



# **ETUDE SUR LES STRATEGIES TERRITORIALES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

## **COUTS DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE L'ADAPTATION**

### **RAPPORT DE PHASE 3**

**VENDREDI 06 JUILLET 2012**

Artelia Eau et Environnement - Équipe Climat-Énergie  
50 avenue Daumesnil – 75012 PARIS

Contact : Pricillia Privat  
[pricillia.privat@arteliagroup.com](mailto:pricillia.privat@arteliagroup.com)

Tél : 01 48 78 93 45

Fax : 01 48 78 93 41



**METROECONOMICA**  
Economic and Environmental Consultants

En partenariat avec Lisa RUSSO Consultante  
Changement climatique et adaptation

## Table des matières

INTRODUCTION.....	8
1 IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'EVOLUTION DES RENDEMENTS AGRICOLES ET SUR L'ELEVAGE.....	11
1.1 ETAT DE LA CONNAISSANCE SUR L'EVALUATION DES COUTS .....	11
1.2 PROBLEMATIQUE POUR LA ZONE D'ETUDE .....	12
1.3 IMPACTS DES EVOLUTIONS TENDANCIELLES DU CLIMAT.....	12
1.3.1 METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	12
1.3.1.1 DONNEES D'ENTREE.....	12
1.3.2 EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	14
1.3.2.1 RESULTATS EN VOLUMES.....	14
1.3.2.2 EN TERMES MONETAIRES .....	14
1.4 IMPACT DES CANICULES .....	15
1.4.1 METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	15
1.4.1.1 DONNEES D'ENTREE.....	15
1.4.2 EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	16
1.4.2.1 EN VOLUMES.....	16
1.4.2.2 EN COUT MONETAIRE .....	18
1.5 EVALUATION DE L'ADAPTATION .....	18
1.5.1 METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	18
1.5.1.1 DONNEES D'ENTREE.....	19
1.5.2 EVALUATION DU COUT ASSURANTIEL.....	19
1.6 LIMITES .....	20
1.7 POUR ALLER PLUS LOIN .....	20
1 IMPACT DE L'EXACERBATION DES PHENOMENES DE SUBMERSIONS MARINES SUR LES TERRAINS ET LES INFRASTRUCTURES BATIES ET DE TRANSPORT .....	21
1.1 ETAT DE LA CONNAISSANCE SUR L'EVALUATION DES COUTS .....	21
1.2 PROBLEMATIQUE POUR LA ZONE D'ETUDE .....	22
1.3 LE PHENOMENE DE SUBMERSION : TERRAINS EN ZONE SUBMERSIBLE.....	22
1.3.1 METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	22
1.3.1.1 DONNEES D'ENTREE.....	22
1.3.2 EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	23
1.4 LE PHENOMENE DE SUBMERSION : INFRASTRUCTURES BATIES ET DE TRANSPORTS .....	25
1.4.1 METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	25
1.4.1.1 DONNEES D'ENTREE.....	25
1.4.2 EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	26
1.5 EVALUATION DE L'ADAPTATION .....	27
1.5.1 METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	28
1.6 LIMITES .....	28
1.7 POUR ALLER PLUS LOIN .....	28
2 IMPACT DE L'EXACERBATION DU PHENOMENE D'EROSION SUR LE LINEAIRE COTIER ET LES ENJEUX ASSOCIES .....	30
2.1 ETAT DE LA CONNAISSANCE SUR L'EVALUATION DES COUTS .....	30
2.2 PROBLEMATIQUE POUR LA ZONE D'ETUDE .....	30
2.3 EVALUATION DE L'INACTION .....	30
2.4 EVALUATION DE L'ADAPTATION DES ESPACES ERODES .....	30
2.4.1 METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	30

2.4.1.1	DONNEES D'ENTREE.....	31
2.4.2	EVALUATION DU COUT DE L'ADAPTATION.....	32
2.5	LIMITES .....	33
2.6	POUR ALLER PLUS LOIN .....	33
3	IMPACT DE LA HAUSSE DES TEMPERATURES SUR LES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES .....	34
3.1	ETAT DE LA CONNAISSANCE SUR L'EVALUATION DES COUTS .....	34
3.2	PROBLEMATIQUE POUR LA ZONE D'ETUDE .....	34
3.3	IMPACT SUR LES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DANS LE SECTEUR RESIDENTIEL .....	35
3.3.1	METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	35
3.3.1.1	DONNEES D'ENTREE.....	35
3.3.2	EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	36
3.4	IMPACT SUR LES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DANS LE SECTEUR TERTIAIRE.....	36
3.4.1	METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	36
3.4.1.1	DONNEES D'ENTREE.....	36
3.4.2	EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	37
3.5	EVALUATION DU COUT DE L'ADAPTATION .....	37
3.5.1	METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	37
3.6	LIMITES .....	38
3.7	POUR ALLER PLUS LOIN .....	38
4	IMPACT DES EVENEMENTS EXTREMES (CANICULES ET GEL) SUR LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS.....	39
4.1	ETAT DE LA CONNAISSANCE SUR L'EVALUATION DES COUTS .....	39
4.2	PROBLEMATIQUE POUR LA ZONE D'ETUDE .....	39
4.3	IMPACT DES CANICULES SUR LES INFRASTRUCTURES ROUTIERES.....	39
4.3.1	METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	39
4.3.1.1	DONNEES D'ENTREE.....	39
4.3.2	EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	40
4.4	EVALUATION DE L'ADAPTATION .....	42
4.4.1	LIMITES.....	42
4.5	IMPACT DU GEL POUR LES INFRASTRUCTURES ROUTIERES .....	42
4.5.1	METHODOLOGIES SELECTIONNEES.....	43
4.5.1.1	HYPOTHESE ISSUE DE LA LITTERATURE.....	43
4.5.1.2	EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	43
4.5.1.3	HYPOTHESE AD HOC.....	44
4.5.1.4	EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	44
4.6	EVALUATION DE L'ADAPTATION .....	45
4.7	LIMITES .....	45
4.8	IMPACT DES CANICULES SUR LE RESEAU FERROVIAIRE .....	45
4.8.1	METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	45
4.8.1.1	DONNEES D'ENTREE.....	45
4.8.2	EVALUATION DU COUT DE L'INACTION .....	46
4.9	EVALUATION DE L'ADAPTATION .....	46
4.9.1	METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	46
4.10	LIMITES .....	46
4.11	POUR ALLER PLUS LOIN .....	46
5	IMPACT DE L'EXACERBATION DU RISQUE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES SUR LE CADRE BATI .....	48
5.1	ETAT DE LA CONNAISSANCE SUR L'EVALUATION DES COUTS .....	48
5.2	PROBLEMATIQUE POUR LA ZONE D'ETUDE .....	48
5.3	EVALUATION DE L'INACTION .....	48

5.3.1	METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	48
5.3.1.1	DONNEES D'ENTREE.....	49
5.3.2	EVALUATION DU COUT DE L'INACTION.....	49
5.4	EVALUATION DE L'ADAPTATION.....	52
5.4.1	METHODOLOGIE SELECTIONNEE.....	52
5.4.1.1	DONNEES D'ENTREE.....	52
5.4.2	EVALUATION DU COUT DE L'ADAPTATION.....	52
5.5	LIMITES.....	53
5.6	POUR ALLER PLUS LOIN.....	53
6	IMPACT DE LA HAUSSE DES TEMPERATURES SUR LA SANTE PUBLIQUE.....	54
6.1	ETAT DE LA CONNAISSANCE SUR L'EVALUATION DES COUTS.....	54
6.2	PROBLEMATIQUE POUR LA ZONE D'ETUDE.....	55
6.3	METHODOLOGIE SELECTIONNEE POUR L'EVALUATION DE L'INACTION.....	55
6.3.1	DONNEES D'ENTREE.....	55
6.4	EVALUATION DU COUT DE L'INACTION.....	56
6.5	METHODOLOGIE SELECTIONNEE POUR L'EVALUATION DE L'ADAPTATION.....	57
6.5.1	DONNEES D'ENTREE.....	58
6.6	EVALUATION DU COUT DE L'ADAPTATION.....	58
6.7	LIMITES.....	58
6.8	POUR ALLER PLUS LOIN.....	59
7	IMPACT DE LA HAUSSE DES TEMPERATURES SUR LA FREQUENTATION ET L'ATTRACTIVITE TOURISTIQUE.....	60
7.1	ETAT DE LA CONNAISSANCE SUR L'EVALUATION DES COUTS.....	60
7.2	PROBLEMATIQUE POUR LA ZONE D'ETUDE.....	60
7.3	METHODOLOGIE SELECTIONNEE POUR L'EVALUATION DE L'INACTION.....	61
7.3.1	DONNEES D'ENTREE.....	62
7.4	EVALUATION DE L'INACTION.....	62
7.5	METHODOLOGIE SELECTIONNEE POUR L'EVALUATION DE L'ADAPTATION.....	62
7.6	LIMITES.....	63
7.7	POUR ALLER PLUS LOIN.....	63
8	RETOUR D'EXPERIENCE – INONDATION DE LA SOMME EN 2001.....	65
8.1	INCERTITUDES SUR L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES INONDATIONS.....	65
8.2	BILANS DE L'INONDATION DE LA SOMME EN 2001.....	65
8.3	ACTIONS ENTREPRISES DEPUIS 2001 AFIN DE REDUIRE LE RISQUE ET LA VULNERABILITE.....	66
8.4	POUR ALLER PLUS LOIN.....	66
9	LE CONCEPT DE MALADAPTATION : DEFINITION ET ETAT DES LIEUX DE LA RECHERCHE.....	67
	SYNTHESE.....	68
10	BIBLIOGRAPHIE.....	72

## Table des figures :

Tableau 1 : Les rendements actuels des régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie en tonne par hectare (Source : Source : Agreste & CLIMATOR, 2010 - Zone Nord) .....	13
Tableau 2 : Volumes produits actuellement dans les régions Picardie et Nord-Pas-de-Calais (moyenne 2007-2010) en milliers de Tonnes (Source : Agreste, Statistiques agricoles annuelles) .....	13
Tableau 3 : Evolutions de rendements – CLIMATOR – Station Mons pour le futur proche (FP) et le futur lointain (FL) (Source : Projet CLIMATOR, 2010) .....	13
Tableau 4 : Les prix de marché des produits agricoles (€/tonne) (Source : Source : Eurostat pour le blé et maïs ; Chambre d'agriculture de l'Oise pour les prairies) .....	13
Tableau 5 : Evolutions des volumes en moyenne annuelle - Futur Proche - Milliers de Tonnes (Source : Projet CLIMATOR, 2010) .....	14
Tableau 6 : Evolutions des volume en moyenne annuelle - Futur Lointain en milliers de Tonnes .....	14
Tableau 7 : Evaluation monétaire du changement des volumes de production en moyenne annuelle (Millions d'euros) – Futur proche .....	14
Tableau 8 ; Evaluation monétaire du changement des volumes de production en moyenne annuelle (Millions d'euros) - Futur lointain .....	14
Tableau 9 : Volume produits pour les prairies en 2002 et 2003 (Source : Agreste, Statistiques agricoles annuelles) .....	16
Tableau 10 : Volume produits pour le blé tendre en 2002 et 2003 (Source : Agreste, Statistiques agricoles annuelles).....	16
Tableau 11 : Nombre de canicules de type 2003 attendues au XXI <sup>e</sup> siècle (Source : Groupe interministériel, 2009) .....	16
Tableau 12 : Evolutions de rendements 2002-2003 - Comparaison Agreste (%).....	17
Tableau 13 : Evolution de productions Canicule Type 2003 Comparaison Agreste (appliqué aux volumes annuels moyens) – Milliers de tonnes.....	17
Tableau 14 : Coût annuel moyens des canicules A2 - milliers de tonnes.....	17
Tableau 15 : Coût annuel moyens des canicules B2 - en milliers de tonnes.....	17
Tableau 16 : Coût de la perte de production à cause d'une canicule type 2003 en millions d'euros .....	18
Tableau 17 : Coût annuel de la perte de production à cause de canicules - A2 en millions d'euros .....	18
Tableau 18 : Coût annuel de la perte de production à cause de canicules - B2 en millions d'euros .....	18
Tableau 19 : Moyennes des canicules selon les trois horizons temporels et les scénarios B2 et A2.....	19
Tableau 20 : Coût (gains et pertes) de production sous l'effet d'une canicule type 2003 en millions d'euros .....	19
Tableau 21 : Coût de l'assurance par an pour la Picardie et le Nord-Pas-de-Calais en millions d'euros - A2 .....	19
Tableau 22 : Surfaces totales situées sous les niveaux centennaux +/-1m (Source : CETMEF, 2010) .....	22
Tableau 23 : Hypothèses d'occupation du sol en zones basses (%) (Source : Hypothèse adaptée d'Observatoire du littoral) .....	23
Tableau 24 : Valeur des terres agricoles en 2010 - moyenne nationale (€/ha) (Source : AGRESTE) .....	23
Tableau 25 : Valeur des zones humides (€/ha/an) (Source : CGDD).....	23
Tableau 26 : Valeur des surfaces artificialisées : prix/m2 des terrains constructibles 2010 en euros (Source : MEDDTL) .....	23
Tableau 27 : Agriculture - Capital à risque - Hypothèse basse (valeur 3620)-Millions d'euros.....	24
Tableau 28 : Agriculture - Capital à risque - Hypothèse haute (valeur 5230) - Millions d'euros .....	24
Tableau 29 : Zones humides : Valeur annuelle à risque - Hypothèse basse (valeur 907)-Millions d'euros.....	24
Tableau 30 : Zones humides : Valeur annuelle à risque - Hypothèse haute (valeur 3132)-Millions d'euros.....	24
Tableau 31 : Zones artificialisées : Valeur des terrains à risque - Millions d'euros.....	25
Tableau 32 : Nombre de bâtiments situés en zone basse (Source : CETMEF, 2010) .....	26

Tableau 33 : Linéaires d'infrastructures routières en km situés dans les zones basses N100 (Source : CETMEF, 2010) .....	26
Tableau 34 : Linéaires d'infrastructures routières en km situés dans les zones basses N100+1m (Source : CETMEF, 2010) .....	26
Tableau 35 : Valeur monétaire d'un logement en euros (Source : Hypothèse du Groupe interministériel, 2009) .	26
Tableau 36 : Valeur patrimoniale des routes du Réseau routier national (M€/km) en 2010 (Source : Comptes de l'Etat, 2010) .....	26
Tableau 37 : Valeur de la perte si submersion définitive- Estimation Basse (V100000) - Millions d'euros .....	27
Tableau 38 : Valeur de la perte si submersion définitive- Estimation Haute (V250000) - Millions d'euros .....	27
Tableau 39 : Coût de la submersion permanente du réseau routier national N100 (Millions d'euros) .....	27
Tableau 40 : Coût de la submersion permanente du réseau routier national N100+1m (Millions d'euros) .....	27
Tableau 41 : Érosion côtière par façade maritime départementale et régionale (Source : IFEN, octobre 2007, Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine <a href="http://www.onml.fr/uploads/media/dossier_erosion.pdf">http://www.onml.fr/uploads/media/dossier_erosion.pdf</a> ) .....	31
Tableau 42 : Tableau des coûts estimés des différents systèmes de protection du littoral (Source : De Perthuis - Hallegatte - Lecocq - CEDD, février 2010, Economie de l'adaptation au changement climatique - annexe d & Préfecture de région Languedoc-Roussillon, 2008, étude sur le changement climatique en Languedoc-Roussillon. quelles conséquences économiques et sociales ?) .....	32
Tableau 43 : Coûts de construction de différents systèmes de protection du littoral contre l'érosion dans le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie en millions d'euros .....	32
Tableau 44 : Coûts d'entretien annuel des digues dans le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie en millions d'euros ..	32
Tableau 45 : Coût de fonctionnement annuel du système EcoPlage dans le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie en millions d'euros .....	33
Tableau 46 : Nombre de logements individuels (2006) (Source : SOeS) .....	35
Tableau 47 : Hypothèse d'équipement en climatiseurs pour 2012 .....	35
Tableau 48 : Consommation énergétique unitaire des climatiseurs (Kwh/an) (Source : Groupe Interministériel)	35
Tableau 49 : Evolution du nombre de logements équipés en climatiseurs .....	36
Tableau 50 : Consommation engendrée par la climatisation (TWh/an) .....	36
Tableau 51 : Evolutions des consommations d'énergie dans un bureau standard à Lille (4300m <sup>2</sup> , 8 niveaux, chauffage électricité et clim par groupe froid) (MWh) .....	36
Tableau 52 : Evolutions des consommations d'énergie dans un hôtel standard à Lille, centre -ville avec restaurant (3200m <sup>2</sup> , 90 chambres, chauffage et clim par PAC) (MWh) .....	37
Tableau 53 : Evolutions des consommations d'énergie dans un commerce à Lille avec réserves, 2000m <sup>2</sup> , chauffage et climatisation par roof-tops (MWh) .....	37
Tableau 54 : Evolutions totales sur le pool de bâtiments tertiaires (%) .....	37
Tableau 55 : Longueur des infrastructures de transport routier en 2010 (km) (Source : INSEE) .....	40
Tableau 56 : Coût d'entretien annuel des routes du RRN - niveau national (M€) (Source : Groupe interministériel .....	40
Tableau 57 : Coût d'entretien annuel des routes du RRN par km (M€) .....	40
Tableau 58 : Estimation du coût d'entretien annuel régional pour le RRN (M€) .....	40
Tableau 59 : Nombre de canicules de type 2003 attendues au XXI <sup>e</sup> siècle (Source : Groupe interministériel) ....	40
Tableau 60 : Hypothèse basse : surcoût estimatif d'une canicule type 2003 sur le Réseau routier national des régions (M€) .....	41
Tableau 61 : Hypothèse haute: surcoût estimatif d'une canicule type 2003 sur le Réseau routier national des régions (M€) .....	41
TABLEAU 62 : SURCOUT ESTIMATIF CUMULE DES CANICULES AU COURS DU XXI <sup>e</sup> SIECLE SUR LE RRN (M€) – HYPOTHESE BASSE .....	41
Tableau 63 : surcoût estimatif cumulé des canicules au cours du XXI <sup>e</sup> siècle sur le RRN (M€) – hypothèse haute	41
Tableau 64 : Surcoût estimatif annuel des canicules au cours du XXI <sup>e</sup> siècle sur le RRN (M€)- hypothèse basse ..	41

Tableau 65 : surcoût estimatif annuel des canicules au cours du XXI <sup>e</sup> siècle sur le RRN (M€)- hypothèse haute ..	42
Tableau 66 : Estimation du coût de salage annuel régional Nord-Pas-de-Calais et Picardie (M €) (Source : DIR Nord) .....	43
Tableau 67 : Hypothèse basse a 2020 : surcoût estimatif d'un hiver plus doux sur le Réseau routier national (M€) .....	43
Tableau 68 : Hypothèse haute a 2080 : surcoût estimatif d'une canicule type 2003 sur le Réseau routier national (M€).....	43
Tableau 69 : Evolution du nombre de jours de gel attendus au XXI <sup>e</sup> siècle pour le Nord-Ouest de la France (Source : Rapport Jouzel, 2011, Annexe Indice d'hiver).....	44
Tableau 70 : Nombre de jours de gel observés sur la période de référence 1980-1999 pour le Nord-Ouest de la France (Source : Rapport Jouzel, 2011, Annexe Indice d'hiver) .....	44
Tableau 71 : Pourcentage d'évolution du nombre de jours de gel attendus au XXI <sup>e</sup> siècle pour le Nord-Ouest de la France (en %) .....	44
Tableau 72 : Estimation du coût de salage annuel régional Nord-Pas-de-Calais et Picardie (M €) (Source : DIR Nord) .....	44
Tableau 73 : Surcoût estimatif annuel du salage sur le Réseau routier Nord-Pas-de-Calais et Picardie (M€).....	44
Tableau 74 : Linéaire de rail en km (Source : INSEE au 1er janvier 2011).....	45
Tableau 75 : Nombre de canicules de type 2003 attendues au XXI <sup>e</sup> siècle (Source : Groupe interministériel) .....	46
Tableau 76 : Nombre de Nombre de canicules de type 2003 attendues au XXI <sup>e</sup> siècle (Source : Groupe Interministériel, 2009) .....	49
Tableau 77 : Surcoût annuel moyen avec changement climatique - fourchette basse B2 (M€) .....	50
Tableau 78 : Surcoût annuel moyen avec changement climatique - fourchette haute B2 (M€) .....	50
Tableau 79 : Surcoût annuel moyen avec changement climatique - fourchette basse A2 (M€) .....	50
Tableau 80 : Surcoût annuel moyen avec changement climatique - fourchette haute A2 (M€) .....	51
Tableau 81 : Synthèse des surcoûts annuels moyens du changement climatique pour les scénarios A2 et B2 en millions d'euros.....	51
Tableau 82 : Surcoût cumulé lié à la recrudescence des canicules de type 2003 en tenant compte de l'évolution de l'urbanisation pour le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie à 2030 en millions d'euros .....	51
Tableau 83 : Surcoût annuel moyen lié à la recrudescence des canicules de type 2003 en tenant compte de l'évolution de l'urbanisation pour le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie en millions d'euros .....	51
Tableau 84 : Nombre de maisons individuelles en zone de RGA en 2030 dans le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie .....	52
Tableau 85 : Nombre de décès attendus causés par l'augmentation des températures pour 100 000 personnes en moyenne annuelle en Europe du nord (Source : PESETA, 2009, Human health report) .....	56
Tableau 86 : Nombre d'habitants attendus à l'horizon 2040 (Source INSEE) .....	56
Tableau 87 : Nombre de décès lors de la canicule 2006 en France (Source : Ministère de la santé, 2009, Impact du changement climatique sur la santé en France) .....	56
Tableau 88 : Moyenne annuelle du nombre de décès attendus dans les régions d'étude sans adaptation (Source : à partir de l'étude PESETA) .....	56
Tableau 89 : Moyenne annuelle du nombre de décès attendus dans les régions d'étude avec adaptation (SACS) (Source : A partir de l'hypothèse de l'étude PESETA et le retour d'expérience entre 2003 et 2006 in Rapport du Groupe Interministériel) .....	57
Tableau 90 : Nombre de personnes plus de 75 ans attendu à 2040 (Source : INSEE) .....	58
Tableau 91 : Coût national du système d'alerte canicule et santé en 2005 en € (Source : Groupe interministériel) .....	58
Tableau 92 : Coût annuel d'un SACS régional pour les personnes âgées de plus de 75 ans à l'horizon 2040 (€) ....	58
Tableau 93 : Augmentation moyenne annuelle en % du nombre de nuit à l'horizon 2080 – baseline 2005 (Source : JRC PESETA report).....	62

Tableau 94 : Nombre de nuitées dans l'hôtellerie et dans les campings du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie en 2008 (Source : SOeS. Note : ces chiffres en concernent que l'hôtellerie et les campings homologués) .....	62
Tableau 95 : Hypothèse de surplus de la fréquentation touristique en termes de nuitées hôtel et camping .....	62
Tableau 96 : Capacité d'accueil touristique du Nord-Pas-de-Calais en 2012 (Source : SOeS Ministère en charge du tourisme).....	63
Tableau 97 : Capacité d'accueil touristique de la Picardie en 2012 (Source : SOeS Ministère en charge du tourisme).....	63
Tableau 98 : Coût des principaux dommages de l'inondation de la Somme en millions d'euros (Source : CEPRI, 2008, Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque d'inondation : Manuel des pratiques existantes .....	65



## Introduction

---

Afin d'anticiper les modifications climatiques attendues à toutes les échelles géographiques au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, une politique nationale en faveur de l'adaptation au changement climatique est menée en France depuis 2006. Si l'analyse de la vulnérabilité des territoires et l'adoption de mesures et d'actions d'adaptation sont des démarches auxquelles ont adhéré l'ensemble des territoires, notamment avec les SRCAE, les PCET et l'ensemble des études d'adaptation menées - les rapports de phase 2 s'inscrivent d'ailleurs dans cette démarche - ***l'analyse quantitative des enjeux liés au changement climatique et à l'adaptation est une initiative qui demande à être développée.***

L'évaluation, d'une part des coûts des impacts du changement climatique, et d'autre part de l'adaptation au changement climatique, est un champ de connaissances émergent. Peu de méthodes sont directement exploitables pour ces champs de recherche. Elle constitue néanmoins un outil d'aide à la décision central pour les acteurs, notamment au niveau local. Différents exercices d'évaluation des coûts ont été réalisés aux échelles internationale et nationale, toutefois les estimations au niveau local sont moins abondantes en raison de plusieurs freins, tels que la forte incertitude inhérente à certains impacts à échelle locale, la grande hétérogénéité des méthodes existantes et surtout le manque de données chiffrées qui permettraient d'établir des coûts cohérents et pertinents. En France, l'étude-référence a été réalisée en 2009 par le Groupe Interministériel sur les impacts du changement climatique, l'adaptation et les coûts associés<sup>1</sup>. Un état des lieux des impacts du changement climatique ainsi qu'une première évaluation chiffrée des impacts et des mesures d'adaptation ont été réalisés. L'étude a permis de mettre en avant des impacts et des coûts parfois très différenciés selon les différents profils des territoires étudiés (activités socioéconomiques phares, contexte climatique et géographique, etc.), ainsi que des effets « redistributifs » tels que les transferts de vulnérabilité d'un territoire à un autre par exemple qui doivent être considérés.

Une littérature abondante est disponible sur le sujet et permet de prendre en compte les difficultés relatives à l'évaluation par thématiques et par échelle géographique.

De manière générale, deux approches d'évaluation peuvent être distinguées, à savoir<sup>2</sup> :

- D'une part, les approches dites « top down », qui consistent à évaluer le changement climatique et celui de l'adaptation en appliquant un ratio représentant le surcoût lié au changement climatique dans le PIB ou les investissements réalisés sur les secteurs sensibles au climat (de l'ordre de 10% en général pour l'adaptation). Les approches « top down » sont généralement utilisées dans les évaluations à grande échelle (échelle mondiale ou nationale, notamment dans les travaux de la Banque Mondiale) ;
- D'autre part, les approches dites « bottom-up » qui se basent sur des estimations, pour chaque secteur, des coûts d'investissements nécessaires à l'adaptation en fonction de l'impact considéré (coût de l'impact d'une canicule sur les productions agricoles, coût de la protection des côtes, coût de l'adaptation en agriculture, ...) utilisées plutôt au niveau local, pour des thèmes ou des territoires spécifiques.

Dans le présent rapport, nous nous basons sur des méthodologies « bottom-up » qui apparaissent plus précises et davantage adaptées aux échelles et aux actions locales. Ces méthodes posent toutefois des difficultés méthodologiques importantes (disponibilité de données chiffrées, hypothèses à valider, ...) et aboutissent à des évaluations secteur par secteur, voire impact par impact, sans possibilité d'agrégation des résultats.

---

<sup>1</sup> ONERC 2009, Changement climatique : Coût des impacts et pistes d'adaptation, La Documentation Française

<sup>2</sup> De Perthuis, Hallegatte, Lecoq, CGEDD 2010

**La première étape de cette phase 3 a consisté à identifier les études disponibles sur le coût du changement climatique.** Elle a permis de mettre en évidence les méthodologies de quantification les plus pertinentes et adaptées aux spécificités du territoire d'étude. Pour chaque impact, un état de l'art sur l'évaluation des coûts du changement climatique est proposé.

**La deuxième étape visait, à partir de la revue de la littérature, des données existantes et de l'étude de vulnérabilité, à sélectionner une liste d'impacts et de mesures d'adaptation associées à quantifier.** En voici la liste :

- L'impact des canicules sur l'évolution des rendements agricoles et sur l'élevage ;
- L'impact de l'exacerbation des phénomènes de submersions marines sur les terrains et les infrastructures bâties et de transport ;
- L'impact de la hausse des températures sur les consommations énergétiques ;
- L'impact des événements extrêmes (canicules et gel) sur les infrastructures de transports ;
- L'impact de l'exacerbation du risque de retrait-gonflement des argiles sur le cadre bâti ;
- L'impact de la hausse des températures sur la santé publique ;
- L'impact de la hausse des températures sur la fréquentation et l'attractivité touristique.

La quantification économique du changement climatique a été réalisée en deux étapes :

- Dans un premier temps, l'évaluation économique de l'inaction, c'est à dire des dégâts et des pertes occasionnés par la sélection d'impacts du changement climatique, en se basant sur trois types de méthode : (i) extrapolation de retours d'expériences d'événements passés ; (ii) exploitation de résultats d'études menés sur des territoires analogues ; (iii) construction de scénarios « ad-hoc » à dire d'expert. Pour chaque impact, un « stock à risque » sur lequel porte l'évaluation (par exemple, la population exposée aux canicules ou les rendements agricoles) a été identifié. Puis, lorsque les données le permettaient, une valorisation monétaire de l'impact a été proposée. La méthode de quantification est précisée pour chaque impact traité. Les limites et incertitudes relatives aux évaluations économiques effectuées sont également présentées ;
- Dans un deuxième temps, l'évaluation des coûts d'une sélection de mesures d'adaptation en lien direct avec les impacts préalablement traités. Tout comme pour les impacts, les mesures ont été choisies, dans la mesure du possible, selon leur pertinence pour le territoire et la disponibilité des données. En fonction de la nature de l'action d'adaptation mise en place et des données disponibles, seuls les coûts directs de mise en place de la mesure d'adaptation (exemple : coût d'installation ou de l'entretien de dispositifs de protection du littoral) ont pu être calculés en raison du manque de données.

Il est précisé que les **coûts résiduels du changement climatique**, c'est-à-dire les coûts correspondant aux bénéfices de l'adaptation moins le coût de l'impact et qui permettent donc d'**évaluer l'efficacité de la mesure mise en œuvre, n'ont pas pu être quantifiés** dans la plupart des cas.

Si pour l'ensemble des impacts, des mesures ou des éléments d'adaptation ont été fournis, pour l'évaluation de l'impact de l'exacerbation des phénomènes d'érosion sur les enjeux littoraux, on ne dispose que d'une évaluation d'adaptation, les impacts n'ayant pas pu être quantifiés. Par ailleurs, aucune quantification n'a pu être réalisée concernant l'impact de l'exacerbation du risque inondation sur le territoire. Un retour d'expérience sur les inondations de la Somme en 2001 a donc été exploité, sans extrapolation sous climat modifié en raison de l'incertitude sur le lien entre changement climatique et inondations.

Enfin, un éclairage spécifique est apporté concernant la notion de maladaptation, indiquant les critères de définition de la maladaptation.



### **Point de vigilance**

Il est précisé que le présent exercice de quantification a permis d'aboutir, non pas à des coûts exacts (il ne s'agit pas d'évaluation précises de coûts spécifiques) mais à des ordres de grandeurs pour chaque impact et mesure d'adaptation traités. Les données présentées ci-dessous sont donc à considérer comme des éléments d'éclairage sur les coûts qui pourraient potentiellement être associés aux impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation qui devront être mises en place, et non pas comme des estimations des coûts réels qui surviendront. Les résultats doivent donc être analysés avec prudence.

# 1 Impact du changement climatique sur l'évolution des rendements agricoles et sur l'élevage

## 1.1 Etat de la connaissance sur l'évaluation des coûts

A ce jour, de larges fourchettes d'estimations de l'évolution des rendements agricoles sous l'effet du changement climatique sont disponibles pour la plupart des pays. Elles concernent principalement les céréales pour lesquelles les données sont fréquemment mises à jour. Les données les plus récentes pour l'Europe sont fournies par le projet PESETA (IGLESIAS et al. 2009). Le projet divise ainsi le continent en neuf régions<sup>3</sup> et les modèles climatiques font tous état d'augmentations des rendements pour l'ensemble des régions européennes à l'exception des Alpes à l'horizon 2040. A compter de 2070, les données varient considérablement selon les régions et les scénarios socioéconomiques, certains résultats sont positifs et d'autres négatifs. Il est également important de noter qu'il existe de fortes incertitudes dans ces prévisions<sup>4</sup>.

La plupart des mesures d'adaptation de l'activité agricole sont menées par les agriculteurs eux-mêmes en réponse à de nombreuses modifications, dont celles climatiques. En outre, puisque les produits agricoles sont commercialisés au-delà des frontières nationales et que les marchés d'échange tendent vers une plus grande libéralisation, nous devons tenir compte de ces facteurs dans la détermination de l'impact probable du changement climatique sur les prix, et donc sur le bien-être des agriculteurs ainsi que sur celui des consommateurs.

Les modèles utilisés par Parry et al. (2005) estiment qu'avec le changement climatique et une certaine adaptation (changements dans les dates de plantation, baisse de la disponibilité en eau et modifications des cultures), les productions dans les régions développées du monde augmenteraient par rapport au scénario de référence sans changement climatique. Cependant, la production dans les pays en développement déclinerait. Quant aux prix des céréales, il augmenterait par rapport au scénario de référence, toutefois ces hausses seraient moins importantes avec la mise en place de mesures d'adaptation. En l'absence de modifications climatiques, le prix des céréales devrait diminuer.

En ce qui concerne les mesures d'adaptation mises en place par le secteur public, les chercheurs ont identifié des mesures dans les domaines suivants (FISCHER, 2011) :

- Des mesures fondées sur le marché et les instruments financiers ;
- Des mesures sur les programmes d'investissements publics ;
- Des mesures relatives à la réglementation des instruments ;
- Des mesures s'appuyant sur des instruments d'information.

Les principaux points qui ressortent des études menées à ce jour sont les suivants :

---

<sup>3</sup> Ce sont les régions Boréale, Continentale du Nord, Continentale du Sud, Atlantique Nord, Atlantique centre, Atlantique Sud, Alpine, Méditerranéenne du Nord et du Sud. La France est principalement partagée entre l'Atlantique du Centre, l'Atlantique Sud et la Méditerranée du Nord, avec quelques régions alpines.

<sup>4</sup> Une incertitude majeure réside dans l'effet de la fertilisation possible de l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub>. Si un tel effet se vérifie, les rendements dans les régions où ceux-ci sont prévus pourraient être réduits d'environ 67%.

- Les données sur les coûts des différents investissements publics sont généralement peu importantes. AGRAWALA et FANKHAUSER (2008, page 50) notent ainsi que « la littérature concernant les coûts de l'adaptation de l'agriculture fait, quant à elle, presque entièrement défaut » ;
- Les taux de retours sur investissements dans le domaine de la Recherche et Développement (R&D) sur les nouvelles variétés, nouvelles technologies et pratiques se révèlent être très élevés dans de nombreux cas (AGRAWALA et FANKHAUSER, 2008) ;
- Des études menées aux Etats-Unis montrent que l'adaptation via une méthode de gestion des cultures est la plus répandue, suivie par la diversification des cultures et l'irrigation (AISABOKHAE et al., 2012) ;
- Le partage et le transfert des risques sont des éléments importants qui peuvent être utilisés pour réduire les coûts de la variabilité accrue du climat pour les agriculteurs. Une bonne conception des politiques adaptatives peut favoriser une combinaison économiquement optimale des changements de pratiques agricoles, ainsi que cela a été noté dans l'examen du GIEC des politiques en réponse aux événements extrêmes.

## 1.2 Problématique pour la zone d'étude

Les modèles de croissance des plantes soulignent, pour les régions de la moitié nord de la France, des impacts potentiellement positifs de la hausse des températures moyennes sur la croissance des plantes<sup>5</sup>, résultant, au moins à moyen terme, en une hausse de la productivité de cultures telles que le blé, le maïs, les prairies. Mais ces modèles rendent difficilement compte de l'impact de l'évolution des extrêmes climatiques, et notamment des canicules et des sécheresses susceptibles d'inverser ces effets positifs.

Or la canicule de 2003 a mis en évidence l'impact important que peut occasionner une période de très fortes températures et de sécheresse sur la production agricole et l'élevage. Si les régions du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie ont été relativement peu impactées par rapport à d'autres régions françaises, l'anticipation de ces conséquences est une démarche primordiale afin d'éviter les pertes importantes.

L'impact de la hausse des températures et des canicules dû au changement climatique sur l'activité agricole et d'élevage a été considéré par la quantification des gains et des pertes de production de blé tendre et du fourrage destiné au bétail.

## 1.3 Impacts des évolutions tendanciennes du climat

### 1.3.1 Méthodologie sélectionnée

L'évaluation est basée sur l'utilisation de résultats de modèle de croissance des plantes pour estimer les évolutions de rendements liés au changement climatique. Nous utiliserons les résultats issus de l'étude CLIMATOR de l'INRA<sup>6</sup>. L'étude CLIMATOR ne tenant pas compte des effets des sécheresses et des canicules, dont on anticipe une augmentation en lien avec le changement climatique, nous proposons également une évaluation de l'impact des canicules basée sur le retour d'expérience de la canicule de 2003.

Nous posons l'hypothèse d'une économie et de politiques constantes : on ne considère pas d'évolutions dans les productions moyennes annuelles régionales. Ce choix, bien qu'il présente de nombreuses limites, permet d'isoler le facteur du changement climatique des évolutions socioéconomiques qui influenceront le monde agricole.

#### 1.3.1.1 Données d'entrée

<sup>5</sup> BRISSON - LEVRAULT - ANR - INRA, 2010, Livre vert du projet CLIMATOR 2007-2010

<sup>6</sup> BRISSON - LEVRAULT - ANR - INRA, 2010

Nous examinons ici l'évolution des rendements en fonction des scénarios du changement climatique. Pour cela nous calculons la différence entre les rendements observés actuellement et ceux projetés par le modèle CLIMATOR pour le nord de la France.

Les données d'entrée nécessaires sont les suivantes :

- Les statistiques régionales sur les rendements et les productions agricoles, fournies par Agreste, pour différentes productions

TABLEAU 1 : LES RENDEMENTS ACTUELS DES REGIONS NORD-PAS-DE-CALAIS ET PICARDIE EN TONNE PAR HECTARE (SOURCE : AGRESTE & CLIMATOR, 2010 - ZONE NORD)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais
<b>Blé tendre</b>	8,5	8,6
<b>Prairie</b>	8,7	8,7

TABLEAU 2 : VOLUMES PRODUITS ACTUELLEMENT DANS LES REGIONS PICARDIE ET NORD-PAS-DE-CALAIS (MOYENNE 2007-2010) EN MILLIERS DE TONNES (SOURCE : AGRESTE, STATISTIQUES AGRICOLES ANNUELLES)

	Picardie	Nord Pas de Calais	Total
<b>Blé tendre</b>	4480,6	2429,3	6909,9
<b>Prairie</b>	1174,0	1242,9	2416,9

- Les résultats des modélisations réalisées dans le cadre du projet CLIMATOR, pour la station située dans la zone d'étude (Mons), dans le scénario A1B, selon le futur proche (FP de 2020 à 2050) et le futur lointain (FL de 2070 à 2100)

TABLEAU 3 : EVOLUTIONS DE RENDEMENTS – CLIMATOR – STATION MONS POUR LE FUTUR PROCHE (FP) ET LE FUTUR LOINTAIN (FL) (SOURCE : PROJET CLIMATOR, 2010)

Productions	Evolution FP (t/ha)	Evolution FL(t/ha)	Evolution FP(%) Picardie	Evolution FL(%) Picardie	Evolution FP(%) NPDC	Evolution FL(%) NPDC
<b>Blé tendre</b>	1,0	1,0	11,7	11,7	11,6	11,6
<b>Prairie</b>	1,7	0,6	20,0	6,5	20,0	6,5

Nous avons donc les évolutions de rendements en volumes des productions agricoles dominantes dans le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie.

Pour estimer les coûts monétaires nous avons aussi besoin des prix des denrées agricoles :

- Les prix de marché des différentes productions agricoles

Afin de tenir compte de la volatilité des prix agricoles, nous utilisons une moyenne de prix sur les dernières années disponibles.

TABLEAU 4 : LES PRIX DE MARCHÉ DES PRODUITS AGRICOLES (€/TONNE) (SOURCE : EUROSTAT POUR LE BLE ET MAÏS ; CHAMBRE D'AGRICULTURE DE L'OISE POUR LES PRAIRIES)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Moyenne
<b>Blé tendre</b>	93,5	121,6	189,4	149,0	111,1	-	-	132,9

<b>Prairie</b>	-	-	62,6	64,1	60,3	60,3	60,3	61,6
----------------	---	---	------	------	------	------	------	------

### 1.3.2 Evaluation du coût de l'inaction

Nous présentons les résultats du coût de l'inaction en volumes et en valeurs monétaires.

#### 1.3.2.1 Résultats en volumes

Pour le futur proche, les estimations donnent les résultats suivants :

TABLEAU 5 : EVOLUTIONS DES VOLUMES EN MOYENNE ANNUELLE - FUTUR PROCHE - MILLIERS DE TONNES (SOURCE : PROJET CLIMATOR, 2010)

	<b>Picardie</b>	<b>NPDC</b>	<b>Total</b>
<b>Blé tendre</b>	524,9	282,5	807,4
<b>Prairie</b>	234,8	248,6	483,4

D'après les estimations du projet CLIMATOR appliquées aux productions régionales actuelles, le changement climatique entraînerait, dans un futur proche (horizon 2040), des augmentations de rendements, toutes choses égales par ailleurs. Celles-ci atteindraient plus de 800 milliers de tonnes annuelles pour le blé tendre.

Pour le futur lointain, les estimations donnent les résultats suivants :

TABLEAU 6 : EVOLUTIONS DES VOLUMES EN MOYENNE ANNUELLE - FUTUR LOINTAIN EN MILLIERS DE TONNES

	<b>Picardie</b>	<b>NPDC</b>	<b>Total</b>
<b>Blé tendre</b>	524,9	282,5	807,4
<b>Prairie</b>	76,3	80,8	157,1

Dans le futur lointain (2080), les évolutions de production resteraient positives, mais s'essoufferaient pour les prairies tandis que la production de blé tendre resterait au même niveau que pour le futur proche.

#### 1.3.2.2 En termes monétaires

Cette évolution des volumes produits se traduirait ainsi pour un futur proche à 2040 :

TABLEAU 7 : EVALUATION MONETAIRE DU CHANGEMENT DES VOLUMES DE PRODUCTION EN MOYENNE ANNUELLE (MILLIONS D'EUROS) – FUTUR PROCHE

	<b>Picardie</b>	<b>NPDC</b>	<b>Total</b>
<b>Blé tendre</b>	69,8	37,6	107,3
<b>Prairie</b>	14,5	15,3	29,8

Et ainsi pour un futur lointain à 2080 :

TABLEAU 8 ; EVALUATION MONETAIRE DU CHANGEMENT DES VOLUMES DE PRODUCTION EN MOYENNE ANNUELLE (MILLIONS D'EUROS) – FUTUR LOINTAIN

	<b>Picardie</b>	<b>NPDC</b>	<b>Total</b>
<b>Blé tendre</b>	69,8	37,6	107,3

Prairie	4,7	5,0	9,7
---------	-----	-----	-----

Le gain monétaire pourrait donc être important puisqu'il pourrait se chiffrer à plus de 100 millions d'euros de surplus de production pour le blé tendre à court et long terme. La production fourragère déclinerait à plus long terme aboutissant à un surplus d'un peu moins de 10 millions d'euros.

Il est cependant à noter que ces estimations ont été faites à partir d'une moyenne des prix agricoles observés sur la période de 2005 à 2011. Sachant que les prix agricoles peuvent être très volatils ces estimations sont donc très incertaines. Par exemple, selon Parry et al. 2004<sup>7</sup>, il est attendu une hausse du prix des denrées agricoles au niveau mondial du fait du changement climatique.

**Attention : Ces évolutions de rendements proviennent des résultats du projet CLIMATOR qui constitue un modèle très optimiste. Il ne prend pas en compte les épisodes de sécheresses et de canicules qui pourraient contrebalancer ces gains. Nous proposons donc l'évaluation des possibles épisodes de canicule dus au changement climatique.**

## 1.4 Impact des canicules

### 1.4.1 Méthodologie sélectionnée

Afin de chiffrer l'impact d'une canicule, nous utilisons l'analogie historique de la canicule et de la sécheresse de 2003 qui nous permet de disposer de données. Bien que cette canicule ne puisse être imputée au changement climatique, elle constitue un événement de référence qui nous permet d'obtenir un chiffrage. Cet épisode climatique avait coûté au secteur agricole français 4 milliards d'euros<sup>8</sup>.

**NB :** Il est précisé que la canicule de 2003 ne constitue pas l'événement le plus marquant en termes d'impacts sur l'agriculture du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie. En effet, suite à cet événement, les productions picardes et nord-pas-de-calaisiennes ont bénéficié d'importantes pluies survenues lors du mois de juin. Par conséquent, les dégâts occasionnés par la canicule furent moins importants sur ces territoires que sur le reste de la France, avec tout de même des contrastes géographiques. En matière d'impact climatique, le monde agricole local se réfère surtout à la sécheresse de 1976 qui occasionna une baisse de la production céréalière de 10% et fit diminuer le revenu brut agricole de 3,4%<sup>9</sup>. Si la baisse du stock de denrées disponibles augmenta les prix de 10%<sup>10</sup>, tout comme lors de la canicule de 2003, cette hausse ne bénéficia pas aux exploitants mais aux intermédiaires et aux distributeurs<sup>11</sup>.

Compte-tenu des données disponibles, seul l'événement caniculaire de 2003 a pu être pris en compte pour l'évaluation. Dans ce contexte, les résultats donnés ci-dessous sont donc à manipuler avec précaution.

#### 1.4.1.1 Données d'entrée

<sup>7</sup> Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. and Fischer, G. 2004, 'Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios', Global Environmental Change, vol.14, pp. 53-67

<sup>8</sup> Rapport du Sénat, 2004, La France et les Français face à la canicule : les leçons d'une crise

<sup>9</sup> Economie et statistique, 1976, Comptes de l'agriculture de l'année 1976 : estimation du 9 septembre 1976

<sup>10</sup> Economie et statistique, 1976

<sup>11</sup> Rapport du Sénat, 2004



Les données mobilisées afin de dégager l'impact de la canicule due au changement climatique s'appuient sur l'épisode caniculaire de 2003 comme référence. On observe le pourcentage d'évolution des rendements entre 2002 (année « normale ») et 2003 (année « canicule ») :

- Les volumes produits en 2002 et en 2003 pour les prairies et le blé tendre :

TABLEAU 9 : VOLUME PRODUITS POUR LES PRAIRIES EN 2002 ET 2003 (SOURCE : AGRESTE, STATISTIQUES AGRICOLES ANNUELLES)

2002			
	Picardie	NPDC	Total
Production MS (q)	35974511,0	37422062	73396573
Surface (ha)	501472,0	535820	1037292,0
Rendement (q/ha)	71,7	69,8	70,8
2003			
Production MS (q)	33011844,0	33912281,0	66924125,0
Surface (ha)	504655,0	517804,0	1022459,0
Rendement (q/ha)	65,4	65,5	65,5

TABLEAU 10 : VOLUME PRODUITS POUR LE BLE TENDRE EN 2002 ET 2003 (SOURCE : AGRESTE, STATISTIQUES AGRICOLES ANNUELLES)

2002			
	Picardie	NPDC	Total
Production MS (q)	43964732,0	22010837	65975569,0
Surface (ha)	509314,0	257722	767036,0
Rendement (q/ha)	86,3	85,4	86,0
2003			
Production MS (q)	39525634,0	22578518	62104152,0
Surface (ha)	499768,0	255834	755602,0
Rendement (q/ha)	79,1	88,3	82,2

- Les prix de marché des différentes productions agricoles (voir évaluation précédente)
- Le nombre de canicules « de type 2003 » attendues au XXI<sup>e</sup> siècle, estimé par le Groupe interministériel, selon deux scénarios – A2 et B2 – et trois horizons – 2030, 2050, 2100

TABLEAU 11 : NOMBRE DE CANICULES DE TYPE 2003 ATTENDUES AU XXI<sup>e</sup> SIECLE (SOURCE : GROUPE INTERMINISTERIEL, 2009)

	2030	2050	2100
A2	[0 - 3]	[2 - 11]	[32 - 51]
B2	[0- 1]	[1 - 4]	[18 - 25]

D'après le scénario A2, on recenserait, entre 2000 et 2030, jusqu'à trois canicules de type 2003, de deux à onze entre 2030 et 2050, et de trente-deux à cinquante-et-une entre 2050 et 2100. Les données sont moins pessimistes pour le scénario B2.

## 1.4.2 Evaluation du coût de l'inaction

### 1.4.2.1 En volumes

La comparaison des rendements (cf. données d'entrée Tableau 9 : Volume produits pour les prairies en 2002 et 2003 (Source : Agreste, Statistiques agricoles annuelles) entre les années 2002 et 2003 pour la production de fourrage et de blé tendre montre les résultats suivants :

TABLEAU 12 : EVOLUTIONS DE RENDEMENTS 2002-2003 - COMPARAISON AGRESTE (%)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Prairies</b>	-8,8	-6,2	-7,5
<b>Blé tendre</b>	-8,4	3,3	-4,4

On remarque que s'agissant des céréales, le Nord-Pas-de-Calais a été épargné par la canicule, avec des rendements en hausse. En revanche, en Picardie, prairies et céréales ont souffert de diminutions de rendements. Au total, la productivité des prairies a été diminuée de plus de 7%, celle des céréales, de plus de 4%. Ces résultats sont relativement faibles en comparaison avec ce qui a été observé en moyenne nationale (plus de 20% pour les céréales, 30% pour le fourrage)<sup>12</sup>.

En appliquant ces évolutions de rendements aux productions moyennes annuelles, on obtient les effets – en volume – d'une canicule de type 2003 pour les productions agricoles.

TABLEAU 13 : EVOLUTION DE PRODUCTIONS CANICULE TYPE 2003 COMPARAISON AGRESTE (APPLIQUE AUX VOLUMES ANNUELS MOYENS) – MILLIERS DE TONNES

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Prairies</b>	-103,5	-77,4	-180,9
<b>Blé tendre</b>	-375,3	80,8	-294,5

Enfin, en considérant l'augmentation du nombre de canicules de type 2003 au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, les coûts – en termes de volumes – annuels moyens sont les suivants pour le scénario pessimiste A2 :

TABLEAU 14 : COUT ANNUEL MOYENS DES CANICULES A2 - MILLIERS DE TONNES

	2030		2050		2100	
	Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute
<b>Prairies</b>	0,0	-18,1	-18,1	-99,5	-115,8	-184,5
<b>Blé tendre</b>	0,0	-29,5	-29,5	-162,0	-188,5	-300,4

Et pour le scénario optimiste B2 :

TABLEAU 15 : COUT ANNUEL MOYENS DES CANICULES B2 - EN MILLIERS DE TONNES

	2030		2050		2100	
	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette basse
<b>Prairies</b>	0,0	-6,0	-9,0	-36,2	-65,1	-90,4
<b>Blé tendre</b>	0,0	-9,8	-14,7	-58,9	-106,0	-147,3

<sup>12</sup> Sénat, 2004, La France et les français face à la canicule : les leçons d'une crise

### 1.4.2.2 En coût monétaire

Une canicule type 2003 impactant le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie, correspondrait au coût suivant – en euros :

TABLEAU 16 : COUT DE LA PERTE DE PRODUCTION A CAUSE D'UNE CANICULE TYPE 2003 EN MILLIONS D'EUROS

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
Prairies	-6,4	-4,8	-11,1
Blé tendre	-49,9	10,7	-39,1

Si les résultats ne semblent pas représentatifs pour le cas du blé en Nord-Pas-de-Calais, les pertes en termes de manque à gagner sont importantes pour la Picardie – jusqu'à 55 millions d'euros de perte.

Si on prend en compte l'augmentation de l'occurrence de ce type de canicule au cours du XXIème siècle, on peut estimer un coût moyen annuel pour les deux régions confondues selon les scénarios :

TABLEAU 17 : COUT ANNUEL DE LA PERTE DE PRODUCTION A CAUSE DE CANICULES - A2 EN MILLIONS D'EUROS

	2030		2050		2100	
	Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute
Prairies	0,0	-1,1	-1,1	-6,1	-7,1	-11,4
Blé tendre	0,0	-3,9	-3,9	-21,5	-25,1	-39,9

TABLEAU 18 : COUT ANNUEL DE LA PERTE DE PRODUCTION A CAUSE DE CANICULES - B2 EN MILLIONS D'EUROS

	2030		2050		2100	
	Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute
Prairies	0,0	-0,4	-0,6	-2,2	-4,0	-5,6
Blé tendre	0,0	-1,3	-2,0	-7,8	-14,1	-19,6

On remarque que les coûts annuels moyens de la survenue d'une canicule type 2003 augmentent dans le temps : le coût est faible en 2030 et augmente jusqu'à 5 millions d'euros pour les prairies et environ 20 millions d'euros pour le blé à 2100 pour le scénario optimiste. Dans un scénario pessimiste le surcoût s'établirait à plus de 10 millions d'euros pour les prairies et environ 40 millions d'euros pour le blé à 2100 en moyenne annuelle.

Ces canicules viendront contrebalancer la hausse attendue des rendements évaluée dans la section précédente.

## 1.5 Evaluation de l'adaptation

### 1.5.1 Méthodologie sélectionnée

Ainsi, les épisodes de sécheresses et de canicule pourraient durement impacter les productions agricoles. Plusieurs options d'adaptation seront à envisager (voir rapport Adaptation). Ici, nous proposons de chiffrer le coût d'une adaptation « spontanée » fondée sur l'assurance.

**NB :** Si l'assurance pour les prairies n'est pas un produit encore répandu, il est néanmoins à l'étude dans les groupes assureurs<sup>13</sup> après les canicules et sécheresses survenues en France cette dernière décennie.

#### 1.5.1.1 Données d'entrée

Afin de calculer quel prix les agriculteurs devront payer aux compagnies d'assurance pour s'assurer contre la canicule, il est nécessaire de connaître la moyenne d'occurrence de la canicule sur la période considérée :

TABLEAU 19 : MOYENNES DES CANICULES SELON LES TROIS HORIZONS TEMPORELS ET LES SCENARIOS B2 ET A2

A2	
2000-2030	1,5
2030-2050	6,5
B2	
2000-2030	0,5
2030-2050	2,5

De plus, il faut connaître le coût d'une canicule sur la production en euros à partir du volume perdu et de la moyenne des prix agricoles :

TABLEAU 20 : COUT (GAINS ET PERTES) DE PRODUCTION SOUS L'EFFET D'UNE CANICULE TYPE 2003 EN MILLIONS D'EUROS

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Prairies</b>	-6,4	-4,8	-11,1
<b>Blé tendre</b>	-49,9	+10,7	-39,1

#### 1.5.2 Evaluation du coût assurantiel

Afin de se prémunir contre les pertes éventuelles engendrées par des épisodes de canicules, les agriculteurs peuvent contracter une assurance. Cette adaptation n'est pour autant pas optimale : elle permet de lisser le coût des pertes dans le temps mais au final équivaut pour les agricultures à payer 10% en plus du coût total de leurs pertes lors d'une canicule. De plus, elle ne permet pas d'atténuer l'impact des canicules, c'est un transfert d'argent entre agriculteur et assureurs : à long terme, il n'est pas possible de fonder une politique d'adaptation sur l'assurance.

Nous posons l'hypothèse d'une marge de 10% de profit pour les compagnies d'assurance. Ce surcoût est ensuite combiné à la probabilité que l'évènement se produise sur les périodes 2000-2030 puis 2030-2050 selon les scénarios A2 et B2.

TABLEAU 21 : COUT DE L'ASSURANCE PAR AN POUR LA PICARDIE ET LE NORD-PAS-DE-CALAIS EN MILLIONS D'EUROS - A2 ET B2

<sup>13</sup> Notamment Groupama, qui en 2011 annonçait le test de son nouveau produit dans 50 exploitations d'élevage. <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/economie-gestion/article/groupama-teste-aupres-de-50-eleveurs-un-contrat-d-assurance-des-prairies-1181-73430.html>

	A2		B2	
	2000-2030	2030-2050	2000-2030	2030-2050
<b>Prairie</b>	0,61	3,98	0,2	1,53
<b>Blé tendre</b>	2,74	17,83	0,91	6,86

Il n'est pas possible de connaître le nombre d'exploitations cultivant à majorité du blé tendre ou du fourrage. De plus, le coût d'assurance dépendra également de la surface à assurer. Aussi, il n'est pas possible de donner un coût assurantiel par exploitation. A titre indicatif, il existe en 2009, 13 850 exploitations de céréales en Picardie et 16 900 exploitations en Nord-Pas-de-Calais<sup>14</sup>.

## 1.6 Limites

- La volatilité du marché agricole empêche de prévoir avec certitude le coût monétaire de l'évolution des rendements et de l'impact des canicules. De même, l'évolution à venir des politiques agricoles ajoute une incertitude. Cependant, ces estimations restent intéressantes car elles isolent l'impact du changement climatique sur le domaine agricole sans « le bruit » des politiques agricoles ou fluctuations du cours des marchés ;
- L'adaptation spontanée ou planifiée n'est pas prise en compte et pourrait diminuer les pertes attendues ou provoquer une transition culturelle vers des plantations plus rentables ;
- Rappelons que le comptage des canicules reste incertain et ne correspond pas à une prévision. Le coût pourrait donc varier en fonction de l'occurrence de l'évènement ;
- En ce qui concerne le coût assurantiel, il repose sur une hypothèse de marge de profit de 10% des compagnies mais pourrait varier.

## 1.7 Pour aller plus loin

- Beaucoup d'incertitudes subsistent quant au changement dans les rendements agricoles. Un travail plus approfondi permettrait d'étudier les changements potentiels ;
- Les estimations monétaires ont été faites avec une hypothèse d'économie constante, ce qui signifie que les prix agricoles pour le blé et les prairies seraient les mêmes à 2040 et 2080. Pour une fourchette d'estimation plus fine, il pourrait être utilisé une modélisation globale de projection des prix tout en prenant en compte les incertitudes du modèle ;
- Sous l'effet de l'évolution des prix et des rendements, les agriculteurs changeraient de pratiques culturales, abandonnant les cultures à moindre rendement et à bas prix pour des cultures à forts rendements et à prix élevés. Cette adaptation spontanée n'a pas été prise en compte. Elle pourrait l'être si un modèle comportemental était élaboré et appliqué à la région dans le contexte du marché européen et international ;
- Une analyse plus poussée des marchés assurantiels pour se prémunir des canicules pourrait être entreprise. Ce genre d'assurance existe déjà dans certains pays et son paiement est basé sur le nombre de jours où la température dépasse un certain seuil.

<sup>14</sup> Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2011, Nord - Pas-de-Calais : Premières tendances du recensement agricole 2010 & Picardie : Premières tendances du recensement agricole 2010

# 1 Impact de l'exacerbation des phénomènes de submersions marines sur les terrains et les infrastructures bâties et de transport

## 1.1 Etat de la connaissance sur l'évaluation des coûts

L'élévation du niveau de la mer pourrait entraîner un certain nombre d'impacts importants, tels que les inondations, l'érosion côtière, les phénomènes d'intrusion d'eau saline dans les aquifères et la perte de zones humides. Les stratégies d'adaptation contre l'élévation du niveau de la mer peuvent être classées en trois catégories principales : les mesures de protection, les mesures d'ajustement et les mesures de retrait.

- Les mesures de protection comprennent les ouvrages de défense côtière, les rechargements des plages et l'injection d'eau douce dans les nappes phréatiques.
- Les mesures d'ajustement correspondent par exemple à des changements dans l'utilisation des sols et les codes de construction.
- Le retrait des zones à risques passe par une reconception de l'aménagement du territoire comme avec le réalignement contrôlé (BROWN et al, 2011)

Les coûts dus à la hausse du niveau de la mer en Europe ont été modélisés par le récent projet ClimateCost (Brown et al, 2011). Les coûts annuels des dommages pour trois périodes temporelles pour les différents pays européens sont présentés dans cette étude. La France affiche certains des coûts annuels les plus élevés, ce qui est peu étonnant étant donné l'étendue du littoral français. L'étude ClimateCost utilise le modèle DIVA afin d'évaluer les coûts et les bénéfices relatifs à l'adaptation. Ce modèle calcule les dommages évités par le biais de différentes méthodes d'adaptation et les compare avec les coûts de mise en place de différentes mesures d'adaptation. Le modèle sélectionne ensuite la mesure d'adaptation pour laquelle la différence entre les dommages évités (c'est-à-dire les bénéfices de l'action) et les coûts de mise en place est la plus importante. Dans certains cas, les actions de retrait sont bénéfiques. Les données sur les coûts et les bénéfices sont généralement disponibles et de bonne qualité, à l'exception de celles concernant la valeur des dommages évités pour les écosystèmes. A l'horizon 2080, les coûts annuels liés à l'adaptation au changement climatique pour l'Europe sont estimés entre 1,6 milliards d'euros pour le scénario moyen A1B, 0,7 milliards d'euros pour le scénario E1 et 0,3 milliards d'euros pour le scénario qui ne suppose pas une montée du niveau de la mer. L'analyse de ClimateCost suggère que l'expansion des ouvrages de défense littoraux serait indispensable, même sans élévation du niveau de la mer, en raison de l'accroissement continu des enjeux à protéger. Comme le niveau de la mer monte, les rapports coûts-bénéfices augmentent. Les résultats du modèle montrent que les coûts de l'élévation du niveau de la mer calculés par le modèle DIVA sont actuellement deux fois plus élevés que les coûts d'adaptation, et que selon les scénarios, d'ici 2080, les coûts des dommages pourraient représenter 18 fois les coûts de l'adaptation. Cependant, Brown et al (2011) note que même dans ce cas, il est possible que le retrait stratégique soit la meilleure option. Un autre résumé des impacts de l'augmentation du niveau de la mer en Europe peut également être trouvé dans Bosello et al.

En évaluant les dommages évités, il est important non seulement d'examiner les dommages affectants les bâtiments mais également ceux affectants le capital naturel, qui résulte en une perte de services écosystémiques. L'option de réalignement côtier, en tenant compte de ces facteurs, a été récemment abordée en Angleterre dans une étude réalisée par Luisetti et al (2011). Cette étude montre l'utilisation d'un système décisionnel basé sur les services écosystémiques et l'évaluation économique des espaces naturels sur deux sites en Angleterre : les estuaires de Humber et de Blackwater. Pour ces deux sites le réalignement contrôlé a prouvé être une stratégie efficace. La généralisation de ce résultat à d'autres espaces est actuellement évaluée.

Concernant les zones humides, un certain nombre d'études évaluant les services rendus par ces espaces en Europe et les dommages potentiels du changement climatique existent, comme par exemple l'étude de Brander

et al. (2012). Elles nous permettent d'évaluer la valeur à l'hectare des zones humides (en fonction des caractéristiques du site) pour lesquelles aucune étude n'a été menée. Il est possible en effet d'évaluer la valeur individuelle de ces zones et d'estimer les pertes potentielles dues aux changements climatiques. La perte de zone humide littorale due au changement climatique entre 2000 et 2050 est estimée à 8% selon Nicholls (2004).

La littérature sur l'adaptation pour les zones humides est à ce jour peu développée. La plupart des études concernent l'adaptation à des impacts qui ne sont pas dus aux effets du changement climatique (conversion des surfaces pour l'agriculture, ou pour l'expansion urbaine). Une mesure répandue est l'attribution aux écosystèmes de services rendus (voir Wünscher et al., 2008) afin que ces services soient conservés. Une action en développement et qui pour le moment porte le plus ses fruits pour les zones humides concerne « la compensation pour la biodiversité ». Ce concept date de 1983, lors de la création par le United States Fish and Wildlife Service d'un service de banque pour la conservation des zones humides. Ainsi, un acteur souhaitant assécher une zone humide, achèterait des crédits de conservation dans une banque. Ces crédits de conservation proviennent d'autres acteurs qui ont restauré ou créé une zone humide. La banque de zone humide permet le dépôt de ces crédits. Ce système se retrouve dans d'autres pays comme l'Allemagne depuis les années 1990 ou comme le Royaume-Uni où il existe une banque de l'Environnement. Le but d'un tel système est de couvrir une large gamme d'impact concernant la biodiversité, il dépasse le but de conservation des seules zones humides.

Plus largement, les objectifs de conservation ont été fixés comme un moyen de s'adapter à la perte de services écosystémiques dues au changement climatique (voir la CCNUCC, 2007, PNUD, 2009, Parry et al., 2009). Le calcul est assez brut: le coût de l'expansion des zones de conservation par un certain pourcentage correspond au coût de l'adaptation. Cependant, il n'est pas garanti que les nouvelles aires protégées procurent les mêmes services que ceux présents dans les zones perdues. Cette action permet tout de même de limiter la fréquence des pertes des zones humides.

## 1.2 Problématique pour la zone d'étude

Le risque de submersion est présent sur les littoraux picard et nord-pas-de-calaisien, une cartographie des risques de submersion avec les zones inondables a été réalisée sur l'ensemble du littoral par le P.L.A.G.E. et la DIREN. En effet, le littoral étant une zone densément peuplée la prise en compte de l'accroissement des risques naturels dus au changement climatique doit être intégrée. L'évaluation du coût de la submersion marine s'effectue donc en termes de valeur des terrains à risque et des infrastructures présentes sur la bande littorale sujette au risque de submersion actuellement et à venir.

## 1.3 Le phénomène de submersion : terrains en zone submersible

### 1.3.1 Méthodologie sélectionnée

La méthodologie que nous utilisons se fonde sur l'estimation simplifiée des surfaces menacées par un risque de submersion marine, et la valeur qui est associée aux différents terrains concernés, en fonction de l'occupation des sols. Cette méthode est issue de l'étude de vulnérabilité réalisée par le Conseil Général du Calvados.

#### 1.3.1.1 Données d'entrée

Trois types de données sont mobilisés pour cette estimation :

- L'estimation des surfaces situées dans des zones submersibles : nous utilisons les données publiées par le CETMEF, qui correspondent aux surfaces (en ha) situées sous la cote centennale ; et les surfaces situées sous la cote centennale +1m. Sont également disponibles les surfaces situées sous la cote centennale -1m, mais nous n'utilisons pas ces dernières données.

TABLEAU 22 : SURFACES TOTALES SITUÉES SOUS LES NIVEAUX CENTENNAUX +/-1M (SOURCE : CETMEF, 2010)

	N100 (ha)	N100+1m (ha)
<b>Picardie</b>	20458	21930
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	81674	86892
<b>Total</b>	102132	108822

- Les données du CETMEF ne précisent pas l'occupation des sols sur ces espaces. Nous proposons donc une répartition de l'occupation des sols en trois catégories (zones artificialisées, zones humides, zones agricoles), en nous basant sur les données de l'Observatoire du littoral concernant la façade Manche-Mer du Nord.

TABLEAU 23 : HYPOTHESES D'OCCUPATION DU SOL EN ZONES BASSES (%) (SOURCE : HYPOTHESE ADAPTEE DE L'OBSERVATOIRE DU LITTORAL)

	Agriculture	Zones humides	Zones artificialisées
<b>Picardie et Nord-Pas-de-Calais</b>	70	17,5	12,5

- Des hypothèses sur la valeur de chaque type de terrain. La valeur des zones agricoles sera estimée par la valeur des terres agricoles en 2010 (moyenne nationale), telle que donnée ci-dessous

TABLEAU 24 : VALEUR DES TERRES AGRICOLES EN 2010 - MOYENNE NATIONALE (€/HA) (SOURCE : AGRESTE)

	Loué	Libre
<b>Valeur</b>	3620	5230

La valeur des zones humides est donnée par une étude du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), tenant compte des différents services éco-systémiques rendus par les zones humides selon leur nature.

TABLEAU 25 : VALEUR DES ZONES HUMIDES (€/HA/AN) (SOURCE : CGDD)

<b>Valeur basse</b>	907
<b>Valeur haute</b>	3132

Enfin, la valeur des zones artificialisées est donnée par le prix par m2 des terrains constructibles en 2010, fourni par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE).

TABLEAU 26 : VALEUR DES SURFACES ARTIFICIALISEES : PRIX/M2 DES TERRAINS CONSTRUCTIBLES 2010 EN EUROS (SOURCE : MEDDE)

<b>Picardie</b>	55
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	59

### 1.3.2 Evaluation du coût de l'inaction

Dans cette estimation, nous prenons l'hypothèse que tous les terrains situés sous la cote centennale sont aujourd'hui « à risque de submersion permanente ». En l'absence de données, nous ne tenons pas compte des ouvrages de protection (naturels ou artificiels). Cette hypothèse est cohérente avec les hypothèses posées par le Groupe interministériel.



En supposant une élévation du niveau de la mer de 1m, les terrains situés sous la cote centennale +1m deviendront à risque, tandis que le risque de submersion se renforcera sur les terrains situés sous la cote centennale.

- Agriculture

TABLEAU 27 : AGRICULTURE - CAPITAL A RISQUE - HYPOTHESE BASSE (VALEUR 3620)-MILLIONS D'EUROS

	N100	N100+1m
<b>Picardie</b>	51,8	55,6
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	207,0	220,2
<b>Total</b>	258,8	275,8

TABLEAU 28 : AGRICULTURE - CAPITAL A RISQUE - HYPOTHESE HAUTE (VALEUR 5230) - MILLIONS D'EUROS

	N100	N100+1m
<b>Picardie</b>	74,9	80,3
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	299,0	318,1
<b>Total</b>	373,9	398,4

La valeur actuelle « à risque » des zones agricoles est comprise entre 260 et 375 millions d'euros environ. Avec l'élévation du niveau de la mer, cette valeur s'établit entre 275 et 400 millions d'euros environ, soit une hausse de la valeur à risque de submersion à cause du changement climatique de l'ordre de 15 à 25 millions d'euros.

- Zones humides

TABLEAU 29 : ZONES HUMIDES : VALEUR ANNUELLE A RISQUE - HYPOTHESE BASSE (VALEUR 907)-MILLIONS D'EUROS

	N100	N100+1m
<b>Picardie</b>	3,2	3,5
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	13,0	13,8
<b>Total</b>	16,2	17,3

TABLEAU 30 : ZONES HUMIDES : VALEUR ANNUELLE A RISQUE - HYPOTHESE HAUTE (VALEUR 3132)-MILLIONS D'EUROS

	N100	N100+1m
<b>Picardie</b>	11,2	12,0
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	44,8	47,6
<b>Total</b>	56,0	59,6

S'agissant des zones humides, la valeur annuelle à risque actuelle est estimée entre 16 et 56 millions d'euros. Avec une élévation du niveau de la mer de +1m, elle s'établit entre 17 et 60 millions d'euros, soit une hausse du capital à risque de submersion à cause du changement climatique l'ordre de 1 à 4 millions d'euros annuels (donc de 100 à 400 millions d'euros entre 2000 et 2100).

### Zoom sur la perte des zones humides littorales

Selon l'étude de Nicholls, 2004, Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios, les zones humides littorales devraient voir leurs superficies réduite de 8% à 2050. Cette réduction de superficie est due aux impacts du changement climatique : hausse des températures, élévation sensible du niveau de la mer accroissant la salinisation des sols et de l'eau, sécheresse. Cette perte de 8% selon Nicholls ne devrait pourtant pas dépasser le seuil critique de survie de l'écosystème de la zone humide.

Ainsi, les zones humides littorales représentent 20 991 hectares en Picardie et 8 509 hectares dans le Nord-Pas-de-Calais. Si on reprend l'hypothèse de Nicholls, la perte de superficie de zone humide correspondrait à 2050 à 680 et 1 680 hectares. Cette perte de superficie représenterait entre 0,6 et 2,1 millions d'€ de pertes des services rendus par les écosystèmes en Nord-Pas-de-Calais et entre 1,5 et 5,2 millions d'euros en Picardie.

Cependant, l'étude de Nicholls souligne qu'à 2080 les différents scénarios utilisés divergent beaucoup quant à la perte de superficie attendue. Cela est dû à la prégnance plus ou moins forte du paramètre de prise en compte de l'environnement dans les différents scénarios. On remarque que les paramètres sociaux de prise en compte de l'environnement ont beaucoup plus d'impact que les paramètres climatiques. Ainsi, les impacts anthropiques accélèrent les dommages imputables aux variations climatiques.

- Zones artificialisées

TABEAU 31 : ZONES ARTIFICIALISEES : VALEUR DES TERRAINS A RISQUE - MILLIONS D'EUROS

	N100	N100+1m
Picardie	140,6	150,8
Nord-Pas-de-Calais	602,3	640,8
Total	743,0	791,6

La valeur des surfaces artificialisées à risque peut actuellement être estimée à 743 millions d'euros. Avec le changement climatique et une élévation du niveau de la mer de +1m, elle s'établirait à 792 millions d'euros environ, soit une hausse de la valeur à risque du fait du changement climatique de l'ordre de 50 millions d'euros. Il est à noter que cette valeur ne tient pas compte de la valeur du bâti sur ces terrains (voir fiche « bâti et submersion »).

## 1.4 Le phénomène de submersion : infrastructures bâties et de transports

### 1.4.1 Méthodologie sélectionnée

La méthodologie que nous utilisons se fonde sur l'estimation du nombre de logements et du linéaire de routes du réseau national menacés par un risque de submersion marine, et la valeur qui est associée à ces différents biens.

#### 1.4.1.1 Données d'entrée

Les données que nous mobilisons pour cette évaluation sont les suivantes :

- L'estimation par le Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMEF) du nombre de logements et du linéaire de routes situés sous la cote centennale et sous la cote centennale +1m.

TABLEAU 32 : NOMBRE DE BATIMENTS SITUES EN ZONE BASSE (SOURCE : CETMEF, 2010)

	N100-1m	N100	N100+1m
<b>Picardie</b>	7998	10149	12158
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	52986	65676	73612
<b>Total</b>	60984	75825	85770

TABLEAU 33 : LINEAIRES D'INFRASTRUCTURES ROUTIERES EN KM SITUES DANS LES ZONES BASSES N100 (SOURCE : CETMEF, 2010)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Infrastructures routières</b>	477	3369	3846
<b>Autoroutes</b>	5	129	134
<b>Routes Nationales</b>	0	32	32
<b>Routes Départementales</b>	123	683	806
<b>Autres voies routières</b>	349	2525	2874

TABLEAU 34 : LINEAIRES D'INFRASTRUCTURES ROUTIERES EN KM SITUES DANS LES ZONES BASSES N100+1M (SOURCE : CETMEF, 2010)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Infrastructures routières</b>	552	3746	4298
<b>Autoroutes</b>	7	138	145
<b>Routes Nationales</b>	0	33	33
<b>Routes Départementales</b>	137	739	876
<b>Autres voies routières</b>	408	2836	3244

- La valeur estimée des logements, à partir de deux hypothèses du Groupe interministériel (coût de reconstruction et valeur vénale du terrain et du bâti) et la valeur patrimoniale des routes du réseau national (autoroutes et routes nationales) telle que mentionnée dans les comptes de l'Etat. Ne disposant pas de la valeur patrimoniale des autres routes (routes départementales, routes communales), l'estimation des infrastructures routières sera limitée à l'estimation du coût pour le réseau national. Au vu de l'importance relative du réseau non national, cette restriction est extrêmement limitante.

TABLEAU 35 : VALEUR MONETAIRE D'UN LOGEMENT EN EUROS (SOURCE : HYPOTHESE DU GROUPE INTERMINISTERIEL, 2009)

<b>Coût de reconstruction</b>	100 000
<b>Valeur vénale d'un logement + terrain</b>	250 000

TABLEAU 36 : VALEUR PATRIMONIALE DES ROUTES DU RESEAU ROUTIER NATIONAL (M€/KM) EN 2010 (SOURCE : COMPTES DE L'ETAT, 2010)

<b>Réseau routier national (autoroutes + Routes Nationales)</b>	12,5
---	------

### 1.4.2 Evaluation du coût de l'inaction

Dans cette estimation, nous prenons l'hypothèse que tous les logements et infrastructures situés sous la cote centennale sont aujourd'hui « à risque de submersion permanente ». En l'absence de données, nous ne tenons

pas compte des ouvrages de protection (naturels ou artificiels). Cette hypothèse est cohérente avec les hypothèses posées par le Groupe interministériel.

En supposant une élévation du niveau de la mer de 1m, nous posons l'hypothèse que les logements et les infrastructures situés sous la cote centennale +1m deviendront à risque, tandis que le risque de submersion se renforcera sur les biens situés sous la cote centennale.

- Logement

TABLEAU 37 : VALEUR DE LA PERTE SI SUBMERSION DEFINITIVE- ESTIMATION BASSE (VALEUR A 100 000) - MILLIONS D'EUROS

	N100	N100+1m
<b>Picardie</b>	1 014,9	1 215,8
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	6 567,6	7 361,2
<b>Total</b>	7 582,5	8 577

TABLEAU 38 : VALEUR DE LA PERTE SI SUBMERSION DEFINITIVE- ESTIMATION HAUTE (VALEUR A 250 000) - MILLIONS D'EUROS

	N100	N100+1m
<b>Picardie</b>	2 537,3	3 039,5
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	16 419,0	18 403,0
<b>Total</b>	18 956,3	21 442,5

Actuellement, la valeur des logements situés sous la cote centennale donc à risque de submersion est comprise entre 7,6 et 19 milliards d'euros (selon la valeur unitaire que nous retenons). Avec une élévation du niveau de la mer de 1m, cette valeur s'établirait entre 8,6 et 21,4 milliards d'euros, soit une hausse du périmètre du capital à risque comprise entre 1 et 2,4 milliards d'euros à cause du changement climatique.

- Infrastructures routières de transport :

TABLEAU 39 : COUT DE LA SUBMERSION PERMANENTE DU RESEAU ROUTIER NATIONAL N100 (MILLIONS D'EUROS)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Autoroutes</b>	62,5	1 612,5	1 675
<b>Routes Nationales</b>	0	400	400
<b>Total</b>	62,5	2 012,5	2 075

TABLEAU 40 : COUT DE LA SUBMERSION PERMANENTE DU RESEAU ROUTIER NATIONAL N100+1M (MILLIONS D'EUROS)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Autoroutes</b>	87,5	1725	1 812,5
<b>Routes Nationales</b>	0	412,5	412,5
<b>Total</b>	87,5	2 137,5	2 225

Actuellement, la valeur patrimoniale des infrastructures routières du réseau routier national à risque de submersion est de l'ordre de 2,1 milliards d'euros. Avec une élévation du niveau de la mer de 1m, cette valeur s'établirait à 2,2 milliards d'euros, ainsi, l'augmentation du patrimoine à risque à cause du changement climatique s'établit à une valeur d'environ 150 millions d'euros.

## 1.5 Evaluation de l'adaptation

### 1.5.1 Méthodologie sélectionnée

La méthodologie proposée pour évaluer le coût de l'adaptation contre la submersion devait être fondée sur la mise en relation de deux types de méthodes d'adaptation : d'une part, la mise en place de digues sur le linéaire côtier qui n'en serait pas encore doté, et d'autre part la relocalisation des enjeux des zones exposées. Toutefois, en l'absence de données disponibles sur le linéaire côtier en kilomètres soumis à la submersion, cette évaluation ne pourra être réalisée. Elle sera tout de même faite pour le risque érosion pour lequel les données du littoral en kilomètres soumis à l'érosion et non protégé est disponible.

Il est rappelé que la construction de digues n'est pas considérée aujourd'hui comme des méthodes d'adaptation efficace, et même comme de la maladaptation. Néanmoins, l'évaluation du coût de mise en place de ces infrastructures mis en relation avec les coûts de relocalisation sont pertinents en termes de données pour les décideurs et pourront être analysés afin notamment de comparer les coûts de cette mal-adaptation contre ceux d'une retrait stratégique. Par ailleurs, ces données constitueront des éléments d'aide à la décision pour les acteurs et gestionnaires du littoral.

#### **Zoom sur le coût du retrait stratégique des populations**

Face à la vulnérabilité plus ou moins marquée des espaces littoraux aux phénomènes d'érosion et de submersion, les installations lourdes de protection du littoral ne paraissent plus justifiées. Dans ce contexte, les espaces littoraux tendent vers de nouveaux modes de gestion du littoral et le retrait stratégique des populations et des activités des zones soumises aux risques côtiers apparaît à ce jour comme une solution pertinente.

Si le coût d'une opération de retrait n'est pas quantifiable pour le territoire littoral du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie en raison du manque de données et de retours d'expérience locaux, la présentation d'opérations similaires menées dans le monde est une démarche qui apporterait des éclairages. Plusieurs REX existent notamment dans les pays nordiques, toutefois un seul exemple disposait de coûts associés à savoir la délocalisation de 150 foyers du village de Shismaref en Alaska. Cette communauté située sur une île-barrière composée de dépôts de sable fin et de pergélisol est soumise à une érosion forte de 3 à 5 mètres par an en moyenne. Erosion fortement accentuée par le passage de tempêtes telles que celles de novembre 1973, octobre 1997 ou encore octobre 2001 et par les marées. Face à la menace toujours présente, la communauté a jugé le risque inacceptable et a donc organisé la relocalisation des populations, une opération estimée entre 93 et 179 millions de dollars.

### 1.6 Limites

- Les coûts d'installation et de fonctionnement peuvent varier selon la topographie du lieu ;
- La variabilité des hypothèses d'élévation du niveau de la mer et les hypothèses valeurs ;
- Evaluation partielle des coûts pour les transports.

### 1.7 Pour aller plus loin

- Une estimation plus précise pourrait être faite si on disposait d'une fourchette d'estimation d'élévation du niveau de la mer (n'a été évaluée qu'une élévation de 1 mètre). Des estimations pourraient être obtenues en reprenant localement les données de modèles simulant la hausse du niveau de la mer ;

- Une analyse plus détaillée concernant des zones humides en particulier permettraient d'évaluer quels services écosystémiques seraient perdus ;
- Une évaluation plus détaillée des coûts de l'adaptation selon le linéaire côtier concerné serait requise. Elle se baserait sur les dommages potentiels, les coûts des différentes mesures et les gains d'une action retardée, en attendant que de nouvelles technologies et connaissances soient disponibles.

## 2 Impact de l'exacerbation du phénomène d'érosion sur le linéaire côtier et les enjeux associés

### 2.1 Etat de la connaissance sur l'évaluation des coûts

La littérature sur les impacts du changement climatique inclut l'érosion dans l'impact de la montée des eaux, qui regroupe l'impact de la submersion sur les populations, sur les terrains, la salinisation, la perte de zones humides et les dommages causés aux infrastructures et aux activités économiques comme le tourisme, la pêche etc. (Brown et al., 2011). La proportion des dommages effectifs dépend de l'ampleur de la montée des eaux qui elle-même dépend du scénario des émissions futures tel que décrit par le GIEC. De plus, l'incertitude quant à la hausse du niveau de la mer reste très élevée pour chaque scénario envisagé.

Le dommage le plus important pour l'élévation du niveau de la mer est causé par la submersion marine et les inondations fluviales, suivi par la salinisation. Les dommages dus à l'érosion et à la perte de terrain sont relativement faibles. Le dommage total pour les pays européens s'élèverait respectivement à 73 € par km et 367 € par km par an à 2020 et à 2080. Ces chiffres sont basés sur le scénario A1B du GIEC. Pour la France, le coût de l'érosion pourrait s'élever à 99 € par km par an à 2020 et 549 € par km par an à 2080.

Les mesures d'adaptation à l'érosion correspondent à des défenses contre la mer, au rechargement des plages et au retrait planifié. Comme ces mesures permettent aussi de réduire l'impact des inondations et des tempêtes, il est difficile de définir quel est le coût de l'adaptation spécifique à l'érosion. L'évaluation européenne de l'adaptation à la hausse du niveau de la mer liste comme mesure principale la construction de digues. Récemment, la part des dépenses allouées à la lutte contre l'érosion a augmenté en Angleterre et aux Pays de Galles passant respectivement à 23 % et à 12%.

### 2.2 Problématique pour la zone d'étude

La côte de la zone étudiée compte 120 km de linéaire soumis à l'érosion, au vu de la forte présence anthropique sur le littoral, il est important d'estimer le coût de ce phénomène voué à s'accroître avec le changement climatique. L'évaluation de l'inaction n'a pu être réalisée pour les raisons exposées ci-dessous, cependant une estimation du coût de différentes mesures d'adaptation a été menée. L'érosion est une modification physique du trait de côte qui se survient sous l'effet combiné de différents phénomènes naturels (mouvements marins, dérive littorale, vagues, etc.), dont les modifications climatiques. Or, il est difficile à ce jour d'évaluer la part de chacun de ces phénomènes dans l'érosion. Il s'agira donc ici d'évaluer globalement les mesures d'adaptation permettant de diminuer, voire de faire reculer, le phénomène d'érosion actuel.

### 2.3 Evaluation de l'inaction

L'évaluation de l'inaction pour le phénomène d'érosion est, en l'état de la recherche, difficile à quantifier puisque la part attribuable au changement climatique n'a pu être localement déterminée. Beaucoup d'incertitudes et le manque de données empêchent l'évaluation de l'érosion dans les années à venir. En tout état de cause, le coût de l'inaction sera lié à la valeur des activités présentes sur la zone soumise à l'érosion. Par exemple, si des activités touristiques générant un important chiffre d'affaire sont présentes sur le littoral érodable, alors le capital à risque serait équivalent à ce chiffre d'affaire. Cette valeur du capital à risque permet de déterminer un arbitrage pour les actions d'adaptation à mettre en place.

### 2.4 Evaluation de l'adaptation des espaces érodés

#### 2.4.1 Méthodologie sélectionnée

La méthodologie proposée pour évaluer le coût de l'adaptation contre l'érosion actuelle est fondée sur l'évaluation du coût de mise en place des différents systèmes de protection littoraux existants. A ce jour, nous ne disposons pas de données sur l'évolution à venir du phénomène d'érosion. C'est donc pour cela que cette évaluation porte uniquement sur l'érosion actuelle.

#### 2.4.1.1 Données d'entrée

Pour assurer cette évaluation, les données nécessaires à mobiliser sont les suivantes :

- La longueur du linéaire côtier soumis à l'érosion actuellement et qui n'est à ce jour protégé par aucun système de protection. Les données de l'Institut Français de l'Environnement<sup>15</sup> sur l'érosion côtière par façade maritime régionale seront utilisées :

TABLEAU 41 : ÉROSION COTIERE PAR FAÇADE MARITIME DEPARTEMENTALE ET REGIONALE (SOURCE : IFEN, OCTOBRE 2007, ANALYSE STATISTIQUE ET CARTOGRAPHIQUE DE L'ÉROSION MARINE [HTTP://WWW.ONML.FR/UPLOADS/MEDIA/DOSSIER\\_EROSION.PDF](http://www.onml.fr/uploads/media/DOSSIER_EROSION.PDF))

	En km	En % du total
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	90,9	59,5
<b>Picardie</b>	25,9	34,7

- Le coût d'installation des différents systèmes de protection contre l'érosion littorale. Pour cela, un certain nombre d'installations pertinentes ont été sélectionnées. Si certaines de ces techniques de protection de la côte s'apparentent davantage à de la maladaptation comme par exemple les brises lames, les épis ou les digues, elles permettent de mettre en regard les différentes méthodes existantes et d'aiguiller les décisions locales en matière de choix d'infrastructures et de politique de protection. Il s'agit donc<sup>16</sup> :
  - Des digues, des brise-lames classiques et des épis qui sont des méthodes dites lourdes. Elles permettent de figer le trait de côte et de retenir une partie des sédiments emmenés par les courants naturels afin de limiter l'érosion. Toutefois, ces systèmes impliquent également des conséquences négatives puisqu'elles déplacent souvent le problème d'érosion vers d'autres secteurs plus en aval. Par ailleurs, elles sont particulièrement vulnérables lors du passage d'épisodes climatiques extrêmes (tempêtes) ;
  - Des travaux de création/recréation d'un cordon dunaire qui permettent de reconstruire une dune en haut de plage afin de protéger et stabiliser le littoral sableux. C'est une méthode douce ;
  - De la végétalisation, méthode de protection dite douce des littoraux qui permet une restauration progressive des cordons dunaires ;
  - Des boudins géotextiles qui sont des boudins de textile perméables recouvert de polyester. Longs de 30 à 70 mètres, ils sont injectés de sable et disposés perpendiculairement au trait de côte afin de gérer les flux de sédiments et de stopper l'érosion. Les sédiments sableux reviennent progressivement et recouvrent les boudins qui deviennent invisibles aux usagers. Ces dispositifs ne génèrent aucun impact négatif sur l'environnement et permet la revégétalisation du littoral ;
  - Des drains de sable dits système Ecoplage qui est enterré sous la plage. Ce système mécanique draine l'eau qui déferle sur le rivage et enrichit la plage avec le sable en suspension. C'est une technique "douce" dans la mesure où elle ne modifie pas la morphologie de la plage et évite tout ouvrage rigide qui pourrait contrarier l'hydro-sédimentologie.

Pour réaliser cette évaluation, les données mobilisées sont les suivantes :

<sup>15</sup> IFEN, 2007, Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine  
[http://www.onml.fr/uploads/media/dossier\\_erosion.pdf](http://www.onml.fr/uploads/media/dossier_erosion.pdf)

<sup>16</sup> Préfecture de région Languedoc-Roussillon, 2008, Étude sur le changement climatique en Languedoc-Roussillon. Quelles conséquences économiques et sociales <http://www.languedoc-roussillon.pref.gouv.fr/actualites/informations/pdf/changeclim081030rapport2p2.pdf>



TABLEAU 42 : TABLEAU DES COÛTS ESTIMÉS DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE PROTECTION DU LITTORAL (SOURCE : DE PERTHUIS - HALLEGATTE - LECOQ - CEDD, FEVRIER 2010, ÉCONOMIE DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE - ANNEXE D & PRÉFECTURE DE RÉGION LANGUEDOC-ROUSSILLON, 2008, ÉTUDE SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN LANGUEDOC-ROUSSILLON. QUELLES CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES ?)

Type de systèmes	Coûts de construction par mètre
Digue*	5000
Brise-lame classique	4000
Création d'un cordon dunaire	570
Végétalisation	17
Boudin géotextile	7200
Epis	1500
Drain de sable (système Ecoplage)*	1300

\*Il est précisé que pour les digues, un coût d'entretien annuel de 10% de la valeur de la construction, soit 500€/mètre de digue, est à prendre en compte ; et que pour le système Ecoplage, un coût de fonctionnement estimé grâce aux retours d'expérience du site des Sables d'Olonne équipé depuis 1999 de ce dispositif de 16 600€, principalement en dépenses d'électricité (15 000 €), soit 10,375€/mètre d'installation est également à estimer<sup>17</sup>.

## 2.4.2 Evaluation du coût de l'adaptation

Selon les données disponibles, les coûts d'installations de l'ensemble des systèmes ont été évalués pour le linéaire côtier du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie :

TABLEAU 43 : COÛTS DE CONSTRUCTION DE DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE PROTECTION DU LITTORAL CONTRE L'ÉROSION DANS LE NORD-PAS-DE-CALAIS ET LA PICARDIE EN MILLIONS D'EUROS

Type de systèmes	Nord-Pas-de-Calais	Picardie
Digue	454,5	129,5
Brise-lame classique	363,6	103,6
Création d'un cordon dunaire	51,813	14,763
Végétalisation	1,5453	0,4403
Boudin géotextile	654,48	186,48
Epis	136,35	38,85
Drain de sable (système Ecoplage)	118,17	33,67

TABLEAU 44 : COÛTS D'ENTRETIEN ANNUEL DES DIGUES DANS LE NORD-PAS-DE-CALAIS ET LA PICARDIE EN MILLIONS D'EUROS

Nord-Pas-de-Calais	Picardie
45,45	12,95

<sup>17</sup> Préfecture de région Languedoc-Roussillon, 2008, Étude sur le changement climatique en Languedoc-Roussillon. Quelles conséquences économiques et sociales ?

TABEAU 45 : COUT DE FONCTIONNEMENT ANNUEL DU SYSTEME ECOPLAGE DANS LE NORD-PAS-DE-CALAIS ET LA PICARDIE EN MILLIONS D'EUROS

Nord-Pas-de-Calais	Picardie
0,94	0,27

## 2.5 Limites

- Les coûts d'installation et de fonctionnement peuvent varier selon la topographie du lieu (incertitude, évaluation partielle etc.) ;
- Les hypothèses d'élévation du niveau de la mer qui demandent à être précisées ;
- Les données sur la part du linéaire côtier soumis à l'érosion.

## 2.6 Pour aller plus loin

- Pour déterminer l'étendue potentielle des pertes de terrains dues à l'érosion, il est nécessaire de connaître les activités qui occupent l'espace soumis au risque et dans quelle mesure celles-ci seraient affectées. Cela pourrait faire l'objet d'une étude à part entière ;
- Pour évaluer le coût de l'adaptation, il est intéressant de le comparer au coût des dommages évités. Cependant, dans une telle analyse, il faut tenir compte de l'incertitude ainsi que des éventuels bénéfices à ne pas agir dès maintenant et à attendre un progrès technologique moins coûteux.

### 3 Impact de la hausse des températures sur les consommations énergétiques

#### 3.1 Etat de la connaissance sur l'évaluation des coûts

A ce jour, le lien entre changement climatique et énergie est davantage abordé dans une perspective d'atténuation. La littérature disponible traite donc des différents moyens existants permettant de réduire les consommations d'énergie basées sur les combustibles fossiles. Dans le cadre de l'adaptation, quelques études concernant l'impact du changement climatique sur la demande énergétique (Bigano, 2006) montrent qu'en Europe la demande d'énergie devrait fluctuer en fonction des évolutions climatiques attendues, avec une baisse de la demande en hiver pour le chauffage et une hausse en été pour le refroidissement. Le secteur privé étant l'un des principaux secteurs consommateurs d'énergie, l'adaptation devrait y être plus importante, entraînant alors une installation accrue de systèmes de climatisation. Ebinger et Vergara (2011) ont défini deux groupes de mesures d'adaptation pour le secteur énergétique à savoir les mesures de renforcement des capacités d'adaptation et les mesures permettant de fournir des mesures d'adaptation.

Renforcer les capacités d'adaptation implique de développer les connaissances (par exemple les données de collecte et de suivi, de recherche et de sensibilisation) et de fournir un cadre favorable à l'action (tel que le renforcement des capacités des institutions locales en construisant des partenariats ou en disposant du soutien du secteur public). Les actions d'adaptation comprennent ainsi des mesures qui limitent les effets négatifs ou réduisent les risques, tels que des infrastructures de transports d'énergie résistantes aux variations climatiques, l'amélioration des normes de conception des nouvelles infrastructure, le déploiement de nouvelles technologies, la délocalisation des activités vers des zones plus sûres, la mise en œuvre de mesures d'urgence et la planification en cas de catastrophe, etc. Les mesures secondaires dites douces incluent le partage de la responsabilité des pertes ou des risques (par exemple l'assurance ou la diversification des sources d'énergie) et les mesures qui exploitent les opportunités ou les mesures « gagnant-gagnant » (comme les mesures d'économies d'énergie ou d'eau, des structures décentralisées de production d'énergie basées sur les énergies renouvelables locales, la planification urbaine, et l'occupation des sols).

Sachant que l'énergie constitue une ressource primaire pour d'autres secteurs d'activités, la prise en compte des secteurs dépendants de l'énergie doit guider les mesures d'adaptation à mettre en place dans le secteur énergétique. En d'autres termes, les mesures d'adaptation peuvent concerner la mise en place d'un système énergétique complet ou peuvent résulter d'interactions entre les différents segments du secteur de l'énergie et d'autres secteurs, comme l'eau ou l'agriculture. L'interaction entre les mesures d'adaptation du secteur de l'énergie et les autres secteurs est donc très importante. Par exemple, la gestion des ressources en eau constitue un outil pour résoudre les conflits et l'optimisation de l'utilisation des ressources naturelles pour l'énergie et d'autres utilisations - quand il y a conflit entre la demande en eau pour la production d'électricité et d'autres utilisations (par exemple la consommation directe) dans un climat plus sec.

Comme mesures dites sans-regrets dans le secteur de l'énergie, on peut citer les systèmes d'alerte précoce, les mesures visant la diversification de la production d'énergie, le transfert de technologie, ou encore l'efficacité énergétique.

#### 3.2 Problématique pour la zone d'étude

La hausse globale des températures ainsi que la récurrence accrue des canicules projetées pour le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie amèneraient à une augmentation de la demande en énergie pour la climatisation. Cette adaptation spontanée qui est attendue, peut être considérée comme de la maladaptation puisqu'elle ne réduit pas la vulnérabilité à l'impact et peut participer à l'émission de gaz à effet de serre. Si pour le moment cette demande est très faible pour les deux régions, elle pourrait augmenter dans le temps suite à la hausse du taux d'équipement en climatisation, conséquence de la hausse des températures. Ainsi, cette hausse sera évaluée afin

de pouvoir anticiper ses éventuelles conséquences. Pour rappel, la consommation habituelle en période estivale pour la France est estimée à 46 000 mégawatts<sup>18</sup>. En 2003, le territoire avait consommé 4 000 mégawatts de plus du fait de l'augmentation de la demande en climatisation<sup>19</sup>.

Il est à noter qu'en parallèle d'une hausse de la demande en énergie en période estivale, il pourrait se produire une baisse de la demande en énergie de chauffage en hiver.

### 3.3 Impact sur les consommations énergétiques dans le secteur résidentiel

#### 3.3.1 Méthodologie sélectionnée

La méthodologie proposée pour évaluer le coût du changement climatique (inaction) est inspirée de la méthode employée dans le cadre du Groupe interministériel : il s'agit, à partir d'hypothèses d'augmentation de l'équipement en climatiseurs en raison du changement climatique, d'estimer la surconsommation d'électricité estivale induite par l'élévation des températures.

##### 3.3.1.1 Données d'entrée

Trois types de données sont exploités pour réaliser l'estimation :

- Le nombre de logements individuels recensés dans la zone d'étude.

TABLEAU 46 : NOMBRE DE LOGEMENTS INDIVIDUELS (2006) (SOURCE : SOES)

<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	1 743 560
<b>Picardie</b>	846 403
<b>Total</b>	2 589 963

- Des hypothèses sur le taux d'équipement en climatiseurs des logements. En France métropolitaine, ce taux est estimé actuellement à 3%. Dans le nord de la France, nous posons l'hypothèse selon laquelle, 1% des logements sont équipés en climatiseurs. En raison du changement climatique, pour la fin du siècle nous émettons l'hypothèse médiane selon laquelle le taux d'équipement en climatiseurs atteindra le taux actuellement observé en région PACA et une hypothèse extrême selon laquelle ce taux serait comparable à celui observé dans les pays méditerranéens frontaliers comme l'Espagne et l'Italie.

TABLEAU 47 : HYPOTHESE D'EQUIPEMENT EN CLIMATISEURS POUR 2012. (SOURCE : HYPOTHESES ARTELIA ET GROUPE INTERMINISTERIEL)

2012	1%	
<b>Hypothèse basse</b>	12,5%	(PACA)
<b>Hypothèse haute</b>	30,5%	(Espagne - Italie)

- Une hypothèse concernant la consommation énergétique unitaire actuelle des climatiseurs ; et une hypothèse d'augmentation de cette consommation unitaire en raison de la hausse des températures de 50% (hypothèse issue du Groupe interministériel).

TABLEAU 48 : CONSOMMATION ENERGETIQUE UNITAIRE DES CLIMATISEURS (KWh/AN) (SOURCE : GROUPE INTERMINISTERIEL)

<b>2012</b>	500
-------------	-----

<sup>18</sup> Rapport du Sénat, 2004, La France et les Français face à la canicule : les leçons d'une crise

<sup>19</sup> Rapport du Sénat, 2004, La France et les Français face à la canicule : les leçons d'une crise

Fin de siècle	750
---------------	-----

### 3.3.2 Evaluation du coût de l'inaction

La première étape de l'évaluation consiste à estimer le nombre de logements équipés en dispositifs de climatisation.

TABLEAU 49 : EVOLUTION DU NOMBRE DE LOGEMENTS EQUIPES EN CLIMATISEURS

	2012	Hypothèse basse (12,5%)	Hypothèse Haute (30,5%)
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	17 435,6	217 945,0	531 785,8
<b>Picardie</b>	8 464,0	105 800,4	258 152,9
<b>Total</b>	25 899,6	323 745,4	789 938,7

En y appliquant les données sur la consommation unitaire des climatiseurs actuellement et en fin de siècle, nous obtenons les résultats suivants.

TABLEAU 50 : CONSOMMATION ENGENDREE PAR LA CLIMATISATION (TWh/AN)

	2012	Hypothèse basse (12,5%)	Hypothèse Haute (30,5%)
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	0,01	0,16	0,40
<b>Picardie</b>	0,00	0,08	0,19
<b>Total</b>	0,01	0,24	0,59

D'après cette estimation, en fin de siècle et sans adaptation, le changement climatique induirait une hausse des consommations énergétiques estivales dans le résidentiel, estimée entre 0,23 et 0,58 TWh/an. Cette hausse représente entre 0,9 et 2% de plus par rapport à la demande estimée en 2011, qui correspondait alors à 26,9 TWh pour les deux régions<sup>20</sup>.

## 3.4 Impact sur les consommations énergétiques dans le secteur tertiaire

### 3.4.1 Méthodologie sélectionnée

#### 3.4.1.1 Données d'entrée

Les évolutions de consommation d'énergie sont issues du travail du Groupe Interministériel lui-même basé sur le logiciel de projections de prévision de la consommation nommé PAPTER. Ces prévisions sont en relation avec le climat, notamment fondé sur le concept de degrés jour c'est-à-dire que pour une énergie donnée, on examinera quelle est la plage de température moyenne pour laquelle la demande est la moins sensible à la température. Ainsi, on arrive à déterminer des températures seuils au-delà ou en deçà desquelles la demande en rafraîchissement ou en chaleur augmente. Dans l'évaluation qui suit les projections concernent l'horizon 2080. Le périmètre sectoriel correspond au tertiaire et est restreint à la demande supplémentaire pour le besoin de rafraîchissement en été.

TABLEAU 51 : EVOLUTIONS DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE DANS UN BUREAU STANDARD A LILLE (4300M2, 8 NIVEAUX, CHAUFFAGE ELECTRICITE ET CLIM PAR GROUPE FROID) (MWh)

<sup>20</sup> RTE Nord-Est, Dossier de presse : Bilan énergétique 2011 de la Picardie & RTE Nord-Est, Dossier de presse : Bilan énergétique 2011 du Nord-Pas-de-Calais

	Actuel	Futur	Ecart Actuel / futur
Rafrâichissement	136333	269949	98%

TABLEAU 52 : EVOLUTIONS DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE DANS UN HOTEL STANDARD A LILLE, CENTRE -VILLE AVEC RESTAURANT (3200M2, 90 CHAMBRES, CHAUFFAGE ET CLIM PAR PAC) (MWH)

	Actuel	Futur	Ecart Actuel / futur
Rafrâichissement	7053	29795	322%

TABLEAU 53 : EVOLUTIONS DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE DANS UN COMMERCE A LILLE AVEC RESERVES, 2000M2, CHAUFFAGE ET CLIMATISATION PAR ROOF-TOPS (MWH)

	Actuel	Futur	Ecart Actuel / futur
Rafrâichissement	1361	14424	960%

### 3.4.2 Evaluation du coût de l'inaction

L'évolution de la demande en rafraichissement à l'horizon 2080 correspond pour Lille et ses environs à 117 % d'augmentation par rapport à la demande actuelle.

TABLEAU 54 : EVOLUTIONS TOTALES SUR LE POOL DE BATIMENTS TERTIAIRES (%)

Rafrâichissement	117,0
Chauffage	-37
Total	-3,1

Il est à noter qu'en parallèle de cette augmentation de la demande en énergie en période estivale, il y aurait une baisse de la demande en énergie en période hivernale. Elle pourrait être équivalente à une baisse de 40% de la demande.

Au total, la variation annuelle de la demande en énergie par rapport à la situation actuelle pourrait correspondre à une baisse d'environ 3% de la demande.

## 3.5 Evaluation du coût de l'adaptation

### 3.5.1 Méthodologie sélectionnée

Quantifier le coût de l'adaptation afin de maîtriser la consommation énergétique dans ce cas s'apparente pour beaucoup à une sensibilisation des usagers qui est difficilement chiffrable.

Afin de consommer moins d'énergie pour le rafraichissement du bâti, certaines mesures<sup>21</sup> peuvent être prises à moindre frais. Par exemple utiliser des ampoules à basse consommation permet de réduire la chaleur dégagée par l'ampoule, limitant du même coup le besoin en rafraichissement. Fermer les volets permet de limiter les radiations directes du soleil dans les pièces.

<sup>21</sup> Avis d'expert - ARTELIA

Plus précisément, pour le secteur résidentiel individuel, il est possible pour rafraîchir la maison de planter un arbre, d'installer des volets ou brise soleil si ce n'est pas déjà le cas. Pour le logement collectif, seule l'installation de volets est possible. En outre, pour les deux types de logement, l'isolation de la chaudière à eau permet de limiter la dispersion de chaleur<sup>22</sup>.

En ce qui concerne le secteur tertiaire, si les bureaux sont vitrés alors la pose de fenêtres réfléchissantes et de protections solaires peut permettre de réduire la demande en énergie de climatisation. A titre indicatif, le surcoût d'une fenêtre réfléchissante par rapport à une fenêtre standard est de l'ordre de 100 à 200 € par m<sup>2</sup>. Le coût d'une casquette correspond à 300 à 500 € par m<sup>2</sup> de fenêtre. Si les bureaux sont dans un bâtiment de type immeuble résidentiel, alors la fermeture des volets est la mesure la plus efficace afin de limiter la demande en énergie<sup>23</sup>.

Ces mesures correspondent surtout à une sensibilisation des usagers et l'investissement financier minimum reste faible. A titre d'exemple, en 2003, suite à un appel à la population relayé par les médias afin de réduire les consommations énergétiques (limitation de l'utilisation de la climatisation et d'appareil électroménager lourds, débranchement des appareils en veille, ...), le Réseau Transport d'Electricité (RTE) a noté une baisse de consommation de 200 à 300 mégawatts, soit l'équivalent de la consommation de la ville de Nantes<sup>24</sup>.

### 3.6 Limites

- La prise en compte dans les méthodes de calculs d'une économie constante. La potentielle évolution du nombre de logements n'est donc pas prise en compte ;
- Les estimations reposent sur des hypothèses d'équipements en climatisation issues du Groupe Interministériel ;
- Le calcul ne prend pas en compte l'amélioration des modes constructifs des bâtiments, l'amélioration des performances énergétiques et l'évolution des comportements des usagers.

### 3.7 Pour aller plus loin

- L'estimation basée sur le surplus de demande pour la climatisation peut être enrichie en la contrebalançant par une analyse plus fine de la baisse de consommation électrique en hiver. Une analyse détaillée pourrait tenir compte des autres consommations énergétiques comme le fioul et le gaz. De plus, une amélioration de l'efficacité énergétique aura lieu mais n'a pas été prise en compte dans les calculs en raison de la difficulté à anticiper ces données. Cependant, une fois que cette amélioration de l'efficacité énergétique aura eu lieu, les données pourront être ajoutées.

---

<sup>22</sup> Avis d'expert - ARTELIA

<sup>23</sup> Avis d'expert - ARTELIA

<sup>24</sup> Rapport du Sénat, 2004, La France et les Français face à la canicule : les leçons d'une crise

## 4 Impact des événements extrêmes (canicules et gel) sur les infrastructures de transports

### 4.1 Etat de la connaissance sur l'évaluation des coûts

Le secteur des transports est susceptible d'être affecté de façon significative par le changement climatique en raison de la hausse des températures, des périodes de gel et de l'exacerbation des risques naturels. Le United Kingdom Climate Impacts Programme (UKCIP) qui repose essentiellement sur une méthode d'évaluation des risques a ainsi évalué la vulnérabilité importante de ces systèmes. Pour chaque système de transport, le risque de dommages causés par le changement climatique est évalué et des mesures permettant de réduire le risque à un niveau acceptable et leur coût sont identifiés. Les coûts associés aux mesures prises dans le secteur des transports pour le Royaume-Uni sont disponibles dans l'étude de 2004 de Metroeconomica.

La principale différence méthodologique entre les mesures d'adaptation de ce secteur et les autres réside dans l'utilisation de la notion de risque acceptable. Les systèmes actuels souffrent de risques d'inondation, de mouvement de terrain, etc. mais le niveau de risque est suffisamment faible pour être acceptable. Avec le changement climatique, ce ne sera plus vrai et des mesures supplémentaires seront nécessaires pour réduire le risque. Les calculs présentés dans cette section sont basés sur cette approche.

### 4.2 Problématique pour la zone d'étude

Les deux régions étudiées comportent un réseau de transports dense et multimodal qui pourrait pâtir des impacts du changement climatique. En effet, les épisodes de canicules pourraient affecter la viabilité et le fonctionnement du réseau routier et ferroviaire endommageant le revêtement des routes et provoquant la dilatation des rails.

En revanche, la moindre occurrence de jours de gel bénéficierait au réseau routier qui économiserait sur le coût actuel de la viabilité hivernale (salage, déneigement des routes).

### 4.3 Impact des canicules sur les infrastructures routières

#### 4.3.1 Méthodologie sélectionnée

La méthode que nous adoptons, élaborée par le Groupe interministériel, consiste à évaluer le surcoût d'entretien des routes en cas de canicule, en transposant les résultats d'études menées au Royaume-Uni.

- Deux hypothèses de surcoût :
  - Une hypothèse basse issue d'une étude menée au Royaume-Uni<sup>25</sup>, qui estime à 15% le surcoût d'entretien des routes en période de canicule ;
  - Une hypothèse haute a été formulée dans l'étude de Hudson<sup>26</sup> sur le réseau routier du Cambridgeshire qui évalue un surcoût de 24% des dépenses annuelles.

##### 4.3.1.1 Données d'entrée

Pour réaliser cette évaluation, les données mobilisées sont les suivantes :

---

<sup>25</sup> Defra, 2006, "Quantify the costs of the hot summer of 2003" in Climate change impact and adaptation: cross regional research program/project E. Dir. Metroeconomica Ltd

<sup>26</sup> Hudson, 2004 « Highway asset management case study », UK climate Impact Program method case study



- Le linéaire du réseau routier dans les régions Nord-Pas de Calais et Picardie, ainsi que le linéaire total en France métropolitaine. Ces données sont fournies par l'INSEE pour l'année 2010.

TABLEAU 55 : LONGUEUR DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ROUTIER EN 2010 (KM) (SOURCE : INSEE)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	France métropolitaine
<b>Autoroutes</b>	550	627	11163
<b>Routes Nationales</b>	371	197	9768
<b>Routes Départementales</b>	14106	11503	377984
<b>Routes communales</b>	20149	18622	642254

- Les coûts annuels moyens d'entretien des routes. Ces données sont disponibles à l'échelle nationale, pour les années 2007 et 2008, uniquement pour les routes du réseau routier national. Ne disposant pas de données sur le coût annuel d'entretien des autres routes (routes départementales, routes communales), l'estimation sera limitée à l'estimation du coût pour le réseau national. Si le réseau routier non national est important en termes de linéaire, son coût d'entretien est plus faible que celui du réseau national. Bien que limitée, cette évaluation reste donc pertinente. Afin de connaître le coût d'entretien des routes nationales des régions de la zone d'étude, nous effectuerons un calcul au prorata de leur poids dans le linéaire routier national.

TABLEAU 56 : COUT D'ENTRETIEN ANNUEL DES ROUTES DU RRN - NIVEAU NATIONAL (M€) (SOURCE : GROUPE INTERMINISTERIEL)

<b>2007</b>	426
<b>2008</b>	456

TABLEAU 57 : COUT D'ENTRETIEN ANNUEL DES ROUTES DU RRN PAR KM (M€)

<b>2007</b>	0,020
<b>2008</b>	0,022

TABLEAU 58 : ESTIMATION DU COUT D'ENTRETIEN ANNUEL REGIONAL POUR LE RRN (M€)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais
<b>2007</b>	18,7	16,8
<b>2008</b>	20,1	18,0

- Le nombre de canicules « de type 2003 » attendues au XXI<sup>e</sup> siècle, estimé par le Groupe interministériel, selon deux scénarios – A2 et B2 – et trois horizons – 2030, 2050, 2100

TABLEAU 59 : NOMBRE DE CANICULES DE TYPE 2003 ATTENDUES AU XXI<sup>e</sup> SIECLE (SOURCE : GROUPE INTERMINISTERIEL)

	2030	2050	2100
<b>A2</b>	[0 - 3]	[2 - 11]	[32 - 51]
<b>B2</b>	[0 - 1]	[1 - 4]	[18 - 25]

#### 4.3.2 Evaluation du coût de l'inaction

En posant l'hypothèse que le surcoût d'entretien observé au Royaume-Uni est transposable au cas de la Picardie et du Nord-Pas-de-Calais, l'évaluation aboutit aux résultats suivants :

- Coût d'une canicule de type 2003

Une canicule de type 2003 équivaldrait à un surcoût compris entre 5,3 et 5,7 millions d'euros pour les deux régions selon l'hypothèse basse d'un surcoût de 15% dû à la canicule. Avec l'hypothèse d'un surcoût équivalent à 24% du budget d'entretien, le surcoût pour les deux régions serait compris entre 8,5 et 9,1 millions d'euros pour une canicule.

TABLEAU 60 : HYPOTHESE BASSE : SURCOUT ESTIMATIF D'UNE CANICULE TYPE 2003 SUR LE RESEAU ROUTIER NATIONAL DES REGIONS (M€)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Fourchette basse</b>	2,8	2,5	5,3
<b>Fourchette haute</b>	3,0	2,7	5,7

TABLEAU 61 : HYPOTHESE HAUTE: SURCOUT ESTIMATIF D'UNE CANICULE TYPE 2003 SUR LE RESEAU ROUTIER NATIONAL DES REGIONS (M€)

	Picardie	Nord-Pas-de-Calais	Total
<b>Fourchette basse</b>	4,5	4,0	8,5
<b>Fourchette haute</b>	4,8	4,3	9,1

- Coût cumulé des canicules sur le XXIème siècle

Le coût cumulé selon l'hypothèse basse pourrait s'élever jusqu'à 280 millions pour le siècle à venir.

TABLEAU 62 : SURCOUT ESTIMATIF CUMULE DES CANICULES AU COURS DU XXIe SIECLE SUR LE RRN (M€) – HYPOTHESE BASSE

	2030		2050		2100	
	F.Basse	F.Haute	F.Basse	F.Haute	F.Basse	F.Haute
<b>A2</b>	0,0	16,5	11,0	60,7	176,5	281,3
<b>B2</b>	0,0	5,5	5,5	22,1	99,3	137,9

Dans une hypothèse haute, le coût cumulé atteindrait 450 millions d'euros à la fin du siècle.

TABLEAU 63 : SURCOUT ESTIMATIF CUMULE DES CANICULES AU COURS DU XXIe SIECLE SUR LE RRN (M€) – HYPOTHESE HAUTE

	2030		2050		2100	
	F.Basse	F.Haute	F.Basse	F.Haute	F.Basse	F.Haute
<b>A2</b>	0,0	26,5	17,6	97,1	282,4	450,0
<b>B2</b>	0,0	8,8	8,8	35,3	158,8	220,6

- Surcoût annuel des canicules pour le XXIème siècle.

TABLEAU 64 : SURCOUT ESTIMATIF ANNUEL DES CANICULES AU COURS DU XXIe SIECLE SUR LE RRN (M€)- HYPOTHESE BASSE

	2030		2050		2100	
	F.Basse	F.Haute	F.Basse	F.Haute	F.Basse	F.Haute
A2	0,0	0,6	0,6	3,0	3,5	5,6
B2	0,0	0,2	0,3	1,1	2,0	2,8

Selon cette estimation à partir de l'hypothèse basse de 15%, à l'horizon 2100, le surcoût des canicules sur le réseau routier national des deux régions se situerait **entre 2 et 5,6 millions d'euros annuels**.

TABLEAU 65 : SURCOUT ESTIMATIF ANNUEL DES CANICULES AU COURS DU XXI<sup>E</sup> SIECLE SUR LE RRN (M€)- HYPOTHESE HAUTE

	2030		2050		2100	
	F.Basse	F.Haute	F.Basse	F.Haute	F.Basse	F.Haute
A2	0,0	0,9	0,9	4,9	5,6	9,0
B2	0,0	0,3	0,4	1,8	3,2	4,4

Selon cette estimation à partir de l'hypothèse haute de 24% de surcoût, à l'horizon 2100, l'impact des canicules sur le réseau routier national pour les deux régions se situerait **entre 3,2 et 9 millions d'euros annuels**.

#### 4.4 Evaluation de l'adaptation

Dans le cas de l'impact des canicules sur le réseau routier, l'action d'adaptation correspond au coût de l'impact puisque l'on considère que la réparation des routes est le moyen de revenir à une situation où la route n'est pas endommagée<sup>27</sup>. Cependant, ce n'est pas une adaptation optimale puisque elle ne permet pas de réduire la vulnérabilité du secteur concerné. Il serait possible pour limiter la vulnérabilité du secteur de changer le revêtement des routes pour que celui-ci soit moins sensible aux chaleurs extrêmes. Cependant les données sur la faisabilité et le coût de nouveaux revêtements ne sont pas disponibles.

##### 4.4.1 Limites

- Ces évaluations ne prennent pas en compte le progrès technologique qui pourrait augmenter la résistance des revêtements lors des périodes de canicule, réduisant ainsi les coûts d'entretien ;
- En cas de changement de mode de transport tel qu'imaginé par les différents scénarios socioéconomiques, on pourrait s'attendre à une réduction de la part des infrastructures routières, réduisant ainsi leurs coûts d'entretien ;
- Rappelons que le comptage des canicules reste incertain et ne correspond pas à une prévision. Le coût pourrait donc varier en fonction de l'occurrence de l'évènement ;
- Il ne s'agit que d'une évaluation partielle de l'impact sur les réseaux car nous ne disposons que des valeurs patrimoniales du réseau national ;
- Le coût de l'entretien des routes pour les deux régions, est une estimation à partir d'un ratio kilométrique, le coût réel n'étant pas disponible ;
- Les surcoûts sont des hypothèses issues de la littérature.

#### 4.5 Impact du gel pour les infrastructures routières

<sup>27</sup> UKCIP, 2004, Hudson

### 4.5.1 Méthodologies sélectionnées

Deux méthodologies peuvent être utilisées afin d'évaluer l'impact d'un moindre jour de gel pour le budget de viabilité hivernale annuel. Notons que le surcoût peut être positif ou négatif, dans cette évaluation, le surcoût correspond dans la plupart des calculs à une baisse.

#### 4.5.1.1 Hypothèse issue de la littérature

##### 4.5.1.1.1 Données d'entrée

Cette première évaluation est effectuée à partir de deux hypothèses, l'une haute et l'autre basse, tirées de la littérature (Hudson, 2004, in UKCIP). L'étude de Hudson est une étude de cas sur le réseau routier du Cambridgeshire. La proximité climatique de cette région avec la Picardie et le Nord-Pas-de-Calais nous permet de reprendre cette hypothèse pour notre évaluation.

Selon cette étude, le surcoût par rapport au budget d'entretien annuel dû au nombre de jours de gel correspond à :

- Hypothèse basse à 2020 dans un scénario de basse émission : - 16% du budget d'entretien ;
  - Hypothèse haute à 2080 dans un scénario de forte émission : - 60% du budget d'entretien.
- 
- Coût de la viabilité hivernale pour le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie

TABEAU 66 : ESTIMATION DU COUT DE SALAGE ANNUEL REGIONAL NORD-PAS-DE-CALAIS ET PICARDIE (M €) (SOURCE : DIR NORD)

2008/2009	5,3
2009/2010	5,4
2010/2011	4,6
2011/2012	3,5
Moyenne	4,7

#### 4.5.1.2 Evaluation du coût de l'inaction

Ces hypothèses de coût nous donnent une moyenne de baisse de coût d'entretien entre 800 000 euros à 2020 et 2,8 millions d'euros à 2080 pour les deux régions, par an.

- Hypothèse avec un scénario de basse émission à 2020 :

TABEAU 67 : HYPOTHESE BASSE A 2020 : SURCOUT ESTIMATIF D'UN HIVER PLUS DOUX SUR LE RESEAU ROUTIER NATIONAL (M€)

Picardie et Nord-Pas-de-Calais
0,8

- Hypothèse avec un scénario de forte émission à 2080 :

TABEAU 68 : HYPOTHESE HAUTE A 2080 : SURCOUT ESTIMATIF D'UN HIVER PLUS DOUX SUR LE RESEAU ROUTIER NATIONAL (M€)

Picardie et Nord-Pas-de-Calais
2,8

Rappel : Le coût de la viabilité hivernale pour les deux régions a été estimé par la DIR Nord à 4,7 millions d'euros par an.

#### 4.5.1.3 Hypothèse ad hoc

##### 4.5.1.3.1 Données d'entrée

Une seconde évaluation peut être effectuée à partir de la comptabilité nationale fournie par la Direction Interdépartementale des Routes du Nord (DIR Nord). Pour cela nous supposons que la diminution du coût de la viabilité hivernale est directement proportionnelle au nombre de jour de gel.

- Nombre de jours de gel attendus selon les scénarios sur le quart nord de la France.

TABEAU 69 : EVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE GEL ATTENDUS AU XXI<sup>e</sup> SIECLE POUR LE NORD-OUEST DE LA FRANCE (SOURCE : RAPPORT JOUZEL, 2011, ANNEXE INDICE D'HIVER)

	2030	2050	2090
A2	[-9/1]	[-10/2]	[-17/ - 7]
B2	[-11/3]	[-11 /0]	[-15 /-3]

- Nombre de jours de gel pour la période de référence

TABEAU 70 : NOMBRE DE JOURS DE GEL OBSERVES SUR LA PERIODE DE REFERENCE 1980-1999 POUR LE NORD-OUEST DE LA FRANCE (SOURCE : RAPPORT JOUZEL, 2011, ANNEXE INDICE D'HIVER)

1980 - 1999	24
-------------	----

Ces données nous permettent de calculer l'évolution du nombre de jours de gel par rapport à la période de référence.

TABEAU 71 : POURCENTAGE D'EVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE GEL ATTENDUS AU XXI<sup>e</sup> SIECLE POUR LE NORD-OUEST DE LA FRANCE (EN %)

	2030		2050		2090	
A2	-37,5	4,2	-41,7	8,3	-70,8	-29,2
B2	-45,8	12,5	-45,8	0	-62,5	-12,5

- Coût de la viabilité hivernale pour le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie

TABEAU 72 : ESTIMATION DU COUT DE SALAGE ANNUEL REGIONAL NORD-PAS-DE-CALAIS ET PICARDIE (M €) (SOURCE : DIR NORD)

2008/2009	5,3
2009/2010	5,4
2010/2011	4,6
2011/2012	3,5
Moyenne	4,7

##### 4.5.1.4 Evaluation du coût de l'inaction

TABEAU 73 : SURCOUT ESTIMATIF ANNUEL DU SALAGE SUR LE RESEAU ROUTIER NORD-PAS-DE-CALAIS ET PICARDIE (M€)

	2030	2050	2090
--	------	------	------

<b>A2</b>	-1,8	0,2	-2,0	0,4	-3,3	-1,4
<b>B2</b>	-2,2	0,6	-2,2	0,0	-2,9	-0,6

Dans cette hypothèse, les économies effectuées dues à la baisse du nombre de jours de gel s'échelonnent entre 200 000 euros à 2030 et 3,3 millions d'euros à 2090 selon les scénarios envisagés.

Cette seconde évaluation donne une fourchette plus large d'évaluation, mais reste dans les mêmes ordres de grandeur.

## 4.6 Evaluation de l'adaptation

Dans le cas de la réduction du nombre de jours de gel, qui engendre une baisse des coûts d'entretien, l'adaptation n'est pas requise.

## 4.7 Limites

- Ces évaluations ne prennent pas en compte le progrès technologique qui pourrait augmenter la résistance des revêtements lors des périodes de gel, réduisant ainsi les coûts d'entretien ;
- Le coût du salage des routes ne prend pas en compte les dommages éventuels que le sel cause aux carrosseries des voitures ou aux réserves d'eau ;
- Rappelons que le comptage des jours de gel reste incertain et ne correspond pas à une prévision. Le coût pourrait donc varier en fonction de l'occurrence de l'évènement ;
- Il ne s'agit que d'une évaluation partielle de l'impact sur les réseaux car nous ne disposons que des valeurs patrimoniales du réseau national ;
- Le coût de l'entretien des routes pour les deux régions, est une estimation à partir d'un ratio kilométrique, le coût réel n'étant pas disponible ;
- Les surcoûts estimés sont issus d'hypothèses.

## 4.8 Impact des canicules sur le réseau ferroviaire

### 4.8.1 Méthodologie sélectionnée

La méthodologie pour évaluer le surcoût d'entretien dû à des températures extrêmes de canicule peut se baser sur le retour d'expérience de 2003. Ainsi, en se basant sur le pourcentage d'augmentation des coûts d'entretien des rails, il aurait été possible de donner une estimation. Cependant en l'état actuel il n'est pas possible d'évaluer le coût de l'inaction pour le réseau ferroviaire car aucun retour d'expérience de 2003 n'est disponible.

En cas de nouvelle canicule, il serait intéressant de tenir compte du surcoût d'entretien et réparation engendré.

#### 4.8.1.1 Données d'entrée

- Capital à risque en kilomètre

TABLEAU 74 : LINEAIRE DE RAIL EN KM (SOURCE : INSEE AU 1ER JANVIER 2011)

Nord-Pas-de-Calais	Picardie	Total France
1420	1 484	29 504

- Occurrence d'épisode caniculaire de type 2003 pour le XXIème siècle

TABLEAU 75 : NOMBRE DE CANICULES DE TYPE 2003 ATTENDUES AU XXI<sup>E</sup> SIECLE (SOURCE : GROUPE INTERMINISTERIEL)

	2030	2050	2100
A2	[0 - 3]	[2 - 11]	[32 - 51]
B2	[0- 1]	[1 - 4]	[18 - 25]

## 4.8.2 Evaluation du coût de l'inaction

L'évaluation du coût de l'inaction ne peut être effectuée faute de données.

## 4.9 Evaluation de l'adaptation

### 4.9.1 Méthodologie sélectionnée

Dans le cas de l'impact des canicules sur le réseau ferré, l'action d'adaptation correspond au coût de l'impact puisque l'on considère que la réparation des voies est le moyen de revenir à la situation antérieure, lorsqu'elles n'étaient pas endommagées.

Une mesure d'adaptation pourrait être un investissement dans la recherche afin d'augmenter la résistance des matériaux aux fortes chaleurs.

### 4.10 Limites

- Ces évaluations ne prennent pas en compte le progrès technologique qui pourrait augmenter la résistance des voies lors des périodes de canicule, réduisant ainsi les coûts d'entretien.
- Rappelons que le comptage des jours de canicule reste incertain et ne correspond pas à une prévision. Le coût pourrait donc varier en fonction de l'occurrence de l'évènement.
- Le coût de l'entretien des voies pour les deux régions, est une estimation à partir d'un ratio kilométrique, le coût réel n'étant pas disponible.
- Les surcoûts estimés sont issus d'hypothèses.

### 4.11 Pour aller plus loin

- Il serait intéressant de disposer de données sur les développements technologiques des matériaux afin d'obtenir une évaluation plus précise ;
- Les coûts présentées dans l'étude sont estimés à partir d'études anglaises, le calcul serait plus précis si l'on pouvait disposer de données pour les régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie ;
- Les estimations pour le coût de l'adaptation seraient plus précises, si des études sur des matériaux plus résistants à la chaleur étaient disponibles ;
- Disposer de données pour les rails ferroviaires permettrait d'évaluer le coût de l'inaction et de l'adaptation aux fortes chaleurs.





## 5 Impact de l'exacerbation du risque de retrait-gonflement des argiles sur le cadre bâti

### 5.1 Etat de la connaissance sur l'évaluation des coûts

L'estimation des dommages causés aux bâtiments par le retrait-gonflement des argiles a été réalisée au Royaume-Uni par Metroeconomica en 2004. Ces coûts ont été calculés sur la base des réclamations de frais d'assurance qui ont été émises lors de ce genre d'événements. L'augmentation de la probabilité d'occurrence de ces événements avec le changement climatique est estimée par les modèles climatiques et le nombre de logements à risque à partir de la base de données nationale.

### 5.2 Problématique pour la zone d'étude

Le risque de retrait-gonflement des argiles (RGA) représente une menace directe pour les infrastructures bâties du territoire d'étude, et particulièrement les maisons individuelles, premières structures impactées par le retrait-gonflement. Ce phénomène est favorisé par des épisodes de sécheresses intenses durant lesquelles les sols argileux se rétractent, entraînant alors une variation importante de la teneur en eau dans les zones imperméabilisées par la présence d'un bâti, et donc un tassement du sol. Ce risque entraîne alors l'apparition de fissures sur les infrastructures les plus fragiles et entraîne des dommages plus ou moins importants selon le bâti. Les dommages causés sur les infrastructures, caractérisées par une durée de vie longue et donc une faible révocabilité des travaux et des investissements effectués pour leur élaboration, pourraient donc être importants.

A ce jour, il constitue une préoccupation importante pour les régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie : comme l'indiquent les graphiques ci-dessous, 70% de la surface du territoire est en zone d'aléa « faible » avec 60% des maisons individuelles, 19% des surfaces se situent en zone d'aléa « moyen » avec 24% de maisons individuelles et 2% en zone d'aléa « fort » avec 3% des maisons individuelles.

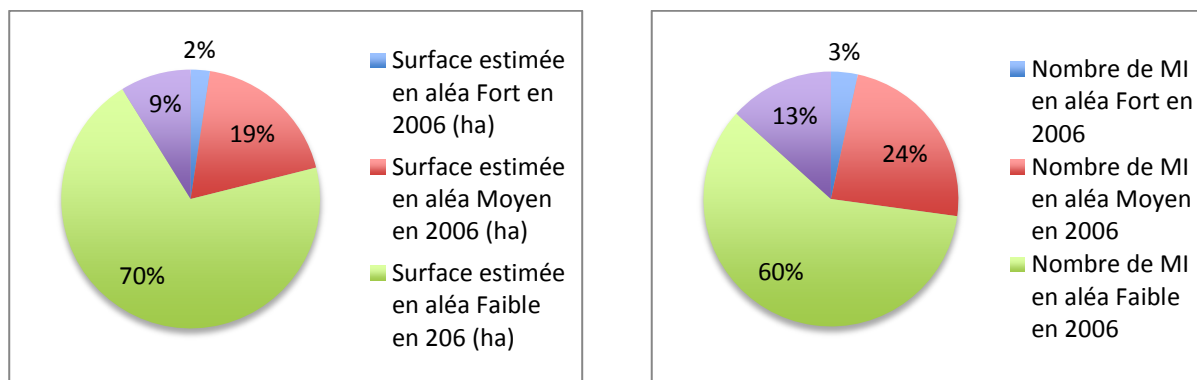


FIGURE 1 – REPARTITION DE LA SURFACE PAR INTENSITE D'ALEA RGA DES REGIONS NORD-PAS-DE-CALAIS ET PICARDIE EN 2006 (SOES, BASE EIDER) & REPARTITION DES MAISONS INDIVIDUELLES PAR ZONE D'INTENSITE D'ALEA DANS LES REGIONS NORD-PAS-DE-CALAIS ET PICARDIE EN 2006 (SOES, BASE EIDER)

Par ailleurs, suite à la canicule de 2003, le nombre de phénomènes de RGA se sont multipliés, causant alors un coût financier de 1,3 milliards d'euros à supporter pour les particuliers et les assurances.

### 5.3 Evaluation de l'inaction

#### 5.3.1 Méthodologie sélectionnée

La méthodologie proposée pour évaluer le coût du changement climatique (inaction) est fondée sur l'extrapolation du retour d'expérience de la canicule de 2003.

### 5.3.1.1 Données d'entrée

Trois types de données sont exploités pour réaliser l'estimation :

- Le coût CatNat en millions d'euros lié au RGA d'une année normale, le coût CatNat en millions d'euros de la canicule de 2003 et, en considérant la canicule comme un événement centennal, le coût CatNat en millions d'euros à l'échelle nationale pour une année moyenne. Les coûts d'une année normale et de la canicule sont issus des données de la CCR et cités dans l'étude du Groupe interministériel de 2009<sup>28</sup>. Le coût moyen a été calculé.

<b>Coût CatNat d'une année normale (M€)</b>	200
<b>Coût CatNat de la canicule de 2003 - Echelle nationale (M€)</b>	1305
<b>Coût annuel moyen (M€)</b>	211,05

- Le nombre de maisons individuelles situées en zone d'aléa définie par le BRGM (fort/moyen/faible/nul) à l'échelle régionale et en France métropolitaine, estimé par le SOeS<sup>29</sup>. En l'absence de données régionales sur le coût CatNat du RGA, ces données sont utilisées comme clé de répartition du coût d'échelle nationale aux régions.

	Nombre total de maisons individuelles	Nombre de MI en aléa Fort en 2006	Nombre de MI en aléa Moyen en 2006	Nombre de MI en aléa Faible en 2006	Nombre de MI en aléa Nul en 2006	Part des maisons en France situées en zone Fort et Moyen situées dans les régions
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	1258422	57720	315212	658982	226508	0,11
<b>Picardie</b>	614926	6125	129650	456225	22926	0,04
<b>Total Nord</b>	1873348	63845	444862	1115207	249434	-
<b>France</b>	17320067	445241	2803958	8945523	5125345	1,00

- Le nombre de canicules « de type 2003 » attendues au XXI<sup>e</sup> siècle. D'après les projections de Météo-France et de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), le changement climatique entraînera une hausse de fréquence des vagues de chaleur exceptionnelles par leur durée et leur intensité, telles que celle survenue en 2003 au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Dans le cadre des travaux du Groupe interministériel, une estimation du nombre de canicules de type 2003 d'après les projections climatiques a été réalisée selon les deux scénarios A2 et B2 et les trois horizons temporels 2030, 2050, 2100.

D'après le scénario A2, on recenserait, entre 2000 et 2030, jusqu'à trois canicules de type 2003, de deux à onze entre 2030 et 2050, et de trente-deux à cinquante et une entre 2050 et 2100. Les données sont moins pessimistes pour le scénario B2.

TABLEAU 76 : NOMBRE DE CANICULES DE TYPE 2003 ATTENDUES AU XXI<sup>e</sup> SIECLE (SOURCE : GROUPE INTERMINISTEriel)

	2030	2050	2100
<b>A2</b>	[0 - 3]	[2 - 11]	[32 - 51]
<b>B2</b>	[0- 1]	[1 - 4]	[18 - 25]

### 5.3.2 Evaluation du coût de l'inaction

Pour évaluer le coût de l'inaction, la première étape est de régionaliser le coût CatNat observé à l'échelle nationale. Pour cela, nous proposons de nous fonder sur la part des maisons individuelles en zone d'aléa fort et moyen situées dans nos deux régions sur le total national pour établir une clé de répartition du coût CatNat national.

<sup>28</sup> Groupe interministériel, 2009

<sup>29</sup> SOeS, Base Eider

D'après les données du SOeS, **15,7%** des maisons individuelles en zones d'aléa fort et moyen sont situées dans la zone d'étude (11,5% sont en Nord-Pas-de-Calais, 4,2% en Picardie). En se basant sur ce ratio, nous posons l'hypothèse que 15,7% du coût CatNat lié au RGA est attribué aux régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie (respectivement 11,5% et 4,2%).

En millions d'euros	Coût CatNat d'une année « normale »	Coût CatNat d'une année type 2003	Coût CatNat d'une année moyenne de référence
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	23	149,8	24,2
<b>Picardie</b>	8,4	54,5	8,8
<b>Total</b>	31,3	204,3	33

La deuxième étape est d'extrapoler ces coûts pour le XXI<sup>e</sup> siècle selon les deux scénarios A2 et B2 et les trois horizons temporels.

Le tableau ci-dessous présente les coûts annuels moyens du RGA – avec changement climatique – en considérant la fourchette basse du **scénario B2** (0 canicule de type 2003 sur la période 2000-2030, 1 canicule de type 2003 sur la période 2030-2050, 18 canicules de type 2003 sur la période 2050-2100 ; les autres années étant considérées « normales »).

**TABEAU 77 : SURCOUT ANNUEL MOYEN AVEC CHANGEMENT CLIMATIQUE - FOURCHETTE BASSE B2 (M€)**

	2030	2050	2100
<b>Picardie</b>	0	1,8	16,2
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	0	5,1	44,4
<b>Total</b>	0	6,9	60,6

Le tableau ci-dessous présente les surcoûts annuels moyens du RGA liés au changement climatique, en considérant la fourchette haute du scénario B2 (1 canicule de type 2003 sur la période 2000-2030, 4 canicule de type 2003 sur la période 2030-2050, 25 canicules de type 2003 sur la période 2050-2100 ; les autres années étant considérées « normales »)

**TABEAU 78 : SURCOUT ANNUEL MOYEN AVEC CHANGEMENT CLIMATIQUE - FOURCHETTE HAUTE B2 (M€)**

	2030	2050	2100
<b>Picardie</b>	1,1	8,8	22,6
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	3,0	24,1	62,1
<b>Total</b>	4,0	32,9	84,8

Le tableau ci-dessous présente les surcoûts annuels moyens du RGA lié au changement climatique, en considérant la fourchette basse du scénario A2.

**TABEAU 79 : SURCOUT ANNUEL MOYEN AVEC CHANGEMENT CLIMATIQUE - FOURCHETTE BASSE A2 (M€)**

	2030	2050	2100
<b>Picardie</b>	0	4,2	29,1
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	0	11,4	79,9
<b>Total</b>	0	15,6	109

Le tableau ci-dessous présente les surcoûts annuels moyens du RGA lié au changement climatique, en considérant la fourchette haute du scénario A2.

**TABEAU 80 : SURCOUT ANNUEL MOYEN AVEC CHANGEMENT CLIMATIQUE - FOURCHETTE HAUTE A2 (M€)**

	2030	2050	2100
<b>Picardie</b>	4	25	47
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	11	69	129
<b>Total</b>	16	93	175

D'après cette estimation, à l'horizon 2100 et sans adaptation, le changement climatique pour le scénario A2 induira à minima un surcoût au regard de l'aléa retrait-gonflement des argiles de 109 millions d'euros en moyenne annuelle pour la zone d'étude. Pour le scénario B2, ce surcoût à 2100 correspondrait à minima à 60 millions d'euros en moyenne annuelle pour les deux régions.

D'après cette estimation, en considérant le stock de bâtiments constant et sans adaptation, le surcoût annuel moyen de la recrudescence des canicules de type 2003 pour le régime CatNat pourrait atteindre **jusqu'à 16 millions d'euros en 2030, de 4 à 93 millions d'euros en 2050 et de 22,6 à 175 millions d'euros en fin de siècle**. Ces résultats sont à mettre en relation avec le coût moyen actuel du RGA pour le régime CatNat, estimé à 211 millions d'euros.

**TABEAU 81 : SYNTHESE DES SURCOUTS ANNUELS MOYENS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES SCENARIOS A2 ET B2 EN MILLIONS D'EUROS**

	Scénario B2			Scénario A2		
	2030	2050	2100	2030	2050	2100
<b>Picardie</b>	[0,0 ; 1,1]	[1,8 ; 8,8]	[16,2 ; 22,6]	[0,0 ; 4,2]	[4,2 ; 24,9]	[29,1 ; 46,8]
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	[0,0 ; 3,0]	[5,1 ; 24,1]	[44,4 ; 62,1]	[0,0 ; 11,4]	[11,4 ; 68,5]	[79,9 ; 128,6]
<b>Total</b>	[0,0 ; 4,0]	[6,9 ; 32,9]	[60,6 ; 84,8]	[0,0 ; 15,6]	[15,6 ; 93,4]	[109,0 ; 175,4]

Le même calcul a également été effectué en tenant compte de *l'évolution de l'urbanisation*. Pour cette estimation, on pose l'hypothèse selon laquelle le taux de croissance annuel moyen des maisons individuelles observé entre 1999 et 2006 se poursuit jusqu'à 2030, soit un taux de 0,92% par an. On supposera que ce taux ne diffère pas selon les zones d'aléa. On suppose par ailleurs que le taux de sinistralité (% de maisons individuelles sinistrées en cas de sécheresse) reste constant, de même que le coût moyen d'un sinistre.

**TABEAU 82 : SURCOUT CUMULE LIE A LA RECRUESCENCE DES CANICULES DE TYPE 2003 EN TENANT COMPTE DE L'EVOLUTION DE L'URBANISATION POUR LE NORD-PAS-DE-CALAIS ET LA PICARDIE A 2030 EN MILLIONS D'EUROS**

<b>Scénario B2</b>	[0,0 ; 165,4]
<b>Scénario A2</b>	[0,0 ; 637,8]

**TABEAU 83 : SURCOUT ANNUEL MOYEN LIE A LA RECRUESCENCE DES CANICULES DE TYPE 2003 EN TENANT COMPTE DE L'EVOLUTION DE L'URBANISATION POUR LE NORD-PAS-DE-CALAIS ET LA PICARDIE EN MILLIONS D'EUROS**

<b>Scénario B2</b>	[0,0 ; 5,5]
<b>Scénario A2</b>	[0,0 ; 21,3]

La prise en compte de l'urbanisation conduit à une hausse du surcoût annuel potentiel, celui-ci pourrait atteindre 21,3 millions d'euros par an en 2030 selon le scénario le plus pessimiste, soit une hausse de l'ordre de 36,5% par rapport au scénario avec urbanisation constante.

## 5.4 Evaluation de l'adaptation

### 5.4.1 Méthodologie sélectionnée

Les recherches préalablement réalisées ont permis de mettre en évidence l'importance des **travaux de consolidation des fondations des infrastructures** qui apparaissent pour lutter contre les impacts du RGA sur les maisons individuelles.

#### 5.4.1.1 Données d'entrée

D'après le Groupe interministériel, l'adaptation des fondations des nouvelles maisons individuelles devrait correspondre à un coût de 15% du coût de construction de la maison. Les données nécessaires sont donc :

- Le coût moyen de construction d'une maison individuelle neuve. Selon les données de la Division Stratégie des Etudes et Statistiques de la DREAL Nord-Pas-de-Calais, le coût total de l'opération de construction d'une maison individuelle est de 145 225 euros<sup>30</sup>. En l'absence de données pour la Picardie, nous prendrons comme référence le coût de construction d'une maison pour le Nord-Pas-de-Calais.
- Le nombre de nouvelles maisons individuelles situées en zone d'aléa fort de RGA selon le taux de croissance annuel moyen de 0,92%. Seul l'horizon 2030 sera pris en compte dans ce calcul en raison de l'incertitude relative à l'évolution des constructions au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

### 5.4.2 Evaluation du coût de l'adaptation

En posant l'hypothèse selon laquelle le taux de croissance annuel moyen des maisons individuelles observé entre 1999 et 2006 se poursuit jusqu'à 2030, soit 0,92% par an, le nombre de maisons individuelles construites en zone de RGA a été calculé à 2030.

TABLEAU 84 : NOMBRE DE MAISONS INDIVIDUELLES EN ZONE DE RGA EN 2030 DANS LE NORD-PAS-DE-CALAIS ET LA PICARDIE

	Nombre total de MI	Nombre de MI en aléa Fort	Nombre de MI en aléa Moyen	Nombre de MI en aléa Faible	Nombre de MI en aléa Nul
<b>Nord-Pas-de-Calais et Picardie</b>	2 558 013	87 179	607 449	1 522 789	340 596
<b>France</b>	23 650 143	607 966	3 828 739	12 214 901	6 998 538

En rapportant le nombre de maisons individuelles construites entre 2012 et 2030 en zone d'aléa fort au coût des consolidations, le coût global de l'adaptation s'élèverait à 430 millions d'euros environ alors que l'adaptation pour les maisons en aléa moyen serait de l'ordre de 3 milliards d'euros. Sachant que le coût de l'adaptation de l'ensemble des maisons serait de plus de 3,4 milliards d'euros, il apparaît raisonnable de se limiter à l'adaptation des maisons situées en aléa fort.

<sup>30</sup> DREAL Nord-Pas-de-Calais, 2011, Le prix des terrains à bâtir en 2009 en région Nord – Pas-de-Calais [http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/synthese\\_2009\\_corniko\\_version5.2\\_.pdf](http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/synthese_2009_corniko_version5.2_.pdf)

TABLEAU 85 : COUT DE L'ADAPTATION (CONSOLIDATION DES FONDATIONS) DE MAISONS INDIVIDUELLES NEUVES A VENIR A 2030 EN ZONE D'ALEA FORT ET MOYEN (M €)

Coût d'adaptation - maisons en aléa fort (M€)	Coût d'adaptation - maisons en aléa moyen (M€)
429,7	2 994,1

## 5.5 Limites

- Hypothèse forte sur l'occupation des sols ;
- Hypothèse sur la submersion des zones basses prises en compte ;
- Hypothèse de régionalisation des coûts annuels moyens pour le régime CatNat ;
- Imperfection du régime CatNat actuel (ne rembourse pas tous les dommages) ;
- Incertitudes liées à la méthode Groupe interministériel pour le comptage des canicules sur le XXI<sup>e</sup> siècle.

## 5.6 Pour aller plus loin

- L'hypothèse sur l'évolution du taux d'urbanisation peut être affinée ;
- Il faudrait prendre en compte les restrictions futures concernant la construction sur des sites déclarés en zone d'aléa fort. Le taux d'urbanisation serait moindre et l'estimation pour les zones en aléa fort pourrait donc être moins importante ;
- Il serait intéressant de disposer du coût des mesures d'adaptation pour les constructions existantes ;
- Une étude sur le rôle des contrats d'assurance pour inciter les propriétaires à effectuer des travaux semble pertinente.

## 6 Impact de la hausse des températures sur la santé publique

### 6.1 Etat de la connaissance sur l'évaluation des coûts

L'étude PESETA a estimé pour l'Europe les taux de mortalité liés à l'augmentation des températures selon différents scénarios d'évolutions climatiques. Le rapport fait état d'une augmentation de la mortalité estivale, notamment en période de canicule, et d'une baisse de la mortalité hivernale en raison d'hivers plus doux.

En réponse aux vagues de chaleur en Europe, un effort important a été fait afin d'examiner les options qui permettraient de réduire les impacts sanitaires de ces événements. Celles-ci sont résumées dans Watkiss et Taylor (2007). Il s'agit notamment de systèmes d'alerte précoce, de refroidissement passif, du développement de la climatisation (considérée toutefois comme de la maladaptation), de toits verts, etc. Certaines mesures ont été évaluées à l'aide d'approches coûts-bénéfices. Dans certains cas, ces bénéfices ne portent pas uniquement sur le domaine de la santé. Par exemple, des co-avantages considérables ont été constatés concernant la végétalisation des toits à Londres (voir LCCP, 2009).

Les coûts des vagues de chaleur s'appuient sur des analogues historiques c'est-à-dire des événements climatiques similaires. La canicule de 2003 est notamment disponible dans l'étude Metroeconomica (2006) et celle de 1995 dans l'étude de Palutikof et al (1997).

Halsnaes et al (2007) estime que le coût de la surmortalité pour l'assurance maladie en Europe suite à la canicule de 2003 a été de 72 milliards de dollars au maximum. Cette estimation se base sur l'assignation de la valeur d'une vie équivalente à environ 2 millions d'euros. Un débat existe quant à la valeur monétaire appropriée à appliquer pour la mortalité liée à la chaleur, ainsi que souligné dans l'évaluation des risques liés au changement climatique du DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) au Royaume-Uni (Hames et Vardoulakis, 2012). Il est également intéressant de noter que, pour de nombreux économistes, l'utilisation de l'évaluation monétaire des impacts sanitaires est sujette à controverse, d'où la préférence pour des estimations en termes d'effets physiques (par exemple en terme de nombre de vies perdues).

Les principales questions relatives à l'évaluation de l'adaptation aux événements extrêmes, tels que les vagues de chaleur sont les suivantes:

- L'incertitude sur la probabilité d'occurrence d'un événement extrême dans l'avenir - ils sont plus difficiles à modéliser que les évolutions des températures moyennes. Il est intéressant de noter que le cas est encore plus compliqué avec les tempêtes ;
- La question de l'adaptation spontanée - la plupart des impacts sur la santé (cela est aussi vrai dans d'autres secteurs, par exemple, pour la distribution) peuvent être considérablement atténués par des actions à faible coût. Par exemple, placer les personnes vulnérables dans des espaces plus ventilés et plus frais. Ces actions spontanées deviendront plus fréquentes en fonction de l'occurrence des événements extrêmes, cela pourrait réduire les coûts considérablement. Entre 2003 et 2006 par exemple, le nombre de décès dus à des vagues de chaleur en France a diminué de 68% en raison du Système Alerte Santé Canicule combiné à diverses mesures autonomes ;
- La méthode appropriée pour quantifier et lier impact physique et monétarisation : doit-on parler en termes de mois ou d'années de vie perdues ou plutôt de nombre de vies perdues ? La compréhension des données épidémiologiques sera probablement à améliorer.

Pour résumer, la santé est un domaine pour lequel l'analyse coûts-bénéfices a été efficace. Ceci est principalement dû au fait que l'on est en mesure de s'appuyer sur les retours d'expérience des récentes vagues de chaleur, ce qui nous permet d'estimer les coûts ainsi que les bénéfices des différentes interventions. A ce jour, un certain nombre de défis sont toujours importants, concernant notamment l'ampleur de l'adaptation spontanée et l'incertitude sur la probabilité d'occurrence de canicule futures. Toutefois, les données obtenues sont utiles et permettent la préparation d'une stratégie d'adaptation dans ce domaine.

En plus des canicules, la quantification des impacts sanitaires a été réalisée en Europe pour le coût des maladies alimentaires telles que la salmonellose (Taylor, 2011). L'augmentation des cas de salmonellose est directement liée à la température. Sur la base de la température prévue, on peut donc estimer l'augmentation du nombre de cas en fonction des données fournies sur la population à risque. Quelques informations sur les mesures d'adaptation possibles sont également disponibles dans le document cité précédemment.

En revanche, aucune estimation sur les risques accrus de maladies allergènes ou à transmission vectorielle qui ne sont pas actuellement présentes sur le continent (par exemple le paludisme) n'est disponible pour l'Europe.

## 6.2 Problématique pour la zone d'étude

La canicule de 2003 a mis en avant la vulnérabilité des populations aux fortes chaleurs estivales. En France métropolitaine, plus de 14 000 décès surnuméraires ont été observés entre le 1<sup>er</sup> et le 20 août 2003. Les personnes âgées ont été les plus touchées par la canicule : à l'échelle française, les personnes âgées de plus de 75 ans ont représenté 83% des décès.

Suite à cet événement, les pouvoirs publics se sont organisés, avec la mise en place du Plan Canicule, déclenché dès lors qu'un seuil météorologique critique est dépassé. D'après une enquête de l'INSERM sur la canicule de 2006, le Plan Canicule – ainsi que l'adaptation spontanée des populations, fortes de l'expérience de 2003, ont permis d'éviter plus de 4 000 décès en France, soit 68% des décès « attendus » si le lien entre les températures et la mortalité en 2006 était identique à celui de la période 1975-2003.

Si la canicule de 2003 a eu des impacts sanitaires moins importants sur les populations vulnérables du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie que dans le reste de la France, il n'en faut pas pour autant sous-estimer le risque de cet impact du changement climatique. L'ampleur des décès de la canicule de 2003 ne sera sûrement pas renouvelée du fait de l'adaptation des populations à ces fortes chaleurs. Pour autant, le risque ne disparaîtra pas.

La présente évaluation a été estimée en termes de décès pour l'inaction et en termes monétaire pour l'adaptation.

## 6.3 Méthodologie sélectionnée pour l'évaluation de l'inaction

La méthode d'estimation des décès que nous utilisons est basée sur l'étude *Impacts of climate change in human health in Europe* de PESETA<sup>31</sup> (2009) de l'Institute for Prospective Technological Studies du Joint Research Centre de la commission européenne. Le projet présente les décès supplémentaires imputables au changement climatique. Ces données prennent en compte le scénario climatique du GIEC A2 et le vieillissement de la population dans un contexte sans adaptation. Les décès estimés sont dus à la hausse des températures, canicule incluses mais ne rendent pas uniquement compte des décès liés aux canicules.

### 6.3.1 Données d'entrée

Pour réaliser cette évaluation, les données mobilisées sont les suivantes :

- L'estimation des décès causés par la hausse des températures en Europe, issue des résultats du projet européen PESETA (2009).

Les résultats sont présentés pour le scénario A2, en utilisant deux types de fonctions : la première (« hypothèse basse ») se fonde sur l'extrapolation d'études épidémiologiques reliant températures et mortalité lorsqu'elles existent ; la seconde (« hypothèse haute ») extrapole des analyses statistiques.

---

<sup>31</sup> Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis



TABLEAU 86 : NOMBRE DE DECES ATTENDUS CAUSES PAR L'AUGMENTATION DES TEMPERATURES POUR 100 000 PERSONNES EN MOYENNE ANNUELLE EN EUROPE DU NORD (SOURCE : PESETA, 2009, HUMAN HEALTH REPORT)

	2011-2040	2071 - 2100
Hypothèse basse	4	9
Hypothèse haute	5	33

- Nombre d'habitants en Nord-Pas-de-Calais et Picardie à l'horizon 2040.

Afin que les horizons temporels correspondent avec les projections de PESETA, nous prenons les projections démographiques de l'INSEE à 2040.

TABLEAU 87 : NOMBRE D'HABITANTS ATTENDUS A L'HORIZON 2040 (SOURCE INSEE)

Nord-Pas-de-Calais	4 149 000
Picardie	2 041 000
Total	6 190 000

- Prise en compte de l'adaptation telle qu'observée entre 2003 et 2006.

On prendra pour hypothèse, au vu du Système Alerte Canicule et Santé (SACS), que ce pourcentage correspond à une estimation basse. En effet, le SACS correspond à la tenue de registres listant les personnes âgées qui ont fait la demande d'y être inscrite afin de bénéficier d'un suivi en cas de canicule. Si on peut en partie<sup>32</sup> imputer les 68% de décès évités au SACS, comme l'inscription est une démarche volontaire, on peut penser que si le SACS était un recensement obligatoire, la part de décès évités augmenterait. Ainsi, cette hypothèse d'adaptation est donc une estimation basse.

TABLEAU 88 : NOMBRE DE DECES LORS DE LA CANICULE 2006 EN FRANCE (SOURCE : MINISTERE DE LA SANTE, 2009, IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTE EN FRANCE)

Prévus	6 452	100%
Réels	2 065	32%
Evités	4 387	68%

## 6.4 Evaluation du coût de l'inaction

- Estimation des décès attendus en moyenne annuelle pour la période 2011-2040 avec un scénario sans adaptation

Afin d'estimer le nombre de décès annuels moyens liés à la chaleur dans les régions d'étude, nous appliquons les ratios de surmortalité de PESETA aux projections de population régionale.

TABLEAU 89 : MOYENNE ANNUELLE DU NOMBRE DE DECES ATTENDUS DANS LES REGIONS D'ETUDE SANS ADAPTATION (SOURCE : A PARTIR DE L'ETUDE PESETA, 2009, HUMAN HEALTH REPORT)

	2011 - 2040
Hypothèse basse	250

<sup>32</sup> On peut aussi penser qu'une partie est due à l'adoption de réflexes pour se protéger de la chaleur par la population et une plus grande sensibilisation après 2003.

Hypothèse haute	310
-----------------	-----

Selon les scénarios, sur la période 2011 à 2040, la Picardie et le Nord-Pas-de-Calais connaîtraient entre 250 et 310 décès par an dus à la hausse des températures provoquée par le changement climatique. Cette estimation est brute et ne prend pas en compte les systèmes d'adaptation qui pourraient être mis en place par les collectivités ou les acclimations des individus.

Ce résultat peut aussi être interprété sur l'ensemble de la période 2011 - 2040 et non plus annuellement. Ainsi, sur 30 ans, du fait de l'augmentation des températures, les régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie pourrait connaître entre 7 200 et 9 000 décès sans adaptation. Rappelons que la canicule de 2003 avait occasionné le décès de 382 et 335 personnes en Nord-Pas-de-Calais et Picardie, selon les projections du Groupe Interministériel, il pourrait se produire au XXI<sup>e</sup> siècle entre 34 et 65 canicules selon le scénario A2 du GIEC et entre 19 et 30 canicules selon le scénario B2.

- Nombre de décès attendus en moyenne annuelle à 2011-2040 avec l'adaptation telle qu'observée entre 2003 et 2006 en termes de nombre de décès évités.

Afin de prendre en compte les stratégies d'adaptation des collectivités et des populations à la hausse des températures, nous utilisons les chiffres de l'adaptation déjà observée entre les canicules de 2003 et 2006 avec la mise en place du SACS à partir de 2004. Soit la survenue de seulement 32% des décès attendus.

TABLEAU 90 : MOYENNE ANNUELLE DU NOMBRE DE DECES ATTENDUS DANS LES REGIONS D'ETUDE AVEC ADAPTATION (SACS) (SOURCE : A PARTIR DE L'HYPOTHESE DE L'ETUDE PESETA, 2009, HUMAN HEALTH REPORT ET DU RETOUR D'EXPERIENCE COMPARE ENTRE 2003 ET 2006 IN RAPPORT DU GROUPE INTERMINISTERIEL)

	2011 - 2040
Hypothèse basse	80
Hypothèse haute	100

En moyenne annuelle, sur la période 2011-2040, il faudrait s'attendre à un nombre de décès compris entre 80 et 100 dans un scénario d'adaptation basse c'est-à-dire où seul le SACS a été mis en place. Il se pourrait donc que les décès soient moindres si des stratégies d'adaptation plus performantes sont mises en place.

Faute de projections démographiques à 2100, il n'est pas possible d'estimer les potentiels décès pour la période 2071-2100. Rappelons que l'étude PESETA estime en moyenne par an entre 9 et 33 décès dû au changement climatique pour 100 000 habitants.

Ce résultat peut aussi être interprété sur l'ensemble de la période 2011 - 2040 et non plus annuellement. Ainsi, sur 30 ans, du fait de l'augmentation des températures, les régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie pourrait connaître entre 2 300 et 2 900 décès avec adaptation. Rappelons que la canicule de 2003 avait occasionné le décès de 382 et 335 personnes en Nord-Pas-de-Calais et Picardie, selon les projections du Groupe Interministériel, il pourrait se produire au XXI<sup>e</sup> siècle entre 34 et 65 canicules selon le scénario A2 du GIEC et entre 19 et 30 canicules selon le scénario B2.

Note : Il est aussi attendu une baisse du nombre de décès en période hivernale du fait de l'augmentation moyenne des températures annuelles.

## 6.5 Méthodologie sélectionnée pour l'évaluation de l'adaptation

Afin d'évaluer le coût de l'adaptation, nous avons choisi de reprendre les chiffres du coût d'un Système Alerte Canicule Santé (SACS), un système d'accompagnement « doux » et non de coût d'hospitalisation puisque ce dispositif a prouvé son efficacité en évitant 68% des décès attendus en 2006.

### 6.5.1 Données d'entrée

Pour réaliser cette évaluation, les données mobilisées sont les suivantes :

- Estimation du nombre de personnes de plus de 75 ans à 2040. Comme les projections démographiques régionales de l'INSEE s'arrêtent à 2040, nous ne pouvons estimer les coûts à plus long terme.

TABLEAU 91 : NOMBRE DE PERSONNES PLUS DE 75 ANS ATTENDU A 2040 (SOURCE : INSEE)

<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	193 500
<b>Picardie</b>	74 695
<b>Total</b>	268 195

- Estimation du coût d'un système d'alerte canicule et santé en 2005.

Le coût du système d'alerte canicule et santé peut être considéré comme une estimation basse de l'adaptation qui peut être mise en place, puisqu'il repose sur le volontariat, les personnes âgées devant faire la démarche de s'inscrire sur les registres de veille. Comme l'inscription aux registres du SACS est une démarche volontaire, les inscrits au SACS ne reflètent donc que partiellement la population à risque en cas de survenue de forte chaleur.

TABLEAU 92 : COUT NATIONAL DU SYSTEME D'ALERTE CANICULE ET SANTE EN 2005 EN € (SOURCE : GROUPE INTERMINISTERIEL)

<b>Coût de préparation</b>	286 933
<b>Coût de fonctionnement réglementaire du 1/06 au 31 /08</b>	454 006
<b>Total</b>	740 939
<b>Ratio par personne de plus de 75 ans en centimes d'euros</b>	0,15

Le coût par personne du SACS est estimé à partir du nombre de personnes alors à risque soit 4 850 000 de personnes de plus de 75 ans, ce qui donne un coût par tête équivalent à 0,15 centimes d'euros.

### 6.6 Evaluation du coût de l'adaptation

L'estimation suivante correspond au coût d'un SACS pour les personnes de plus de 75 ans de la région Nord-Pas-de-Calais et Picardie à 2040. Ce calcul a été élaboré à partir du coût du SACS en 2005. Sachant que ce système est perfectible, on considère que cette estimation est basse.

TABLEAU 93 : COUT ANNUEL D'UN SACS REGIONAL POUR LES PERSONNES AGEES DE PLUS DE 75 ANS A L'HORIZON 2040 (€)

<b>Nord-Pas-de-Calais</b>	29 561
<b>Picardie</b>	11 411
<b>Total</b>	40 972

### 6.7 Limites

- La projection des décès attribués à la hausse des températures est incertaine ;
- En ce qui concerne le coût d'un SACS à 2040, nous nous sommes appuyés sur les projections démographiques de l'INSEE. Cependant, les personnes de plus de 75 ans ne sont pas forcément prises en charge par le SACS car elles peuvent ne pas être inscrite sur les registres de veille ou être en maison de retraite et de ce fait ne pas figurer dans les registres du SACS.

## 6.8 Pour aller plus loin

- Nous avons estimé l'effet des canicules sur la santé. Cependant, le projet PESETA examine aussi l'impact de la hausse des températures sur le risque des maladies alimentaires, et en particulier de la salmonellose. Il est possible d'étudier l'augmentation de ce risque et le coût pour s'y adapter (voir Watkiss, P. and T. Taylor (2010) "Costs and Benefits of Adaptation in the Health Sector in Europe: Review", rapport sur l'état de l'environnement préparé pour l'Agence Européenne de l'Environnement) ;
- Parmi les impacts que nous n'avons pas étudié, il existe également les impacts traumatiques suite aux événements climatiques extrêmes (tempêtes, inondations). La littérature à ce sujet est en cours.

## 7 Impact de la hausse des températures sur la fréquentation et l'attractivité touristique

### 7.1 Etat de la connaissance sur l'évaluation des coûts

Un certain nombre d'études portant sur les modifications des flux touristiques sous l'effet du changement climatique sont disponibles. Les études d'Hamilton et al. (2005) et de Bigano et al. (2007) présentent notamment des estimations qui ont été réalisées à partir des changements dans les flux des populations touristiques dans 207 pays, en fonction de « l'attractivité générale » de chaque destination dont la température est un déterminant. Le modèle utilisé a été calibré et adapté à des données réelles et ensuite utilisé afin d'estimer les variations du nombre de visiteurs et de leurs dépenses en fonction de différents scénarios climatiques. Le modèle conclut ainsi que le tourisme se déplacerait vers des latitudes plus au nord. Pour certains pays, le tourisme international pourrait alors tripler alors que dans d'autres, il pourrait être réduit de moitié. Le tourisme intérieur pourrait doubler dans les pays dits « froids » et baisser de 20% pour ceux dits « chauds ». Ainsi, pour les Etats qui sont fortement tributaires du tourisme, les impacts pourraient être très importants.

Alors que ces estimations sont utiles et seraient un facteur-clé dans l'élaboration de stratégies d'adaptation, elles sont peu prises en compte à ce jour par la plupart des pays. Selon Agarwala et Fankhauser (2008), les études de sur les coûts de l'adaptation au changement climatique dans le secteur du tourisme ont été principalement axées sur le tourisme d'hiver et l'industrie du ski. Ils notent ainsi que le tourisme d'hiver est susceptible d'être le plus touché car il pourrait devenir impossible à pratiquer dans certaines régions. Des travaux complémentaires sont donc nécessaires afin d'évaluer les stratégies appropriées pour les pays chauds susceptibles d'être concernés par la baisse du nombre de visiteurs dans les périodes habituellement de pic touristique (avec des augmentations possibles lors de la saison haute).

L'étude menée par l'Union européenne (EEE, 2005) met en évidence le fait qu'il pourrait y avoir un changement dans la période annuelle de la saison touristique méditerranéenne, avec notamment des augmentations potentielles de fréquentations au printemps et à l'automne. Cela peut être considéré comme une potentielle adaptation. Des actions telles que le développement de toits végétalisés, le « verdissement » des zones urbaines, etc. permettraient de réduire le stress thermique.

Amelung et Moreno (2009) ont étudié les impacts du changement climatique sur le tourisme en Europe dans le cadre du projet PESETA. Ils ont élaboré un indice climato-touristique qui permet de montrer les bénéfices qui seraient associés aux potentiels climats futurs. Pour la France, les résultats suggèrent une expansion vers le Nord et vers l'Est de la zone considérée comme « convenable pour le tourisme climatique ». Cette modification des flux peut donner lieu à la nécessité de développer les infrastructures touristiques.

Pour la France, Ceron et Dubois (2004) ont étudié l'impact potentiel du changement climatique sur le tourisme en concluant que :

- Le tourisme méditerranéen pourrait voir son attractivité par rapport aux pays voisins déjà chauds augmenter – bien que l'inconfort sur le pourtour méditerranéen français pourrait augmenter ;
- Les arrière-pays méditerranéens pourraient voir leur attractivité augmentée ;
- Les côtes de l'Atlantique pourraient être affectées négativement par les pluies d'hiver.

### 7.2 Problématique pour la zone d'étude

Le littoral du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie pourrait connaître une augmentation des flux touristiques à long terme du fait de la hausse globale des températures qui rendrait (i) le littoral plus attractif et (ii) les stations balnéaires actuelles du sud de la France inconfortables thermiquement. Cependant cette évolution se ferait sur le long terme et dépend pour beaucoup des évolutions comportementales, sociales et économiques.

### 7.3 Méthodologie sélectionnée pour l'évaluation de l'inaction

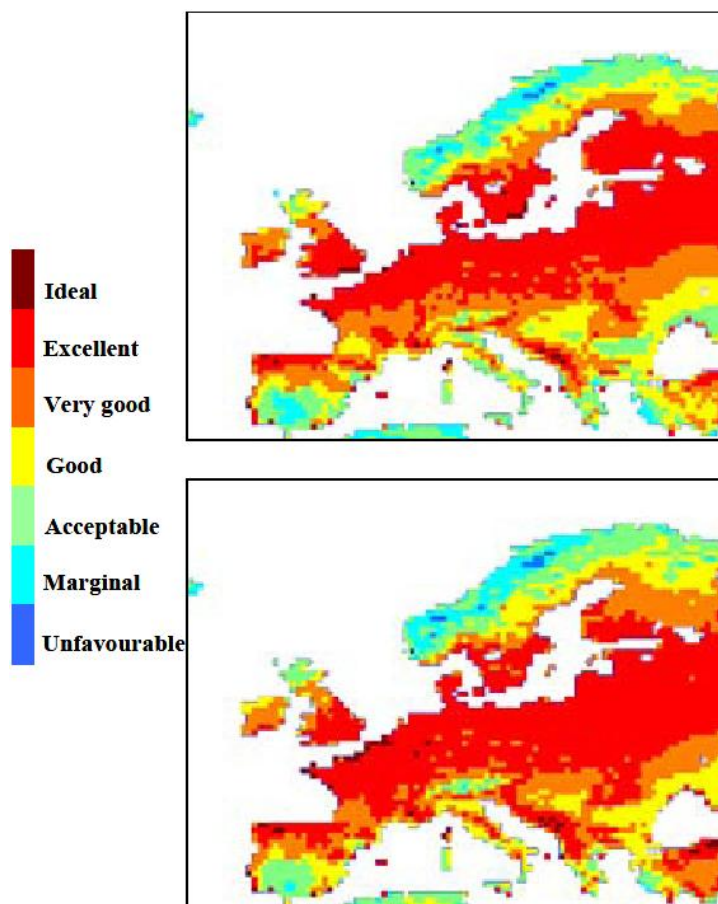
Le tourisme est une industrie qui représente plusieurs milliards d'euros en Europe. Il est probable que le changement climatique aura un impact sur la répartition saisonnière et géographique des flux touristiques. Il est difficile de prévoir quelle redistribution aura lieu : Les flux de touristes deviendront-ils plus importants à la mi-saison afin d'échapper aux périodes de fortes chaleurs ? Se redistribueront-ils plus au nord vers un climat plus favorable aux activités touristiques ? Beaucoup d'incertitudes limitent notre compréhension de l'évolution des flux touristiques car le climat n'est pas l'unique facteur de décision : il s'ajoute aux critères de prix, de distance, d'héritage culturel, de préservation de l'environnement, ...

Le travail d'estimation qui suit est basé sur le rapport PESETA du Joint Research Center de l'Union Européenne. Cette étude s'appuie sur l'indice climato-touristique de Mieczkowski. Cet indice reflète la notion de « confort humain », il est composé de 5 sub-indices prenant en compte la température diurne maximum combinée à l'hygrométrie minimum, la température moyenne et l'hygrométrie moyenne, la durée d'ensoleillement, les précipitations, la vitesse du vent. L'échelle de gradation de l'indice est comprise entre 0 et 100 où 100 est jugé comme idéal.

Afin de projeter la modification des flux touristiques, l'étude se base sur la modification de la répartition spatiale des gradients de l'indice ICT sur l'espace européen.

Comme observé sur les cartes ci-dessous, les conditions climatiques pour le littoral du nord de la France deviendrait idéales pour les activités touristiques.

FIGURE 2 : PROJECTIONS DE L'ÉVOLUTION DE L'INDICE DE MIECZKOWSKI A L'HORIZON 2080, POUR LE SCENARIO A2 (HAUT) ET B2 (BAS). (SOURCE : PESETA, 2009, IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON TOURISM REPORT)



### 7.3.1 Données d'entrée

- Augmentation de la fréquentation touristique à l'horizon 2080 pour l'Europe du centre nord.

TABLEAU 94 : AUGMENTATION EN MOYENNE ANNUELLE EN % DU NOMBRE DE NUIT A L'HORIZON 2080 – ANNEE DE REFERENCE 2005  
(SOURCE : PESETA, 2009, IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON TOURISM REPORT)

	Hypothèse basse : 2,5°C	Hypothèse haute : 5,4°C
Europe Centre- Nord	2%	16%

Il y aurait une augmentation du nombre annuel de nuitées de l'ordre de 2% pour un scénario optimiste et de 16% pour un scénario pessimiste par rapport à la moyenne annuelle de référence de 2005.

- Fréquentation touristique en termes de nuitées en 2008 pour le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie.

Ces chiffres de fréquentation vont nous permettre de déterminer la part supplémentaire de fréquentation dû au changement climatique.

TABLEAU 95 : NOMBRE DE NUITÉES DANS L'HOTELLERIE ET DANS LES CAMPINGS DU NORD-PAS-DE-CALAIS ET DE LA PICARDIE EN 2008  
(SOURCE : SOeS. NOTE : CES CHIFFRES EN CONCERNENT QUE L'HOTELLERIE ET LES CAMPINGS HOMOLOGUES)

Nord-Pas-de-Calais	Nombre de nuitées dans l'hôtellerie	6 030 476
	Nombre de nuitées dans les campings	777 476
Picardie	Nombre de nuitées dans l'hôtellerie	2 421 153
	Nombre de nuitées dans les campings	1 031 207

### 7.4 Evaluation de l'inaction

Avec un scénario optimiste de réchauffement de 2,5°C le secteur de l'hébergement touristique verrait à 2080 sa fréquentation augmenter jusqu'à 140 000 et 70 000 nuitées de plus par rapport à 2005 en Nord-Pas-de-Calais et Picardie. Dans un scénario pessimiste de réchauffement à 4,5°C, le surplus de nuitée dû au changement climatique pourrait s'élever jusqu'à 1,5 million de nuitées pour les deux régions.

TABLEAU 96 : HYPOTHESE DE SURPLUS DE LA FREQUENTATION TOURISTIQUE EN TERMES DE NUITÉES HOTEL ET CAMPING EN MOYENNE ANNUELLE

	Hypothèse basse : 2,5°C	Hypothèse haute : 5,4°C
<b>Nord-Pas-de-Calais</b>		
Hôtellerie	120 610	964 876
Camping	15 550	124 396
Total	136 159	1 089 272
<b>Picardie</b>		
Hôtellerie	48 423	387 384
Camping	20 624	164 993
Total	69 047	552 378

### 7.5 Méthodologie sélectionnée pour l'évaluation de l'adaptation

L'adaptation dans ce cas-là dépendra des stratégies choisies par les touristes eux-mêmes et l'industrie du tourisme. Il se peut que les préférences touristiques se maintiennent et que les touristes s'orientent vers des destinations plus au nord pour échapper à l'inconfort thermique du sud. Cependant, il se peut aussi que

l'industrie touristique s'adapte à cette variation climatique et propose des « activités hors sols » comme les bulles de Central Parks ou les golfs hors sols qui sont moins dépendants du climat. Il n'est pas possible de prévoir quelles options d'adaptation seront prises par les parties.

Bien que le surplus de touristes s'échelonne dans l'année, et ne nécessitera donc pas forcément l'augmentation de la capacité d'accueil, à titre indicatif, il est intéressant de donner la capacité d'accueil touristique du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie.

**TABEAU 97 : CAPACITE D'ACCUEIL TOURISTIQUE DU NORD-PAS-DE-CALAIS EN 2012 (SOURCE : SOeS MINISTERE EN CHARGE DU TOURISME)**

<b>Nombre total de chambres dans l'hôtellerie homologuée</b>	17 408
<b>Nombre total d'emplacements dans les campings homologués</b>	34 744
<b>Nombre total d'emplacements loués à l'année dans les campings homologués</b>	27 146
<b>Total</b>	79 298

**TABEAU 98 : CAPACITE D'ACCUEIL TOURISTIQUE DE LA PICARDIE EN 2012 (SOURCE : SOeS MINISTERE EN CHARGE DU TOURISME)**

<b>Nombre total de chambres dans l'hôtellerie homologuée</b>	8 488
<b>Nombre total d'emplacements dans les campings homologués</b>	20 775
<b>Nombre total d'emplacements loués à l'année dans les campings homologués</b>	13 401
<b>Total</b>	42 664

En reprenant l'hypothèse du SOeS : une chambre d'hôtel correspond à deux personnes, un emplacement de camping à trois personnes, la capacité d'accueil en nombre de personne pour le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie s'évaluent respectivement à 220 000 et 120 000 environ.

## 7.6 Limites

- Une hypothèse de démographie constante a été adoptée, alors que ce ne sera pas le cas ;
- Le critère climatique n'est pas le seul déterminant de choix dans la destination de vacance et doit être pondéré par rapport à d'autres (notamment le prix et la distance à parcourir). Or, le modèle PESETA ne l'intègre pas ;
- L'adaptation physiologique ou le changement des comportements pourrait modifier les préférences touristiques. La réponse de l'industrie touristique pourrait également modifier l'attractivité de certains espaces ou activités ;
- La comptabilité à l'origine du modèle d'évolution de PESETA est incertaine.

## 7.7 Pour aller plus loin

- L'évaluation qui a été faite met en exergue les problèmes qu'il faudrait analyser. En effet, le changement climatique affectera la répartition temporelle et spatiale des touristes durant l'année. Le nombre de touristes sera aussi fonction des changements démographiques (vieillesse de la population notamment). Par ailleurs, l'augmentation des revenus dans les pays émergents pourrait également modifier le nombre de touristes. Tous ces facteurs pourraient affecter les schémas touristiques connus à ce jour. Une analyse détaillée des principaux facteurs de ces changements serait donc pertinente.





## 8 Retour d'expérience – Inondation de la Somme en 2001

### 8.1 Incertitudes sur l'effet du changement climatique pour les inondations

Le risque d'inondation est présent en Picardie et dans le Nord-Pas-de-Calais où 389 et 194 communes font l'objet d'un Plan de Prévention des Risques naturels ou Plan d'Exposition aux Risques naturels, sachant que le territoire métropolitain compte 5 211 communes dans ce cas. L'impact du changement climatique sur la fréquence et l'intensité des inondations que ce soit par débordement, ruissellement et remontée de nappes reste encore mal connu. L'incertitude prévaut en ce qui concerne le lien entre inondations et changement climatique. Ainsi, le GIEC en 2011 dans un rapport des groupes de travail 1 et 2<sup>33</sup> estime qu'il y a peu de certitudes sur le fait que le changement des précipitations et la hausse des températures implique une augmentation du nombre d'inondations. Les travaux du projet RExHySS<sup>34</sup> de modélisation des débits et inondations de la Somme à 2050 et 2100 insistent sur l'incertitude quant à la probabilité d'occurrence de crues extrêmes. Il n'existe pas de modélisation disponible pour le moment. Il n'est donc pas possible de quantifier le coût de l'inaction puisque l'occurrence supplémentaire due au changement climatique ne peut être déterminée pour les inondations.

Afin de donner un éclairage sur des éléments de coûts, nous exposerons le bilan économique<sup>35</sup> de l'inondation de la Somme qui avait duré de mars à mai 2001. Bien qu'on ne puisse attribuer cet événement extrême au changement climatique, ce retour d'expérience peut donner un ordre de grandeur de coûts.

### 8.2 Bilans de l'inondation de la Somme en 2001

Plusieurs bilans peuvent être établis à la suite de l'inondation :

- Bilan humain :

Aucune victime humaine n'a été recensée. Cependant, 162 communes ont été concernées, 739 habitations ont dû être évacuées ce qui représente l'évacuation de 1 700 personnes. En tout, ce sont 1 722 habitations qui ont été inondées dans leurs zones de vie et 2 000 ont vu leurs caves touchées.

- Bilan industriel et risque :

Le périmètre inondé en 2001 ne comportait aucun établissement classé SEVESO ni de sites industriels producteurs de polluants.

- Bilan des dégâts en euros :

TABLEAU 99 : COUT DES PRINCIPAUX DOMMAGES DE L'INONDATION DE LA SOMME EN MILLIONS D'EUROS (SOURCE : CEPRI, 2008, EVALUATION DE LA PERTINENCE DES MESURES DE GESTION DU RISQUE D'INONDATION : MANUEL DES PRATIQUES EXISTANTES)

<b>Bâti</b>	30,81
<b>Transports</b>	84,25
<b>dont ferroviaire</b>	1,7
<b>dont voirie</b>	55
<b>dont voies navigables</b>	27,55
<b>Agriculture</b>	6,9
<b>Entreprises</b>	9,8
<b>Tourisme</b>	8,6

<sup>33</sup> IPCC, 2011, Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation.

<sup>34</sup> UMR Sisyphe, Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et de la Somme.

<sup>35</sup> CEPRI, 2008, Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque d'inondation : manuel des pratiques existantes

Le poste qui a subi le plus de dommage est celui des transports, en particulier la voirie et les voies navigables ont été endommagées respectivement à hauteur de 55 et 27,55 millions. Le bâti représente lui aussi un des postes les plus affectés. Les assurances ont remboursé à hauteur de 30 millions d'euros les sinistrés<sup>36</sup>.

Le coût global de l'inondation s'évaluerait à 153,4 millions d'euros dont 41,45 millions d'indemnisations versées par les assurances<sup>37</sup>.

- Bilan sanitaire :

La prise en charge du stress post traumatique généré par un tel évènement a aussi un coût qui pour le moment est rarement pris en compte. Nous ne disposons pas d'information spécifique à l'inondation de 2001 dans la Somme, cependant lors de l'inondation du Gard en 2002, la CIRE Sud avait évalué à 245 € la prise en charge d'une personne pendant trois semaines.

### 8.3 Actions entreprises depuis 2001 afin de réduire le risque et la vulnérabilité

Depuis cette inondation, plusieurs actions ont été mises en place afin d'atténuer les conséquences d'une inondation si elle survenait, notamment<sup>38</sup> :

- La construction d'une troisième passe d'écluse à St Valéry sur Somme de 19 millions d'euros afin d'améliorer l'évacuation du débit de la Somme ;
- La mise en place d'un programme d'actions de prévention des inondations du bassin versant de la Somme (PAPI) en 2003 pour réduire la vulnérabilité des sites, améliorer la connaissance et la communication ;
- La restauration de 35 kilomètres de berge dont 12 en technique végétale afin de re-perméabiliser les sols ;
- L'identification des zones à risques afin de ne plus délivrer de permis de construire pour ces zones ;
- L'élaboration du Plan Somme à 15 millions d'euros pour 2007/2013 afin de lutter contre les inondations. De plus, 18 millions d'euros ont été affectés à la gestion des bassins versants afin que soient menées des actions d'aménagement sur les cours d'eau, vallées inondables, zones humides et écosystèmes ainsi que des actions de gestion des eaux pluviales et des sols sujets à l'érosion et au ruissellement.

### 8.4 Pour aller plus loin

- Les données à la suite d'un tel évènement sont très utiles pour une évaluation des potentielles inondations futures. Cependant, il est important de garder à l'esprit (i) les potentiels changements démographiques et des infrastructures à venir, (ii) l'adaptation spontanée à la suite de l'évènement. Un dialogue avec les aménageurs aiderait les études sur l'impact du changement climatique afin de mieux chiffrer le coût de l'inaction et des mesures nécessaires à prendre.

---

<sup>36</sup> CEPRI, 2008, Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque d'inondation : manuel des pratiques existantes

<sup>37</sup> CEPRI, 2008, Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque d'inondation : manuel des pratiques existantes

<sup>38</sup> Intervention de M. Michel DELPUECH durant le « Colloque Inondation de la Somme 10 ans après. » <http://www.somme.gouv.fr/colloque-inondations-somme-apres-ac423.html>

## 9 Le concept de maladaptation : définition et état des lieux de la recherche

Définie par le GIEC comme un changement dans les systèmes naturels ou humains qui conduit - de manière non intentionnée - à augmenter la vulnérabilité au climat au lieu de la réduire, la maladaptation correspond à une action d'adaptation qui ne parvient pas à réduire la vulnérabilité et au contraire, l'augmente<sup>39</sup>. Parce que le climat futur n'est pas connu avec précision, les mesures prises permettant de minimiser les impacts futurs peuvent ne pas être en adéquation avec le climat futur observé réellement.

Barnett et O'Neill<sup>40</sup> proposent cinq écueils de maladaptation au changement climatique :

- Une adaptation en contradiction avec les objectifs d'atténuation. Autrement, dit, une politique d'adaptation qui augmente l'émission de gaz à effet de serre (GES) et *in fine* le changement climatique. Par exemple l'installation de climatisation pour s'adapter à la hausse des températures et aux canicules, contribue à émettre des GES vu la forte demande en énergie de ces dispositifs ;
- Une adaptation qui aboutit à un transfert de vulnérabilité d'un groupe à un autre ou reporte la vulnérabilité dans le temps. L'utilisation des ressources d'eau souterraine pour l'irrigation en vue de pallier la raréfaction des eaux de surface ne sera pas soutenable sur le long terme et pourrait éventuellement affecter d'autres groupes qui dépendaient de ce seul type de ressource en eau. Ceci pose le problème de l'égalité entre générations actuelles et futures et de la préservation d'un capital au nom d'une solidarité intergénérationnelle ;
- Si est mise en place une adaptation à un coût social et environnemental élevé par rapport à d'autres alternatives disponibles ;
- Si une action d'adaptation réduit l'incitation à des comportements adaptatifs. Par exemple, une usine de désalinisation d'eau pour pallier la raréfaction de la ressource avec un coût environnemental fort réduit l'incitation pour les particuliers à limiter leur consommation d'eau et à recycler l'eau de pluie ;
- Si une adaptation est sous-optimale, elle est insuffisante pour réduire la vulnérabilité aux impacts car elle n'est pas calibrée pour la nature ou l'ampleur des impacts. Ce risque est prégnant car les projections climatiques ne sont pas prédictives.

Les risques de maladaptation sont particulièrement importants vu le contexte d'incertitude dans lequel les décisions en matière de changement climatique sont prises. La prise de décision en situation d'incertitude est difficile car privée de visibilité sur le long terme. Afin d'intégrer la possibilité d'une maladaptation future, il est possible de privilégier les actions d'adaptation dites sans regret. Ces actions sans regret portent leur fruit immédiatement, indépendamment des variations climatiques, et apportent au territoire une plus-value même si les projections climatiques ne se vérifient pas. Par exemple, une politique de réserve foncière afin de préserver la biodiversité est une action d'adaptation sans regret.

Les actions d'adaptation mal conçues peuvent donc engendrer des coûts transitoires de réajustement ainsi que des coûts dus à l'obsolescence et à l'inefficacité de la mesure précédemment mise en place. C'est pour cela que la prise en compte de l'incertitude et des variations entre scénarios climatiques est nécessaire lors de la conception et de la mise en œuvre des stratégies adaptatives.

<sup>39</sup> IPCC Third Assessment Report, 2001, Annex B. Glossary of Terms

<sup>40</sup> Barnett et O'Neill, 2010, Maladaptation, In Global Environmental Change, Volume 20, Issue 2.

# Synthèse

L'évaluation économique des impacts du changement climatique sur les secteurs étudiés dans ce rapport sont **des ordres de grandeur** qui doivent être compris et re-contextualisés selon le parti pris méthodologique. **Il est donc nécessaire de se référer à l'évaluation plus détaillée disponible plus haut afin de considérer la pertinence ces chiffres.**

Secteur	Données chiffrées	Sources
Agriculture	<b>Inaction</b>	Rapport du Groupe Interministériel Projet CLIMATOR AGRESTE
	<b>Rendements du blé tendre et des prairies en fonction des évolutions tendanciennes du climat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A 2040, en moyenne annuelle pour le blé, le gain par rapport aux rendements actuels représenterait jusqu'à 100 millions d'euros (soit 800 000 tonnes) et jusqu'à 30 millions d'euros pour les prairies (soit 480 000 tonnes) ;</li> <li>- A 2080, en moyenne annuelle, le gain par rapport aux rendements actuels pour le blé resterait stable mais diminuerait pour les prairies jusqu'à 10 millions d'euros (soit 150 000 tonnes).</li> </ul>	
	<b>Rendements du blé tendre et des prairies en fonction des canicules de type 2003 :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baisse de rendements de 8% en Picardie pour les productions de blé et de prairie lors d'une canicule de type 2003 ;</li> <li>- Baisse de rendements de 3% pour le blé et de 6% pour les prairies en Nord-Pas-de-Calais lors d'une canicule type 2003 ;</li> <li>- Le scénario B2 (optimiste) estime pour le XXI<sup>e</sup> siècle des pertes annuelles moyennes quasi nulles à 2030 et de 6 à 20 millions d'euros de pertes à 2100 pour le blé et les prairies ;</li> <li>- Le scénario A2 (pessimiste) estime pour le XXI<sup>e</sup> siècle des pertes annuelles moyennes quasi nulles à 2030 et jusqu'à 40 et 11 millions d'euros à 2100 pour le blé et les prairies.</li> </ul>	
	<b>Adaptation</b>	
Submersion	<b>Coût assurantiel contre la canicule :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selon le scénario B2, pour le blé, ce coût pourrait atteindre 7 millions d'euros par an à 2050 et 18 millions d'euros selon le scénario A2. Pour les prairies, il atteindrait entre 1,5 et 4 millions d'euros par an selon les scénarios B2 et A2.</li> </ul>	
	<b>Inaction</b>	

Secteur	Données chiffrées	Sources
	<b>Valeur du terrain à risque selon l'hypothèse d'une élévation du niveau de la mer de +1m :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terrains agricoles : la valeur du terrain à risque correspondrait à une somme comprise entre 15 et 25 millions d'euros ;</li> <li>- Zones humides : le capital à risque correspondrait à une somme comprise entre 1 et 4 millions d'euros ;</li> <li>- Zones artificialisées : la valeur du terrain à risque correspondrait à une somme de 50 millions d'euros.</li> </ul>	CETMEF CGDD MEDDE Rapport du Groupe Interministériel Site internet de la relocalisation de Shismaref
	<b>Valeur du capital à risque routier et bâti selon l'hypothèse d'une élévation du niveau de la mer de +1m :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transport routier : la valeur des infrastructures perdues serait de 150 millions d'euros.</li> <li>- Bâti (logement) : la valeur du bâti perdu serait compris entre 1 et 2,5 milliards d'euros.</li> </ul>	
	<b>Adaptation</b>	
	Non quantifié : données indisponibles. A titre indicatif : le retrait stratégique de la ville de Shismaref en Alaska a été estimé entre 90 et 180 millions de dollars.	
Erosion	<b>Inaction</b>	IFEN Préfecture du Languedoc Roussillon
	Faute de données, l'inaction face à l'érosion ne peut être évaluée.	
	<b>Adaptation</b> <b>Coût d'installation de systèmes anti-érosion :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un drain de sable pourrait coûter 155 millions d'euros si on l'appliquait à l'ensemble du littoral érodable ;</li> <li>- La mise en place de digues coûterait 590 millions d'euros ;</li> <li>- La végétalisation des dunes coûterait 2 millions d'euros.</li> </ul>	
Energie	<b>Inaction</b>	Rapport du Groupe Interministériel
	<b>Hausse de la demande en énergie suite à l'installation de systèmes de climatisation pour le secteur résidentiel :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selon les hypothèses d'équipement en climatiseurs la demande pourrait varier entre 0,24 et 0,59 TWh de plus par an, soit entre 0,9 et 2% de plus par rapport à la demande actuelle.</li> </ul>	
	<b>Hausse de la demande en énergie suite à l'installation de systèmes de climatisation pour le secteur tertiaire :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A 2080, hausse de la demande en énergie pour la climatisation de 120% par rapport à la demande actuelle estimée à 27TWh pour les deux régions.</li> </ul>	
	<b>Adaptation</b>	
	Non quantifié car les mesures d'adaptation dans ce domaine relèvent du	

Secteur	Données chiffrées	Sources
	changement des comportements (fermeture des volets, utilisation d'ampoules basse consommation, ...).	
Transports	<b>Inaction</b>	Rapport du Groupe Interministériel  INSEE  UKCIP  Hudson  DIR Nord
	<b>Canicule et routes :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surcoût d'entretien pour une canicule de type 2003 compris entre 5 et 6 millions d'euros selon une hypothèse basse. Avec une hypothèse haute, le surcoût serait compris entre 8,5 et 9 millions d'euros.</li> <li>- Selon l'ensemble des scénarios, le surcoût annuel moyen à 2100 serait compris entre 2 et 5,5 millions d'euros selon une hypothèse basse et entre 3 et 9 millions d'euros selon une hypothèse haute.</li> </ul> <b>Gel et routes :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selon une hypothèse issue de la littérature, le coût de la viabilité hivernale pourrait baisser de 800 000 euros à 2020 à 3 millions d'euros à 2080 ;</li> <li>- Selon une hypothèse ad-hoc, le coût de la viabilité hivernale pourrait baisser de 200 000 euros à 2030 à 3,3 millions à 2090.</li> </ul> <b>Canicule et rails :</b> <p>Faute de données sur l'impact de la canicule de 2003 sur les rails, cet impact n'est pas quantifiable.</p>	
	<b>Adaptation</b>	
	<b>Canicule et routes :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le coût de l'adaptation correspond au coût de l'inaction puisqu'il s'agit d'une remise en état.</li> </ul> <b>Gel et routes :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'adaptation n'est pas requise puisque le coût du changement climatique correspond à un gain.</li> </ul>	
Retrait Gonflement des Argiles sur le bâti	<b>Inaction</b>	Rapport du Groupe Interministériel       SOeS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A stock de bâtiment constant, le coût des dommages moyens annuels pourrait, selon les scénarios, être nul à 2030 mais s'élever à 175 millions d'euros à 2100 ;</li> <li>- Avec un taux d'urbanisation de moins de 1% dans les zones d'aléa, les dommages annuels moyens s'échelonneraient entre 0 et 21 millions d'euros.</li> </ul>	
	<b>Adaptation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'adaptation pour les maisons individuelles neuves (travaux de consolidation des fondations des maisons individuelles) à 2030, en prenant en compte un taux de progression d'urbanisation de moins de 1%, correspondrait à 430 millions d'euros pour les constructions à venir en zone d'aléa fort et 3 milliards pour les constructions à venir en zone d'aléa moyen.</li> </ul>	

Secteur	Données chiffrées	Sources
Santé	<b>Inaction</b>	Projet PESETA INSEE Rapport du Groupe Interministériel
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de décès attendus en Nord-Pas-de-Calais et Picardie dus à la hausse des températures sans adaptation en moyenne annuelle sur la période 2011 à 2040 : de 250 à 310 décès ;</li> <li>- Nombre de décès attendus en Nord-Pas-de-Calais et Picardie dus à la hausse des températures avec adaptation, type Système d'Alerte Canicule et Santé, en moyenne annuelle sur la période 2011 à 2040 : de 80 à 100 décès.</li> </ul>	
	<b>Adaptation</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le coût à minima pour s'adapter correspond à celui d'un Système d'Alerte Canicule et Santé à 2040 (en accord avec les projections démographiques des plus de 75 ans à 2040) qui équivaut à 40 000 euros lors d'une alerte canicule.</li> </ul>	
Tourisme	<b>Inaction</b>	Projet PESETA SOeS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation de la fréquentation touristique en nombre de nuitées : 200 000 nuitées de plus par an à 2080 selon un scénario de +2,5°C et 1,5 millions de nuitées de plus par an à 2080 selon un scénario de +5,4°C.</li> </ul>	
	<b>Adaptation</b>	
	Non quantifiée au vu de la forte incertitude quant aux réactions de l'industrie touristique et des préférences individuelles.	
REX Inondations de la Somme	<b>Inaction</b>	CEPRI
	L'incertitude quant à l'occurrence d'inondations dues au changement climatique empêche la quantification de l'inaction. A titre indicatif, l'inondation de la Somme en 2001 a eu un coût évalué à environ 150 millions d'euros.	
	<b>Adaptation</b>	
	Entre autres, depuis cette inondation, a été mis en place le Plan Somme pour la période 2007/2013 à 15 millions d'euros afin d'aménager les cours d'eau et gérer les sols sujets à l'érosion.	



## 10 Bibliographie

- Adaptation Advisory Group to the Alaska Climate Change Sub-Cabinet, janvier 2010, Alaska's Climate Change Strategy: Addressing Impacts in Alaska
- Agreste, Statistiques agricoles annuelles
- Barnett et O'Neill, 2010, Maladaptation, In Global Environmental Change, Volume 20, Issue 2
- BCEOM, 2004, Étude générale pour la protection et la mise en valeur du littoral des communes de Frontignan-La Peyrade et de Villeneuve Lès Maguelone
- BRISSON - LEVRAULT - ANR - INRA, 2007-2010, Livre vert du projet CLIMATOR
- CEPRI, 2008, Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque d'inondation : Manuel des pratiques existantes
- CETMEF 2010
- Colloque Inondation de la Somme 10 ans après. <http://www.somme.gouv.fr/colloque-inondations-somme-apres-ac423.html>
- Defra, 2006, Quantify the costs of the hot summer of 2003 in Climate change impact and adaptation: cross regional research program/project E. Dir. Metroeconomica Ltd
- De Perthuis, Hallegatte, Lecoq, CGEDD, 2010. Economie de l'adaptation au changement climatique
- DREAL Nord-Pas-de-Calais, 2011, Le prix des terrains à bâtir en 2009 en région Nord-Pas-de-Calais
- Economie et statistique, 1976, Comptes de l'agriculture de l'année 1976 : estimation du 9 septembre 1976
- Groupe interministériel, 2009, Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France
- Hudson, 2004, Highway asset management case study - UK Climate Impact Program method case study
- IFEN, 2007, Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine
- Intervention de M. Michel DELPUECH durant le « Colloque Inondation de la Somme 10 ans après. » <http://www.somme.gouv.fr/colloque-inondations-somme-apres-ac423.html>
- IPCC, 2001, Third Assessment Report - Annex B. Glossary of Terms
- IPCC, 2011, Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation.
- JRC, 2009, PESETA report : Impacts of climate change on human health
- JRC, 2009, PESETA report : Impacts of climate change on tourism
- Metroeconomica, 2004, UK Climate Impacts Programme. Costing the impacts of climate change in the UK : Implementation report
- Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2011, Nord-Pas-de-Calais : Premières tendances du recensement agricole 2010
- Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2011, Picardie : Premières tendances du recensement agricole 2010
- ONERC, 2009, Changement climatique : Coût des impacts et pistes d'adaptation, La Documentation Française
- Parc Naturel Régional de Camargue et EID Méditerranée, 2006, Etude de définition des enjeux de protection du littoral sableux, Phase C : Définitions des modes de gestion.
- PARRY - ROSENZWEIG - IGLESIAS - LIVERMORE - FISCHER, 2004, Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios - Global Environmental Change

- Préfecture de région Languedoc-Roussillon, 2008, Étude sur le changement climatique en Languedoc-Roussillon. Quelles conséquences économiques et sociales ?
- Rapport du Sénat, 2004, La France et les Français face à la canicule : les leçons d'une crise
- RTE Nord-Est, Dossier de presse : Bilan énergétique 2011 du Nord-Pas-de-Calais
- RTE Nord-Est, Dossier de presse : Bilan énergétique 2011 de la Picardie
- Site internet du projet de relocalisation de la ville de Shismaref en Alaska  
<http://www.shishmarefrelocation.com/index.html>
- Site internet agricole <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/economie-gestion/article/groupama-teste-aupres-de-50-eleveurs-un-contrat-d-assurance-des-prairies-1181-73430.html>
- SOeS – Base de données Eider
- UMR Sisyphe, Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et de la Somme