines analysés et disponibilité des données

L'analyse porte sur les domaines de l'approvisionnement en eau et du traitement des eaux usées.

Comme l'indique la Figure 66, les points de captage pour la production d'eau potable et des stations d'épuration sont nombreux sur les territoires du canton de Genève et du Grand Genève et certains sont situés à proximité de cours d'eau susceptibles d'entrer en crue, en particulier le long de l'Arve. Cependant, d'après les experts consultés, les installations ne sont pas particulièrement vulnérables aux dangers de crue.

Dans le canton de Genève, selon SIG (email de Yves de Siebenthal 21.08.14), les installations sont toutes situées hors d'atteinte des éléments ou protégées contre ceux-ci, sauf éventuellement en cas de crue extrême. En cas de crue, la production d'eau potable n'est pas impactée. La réalimentation de la nappe du genevois par la station de Vessy, en revanche, doit être arrêtée en cas de crue de l'Arve entraînant une telle turbidité de l'eau brute que toute l'eau traitée devrait être utilisée pour décolmater et laver les filtres à sable. Ces arrêts n'ont cependant pas d'impact sur la capacité d'approvisionnement.

Dans les territoires français et nyonais, les exploitants ayant pu être consultés affirment également ne pas avoir d'ouvrages en eau ou en assainissement susceptibles d'être inondables

(pour la CC du Pays de Gex, une analyse de zones inondables en Q100 a été effectuée, email de G. Marsac du 19.11.14).

Impacts qualitatifs

Globalement, les principales installations de production et d'approvisionnement en eau potable et d'épuration semblent peu exposées aux risques de crue. Du moins, cet aléa ne constitue pas un objet d'attention prioritaire en matière de gestion des eaux ni au niveau du canton de Genève, ni pour les autres territoires du Grand Genève.

b) Gestion des eaux: orages

Domaines analysés et disponibilité des données

Une analyse qualitative est effectuée pour déterminer s'il faut s'attendre à des dommages sur la qualité des eaux dans le domaine de l'évacuation des eaux urbaines en cas d'orages.

Lors d'événements pluvieux de forte intensité, le réseau d'évacuation peut arriver à saturation, raison pour laquelle sont prévus des trop-pleins appelés déversoirs d'orage, qui déversent le débit excédentaire du réseau dans un cours d'eau. En particulier dans le cas de réseaux unitaires mélangeant les eaux usées et les eaux pluviales, ces événements correspondent à un déversement d'eau polluée dans le milieu naturel.

En ce qui concerne les stations d'épuration, l'eau excédant la capacité de traitement biologique de la STEP est, soit rejetée après dégrillage seulement - l'expérience ayant montrée que ce mode de gestion garantit les meilleurs rendements d'épuration dans de telles situations - soit stockée en amont dans un réservoir construit dans ce but avant de pouvoir être traitée.

De tels déversements engendrent des problèmes plus ou moins graves selon le cours d'eau qui sert de milieu récepteur.

A noter que la question de la capacité des réseaux d'évacuation et des risques de débordement ou de ruissellement de surface associés est traitée au sous-chapitre 5.6.

Figure 67 : Principe du déversoir d'orage

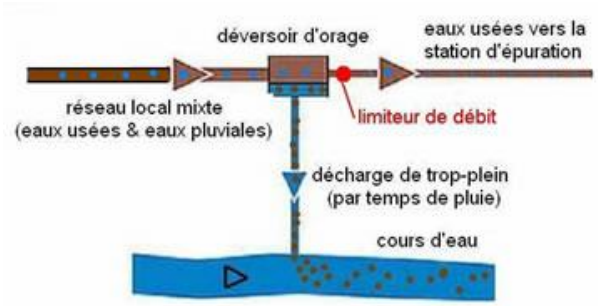


Illustration du principe du déversoir d'orage (source : eauxpluviales.wordpress.com)

Impacts qualitatifs

Puisque les changements climatiques provoqueront une augmentation de l'intensité des pics de précipitation (Rajczak 2013), on peut s'attendre à une recrudescence de ces déversements avec des dommages pour la qualité microbiologique des eaux.

Le dimensionnement des déversoirs existants se fondant sur une recommandation de 1977 (en Suisse), il ne correspond plus aux connaissances actuelles et doit s'adapter aux exigences de protection des eaux.

Actuellement, l'optimisation des déversoirs d'orage constitue un volet important des plans régionaux d'évacuation des eaux (PREE) en cours de réalisation par l'Etat de Genève. L'objectif visé est de privilégier les rejets, lorsqu'ils sont inévitables, dans des grands cours d'eau (p.ex. Arve au plus fort pouvoir tampon) et de supprimer les déversoirs d'orage dans les petits cours d'eau (p.ex. Seymaz).

Par ailleurs, l'introduction de la directive VSA 2007 «Storm: Assainissement par temps de pluie» doit permettre de mieux évaluer les impacts selon une approche de type immission.

Aucune information spécifique à ces aspects n'a pu être obtenue pour les territoires vaudois et français du Grand Genève.

c) Gestion des eaux: sécheresse générale

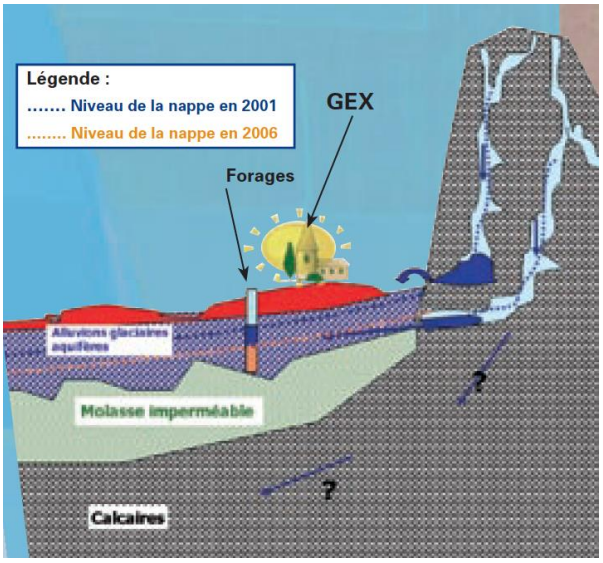
Domaines analysés et disponibilité des données

Les changements climatiques attendus entraîneront une augmentation des périodes de sécheresse provoquant potentiellement la baisse du niveau hydrostatique des nappes sans réalimentation artificielle, le tarissement des puits et un débit réduit des sources pendant les saisons critiques (Conseil Général 74 2012).

Alors que Genève ainsi que les centres urbains tels que Nyon, Annemasse ou Divonne utilisent principalement l'eau du Léman, ressource pratiquement inépuisable, l'approvisionnement en eau des collectivités situées sur la couronne extérieure de l'agglomération franco-valdo-genevoise est assurée d'une manière prépondérante par le captage de sources et par l'exploitation de nappes superficielles.

L'urbanisation très importante, notamment dans la partie amont du territoire français, ajoutée aux effets attendus des changements climatiques, soumettent ces ressources à une pression croissante avec des effets potentiellement péjorants pour la sécurité de l'approvisionnement en eau et pour les hydrosystèmes en aval pour lesquels des situations d'étiage sévère pourraient se présenter.

Figure 68 : Abaissement du niveau de la nappe phréatique dans le Pays de Gex



À Gex, la nappe phréatique de « Pré Bataillard » alimentant près de 40 % de la population gessienne a subi une baisse de son niveau de plus de 20 mètres (sur un total d'environ 80 mètres) au cours de la dernière décennie[69]

Outre l'impact sur l'approvisionnement en eau, les épisodes de sécheresse générale ont également des conséquences sur la baisse des capacités autoépuratoires des cours d'eau au point de rejet des stations d'épuration. En particulier pour les cours d'eau à faible débits et donc sensibles au périodes d'étiage, l'augmentation prévisible des périodes de sécheresse risque de dégrader excessivement la qualité des eaux à l'aval avec des conséquence de non renouvellement des autorisations de déversement des STEP dans les milieux les plus sensibles. Comme montré à la Figure 66, il existe un nombre important de STEP – souvent petites – dans les partie amont des bassins versants. Compte tenu du degré de détail important que ce type

[69] http://ge.ch/eau/media/eau/files/fichiers/documents/Publications/contrat_rivieres_4.pdf

d'analyse requière et du niveau modéré de risque, cette thématique ne sera pas approfondie d'avantage.

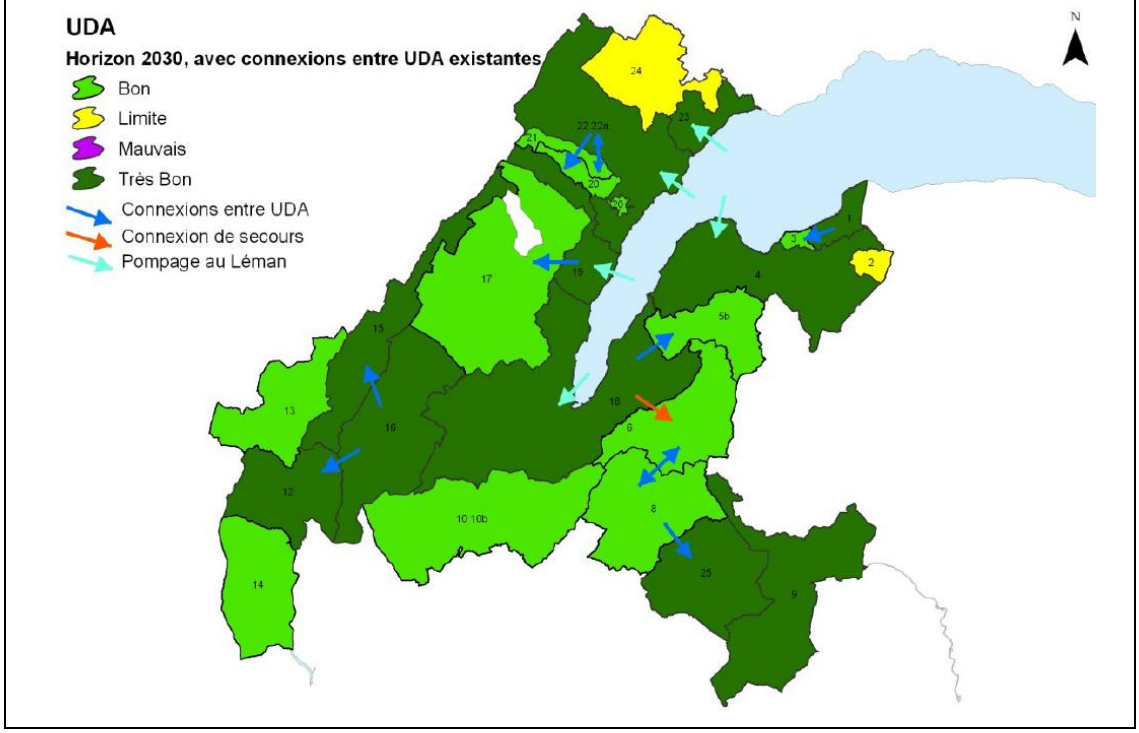
Impacts qualitatifs

Pour le canton de Genève, des épisodes de sécheresse prolongés n'auraient pas de conséquences particulières en raison de la capacité quasiment inépuisable de leur principale source d'alimentation qu'est le lac Léman. La nappe du Genevois, réalimentée activement par SIG par injection d'eau de l'Arve, constitue également une ressource peu sensible à la sécheresse à l'horizon 2060 dans la mesure où les étiages de l'Arve, grâce aux glaciers, ne sont pas prononcés.

La couronne française et vaudoise du Grand Genève est en revanche davantage menacée par la sécheresse parce qu'elle tire une partie importante de son approvisionnement des nappes phréatiques de faibles capacités et des sources.

Une étude menée récemment à l'échelle du Grand Genève montre qu'un certain nombre de secteurs feront face à l'horizon 2030 à des difficultés en termes de sécurité saisonnière d'approvisionnement avec les équipements d'alimentation existants (CRFG 2012). Une étude portant sur le bilan quantitatif de la ressource en eau du territoire du SAGE de l'Arve est par ailleurs en cours l'élaboration.

Figure 69 : Sécurité saisonnière en eau potable du Grand Genève à l'horizon 2030 avec connexions existantes



Sécurité saisonnière en eau potable du Grand Genève à l'horizon 2030 avec connexions existantes (source: CRFG 2012)

La convention relative à la protection, à l'utilisation, à la réalimentation et au suivi de la nappe souterraine franco-suisse du genevois entre la Communauté d'Agglomération de la Région Annemassienne, la Communauté de Communes du Genevois, la Commune de Viry, et la République et canton de Genève, fixe les règles de prélèvement et de facturation des signataires ainsi que la façon de gérer et de prévoir l'évolution de la ressource. Cet exemple montre qu'avec les ressources existantes dans le bassin du Grand Genève, les solutions d'approvisionnement existent. A l'avenir, une plus grande interconnexion des réseaux entre SIG et exploitants français pourrait également contribuer à améliorer la gestion globale de la ressource.

Dans le cas particulier de la CC du Pays de Gex, des investissements de plusieurs millions d'euros sont nécessaires pour satisfaire la demande d'alimentation en eau (email de G. Marsac du 19.11.14).

L'étude sur la sécurité saisonnière montre que les connections entre réseaux permettront d'assurer – au moins à l'horizon 2030 – un approvisionnement suffisant pour les différentes régions du territoire (Figure 69). Un des enjeux consistera probablement à trouver des accords sur le financement des infrastructures et des services d'approvisionnement transfrontaliers.

A cette pression sur les opérateurs d'eau potable français s'ajoute celle de l'Agence de l'eau qui, dans un avenir proche, devrait élever sensiblement son niveau d'exigence concernant le rendement des réseaux. A noter que le rendement dans certains secteurs se situe actuellement en dessous de 55%.

Rappelons enfin qu'en période de canicule, des actions de sensibilisation devraient être menées afin d'éviter une consommation disproportionnée d'eau du réseau pour des usages qualifiés de facultatifs tels que l'arrosage du gazon, le lavage des rues et des voitures, etc.

d) Gestion des eaux : Modification de la température moyenne

Domaines analysés et disponibilité des données

La modification de la température moyenne aura un effet sur la stratification thermique des lacs sur la dynamique de mélange et sur la qualité physico-chimique de ses eaux (nutriments). En participer pour le lac Léman, compte tenu de son rôle majeur à de nombreux points de vue (réservoir pour l'alimentation en eau, écosystème naturel, rôle de « climatiseurs naturels », attrait touristique), cette évolution représente un risque.

Ce chapitre traite uniquement des effets sur la gestion des eaux, les questions de biodiversité aquatique étant abordés au chapitre 5.8.

Impacts qualitatifs

« La période de stratification thermique s'est étendue : en 30 ans elle s'est avancée d'environ un mois sur l'année hydrologique du Léman et disparait plus tard dans l'année. L'évolution annoncée des températures de l'air pour les décennies à venir devrait intensifier ces phénomènes. C'est en tout cas ce que les modèles mathématiques laissent présager. Pour donner un ordre d'idée, si l'effet de serre continue d'augmenter à ce rythme, il est possible que l'augmentation annuelle des températures du fond du lac Léman jusqu'à 20 m de profondeur prenne 2°C et soit de près de 3°C en surface. La période de stratification serait alors plus longue d'environ 3 semaines et les brassages complets seraient moins fréquents. Les changements d'hydrologie sont également une menace réelle. » (GRAIE 2015).

Un réchauffement des eaux du lac est déjà mesuré sur les eaux superficielles du lac depuis quelques décennies par les CIPEL (Commission internationale pour la protection des eaux du Léman). Si des facteurs autres que le changement climatique y contribue (développement algal, processus de décomposition, etc.), ce réchauffement aura pour conséquences de limiter en période hivernale la perte de chaleur accumulée pendant la belle saison et ainsi de freiner le mélange hivernal des eaux permettant normalement le brassage des eaux (migration des eaux superficielles bien oxygénées dans les couches profondes du lac). Si le processus d'intensifie excessivement il aura pour impact une diminution accélérée de l'oxygène dissous et à terme disparition complète de cet élément vital pour les espèces dans les couches d'eau profondes du lac et des conséquences potentiellement importantes pour la qualité des eaux.

Les impacts de cet aléas sont donc considérés comme négatifs, avec des conséquences moindres – du point de vue de la gestion des eaux – que les autres aléas analysés. Des risques plus importants existent pour la biodiversité aquatique : il sont traités au chapitre Biodiversité (§5.8).

5.7.2. Synthèse du domaine d'impact Gestion des eaux

Coûts et bénéfices aujourd'hui et en 2060 pour tous les aléas et effets pertinents

Globalement, le domaine de la gestion des eaux n'est pas particulièrement impacté par les scénarios climatiques futurs de 2060 à l'échelle du Grand Genève. Le bilan est cependant plus positif pour le canton de Genève que pour les territoires valdo-français du Grand Genève dont certains secteurs souffrent déjà de ressources limitées.

Bilan global pour tous les aléas et effets

- **Opportunités**

Néant.

- **Risques**

En termes **d'approvisionnement**, les secteurs urbanisés de la « couronne française et vaudoise » – qui voient à la fois leur population augmenter fortement depuis plusieurs décennies et qui s'approvisionnent en grande partie par des sources karstiques – sont menacés par une recrudescence probable des périodes de sécheresse. Une **meilleure interconnexion des réseaux** alimentés par les importantes ressources en eau à disposition (lac, Rhône et grandes nappes de la cuvette genevoise) devrait permettre de répondre aux conséquences de ces changements à l'échelle du Grand Genève. En particulier, **le lac Léman constitue un immense réservoir** qui garantit de pourvoir alimenter le Grand Genève même en période de sécheresse lorsque les autres ressources (nappes souterraines, sources karstiques au pied du Jura) sont limitées. Les risques de réchauffement du Léman constituent un risque pour la santé de ce lac en empêchant le brassage hivernal régulier de ses eaux superficielles et profondes.

Sur le plan de la **qualité des eaux**, la multiplication des pluies de forte intensité (de type « pluies tropicales ») augmentera les risques et la fréquence des **déversements d'eaux usées dans les cours d'eau**. Les démarches en cours dans le cadre des SDAGE, SAGE et PREE pour augmenter le taux de réseau séparatif, optimiser la gestion (et diminuer le nombre) des **déversoirs d'orage** et limiter significativement l'imperméabilisation des sols[70], vont dans le sens d'une meilleure maîtrise de ces phénomènes. En ajoutant à cela les mesures sur certains réseaux pluviaux existants (sous-dimensionnés compte tenu de l'évolution probable de l'intensité des pluies) et les conséquences induites par l'augmentation prévisible des exigences quant au **dimensionnement des réseaux futurs**, davantage d'investissements dans ce domaine sont donc à prévoir (études et amélioration des infrastructures).

- **Bilan**

En conséquence des points ci-dessus, le bilan des risques et opportunités est assez modéré pour ce domaine d'impact. Par rapport aux autres domaines d'impact, les impacts des chan-

[70] Le projet de SDAGE Rhône Méditerranée prévoit d'introduire un mécanisme obligatoire de compensation des imperméabilisations nouvelles à hauteur de 150%.

gements climatiques sur la gestion des eaux sont qualifiés de plutôt négatifs à négatifs. Les mesures d'adaptations permettront cependant de limiter fortement ces impacts.

5.7.3. Scénarios socio-économiques pour 2060

Le fort accroissement de la population du Grand Genève prévu à l'horizon 2030 (et a fortiori à l'horizon 2060) augmentera la pression sur les ressources en eau. Il est très probable que l'impact de cette évolution soit plus rapide et plus significatif que celui des changements climatiques.

A contrario, les efforts d'économie d'eau ont permis une diminution de la consommation spécifique par habitant au cours des dernières décennies. A noter que l'augmentation des périodes de canicule est susceptible de faire évoluer les comportements dans la direction opposée. Les efforts de sensibilisation doivent donc être maintenus.

La tendance actuelle à une urbanisation « de couronne » par opposition à une urbanisation concentrique amplifiera les besoins en eau localisés dans des secteurs éloignés des principales ressources en eau disponibles (lac, Rhône, Arve).

A la baisse des débits sur les ressources de tête de bassin s'ajoute l'accroissement probable de nouveaux usages (ex. irrigation, voir chapitre 5.3 Agriculture) induisant un risque de tensions nouvelles et une gestion plus compliquée de la ressource.

Pour le développement de ses activités socio-économiques, le Grand Genève sollicitera donc toujours plus **le réservoir d'eau que constitue le Léman**. Le développement d'une gestion toujours plus transfrontalière de la ressource en eau induit un risque croissant de conflits d'usage. Il est donc judicieux d'anticiper sur des démarches visant à clarifier les « règles du jeu » pour un partage équilibré des ressources en eau à l'échelle du Grand Genève et des régions voisines.

Références du sous-chapitre 5.7

CG01 2013 : Plan Climat Energie Territorial, , Conseil général de l'Ain, 2013

CG74 2012: Analyse de la vulnérabilité aux changements climatiques, Conseil Général de la Haute-Savoie, 2012

CRFG 2012 : Ressource en eau et développement du Grand Genève, Evaluation de la sécurité saisonnière en eau potable, Scénarios de gestion à l'horizon 2030, HydroGéo Conseil Sarl / CRFG, juin 2012

GRAIE 2015: Le tour des grands lacs alpins naturels en 80 questions, GRAIE / ZABR – Zone Atelier Bassin du Rhône, mai 2015

Rajczak, J., Pall, P. and Schär C. 2013: Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 118, 1-17.

Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011: Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt – Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt, 118 S.

Rüetschi, D. 2004: Basler Trinkwassergewinnung in den Langen Erlen. Biologische Reinigungsleistungen in den bewaldeten Wässerstellen. Dissertation an der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel, S. 448, Basel.

SIG 2014 : Rapport Développement durable 2013, SIG, 2014

5.8. Domaine d'impact Biodiversité et espaces verts

Dans les agglomérations, il faut s'attendre à ce que les modifications dues aux changements climatiques aient des répercussions sur la biodiversité. Les espaces verts remplissent une fonction importante en termes de régulation du climat urbain et de qualité de l'air. En tant qu'habitats particuliers pour la faune et la flore des villes, ils sont également précieux pour la biodiversité. Ces deux domaines d'impact sont traités ensemble en raison des nombreux recoupements spatiaux existants entre eux.
Ce chapitre a pour objectif d'analyser ces effets sur les ensembles suivants :

- les milieux naturels et semi-naturels du Grand Genève,
- la biodiversité « urbaine » (ou nature en ville),
- les espaces verts[71].

La distinction des impacts dans les domaines des espaces verts et de la biodiversité qui est faite ici n'est donc pas spatiale mais repose sur les prestations écosystémiques concernées. Dans un premier temps, nous examinerons les impacts sur la biodiversité. Aucune différenciation n'est faite entre les espaces verts et les autres écosystèmes. Tous les types de lieux sont examinés quant à l'importance qu'ils revêtent pour la biodiversité. Dans le chapitre consacré aux espaces verts, nous examinerons les impacts sur les espaces ouverts utilisés pour la détente et sur ceux ayant un effet positif sur le climat urbain. Le chapitre sur les impacts socio-économiques est structuré de la même manière.

Pour cette thématique, l'analyse est menée sans distinction des périmètres administratifs (canton de Genève, district de Nyon et Genevois français) car les observations concernent une grande diversité de milieux que l'on retrouve potentiellement dans l'ensemble du Grand Genève.

Figure 70 : Les entités naturelles du Grand Genève

Hydrographie, massifs boisés et forestiers et entités agricoles. Trois composantes du Plan Paysage de l'agglomération franco-valdo-genevoise (DETA 2010)

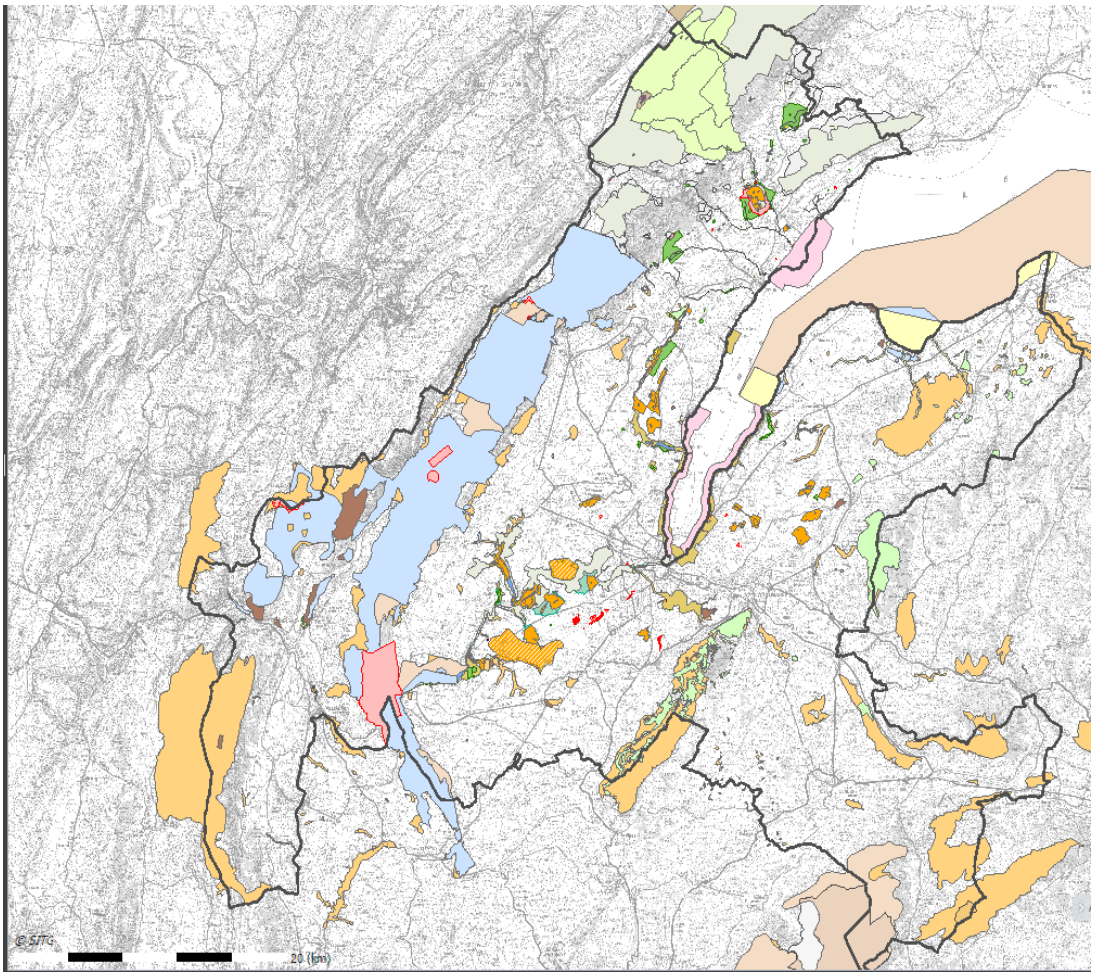
[71] **Espaces verts urbains** : comprendre les espaces verts, parcs et jardins publics situés dans l'agglomération dense.

Diversité des espaces naturels dans l'agglomération du Grand Genève

Le Grand Genève dispose d'une bonne connaissance de ses milieux naturels. Une bonne partie est inventoriée et des mesures de protection sont prises sur un grand nombre d'espace.

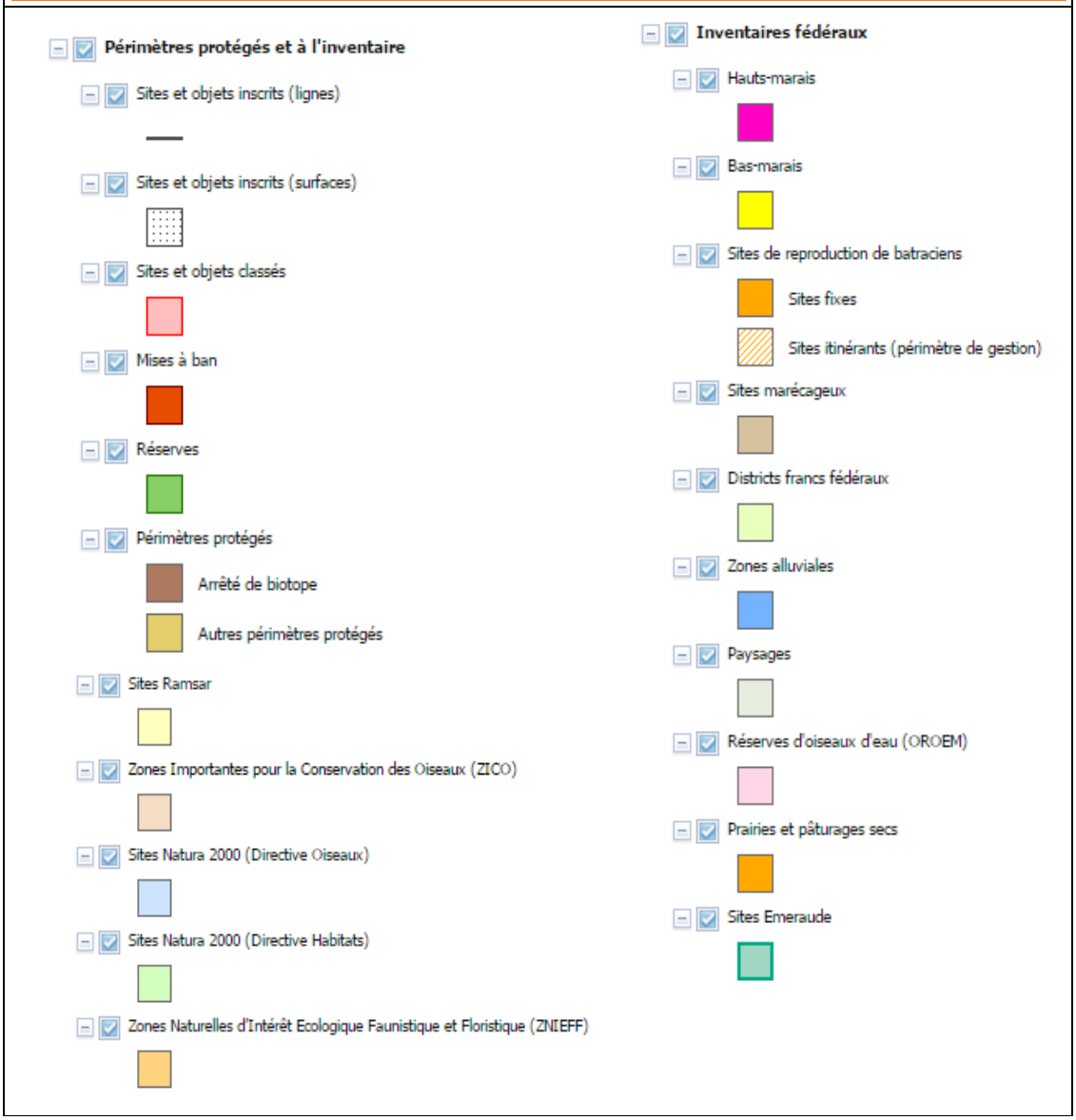
On recense sur le territoire de l'agglomération du Grand Genève des espaces très urbains et des espaces très ruraux. Par ailleurs sa situation, qui s'échelonne entre la montagne et la plaine, avec des spécificités comme la présence du lac et de cours d'eau, favorise une multitude de composantes de milieux naturels. La carte ci-après (Figure 71) donne un aperçu de la variété de sites, de leurs nombres et de leurs répartitions sur le territoire.

Figure 71 : Aperçu des espaces inventoriés ou protégés dans le périmètre du Grand Genève



Aperçu des espaces inventoriés ou protégés dans le périmètre du Grand Genève – source : SITG Grand Genève

Figure 72: Légende de la figure précédente



Aperçu des espaces inventoriés ou protégés dans le périmètre du Grand Genève – source : Grand Genève

Cette cartographie met en évidence la superficie des zones considérées comme importantes sur le plan de la biodiversité sur le territoire du Grand Genève. Ce qu'il faut essentiellement en retenir est la diversité des milieux sur le territoire : zones humides, milieux aquatiques, coteaux, alpages, etc. Un large éventail de milieux naturels est présent sur le territoire. Citons par exemple :

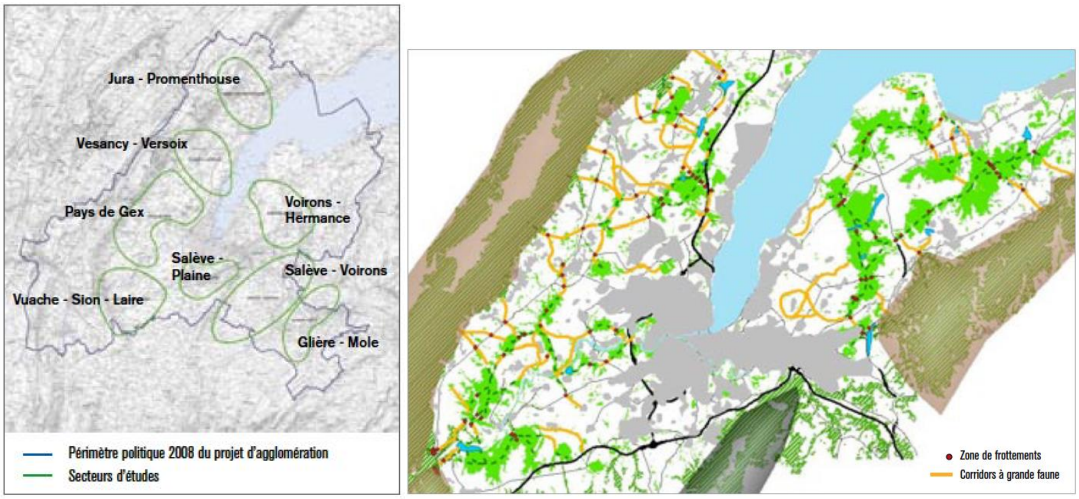
- Des **secteurs de marais**, comme sur Saint Cergues, Machilly, la vallée de l'Orbe, Veigy, Loisin-Ballavais, …
- Des **prairies sèches** d'importance nationale (en Suisse), sur les communes de Dardagny, Satigny, …
- Le **lac Léman et ses berges** : les habitats naturels sont constitués par des terrasses alluviales, îles, grèves, roselières, et certaines parties des rivières Redon, Foron et Vion. Le Lac Léman est la seconde zone la plus importante en France pour l'hivernage des oiseaux d'eau. Chaque année, de décembre à avril, des milliers d'oiseaux viennent passer l'hiver. Le

site abrite de nombreux mammifères comme le castor ou le loir, ainsi qu'une flore variée : plantes d'altitude, espèces méridionales, orchidées, forêt séculaire de chênes et de charmes, bois de buis multiséculaires.

- Le **complexe alluvial du Rhône genevois**, répertorié en site RAMSAR (zone humide d'importance internationale) et qui comporte des sites EMERAUDE (réseau suisse d'espaces protégés) en raison d'habitats naturels remarquables comme les prairies humides oligotrophes, les aulnaies en ripisylve, les chênaies à charmes, … On y recense une dizaine d'espèces d'amphibiens, huit espèces de reptiles, une cinquantaine d'espèces d'oiseaux (dont de nombreux hibernants). Des espèces protégées comme le castor ou l'écrevisse à pattes blanches y sont identifiées.
- Des **secteurs de montagne** :
  - l'emblématique Salève par exemple, qui présente une grande variété de milieux naturels remarquables. On y observe particulièrement de belles pelouses calcaires semi-arides, des reliques d'espèces végétales alpines et une faune spécifique (oiseaux des falaises type faucon pèlerin, chamois, …).
  - Le Mont Vuache de son côté présente une influence méridionale très marquée (prairies thermophiles, broussailles à buis, …) avec une formation forestière essentiellement feuillue. On y recense des chamois, et le lynx y est régulièrement observé. Le lézard vert, d'affinité méridionale, est présent.
  - Sur le massif des Voirons on note la prépondérance des espèces montagnardes et subalpines. Chamois, cerfs et le lynx sont présents, de même que le lézard vert. La flore est riche de plusieurs centaines d'espèces dont plusieurs protégées, comme le Sabot de Vénus.
  - Les Monts du Jura : jusqu'à 650 m d'altitude on rencontre surtout des forêts feuillues et sur les versant les plus au sud des formations végétales thermophiles. Un étage submontagnard dominé par le hêtre conduit aux futaies mixtes de l'étage montagnard, puis aux forêts dominées par l'épicéa. La partie sommitale des crêts de la Haute-Chaîne (qui culmine à 1 700 mètres) constitue l'ultime prolongement du milieu alpin. Elle abrite une remarquable forêt de pins à crochets et de vastes alpages. Cet ensemble est remarquable pour son avifaune : le rare Grand Tétras, la Gélinotte des bois, la Chevêchette d'Europe, la Chouette de Tengmalm, l'Aigle royal, le Milan royal, le Circaète Jean-le-Blanc, le Grand-duc, … Le gradient altitudinal important permet de compter parmi les espèces présentes la Pie-grièche écorcheur sur les pelouses sèches des Bas-Monts et le Pic tridactyle dans les forêts sommitales les plus froides.

A l'échelle de l'agglomération du Grand Genève, il existe de nombreux **continuums biologiques**. Ils font d'ailleurs l'objet de politiques publiques transfrontalières. Le Plan Paysage du projet d'agglomération a identifié plusieurs secteurs prioritaires pour les contrats corridors biologiques (Figure 73). Dopés par la démarche issue de la Loi Grenelle concernant les trames vertes et bleues au niveau français, et par l'impulsion donnée par la Région Rhône Alpes, des contrats territoire «corridors biologiques» sont en cours d'élaboration dans un travail conjoint entre associations et collectivités territoriales (DETA 2010).

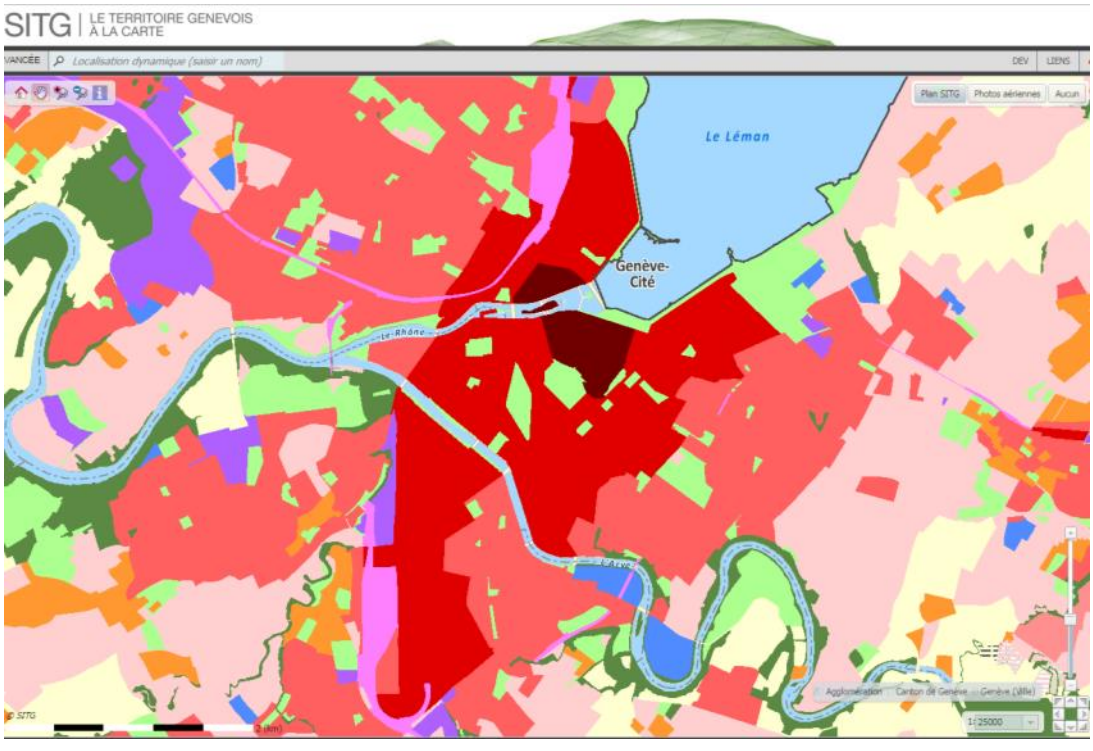
Figure 73 : Corridors grande faune du bassin genevois et secteurs prioritaires pour les contrats corridors biologiques



Projet d'agglomération franco-valdo-genevois (DETA 2010)

Dans l'agglomération urbaine dense, ce sont essentiellement les milieux liés à l'eau qui sont protégés : bords du lac, le long de l'Arve, le long du Rhône.

Figure 74: Occupation du sol dans l'agglomération urbaine dense



Occupation du sol dans l'agglomération urbaine dense – source : SITG Grand Genève

Figure 75: Légende de la figure précédente

Occupation du sol dans l'agglomération urbaine dense – source : Grand Genève

Les espaces urbains sont créés par l'homme. Néanmoins, ils abritent une importante biodiversité. En raison de la densité des constructions et du taux d'imperméabilisation élevé, les habitats urbains sont très différents des écosystèmes ruraux. Grâce à leur diversité structurelle, les surfaces perméables des zones urbaines abritent une diversité d'espèces qui peut parfois s'avérer plus élevée que dans les monocultures agricoles et forestières. Certaines espèces se sont habituées à la ville. Des oiseaux nicheurs des falaises peuvent par exemple trouver des lieux de nidification dans les façades des bâtiments, et les plantes rudérales, qui poussent naturellement en stations arides et sèches, prospèrent au bord des chemins, le long des voies de chemin de fer et sur le gravier (Kozlowski 2003).

L'espace urbain se caractérise en outre par une mosaïque hétéroclite d'habitats proches de la nature pour la faune et la flore. Il y a plusieurs types d'espaces verts – parcs, jardins, voies de communication plantées, lacs, cours d'eau, etc. – qui permettent à toute une diversité d'espèces de survivre en ville. En plus de ces « macrohabitats », des habitats plus petits, comme les fissures dans les murs et les façades, abritent des espèces très spécialisées (Kozlowski 2003).

Toutefois, la biodiversité urbaine est en partie menacée car les habitats sont souvent peu structurés, très fragmentés et isolés. Les populations sont donc insuffisamment reliées entre elles. Cet état de fait est notamment dû à la pression en termes de construction et au taux d'imperméabilisation croissant dans les zones urbaines[72]. La situation dépend donc principalement de l'évolution socio-économique. De plus, les écosystèmes des zones urbaines subissent

[72]L'EPFL développe actuellement le programme URBANGENE dans le but d'établir un diagnostic de l'état actuel de la dynamique de la biodiversité dans le Grand Genève, et d'identifier les facteurs écologiques, socio-économiques et socio-démographiques qui influencent les flux de gènes et l'adaptation d'espèces végétales et animales en milieu urbain.

des changements rapides car le paysage urbain se modifie en permanence. La bonne desserte des villes et les activités humaines favorisent en outre plus qu'ailleurs le développement d'espèces exotiques, qui se multiplient parfois très rapidement le long des voies de communication. Les plantes espèces exotiques envahissantes[73] (EEE) sont ainsi nettement plus répandues en ville qu'en campagne (OFEV 2009).

Enfin, la carte ci-dessus met en évidence les zones de verdure au sein de l'agglomération urbaine dense : parcs publics, parcs privés, squares. Les espaces verts urbains sont de nature très diverse. Les parcs publics sont les plus répandus d'entre eux mais il y a aussi les installations sportives, les piscines ouvertes, les cimetières et les jardins privés. Au cœur de l'agglomération, la ville de Genève est la plus densément peuplée. Malgré sa forte urbanisation, c'est une des villes les plus vertes d'Europe avec 20% du territoire communal constitué de verdure. On y compte 330 ha d'espaces verts, relativement bien répartis entre les différents quartiers de la ville.

[73] Selon la terminologie utilisée dans le Cahier n°13-91 du Grand Genève « Espèces exotiques envahissantes animales et végétales », avril 2014

5.8.1. Analyse des aléas et effets en 2060

Avec les changements climatiques, il faut s'attendre à de nombreux impacts sur la biodiversité des milieux naturels et des espaces verts urbains du Grand Genève. La complexité des interactions et les nombreux facteurs d'influence qui caractérisent les écosystèmes ne permettent pas de déterminer avec précision tous les aléas et effets. Le tableau suivant donne un aperçu des aspects étudiés par type d'aléa climatique.

Tableau 42 : Aperçu des aléas et effets dans le domaine d'impact Biodiversité et espaces verts

Aléas/effet:	Impacts analysés quantitativement	Impacts analysés qualitativement
Crues		**Biodiversité:** Modification de la composition des espèces dans les écosystèmes aquatiques et potentiel de création de milieux pionniers
Modification du régime de précipitations		**Biodiversité:** Modification de la composition des espèces **Espaces verts:** Eventuelle augmentation des besoins d'irrigation
Sécheresse générale		**Biodiversité:** Modification de la composition des espèces dans les écosystèmes urbains **Espaces verts:** • Besoins d'irrigation des surfaces vertes et des peuplements d'arbres dans les parcs • Praticabilité des espaces verts
Vague de froid		**Espaces verts:** Dégâts à la végétation liés au salage des routes **Biodiversité:** Etablissement et propagation d'espèces exotiques envahissantes
Vague de chaleur		**Biodiversité:** • Risque de mortalité piscicole • Modification de la composition des espèces dans les écosystèmes terrestres et aquatiques **Espaces verts:** • Besoins d'irrigation des surfaces vertes et des peuplements d'arbres dans les parcs • Praticabilité des espaces verts
Modification de la température moyenne		**Biodiversité:** • Atteinte à l'écologie aquatique en raison de la hausse de la température de l'eau • Favorisation de l'établissement et de la propagation d'espèces exotiques envahissantes et comportement invasif accru **Espaces verts:** Propagation d'organismes nuisibles

Biodiversité et changements climatiques

Cette partie décrit les principaux impacts dus aux changements climatiques sur la biodiversité. Etant donné que les impacts ne peuvent pas être attribués à un seul aléa mais qu'ils dépendent toujours d'interactions complexes et de divers facteurs d'influence, les auteurs adoptent pour ce chapitre une approche thématique (et non une approche basée sur les aléas pris séparément). Les principaux impacts sont liés à la modification de la diversité des espèces et de

l'écologie des eaux ainsi qu'à l'établissement et à la propagation d'espèces exotiques envahissantes (EEE).

Conséquences directes des changements climatiques sur les espaces naturels

Les espaces naturels présents dans l'agglomération peuvent avoir des comportements très différentes en réaction aux changements climatiques. Ce qu'il faut retenir en premier lieu est que dans tous les cas de figure (sauf bien entendu s'ils sont urbanisés), ces espaces resteront des espaces naturels et on aura toujours une biodiversité présente. C'est ce type de biodiversité qui va changer : elle sera réactive à l'évolution climatique. Le principal problème est donc un problème patrimonial : les changements climatiques risquent de fortement diminuer le patrimoine naturel présent sur l'agglomération, tant en termes d'habitats naturels que d'espèces.

Les scénarios climatiques décrits au §4.1 prévoient, à des degrés divers, une hausse des températures et une baisse des précipitations. En résumé nous aurons saisonnièrement :

- Pour le scénario faible : des hivers et printemps plus chauds, un déficit hydrique essentiellement estival,
- Pour le scénario fort : une forte hausse des températures moyennes, en particulier en hiver et dans les intersaisons, et un déficit hydrique d'été et d'automne alors que les pluies augmentent en hiver et au printemps.

Dans les deux scénarios, les conditions de vie des plantes vont fortement être modifiées. La rapidité des changements climatiques, par rapport aux processus d'adaptation des plantes, ne permettra qu'à celles qui ont une plus grande tolérance à ces changements de se maintenir.

Parmi les habitats naturels présents dans l'agglomération, les conséquences peuvent être les suivantes :

- Pour les zones humides : baisse du niveau de la nappe, moindre approvisionnement en eau. Les conséquences en sont la diminution voire la disparition de ces zones, y compris de la faune associée (amphibiens et oiseaux notamment). On pourra assister à un atterrissement, c'est-à-dire à un assèchement conduisant vers le boisement, de ces secteurs. De nouveaux types d'habitats apparaîtront.
- Berges (bords du lac, du Rhône, de l'Arve) : une baisse du niveau de l'eau engendrera des modifications morphologiques type recul des berges, apparition de bancs. Ces conséquences, si le phénomène n'est pas trop rapide, ne sont pas forcément néfastes pour la biodiversité en place. C'est une nouvelle répartition des habitats qui en sera la conséquence (à corréler avec le point ci-dessous). Toutefois, pour Genève, aucune tendance nette ne se dessine quant aux changements attendus sur le Haut Rhône (Chapitre 5.5.1 b).
- Habitats aquatiques : la hausse de la température moyenne de l'eau en affectera la composition chimique et par conséquent celle des microorganismes et de la faune aquatiques.
- Les prairies sèches : ce type d'habitat, basé sur des espèces thermophiles, pourra favorablement s'étendre en raison de la hausse moyenne des températures. Ceci est à corréler avec d'une part l'évolution de l'économie agricole (avenir du pastoralisme avec

les changements climatiques) et l'évolution de la forêt. On se dirigera aussi bien vers des boisements de ces prairies en formations à faciès méridional.

- Même chose pour les forêts, en particulier de résineux qui aiment le frais : elles auront plus de mal à se maintenir. On peut s'attendre à une remontée altitudinale des boisements liés au charme ou au hêtre (voir également chapitre Forêts). De fait, les secteurs actuels identifiés comme riches du point de vue avifaunistique vont évoluer. Par ailleurs l'augmentation dans un premier temps d'arbres morts pourra favoriser certaines espèces à la base de la chaîne alimentaire (décomposeurs, champignons) et de certains insectes comme le grand capricorne (protégé) qui vit sur les vieux chênes.

Les secteurs qui présentent des faciès montagnards alpins ou subalpins (Monts du Jura, Vuache) seront particulièrement atteints : la remontée altitudinale de la végétation liée à l'augmentation moyenne des températures va engendrer la disparition de la majeure partie des stations de plantes alpines et de la faune associée. Autant des espèces comme le chamois ou le lynx resteront présentes, autant une espèce emblématique comme le grand tétras semble condamnée.

Ces phénomènes primaires sont à corréler avec d'autres facteurs : évolution des sols, phénomènes extrêmes type :

- Périodes de canicule d'été fréquentes : les conséquences seront redoutables à terme pour le maintien de certaines espèces dites anisohydriques (qui n'ont pas une grande tolérance à la sécheresse), y compris la faune. Une simplification des cortèges d'espèces par habitat est à attendre.
- Phénomènes de crues : similairement, seules les espèces résistantes à l'inondation survivront. A noter que les dynamiques de crues peuvent être d'un certain côté bénéfique à la biodiversité en recréant des milieux favorables. L'effet trop régulier « chasse d'eau » des crues peut dans d'autres cas limiter le développement d'habitats pérennes.

Autre cause importante d'impact sur le milieu naturel, on s'attend à ce que les changements climatiques facilitent le développement d'espèces exotiques, et notamment de celles qui sont envahissantes (espèces invasives). Les espèces exotiques envahissantes sont des espèces dont l'amplitude écologique leur permet de très vite s'adapter à des conditions nouvelles, d'une part, et dont l'absence de compétiteurs ou de prédateurs naturels, d'autre part, ne permet pas la régulation. Leur développement sur des milieux fragilisés ne fait aucun doute.

Prenons par exemple le développement du moustique tigre, classé parmi les 10 espèces les plus invasives au monde : il est arrivé en 1990 en Italie, en France en 2004 et il est recensé actuellement dans le département du Rhône. Le Grand Genève a récemment réalisé un état des lieux des espèces exotiques envahissantes animales et végétales (Grand Genève 2014).

Milieux aquatiques et zones humides

Les suivis écologiques du Léman depuis 1950 mettent en évidence l'augmentation de la température de l'eau. La température moyenne des eaux de surface a augmenté de 1.58°C entre 1971 et 2012. Des liens concrets ont été établis entre les fluctuations météorologiques et

certaines modifications des communautés pélagiques. Les conditions physico-chimiques du lac sont modifiées par l'augmentation de la température, ce qui a des conséquences sur la disponibilité en nutriments. Des changements sont ainsi observés dans les dynamiques saisonnières du plancton et créent par conséquent des décalages pour la population piscicole. On constate ainsi des bouleversements dans l'ensemble des écosystèmes du lac (INRA-UMR CARRTEL, 2013).

La période de stratification thermique s'est également étendue : en 30 ans elle s'est avancée d'environ un mois sur l'année hydrologique du Léman et disparait plus tard dans l'année. L'évolution annoncée des températures de l'air pour les décennies à venir devrait intensifier ces phénomènes. On estime que, si l'effet de serre continue d'augmenter à ce rythme, il est possible que l'augmentation annuelle des températures du fond du lac Léman jusqu'à 20 m de profondeur prenne 2°C et soit de près de 3°C en surface. La période de stratification serait alors plus longue d'environ 3 semaines et les brassages complets seraient moins fréquents.

Les changements d'hydrologie sont également une menace réelle : le temps de renouvellement des eaux par les rivières va s'allonger en raison des baisses de débit. Or la vie aquatique et la qualité écologique des lacs sont fortement contrôlées par la température de l'eau, la stratification thermique et les brassages hivernaux. Le mélange des eaux est très important car il entraîne la réoxygénation des couches profondes à partir de la surface et la remise à disposition en surface des nutriments qui avaient été minéralisés dans les couches inférieures.

Si l'évolution de l'hydrodynamique des lacs se confirme et que le réchauffement climatique réduit la fréquence et l'importance des brassages complets :

- les couches de surface pourraient ne plus être enrichies en nutriments à la fin de l'hiver, limitant le développement du phytoplancton au printemps, avec des conséquences sur l'ensemble de la chaine alimentaire ;
- les couches profondes, enrichies en nutriments par la minéralisation, voir le relargage des sédiments, renfermeront un stock en attente pouvant être remis à disposition de façon occasionnelle et contribuant ainsi à une fertilisation accrue du lac.

Les changements de dynamique et/ou d'intensité de ces paramètres modifieraient alors l'abondance et la composition des communautés, algales ou piscicoles: certaines espèces seraient favorisées au détriment d'autres moins compétitives. Ainsi, des espèces nuisibles comme les larves de trichobilharzia qui provoquent la dermatite cercarienne pour l'homme pourraient apparaître.

S'il se poursuit, le réchauffement pourrait agir également de façon directe sur la reproduction et la survie embryonnaire des poissons inféodés aux eaux froides, tels que l'omble chevalier et le corégone. Chez l'omble chevalier, le refroidissement de la température de l'eau contrôle le déclenchement de la fraie. Les températures de l'eau doivent descendre en dessous de 7°C pour que se produisent l'ovulation et la spermiation. De fait, si les lacs ne se refroidissent plus suffisamment en hiver, la reproduction naturelle de l'omble et du corégone serait impos-

sible. En revanche, d'autres espèces comme le gardon pourraient être favorisées par le réchauffement climatique. Dans quelques décennies, nous pourrions avoir un tout autre peuplement piscicole dans le lac[74].

Par ailleurs les autres phénomènes comme le développement des plantes invasives ou les modifications du régime hydrique (rythme et volume des précipitations et des apports externes), liées également aux changements climatiques, viennent amplifier la dynamique de transformation des écosystèmes du lac, dans des proportions qu'il est difficile d'estimer à l'horizon 2060.

Milieux naturels à caractéristiques urbaines

Aujourd'hui déjà, la biodiversité urbaine se caractérise par la présence d'espèces appréciant les milieux secs et chauds. En effet, les températures sont généralement plus élevées en ville qu'à la campagne. Les aires ferroviaires, les murs secs, les friches industrielles et les toits végétalisés constituent d'importants habitats pour la faune et la flore urbaine. Les changements climatiques ne présentent pas un risque direct pour ces milieux car les espèces qu'ils abritent sont déjà adaptées à la sécheresse et aux températures élevées. Il est même possible que ces biocénoses connaissent une expansion, mais cela dépend principalement du degré de mise en réseau des écosystèmes.

Un des éléments décisifs pour le développement des écosystèmes relève de la planification urbaine, et plus précisément des aménagements proches de la nature et des mesures de valorisation et de protection des milieux existants. Les impacts dépendent fortement de l'évolution socio-économique et ne peuvent donc pas être évalués séparément.

Espaces verts

Les espaces verts ont pour fonction de maintenir un certain équilibre climatique en ville. En effet, les grandes quantités d'eau qui s'y évaporent créent un effet rafraîchissant, participant à la lutte contre les ilots de chaleur et évitant le recours à la climatisation. Par ailleurs, grâce aux zones d'ombre créées par la végétation, ils constituent d'importants lieux de détente. De plus, les plantes ont la capacité de filtrer les polluants atmosphériques, participant ainsi à l'amélioration de la qualité de l'air. Ce phénomène peut toutefois également causer des dégâts à la végétation (Econcept 2013). Les espaces verts, capables de réduire les impacts sur la santé dans les villes, gagneront en importance avec l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur.

En plus de l'amélioration du climat urbain, les espaces verts jouent également un rôle crucial pour l'évacuation des eaux urbaines (cf. §5.7). Grâce à l'infiltration de l'eau et à leur capacité de rétention, les surfaces perméables permettent de réduire le risque de crues ainsi que

[74] Article Agence de l'Eau / INRA-Carrtel / MDP, à paraître

les dégâts liés aux précipitations. Il faut donc s'attendre à ce que la valeur des espaces verts continue d'augmenter avec les changements climatiques attendus.

Les services écosystémiques des espaces verts sont influencés par les différentes modifications climatiques. Il faut surtout s'attendre à des impacts négatifs. Les vagues de chaleur et les périodes de sécheresse entraînent un durcissement des sols, réduisant ainsi leur capacité de rétention (OFEV 2012a). Ce phénomène réduit l'évapotranspiration et, partant, diminue l'effet de refroidissement. La capacité d'infiltration est elle aussi réduite, ce qui augmente le risque de saturation des systèmes d'évacuation des eaux usées en cas de fortes précipitations. La hausse de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur et des périodes de sécheresse augmentent les besoins d'irrigation (espaces verts ornementaux, massifs fleuris, …) ou réduisent la praticabilité des espaces verts publics.

La hausse des températures favorise généralement la propagation d'organismes nuisibles et d'agents pathogènes, causant ainsi des dégâts à la végétation et des atteintes aux prestations de ces écosystèmes. Les changements climatiques attendus pourraient alors augmenter les besoins en matière de soins ainsi que les coûts liés à la lutte contre les ravageurs.

L'importance des espaces verts en ville va donc encourager les collectivités à mettre en place des solutions. Deux hypothèses peuvent être émises :

- Sur les espaces travaillés et qui font référence en matière de patrimoine culturel, comme le jardin botanique / parc de l'Impératrice ou encore le parc des Bastions, les jardiniers sauront perpétuer les espèces tant que les moyens techniques et financiers seront disponibles. C'est déjà le cas avec les espèces dites « acclimatées », dont les conditions naturelles d'existence ne seraient pas possible sinon sur le territoire.
- Les espaces verts plus petits ou moins symboliques seront progressivement adaptés : remplacement des arbres ne supportant pas l'évolution climatique, réfection des pelouses et ensemencement avec des graminées supportant mieux les nouvelles conditions climatiques, etc. La gestion pourra également être différente avec moins de tontes qui facilitent le stress hydrique d'été. Parallèlement, on peut imaginer une évolution de la perception de la population des espaces dits « verts » avec une pelouse jaunie en fin d'été. Le réseau racinaire permettra une repousse dès l'automne (même problématique que pour les prairies).

La diminution des vagues de froids peut quant à elle entraîner des effets positifs. Si les périodes de froid deviennent moins fortes et moins fréquentes, les besoins en salage diminuent, ce qui réduit de façon indirecte les dégâts à la végétation.

Propagation d'espèces exotiques envahissantes et d'organismes nuisibles

La biodiversité des espaces intra-urbains est plus exposée à la pression exercée par les espèces exotiques envahissantes que les régions alentour, notamment à cause de l'intensité des activités humaines, de l'intensité des échanges internationaux et de la taille des réseaux de

routes et de voies d'eau. Des études types sur la propagation des néophytes (EEE) en Suisse montrent que l'augmentation de la température moyenne favorise le développement de ces espèces, en particulier dans l'espace urbain (Nobis et al., 2009). Avec les changements climatiques attendus, de nouvelles espèces pourraient faire leur apparition, en particulier dans les milieux aquatiques. Les espèces pour lesquelles la température adéquate se situe légèrement au dessus de celle des espèces indigènes pourraient avoir un comportement invasif. A noter que le développement de nouvelles espèces ne sera pas forcément négatif et peut même avoir des effets positifs. Seule une faible part des espèces exotiques envahissantes sera réellement problématique.

Sous les conditions climatiques actuelles, une propagation massive de ces espèces peut être exclue. Mais avec la hausse de la température de l'eau, il faut s'attendre à ce que ce type d'espèces aient un avantage concurrentiel et que leur comportement devienne invasif (OFEFP 2005). Cette menace ne se limite pas aux eaux; elle peut s'étendre à d'autres écosystèmes.

De la même manière, la propagation des organismes nuisibles est favorisée par la diminution des vagues de froid et la hausse de la température moyenne. De plus, les interactions complexes entre certaines espèces (parasites-hôtes par exemple) peuvent être perturbées si les espèces concernées évoluent différemment. L'équilibre entre les espèces qui dépendent actuellement les unes des autres pourrait ainsi être rompu, ce qui peut entraîner de graves modifications de la diversité des espèces (Essel und Rabitsch 2013).

Certaines espèces pourraient profiter de la propagation d'espèces exotiques, notamment lorsque l'offre en nourriture s'élargit, alors que d'autres seront évincées de leur habitat d'origine. La complexité des interactions entre les écosystèmes ne permet toutefois pas d'estimer pour quelles espèces et biocénoses les changements seront profitables et pour lesquelles ces derniers représentent une menace.

Pour résumer, tant les écosystèmes aquatiques que les écosystèmes terrestres sont soumis à la pression accrue de la concurrence des espèces exotiques en raison des changements climatiques. Les modifications climatiques attendues favorisent d'une part l'apparition de nouvelles espèces; d'autre part, avec le déplacement des barrières climatiques, il faut s'attendre à une propagation importante des animaux et des plantes exotiques. Certaines de ces nouvelles espèces auront un impact négatif sur la biodiversité du Grand Genève. Ainsi, les milieux secs et chauds, à qui les changements climatiques sont généralement favorables, connaîtront eux-aussi des impacts parfois négatifs.

5.8.2. Synthèse du domaine d'impact Biodiversité et espaces verts

Etant donné que les écosystèmes proches des agglomérations sont soumis à des changements en permanence, la plupart des espèces qu'on y trouve sont dotées d'une bonne capacité d'adaptation. De plus, l'espace intra-urbain abrite notamment des espèces appréciant les milieux secs et chauds. On peut donc partir du principe que ces espèces continueront de s'adapter relativement bien aux nouvelles conditions climatiques. Etant donné que les zones urbaines sont régulièrement réaménagées, il est possible de prendre des mesures pour conserver au mieux la diversité des espèces.

Il faut s'attendre à ce que les populations de poissons d'eau froide et d'autres groupes d'espèces des milieux aquatiques subissent des impacts négatifs. Il n'existe pas de mesures d'adaptation ou de protection qui peuvent être facilement mises en œuvre dans les eaux, qui sont particulièrement touchées en cas de réchauffement important, contrairement à d'autres écosystèmes, où les impacts négatifs peuvent être réduits ou évités grâce à des mesures d'aménagement ou de construction simples. La vulnérabilité est donc plus importante pour les eaux et les zones humides situées en ville que pour les espaces verts et les milieux secs. Aujourd'hui déjà, il ne reste que quelques rares milieux dignes de protection le long des cours d'eau et des lacs, raison pour laquelle il est d'autant plus important de protéger ces milieux.

Par rapport aux autres domaines d'impact, **les impacts sur les espaces verts et la biodiversité sont négatifs**. Dans l'ensemble, ces impacts négatifs concernent surtout les domaines de l'écologie des eaux et de la propagation d'espèces exotiques envahissantes.

Interfaces avec d'autres domaines d'impact

La biodiversité est également fortement influencée par les impacts des changements climatiques sur d'autres domaines d'impact (Essel und Rabitsch 2013, SBS 2012). En cas de recrudescence des vagues de chaleur et d'augmentation des températures moyennes, il faut par exemple s'attendre à des besoins accrus en eau de refroidissement et d'irrigation, ce qui peut renforcer encore davantage le problème de la hausse des températures de l'eau et de sa disponibilité.

De même, les dispositifs de protection contre les crues en réponse aux fortes pluies peuvent, selon les cas, entraîner d'importants impacts négatifs ou positifs sur l'écologie des eaux.

Autre exemple, les mesures d'adaptation prévues dans le domaine de l'agriculture pour couvrir les besoins accrus d'irrigation et lutter contre les organismes nuisibles peuvent entraîner des impacts potentiellement négatifs sur la biodiversité de divers écosystèmes.

Enfin, les espaces verts dans l'agglomération urbaine dense permettent de lutter contre le phénomène de l'ilot de chaleur (lien avec la santé).

5.8.3. Scénarios socio-économiques dans le domaine d'impact Biodiversité et espaces verts en 2060

Biodiversité des milieux naturels du Grand Genève

L'expansion de l'espace urbain et la densification des zones existantes, qui peuvent accentuer la fragmentation des écosystèmes, font partie des principales évolutions socio-économiques pouvant influencer la biodiversité. L'expansion des zones urbaines entraîne généralement des effets négatifs sur la biodiversité alentour car elle implique la destruction de milieux naturels et le morcellement du paysage, réduisant ou empêchant ainsi les échanges entre les populations. Sans ces échanges, le patrimoine génétique s'affaiblit et la capacité d'adaptation des espèces diminue. La mise en réseau des écosystèmes en créant des corridors et des habitats relais revêt donc une importance particulière pour permettre aux écosystèmes de survivre. Le Grand Genève travaille sur la mise en place de contrats corridors écologiques (en particulier transfrontaliers). Parallèlement, le canton de Genève travaille sur différentes mesures : « nature en ville », corridors écologiques, renaturation, etc.

L'expansion et la densification urbaines attendues ont donc des impacts négatifs sur la biodiversité. Il faut ainsi s'attendre à ce que les impacts liés à l'évolution socio-économique, dans un secteur où la pression urbaine est très forte, soient nettement plus importants que ceux des changements climatiques.

De manière générale, l'enjeu principal consiste donc clairement à maintenir l'espace vital pour assurer la survie des écosystèmes. Bien que l'urbanisation constitue clairement – dans le périmètre considéré – une menace plus importante pour la biodiversité que les changements climatiques en eux mêmes, il est essentiel de poursuivre, dans une perspective d'adaptation, les efforts déjà déployés de conservation des espaces naturels.

Espaces vert urbains

D'une part, les espaces verts sont soumis à une pression accrue liée à la croissance démographique, au comportement de la population en termes de loisirs et à l'urbanisation. D'autre part, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des périodes de chaleur impliquent des besoins accrus en zones fraîches pour les loisirs. Etant donné que la densification urbaine ne permet le développement des espaces verts que dans une faible mesure, la fréquentation des zones de loisirs existantes devrait augmenter. Il faut donc s'attendre à devoir promulguer davantage de soins aux parcs et jardins publics compte tenu de leur proximité avec la grande majorité de la population.

Les espaces verts urbains sont régulièrement transformés ou réaménagés en fonction des constructions, de la pression liée à l'utilisation, des changements de comportement de la population en termes de loisirs ainsi que des besoins d'assainissement. Dans le cadre des projets de construction, les espaces verts font aussi souvent l'objet de transformations. Ils sont donc soumis à des changements plus rapides que les milieux naturels. Dans le contexte des changements climatiques, cette restructuration peut aussi présenter une opportunité. Les installations

peuvent être réaménagées de manière à augmenter leur valeur écologique et donc aussi leur capacité à s'adapter aux nouvelles conditions climatiques.

Une autre menace pour les écosystèmes induite par l'urbanisation est la propagation d'espèces exotiques envahissantes et la prolifération d'organismes nuisibles. Compte tenu de la grande complexité des interactions entre les espèces et de leurs différentes capacités d'adaptation, il est difficile d'évaluer l'ampleur de l'évolution attendue pour chaque espèce. L'espace urbain étant en outre caractérisé par une grande diversité de milieux, la diversité des espèces peut être influencée tant positivement que négativement selon le milieu concerné. Il est donc très difficile d'évaluer les impacts attendus de manière globale. La propagation d'espèces exotiques, surtout, est fortement influencée par des facteurs anthropiques tels que le développement des voies de communications, le commerce international et les flux de trafic. Il faut donc partir du principe que les impacts liés à l'évolution socio-économique seront nettement plus importants que ceux des changements climatiques.

La gestion des espaces verts dépend principalement de leur utilisation, et ils sont régulièrement réaménagés dans le cadre du renouvellement urbain : ces changements réguliers dans le temps, d'ordre socio-économique, ont un impact plus immédiat et plus notable que celui attendu à terme de façon directe par les conséquences des changements climatiques.

Références du sous-chapitre 5.8

BAFU 2012a: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz- Ziele Herausforderungen und Handlungsfelder, Erster Teil der Strategie des Bundesrates, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, 2012

BAFU 2012b: Strategie Biodiversität Schweiz, Bundesamt für Umwelt (BAFU), UD-1060-D, Bern 2012

BAFU 2009: Zustand der Biodiversität in der Schweiz, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern 2009

DETA 2010 : Nature dans le canton de Genève, bilan de 10 ans d'actions et perspectives

Econcept 2013: Klimawandel im Grossraum Zürich: Auswirkungen und Anpassungsmassnahmen, Wissenschaftlichen Grundlagen – Schlussbericht, Wissenschaftsforum ZKB, Oktober 2013

Essel und Rabitsch 2013: Essl F., Rabitsch W. (Hrsg.); Biodiversität und Klimawandel; Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa; ISBN 978-3-642-29691-8; Springer Berlin Heidelberg 2013

Grand Genève 2014 : Espèces exotiques envahissantes animales et végétales, Cahier n°13-9, Grand Genève, avril 2014

INRA-UMR CARRTEL, 2013 : Archives des sciences, septembre 2013, O. Anneville (INRA-UMR CARRTEL) et Alii

Kozlowski 2003: Städte als Hotspot der Biodiversität am Beispiel Fribourg, Hotspot-Biodiversität im Siedlungsraum , Oktober 2003

Naturinventar 2011: Reisner Y., Unbekannte Schätze vor der Haustür – Ergebnisse des Naturinventars im Kanton Basel-Stadt Schlussbericht zum Inventar der schutzwürdigen Naturobjekte im Kanton Basel-Stadt, Herausgeber: Bau- und Verkehrsdepartement des Kantons Basel-Stadt, Stadtgärtnerei, Basel, Oktober 2011

Nobis et al 2009: Nobis MP, Jaeger JAG, Zimmermann NE: Neophyte species richness at the landscape scale under urban sprawl and climate warming. *Diversity and Distributions* 15 (6): 928-939.

5.9. Vision d’ensemble de tous les domaines d’impact

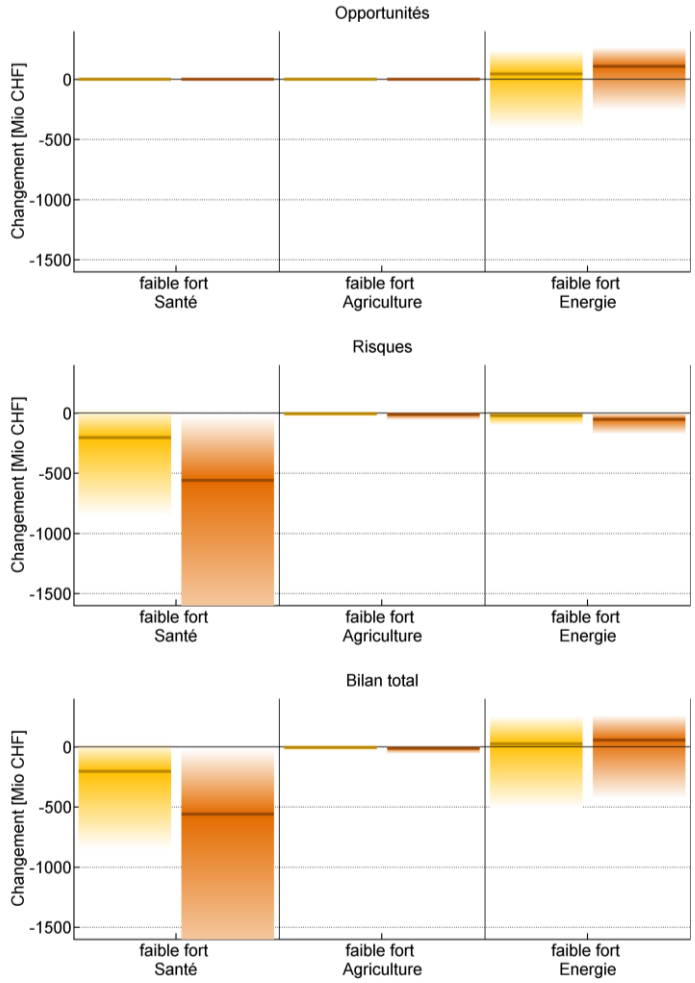
Les chapitres suivants donnent un aperçu global des impacts analysés quantitativement ou qualitativement. **Une synthèse plus circonstanciée des résultats de l’étude est fournie au chapitre 1.**

5.9.1. Impacts analysés de façon quantitative

Pour tous les impacts quantifiés, les opportunités et les risques attendus en raison des changements climatiques ont été calculés à partir de la différence entre les scénarios climatiques 2060 et la situation actuelle (Figure 76). Les risques majeurs ont été identifiés : ceux-ci se situent tout particulièrement dans le **secteur de la santé**. En raison d’une augmentation de la mortalité et de la diminution de la capacité de travail en cas de canicules, des coûts supplémentaires importants sont à prévoir. Quant aux opportunités principales, elles sont identifiées dans le secteur de l’énergie, puisque les économies de consommation de chauffage permettront certaines économies qui seront en partie contrebalancées par une augmentation de la consommation énergétique de la climatisation.

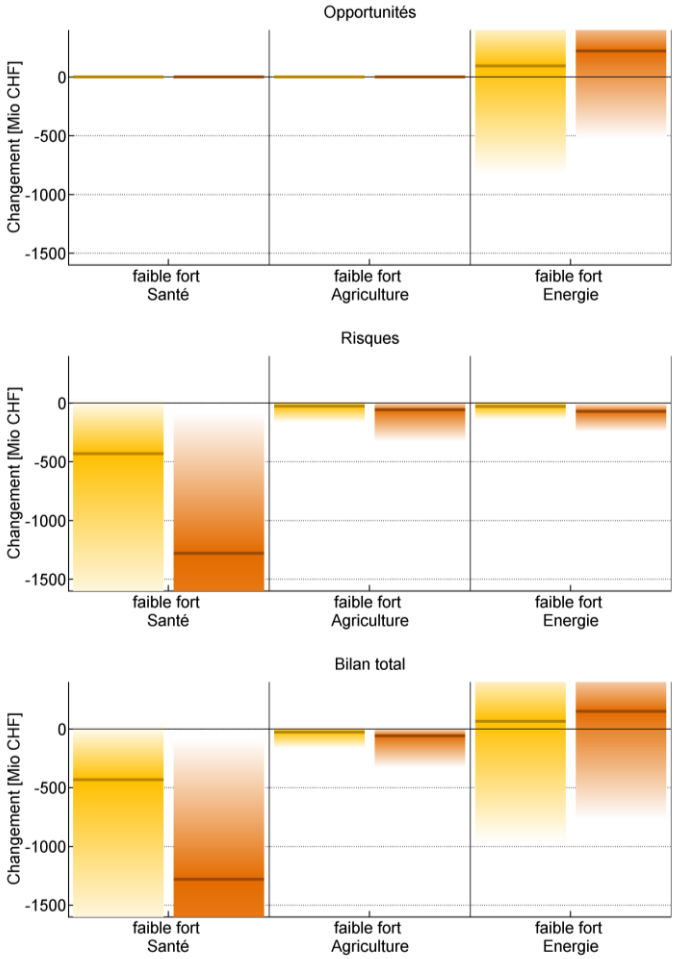
Il convient de noter que le montant estimé des risques et opportunités analysés quantitativement est frappé d’importantes incertitudes. Les chiffres ne doivent pas être considérés directement à leur valeur nominale mais être interprétés avec prudence. Les estimations sont principalement destinées à permettre une discussion transparente et une comparaison cohérente des risques et des opportunités entre les différents domaines d'impact.

Figure 76 : Vue d'ensemble des risques et opportunités annuels moyens attendus pour 2060 exprimés en termes monétaires (canton de Genève)



Canton de Genève : représentation graphique des changements des valeurs moyennes annuelles dus aux scénarios climatiques faible (jaune) et fort (orange). Les barres d'histogrammes en dégradés représentent les incertitudes estimées. Les domaines gestion des eaux, infrastructures et bâtiments et biodiversité n'ont été évalués que qualitativement.

Figure 77 : Vue d'ensemble des risques et opportunités annuels moyens attendus pour 2060 (Grand Genève) exprimés en termes monétaires



Grand Genève : représentation graphique des changements des valeurs moyennes annuelles dus aux scénarios climatiques faible (jaune) et fort (orange). Les barres d'histogrammes en dégradés représentent les incertitudes estimées. Les domaines gestion des eaux, infrastructures et bâtiments et biodiversité n'ont été évalués que qualitativement.

5.9.2. Domaines d'impact analysés de façon qualitative

Pour les domaines d'impact ayant été analysés de façon qualitative et quantitative, les aspects qualitatifs sont mis en relation avec les aspects quantitatifs au moyen de facteurs de conversion permettant de comparer les différents ordres de grandeur.

Ainsi si les aspects qualitatifs sont qualifiés de « nettement plus faibles », ils seront pris en compte comme contribuant à raison de 10% du bilan global. S'ils sont qualifiés de « négligeables », « nettement plus faibles », « plus faibles », « comparables » ou « plus grands », le bilan global est augmenté respectivement de 0%, 10%, 33%, 100%, 300%.

Le tableau suivant présente la classification des effets qualitatifs pour les différents domaines d'impact. Par exemple, dans le domaine de l'énergie, les risques d'une baisse des débits sur la production hydroélectrique sont considérés comme « nettement plus faibles » que l'ensemble des coûts pour le domaine énergie : on pratiquera donc à l'augmentation de 10% des coûts dans le bilan global.

Tableau 43 : Facteur de conversion des impacts qualitatifs par rapport aux impacts quantifiables pour le canton de Genève et le grand Genève

	Opportunités		**Risques**	
Domaines d'impact	Faible	Fort	Faible	Fort
Santé	10%	10%	10%	10%
Agriculture	10%	10%	10%	10%
Energie	10%	10%	10%	10%

Facteur de conversion des impacts qualitatifs par rapport aux impacts quantifiables

Dans les domaines Santé, Agriculture et Energie, la disponibilité à la fois d'une analyse quantitative et qualitative permet de mettre en relation ces deux approches. En l'occurrence, toutes les analyses qualitatives ont été considérées comme « nettement plus faible » (10%) que leur pendant quantitatif.
Pour les autres domaines, aucun chiffre n'apparaît dans le tableau ci-dessus : soit parce qu'aucune analyse qualitative n'a été faite, soit inversement, parce que seule une analyse qualitative a été effectuée.

L'estimation qualitative des impacts se reflète ainsi dans la synthèse générale du chapitre 1.2.