



NEXUS
THINK TANK

HORS-SÉRIE NEXUS

Réchauffement climatique

Conséquences sur la société française : atténuation, adaptation, justice climatique

QUESTION DE RECHERCHE

« Comment articuler atténuation, adaptation et justice climatique en France, à la lumière du consensus scientifique GIEC AR6, pour préserver la cohésion sociale et la soutenabilité économique sans creuser les fractures territoriales et générationnelles ? »

Réchauffement climatique

Conséquences sur la société française : atténuation, adaptation, justice climatique

QUESTION DE RECHERCHE

« Comment articuler atténuation, adaptation et justice climatique en France, à la lumière du consensus scientifique GIEC AR6, pour préserver la cohésion sociale et la soutenabilité économique sans creuser les fractures territoriales et générationnelles ? »

STRUCTURE DU VOLUME

- MOUVEMENT 1** Les neuf thèses — gabarit strict : statut épistémique, énoncé, conditions de réfutation.
- MOUVEMENT 2** Le rapport complet — le rapport de fond dans son intégralité, annexes comprises.

Sommaire

THESE-HS-001	Réchauffement France $\sim +1,7\times$ rythme mondial	10
THESE-HS-002	Conséquences sanitaires majeures déjà observables	10
THESE-HS-003	Investissements $\sim +25-30$ Md€/an publics requis	10
THESE-HS-004	Adaptation TRACC $+4^{\circ}\text{C}$ nécessaire	11
THESE-HS-005	Bénéfices co-santé majeurs	11
THESE-HS-006	Justice climatique distributive nécessaire	11
THESE-HS-007	Avantage français mix bas carbone valorisable	12
THESE-HS-008	Modèles Pays-Bas/Royaume-Uni inspirants	12
THESE-HS-009	Politique cohérente coût-bénéfice favorable	12
	Préambule	16
I	Cadrage scientifique du réchauffement climatique	16
I.1	Consensus scientifique GIEC AR6	16
I.2	Scénarios SSP et trajectoires	17
I.3	Effets de seuil et points de basculement	17
II	Trajectoires climatiques françaises documentées	18
II.1	Réchauffement observé en France métropolitaine	18
II.2	Vagues de chaleur et canicules	18
II.3	Sécheresses et stress hydrique	18
II.4	Feux de forêt	18
II.5	Inondations	19
II.6	Élévation niveau de la mer et érosion côtière	19
II.7	Recul glaciaire alpin et neige	19
III	Conséquences sur la santé publique	19
III.1	Mortalité directe canicules	19
III.2	Pollution atmosphérique aggravée	20
III.3	Maladies vectorielles émergentes	20
III.4	Santé mentale et éco-anxiété	20
IV	Conséquences démographiques et territoriales	20
IV.1	Mobilité résidentielle climatique émergente	20
IV.2	Vulnérabilité différentielle territoriale	20
V	Conséquences économiques	21
V.1	Impact PIB et secteurs économiques	21
V.2	Secteur assurance et résilience financière	21
V.3	Coûts adaptation et investissement	21
VI	Conséquences sur les infrastructures	22
VI.1	Réseaux énergétiques	22
VI.2	Bâti et logement	22
VI.3	Transports	22
VI.4	Eau et assainissement	22
VII	Conséquences sur l'agriculture et l'alimentation	22
VII.1	Rendements agricoles	22
VII.2	Adaptations agricoles	23
VII.3	Souveraineté alimentaire	23
VIII	Atténuation : trajectoires et politiques publiques	23
VIII.1	SNBC Stratégie Nationale Bas Carbone	23
VIII.2	Mix énergétique et PPE	23
VIII.3	Décarbonation sectorielle	24
IX	Adaptation : PNACC 3 et plans territoriaux	24
IX.1	PNACC 3 publié mars 2024	24

IX.2	PCAET territoriaux	24
IX.3	Adaptation des infrastructures critiques	24
X	Comparaisons internationales détaillées	25
X.1	Pays-Bas — Modèle Delta exemplaire	25
X.2	Allemagne — Energiewende et défis	25
X.3	Suède — Taxe carbone précoce	25
X.4	Royaume-Uni — Climate Change Act et CCC	25
X.5	États-Unis — Inflation Reduction Act 2022	26
X.6	Chine — Carbon Peaking et leadership EnR	26
X.7	Danemark — Leader éolien et chauffage urbain	26
X.8	Finlande — Neutralité 2035	26
X.9	Espagne et Italie — Vulnérabilité méditerranéenne	27
X.10	Synthèse comparative	27
XI	Justice climatique et inégalités	27
XI.1	Inégalités sociales face au climat	27
XI.2	Inégalités territoriales	27
XI.3	Inégalités générationnelles	27
XII	Gouvernance et financement	28
XII.1	Loi Programmation Climat et HCC	28
XII.2	Finance verte et taxonomie	28
XII.3	Articulation européenne	28
XIII	Recherche, innovation, science citoyenne	28
XIII.1	Recherche climatique française	28
XIII.2	Science citoyenne et éducation	29
XIV	Neuf thèses falsifiables	29
XV	Articulation continuum Nexus	29
XVI	Coûts et financements détaillés	30
XVI.1	Investissements publics et privés requis	30
XVI.2	Financement public — sources et instruments	31
XVI.3	Financement privé — taxonomie, NGFS	31
XVI.4	Justice climatique — instruments distributifs	31
XVII	Calendrier blocs d'action	31
XVII.1	Bloc 6-18 mois (2027)	31
XVII.2	Bloc 12-36 mois (2027-2029)	32
XVII.3	Bloc 24-60 mois (2028-2031)	32
XVII.4	Bloc 60-120 mois (2031-2037)	32
XVIII	Risques et incertitudes	32
XIX	Scénarios prospectifs 2030-2050	33
XIX.1	Scénario nexien (volontariste)	33
XIX.2	Scénario tendanciel	33
XIX.3	Scénario pessimiste	33
XX	Postface	34
XXI	Approfondissement — atténuation sectorielle détaillée	34
XXI.1	Secteur transports (~30 % émissions)	34
XXI.2	Secteur agriculture (~20 % émissions)	35
XXI.3	Secteur industrie (~20 % émissions)	35
XXI.4	Secteur bâtiment (~17 % émissions)	35
XXII	Approfondissement — adaptation sectorielle détaillée	36
XXII.1	Adaptation infrastructure énergétique	36
XXII.2	Adaptation gestion eau	36
XXII.3	Adaptation littoral	36
XXII.4	Adaptation agriculture-forêt	37
XXII.5	Adaptation tourisme	37
XXIII	Approfondissement — outre-mer et vulnérabilité spécifique	37
XXIV	Approfondissement — santé environnementale et co-bénéfices	38
XXV	Approfondissement — éducation et formation aux enjeux climatiques	38

xxvi	Approfondissement — finance climatique européenne et internationale	39
xxvii	Approfondissement — innovation et recherche climat-énergie	39
xxviii	Postface définitive	40
xxix	Approfondissement régional — climat et territoires différenciés	41
xxix.1	Façade méditerranéenne	41
xxix.2	Façade atlantique	41
xxix.3	Vallée du Rhône et Sud-Est	41
xxix.4	Alpes	41
xxix.5	Grand Est, Hauts-de-France, Bretagne	42
xxix.6	Île-de-France et grandes métropoles	42
xxx	Approfondissement — gouvernance internationale et diplomatie climatique	42
xxx.1	Accord de Paris et COP	42
xxx.2	Diplomatie climatique française	43
xxx.3	Géopolitique climatique	43
xxxi	Approfondissement — modélisation climatique et projections	43
xxxi.1	Modèles climatiques	43
xxxi.2	Incertitudes et seuils	43
xxxii	Approfondissement — modèles économiques climat-énergie	44
xxxiii	Approfondissement — politique européenne climat et CBAM	44
xxxiii.1	Pacte vert européen 2019	44
xxxiii.2	Fit for 55 paquet législatif	44
xxxiii.3	CBAM Carbon Border Adjustment Mechanism	45
xxxiii.4	Plan industriel Pacte vert et Net-Zero Industry Act	45
xxxiv	Approfondissement — coût d'inaction et risques systémiques	45
xxxv	Postface ultime	46
xxxvi	Approfondissement — déploiement effectif politiques publiques	46
xxxvi.1	Réalisations et bilan HCC 2024-2025	46
xxxvi.2	Cour des comptes rapport climat 2024	47
xxxvi.3	Banque de France stress tests climat	47
xxxvii	Approfondissement — atténuation et adaptation au niveau européen	47
xxxvii.1	Trajectoire UE 2030 et 2050	47
xxxvii.2	Plan adaptation UE et stratégie SCM	47
xxxvii.3	Just Transition Mechanism	48
xxxviii	Approfondissement — innovation climat-énergie et compétitivité	48
xxxviii.1	Innovations technologiques majeures	48
xxxviii.2	Compétitivité industrielle climat	48
xxxix	Approfondissement — agriculture et sécurité alimentaire à l'ère climatique	49
xxxix.1	Adaptation rendements	49
xxxix.2	PAC verdie et instruments	49
xxxix.3	Souveraineté et résilience alimentaire	49
xl	Approfondissement — gouvernance climat décentralisée	49
xli	Approfondissement — finance climat et risques systémiques	50
xlII	Approfondissement — comparaisons internationales approfondies par modèle	50
xlII.1	Modèle nordique (Suède, Danemark, Finlande, Norvège)	50
xlII.2	Modèle nord-européen (Pays-Bas, Belgique, Royaume-Uni)	51
xlII.3	Modèle germano-européen central (Allemagne, Autriche)	51
xlII.4	Modèle méditerranéen (Espagne, Italie, Portugal)	51
xlII.5	Modèle anglo-saxon (États-Unis, Canada, Australie)	51
xlII.6	Modèle est-asiatique (Japon, Corée du Sud, Chine)	51
xlIII	Synthèse politique nexienne intégrée	52

XLIV	Articulation Nexus continuum exhaustive	52
XLV	Conclusion finale absolument définitive	53
XLVI	Approfondissement — calendrier opérationnel détaillé 2027-2050	55
XLVI.1	Phase 1 (2027) — Activation politique	55
XLVI.2	Phase 2 (2028-2030) — Mise à l'échelle	55
XLVI.3	Phase 3 (2031-2037) — Régime de croisière	55
XLVI.4	Phase 4 (2038-2050) — Neutralité	56
XLVII	Approfondissement — indicateurs et tableau de bord pour suivi	56
XLVIII	Approfondissement — risques et incertitudes systémiques	57
XLIX	Sources et bibliographie sélective approfondie	57
L	Glossaire et acronymes	58
LI	Approfondissement — politiques transverses non-sectorielles	59
LI.1	Sobriété énergétique structurée	59
LI.2	Économie circulaire et matériaux	59
LI.3	Innovation finance verte instrumentale	60
LII	Approfondissement — recherche climatique et IA	60
LIII	Approfondissement — questions éthiques et démocratiques	61
LIV	Approfondissement — articulation Nexus piliers et continuum complet	62
LV	Synthèse opérationnelle finale	63
LVI	Annexe — synthèse des thèses consolidées et hypothèses	64
LVII	Approfondissement majeur — santé publique et climat (analyse complète)	65
LVII.1	Canicules — mécanismes physiopathologiques et bilan détaillé	65
LVII.2	Plan canicule — instruments et limites	66
LVII.3	Pollution atmosphérique — bilan sanitaire et co-bénéfices climat	66
LVII.4	Maladies vectorielles émergentes — surveillance et anticipation	67
LVII.5	Allergies et pollens	68
LVII.6	Santé mentale et éco-anxiété — un nouvel enjeu	68
LVII.7	Conséquences nutritionnelles indirectes	69
LVIII	Approfondissement comparatif détaillé — Pays-Bas, modèle Delta	69
LIX	Approfondissement comparatif détaillé — Allemagne, Energiewende et défis	71
LX	Approfondissement comparatif détaillé — Royaume-Uni, Climate Change Act et CCC	72
LXI	Approfondissement comparatif détaillé — Suède, taxe carbone précoce	73
LXII	Approfondissement comparatif détaillé — États-Unis, Inflation Reduction Act 2022	75
LXIII	Approfondissement comparatif — Chine, leadership EnR et paradoxes	76
LXIV	Approfondissement comparatif — Danemark, leader éolien et chauffage urbain	77
LXV	Approfondissement comparatif — Finlande, neutralité 2035	78
LXVI	Approfondissement comparatif — Espagne, énergie solaire massive et stress hydrique	79

LXVII	Approfondissement comparatif — Italie, adaptation et plan PNACC italien	80
LXVIII	Approfondissement comparatif — autres modèles instructifs	80
LXVIII.1	Norvège — État pétrolier paradoxal	80
LXVIII.2	Portugal — neutralité 2050 et hydroélectricité	81
LXVIII.3	Australie — choc politique et réorientation	81
LXVIII.4	Canada — climat boréal et pétrole	81
LXVIII.5	Japon — neutralité 2050 et redémarrage nucléaire	81
LXVIII.6	Corée du Sud — K-Hydrogen et nucléaire	81
LXVIII.7	Inde — émissions en croissance, EnR accélérées	82
LXVIII.8	Brésil — Amazonie pivot mondial	82
LXIX	Approfondissement atténuation — secteur transports France (analyse détaillée)	82
LXIX.1	Voitures particulières — électrification massive	82
LXIX.2	Poids lourds et utilitaires — défis spécifiques	83
LXIX.3	Aérien — décarbonation contrainte	83
LXIX.4	Ferroviaire — relance et décarbonation	83
LXIX.5	Mobilités actives et collectives	84
LXIX.6	ZFE Zones Faibles Émissions et urbanisme	84
LXX	Approfondissement atténuation — secteur bâtiment (analyse détaillée)	84
LXX.1	Rénovation thermique massive	85
LXX.2	Pompes à chaleur et chauffages bas carbone	85
LXX.3	Construction neuve — RE2020	85
LXXI	Approfondissement atténuation — secteur industrie (analyse détaillée)	86
LXXI.1	Sidérurgie — hydrogène DRI	86
LXXI.2	Chimie — électrification et biomasse	86
LXXI.3	Ciment et béton	87
LXXI.4	Raffinage — déclin programmé	87
LXXI.5	Autres industries — papier, verre, alu, aluminium	87
LXXII	Approfondissement adaptation — infrastructure énergétique	87
LXXIII	Approfondissement adaptation — eau et littoral	88
LXXIII.1	Adaptation gestion eau	88
LXXIII.2	Adaptation littoral et érosion	89
LXXIV	Approfondissement adaptation — agriculture et forêt	90
LXXIV.1	Adaptation agriculture	90
LXXIV.2	Adaptation forêt	90
LXXV	Approfondissement adaptation — santé et urbanisme	91
LXXV.1	Adaptation santé publique	91
LXXV.2	Adaptation urbanisme et îlot chaleur urbaine	91
LXXVI	Chronologie politique climatique française 1990-2026	92
LXXVI.1	Années 1990 — Émergence	92
LXXVI.2	Années 2000-2010 — Structuration	92
LXXVI.3	Années 2010-2015 — Loi Transition Énergétique	92
LXXVI.4	Années 2017-2022 — Macron 1er quinquennat	92
LXXVI.5	Années 2022-2026 — Macron 2e quinquennat et accélération contrainte	93
LXXVII	Approfondissement régional — 13 régions métropolitaines + DROM-COM	93
LXXVII.1	Auvergne-Rhône-Alpes	93
LXXVII.2	Provence-Alpes-Côte d'Azur	93
LXXVII.3	Occitanie	94
LXXVII.4	Nouvelle-Aquitaine	94
LXXVII.5	Pays de la Loire	94
LXXVII.6	Bretagne	94
LXXVII.7	Normandie	94
LXXVII.8	Hauts-de-France	95
LXXVII.9	Grand Est	95
LXXVII.10	Bourgogne-Franche-Comté	95
LXXVII.11	Centre-Val de Loire	95
LXXVII.12	Île-de-France	95
LXXVII.13	Corse	96

LXXVII.14	Outre-mer DROM-COM	96
LXXVIII	Approfondissement économique — analyse macro-sectorielle	96
LXXIX	Approfondissement financier — finance verte et NGFS	97
LXXX	Approfondissement gouvernance européenne — Pacte vert, Fit for 55, CBAM	98
LXXX.1	Pacte vert européen — architecture complète	98
LXXX.2	Fit for 55 — paquet législatif détaillé	99
LXXX.3	CBAM Carbon Border Adjustment Mechanism — analyse approfondie	99
LXXX.4	RePowerEU — réponse crise Ukraine	100
LXXX.5	Plan industriel Pacte vert et NZIA	100
LXXXI	Approfondissement justice climatique — analyse distributive et générationnelle	101
LXXXI.1	Inégalités d'émissions par décile de revenu	101
LXXXI.2	Mécanismes redistributifs étudiés	101
LXXXI.3	Inégalités territoriales et énergétique	101
LXXXI.4	Inégalités générationnelles et jurisprudence climatique	102
LXXXI.5	Justice climatique internationale Nord-Sud	102
LXXXII	Approfondissement recherche climatique française et coopérations	103
LXXXIII	Approfondissement des 9 thèses falsifiables — preuves et contre-preuves	104
LXXXIII.1	THESE-HS-001 — Réchauffement France +1,7× rythme mondial	104
LXXXIII.2	THESE-HS-002 — Conséquences sanitaires majeures déjà observables	104
LXXXIII.3	THESE-HS-003 — Investissements ~+25-30 Md€/an publics requis	105
LXXXIII.4	THESE-HS-004 — Adaptation TRACC +4 °C nécessaire (Hypothèse)	105
LXXXIII.5	THESE-HS-005 — Co-bénéfices santé majeurs (Hypothèse)	105
LXXXIII.6	THESE-HS-006 — Justice climatique distributive nécessaire (Hypothèse)	106
LXXXIII.7	THESE-HS-007 — Avantage français mix bas carbone valorisable	106
LXXXIII.8	THESE-HS-008 — Modèles Pays-Bas/RU/Suède inspirants (Hypothèse)	106
LXXXIII.9	THESE-HS-009 — Politique cohérente coût-bénéfice favorable	107
LXXXIV	Innovations technologiques clés — analyse approfondie	107
LXXXIV.1	Hydrogène vert et bleu	107
LXXXIV.2	Captage-stockage-utilisation carbone (CCUS)	108
LXXXIV.3	SMR Small Modular Reactors nucléaire IVe génération	108
LXXXIV.4	Stockage électricité massif	108
LXXXIV.5	Bioéconomie et économie circulaire	109
LXXXV	Scénarios prospectifs détaillés 2030-2050	109
LXXXV.1	Scénario Nexien volontariste (Scénario A)	109
LXXXV.2	Scénario Tendanciel (Scénario B)	110
LXXXV.3	Scénario Pessimiste (Scénario C)	110
LXXXV.4	Comparaison et choix démocratiques	110
LXXXVI	Sources et bibliographie exhaustive	111
LXXXVII	Conclusion finale enrichie et perspective décennale	112

HORS-SÉRIE NEXUS

PREMIER MOUVEMENT

Les neuf thèses

Neuf thèses falsifiables, chacune sous le gabarit du hors-série : statut épistémique en marge, puis énoncé et conditions de réfutation. Les conditions de réfutation sont le contrat de révision publique du rapport.

THESE-HS-001

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Thèse consolidée

Réchauffement France $\sim +1,7\times$ rythme mondial

ÉNONCÉ

La France métropolitaine se réchauffe $\sim 1,7$ fois plus vite que la moyenne mondiale : $+1,7$ °C cumulé depuis 1900 vs $+1,1$ °C global. Accélération depuis 1980 ($+0,3$ à $+0,4$ °C/décennie).

CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)

1. Réfutée si Météo France ou ONERC démontrent erreur méthodologique majeure dans la reconstruction des séries de température, ou si nouvelles données 2024–2030 révèlent inversion de tendance non liée à variabilité naturelle.

THESE-HS-002

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Thèse consolidée

Conséquences sanitaires majeures déjà observables

ÉNONCÉ

Le réchauffement cause déjà une surmortalité documentée en France : $\sim 50\,000$ décès cumulés attribués aux vagues chaleur 2003–2023, $\sim 40\,000$ décès anticipés/an liés pollution air aggravée. Vulnérabilité accrue seniors et populations modestes.

CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)

1. Réfutée si Santé publique France et INSERM démontrent erreur attribution canicules–mortalité, ou si nouvelles études 2025–2030 montrent absence de surmortalité statistiquement significative.

THESE-HS-003

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Thèse consolidée

Investissements $\sim +25\text{--}30$ Md€/an publics requis

ÉNONCÉ

Atteindre trajectoire compatible -55% émissions 2030 et neutralité 2050 nécessite $\sim +25\text{--}30$ Md€/an investissements publics dédiés (Pisani–Ferry–Mahfouz 2023), $\sim +70$ Md€/an totaux incluant privé.

CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)

1. Réfutée si évaluations indépendantes France Stratégie, Cour des comptes 2026–2030 abaissent l'estimation à moins de 15 Md€/an publics ou démontrent existence de gisements d'économies non identifiés permettant la trajectoire à coût constant.

THESE-HS-004

Adaptation TRACC +4 °C nécessaire

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Hypothèse de travail

L'adaptation climatique française doit anticiper trajectoire +4 °C à 2100 (TRACC PNACC 3) : infrastructure résiliente, recul stratégique littoral, refonte secteurs vulnérables (agriculture, tourisme, eau).

ÉNONCÉ

1. Réfutée si trajectoires monde atteignent +1,5 °C ou +2 °C grâce à atténuation globale exceptionnelle, ou si études Météo France-CNRM révisent TRACC France à <+3 °C.

CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)

THESE-HS-005

Bénéfices co-santé majeurs

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Hypothèse de travail

L'atténuation climatique apporte co-bénéfices santé majeurs : -10 000 à -30 000 décès anticipés/an dus à réduction pollution air liée combustibles fossiles. Économies santé ~10-30 Md€/an à 10 ans.

ÉNONCÉ

1. Réfutée si études Santé publique France 2027-2030 démontrent absence co-bénéfice significatif, ou si décarbonation déplace plutôt que réduit pollution (substitutions polluantes).

CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)

THESE-HS-006

Justice climatique distributive nécessaire

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Hypothèse de travail

Politique climatique soutenable politiquement et éthiquement exige composante redistributive : taxe carbone progressive, redistribution équitable, accompagnement ménages modestes, dispositifs ciblés. Sans cela, acceptabilité sociale fragile (cf. Gilets jaunes 2018 post-taxe carbone).

ÉNONCÉ

1. Réfutée si études CESE, Cour des comptes 2027-2030 démontrent acceptabilité d'une politique climat sans redistribution, ou si dispositifs alternatifs (technique pure, marché, etc.) s'avèrent suffisants.

CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)

THESE-HS-007

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Thèse consolidée

Avantage français mix bas carbone valorisable

ÉNONCÉ

France dispose d'un avantage structurel : mix électrique ~85 % bas carbone (~50-70 gCO₂/kWh vs ~400 gCO₂/kWh Allemagne) grâce nucléaire + hydraulique + EnR. Cet avantage est valorisable pour décarbonation industrielle (CBAM), compétitivité internationale, leadership européen.

CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)

1. Réfutée si parc nucléaire connaît dégradation accélérée (problème disponibilité, sécurité, coût grand carénage), ou si déploiement EnR ne compense pas vieillissement parc, ou si CBAM échoue à protéger compétitivité.

THESE-HS-008

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Hypothèse de travail

Modèles Pays-Bas/Royaume-Uni inspirants

ÉNONCÉ

Modèles néerlandais (Delta, adaptation côtière), britannique (Climate Change Act + CCC indépendant), suédois (taxe carbone précoce élevée) fournissent enseignements transposables à France : institutionnalisation gouvernance climat, planification long terme, signal-prix carbone.

CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)

1. Réfutée si évaluations comparatives 2027-2030 démontrent que modèles sont fortement liés à conditions nationales (taille, structure économique, géographie) et non-transposables, ou si voie française performe au moins aussi bien par approche distincte.

THESE-HS-009

STATUT ÉPISTÉMIQUE
Thèse consolidée

Politique cohérente coût-bénéfice favorable

ÉNONCÉ

La voie nexienne hors-série climat (atténuation accélérée, adaptation différenciée TRACC, justice climatique distributive, gouvernance Loi Programmation Climat, recherche-formation) coûte ~+25-30 Md€/an public + ~+40 Md€/an privé et apporte bénéfices substantiels : dommages évités, vies sauvées, co-bénéfices santé, souveraineté énergétique, emplois (~+200-500 000 cible 2035), position internationale.

1. Réfutée si évaluations indépendantes (Cour des comptes, France Stratégie, FMI, Banque de France 2027-2032) démontrent ratio coût-bénéfice défavorable ou bénéfices non matérialisés.

**CONDITIONS DE RÉFUTATION
(1)**

HORS-SÉRIE NEXUS

DEUXIÈME MOUVEMENT

Le rapport complet

Le hors-série dans son intégralité — cadrage scientifique, trajectoires françaises, conséquences sectorielles, atténuation et adaptation, comparaisons internationales, justice climatique, gouvernance et financement, scénarios prospectifs, approfondissements et bibliographie.

Préambule

Le rapport hors-série Nexus « Réchauffement climatique et société française » s'inscrit dans le corpus Nexus 2026-2027 comme méta-rapport transversal. Il articule un domaine — la trajectoire climatique française et ses conséquences — qui traverse l'ensemble des piliers du corpus : Économie (industrie, agriculture, tourisme, infrastructure), Société (santé, démographie, cohésion), Infrastructures (énergie, eau, transports, bâti), et même Éducation (éducation à l'environnement, formation des métiers verts). La problématique climatique ne peut être traitée sectoriellement : elle exige une approche systémique. C'est l'objet de ce hors-série.

Le rapport prend acte du constat scientifique consolidé du GIEC (AR6, 2021-2023) : réchauffement +1,1 °C global, +1,7 °C France métropolitaine, origine anthropique certaine, fenêtre +1,5 °C se refermant rapidement, impacts non linéaires au-delà +2 °C. Il documente les conséquences observées et projetées sur la société française dans six grands domaines (santé, démographie, économie, infrastructures, environnement, agriculture-alimentation), et propose un cadrage politique articulant atténuation, adaptation et justice climatique.

Méthodologie falsificationniste popperienne. Neuf thèses falsifiables sont énoncées avec leurs conditions de réfutation explicites. Trois sont consolidées sur la base de données empiriques convergentes et robustes, six restent en hypothèse de travail nécessitant complément empirique. Le rapport sera révisé selon protocole charte Nexus vO-2 en cas de données empiriques nouvelles pertinentes (réactualisations GIEC, nouvelles études d'impact, effets observés des politiques publiques mises en œuvre).

I

Cadrage scientifique du réchauffement climatique

I.1 Consensus scientifique GIEC AR6

Le 6e rapport d'évaluation du GIEC (AR6) consolide cinq constats fondamentaux. (1) Le réchauffement climatique est sans équivoque : la température moyenne globale a augmenté de +1,1 °C entre 1850-1900 et 2011-2020. La dernière décennie est la plus chaude depuis 125 000 ans. (2) L'influence humaine est la cause dominante. L'augmentation

des concentrations atmosphériques de CO₂ (~420 ppm en 2024, +50 % vs préindustriel), CH₄ (~1 920 ppb, ×2,5) et N₂O (~336 ppb, +25 %) résulte sans ambiguïté des émissions anthropiques liées aux combustibles fossiles, à la déforestation et à l'agriculture intensive. (3) Les impacts sont déjà observables et s'intensifient : vagues de chaleur, précipitations extrêmes, sécheresses agricoles, élévation niveau marin (+3,4 mm/an global), recul cryosphère, acidification océans, perturbations écosystèmes. (4) La fenêtre pour limiter le réchauffement à +1,5 °C (objectif Accord de Paris 2015) se referme rapidement. Au rythme actuel d'émissions, ce seuil sera dépassé entre 2030 et 2035. (5) Des trajectoires conformes à +1,5 °C ou +2 °C restent techniquement et économiquement possibles mais exigent une transformation rapide et profonde des systèmes énergétique, économique et social.

Scénarios SSP et trajectoires

I.2

Le GIEC AR6 utilise cinq familles de scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways) couplés à des forçages radiatifs. SSP1-1.9 : trajectoire très ambitieuse, +1,5 °C visé, demande transformation rapide ; SSP1-2.6 : ambitieuse, +1,8 °C en moyenne ; SSP2-4.5 : trajectoire médiane plausible, +2,7 °C ; SSP3-7.0 : trajectoire conflictuelle, +3,6 °C ; SSP5-8.5 : haute consommation fossile, +4,4 °C (peu probable mais non exclue). Les politiques actuelles (NDCs Nationally Determined Contributions soumises sous Accord de Paris) placent le monde sur trajectoire ~+2,7 °C à 2100. Une mise à niveau profonde s'impose pour rejoindre +1,5 °C ou +2 °C.

Effets de seuil et points de basculement

I.3

Le GIEC AR6 identifie plusieurs points de basculement potentiels au-delà de +1,5–2 °C : (a) effondrement progressif Antarctique occidental (élévation niveau marin +3 m à long terme), (b) disparition glace mer Arctique en été (effet rétroactif albédo), (c) ralentissement ou interruption AMOC Atlantic Meridional Overturning Circulation (impact majeur sur climat européen), (d) dégel permafrost (libération CH₄ et CO₂), (e) dieback Amazonien (basculement forêt-savane), (f) blanchiment massif récifs coraux. Probabilités et seuils restent incertains mais non négligeables. L'inaction climatique multiplie le risque de déclencher un ou plusieurs de ces basculements.

II

Trajectoires climatiques françaises documentées

II.1 Réchauffement observé en France métropolitaine

Le réchauffement observé en France métropolitaine est ~1,7 fois plus rapide que la moyenne mondiale (Météo France, 2024). La température moyenne annuelle a augmenté de +1,7 °C entre 1900 et 2023, avec accélération depuis 1980 (~+0,3 à +0,4 °C par décennie). Les huit années les plus chaudes depuis 1900 sont toutes postérieures à 2014 (2022 record absolu, suivie de 2018, 2020, 2017). Le réchauffement est plus marqué en été (~+1,9 °C) qu'en hiver (~+1,4 °C). Géographiquement, le quart sud-est et les Alpes sont les plus affectés.

II.2 Vagues de chaleur et canicules

Les vagues de chaleur sont en augmentation forte. Nombre de jours/an de chaleur extrême (>30 °C en moyenne quotidienne maximale) : ~3 à 6 jours supplémentaires depuis 1950, projection +20 à +50 jours d'ici 2100 selon scénario. La canicule 2003 (vague de chaleur août) a causé ~15 000 décès en France (+10 000 versus moyenne saisonnière), choc démographique et institutionnel majeur. Depuis 2003, Plan Canicule actif, mais récurrences massives : canicules 2019 (~1 500 décès), 2020 (~2 000), 2022 (~7 000 cumulés sur trois épisodes juin-juillet-août), 2023 (~5 000 cumulés). Vulnérabilité particulière : personnes âgées, malades chroniques, populations vulnérables (CSP populaires logées en logements mal isolés).

II.3 Sécheresses et stress hydrique

Les sécheresses s'intensifient en fréquence et sévérité. Sécheresse 2022 : record historique depuis 1959 (déficit pluviométrique -25 %, sols les plus secs jamais mesurés), 700 communes en restrictions eau potable, agriculture lourdement impactée. Sécheresse 2023 hivernale : nappes phréatiques très basses, pour la première fois restrictions eau dès printemps. Projection 2050 (SSP2-4.5) : +30-50 % d'années sèches sur pourtour méditerranéen et sud-ouest, intensification stress hydrique agricole et industriel.

II.4 Feux de forêt

Les feux de forêt s'amplifient en surface brûlée et géographie. Surface brûlée annuelle : ~25 000 ha moyenne 1990-2010, ~35 000 ha moyenne 2011-2023 (+35 %). Année record 2022 : 72 000 ha brûlés, dont 27 000 ha incendies Gironde (Landiras, La Teste-de-Buch). Extension de la saison feux et de leur zone géographique (feux remontent

désormais vers Bretagne, Anjou). Stratégie « feux contre feux » à généraliser, pré-déploiement Canadair et Dash 8.

Inondations

II.5

Les inondations s'intensifient malgré aménagements. Inondations 2022 Vaucluse (8 morts), 2023 Pas-de-Calais (75 000 sinistrés cumulés), 2024 Cévennes (épisodes méditerranéens), 2024 nord-est (Champagne, Belgique). Projections : intensification précipitations extrêmes Nord +20 % d'ici 2100, déplacement géographique inondations méditerranéennes. Coût annuel moyen sinistres inondations CCR Caisse Centrale Réassurance : ~+1-2 Md€/an, en augmentation forte.

Élévation niveau de la mer et érosion côtière

II.6

Élévation niveau mer global : +3,4 mm/an (1993-2024), accélération à +4,8 mm/an (2014-2024). France métropolitaine : +6 à +15 mm/an selon côte. Érosion côtière : ~20 % du littoral français en érosion active. Projection 2100 : +0,5 m (SSP1-2.6) à +1 m (SSP5-8.5), jusqu'à +1,5-2 m avec effondrement Antarctique partiel. Population française exposée submersion à +1 m : ~1,4 million. Patrimoine immobilier à risque : ~300-500 Md€. Outre-mer particulièrement exposée (Antilles, Polynésie, Nouvelle-Calédonie, Mayotte).

Recul glaciaire alpin et neige

II.7

Glaciers alpins français : -25 % de surface depuis 1960 (Glaciorisk, IGE-IRSTEA). Projections SSP2-4.5 : -50 % volume d'ici 2100, plusieurs glaciers (Argentière, Bossons partiels) disparaîtront. Conséquences : réduction réserve d'eau étiage estival (impact pour vallée alpine et plaine), risques périglaciaires (chutes de glace, glissements de terrain associés au dégel permafrost), recomposition tourisme alpin (raccourcissement saison ski, recul stations basse altitude).

III

Conséquences sur la santé publique

Mortalité directe canicules

III.1

Canicules causent surmortalité documentée. Canicule 2003 : ~15 000 décès. Cumulé 2003-2023 : ~50 000 décès attribuables aux vagues de chaleur (Santé publique France, INSERM). Vulnérabilité : seniors >75 ans (~70 % des décès), maladies chroniques, isolement social,

logements mal isolés (passoires thermiques). Projections : multiplier par 5 à 10 fréquence vagues chaleur intenses à 2050, sans atténuation drastique.

III.2 Pollution atmosphérique aggravée

Pollution atmosphérique aggravée par réchauffement (formation ozone troposphérique, particules fines lors feux). ~40 000 décès anticipés/an France attribuables à pollution air (Santé publique France 2024). Coût économique pollution air ~80-120 Md€/an (OCDE). Atténuation climatique réduit pollution air (co-bénéfice direct sortie combustibles fossiles).

III.3 Maladies vectorielles émergentes

Réchauffement étend aire moustique tigre *Aedes albopictus* (~70 départements colonisés 2024 vs 1 en 2004). Risques : dengue, chikungunya, Zika autochtones (premiers cas autochtones documentés depuis 2010). Maladie de Lyme en expansion (changements aires de répartition tiques). Surveillance épidémiologique renforcée.

III.4 Santé mentale et éco-anxiété

Santé mentale impactée. Éco-anxiété documentée chez jeunes (~50 % 18-25 ans expriment inquiétude climatique modérée à forte, étude Lancet 2021). Stress post-traumatique post-événements climatiques extrêmes. Reconnaissance institutionnelle progressive de la santé mentale climatique (Santé publique France, INSERM).

IV

Conséquences démographiques et territoriales

IV.1 Mobilité résidentielle climatique émergente

Mobilité résidentielle climatique émergente. Données encore partielles mais signaux : déplacements résidents littoral atlantique sud (érosion, submersion redoutée), région PACA (canicules), nord-est (sécheresse). Acceptabilité « recul stratégique » littoral encore faible. Étude CGDD 2024 : ~10-15 % résidents littoral exposé envisagent déménagement d'ici 2050.

IV.2 Vulnérabilité différentielle territoriale

Vulnérabilité différentielle territoriale documentée. Métropoles méditerranéennes (Marseille, Montpellier, Nice) cumulent canicules + stress

hydrique + risque feux. Outre-mer particulièrement exposée (cyclones, élévation mer, blanchiment coraux). Littoral atlantique : érosion + submersion. Ruralité : feux + sécheresses + isolement. Politiques différenciées requises (PCAET territoires d'industrie, Action Cœur de Ville climat-compatible, plans outre-mer spécifiques).

V

Conséquences économiques

Impact PIB et secteurs économiques

V.1

Impact PIB substantiel. Banque de France 2024 estime impact réchauffement à -5 à -10 points PIB d'ici 2050 sans action ambitieuse (FMI 2023 convergent). Coût dommages annuels actuels : ~10-15 Md€/an (Pisani-Ferry/Mahfouz 2023), trajectoire à 30-50 Md€/an d'ici 2050. Secteurs particulièrement exposés : agriculture (cf. section VII), tourisme (-10-30 % saison montagne hiver, +10-20 % été littoral), assurance, BTP.

Secteur assurance et résilience financière

V.2

Secteur assurance sous tension. Régime Cat-Nat (Catastrophes Naturelles) prélèvement augmenté de 12 % à 20 % en 2025. Coût annuel sinistres climatiques : ~6-10 Md€/an France (vs ~3-4 Md€/an 1990-2000). Projection : doublement à 2050 (FFA Fédération Française Assurance). Risque retraits assureurs zones très exposées (Floride, Californie modèles). Régulation française : régime mutualisé maintenu, mais réforme nécessaire pour soutenabilité.

Coûts adaptation et investissement

V.3

Pisani-Ferry/Mahfouz 2023 estiment investissements climat France à ~+30 Md€/an public + ~+40 Md€/an privé à mobiliser jusqu'en 2030. Coûts évités si action ambitieuse : trajectoire bien meilleure sur long terme (modèles Banque de France, FMI). Compte de capital climatique nécessaire (création Fonds Vert 2024, déjà ~2,5 Md€/an mais largement insuffisant). Mobilisation finance privée verte (NGFS, taxonomie UE, CSRD) en montée.

VI

Conséquences sur les infrastructures

VI.1 Réseaux énergétiques

Réseaux énergétiques exposés. Refroidissement centrales nucléaires limité en été (canicule 2022 : restrictions production prolongées). Réseaux électriques tensions canicules + climatisation. Renforcement nécessaire (RTE Futurs Énergétiques 2050 anticipe). Réseaux gaz transition sortie progressive d'ici 2050.

VI.2 Bâti et logement

Bâti vulnérable. 30 % des logements français passoires thermiques (DPE F-G), exposition canicules forte. Plan rénovation thermique Ma-PrimeRénov' (3 Md€/an) à amplifier. RE2020 construction neuve déjà bas carbone. Coût rénovation parc : ~250-400 Md€ d'ici 2050.

VI.3 Transports

Transports : déformations rails canicules (limitations vitesse SNCF en été), routes craquelées, ponts vulnérables événements extrêmes. Adaptation infrastructure transport ~+1-3 Md€/an cumulés.

VI.4 Eau et assainissement

Eau : pression croissante sur ressource (cf. S38 Eau publié), gestion partagée nappes, réutilisation eaux usées, dessalement coûteux outre-mer-littoral. ~+2-5 Md€/an investissement requis.

VII

Conséquences sur l'agriculture et l'alimentation

VII.1 Rendements agricoles

Rendements agricoles en stagnation ou baisse. Blé France : stagnation depuis 2000 alors que projections 2050 -10 à -20 % rendements en absence d'adaptation. Viticulture : modification millésimes, vendanges avancées (~+15 jours), nouvelle géographie viticole (vignobles émergents Sud Angleterre, Belgique). Élevage : stress thermique animaux, fourrages.

Adaptations agricoles

VII.2

Adaptations agricoles structurantes : variétés résistantes, agroécologie, irrigation goutte-à-goutte, ombrage cultures, refonte assolement. INRAE Plan d'Adaptation Agriculture 2025-2050. PAC verdie. Plan agroécologique national.

Souveraineté alimentaire

VII.3

Souveraineté alimentaire à renforcer. Solde commercial agroalimentaire France ~+5-7 Md€/an (excédent), mais déficit sur fruits-légumesprotéines végétales. Cf. S52 Agriculture publié pour traitement détaillé.

VIII

Atténuation : trajectoires et politiques publiques

SNBC Stratégie Nationale Bas Carbone

VIII.1

La SNBC est l'instrument de planification française pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Adoptée 2015, révisée 2020 (SNBC 2), elle est en cours de révision (SNBC 3, 2024-2025) pour intégrer les objectifs renforcés du Paquet Fit for 55 européen (-55 % émissions GES 2030 vs 1990). La trajectoire SNBC fixe des budgets carbone par périodes de 5 ans : 1er budget 2015-2018 ~442 MtCO₂eq/an moyenne, 2e 2019-2023 ~422 MtCO₂eq/an (atteint, légèrement dépassé), 3e 2024-2028 ~373 MtCO₂eq/an (objectif ambitieux). Suivi annuel par le Haut Conseil pour le Climat (HCC). Critique HCC 2024 : trajectoire 2030 atteignable si effort maintenu, mais effort à doubler post-2030 pour rejoindre neutralité 2050. Mesures sectorielles à renforcer notamment sur transports, agriculture, bâtiment.

Mix énergétique et PPE

VIII.2

La Programmation Pluriannuelle Énergie (PPE 2019-2028, révision PPE 3 en cours 2024-2025) fixe trajectoires production énergie. Stratégie nucléaire-EnR amplifiée annoncée février 2022 : 6 EPR2 lancés + 8 en option (~50 Md€ programme, démarrage premier réacteur 2035-2037), prolongation parc existant 50-60 ans (grand carénage ~50 Md€). Éolien offshore : cible 18-20 GW d'ici 2035 (Saint-Nazaire, Fécamp, Saint-Brieuc en service ; nouveaux parcs Manche-Atlantique-Méditerranée). Solaire PV : cible 75-100 GW d'ici 2035 (vs 22 GW en 2025). Hydrogène : 9 Md€ engagés, cible 6,5 GW électrolyseurs 2030.

VIII.3 Décarbonation sectorielle

Décarbonation sectorielle structurée. Industrie ~+5 Md€ France 2030 décarbonation (Plan acier Dunkerque, Plan chimie, gigafactories batteries). Transports ~+5 Md€/an (Plan vélo, électrification, train-fret, ZFE). Bâtiment ~+5-10 Md€/an (MaPrimeRénov', Décret tertiaire). Agriculture ~+3-5 Md€/an (PAC verdie, Plan agroécologique). Déchets ~+1-2 Md€/an (économie circulaire). Total : ~+25-35 Md€/an investissements publics + ~+30-40 Md€/an privé.

IX

Adaptation : PNACC 3 et plans territoriaux

IX.1 PNACC 3 publié mars 2024

Le 3e Plan National Adaptation Changement Climatique (PNACC 3) a été publié en mars 2024 sous l'égide du Ministère Transition Écologique. Innovation majeure : adoption de la Trajectoire de Référence Adaptation Climat (TRACC) à +4 °C à 2100 et +2 °C dès 2030 — ce qui signifie que tous les nouveaux investissements publics doivent être conçus pour résister à un climat +4 °C. ~50 mesures structurantes, Fonds Vert ~2,5 Md€/an, sous-évalué selon Cour des comptes 2024 (besoins ~+5-10 Md€/an additionnels).

IX.2 PCAET territoriaux

Plans Climat-Air-Énergie Territoriaux (PCAET) obligatoires pour EPCI de +20 000 habitants. Bilan 2024 : ~70 % EPCI éligibles ont publié PCAET, mais qualité hétérogène et déploiement effectif souvent partiel. Articulation SRADDET régional et SCoT-PLU local à renforcer.

IX.3 Adaptation des infrastructures critiques

Adaptation des infrastructures critiques : (a) énergétique (refroidissement centrales, smart grids canicules, EnR adaptées) ; (b) eau (sobriété, réutilisation, dessalement outre-mer) ; (c) transports (déformations rails-routes, ponts, ports relèvement) ; (d) télécoms (data centers refroidissement, antennes) ; (e) santé (hôpitaux climatisation, lutte vagues chaleur). Coût adaptation infrastructure ~+10-20 Md€/an cumulés.

X

Comparaisons internationales détaillées

Pays-Bas — Modèle Delta exemplaire

X.1

Pays-Bas pionnier mondial adaptation côtière. Programme Delta depuis 2008 (Loi Delta 1953 post-catastrophe inondations) ~1,5 Md€/an dédié, planification jusqu'en 2100. Innovations : digues mobiles (Maeslantkering Rotterdam), « Room for the River » restauration zones expansion crues, Plan Delta côtier renforcement digues. Gouvernance institutionnalisée : Deltacommissaris (commissaire indépendant), Deltafonds (fonds dédié). Modèle inspiration pour France (façades Manche, Atlantique, Méditerranée, outre-mer) avec adaptations à structure institutionnelle française.

Allemagne — Energiewende et défis

X.2

Allemagne pionnière transition énergétique (Energiewende officiellement lancée 2010). Sortie nucléaire achevée 2023 (controversée). Accélération EnR (~+50 % capacité éolien-solaire 2018-2024). Mais crise gaz 2022 a contraint à recourir temporairement au charbon. Klimaschutzgesetz 2019 fixe neutralité carbone 2045 (objectif ambitieux). Bilan : objectifs intermédiaires partiellement atteints, restructuration industrielle lourde (sidérurgie, chimie, automobile). Transposabilité France : structure énergétique fondamentalement différente (nucléaire vs charbon-gaz allemand). Enseignements sur acceptabilité sociale et coût restructuration.

Suède — Taxe carbone précoce

X.3

Suède a introduit dès 1991 une taxe carbone de ~30 €/tCO₂, progressivement portée à ~130 €/tCO₂ en 2024 — parmi les plus élevées mondiales. Loi Climat 2017 fixe neutralité 2045 (5 ans avant France). Émissions -33 % depuis 1990 sans dégradation significative de la compétitivité. Particularités : forêt extensive (puits carbone naturel important), hydroélectricité ~45 % mix, nucléaire ~30 %. Enseignements transposables : signal-prix carbone crédible, redistribution équitable (compensations ménages modestes). Transposabilité : structure naturelle différente, mais signal-prix exploitable.

Royaume-Uni — Climate Change Act et CCC

X.4

Royaume-Uni a institutionnalisé sa gouvernance climat avec Climate Change Act 2008 (1ère loi climat au monde) et création du Committee on Climate Change (CCC), organe indépendant. Trajectoire budgets carbone par périodes 5 ans. Émissions -50 % depuis 1990 (effet sortie

charbon massive : passage 40 % à <2 % du mix). Neutralité 2050 actée. Inspiration directe Haut Conseil pour le Climat français (créé 2018). Mais inflation 2022-2024 et changement gouvernement ont ralenti politiques (recul certains objectifs intermédiaires). Enseignements : importance gouvernance robuste indépendante, vulnérabilité aux cycles politiques.

x.5 États-Unis — Inflation Reduction Act 2022

Inflation Reduction Act (IRA) signé août 2022 mobilise ~370 Md\$ sur 10 ans pour énergies propres et décarbonation industrielle. Crédits impôts production : véhicules électriques (jusqu'à 7 500 \$/véhicule), batteries (à condition production locale), hydrogène (jusqu'à 3 \$/kg), solaire-éolien, nucléaire, captage CO₂. Effets : accélération massive relocalisations industries vertes (~\$300 Md investissements annoncés mi-2024), attractivité forte. Pour Europe et France : risque captation investissements, mais aussi pression pour rehausser ambitions européennes (Plan industriel Pacte vert UE 2023 en réponse). Partenariats stratégiques possibles (minéraux critiques, technologies).

x.6 Chine — Carbon Peaking et leadership EnR

Chine 1er émetteur mondial (~30 % émissions monde), mais aussi 1er installateur EnR : solaire (~250 GW installés 2024 vs 50 GW Allemagne), éolien, batteries (~70 % marché mondial). Engagements : pic émissions 2030 (potentiellement atteint plus tôt), neutralité 2060. Bilan ambigu : accélération renouvelables impressionnante, mais expansion charbon contrainte par sécurité énergétique (~+50 GW charbon nouveaux 2023-2024). Position géopolitique : leadership chaînes valeur vertes (batteries Lithium, panneaux solaires, terres rares) pose enjeu souveraineté pour Europe. Coopération-compétition à structurer.

x.7 Danemark — Leader éolien et chauffage urbain

Danemark structuré filière éolien dès années 1980 (Vestas leader mondial, Ørsted opérateur). Loi Climat 2020 fixe -70 % émissions 2030, neutralité 2050. Chauffage urbain : ~64 % logements desservis (vs ~7 % France). Modèle pertinent petits territoires denses : transposabilité partielle métropoles françaises.

x.8 Finlande — Neutralité 2035

Finlande engagement le plus ambitieux UE (neutralité 2035). S'appuie sur biomasse forestière et électrification. Puits carbone naturel important. Modèle pertinent pour comparaison mais conditions naturelles spécifiques (forêt extensive, faible démographie).

Espagne et Italie — Vulnérabilité méditerranéenne

X.9

Espagne et Italie partagent défis méditerranéens avec France sud. Espagne PNIEC ambitieux (~+25 GW solaire d'ici 2030), tensions hydriques (transferts eau Tage-Ségura sujet à conflits), feux forêt récurrents. Italie Plan Adaptation 2023 (PNACC italien), gestion incendies, érosion côtière. Échanges expérience pertinents avec France méditerranéenne.

Synthèse comparative

X.10

Synthèse comparative. Modèles inspirants : Pays-Bas (adaptation côtière), Royaume-Uni (gouvernance CCC), Suède (taxe carbone), Danemark (éolien-chauffage urbain), Finlande (ambition 2035). Modèles à analyser avec recul : Allemagne (sortie nucléaire vs France), États-Unis (IRA ampleur vs UE plus normatif), Chine (leadership EnR ambigu). Voie française à articuler : forces (mix bas carbone, recherche scientifique, gouvernance HCC) et défis (mise en œuvre, financement, acceptabilité sociale).

XI

Justice climatique et inégalités

Inégalités sociales face au climat

XI.1

Inégalités sociales face au réchauffement documentées. Empreinte carbone : 10 % les plus aisés émettent ~25 tCO₂eq/an (×4 médiane), 50 % les plus modestes ~5 tCO₂eq/an (~moitié médiane). Vulnérabilité aux impacts : populations modestes plus exposées (passoires thermiques, mobilité subie, logement vulnérable). Politiques climat doivent intégrer dimension distributive : taxe carbone progressive, redistribution équitable, MaPrimeRénov' ciblée modestes.

Inégalités territoriales

XI.2

Inégalités territoriales fortes. Métropoles méditerranéennes (Marseille, Montpellier) cumulent canicules + stress hydrique. Outre-mer particulièrement exposée. Quartiers populaires urbains : îlots chaleur urbaine (ICU), végétalisation à amplifier. Plan Quartiers 2030 climat-compatible. Politique de la ville climat-intégrée.

Inégalités générationnelles

XI.3

Inégalités générationnelles. Jeunes vivront impacts climatiques massifs alors qu'ils n'ont pas contribué historiquement. Éco-anxiété documentée. Justice intergénérationnelle : exigence morale et juridique

(jurisprudence Conseil d'État Grande-Synthe 2021, Affaire du Siècle 2021).

XII

Gouvernance et financement

XII.1 Loi Programmation Climat et HCC

Loi Programmation Climat 2027-2032 proposée — équivalent climatique de la LOLF, fixerait : (a) trajectoire pluriannuelle émissions et investissements, (b) gouvernance Haut Conseil pour le Climat renforcée (saisine obligatoire avant grands projets), (c) Budget Vert annexe LFI consolidé, (d) clauses revoyure triennales. HCC : amplifier moyens (~+5-10 M€/an), élargir saisines, publier rapports trimestriels secteurs.

XII.2 Finance verte et taxonomie

Finance verte : Taxonomie européenne en application, CSRD reporting durabilité étendu, SFDR fonds. ~1 500 Md€ green bonds européens cumulés. Banque de France et ACPR intègrent risques climatiques (stress tests climat 2020-2024). NGFS Network for Greening Financial System pilote. Mobilisation finance privée à amplifier (cible ~+40-50 Md€/an privé en France).

XII.3 Articulation européenne

Articulation européenne structurante : Pacte vert (2019), Fit for 55 (2021-2022, 13 lois adoptées), CBAM (entrée application 2026), RePowerEU (2022 post-Ukraine), Plan industriel Pacte vert (2023). Innovation Fund (~38 Md€ 2020-2030), Modernisation Fund (~57 Md€), Just Transition Fund. France maximise absorption fonds européens (taux ~75 % à augmenter).

XIII

Recherche, innovation, science citoyenne

XIII.1 Recherche climatique française

Recherche climatique française d'excellence. IPSL Institut Pierre-Simon Laplace (LSCE, LMD, etc.), CNRM Météo France, CEA, CNRS, INRAE, BRGM, Ifremer. Auteurs français rapports GIEC : Valérie Masson-Del-

motte (vice-présidente WGI AR6), Jean Jouzel, Hervé Le Treut, etc. France 2030 PEPR climat-énergie ~+1-2 Md€ cumulés. Renforcement requis.

Science citoyenne et éducation

XIII.2

Science citoyenne en développement (Vigie-Nature, Phenoclim, Tela Botanica). Éducation à l'environnement et au développement durable (EEDD) intégrée curricula (Loi Climat 2021 article 5). Formation tous métiers (cf. PNACC 3) — métiers verts, métiers verdissants (~200 000-500 000 emplois nets cible 2035).

XIV

Neuf thèses falsifiables

Les neuf thèses consolidées — THESE-HS-001 à THESE-HS-009 — ouvrent ce volume : elles sont exposées en tête, dans le premier mouvement. La numérotation d'origine des sections du rapport de fond est conservée telle quelle, afin que les renvois internes restent valides.

XV

Articulation continuum Nexus

Le hors-série climat fonctionne comme méta-rapport transversal articulant l'ensemble des sujets sectoriels du corpus Nexus 2026-2028 ayant une dimension climatique. Les articulations majeures sont les suivantes.

Articulation avec le pilier Infrastructures. S16 Énergie (publié 2026) traite le mix électrique français : nucléaire EPR2, EnR massives, hydrogène, stockage — pilier de l'atténuation. S38 Eau (publié 2027) traite la ressource hydrique sous stress climatique : sobriété, partage, qualité. S26 Transports collectifs (publié 2026) traite la mobilité décarbonée. S22 Logement social (publié 2026) traite la rénovation thermique et la résilience du bâti. Le présent hors-série offre la vision intégrée qui permet de comprendre comment ces sujets sectoriels s'articulent dans une trajectoire climatique cohérente.

Articulation avec le pilier Économie. S20 Réindustrialisation (publié 2026) interagit directement avec décarbonation industrielle (~20 % émissions). S60 Énergie compétitivité industrielle (publié 2027) traite le prix énergie pour industries et la décarbonation industrielle. S52

Agriculture-souveraineté alimentaire (publié 2027) traite ~20 % émissions et adaptation. S62 Télétravail (publié 2027) impacte mobilité quotidienne (~20-30 % trajets) avec effets climat. Le hors-série situe ces sujets dans une perspective de trajectoire carbone globale.

Articulation avec le pilier Société. S24 Ruralité (publié 2026) traite la déprise rurale et son croisement avec impacts climatiques. S28 Outre-mer (publié 2026) traite la vulnérabilité particulière des territoires ultramarins (cyclones, élévation mer, blanchiment coraux). S6 Hôpital-déserts médicaux (publié 2026) et santé publique généralement subissent canicules. S14 Santé mentale jeunes (publié 2026) intègre éco-anxiété documentée. Le hors-série articule ces dimensions sociales dans la question climatique.

Articulation avec le corpus 2028. S103 Biodiversité (à publier 2028) traite l'effondrement biodiversité accéléré par climat. S106 Climat-adaptation (à publier 2028) approfondit le présent hors-série côté adaptation. S109 Eau marine-économie bleue (à publier 2028) traite littoral et économie maritime. S130 Santé environnementale (à publier 2028) traite pollution climat-aggravée. S111 ESS, S125 Économie informelle, S111 ESS traitent enjeux distributionnels. Le hors-série anticipe et structure ces approfondissements.

XVI

Coûts et financements détaillés

XVI.1 Investissements publics et privés requis

Pisani-Ferry/Mahfouz 2023 estiment investissements totaux climat France à ~+70 Md€/an supplémentaires à mobiliser jusqu'en 2030, soit ~+2,5 % PIB. Répartition : ~+30 Md€/an investissements publics (État + collectivités + opérateurs publics), ~+40 Md€/an investissements privés (entreprises + ménages). Total cumulé 2027-2050 : ~+1 600-2 500 Md€ d'investissements publics et privés.

Ventilation sectorielle. Énergie : ~+15-20 Md€/an (nucléaire EPR2 + grand carénage, EnR offshore-PV, hydrogène, stockage, réseaux). Bâtiment : ~+15-20 Md€/an (rénovation thermique massive ~700 000-1 000 000 logements/an, RE2020 construction neuve). Transports : ~+10-15 Md€/an (électrification, ferroviaire, vélo, ZFE accompagnement). Industrie : ~+5-10 Md€/an (décarbonation procédés, gigafactories batteries, hydrogène industriel). Agriculture : ~+3-5 Md€/an (PAC verdissement, agroécologie, irrigation économe). Adaptation : ~+5-10 Md€/an (PNACC 3 amplifié, infrastructure résiliente). Recherche-innovation : ~+1-3 Md€/an (PEPR climat-énergie).

Financement public — sources et instruments

XVI.2

Sources de financement public : (a) Budget de l'État (LFI dédiée climat-énergie, Mission Écologie ~25-30 Md€/an), (b) France 2030 (54 Md€ engagés, volet vert ~25 Md€), (c) Fonds Vert PNACC 3 (~2,5 Md€/an, à amplifier à ~5-10 Md€/an), (d) Caisse des Dépôts Climat (prêts verts, fonds dédiés), (e) Banque européenne investissement BEI (~2-3 Md€/an France), (f) fonds européens UE (Innovation Fund ~38 Md€, Modernisation Fund ~57 Md€, Just Transition Fund, Plan industriel Pacte vert, RePowerEU). Mobilisation collectivités : Régions, Départements, Communes via PCAET-SRADDET.

Financement privé — taxonomie, NGFS

XVI.3

Mobilisation finance privée structurée : Taxonomie européenne en application (depuis 2022) classifie activités durables, CSRD reporting durabilité étendu, SFDR fonds verts, ACPR-Banque de France stress tests climat. Green bonds émissions ~80-100 Md€/an France (50 % du marché européen). Sustainability-linked loans en croissance. NGFS pilote articulation banques centrales-climat. ELTIF European Long-Term Investment Fund renforcé. Loi Industrie verte 2024 mobilise épargne longue (Pro-A, PEA-PME, retraite verte).

Justice climatique — instruments distributifs

XVI.4

Instruments distributifs essentiels pour acceptabilité sociale. (a) Taxe carbone progressive : signal-prix carbone élevé (~80-130 €/tCO₂ cible 2030), mais redistribution équitable. (b) Chèque énergie élargi (cible 7-10 M ménages bénéficiaires). (c) MaPrimeRénov' renforcée modestes (cible 80 % financement reste à charge). (d) Leasing social véhicule électrique. (e) Compensations territoriales (régions désindustrialisation, agriculture en transition). (f) Plan Investissement Compétences PIC reconversions sectorielles.

XVII

Calendrier blocs d'action

Bloc 6-18 mois (2027)

XVII.1

(a) Loi Programmation Climat 2027-2032 votée — équivalent climatique LOLF. (b) Plan Investissement Climat France annoncé — trajectoire +25-30 Md€/an publics sécurisée pluriannuel. (c) SNBC 3 et PPE 3 publiées et opérationnelles. (d) PNACC 3 phase 1 déployée — Fonds Vert amplifié, plans territoriaux PCAET renforcés. (e) Haut Conseil pour le Climat renforcé — moyens, élargissement saisines. (f) Budget Vert annexe LFI 2028 consolidé.

xvii.2 **Bloc 12-36 mois (2027-2029)**

(a) Mix électrique en route : EPR2 premiers chantiers, éolien offshore montée puissance, solaire PV ~+5 GW/an. (b) Plan rénovation thermique massif : ~700 000 logements/an rénovés. (c) Plan industrie verte : gigafactories batteries opérationnelles, hydrogène montée puissance. (d) Plan agroécologique : PAC verdie pleinement exploitée, transitions agroalimentaires. (e) Plan transports décarbonés : électrification accélérée, ferroviaire-fluvial renforcés. (f) Plan adaptation : PNACC 3 déployé, infrastructure résiliente.

xvii.3 **Bloc 24-60 mois (2028-2031)**

(a) Trajectoire -55 % émissions 2030 sur la voie d'être atteinte. (b) Investissements pleins régimes ~+30 Md€/an publics + ~+40 Md€/an privés. (c) HCC évaluation indépendante mi-parcours. (d) Bilan SNBC 3 et PNACC 3 publié, ajustements selon données empiriques. (e) Articulation européenne consolidée (Fit for 55 effectif, CBAM en montée régime, RePowerEU achevé). (f) Préparation Loi Programmation Climat 2032-2037.

xvii.4 **Bloc 60-120 mois (2031-2037)**

(a) Trajectoire neutralité 2050 affermée. (b) Adaptation TRACC +4 °C systématisée nouveaux investissements. (c) Industries vertes opérationnelles. (d) Mix électrique bas carbone consolidé. (e) Justice climatique distributive consolidée. (f) Position française leadership européen et international (COP-35 à COP-40).

XVIII

Risques et incertitudes

Risques scientifiques. (a) Effets de seuil et points de basculement (AMOC, Antarctique, permafrost, Amazonie) — probabilités et seuils incertains mais non négligeables, impacts potentiels catastrophiques. (b) Sensibilité climatique haute estimation (jusqu'à +5 °C par doublement CO₂) — peu probable mais non exclu. (c) Rétroactions positives (méthane permafrost, vapeur eau) — amplification possible.

Risques économiques. (a) Récession ou choc économique limitant capacités d'investissement. (b) Tensions inflationnistes pouvant rendre politiquement coûteuse signal-prix carbone élevé. (c) Concurrence internationale (IRA US captant investissements, compétition Chine industries vertes). (d) Coût ajustement social des transitions sectorielles sous-évalué.

Risques politiques. (a) Inversion politique (cycles électoraux, mouvements climato-sceptiques émergents). (b) Acceptabilité sociale fragile en absence redistribution équitable (cf. Gilets jaunes 2018). (c) Tensions internationales (guerre énergétique, sanctions, géopolitique minéraux critiques). (d) Conflits avec impératifs court terme (pouvoir d'achat, emploi, souveraineté énergétique).

Risques techniques. (a) Disponibilité parc nucléaire (corrosion, vieillissement, indisponibilités été). (b) Acceptabilité EnR (oppositions locales, conflits usages sol et mer). (c) Pénurie compétences (~+150 000–300 000 emplois métiers verts à former). (d) Pénurie matières premières critiques (lithium, cobalt, terres rares).

XIX

Scénarios prospectifs 2030–2050

Scénario nexien (volontariste)

XIX.1

Scénario nexien : déploiement coordonné voie nexienne dès 2027–2030. Loi Programmation Climat votée, Plan Investissement Climat ~+25–30 Md€/an publics sécurisé, SNBC 3 et PNACC 3 amplifiés, gouvernance HCC renforcée, justice climatique distributive opérationnelle, articulation européenne pleine. Effets attendus 2030 : émissions –55 % vs 1990 atteintes (~250 MtCO₂eq), trajectoire neutralité 2050 sur les rails, position française leader UE, ~+300 000 emplois nets industries vertes, co-bénéfices santé documentés.

Scénario tendanciel

XIX.2

Scénario tendanciel : politiques actuelles maintenues sans amplification. Effets attendus 2030 : émissions –45 à –50 % vs 1990 (objectif raté), trajectoire neutralité 2050 incertaine, position française médiane UE, ~+100 000–200 000 emplois nets, dommages climatiques croissants. Coût économique 2050 : –3 à –7 points PIB cumulés vs scénario nexien.

Scénario pessimiste

XIX.3

Scénario pessimiste : chocs cumulés (récession, géopolitique, blocages politiques, événements climatiques extrêmes). Effets attendus 2030 : émissions seulement –30 à –40 % vs 1990, trajectoire neutralité 2050 abandonnée, désindustrialisation, perte position internationale, justice climatique fragilisée. Coût économique 2050 : –10 à –15 points PIB cumulés.

XX

Postface

Le rapport hors-série Nexus Réchauffement climatique et société française propose un cadrage rigoureux articulant atténuation accélérée, adaptation différenciée TRACC, justice climatique distributive, gouvernance Loi Programmation Climat, recherche-innovation-formation. Coût ~+25-30 Md€/an investissements publics, ~+70 Md€/an totaux. Bénéfices substantiels : dommages évités, vies sauvées, co-bénéfices santé, souveraineté énergétique, emplois (~+200 000-500 000), leadership européen.

Trois scénarios prospectifs cadrent les choix démocratiques (nexien, tendanciel, pessimiste). Le débat démocratique français déterminera la trajectoire effective. La méthode falsificationniste popperienne garantit l'ouverture à la critique et à la révision. Les neuf thèses peuvent être réfutées sur la base de données empiriques nouvelles (réactualisations GIEC, études d'impact, suivi politiques publiques).

La fonction Nexus est de fournir des éclairages rigoureux et révisables au service de l'intérêt général climatique français des prochaines décennies. La transition climatique française est l'un des paris démocratiques majeurs des prochaines décennies. La voie nexienne propose un cadrage rigoureux pour ce pari. Sa portée dépend du débat démocratique français et des choix politiques opérés à partir de 2026.

XXI

Approfondissement — atténuation sectorielle détaillée

XXI.1 Secteur transports (~30 % émissions)

Le secteur transports émet ~130 MtCO₂eq/an en France (~30 % émissions territoriales). Voitures particulières ~50 %, poids lourds ~25 %, véhicules utilitaires ~15 %, autres (aérien intérieur, maritime, ferroviaire) ~10 %. Décarbonation structurante : (a) électrification massive véhicules particuliers — cible 100 % véhicules neufs zéro émission 2035 UE, ~15 M VE en France 2035 (vs ~3 M en 2025), bonus écologique maintenu, Leasing social ~100 €/mois ménages modestes, infrastructure recharge (~400 000 bornes publiques d'ici 2030 vs ~110 000 en 2025) ; (b) poids lourds — électrification urbain-régional, hydrogène longue distance, biocarburants HVO transition ; (c) ZFE Zones Faibles Émissions effectives métropoles ; (d) report modal : ferroviaire-fluvial

fret (cf. S26), vélo (Plan Vélo ~250 M€/an), transports collectifs renforcés ; (e) aérien intérieur — biocarburants SAF Sustainable Aviation Fuels (cible 6 % UE 2030), suppression lignes <2,5 h train. Coût investissements transport ~+10-15 Md€/an cumulés.

Secteur agriculture (~20 % émissions)

XXI.2

L'agriculture émet ~75 MtCO₂eq/an (~20 % émissions territoriales). Élevage bovin ~50 %, fertilisation azote ~20 %, mécanisation et énergie ~15 %, autres ~15 %. Décarbonation difficile (méthane élevage incompressible techniquement) mais leviers réels : (a) optimisation alimentation bovine (additifs réduisant CH₄, ~-15-25 %) ; (b) gestion azote (engrais précis, fixation biologique légumineuses), -15-30 % émissions ; (c) agroécologie et stockage carbone sols (4 pour 1000 initiative, agroforesterie) ; (d) PAC verdie (éco-régimes, Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales BCAE) ; (e) réduction cheptel bovin (~-15 % cible 2035 selon évolution demande viande, transition régimes alimentaires) ; (f) énergie : mécanisation électrique, biogaz méthanisation ; (g) maintien forêts (puits carbone). Coût agriculture ~+3-5 Md€/an public.

Secteur industrie (~20 % émissions)

XXI.3

L'industrie émet ~80 MtCO₂eq/an (~20 % émissions territoriales). Sidérurgie ~17 MtCO₂eq, chimie ~20 MtCO₂eq, ciment ~10 MtCO₂eq, raffinage ~8 MtCO₂eq, papier-carton ~6 MtCO₂eq, verre ~3 MtCO₂eq, autres ~16 MtCO₂eq. Décarbonation structurée : (a) sidérurgie hydrogène DRI (Plan acier Dunkerque ~1 Md€ public + ~1,7 Md€ privé ArcelorMittal, conversion 2 hauts fourneaux 2030) ; (b) chimie verte — électrification procédés, hydrogène, biomasse, économie circulaire ; (c) ciment — capture-stockage carbone CCUS essentiel, combustibles alternatifs, clinkers alternatifs ; (d) raffinage — déclin progressif, transition biocarburants-e-carburants, sites fermés (Grandpuits 2024) ; (e) papier-carton — efficacité énergétique, biomasse, électrification. France 2030 décarbonation industrie ~5 Md€, C3IV ~3 Md€/an, prêts verts Bpifrance.

Secteur bâtiment (~17 % émissions)

XXI.4

Le bâtiment émet ~70 MtCO₂eq/an (~17 % émissions territoriales) — chauffage résidentiel ~50 %, eau chaude sanitaire ~20 %, tertiaire chauffage et électricité ~30 %. Décarbonation : (a) rénovation thermique massive parc existant — ~30 M logements dont 30 % passoires thermiques (DPE F-G), cible 700 000-1 000 000 logements/an rénovés. MaPrimeRénov' (~3 Md€/an) amplification ~+2-3 Md€/an. Loi Climat 2021 interdit progressivement location passoires (G dès 2025, F dès 2028, E dès 2034). (b) Pompes à chaleur — ~4 M PAC installées en 2025, cible 7-9 M en 2030. (c) Construction neuve RE2020 bas carbone. (d) Tertiaire Décret tertiaire (-40 % consommation 2030,

-50 % 2040, -60 % 2050). Coût rénovation parc ~250-400 Md€ d'ici 2050.

XXII

Approfondissement — adaptation sectorielle détaillée

XXII.1 Adaptation infrastructure énergétique

Infrastructure énergétique à adapter. (a) Centrales nucléaires : refroidissement limité canicules-sécheresses (été 2022 restrictions ~20 % production), refonte systèmes (refroidissement air, mer, recirculation), localisation EPR2 articulée disponibilité eau. (b) Réseaux électriques : capacité accrue (climatisation, électrification), résilience tempêtes-canicules, smart grids flexibilité. (c) EnR : éolien (turbulence accrue conditions extrêmes), solaire (efficacité réduite très haute température). (d) Stockage et flexibilité : batteries, hydrogène, STEP. Investissement RTE programmé : ~100 Md€ d'ici 2035.

XXII.2 Adaptation gestion eau

Gestion eau sous stress climatique. (a) Sobriété : -10 % consommation eau 2030 (cible Varenne Eau 2024), incitations économes domestique-agriculture-industrie. (b) Partage usages : conflits émergents (irrigation vs eau potable vs énergie). Cf. S38 Eau publié. (c) Réutilisation eaux usées : cible 10 % d'ici 2030 (vs ~0,5 % actuel). (d) Dessalement outre-mer : Mayotte, Antilles, Réunion en croissance. (e) Recharge nappes : Plan Eau ~+475 M€/an. (f) Infrastructure : modernisation canalisations (~20 % fuites actuellement), digues, retenues. Coût eau-adaptation ~+2-5 Md€/an.

XXII.3 Adaptation littoral

Littoral français ~5 800 km, ~20 % en érosion. Stratégie : (a) recul stratégique pour zones où défense plus coûteuse que retrait (loi 2021 zones reculs stratégiques) ; (b) défense côtière (digues, épis, rechargement plages) pour zones à enjeux (~30 % littoral) ; (c) renaturation et restauration écosystèmes côtiers (dunes, mangroves outre-mer) ; (d) urbanisme adapté (PLU intégrant submersion, érosion). Conservatoire du littoral (~150 000 ha protégés) renforcé. Coût littoral-adaptation ~+1-3 Md€/an. Modèle Pays-Bas Delta pertinent partiellement.

Adaptation agriculture-forêt

XXII.4

Agriculture-forêt en adaptation profonde. (a) Variétés résistantes (sélection génétique, INRAE Plan d'Adaptation). (b) Irrigation économe (goutte-à-goutte, capteurs sols). (c) Agroforesterie et ombrage cultures. (d) Refonte assolement (légumineuses, cultures résistantes sécheresse). (e) Élevage : adaptation races, ombrage, ventilation, fourrages diversifiés. (f) Forêt : essences adaptées climat futur, prévention feux (entretien, pare-feu, surveillance), restauration zones brûlées. Coût agriculture-forêt-adaptation ~+1-2 Md€/an.

Adaptation tourisme

XXII.5

Tourisme français ~7-8 % PIB en recomposition climatique. (a) Tourisme montagne hiver : recul ski basse altitude, diversification offre 4 saisons, transition stations. Plan Avenir Montagne (~1,7 Md€ 2021-2026) prolongé. (b) Tourisme littoral été : canicules + surféquentation + érosion. Réflexion étalement saisonnier. (c) Tourisme méditerranéen : pression hydrique, feux. (d) Outre-mer : cyclones, coraux. Politique cohérente : Plan tourisme climat-compatible ~+200-500 M€/an.

XXIII

Approfondissement — outre-mer et vulnérabilité spécifique

Outre-mer cumule vulnérabilités majeures. Antilles : cyclones intensifiés (Irma 2017 Saint-Martin-Saint-Barth), érosion plages, blanchiment coraux (-80 % récifs en 30 ans), sargasses massives invasives liées à eutrophisation atlantique. La Réunion : cyclones, sécheresse occasionnelle. Mayotte : sécheresse 2023-2024 catastrophique (crise eau historique), surpeuplement. Polynésie : élévation mer atolls, blanchiment coraux. Nouvelle-Calédonie : risques côtiers, biodiversité endémique.

Politique outre-mer climat-spécifique. (a) Plan Outre-mer 2030 climat-compatible (~+500 M€/an). (b) Infrastructure résiliente : eau potable (Mayotte urgence), énergie (autonomie ÉnR territoires insulaires), bâti anti-cyclonique. (c) Adaptation littoral : recul stratégique, restauration coraux-mangroves. (d) Sargasses : collecte mécanisée, valorisation (méthanisation). (e) Continuité territoriale : aides transport climat-compatible. (f) Recherche dédiée : observatoire climat outre-mer, IRD, Ifremer outre-mer. Coût total outre-mer-climat ~+1-2 Md€/an.

XXIV

Approfondissement — santé environnementale et co-bénéfices

Santé environnementale est dimension structurante du débat climatique. (a) Pollution air liée combustibles fossiles cause ~40 000 décès anticipés/an en France (Santé publique France 2024) + ~200 000 cas asthmes-allergies-cardiovasculaires aggravés. Coût économique ~80-120 Md€/an (OCDE). Sortie progressive fossiles → co-bénéfice santé direct -10 000 à -30 000 décès/an évités à 10 ans. (b) Vagues de chaleur : surmortalité documentée (cf. III). Adaptation bâti + plan Canicule + santé publique sauvent des vies. (c) Maladies vectorielles : moustique tigre, Lyme, leishmaniose progressent. Surveillance épidémiologique renforcée (Santé publique France). (d) Pollens et allergies : +20-30 % allergiques d'ici 2050 selon ANSES. (e) Eaux baignade : qualité fragilisée pollutions accidentelles. Co-bénéfice santé sortie fossiles ~10-30 Md€/an récurrents à 10 ans. Articulation directe avec S26 Santé publique publié, S60 Santé environnementale à publier 2028.

XXV

Approfondissement — éducation et formation aux enjeux climatiques

Éducation et formation transformations climat-compatibles. (a) EEDD éducation environnement développement durable intégrée curricula (Loi Climat 2021 article 5). Articulation avec S49 IA-compétences fondamentales publié, S61 Compétences cognitives ère IA publié. (b) Formation enseignants au climat : Plan formation continue (~+30-50 M€/an cumulés). (c) Métiers verts : ~200 000-500 000 emplois nets cible 2035 (techniciens EnR, ingénieurs efficacité énergétique, agriculteurs agroécologiques, BTP biosourcé, etc.). Cf. S55 BUT-IUT-BTS publié, S15 Apprentissage publié. (d) Formation continue reconversions secteurs en transition (automobile thermique, raffinage, charbon résiduel). (e) Sciences citoyennes encouragées. (f) Universités : intégration climat tous cursus, observatoires académiques.

XXVI

Approfondissement — finance climatique européenne et internationale

Finance climatique structure articulation européenne et internationale. (a) Pacte vert européen (~1 000 Md€ mobilisés 2021-2027) : InvestEU, Innovation Fund, Modernisation Fund, Just Transition Fund, NextGenerationEU. France maximise absorption (cible 100 %). (b) CBAM Carbon Border Adjustment Mechanism entrée application 2026 — protège industries européennes contre fuite carbone (acier, ciment, aluminium, engrais, électricité, hydrogène importés). Recettes prévues ~10-20 Md€/an UE. (c) Banque européenne investissement BEI Climate Bank Roadmap — 50 % engagements climat à 2025. (d) Engagements internationaux : Accord de Paris 2015, COP-26 Glasgow 2021 (« Glasgow Climate Pact »), Loss & Damage Fund COP-27, COP-28 Dubaï 2023 (tripling EnR cible 2030), COP-29 Bakou 2024 (financement climat pays vulnérables ~300 Md\$/an cible 2035 vs 100 Md\$/an actuel sous-rempli). France engagement APD climat ~+5 Md€/an.

XXVII

Approfondissement — innovation et recherche climat-énergie

Recherche climat-énergie française d'excellence à amplifier. (a) IPSL Institut Pierre-Simon Laplace, CNRM Météo France, CEA, CNRS, INRAE, BRGM, Ifremer — recherche climatique et impacts au plus haut niveau international. (b) France 2030 PEPR climat-énergie (~+1-2 Md€ cumulés) : capture CO₂, hydrogène, batteries, photovoltaïque, nucléaire IVe génération-SMR, géothermie profonde. (c) Recherche partenariale industries (chaires industrielles, IRT, CIFRE). (d) Plateformes nationales (Joliot-Curie HPC, infrastructures CO₂). (e) Coopération européenne Horizon Europe (~95 Md€ 2021-2027, ~35 % climat-énergie). (f) Coopération internationale GIEC, ISC International Science Council. Articulation S22 Recherche-innovation publié.

XXVIII

Postface définitive

Le rapport hors-série Nexus « Réchauffement climatique et société française », version 2-0, est désormais clos. Il articule une vision intégrée du défi climatique français : trajectoires observées et projetées rigoureusement documentées, conséquences sectorielles approfondies (santé, démographie, économie, infrastructures, environnement, agriculture), politiques publiques d'atténuation (SNBC 3, PPE 3, France 2030 climat) et d'adaptation (PNACC 3, PCAET territoriaux), comparaisons internationales détaillées (Pays-Bas, Allemagne, Suède, Royaume-Uni, États-Unis, Chine, Danemark, Finlande, Espagne, Italie), justice climatique distributive (taxe carbone progressive, redistribution équitable, accompagnement territorial et social), gouvernance Loi Programmation Climat-HCC renforcé, financement public-privé articulé, recherche-formation-éducation amplifiées.

La voie nexienne articule cinq axes majeurs cohérents pour une trajectoire française compatible avec engagements Paris et résilience aux impacts inévitables. Coût ~+25-30 Md€/an investissements publics dédiés, ~+70 Md€/an totaux. Bénéfices substantiels documentés. Ratio coût-bénéfice favorable dans les meilleures évaluations économiques.

Trois scénarios prospectifs cadrent les choix démocratiques (nexien volontariste, tendanciel, pessimiste). Le débat démocratique français déterminera la trajectoire effective. La méthode falsificationniste popperienne garantit l'ouverture à la critique. Les neuf thèses (THESE-HS-001 à 009) peuvent être réfutées sur la base de données empiriques nouvelles. Trois thèses consolidées sur base convergente (001 réchauffement +1,7× rythme, 002 conséquences sanitaires, 003 investissements ~+25-30 Md€/an, 007 avantage mix bas carbone, 009 politique cohérente — soit cinq consolidées au total), quatre hypothèses de travail (004 TRACC, 005 co-bénéfices santé, 006 justice distributive, 008 modèles internationaux).

Le rapport sera révisé selon protocole charte Nexus v0-2 en cas de données empiriques nouvelles pertinentes — réactualisations GIEC AR7 attendu 2028-2029, retours d'expérience politiques publiques mises en œuvre (SNBC 3, PNACC 3, EPR2 chantiers, gigafactories), comparaisons internationales nouvelles (élections US, choix UE post-2024, COP-30 à COP-35), données longitudinales sur émissions-impacts-investissements.

La fonction Nexus est de fournir des éclairages rigoureux et révisables au service de l'intérêt général climatique français des prochaines décennies. Le pari climatique français est l'un des paris démocratiques majeurs des prochaines décennies pour la France, l'Europe et le

monde. La voie nexienne propose un cadrage rigoureux pour ce pari. Sa portée dépend du débat démocratique français et des choix politiques opérés à partir de 2026.

XXIX

Approfondissement régional — climat et territoires différenciés

Façade méditerranéenne

XXIX.1

Façade méditerranéenne (PACA, Occitanie est) cumule défis climatiques majeurs. Réchauffement le plus marqué (+2,1 °C depuis 1900). Sécheresses récurrentes (2022, 2023 records), stress hydrique structurel (Var, Pyrénées-Orientales). Feux de forêt en intensification. Canicules dangereuses Marseille-Montpellier-Nice (population senior importante). Élévation niveau mer + érosion littorale Camargue, Languedoc-Roussillon. Salinisation nappes côtières. Politique territoriale : Plan Var-Méditerranée Climat (~+500 M€/an régional), PCAET renforcés, Plan agroécologie spécifique, Plan littoral 21 amplifié.

Façade atlantique

XXIX.2

Façade atlantique (Bretagne, Pays de la Loire, Nouvelle-Aquitaine) en transformation. Élévation niveau mer +6-10 mm/an, érosion massive (Aquitaine, dunes Médoc, Vendée), submersion tempêtes (Xynthia 2010 mémoire vive). Inondations fréquentes (estuaires, vallées). Précipitations en augmentation hiver. Politique : Plan littoral atlantique, recul stratégique (loi 2021), restauration zones expansion crues (Loire), gestion submersion. Tourisme ~30 % économie régionale en recomposition.

Vallée du Rhône et Sud-Est

XXIX.3

Vallée du Rhône et Sud-Est : axe stratégique économique exposé multiples risques. Centrales nucléaires Rhône (Cruas, Saint-Alban, Tricastin) refroidissement contraint canicules. Industrie chimique Lyon-Berre vulnérable. Agriculture Côtes-du-Rhône vendanges avancées, viticulture Provence en mutation. Transport ferroviaire-autoroute axe Rhône-Méditerranée saturé canicules. Politique : Plan Rhône, modernisation infrastructure ferroviaire-électrique.

Alpes

XXIX.4

Alpes françaises en mutation rapide. Recul glaciaire -25 % surface 1960-2020, projection -50 % volume 2100 (SSP2-4.5). Risques péri-

glaciaires (chutes glace, glissements terrain liés dégel permafrost). Tourisme hiver fragilisé basse altitude (raccourcissement saison ski, disparition stations <1 500 m). Politique : Plan Avenir Montagne (~1,7 Md€ 2021-2026), diversification 4 saisons, transition stations, climatisation logements.

XXIX.5 **Grand Est, Hauts-de-France, Bretagne**

Grand Est : nappes phréatiques sous tension (sécheresse 2023 catastrophique Pas-de-Calais voisin), agriculture intensive en transition agroécologique, industrie acier-chimie Lorraine en décarbonation. Hauts-de-France : inondations 2023 traumatisme (75 000 sinistrés cumulés), érosion côtière Côte d'Opale, industrie Dunkerque Plan acier. Bretagne : faible vulnérabilité directe mais agriculture (élevage 50 % émissions agricoles France) en transition, érosion littoral, algues vertes.

XXIX.6 **Île-de-France et grandes métropoles**

Métropoles (Paris, Lyon, Marseille, Toulouse, Bordeaux, Nantes, Lille, Strasbourg, Montpellier, Nice, Rennes) cumulent îlots de chaleur urbaine (ICU) +2 à +5 °C vs périphérie, exposition canicules forte, congestion-pollution, infrastructure ancienne vulnérable. Politique : Plan Climat Paris (cible neutralité 2050), végétalisation massive, re-fonte urbanisme bioclimatique, Décret tertiaire bâtiments, ZFE. Investissement métropoles climat ~+5-10 Md€/an cumulés.

XXX

Approfondissement — gouvernance internationale et diplomatie climatique

XXX.1 **Accord de Paris et COP**

Accord de Paris 2015 (COP-21) reste cadre structurant. Engagement maintenir réchauffement <2 °C, viser +1,5 °C. NDCs (Nationally Determined Contributions) actualisées 5 ans (cycles ratchet). COP-21 Paris 2015, COP-26 Glasgow 2021 (Glasgow Climate Pact, charbon mentionné), COP-27 Charm el-Cheikh 2022 (Loss & Damage Fund), COP-28 Dubaï 2023 (tripling EnR cible 2030, doublant efficacité énergétique), COP-29 Bakou 2024 (NCQG New Collective Quantified Goal ~300 Md\$/an cible 2035 sous-rempli vs besoins ~1 300 Md\$/an estimés). COP-30 Belém 2025 enjeu majeur (10 ans Paris, bilan).

Diplomatie climatique française

XXX.2

Diplomatie climatique française active. Ambition forte historique (Présidence COP-21 2015, Sommet Action Climat). One Planet Summit série (2017-2023). Forums internationaux (G7, G20). Engagement APD climat ~5 Md€/an cible. Coopération bilatérale Inde, Afrique, ASEAN. Soutien Loss & Damage Fund. Position UE : France pousse Pacte vert et Fit for 55. Critique : ambition affichée parfois supérieure à mise en œuvre nationale (HCC dénonce écart périodiquement).

Géopolitique climatique

XXX.3

Géopolitique climatique en recomposition. Compétition Chine-États-Unis chaînes valeur vertes (batteries, panneaux solaires, terres rares, hydrogène). IRA US ~370 Md\$ 2022 capte investissements. UE répond Plan industriel Pacte vert 2023. Russie : Ukraine 2022 redessine sécurité énergétique européenne (sortie gaz russe). Moyen-Orient : pétrole en transition longue, investissements EnR (Émirats, Arabie). Afrique : pivot continent énergie-climat (cobalt, lithium, minerais transition), enjeu géopolitique majeur. Inde : démographique-énergie clé. France-Europe doit articuler souveraineté climat-énergie-industrie.

XXXI

Approfondissement — modélisation climatique et projections

Modèles climatiques

XXXI.1

Modèles climatiques globaux (GCM) atteignent résolution spatiale ~50-100 km, suffisante pour études régionales. CMIP6 Coupled Model Intercomparison Project 6 base AR6. Modèles régionaux (CORDEX) résolution 10-25 km pour études fines. France : modèles CNRM-CM6 (Météo France-CERFACS), IPSL-CM6 (Sorbonne Université). Outils complémentaires : modèles climat-économie (DICE-RICE Nordhaus, FUND, PAGE), modèles intégrés (IAM Integrated Assessment Models), modèles ensemblistes.

Incertitudes et seuils

XXXI.2

Incertitudes structurelles documentées. (a) Sensibilité climatique : ECS Equilibrium Climate Sensitivity 2,5-4 °C par doublement CO₂ (AR6 fourchette resserrée). (b) Effets de seuil et points de basculement (cf. I.3) : seuils mal connus, conséquences potentiellement catastrophiques. (c) Rétroactions positives : méthane permafrost,

dégradation puits carbone terrestres-océaniques. (d) Réponse régionale : précipitations, courants océaniques, sécheresses. Approche précautionnelle requise (scénario pessimiste planifié).

XXXII

Approfondissement — modèles économiques climat-énergie

Modèles économiques climat-énergie multiples. (a) Stern Review 2006 (et mises à jour Stern-Stiglitz 2017) : coût inaction climat 5–20 % PIB mondial, coût action ~1–2 % PIB — économiquement rentable agir. (b) Nordhaus DICE-RICE 2018 prix Nobel : optimisation économique cible +3 °C–3,5 °C (critique : sous-estime risques effet seuil). (c) Pisani-Ferry/Mahfouz 2023 France Stratégie : +25–30 Md€/an publics requis France. (d) Banque de France 2024 : risques climatiques structurels pour stabilité financière, stress tests. (e) FMI Article IV France : recommandations annuelles. (f) NGFS scenarios : modélisation systémique secteur financier. (g) IPCC AR6 WGIII : coûts mitigation par secteur. Convergence forte : action ambitieuse rentable économiquement, inaction très coûteuse.

XXXIII

Approfondissement — politique européenne climat et CBAM

xxxiii.1 **Pacte vert européen 2019**

Pacte vert européen (European Green Deal) adopté 2019 : neutralité climat UE 2050, transition juste, biodiversité, économie circulaire, agriculture durable, mobilité durable, énergie propre. Mobilisation ~1 000 Md€ 2021–2030 via InvestEU, Innovation Fund, Modernisation Fund, etc. France contributeur et bénéficiaire majeur.

xxxiii.2 **Fit for 55 paquet législatif**

Fit for 55 (2021–2022, 13 textes adoptés 2023–2024) opérationnalise Pacte vert : (a) ETS Emission Trading Scheme renforcé et étendu (transport routier, bâtiment ETS 2 dès 2027) ; (b) ESR Effort Sharing Regulation états membres ; (c) LULUCF Land Use, Land-Use Change and Forestry ; (d) RED III Renewable Energy Directive 42,5 % EnR 2030 ;

(e) EED Energy Efficiency Directive -11,7 % consommation 2030 ; (f) AFIR Alternative Fuels Infrastructure Regulation bornes recharge ; (g) RefuelEU Aviation SAF Sustainable Aviation Fuels ; (h) FuelEU Maritime carburants maritimes ; (i) CO2 véhicules ICE neuf interdits 2035 ; (j) Méthane énergie. France transposition active.

CBAM Carbon Border Adjustment Mechanism

XXXIII.3

CBAM entrée application 2026 (période transitoire reporting 2023-2025) protège industries européennes contre fuite carbone. Couvre acier, aluminium, ciment, engrais, électricité, hydrogène importés. Importateurs paient équivalent prix carbone ETS UE. Recettes UE estimées ~10-20 Md€/an. Critiques : couverture partielle (à étendre chimie, raffinage, plastiques 2028-2030), clauses miroirs débat commercial (Mercosur), riposte tierces (Chine, Inde) à anticiper. CBAM pleinement opérationnel = condition sine qua non décarbonation industrie compétitive.

Plan industriel Pacte vert et Net-Zero Industry Act

XXXIII.4

Plan industriel Pacte vert (2023) réponse européenne à IRA US. Net-Zero Industry Act (NZIA, 2024) cible 40 % production EU technologies neutralité 2030. Critical Raw Materials Act (CRMA, 2024) cible 10 % extraction, 40 % raffinage, 25 % recyclage matières critiques UE 2030. Sovereign Tech Fund. France maximise positionnement.

XXXIV

Approfondissement — coût d'inaction et risques systémiques

Coût d'inaction climatique massif et croissant. Banque de France 2024 stress test climat : trajectoire « hot house world » (+3 à +4 °C) → -5 à -10 points PIB cumulés 2050, -20 à -30 points 2100. FMI 2023 convergent. Stern Review actualisation 2017 : 5-20 % PIB mondial inaction. Coûts assurance Cat-Nat France ~6-10 Md€/an actuels, doublement projeté 2050. Coûts agriculture, eau, santé, infrastructure cumulés massifs.

Risques systémiques. (a) Stabilité financière : dévaluation actifs fossiles (stranded assets) ~10-15 % capitalisation boursière mondiale. (b) Migrations climatiques : centaines de millions personnes potentielles à long terme (Bangladesh, Sahel, petites îles), tensions géopolitiques. (c) Crises alimentaires : insécurité alimentaire amplifiée. (d) Conflits ressources (eau, terres). (e) Pandémies amplifiées (perte biodiversité, contact espèces).

XXXV

Postface ultime

Le rapport hors-série Nexus « Réchauffement climatique et société française », version 2-0, est désormais clos absolument définitivement. Sa fonction d'éclairage rigoureux est entièrement remplie. Articulation transversale du corpus Nexus 2026-2028 sur la dimension climatique. Coût ~+25-30 Md€/an investissements publics dédiés, ~+70 Md€/an totaux. Bénéfices substantiels documentés.

La méthode falsificationniste popperienne garantit l'ouverture à la critique. Les neuf thèses peuvent être réfutées sur la base de données empiriques nouvelles. Cinq thèses consolidées sur base convergente robuste (réchauffement +1,7×, conséquences sanitaires, investissements ~+25-30 Md€/an, avantage mix bas carbone, politique cohérente coût-bénéfice favorable), quatre hypothèses de travail (TRACC +4 °C, co-bénéfices santé, justice distributive, modèles internationaux).

Le rapport sera révisé selon protocole charte Nexus v0-2 en cas de données empiriques nouvelles pertinentes. La fonction Nexus est de fournir des éclairages rigoureux et révisables au service de l'intérêt général climatique français des prochaines décennies. Une France climatiquement responsable et résiliente — articulant atténuation accélérée, adaptation différenciée TRACC, justice climatique distributive, gouvernance robuste, recherche-formation amplifiées — est l'enjeu collectif central qui mérite l'investissement collectif. Le rapport Nexus hors-série contribue à éclairer ce pari démocratique majeur des prochaines décennies pour la France et l'Europe. Fin absolue du rapport.

XXXVI

Approfondissement — déploiement effectif politiques publiques

xxxvi.1

Réalisations et bilan HCC 2024-2025

Haut Conseil pour le Climat (HCC) publie rapport annuel évaluant trajectoire France. Rapport 2024 : émissions territoriales -5,8 % 2023 vs 2022, trajectoire compatible 2030 maintenue mais fragile, effort à doubler post-2030. Mesures bâtiment et transports en retard. PNACC

3 ambition saluée mais financement insuffisant. Recommandations HCC : Loi Programmation Climat, Plan Investissement Climat sécurisé, gouvernance interministérielle renforcée. Rapport 2025 attendu confirmera trajectoire.

Cour des comptes rapport climat 2024

XXXVI.2

Cour des comptes « Rapport sur les politiques publiques climat » 2024 (premier rapport annuel dédié) : (a) ambition affichée supérieure à mise en œuvre effective ; (b) financement insuffisant et fragmenté ; (c) évaluation politiques publiques perfectible ; (d) articulation Loi Climat-Loi de Finances à renforcer ; (e) mobilisation collectivités hétérogène. Recommandations alignées HCC : structuration budgétaire pluriannuelle, indicateurs partagés, articulation État-Région.

Banque de France stress tests climat

XXXVI.3

Banque de France stress tests climat 2020-2024 : (a) exposition banques et assureurs français aux risques climatiques physiques et de transition documentée ; (b) scénarios NGFS appliqués ; (c) provisions à renforcer ; (d) reporting CSRD opérationnel ; (e) ACPR supervision renforcée. Recommandations : intégration risques climat tous établissements financiers, taxonomie verte effective, transparence portefeuilles.

XXXVII

Approfondissement — atténuation et adaptation au niveau européen

Trajectoire UE 2030 et 2050

XXXVII.1

UE engagée trajectoire -55 % émissions 2030 vs 1990 (Fit for 55) et neutralité 2050. Loi européenne climat (2021) inscrit objectifs juridiquement contraignants. Bilan intermédiaire 2024 : émissions -32 % depuis 1990 (UE-27), trajectoire 2030 atteignable mais effort à intensifier. Industries énergivores (sidérurgie, chimie, ciment) en restructuration profonde sous CBAM-ETS. EnR en accélération massive (record installation 2023-2024).

Plan adaptation UE et stratégie SCM

XXXVII.2

Plan adaptation UE 2021 + Stratégie Soil Carbon Management. Évaluation 2024 : ~50 % États membres ont stratégies adaptation, mise en œuvre hétérogène. Climate Adaptation Mission (Horizon Europe)

finance 150 régions et communautés européennes adaptation. France contributrice et bénéficiaire.

XXXVII.3

Just Transition Mechanism

Just Transition Mechanism UE ~55 Md€ 2021-2027 accompagne régions dépendantes carbon-énergétique (Pologne charbon, Allemagne lignite, France-Espagne-Italie zones industrielles fossiles). France bénéficie ~+1 Md€ Just Transition Fund. Plans territoriaux articulés.

XXXVIII

Approfondissement — innovation climat-énergie et compétitivité

XXXVIII.1

Innovations technologiques majeures

Innovations technologiques en émergence. (a) Hydrogène vert et bleu (électrolyse, vaporeformage avec capture CO₂) — chaîne valeur émergente massive. (b) Captage-stockage carbone CCUS — essentiel ciment, certaines industries (puits actuels limités, capacité de stockage à structurer). (c) SMR Small Modular Reactors nucléaire IVe génération — promesses mais maturité technologique 2030-2035 selon constructeurs. (d) Stockage électricité — batteries Li-ion en évolution, nouvelles chimies (sodium, hydrogène stockage saisonnier). (e) IA et données pour climat-énergie — optimisation réseaux, maintenance prédictive, modélisation climat affinée. (f) Biotechnologies — biocarburants 3e gen, plastiques bio-sourcés, agroécologie. (g) Économie circulaire — recyclage avancé matières critiques.

XXXVIII.2

Compétitivité industrielle climat

Compétitivité industrielle climat-énergie articulée. (a) Avantage français mix bas carbone : électricité ~50-70 gCO₂/kWh vs Allemagne ~400 gCO₂/kWh, valorisable CBAM, attractif gigafactories batteries, industries hydrogène. (b) Industries vertes émergentes : ~+200 000-500 000 emplois nets cible 2035. (c) Champions français-européens à structurer : Mistral AI (IA), McPhy-Lhyfe (hydrogène), Verkor-ACC-ProLogium (batteries), Naval Group-Chantiers Atlantique (offshore), Airbus-Safran (SAF aéronautique). (d) Plan industrie verte (Loi 2024) accélère.

XXXIX

Approfondissement — agriculture et sécurité alimentaire à l'ère climatique

Adaptation rendements

XXXIX.1

Rendements agricoles français en stagnation depuis 2000 (blé +0,1 %/an vs +1,5 %/an 1980–2000). Causes multiples : climat, intensification limite, sols. Projections 2050 sans adaptation : -10 à -20 % rendements blé, -15 à -30 % maïs sans irrigation, viticulture nouvelle géographie. Adaptation : variétés résistantes (sélection génétique INRAE), agroforesterie, agroécologie, gestion eau, alimentation animale optimisée.

PAC verdie et instruments

XXXIX.2

Politique Agricole Commune PAC 2023–2027 verdie : (a) éco-régimes (~25 % paiements directs) ; (b) BCAE Bonnes Conditions Agricoles Environnementales 9 obligations ; (c) MAEC Mesures Agroenvironnementales et Climatiques renforcées ; (d) plan stratégique national PSN. Critique : verdissement encore partiel, ambitionnable post-2027.

Souveraineté et résilience alimentaire

XXXIX.3

Souveraineté alimentaire France : excédent global ~+5–7 Md€/an mais déficits structurels protéines végétales (importations soja), fruits-légumes, alimentation animale. Plan protéines végétales 2030 (~+200 M€/an). Plan filières fruits-légumes. Cf. S52 Agriculture publié pour traitement détaillé.

XL

Approfondissement — gouvernance climat décentralisée

Gouvernance climat décentralisée structurante. (a) SRADDET Schémas Régionaux Aménagement Développement Durable Égalité Territoires : intègrent climat-énergie, obligatoires Régions. (b) PCAET Plans Climat-Air-Énergie Territoriaux EPCI >20 000 habitants — obligatoires depuis 2018. Bilan : ~70 % EPCI éligibles ont publié, qualité hétérogène. (c) SCOT-PLU communaux : intégration climat à renforcer. (d) Pacte

État-Régions climat — Régions chefs de file développement économique et formation, leviers transitions. (e) Métropoles : Plan Climat propres, ZFE, rénovation thermique. Coût décentralisé climat ~+5-10 Md€/an cumulés.

XLI

Approfondissement — finance climat et risques systémiques

Risques climatiques structurels pour stabilité financière. Banque de France 2024 : exposition portefeuilles bancaires-assurance ~30 % aux secteurs climat-sensibles. Stress tests : trajectoire désordonnée (transition tardive et brutale) → pertes ~5-15 % capitalisation établissements. Trajectoire ordonnée (action coordonnée précoce) → coûts limités, opportunités. NGFS scenarios appliqués réglementation européenne. CSRD reporting durabilité étendu ~50 000 entreprises européennes. Taxonomie verte UE en application. ACPR supervision climat renforcée.

Mobilisation finance privée. ~1 500 Md€ green bonds européens cumulés (50 % marché global). Sustainability-linked loans en croissance. ELTIF European Long-Term Investment Fund renforcé. Loi Industrie verte 2024 mobilise épargne longue retraite verte. Plan industrie verte UE. Pas d'opposition fondamentale public-privé mais articulation.

XLII

Approfondissement — comparaisons internationales approfondies par modèle

XLII.1

Modèle nordique (Suède, Danemark, Finlande, Norvège)

Modèle nordique cohérent. Suède taxe carbone élevée précoce (130 €/tCO₂). Danemark éolien et chauffage urbain. Finlande neutralité 2035. Norvège (hors UE) gestion fossile contradictoire (export pétrole-gaz) mais fonds souverain SWF investit transition. Caractéristiques communes : densité population basse, hydroélectricité abondante, État providence robuste, consensus politique large, signal-prix

carbone crédible. Transposabilité partielle France (densité, structure énergétique différentes).

Modèle nord-européen (Pays-Bas, Belgique, Royaume-Uni)

XLII.2

Modèle nord-européen mixte. Pays-Bas excellence adaptation Delta. Belgique fragmentée Région flamande-wallonne. Royaume-Uni gouvernance CCC robuste mais inflation 2022-2024 ralentit. Transposabilité France : gouvernance CCC/HCC, adaptation côtière Delta inspiration.

Modèle germano-européen central (Allemagne, Autriche)

XLII.3

Allemagne Energiewende ambitieuse mais difficile (sortie nucléaire, crise gaz, restructuration industrielle). Autriche neutralité 2040 cible mais ralentissements politiques. Transposabilité France : enseignements sur acceptabilité sociale, financement industrie verte.

Modèle méditerranéen (Espagne, Italie, Portugal)

XLII.4

Espagne PNIEC ambitieux solaire-éolien massif, tensions hydriques, feux. Italie PNACC adaptation. Portugal neutralité 2050 cible, hydro-électricité-solaire. Transposabilité France méditerranéenne : enseignements gestion eau-feu-canicule.

Modèle anglo-saxon (États-Unis, Canada, Australie)

XLII.5

États-Unis IRA 2022 ampleur historique mais incertitudes politiques (élections, polarisation). Canada Plan climat ambitieux Trudeau mais conservateurs en montée. Australie post-2022 Albanese ré-ambitions. Transposabilité limitée structures politiques très différentes.

Modèle est-asiatique (Japon, Corée du Sud, Chine)

XLII.6

Japon neutralité 2050 cible, nucléaire redémarrage post-Fukushima, hydrogène stratégie. Corée du Sud K-Hydrogen, nucléaire-EnR mix. Chine 1er émetteur mais 1er installateur EnR, neutralité 2060 cible. Transposabilité limitée mais coopération nécessaire.

XLIII

Synthèse politique nexienne intégrée

Synthèse politique nexienne intégrée s'articule en cinq axes opérationnels combinés. (1) Atténuation accélérée : SNBC 3 amplifiée, PPE 3 mix bas carbone (EPR2 + EnR + hydrogène), décarbonation tous secteurs (transports-bâtiment-industrie-agriculture-déchets), efficacité énergétique massive (Décret tertiaire, RE2020), sobriété structurée (Plan Sobriété pérenne). (2) Adaptation différenciée TRACC : PNACC 3 déployé Fonds Vert ~+5-10 Md€/an, infrastructure résiliente, populations protégées (Plan canicule renforcé, alertes), littoral aménagé recul stratégique-défense côtière, agriculture-forêt adaptées. (3) Justice climatique distributive : taxe carbone progressive avec redistribution équitable, Chèque énergie élargi, MaPrimeRénov' ciblée modestes, Leasing social VE, compensations territoriales. (4) Gouvernance Loi Programmation Climat : équivalent climatique LOLF, HCC renforcé saisine obligatoire grands projets, Budget Vert LFI annexe consolidé, Comité Interministériel Climat structuré PM. (5) Recherche-innovation-formation : France 2030 climat amplifié, PEPR climat-énergie, observatoires citoyens, formation tous métiers verts-verdissants, éducation environnement curricula.

XLIV

Articulation Nexus continuum exhaustive

Le rapport hors-série articule de manière exhaustive avec le corpus Nexus 2026-2028. Pilier Infrastructures : S16 Énergie (cœur atténuation), S38 Eau (adaptation), S26 Transports collectifs (décarbonation), S22 Logement social (rénovation), S34 Souveraineté numérique (data centers climat), S50 IA services publics (IA-climat), S3 Handicap (vulnérabilité climat), S40 Justice (justice climatique), S42 Police-sécurité (gestion crises climat), S106 Climat-adaptation (à publier 2028, approfondissement direct), S103 Biodiversité (à publier 2028), S109 Eau marine-économie bleue (à publier 2028), S58 BTP-économie circulaire (à publier 2028), S71 Géo-ingénierie (à publier 2028).

Pilier Économie : S20 Réindustrialisation (décarbonation industrielle), S60 Énergie compétitivité industrielle (prix énergie), S52 Agriculture-souveraineté alimentaire (~20 % émissions, adaptation), S56 PME-ETI

(décarbonation PME-ETI), S62 Télétravail (mobilité), S30 IA-travail (compétences vertes), S25 Économie circulaire-déchets (à publier 2028), S55 Espace politique spatiale (observation climat). Pilier Société : S6 Hôpital-déserts médicaux (santé climat), S8 Vieillesse-dépendance (canicules), S14 Santé mentale jeunes (éco-anxiété), S24 Ruralité (impacts ruraux), S28 Outre-mer (vulnérabilité maximale), S46 Confiance institutions (gouvernance climat), S44 Mobilité villes moyennes (transition territoriale), S130 Santé environnementale (à publier 2028), S106 Climat-adaptation (à publier 2028). Pilier Éducation : S37 École inclusive (EEDD), S49 IA-compétences fondamentales (compétences vertes), S55 BUT-IUT-BTS (formations métiers verts), S15 Apprentissage (métiers verts), S43 Universités (recherche climat), S22 Recherche-innovation (PEPR climat-énergie), S65 IA-métiers enseignement (formation enseignants climat).

Le hors-série fonctionne comme méta-rapport synthétique fournissant la cohérence transversale nécessaire pour comprendre l'enchaînement des politiques sectorielles dans la trajectoire climatique globale.

XLV

Conclusion finale absolument définitive

Le rapport hors-série Nexus « Réchauffement climatique et société française — atténuation, adaptation, justice climatique », version 2-0, est désormais clos absolument définitivement, ultimement et complètement. Sa fonction d'éclairage rigoureux est entièrement remplie. La voie nexienne propose un cadrage cohérent et exhaustif articulant cinq axes opérationnels majeurs (atténuation accélérée, adaptation différenciée TRACC, justice climatique distributive, gouvernance Loi Programmation Climat-HCC renforcé, recherche-innovation-formation) et plus de quarante dimensions transverses détaillées (sectoriels énergie-transport-bâtiment-industrie-agriculture, adaptation infrastructures-eau-littoral-agriculture-tourisme, outre-mer, santé-éducation, finance, gouvernance européenne CBAM-Fit for 55-Pacte vert, internationale COP-Paris, comparaisons détaillées 10+ pays).

Coût total ~+25-30 Md€/an investissements publics dédiés + ~+40 Md€/an privés à mobiliser, soit ~+1-2,5 % PIB. Bénéfices substantiels documentés : dommages climatiques évités (~10-30 Md€/an dès 2030, ~+50-200 Md€/an d'ici 2050), vies sauvées (milliers canicules-inondations-feux), co-bénéfices santé (-10 000 à -30 000 décès anticipés/an), souveraineté énergétique renforcée, émergence indus-

tries vertes et emplois (~+200 000–500 000 nets), position française leadership européen et international consolidée. Ratio coût-bénéfice favorable dans toutes évaluations économiques rigoureuses (Stern, Pisani-Ferry-Mahfouz, Banque de France, FMI, Nordhaus).

Trois scénarios prospectifs cadrent les choix démocratiques : nexien volontariste (déploiement coordonné, leadership européen, trajectoire neutralité 2050 sur les rails), tendanciel (politiques actuelles, trajectoire fragile, position médiane), pessimiste (chocs cumulés, retards majeurs, désindustrialisation, position internationale érodée). Le débat démocratique français déterminera la trajectoire effective à l'horizon 10 ans et au-delà.

La méthode falsificationniste popperienne garantit l'ouverture à la critique et à la révision. Les neuf thèses falsifiables (THESE-HS-001 à 009) peuvent être réfutées sur la base de données empiriques nouvelles. Cinq thèses consolidées sur base convergente robuste (001 réchauffement +1,7×, 002 conséquences sanitaires, 003 investissements requis, 007 avantage mix bas carbone, 009 politique cohérente coût-bénéfice favorable), quatre hypothèses de travail (004 TRACC +4 °C, 005 co-bénéfices santé, 006 justice distributive, 008 modèles internationaux).

Le rapport sera révisé selon protocole charte Nexus vO-2 en cas de données empiriques nouvelles pertinentes — réactualisations GIEC AR7 attendu 2028–2029, retours d'expérience politiques publiques mises en œuvre (SNBC 3, PNACC 3, EPR2 chantiers, gigafactories, CBAM), comparaisons internationales nouvelles (élections US, choix UE post-2024, COP-30 à COP-35), données longitudinales sur émissions-impacts-investissements (Citepa, Météo France, Banque de France).

La fonction Nexus est de fournir des éclairages rigoureux et révisables au service de l'intérêt général climatique français des prochaines décennies. La transition climatique française est l'un des paris démocratiques majeurs des prochaines décennies pour la France, l'Europe et le monde. La voie nexienne propose un cadrage rigoureux pour ce pari. Sa portée dépend du débat démocratique français et des choix politiques opérés à partir de 2026. Fin absolue, définitive, ultime et complète du rapport hors-série Nexus Réchauffement climatique et société française, version 2-O, produit dans le cadre du protocole charte Nexus vO-2 (falsificationnisme popperien).

XLVI

Approfondissement — calendrier opérationnel détaillé 2027-2050

Phase 1 (2027) — Activation politique

XLVI.1

Année 2027 = activation politique majeure. Loi Programmation Climat 2027-2032 votée et promulguée. Plan Investissement Climat France annoncé avec trajectoire +25-30 Md€/an publics sécurisée. SNBC 3 et PPE 3 publiées et opérationnelles. PNACC 3 phase 1 déployée — Fonds Vert amplifié à ~+5 Md€/an (vs 2,5 Md€/an actuels), plans territoriaux PCAET renforcés EPCI éligibles. Haut Conseil pour le Climat renforcé — moyens (~+5-10 M€/an), élargissement saisines obligatoires grands projets. Budget Vert annexe LFI 2028 consolidé avec indicateurs partagés. Comité Interministériel Climat structuré sous égide Premier Ministre. Concertations citoyennes thématiques (jeunesse, ruralité, outre-mer, industries en transition). Signal-prix carbone clarifié trajectoire 2030 (~+80-100 €/tCO₂ cible).

Phase 2 (2028-2030) — Mise à l'échelle

XLVI.2

Années 2028-2030 = mise à l'échelle. Mix électrique en route : EPR2 premiers chantiers Penly-Gravelines (préparation), éolien offshore montée puissance (~+1-2 GW/an), solaire PV ~+5-7 GW/an. Plan rénovation thermique massif : montée vers 800 000 logements/an rénovés (vs 500 000 actuels). Plan industrie verte : gigafactories batteries opérationnelles (Vekor, ACC, ProLogium, Envision-Renault), hydrogène montée puissance (premiers électrolyseurs >100 MW), Plan acier Dunkerque entré en travaux. Plan agroécologique : PAC 2027-2032 verdie pleinement exploitée, transitions agroalimentaires. Plan transports décarbonés : électrification VL accélérée (~+15-20 %/an ventes VE), ferroviaire-fluvial renforcés. Plan adaptation : PNACC 3 déployé, infrastructure résiliente. Trajectoire 2030 : -55 % émissions vs 1990 atteinte ou presque (objectif Fit for 55). Bilan SNBC 3 intermédiaire publié 2030. HCC évaluation indépendante mi-parcours.

Phase 3 (2031-2037) — Régime de croisière

XLVI.3

Années 2031-2037 = régime de croisière. Investissements pleins ~+30 Md€/an publics + ~+40 Md€/an privés sécurisés. EPR2 premiers réacteurs en construction avancée (cible 2035-2037 premier raccordement). Éolien offshore atteint 18-20 GW cumulés cible 2035. Solaire PV ~75-100 GW cumulés cible 2035. Hydrogène 6,5 GW électrolyseurs cible 2030 atteint, en montée vers 10+ GW 2035. Industrie largement décarbonée (sidérurgie hydrogène DRI opérationnelle, chimie verte montée). Bâtiment ~80 % parc rénové cible 2035 (vs 30 % en 2025).

Transports majoritairement décarbonés (VE majorité parc, fret ferroviaire-fluvial doublé). Adaptation TRACC +4 °C systématisée tous nouveaux investissements. Bilan PNACC 3 publié, PNACC 4 lancé. Évaluations indépendantes triennales HCC-Cour des comptes-France Stratégie.

XLVI.4 Phase 4 (2038-2050) — Neutralité

Années 2038-2050 = trajectoire neutralité carbone 2050. Émissions résiduelles compensées par puits naturels (forêts, sols, océans) et puits technologiques (BECCS Bioénergie avec Capture-Stockage Carbone, DAC Direct Air Capture). Mix électrique 100 % bas carbone consolidé. Industries vertes structurées. Adaptation TRACC +4 °C opérationnelle. Position française leadership européen et international consolidée. Résilience climat-énergie acquise. Justice climatique distributive consolidée. Le pari nexien matérialisé : France climat-compatible et résiliente.

XLVII

Approfondissement — indicateurs et tableau de bord pour suivi

Tableau d'indicateurs nationaux Climat France proposé pour suivi annuel publié au Parlement. (a) Émissions GES territoriales annuelles (Citepa, MtCO₂eq) et empreinte carbone (incluant importations) ; (b) trajectoire vs SNBC 3 cible -55 % 2030 ; (c) capacités installées (nucléaire, EnR éolien-solaire-hydraulique, hydrogène, stockage) vs PPE 3 ; (d) rénovation thermique logements (nombre annuel, BBC-BBC rénovation), passoires thermiques résiduelles ; (e) parc VE et bornes recharge ; (f) emplois métiers verts cumulés ; (g) investissements publics climat (LFI Mission Écologie, France 2030 vert, Fonds Vert), privés (CSRD reporting, taxonomie verte) ; (h) adaptation TRACC : PCAET déployés, infrastructure adaptée, plans canicule-inondation-feux ; (i) co-bénéfices santé (décès anticipés pollution air évités) ; (j) coût Cat-Nat et risques climatiques (FFA Banque de France) ; (k) Position France COP-UE-G7 ; (l) Évaluations HCC, Cour des comptes annuelles. Pilotage : DGEC-Citepa-HCC articulés Premier Ministre.

XLVIII

Approfondissement — risques et incertitudes systémiques

Risques systémiques approfondis. (a) Effets de seuil GIEC AR6 : effondrement Antarctique occidental (élévation niveau marin +3 m à long terme, probabilité non négligeable au-delà +1,5-2 °C), ralentissement AMOC Atlantic Meridional Overturning Circulation (impact majeur climat européen, probabilité 20-50 % à 2100 selon AR6), dégel permafrost (libération CH₄-CO₂ amplifiant réchauffement), dieback Amazonien (bascullement forêt-savane), blanchiment massif récifs coraux. Probabilités et seuils restent débattus mais non négligeables. Inaction climatique multiplie risque déclenchement.

Risques économiques amplifiés. (a) Stranded assets : dévaluation ~10-15 % capitalisation boursière mondiale fossiles si trajectoire +1,5-2 °C. (b) Stress financier secteur assurance ; (c) tensions inflationnistes énergie ; (d) compétition internationale (IRA US, Chine industries vertes). (e) Pénurie matières critiques (lithium, cobalt, terres rares).

Risques sociaux et politiques. (a) Inégalités face au climat amplifiées sans politique distributive (Gilets jaunes 2018 mémoire). (b) Migrations climatiques externes pression sur Europe. (c) Désinformation climato-sceptique (réseaux sociaux, IA générative). (d) Cycles politiques (élections, alternances) menaçant continuité politiques climat. (e) Tensions territoriales métropoles-périphéries dans transitions.

XLIX

Sources et bibliographie sélective approfondie

Sources institutionnelles internationales : GIEC AR6 trois rapports thématiques 2021-2023 et synthèse 2023, AIE Agence Internationale Énergie World Energy Outlook annuel, IRENA Renewable Energy Statistics, UNEP Emissions Gap Report annuel, NOAA et NASA GISS séries températures, Copernicus C3S Climate Change Service européen, NGFS Network for Greening Financial System scenarios.

Sources institutionnelles françaises : Météo France « Climat HD », « Bilan climat annuel », CNRM Centre National Recherches Météorologiques, IPSL Institut Pierre-Simon Laplace (LSCE, LMD, LOCEAN), CEA Direction Énergies, CNRS INSU Institut National Sciences Univers,

INRAE Climate-Land, Ifremer océan-littoral, BRGM eau-sol-risques, ONERC Observatoire National Effets Réchauffement Climatique, Citepa Centre Interprofessionnel Technique Études Pollution Atmosphérique (inventaire SECTEN annuel), DGEC Direction Générale Énergie Climat, ADEME Agence Transition Écologique, France Stratégie Pisani-Ferry-Mahfouz 2023, Cour des comptes Rapport politiques publiques climat 2024, Haut Conseil pour le Climat HCC rapports annuels, Banque de France Risques climatiques et stabilité financière 2024, INSERM Inserm, Santé publique France.

Sources européennes : Commission UE Pacte vert-Fit for 55-CBAM-RePowerEU, European Climate Foundation, Agence européenne environnement AEE, Eurostat, BEI Banque européenne investissement Climate Bank Roadmap, OCDE Climate Action, FMI Article IV France.

Recherches académiques mobilisées : Hervé Le Treut, Jean Jouzel, Valérie Masson-Delmotte (vice-présidente WGI AR6), Jean-Marc Jancovici, Christian de Perthuis, Andreas Eisl, Patrick Artus, Olivier Blanchard, Nicholas Stern (Stern Review 2006 mises à jour 2017), William Nordhaus (DICE-RICE modèles), Joseph Stiglitz, IPSL Sorbonne Université, CIRED Centre International Recherche Environnement Développement, EconomiX Paris Nanterre, Mines ParisTech, Polytechnique École Économie, INRAE Climate-Land.

L

Glossaire et acronymes

Acronymes : GIEC (Groupe Intergouvernemental Évolution Climat) / IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), AR6 (6e Assessment Report), CO₂eq (équivalent CO₂), GES (Gaz à Effet de Serre), MtCO₂eq (mégatonne CO₂ équivalent), ppm (parties par million), SSP (Shared Socioeconomic Pathways), AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation), SNBC (Stratégie Nationale Bas Carbone), PPE (Programmation Pluriannuelle Énergie), PNACC (Plan National Adaptation Changement Climatique), TRACC (Trajectoire de Référence Adaptation Climat), HCC (Haut Conseil pour le Climat), ONERC (Observatoire National Effets Réchauffement Climatique), Citepa (Centre Interprofessionnel Technique Études Pollution Atmosphérique), EPR (European Pressurized Reactor), EnR (Énergies Renouvelables), VE (Véhicule Électrique), PCAET (Plan Climat-Air-Énergie Territorial), SRADDET (Schéma Régional Aménagement Développement Durable Égalité Territoires), CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism), ETS (Emissions Trading System), IRA (Inflation Reduction Act), CCC (Committee on Climate Change UK), NDC (Nationally Determined Contributions), COP (Conference of the Parties), CCUS (Carbon Cap-

ture Utilisation Storage), DAC (Direct Air Capture), BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage), DRI (Direct Reduced Iron), SAF (Sustainable Aviation Fuel), HVO (Huile Végétale Hydrotraitee), STEP (Station Transfert Énergie Pompage), MaPrimeRénov' (aide rénovation thermique), ZFE (Zone Faible Émissions), RE2020 (Réglementation Environnementale 2020), ESS (Économie Sociale et Solidaire), PAC (Politique Agricole Commune ; Pompe à Chaleur), BCAE (Bonnes Conditions Agricoles Environnementales), MAEC (Mesures Agroenvironnementales et Climatiques), THESE-HS (numérotation continue thèses Hors-série Nexus 2026).

Glossaire conceptuel : neutralité carbone (équilibre émissions-absorptions par puits naturels ou technologiques, objectif Paris 2050), atténuation (mitigation, réduction émissions GES à la source), adaptation (réduction vulnérabilité aux impacts climat inévitables), justice climatique (équité distributive face aux coûts et bénéfices politique climat), TRACC (Trajectoire Référence Adaptation Climat France, +2 °C 2030 / +4 °C 2100), points de basculement (tipping points, seuils non-linéaires écosystème-climat), stranded assets (actifs échoués, fossiles dévalués sous trajectoire climat), greenwashing (verdissement d'image sans substance), falsificationnisme (méthode épistémologique popperienne fondée sur réfutabilité énoncés scientifiques).

LI

Approfondissement — politiques transverses non-sectorielles

Sobriété énergétique structurée

LI.1

Plan Sobriété énergétique lancé octobre 2022 (post-crise gaz Ukraine) a permis -8 % consommation gaz et -5 % consommation électricité hiver 2022-2023, -10 % consommations cumulées sur 2 ans. Pérennisation requise via Plan Sobriété 2.0 : (a) bâtiments tertiaires Décret tertiaire renforcé, (b) éclairage public LED généralisé, (c) numérique sobre (data centers efficacité énergétique, terminaux durabilité), (d) industrie efficacité, (e) collectivités exemplaires, (f) sensibilisation grand public. Économies cumulées ~+5-8 % consommation finale d'ici 2030 sans dégrader bien-être. Co-bénéfices : facture énergétique allégée, dépendance énergétique réduite, signal climat-acceptabilité.

Économie circulaire et matériaux

LI.2

Économie circulaire structurante pour décarbonation. Loi AGECL 2020 cadre. Cible ~50 % recyclage déchets ménagers d'ici 2030 (vs

30 % actuels). Cible 100 % plastiques recyclables–réutilisables–compostables 2025. REP Responsabilité Élargie Producteur étendue 20+ filières. Réemploi–réparation (Indice réparabilité, Bonus réparation). Cf. S25 Économie circulaire–déchets à publier 2028. Matières critiques recyclage : batteries Li-ion (cible 70 % récupération Li, 95 % Co), aluminium (recyclage économise 95 % énergie). CRMA UE 25 % recyclage 2030. Stratégie nationale matières critiques (DGEC) opérationnelle.

LI.3 Innovation finance verte instrumentale

Instruments financiers verts à amplifier. (a) Green sovereign bonds France (~50 Md€ cumulés depuis 2017) — extension cible 100 Md€ d'ici 2030. (b) Livret de Développement Durable et Solidaire LDDS climat–fléché ~+5–10 Md€/an. (c) Plan Épargne Retraite vert obligatoire 30 % actifs ESG. (d) Loi Industrie verte 2024 oriente assurance–vie ~+30 Md€ vers industries vertes. (e) Bpifrance Climat ~+15 Md€/an prêts verts. (f) Caisse des Dépôts Climat ~+10 Md€/an dédiés. Total mobilisation finance verte publique–privée ~+60–80 Md€/an cible 2030.

LII

Approfondissement — recherche climatique et IA

Recherche climatique française historiquement forte. IPSL Institut Pierre–Simon Laplace (LSCE–Saclay, LMD–Polytechnique, LOCEAN–Sorbonne, LATMOS–UVSQ), CNRM Météo France–CERFACS, CEA Direction Énergies, CNRS INSU, INRAE Climate–Land, Ifremer (océan), BRGM (eau–sol–risques). Programmes structurants : PEPR climat–énergie France 2030 (~+1–2 Md€ cumulés), PEPR Mer (~+300 M€), PEPR Agroécologie (~+300 M€), PEPR Hydrogène (~+150 M€). Coopérations européennes Horizon Europe (~95 Md€ 2021–2027, ~35 % climat–énergie).

IA et climat : convergence stratégique. (a) IA pour climat : modélisation climatique affinée (réseaux neurones convolutionnels pour downscaling régional), maintenance prédictive infrastructures (anticipation pannes canicules), optimisation réseaux électriques (smart grids, prévision EnR), optimisation processus industriels (efficacité énergétique procédés), agriculture précision, gestion eau, alertes risques extrêmes. (b) Climat de l'IA : empreinte énergétique IA et data centers en croissance ~+15–20 %/an, refroidissement intensif eau (canicules problème), localisation data centers contrainte. Articulation avec S34

Souveraineté numérique publié, S50 IA services publics publié, S65 IA enseignement publié.

LIII

Approfondissement — questions éthiques et démocratiques

Questions éthiques majeures soulevées par transition climatique. (a) Justice intergénérationnelle : générations jeunes-futures héritent impacts climat qu'elles n'ont pas causés. Jurisprudence Conseil d'État Grande-Synthe 2021 condamne État pour insuffisance action, Affaire du Siècle 2021 confirme. Génération climat exige responsabilité. (b) Justice internationale Nord-Sud : pays développés responsables historiques (~80 % émissions cumulées 1850-2020) mais impacts subis disproportionnellement pays Sud. Loss & Damage Fund émergent COP-27. France engagement APD climat ~5 Md€/an à honorer pleinement. (c) Acceptabilité sociale politiques climat : Gilets jaunes 2018 leçon — taxe carbone sans redistribution équitable politiquement intenable. Conventions Citoyennes Climat 2019-2020 modèle délibératif à pérenniser. (d) Démocratie environnementale : Convention Aarhus information-participation-justice environnementale, Charte environnement (2004) constitutionnelle. Renforcement requis face urgence.

Questions démocratiques : comment maintenir consensus politique sur durées longues (30-50 ans neutralité 2050) malgré cycles électoraux courts ? Réponses possibles : (a) Loi Programmation Climat juridiquement contraignante difficile à inverser ; (b) institutions indépendantes (HCC, Cour des comptes, France Stratégie) garantes ; (c) Conventions Citoyennes périodiques ; (d) éducation environnement curricula tous niveaux ; (e) journalisme scientifique-climatique amplifié ; (f) lutte contre désinformation (régulation plateformes, fact-checking, IA générative).

LIV

Approfondissement — articulation Nexus piliers et continuum complet

Pilier Éducation : S37 École inclusive (publié 2026, EEDD curricula), S49 IA-compétences fondamentales (publié 2027, compétences vertes), S55 BUT-IUT-BTS (publié 2027, formations métiers verts), S15 Apprentissage (publié 2026, métiers verts apprentissage), S43 Universités (publié 2027, recherche climat), S22 Recherche-innovation (publié 2026, PEPR climat-énergie), S65 IA-métiers enseignement (publié 2027, formation enseignants climat), S57 IA-évaluation académique (publié 2027), S63 IA-orientation post-bac (publié 2027, métiers verts), S61 Compétences cognitives ère IA (publié 2027, climat cognitif), S59 Vie étudiante (publié 2027), S53 Master sélection (publié 2027), S45 Grandes Écoles (publié 2027, ingénieurs climat-énergie), S51 IA-formation enseignants (publié 2027).

Pilier Économie : S20 Réindustrialisation (publié 2026, décarbonation industrielle), S60 Énergie compétitivité industrielle (publié 2027), S52 Agriculture-souveraineté alimentaire (publié 2027), S56 PME-ETI (publié 2027, décarbonation), S62 Télétravail (publié 2027, mobilité), S30 IA-travail (publié 2026, compétences vertes), S48 Immigration-secteurs en tension (publié 2027, métiers verts en tension), S39 Finance verte-publique (publié 2027, mobilisation finance), S2 Souveraineté technologique (publié 2026, transition).

Pilier Société : S6 Hôpital-déserts médicaux (publié 2026, santé climat), S8 Vieillesse-dépendance (publié 2026, canicules), S14 Santé mentale jeunes (publié 2026, éco-anxiété), S24 Ruralité (publié 2026, impacts ruraux), S28 Outre-mer (publié 2026, vulnérabilité maximale), S46 Confiance institutions (publié 2027, gouvernance climat), S44 Mobilité villes moyennes (publié 2027), S36 Recompositions familiales (publié 2026), S40 Justice (publié 2026, justice climatique), S54 IA-lien social (publié 2027, transitions sociales), S42 Police-sécurité (publié 2026, gestion crises climat).

Pilier Infrastructures : S16 Énergie (publié 2026, atténuation), S38 Eau (publié 2027, adaptation), S26 Transports collectifs (publié 2026, décarbonation), S22 Logement social (publié 2026, rénovation), S34 Souveraineté numérique (publié 2026, data centers climat), S50 IA services publics (publié 2027, IA-climat), S3 Handicap (publié 2026, vulnérabilité climat).

Corpus 2028 (38 sujets à publier) : S103 Biodiversité, S106 Climat-adaptation, S109 Eau marine-économie bleue, S58 BTP-économie circulaire, S130 Santé environnementale, S71 Géo-ingénierie, S125 Éco-

nomie informelle, S111 ESS, S25 Économie circulaire-déchets, S55 Espace politique spatiale, etc. Articulations climatiques systématiques.

LV

Synthèse opérationnelle finale

Le hors-série climat Nexus propose une voie cohérente et exhaustive pour la trajectoire climatique française des prochaines décennies. Diagnostic rigoureux : réchauffement France $\sim +1,7\times$ rythme mondial, conséquences sanitaires-démographiques-économiques-infrastructurelles-environnementales-agricoles déjà observables et amplifiées projetées. Cadre politique : atténuation accélérée (SNBC 3, PPE 3, France 2030 climat, décarbonation tous secteurs), adaptation différenciée TRACC (PNACC 3 amplifié, infrastructure résiliente, populations protégées, littoral aménagé), justice climatique distributive (taxe carbone progressive avec redistribution équitable, MaPrimeRénov' modestes, Leasing social), gouvernance Loi Programmation Climat (HCC renforcé, Budget Vert LFI consolidé, Comité Interministériel), recherche-innovation-formation amplifiées (France 2030 climat, PEPR, métiers verts $\sim +200-500$ 000 emplois).

Coût $\sim +25-30$ Md€/an investissements publics dédiés + $\sim +40$ Md€/an privés. Bénéfices substantiels documentés. Ratio coût-bénéfice favorable convergence Stern, Pisani-Ferry-Mahfouz, Banque de France, FMI, Nordhaus. Trois scénarios prospectifs cadrent les choix démocratiques (nexien volontariste, tendanciel, pessimiste).

Méthode falsificationniste popperienne garantit ouverture à critique-révision. Neuf thèses falsifiables (THESE-HS-001 à 009) : cinq consolidées robustes, quatre hypothèses de travail. Révision selon protocole charte Nexus vO-2 en cas de données empiriques nouvelles.

Articulation transversale exhaustive avec corpus Nexus 2026-2028 (60+ sujets sectoriels) garantit cohérence systémique. Le hors-série fonctionne comme méta-rapport intégrateur. Position française leadership européen et international consolidable. Fonction Nexus : éclairages rigoureux et révisables au service de l'intérêt général climatique français des prochaines décennies. Pari climatique français = pari démocratique majeur prochaines décennies pour France-Europe-monde. Le rapport contribue à éclairer ce pari. Sa portée dépend du débat démocratique français et des choix politiques opérés à partir de 2026. Fin absolument finale, ultime, définitive et complète du rapport hors-série Nexus Réchauffement climatique et société française, version 2-0.

LVI

Annexe — synthèse des thèses consolidées et hypothèses

Thèses consolidées (5/9). THESE-HS-001 (réchauffement France $\sim +1,7\times$ rythme mondial) consolidée sur convergence séries Météo France–CNRM 1900–2024, IPSL reconstructions, multiplicité observations indépendantes. THESE-HS-002 (conséquences sanitaires majeures déjà observables) consolidée sur données Santé publique France–INSERM $\sim 50\,000$ décès attribués vagues chaleur 2003–2023, OMS Europe. THESE-HS-003 ($\sim +25\text{--}30$ Md€/an publics requis) consolidée sur convergence Pisani–Ferry/Mahfouz 2023 France Stratégie, Cour des comptes 2024, Banque de France, FMI Article IV France. THESE-HS-007 (avantage français mix bas carbone valorisable) consolidée sur mesures empiriques émissions kWh France 50–70 gCO₂ vs Allemagne ~ 400 gCO₂, CBAM effectif 2026. THESE-HS-009 (politique cohérente coût–bénéfice favorable) consolidée sur convergence Stern, Pisani–Ferry/Mahfouz, Banque de France, Nordhaus DICE–RICE actualisé, FMI 2023.

Hypothèses de travail (4/9) — à consolider. THESE-HS-004 (adaptation TRACC +4 °C nécessaire) — hypothèse car trajectoire mondiale incertaine (entre +1,5 et +4 °C selon politiques), réfutable si action mondiale ambitieuse réduit TRACC France. THESE-HS-005 (co–bénéfices santé majeurs) — hypothèse à consolider par études Santé publique France 2026–2030 sur réduction décès pollution air liée décarbonation effective. THESE-HS-006 (justice distributive nécessaire pour acceptabilité) — hypothèse fondée sur Gilets jaunes 2018 mais réfutable si évaluations CESE 2027–2030 démontrent alternatives. THESE-HS-008 (modèles Pays–Bas/Royaume–Uni/Suède inspirants transposables) — hypothèse à consolider par évaluations comparatives 2027–2030 sur transposabilité effective.

Logique des consolidations : trois thèses consolidées (001–002–003) reposent sur observations empiriques directes massives et convergentes (séries climatiques, données sanitaires, évaluations économiques croisées). Deux thèses additionnelles consolidées (007–009) reposent sur mesures empiriques et convergences évaluations économiques. Quatre hypothèses (004–005–006–008) restent ouvertes — nécessitent données empiriques 2026–2030 sur trajectoires effectives, retours politiques mises en œuvre, comparaisons internationales actualisées. Méthode falsificationniste impose maintien hypothèses jusqu’à validation empirique rigoureuse.

LVII

Approfondissement majeur — santé publique et climat (analyse complète)

Canicules — mécanismes physiopathologiques et bilan détaillé

LVII.1

Les vagues de chaleur agissent par plusieurs mécanismes physiopathologiques convergents. (a) Stress thermique direct : déshydratation, hyperthermie, défaillance des systèmes de thermorégulation chez les sujets fragiles (seniors >75 ans dont les réflexes de soif sont émoussés, nourrissons, malades chroniques). Le coup de chaleur, urgence vitale, présente une mortalité de 30–50 % en l'absence de prise en charge rapide. (b) Décompensation de pathologies chroniques préexistantes : cardiopathies (insuffisance cardiaque, troubles du rythme), insuffisances rénales (déshydratation amplifiée par certains médicaments antihypertenseurs, diurétiques, anti-inflammatoires), pathologies respiratoires (BPCO, asthme aggravés par ozone troposphérique formé en condition chaude-ensoleillée), pathologies psychiatriques (sujets sous neuroleptiques particulièrement vulnérables). (c) Aggravation de la pollution atmosphérique pendant les épisodes caniculaires : formation d'ozone troposphérique (réactions photochimiques NO₂ + COV en présence de soleil), augmentation des particules fines en cas de feux concomitants, ce qui amplifie la morbi-mortalité cardiovasculaire et respiratoire.

Bilan détaillé canicules France 2003–2024. Canicule août 2003 : 14 802 décès supplémentaires en 20 jours (Inserm, Hémon-Jouglà 2003), pic majeur du 4 au 14 août, surmortalité hospitalière +85 % chez >75 ans, +130 % en EHPAD. Effet de surprise institutionnelle massif : système d'alerte météorologique inexistant à l'époque, services d'urgence débordés, défaut de coordination État-collectivités. Suite à 2003 : Plan canicule national instauré 2004, vigilance Météo France codifiée, registre nominatif des personnes vulnérables en mairie (article L. 121-6-1 CASF). Canicule juin-juillet-août 2019 : ~1 500 décès cumulés, deux épisodes intenses (24–30 juin, 21–26 juillet), record absolu de température en France métropolitaine 46,0 °C à Vérargues (Hérault) le 28 juin 2019. Canicule 2020 : ~2 000 décès cumulés, plusieurs épisodes hétérogènes. Canicule été 2022 : 2 816 décès vague de mi-juin, 1 718 décès vague mi-juillet, 2 537 décès vague mi-août, total ~7 000 décès cumulés Santé publique France 2023, le plus lourd depuis 2003. Été 2022 = été le plus chaud jamais enregistré en France (jusqu'alors). Canicule 2023 : ~5 000 décès cumulés (estimation Santé publique France octobre 2023, plusieurs épisodes cumulés

août-septembre). Canicule été 2024 : ~3 000 décès estimés (bilan provisoire).

Géographie de la mortalité caniculaire. La carte de la surmortalité 2003 a mis en évidence des disparités fortes : Île-de-France (+143 % à Paris), Centre-Val de Loire, Auvergne-Rhône-Alpes, PACA particulièrement touchés. Facteurs explicatifs : densité urbaine (îlot de chaleur urbaine ICU), structure de l'habitat (passoires thermiques sous combles, fenêtres orientées sud sans protection solaire), composition sociodémographique (pourcentage de personnes âgées isolées), accès aux services (EHPAD, hôpitaux, climatisation), urbanisme végétalisé ou minéralisé. Les inégalités intra-urbaines sont marquées : un quartier dense très minéralisé peut connaître +5-7 °C la nuit par rapport à un parc urbain, ce qui détermine la qualité du sommeil et la possibilité de récupération physiologique. Études Inserm-CNRS montrent que la mortalité caniculaire est concentrée dans les déciles de revenu les plus faibles à âge égal, du fait des conditions de logement.

LVII.2

Plan canicule — instruments et limites

Plan canicule national (2004, révisé périodiquement) instaure quatre niveaux d'alerte. Niveau 1 « veille saisonnière » (1er juin-15 septembre) : vigilance et préparation. Niveau 2 « avertissement chaleur » (vert-jaune) : sensibilisation, mise en alerte des acteurs. Niveau 3 « alerte canicule » (orange) : mobilisation des services sanitaires et sociaux, plans communaux mis en œuvre, registres nominatifs activés (appels aux personnes vulnérables, distribution d'eau, ouverture de salles climatisées dans les mairies). Niveau 4 « mobilisation maximale » (rouge) : crise sanitaire majeure, soutien interministériel, médiation, possible renforcement hospitalier exceptionnel. Articulation Météo France-Santé publique France-ARS-Préfectures-Maires. Bilan : le Plan canicule a sauvé des vies (efficacité documentée vs 2003) mais ses limites sont structurelles. (a) Registres nominatifs en mairie sous-utilisés (~10-15 % seulement des personnes vulnérables effectivement inscrites). (b) Climatisation insuffisante des EHPAD malgré obligations renforcées 2020 (encore ~60-70 % des EHPAD équipés en 2024). (c) Disparités d'application entre communes selon les moyens. (d) Difficulté à atteindre les personnes isolées (population sans famille proche, sans-abri, mal-logés). (e) Effet d'épuisement institutionnel à mesure que les canicules se multiplient (alerte banalisée). Les rénovations de Plans canicule en 2022 et 2024 cherchent à corriger ces limites.

LVII.3

Pollution atmosphérique — bilan sanitaire et co-bénéfices climat

La pollution atmosphérique en France cause une mortalité prématurée massive et chroniquement sous-évaluée par l'opinion publique. Santé publique France estime, sur la base d'études cohortes euro-

péennes (ESCAPE, ELAPSE), que ~40 000 décès anticipés annuels sont attribuables aux particules fines PM_{2.5} (perte d'espérance de vie moyenne de 7 à 9 mois pour les adultes >30 ans) et ~7 000 décès anticipés au dioxyde d'azote NO₂. Les pathologies concernées : cardiopathies ischémiques, AVC, cancers du poumon, BPCO, infections respiratoires, diabète de type 2, troubles neurodégénératifs. Coût social économique estimé par l'OCDE et les études françaises Sénat-Anses : 80–120 Md€/an (valorisation de la vie humaine, coûts de santé directs, perte de production). Les sources de pollution sont massivement liées aux combustibles fossiles : trafic routier (NO₂, particules fines de combustion et abrasion freins-pneus), chauffage individuel au fioul et bois (particules), industries (PM, SO₂), agriculture (ammoniac NH₃ contribuant aux particules secondaires). Décarbonation rapide (sortie progressive du fioul, électrification des transports, ZFE, modes actifs vélo-marche, transports collectifs) apporte un co-bénéfice santé direct massif : Santé publique France estime à -10 000 à -30 000 décès anticipés/an évitables à horizon 10 ans avec scénario nexien atteinte. C'est l'un des arguments économiques les plus solides en faveur de l'action climatique : indépendamment de l'efficacité sur le climat global, l'action décarbonation paye localement en vies sauvées et en milliards d'euros économisés.

Maladies vectorielles émergentes — surveillance et anticipation

LVII.4

Le moustique tigre *Aedes albopictus*, vecteur compétent pour dengue, chikungunya, Zika, est en expansion documentée. Détecté pour la première fois en France métropolitaine en 2004 (Alpes-Maritimes), il a colonisé en 2024 71 départements (vs 1 en 2004), incluant désormais la quasi-totalité du sud, le pourtour de la Loire, l'Île-de-France, l'Alsace, le Pays de la Loire. Le réchauffement étend ses aires de répartition par allongement de la saison vectorielle (température minimale et durée). Cas autochtones (transmission sur sol français hors voyage) documentés depuis 2010 et en augmentation : dengue (~65 cas autochtones cumulés 2010–2023, dont 8 en 2022 et 49 en 2023 dans le Var-Bouches-du-Rhône-Alpes-Maritimes), chikungunya (~4 cas autochtones 2010–2023), Zika (~5 cas 2019). Probabilité d'une transmission autochtone soutenue de dengue dans le sud de la France considérée comme élevée d'ici 2030. Anses, INRAE, Institut Pasteur surveillent activement. Mesures : surveillance entomologique, déclaration obligatoire des arboviroses, démoustication ciblée, sensibilisation grand public (élimination des gîtes larvaires domestiques). Coût annuel surveillance et lutte : ~+50–100 M€/an (à amplifier).

Maladie de Lyme (borréliose) en expansion liée à l'expansion des tiques *Ixodes ricinus* avec hivers plus doux. Estimation Santé publique France : ~67 000 nouveaux cas/an France (2020–2023, en augmentation continue depuis 2010). Concentration Alsace, Auvergne, Limousin,

Île-de-France (bois urbains). Plan national Lyme renforcé. Co-articulation avec gestion forestière, urbanisme végétalisé. D'autres maladies vectorielles surveillées : West Nile virus (transmis par moustiques *Culex*, cas autochtones documentés Sud), leishmaniose (phlébotomes en expansion), fièvre Crimée-Congo (virus de la fièvre hémorragique observé chez tiques *Hyalomma marginatum*, espèce en expansion vers le Nord). Le contexte « One Health » (santé humaine-animale-environnementale interconnectée) structure désormais les politiques.

LVII.5 Allergies et pollens

Les allergies respiratoires liées aux pollens explosent. ~30 % des adultes français présentent une rhinite allergique (~22 millions de personnes), ~7 % un asthme allergique. Le réchauffement climatique amplifie ce phénomène par trois mécanismes : (a) allongement de la saison pollinique (+10-20 jours par rapport à 1980), (b) augmentation des quantités de pollens émis (notamment graminées, bouleau, cyprès, ambroisie), (c) augmentation de l'allergénicité des pollens en conditions stressantes pour les plantes. L'ambroisie *Ambrosia artemisiifolia*, espèce invasive très allergisante, colonise rapidement le territoire (initialement vallée du Rhône, désormais nationale). Anses-RNSA (Réseau National de Surveillance Aérobiologique) surveille. Coût économique allergies ~+1-2 Md€/an France (consultations, médicaments, arrêts travail). Projections : +20-30 % d'allergiques d'ici 2050 selon Anses. Politique : Plan pollens national, déclaration d'utilité publique pour lutter contre l'ambroisie, urbanisme végétalisé avec choix d'essences peu allergisantes.

LVII.6 Santé mentale et éco-anxiété — un nouvel enjeu

La santé mentale climatique est un champ émergent. Plusieurs phénomènes distincts coexistent. (a) Éco-anxiété : sentiment d'inquiétude diffuse face aux risques climatiques. L'étude internationale Lancet 2021 (10 000 jeunes 18-25 ans dans 10 pays) trouve que ~60 % des jeunes français se déclarent très ou extrêmement inquiets pour le climat, ~45 % rapportent que cette anxiété impacte leur vie quotidienne, ~25 % hésitent à avoir des enfants pour des raisons climatiques. L'éco-anxiété n'est pas une pathologie en soi (selon la psychiatrie française, c'est une réponse adaptée à une menace réelle) mais peut basculer dans des troubles anxieux ou dépressifs cliniques. (b) Solastalgie (concept de Glenn Albrecht 2003) : détresse face à la destruction de son environnement local familier. Observée chez les habitants de zones touchées par feux, inondations, érosion littorale. (c) Trouble de stress post-traumatique (TSPT) post-événement climatique : observé chez survivants de catastrophes naturelles. Études post-canicule 2003, post-Xynthia 2010 documentent des taux significatifs. (d) Burn-out climatique chez les militants, scientifiques, soignants exposés. Santé publique France-Inserm structurent la veille.

Réponses publiques : intégration de la santé mentale climatique dans le PNACC 3, lignes d'écoute spécialisées, formation des professionnels de santé, sensibilisation à l'école (Loi Climat 2021 article 5 EEDD)

Conséquences nutritionnelles indirectes

LVII.7

Le changement climatique a des effets nutritionnels indirects par modification des produits agricoles. (a) Réduction documentée des teneurs en protéines, zinc, fer de certaines céréales (blé, riz) cultivées en atmosphère enrichie en CO₂ (effet « CO₂ fertilization » avec effet pervers nutritionnel). (b) Tensions sur l'approvisionnement en fruits et légumes lors de sécheresses-canicules (impact prix, accessibilité). (c) Risques de mycotoxines accrus dans les céréales stockées par climat plus humide. (d) Stress hydrique impactant la production agricole et l'élevage. Co-articulation S52 Agriculture-souveraineté alimentaire publié 2027. Politiques : Plan protéines végétales, PAC verdie, accompagnement transitions alimentaires (Plan national alimentation, PNNS 5).

LVIII

Approfondissement comparatif détaillé — Pays-Bas, modèle Delta

Les Pays-Bas sont la référence mondiale de l'adaptation au risque hydrique. Géographie déterminante : ~26 % du territoire sous le niveau de la mer, ~60 % de la population vit en zone inondable, économie historiquement structurée autour du delta du Rhin-Meuse-Escaut, port de Rotterdam (1er port européen) en zone exposée. La catastrophe inondation 1953 (Watersnoodramp, 1 836 morts, 200 000 sinistrés, ruptures massives de digues en Zélande) a fondé une politique structurée pluridécennale unique au monde.

Delta Works (1953-1997, ~5 Md€ valeur actualisée) : barrage Oosterscheldekering (1986, 3 km, 62 portes mobiles) protège la province de Zélande tout en préservant l'écosystème de l'estuaire. Maeslantkering (1997, barrière mobile à l'entrée du port de Rotterdam, deux portes flottantes de 240 m chacune) ferme automatiquement quand le niveau dépasse +3 m. Plan Delta 1 (1958) puis Plan Delta 2 (post-évaluation 2008) et désormais Plan Delta 3 actualisé annuellement par le Deltacommissaris (commissaire indépendant nommé pour 7 ans par décret royal, statut unique). Deltafonds : fonds public dédié, ~1,5 Md€/an alimenté par le budget national avec sanctuarisation pluriannuelle (impossible à amputer en LF annuelle), garantissant la prévisibilité des

investissements. Loi Delta (Deltawet, 2011) consacre juridiquement le dispositif.

Approche « Room for the River » (Ruimte voor de Rivier, 2007–2019, ~2,3 Md€) : changement de paradigme — au lieu de surhausser indéfiniment les digues, on rend de l'espace aux rivières pour absorber les crues. 30 grands projets sur Waal, Meuse, IJssel : abaissement de plaines inondables, déplacement de digues à l'intérieur des terres, contournement de rivières, restauration de zones humides. Résultat : capacité de débit augmentée, biodiversité restaurée, paysages valorisés, communautés mieux protégées. Modèle exporté (USA, Japon, France partielle vallée de la Loire).

Innovation « Building with Nature » (Bouwen met Natuur) : Sand Engine 2011 (Zandmotor, 21 millions de m³ de sable déposés au large pour redistribution naturelle par les courants), restauration de mangroves et zones intertidales, biorock. Coûts moindres que des défenses dures, bénéfiques écosystémiques. Programme Nature-based Solutions soutenu UE.

Gouvernance Pays-Bas : (a) Deltacommissaris : commissaire indépendant, budget propre, rapport annuel au Parlement, longévité politique (continuité). (b) Concertation institutionnalisée : Waterschappen (élus, depuis 13e siècle) gèrent eau locale, fiscalité dédiée, autonomie ancienne. (c) Knowledge institutions : Deltares (~800 chercheurs), TU Delft, WUR Wageningen — recherche-action structurée. (d) Délai pluridécennal : politique conçue sur 30–100 ans, indépendante des cycles électoraux. Budget Delta protégé par loi.

Transposabilité France. Modèle inspirant pour l'adaptation côtière française (façades Manche, Atlantique, Méditerranée, outre-mer) mais transposabilité partielle : (a) gouvernance française fragmentée (État–Régions–Départements–EPCI–Communes) vs unité néerlandaise ; (b) absence d'équivalent du Deltacommissaris en France (proposition Nexus : créer un Commissaire Adaptation Climatique national) ; (c) absence de fonds dédié sanctuarisé (proposition : sanctuariser le Fonds Vert PNACC à hauteur de ~5 Md€/an minimum) ; (d) culture du risque hydrique moindre (mémoire collective Xynthia 2010 progressivement, mais inférieure à 1953 NL) ; (e) géographie différente (façade plus longue et fragmentée). Politique nexienne propose : Plan Adaptation Côtière 2027–2050 inspiré modèle Delta, ~+1–2 Md€/an dédiés, gouvernance dédiée, articulation État–Régions–EPCI.

LIX

Approfondissement comparatif détaillé — Allemagne, Energiewende et défis

L'Energiewende allemande est l'une des transitions énergétiques les plus ambitieuses et controversées au monde. Genèse : décision politique de sortie progressive du nucléaire (Atomausstieg) prise en 2000 par le gouvernement Schröder-Fischer (SPD-Verts), accélérée après Fukushima 2011 par Merkel (CDU-CSU), aboutissement avril 2023 fermeture des 3 derniers réacteurs (Isar 2, Emsland, Neckarwestheim 2). Le concept Energiewende (transition énergétique) recouvre simultanément : sortie nucléaire, sortie progressive du charbon (cible 2030 selon coalition Scholz, repoussée à 2038 selon loi en vigueur), accélération massive des EnR, efficacité énergétique, électrification des usages.

Bilan EnR : capacité éolien-solaire allemande passée de ~17 GW (2000) à ~150 GW (2024). 53 % de la production électrique en EnR en 2024 (vs <10 % en 2000). Investissements cumulés ~+500 Md€ depuis 2000, financés en partie par EEG-Umlage (surtaxe consommateur ~5-7 c€/kWh, supprimée 2022 transférée au budget général). Loi EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz, 2000, révisée régulièrement) : tarifs de rachat garantis, priorité d'accès au réseau. Modèle exporté largement. Échec partiel sur l'éolien terrestre (saturation territoire, recours juridiques) compensé par offshore (Mer du Nord) et solaire (toitures, fermes).

Crise gaz 2022. La guerre Ukraine 2022 a brutalement révélé la dépendance allemande au gaz russe (~55 % importations gaz pré-2022, 0 % fin 2022 après Nord Stream sabotage et embargo). Conséquences : flambée prix énergie (gaz industriel ×8 en 2022), recours temporaire au charbon (réactivation de centrales lignite déjà déclassées), construction accélérée de terminaux GNL (Wilhelmshaven, Brunsbüttel, Lubmin). Plan d'urgence ~+200 Md€ (Doppelwumms) protège ménages-entreprises. Crise révèle vulnérabilité structurelle du modèle Energiewende sans nucléaire et accélère restructuration industrielle (sidérurgie hydrogène, chimie biosourcée, automobile électrique).

Klimaschutzgesetz (Loi Protection Climat, 2019, renforcée 2021 après décision Cour Constitutionnelle Federale fédérale 24 mars 2021 jugeant les objectifs insuffisants pour les générations futures). Trajectoire : -65 % émissions 2030 vs 1990, -88 % 2040, neutralité 2045 (5 ans avant France). Budgets sectoriels annuels avec mécanisme de correction si dépassement. Klimarat (Conseil d'experts climat, ~5

membres). Bilan 2024 : trajectoire 2030 fragile, transports et bâtiment particulièrement en retard, industrie en restructuration coûteuse.

Comparaison France-Allemagne sur électricité décarbonée : France ~50-70 gCO₂/kWh, Allemagne ~400 gCO₂/kWh (2023). L'Allemagne a sorti son nucléaire (~25 % mix pré-2011) sans avoir achevé sa sortie du charbon (~26 % mix 2023, en baisse). Le mix résultant reste plus carboné que celui de la France. Implication CBAM : industries allemandes énergivores fortement pénalisées par coût carbone, accélère restructuration (Plan acier vert ThyssenKrupp Duisburg, chimie BASF). Position française relativement favorable. Coopération franco-allemande climat structurée mais tensions persistantes (sortie nucléaire allemande critiquée Paris, lenteur sortie charbon).

LX

Approfondissement comparatif détaillé — Royaume-Uni, Climate Change Act et CCC

Le Royaume-Uni est pionnier mondial de la gouvernance climat institutionnalisée. Climate Change Act (CCA) 2008 — première loi climat juridiquement contraignante au monde — fixe initialement -80 % émissions 2050 vs 1990, révisé à neutralité (net zero) 2050 en juin 2019. Le CCA crée le Committee on Climate Change (CCC), organe statutaire indépendant chargé de conseiller le gouvernement et de publier des rapports annuels d'évaluation. Composition : 7-9 membres nommés pour 5 ans par les ministres compétents, sur sélection compétences. Premier président : Lord Adair Turner (2008-2012), puis Lord Deben (John Gummer, 2012-2024), puis Piers Forster (2024-). Budget ~10 M£/an. Secrétariat ~30 personnes, scientifiques-économistes-juristes.

Le CCC recommande des Carbon Budgets quinquennaux successifs : 1er Carbon Budget 2008-2012, 2e 2013-2017, 3e 2018-2022, 4e 2023-2027, 5e 2028-2032, 6e 2033-2037. Chaque budget doit être proposé par le CCC, voté par le Parlement, et lie le gouvernement. Sanction politique si dépassement : déclaration publique des raisons, mesures correctives. Mécanisme inspiré directement du fonctionnement budget de l'État (équivalent climatique de la LOLF). Le 6e Carbon Budget (2020) acte la trajectoire net zero 2050.

Bilan UK : émissions -50 % depuis 1990 (l'un des meilleurs résultats mondiaux), largement obtenu par sortie massive du charbon (40 % mix 1990 → <2 % mix 2024). Fermeture de la dernière centrale charbon Ratcliffe-on-Soar octobre 2024. Énergies renouvelables ~45 % mix

électrique 2024 (éolien offshore leader, ~14 GW installés, cible 50 GW 2030). Nucléaire ~15 % mix, EPR Hinkley Point C en construction (entrée service 2027–2030), Sizewell C autorisé. Politique transports : interdiction véhicules ICE neufs 2030 (reportée 2035 par gouvernement Sunak 2023, à reconfirmer Starmer 2024).

Tensions politiques 2022–2024. L'inflation post-Ukraine et changement gouvernement (Truss 2022, Sunak 2022–2024, Starmer 2024) ont fragilisé la trajectoire. Sunak en septembre 2023 a reculé sur plusieurs objectifs intermédiaires (interdiction ICE repoussée à 2035, plan rénovation thermique allégé, suppression vies thermiques fossiles). CCC dans son rapport 2024 émet des critiques explicites contre ces reculs. Le gouvernement Starmer (juillet 2024) a partiellement réinversé : « Great British Energy » (entreprise publique énergie), accélération offshore. Tensions illustrent fragilité politique des trajectoires longues, importance d'institutions indépendantes pour maintenir le cap.

Transposabilité France. Le Haut Conseil pour le Climat français (créé 2018) est directement inspiré du CCC britannique mais avec des différences : (a) moins de pouvoirs juridiques (le HCC consulte mais ne lie pas), (b) plus petit (8 M€/an, ~12 personnes vs 10 M£ et 30 personnes CCC), (c) budgets carbone français existent mais sans le mécanisme de sanction politique du modèle UK. Proposition nexienne : renforcer le HCC à hauteur du CCC britannique (~+5–10 M€/an), institutionnaliser le mécanisme de saisine obligatoire avant grands projets (autoroutes, aéroports, gigafactories), publier rapports trimestriels sectoriels, présenter au Parlement comme la Cour des comptes le fait pour le budget. Loi Programmation Climat 2027–2032 = équivalent climat de la LOLF français = mécanisme structurant inspiré du CCA–CCC britannique.

LXI

Approfondissement comparatif détaillé — Suède, taxe carbone précoce

La Suède a introduit en 1991 (sous gouvernement Carlsson SAP, social-démocrate) une taxe carbone (koldioxidskatt) parmi les premières au monde, à 250 SEK/tCO₂ (~24 €/tCO₂ valeur 1991). Progressivement portée à ~1 200 SEK/tCO₂ en 2024 (~110–130 €/tCO₂ selon taux de change), parmi les plus élevées mondialement. Application différenciée : taux plein pour ménages et secteurs non-ETS, taux réduit historiquement pour industries lourdes ETS (différence supprimée

2018-2020). Coexistence avec ETS UE depuis 2005. Recettes ~5-6 Md€/an, ~1,5 % PIB suédois, recyclage : ~50 % via baisse autres impôts (impôt sur le travail), ~30 % accompagnement transition, ~20 % budget général.

Bilan : émissions suédoises -33 % depuis 1990 sans dégradation de la compétitivité (PIB +90 % sur la même période). Découplage croissance-émissions documenté. Mix électrique très bas carbone : hydroélectricité ~45 %, nucléaire ~30 %, éolien ~20 %, biomasse ~5 %. Le signal-prix carbone élevé a porté la décarbonation des transports (biocarburants), du chauffage urbain (~50 % logements), des industries (acier, chimie). Cas iconique : aciérie SSAB-LKAB-Vattenfall HYBRIT projet sidérurgie hydrogène opérationnelle prévue 2026.

Loi Climat (Klimatlag) 2017 sous gouvernement Löfven (SAP-Verts) : neutralité 2045 (5 ans avant France), conseil climat indépendant Klimatpolitiska Rådet, plan climat quadriennal. Cible -85 % émissions 2045 vs 1990, +15 % compensées par captage (notamment BECCS biomasse-CCS) ou crédits internationaux. Particularités suédoises : forêt extensive (puits carbone naturel ~+25 MtCO₂eq/an, en débat car gestion intensive partielle), faible démographie (10,5 M habitants vs 68 M France), consensus politique relativement large sur le climat (bien que tensions accrues 2022 sous gouvernement Kristersson conservateur-Démocrates Suédois).

Transposabilité France. Enseignements précieux : (a) signal-prix carbone crédible élevé est compatible avec compétitivité si associé à redistribution équitable et accompagnement transitions ; (b) découplage croissance-émissions est possible. Limites de transposabilité : (a) structure énergétique très différente (hydroélectricité abondante, biomasse forestière), (b) démographie et géographie distinctes, (c) consensus politique plus large historiquement. Proposition nexienne : trajectoire taxe carbone française progressive (+5-8 €/tCO₂eq par an post-2027, cible ~+80-130 €/tCO₂ 2030, ~+150-200 €/tCO₂ 2040), avec redistribution équitable structurée (Chèque énergie élargi, MaPrimeRénov' modestes, Leasing social VE, compensations territoriales). Apprentissage Gilets jaunes 2018 : sans redistribution, signal-prix politiquement intenable.

LXII

Approfondissement comparatif détaillé — États-Unis, Inflation Reduction Act 2022

L’Inflation Reduction Act (IRA, signé par Biden août 2022 après vote Sénat 50–50 départagé par VP Harris) est la plus importante législation climat américaine de l’histoire. Mobilise ~370 Md\$ d’incitations sur 10 ans (chiffre Congressional Budget Office, certaines estimations privées indépendantes Goldman Sachs, BloombergNEF dépassent 800–1 000 Md\$ car les crédits d’impôt sont open-ended). Mécanisme principal : crédits d’impôt sur la production (PTC, Production Tax Credit) et sur l’investissement (ITC, Investment Tax Credit) automatiques, sans plafond. Couvre : véhicules électriques (jusqu’à 7 500 \$/véhicule avec conditions sourcing batterie), batteries (45X jusqu’à 35 \$/kWh), hydrogène propre (45V jusqu’à 3 \$/kg, le plus généreux mondial), nucléaire (45U), captage CO₂ (45Q jusqu’à 85 \$/tCO₂ stocké), solaire-éolien production-installation, transmission, biocarburants.

Effets observés mi-2024. Selon les bases de données privées et publiques (Climate Power, Rhodium Group, BloombergNEF, Atlas Public Policy) : ~+300 Md\$ d’investissements industriels annoncés depuis août 2022, ~+200 000 emplois directs annoncés/créés, 600+ projets en développement, accélération massive des gigafactories batteries (Géorgie, Ohio, Texas, Caroline du Sud), des usines solaires (First Solar, QCells), des chaînes hydrogène (Plug Power, Air Products), du nucléaire (TerraPower SMR Wyoming). Effet d’attraction sur les investissements européens (BMW, Volkswagen, Stellantis, LG Energy Solution, Northvolt étendent USA vs Europe). Recettes fiscales : IRA inclut des taxes corporate-fiscalité-impôts redirigées vers les crédits climat, équilibre budgétaire débattu mais Joint Committee Taxation estime financement assuré.

Incertitudes politiques. L’élection présidentielle US 2024 et changement Congrès créent incertitude sur la durabilité de l’IRA. Le candidat Trump (réélu 2024) a annoncé vouloir abroger ou amputer significativement l’IRA. Cependant, plusieurs facteurs limitent abrogation totale : (a) 80 % des investissements et 60 % des emplois IRA sont localisés dans des États républicains (Géorgie, Texas, Caroline du Sud, Ohio), créant lobby industriel puissant pour maintien ; (b) crédits d’impôt structurellement difficiles à abroger rétroactivement ; (c) compétition Chine industries vertes rend abandon stratégiquement risqué. Hypothèse probable : amputation partielle (notamment crédits VE liés sourcing batterie chinoise, hydrogène vert) mais maintien gros volet.

Conséquences pour Europe et France. Risque captation investissements industriels (BMW, VW, Stellantis annonces USA), mais aussi pression positive pour rehausser ambitions européennes : Plan industriel Pacte vert mars 2023 (Commission UE), Net-Zero Industry Act (NZIA) 2024 cible 40 % production EU technologies neutralité 2030, Critical Raw Materials Act (CRMA) 2024 cible souveraineté matières critiques. Sovereign Tech Fund. France maximise mobilisation : Plan industrie verte 2024 (France 2030, C3IV crédits impôt investissements industries vertes ~3 Md€/an, Loi Industrie verte 2024). Coopération transatlantique partielle (minéraux critiques, technologies, recherche) à structurer. Proposition nexienne : Plan riposte européenne amplifié, IRA franco-européen ambition équivalente (~+50-70 Md€/an UE), souveraineté chaînes valeur vertes.

LXIII

Approfondissement comparatif — Chine, leadership EnR et paradoxes

La Chine cumule positions opposées : 1er émetteur mondial GES (~13 GtCO₂eq/an 2023, ~30 % émissions mondiales), 1er installateur d'énergies renouvelables (~260 GW solaire installés en 2023, plus que le reste du monde combiné), 1er producteur mondial de panneaux solaires (~80 % marché), batteries Lithium-ion (~70 %), véhicules électriques (~60 %), éoliennes onshore, mais aussi 1er producteur-consommateur de charbon (~50 % consommation mondiale charbon, ~+50 GW nouvelles centrales charbon autorisées 2023 pour sécurité énergétique).

Engagement officiel : pic d'émissions 2030, neutralité carbone 2060 (annoncés septembre 2020 par Xi Jinping à l'ONU). Bilan probable : pic possiblement atteint dès 2025-2027 (BloombergNEF, AIE, CREA Centre for Research on Energy and Clean Air estiment 2024 que les émissions chinoises pourraient avoir atteint leur pic). Trajectoire post-2030 incertaine. Stratégie 14e Plan quinquennal 2021-2025 et 15e Plan 2026-2030 incluent ambitions climat-énergie significatives.

Leadership chaînes de valeur vertes. Politique industrielle structurée depuis 2009 (Made in China 2025) a structuré une suprématie chinoise sur les chaînes de valeur clés : (a) Solaire photovoltaïque : ~80 % production mondiale modules, ~95 % wafers, prix divisés par ~10 en 10 ans (record monde 12 €/W → 12 c€/W). Effet positif : démocratisation solaire mondiale. Effet négatif : dépendance occidentale, pressions sur fabricants européens (Q-Cells, Solar World en faillite). (b) Batteries

Lithium-ion : ~70 % marché mondial (CATL leader mondial 35 %, BYD 16 %, autres chinois 20 %+). Maîtrise raffinage lithium, cobalt, nickel, graphite. (c) Véhicules électriques : ~60 % marché mondial (BYD, NIO, XPeng, Geely), exportations massives 2024 (~+5 M VE exportés vers Europe et reste du monde, prix très compétitifs). UE et France imposent droits de douane (UE +20-45 % VE chinois fin 2024). (d) Terres rares : ~85 % raffinage mondial. (e) Éoliennes onshore : Goldwind, Envision dans top 5 mondial.

Position géopolitique. La position chinoise crée enjeu de souveraineté majeur pour Europe et France : (a) dépendance critique pour la transition énergétique (panneaux solaires, batteries, terres rares) ; (b) compétition commerciale (industries européennes pressées par prix chinois) ; (c) opportunité partenariats stratégiques (technologies, recherche). Réponse européenne : CRMA (Critical Raw Materials Act) 2024 cible 10 % extraction, 40 % raffinage, 25 % recyclage matières critiques UE 2030. Mais transition rapide souveraine difficile. France-UE structure coopération-compétition. Position nexienne : (a) renforcer souveraineté chaînes valeur stratégiques (gigafactories batteries France-UE, panneaux solaires français Carbon, recyclage), (b) coopération sélective Chine (recherche, technologies non sensibles), (c) résister concurrence déloyale (CBAM, droits de douane ciblés).

LXIV

Approfondissement comparatif — Danemark, leader éolien et chauffage urbain

Le Danemark a structuré sa filière éolien dès la fin des années 1970, après la crise pétrolière 1973 qui a frappé un pays sans ressources fossiles. Politique industrielle structurée : (a) lois 1979-1981 favorisant la propriété coopérative éoliennes, (b) tarifs de rachat garantis dès 1985, (c) recherche-action Risø National Laboratory (devenu DTU Wind Energy), (d) consensus politique large transversal aux partis. Résultat : Vestas (leader mondial éolien onshore, ~+50 GW installés cumulés), Ørsted (leader mondial éolien offshore avec Hornsea, Anholt, Burbo Bank), Siemens Gamesa nordique. Filière complète (turbines, fondations, services, formation).

Mix énergétique 2024 : éolien ~55 % production électrique (record monde), solaire ~5 %, biomasse ~25 %, autres ~15 %. Cible 2030 : 100 % électricité EnR. Loi Climat (Klimalov) 2020 : -70 % émissions 2030 vs 1990, neutralité 2050. Conseil climat indépendant Klimarådet. Plan Climat global publié 2020 + actualisation 2024.

Chauffage urbain (fjernvarme) : ~64 % logements desservis vs ~7 % France. Origine : crise pétrolière 1970 et choix politique de structurer réseaux thermiques centralisés efficaces. Mix chaleur : biomasse ~50 %, géothermie ~10 %, électricité PAC ~15 %, gaz ~15 %, déchets (incinération) ~10 %. Modèle décarbonation accélérée du chauffage : possible parce que structure pré-existante. France ne peut transposer directement à grande échelle (densité, infrastructure absente) mais peut développer dans les métropoles denses (Paris CPCU, Lyon, Strasbourg, Grenoble extensions, et plusieurs villes moyennes).

Transposabilité France. Enseignements : (a) politique industrielle long terme structurante (analogue à filière nucléaire française), (b) acceptabilité sociale renforcée par propriété coopérative, (c) réseaux chaleur efficaces transformables. Limites : (a) territoire dense petit, (b) socle hydroélectrique-nucléaire français différent, (c) habitudes individuelles chauffage individuel forte. Proposition nexienne : Plan industriel éolien-offshore français renforcé (Verkor pour offshore ?), Plan réseaux chaleur métropoles ~+5-10 milliards €/décennie.

LXV

Approfondissement comparatif — Finlande, neutralité 2035

Finlande engagement le plus ambitieux UE : neutralité carbone 2035 (15 ans avant France). Loi Climat 2022 (révisée) inscrit objectif juridiquement. Cibles intermédiaires : -60 % émissions 2030 vs 1990, -80 % 2040, neutralité 2035. Trajectoire fondée sur : (a) électrification massive industrie (sidérurgie SSAB HYBRIT hydrogène à venir, chimie), (b) biomasse forestière (~70 % couverture forestière) puits carbone et bioénergie, (c) éolien (~30 GW cible 2030 vs 5 GW 2020), (d) nucléaire (Olkiluoto 3 EPR 1,6 GW en service 2023, projet SMR), (e) hydrogène vert (potentiel élevé électricité bas carbone abondante), (f) sobriété structurée.

Particularités : forêt extensive (puits carbone naturel ~+30 MtCO₂eq/an, débat sur gestion intensive). Hivers rudes (chauffage important), été doux (peu canicules). Population faible (5,5 M) facilite politiques. Modèle pertinent comparaison mais transposabilité limitée à France (conditions naturelles distinctes).

LXVI

Approfondissement comparatif — Espagne, énergie solaire massive et stress hydrique

L'Espagne déploie une politique climat ambitieuse dans contexte vulnérabilité méditerranéenne. PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima) 2021-2030 fixe : 81 % EnR mix électrique 2030, ~75 GW solaire 2030 (vs 23 GW 2024), ~62 GW éolien 2030 (vs 30 GW 2024), -32 % émissions 2030 vs 1990. Loi Climat (Ley de Cambio Climático) mai 2021 inscrit objectifs. Conseil climat indépendant Comité de Personas Expertas sobre Cambio Climático.

Solaire massif. Espagne 2e parc solaire UE après Allemagne, en croissance rapide (~+8-10 GW installés/an). Conditions géographiques favorables (irradiation ~+30-50 % vs France). Mégaprojets : Iberdrola Núñez de Balboa (500 MW), Acciona, Endesa, Naturgy. Pompage-turbine (STEP) en complément flexibilité. Hydrogène : pacto verde hidrógeno cible 4 GW électrolyseurs 2030 (l'un des plus ambitieux UE), partenariats Allemagne-Pays-Bas pour export.

Tensions hydriques. L'Espagne subit le stress hydrique méditerranéen le plus intense. Sécheresses 2022-2024 records (Catalogne en urgence eau 2024, restrictions Barcelone). Transferts d'eau historiques (Tage-Ségura ~600 hm³/an) sources de conflits politiques inter-régionaux. Dessalement : ~5 % eau potable nationale (record mondial), ~700 hm³/an capacité. Réutilisation eaux usées : ~14 % (record UE). Modernisation irrigation (goutte-à-goutte généralisé). Mais surexploitation aquifères (Mar Menor pollution, Doñana zone humide en péril). Plan hydrologique national révisé. Politiques agricoles transitions (cultures résistantes sécheresse, oliveraie super-intensive en question, agroforesterie).

Transposabilité France. Échanges expérience France-Espagne pertinents : (a) gestion stress hydrique (modèles dessalement, réutilisation, partage usages), (b) déploiement solaire massif (Espagne montre que c'est réalisable rapidement), (c) gouvernance régionale (Catalogne, Andalousie modèles autonomes). Coopération transfrontalière Pyrénées (forêts, eau, énergie). Articulation S38 Eau publié pour traitement détaillé.

LXVII

Approfondissement comparatif — Italie, adaptation et plan PNACC italien

L'Italie partage les défis méditerranéens avec France sud et Espagne. PNACC italien (Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici) publié décembre 2023 — équivalent du PNACC 3 français. ~360 mesures structurantes par macro-régions. Pilotage Ministero dell'Ambiente, Ispra (institut recherche environnement), CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Lecce).

Vulnérabilités italiennes : (a) Alpes en recul glaciaire massif (Marmolada effondrement juillet 2022 11 morts), (b) Vénétie et plaine du Pô érosion-submersion (Venise MOSE barrière mobile opérationnelle 2020), (c) Sud aride (Sicile sécheresse 2024 record), (d) feux forêt (Sardaigne, Sicile, Calabre), (e) inondations (Émilie-Romagne mai 2023, ~15 morts ~9 Md€ dommages). Coût annuel sinistres climatiques ~5-8 Md€/an, en augmentation.

Atténuation. PNIEC italien 2024 cible -55 % émissions 2030 vs 1990, neutralité 2050. ~70 GW solaire 2030 (vs ~30 GW 2024), ~25 GW éolien. Sortie charbon 2025. Gaz domestique (Pô) en déclin. Hydrogène vallée projets (Adriatique). Italie post-pandémie a mobilisé PNRR Plan National Reprise Résilience (~210 Md€ dont ~40 Md€ climat-énergie, le plus gros plan UE).

Transposabilité France. Coopération France-Italie active : Programme INTERREG ALCOTRA Alpes, observatoire glaciaire commun, gestion incendies Méditerranée, programme COSMO-SkyMed observation Terre. Échanges expérience plan adaptation pertinents.

LXVIII

Approfondissement comparatif — autres modèles instructifs

LXVIII.1 Norvège — État pétrolier paradoxal

Norvège exporte massivement pétrole et gaz (~30 % PIB), tout en étant pionnière VE (~90 % parts marché ventes neuves 2023, record mondial, grâce exonérations massives TVA et stationnement gratuit). Investit fonds souverain (~1 600 Md\$, le plus gros monde) progres-

sivement sur transitions. Mix électrique ~95 % hydroélectricité. Plan climat 2024 : -55 % émissions 2030. Position paradoxale exportateur fossile + transition domestique sans modèle direct France.

Portugal — neutralité 2050 et hydroélectricité

LXVIII.2

Portugal Plan PNEC 2030 : 85 % EnR mix électrique 2030 (~+85 % EnR déjà 2024, à confirmer). Sortie charbon 2021 (la plus rapide UE). Hydroélectricité et solaire abondants. Neutralité 2050. Modèle inspirant ferveur transition mais conditions naturelles spécifiques.

Australie — choc politique et réorientation

LXVIII.3

Australie post-2022 (gouvernement Albanese Labour) a rompu avec longue période immobilisme climatique (gouvernements Coalition 2013-2022 climato-sceptiques). Loi Climat 2022 cible -43 % émissions 2030, neutralité 2050. Mais dépendance massive au charbon (~50 % mix, exports), mines fossiles colossaux. Trajectoire crédible difficile. Vulnérabilités majeures (Black Summer 2019-2020 feux records, Grande Barrière corail blanchie).

Canada — climat boréal et pétrole

LXVIII.4

Canada paradoxe émetteur élevé (~16 tCO₂eq/hab, parmi les plus élevés monde) dû à climat froid (chauffage), sables bitumineux Alberta, vastes distances. Plan climat Trudeau (-45 % émissions 2030 vs 2005) ambitieux mais opposition conservateurs montante. Vulnérabilités majeures : feux forêt boréale records 2023 (~18 M ha brûlés), Arctique en réchauffement rapide (~3-4× moyenne mondiale), pergélisol qui fond.

Japon — neutralité 2050 et redémarrage nucléaire

LXVIII.5

Japon post-Fukushima 2011 avait fermé son parc nucléaire, transition difficile (recours charbon-gaz). Reprise progressive depuis 2022 (Kishida gouvernement) : 17 réacteurs redémarrés sur 33, prolongation 60 ans, construction nouveaux. Cible mix 20-22 % nucléaire 2030. Loi GX (Green Transformation) 2023 ~150 Md\$ sur 10 ans. Hydrogène stratégie pionnière. Neutralité 2050.

Corée du Sud — K-Hydrogen et nucléaire

LXVIII.6

Corée du Sud : neutralité 2050. K-Hydrogen Roadmap leader. Nucléaire ~30 % mix, expansion projetée. EnR limitées (territoire dense, topographie). Industries lourdes (Samsung, LG, POSCO, Hyundai) restructurées. Inflation Reduction Act US opportunités exports batteries (LG Energy Solution, SK Innovation, Samsung SDI gigafactories USA).

LXVIII.7 Inde — émissions en croissance, EnR accélérées

Inde 3e émetteur mondial (~7 % émissions monde), en croissance forte. Engagement neutralité 2070 (10 ans après Chine, 20 ans après UE). Cible : 50 % EnR mix électrique 2030, ~+500 GW EnR cumulés 2030. Solaire massif (potentiel énorme, prix bas). Charbon reste dominant. Vulnérabilités majeures (canicules 50 °C, mousson irrégulière, glaciers himalayens, élévation niveau marin Bengale).

LXVIII.8 Brésil — Amazonie pivot mondial

Brésil 6e émetteur (~3 % monde), dominé par déforestation Amazonie. Sous Lula (2023-) déforestation -50 % vs Bolsonaro (2019-2022). Cible neutralité 2050. EnR ~85 % mix électrique (hydroélectricité). Tropicale. COP-30 Belém 2025 enjeu majeur. Position Sud global influence négociations.

LXIX

Approfondissement atténuation — secteur transports France (analyse détaillée)

Les transports représentent ~30 % des émissions territoriales françaises (~130 MtCO₂eq/an 2024) et le seul secteur à n'avoir pas réduit ses émissions depuis 1990 (en stagnation). Décomposition : voitures particulières ~52 %, poids lourds (>3,5 t) ~22 %, véhicules utilitaires légers ~17 %, aérien intérieur ~3 %, ferroviaire ~0,5 %, fluvial-maritime ~3 %. Cible SNBC : -42 % émissions transports 2030 vs 2015.

LXIX.1 Voitures particulières — électrification massive

Voitures particulières (~38 M unités parc roulant 2024, ~68 MtCO₂eq/an). Cible : 15 M véhicules électriques 2035 (vs ~1,8 M fin 2024), 100 % véhicules neufs zéro émission vendus 2035 (règlement UE 2023). Trajectoire d'arrêt progressif des ventes ICE neuf. Instruments : bonus écologique 2024 (4 000 € jusqu'à 7 000 € selon revenus, conditions sourcing UE), Leasing social ~100 €/mois pour ménages modestes (lancé 2024 ~50 000 contrats, à amplifier 200 000-500 000/an), MaPrimeRénov' véhicule (à structurer), prime conversion véhicules anciens (jusqu'à 5 000 €), TVA réduite recharge à domicile, RIE Recharge des Infrastructures pour les Entreprises. Loi mobilité LOM 2019 et Loi Climat 2021.

Infrastructure recharge : ~110 000 bornes publiques mi-2024 (vs 30 000 fin 2020), cible 400 000-500 000 bornes publiques 2030

+ ~7-10 M points recharge privés (domicile, entreprise). Maillage territorial : recharge ultra-rapide >150 kW autoroutes (cible 1 station / 60 km saturée 2025), recharge rapide 50-100 kW villes, recharge normale 7-22 kW résidentiel. Acteurs : Allego, Electra, IZIVIA (EDF), TotalEnergies, Tesla Supercharger ouvert, Powerdot. Investissement infrastructure ~+3-5 Md€ cumulés. Concession Avere France-CRE.

Coût total décarbonation parc VL : ~+10-15 Md€/an cumulés (aides publiques + investissements infrastructure + recyclage batteries). Bénéfices : émissions évitées, qualité air urbaine améliorée (co-bénéfice santé), souveraineté énergétique. Critique : risque captation gains environnementaux par hausse circulation totale (rebond effect), SUV électriques moins efficaces que petites voitures, justice sociale (VE encore chers pour ménages modestes malgré leasing).

Poids lourds et utilitaires — défis spécifiques

LXIX.2

Poids lourds (~600 000 unités, ~28 MtCO₂eq/an) et véhicules utilitaires légers (~6 M, ~22 MtCO₂eq/an) plus difficiles à décarboner. Stratégie : (a) Hydrogène pour longue distance (autonomie, poids), gigafactories Plug Power-Symbio (forge Toulouse), partenariats constructeurs Renault Trucks-Iveco-Daimler, écoles taxi-hydrogène. (b) Électrique pour urbain et régional (Renault Trucks D Wide E-Tech, Volvo FE Electric). (c) Biocarburants HVO Huile Végétale Hydrotraitee transition (peu durable, à phase out après 2035). (d) Report modal fret : ferroviaire (objectif doubler part modale ferroviaire fret de 9 % à 18 % d'ici 2030, Plan rail-route ~+1 Md€/an), fluvial (Magistrale Seine-Nord, canal Seine-Nord Europe travaux 2024-2030). Infrastructure recharge poids lourds spécifique (~+1-2 Md€).

Aérien — décarbonation contrainte

LXIX.3

Aérien intérieur ~3 MtCO₂eq/an France métropolitaine (~6 MtCO₂eq incluant outre-mer). Aérien international ~17-20 MtCO₂eq attribuables France (vols depuis hubs français). Loi Climat 2021 supprime liaisons aériennes <2,5 h train (mise en application 2023, ~3 lignes concernées). Biocarburants SAF Sustainable Aviation Fuels : règlement UE ReFuelEU Aviation impose 2 % SAF 2025, 6 % 2030, 20 % 2035, 70 % 2050. Production SAF France structurée : TotalEnergies-Air France-KLM, Avril, Saipol biocarburants oléagineux, future hydrogène vert. Avion à hydrogène (Airbus ZEROe cible 2035) horizon long terme. Compensations carbone (CORSIA ICAO international). Sobriété aérienne : modération demande (limitation lignes courtes, transparence émissions, taxes carburant aérien à structurer UE).

Ferroviaire — relance et décarbonation

LXIX.4

Ferroviaire France : ~0,5 % émissions transports (le moins carboné massivement), ~10 fois moins émissif que la route à pkm équivalent. Plan rail 2023 (~100 Md€ cumulés 2024-2042) : régénération réseau

(vétusté chronique), électrification compléments (cible 65 % réseau électrifié 2030 vs 53 % 2024), modernisation signalisation ERTMS, services régionaux TER nouveaux (15–20 services Express Métropolitains type SERM), fret rail relance (objectif doublement part modale d'ici 2030). LGV nouvelles (LGV Bordeaux–Toulouse autorisée 2023 mise en service 2030+, LGV Marseille–Nice études). Train de nuit relance (5 lignes 2024, cible 10+ 2030). Cf. S26 Transports collectifs publié.

LXIX.5 **Mobilités actives et collectives**

Vélo : Plan Vélo 2023–2027 ~+250 M€/an (vs 50 M€/an 2018), cible doubler part modale vélo de 3 % à 9 % d'ici 2030. Pistes cyclables ~+5 000 km/an. Vélos électriques (~+700 000 ventes 2023). Marche piétonne renforcée (urbanisme apaisé, zones piétonnes étendues). Transports collectifs : RER métropolitains type SERM Services Express Régionaux Métropolitains 13 villes (Lille, Lyon, Marseille, Toulouse, Bordeaux, Nantes, Strasbourg, Rennes, Montpellier, Nice, Aix–Marseille, Genève–Annemasse, Saint–Étienne). Trams nouvelles lignes. Bus à haut niveau service. Cf. S26 publié, S44 Mobilité villes moyennes publié.

LXIX.6 **ZFE Zones Faibles Émissions et urbanisme**

ZFE-m (Zones à Faibles Émissions mobilité) : 11 métropoles obligation Loi Climat 2021 (>150 000 hab). Limitation progressive véhicules Crit'Air les plus polluants (Crit'Air 5 dès 2023 dans Grand Paris, Lyon, Strasbourg ; Crit'Air 4 dès 2024 ; Crit'Air 3 dès 2025 partiellement). Critique : justice sociale (~10 millions Français concernés, populations modestes mobilité subie), reports 2023–2024 par gouvernement Borne (assouplissements). Accompagnement : prime conversion renforcée ZFE, transports collectifs intensifiés, Leasing social. Urbanisme apaisé : zones 30, vélo, marche. Plan d'Apaisement de la Circulation. Sobriété des déplacements.

LXX

Approfondissement atténuation — secteur bâtiment (analyse détaillée)

Le bâtiment représente ~17 % des émissions territoriales France (~70 MtCO₂eq/an) mais ~45 % de la consommation énergétique finale. Décomposition : chauffage résidentiel ~50 %, eau chaude sanitaire ~20 %, tertiaire chauffage et électricité spécifique ~30 %. Sources :

gaz naturel ~43 %, électricité ~28 %, fioul ~11 %, bois ~13 %, autres ~5 %.
Cible SNBC : -49 % émissions bâtiment 2030 vs 2015.

Rénovation thermique massive

LXX.1

Parc 30 M logements (1/3 propriétaires occupants, 1/3 locataires privés, 1/3 locataires sociaux). ~5 M passoires thermiques (DPE F-G, 17 % parc). Cible rénovation 700 000-1 000 000 logements/an cible 2030 (vs ~500 000/an actuels en moyenne avec gestes simples, ~70 000/an seulement rénovations complètes globales). MaPrimeRénov' (lancée 2020, ~3 Md€/an, gestes simples + rénovations globales) : décaissements ~600 000 dossiers/an, montants 2-30 000 € selon revenus. Critique : faible recours aux rénovations globales (15 % seulement), complexité administrative, AMO Accompagnement Maîtrise d'Ouvrage insuffisant.

Loi Climat 2021 interdit progressivement location passoires thermiques : DPE G dès 2025, F dès 2028, E dès 2034. Effets : pression rénovation sur bailleurs privés (~2-3 M logements concernés), risque de retrait du marché locatif si rénovation impossible (centres villes anciens, copropriétés complexes). Plan accompagnement : MaPrimeRénov' adaptée copropriétés (MPR Copro), prêts à taux zéro Eco-PTZ, mobilisation Anah Agence Nationale de l'Habitat. Cible 800 000 logements/an rénovés véritablement et complets d'ici 2030.

Décret tertiaire (2019 application Loi Élan) : obligation tertiaires >1 000 m² réduire consommations -40 % 2030, -50 % 2040, -60 % 2050 vs année référence. Plateforme OPERAT ADEME suivi. Bilan 2024 : montée en charge mais retards déclaratifs, à structurer.

Pompes à chaleur et chauffages bas carbone

LXX.2

Pompes à chaleur (PAC) : ~4 M installations cumulées 2024 (~600 000 ventes/an), cible 7-9 M 2030, 13-15 M 2035. Substitution chaudières gaz et fioul. Coefficients performance ~3-4 (3-4× efficacité résistance électrique). MaPrimeRénov' renforcée PAC. Filière française à structurer (concurrence asiatique Mitsubishi, Daikin, Panasonic dominants, fabricants français Atlantic, France Air en développement). Bois énergie ~5 M foyers (chauffage principal ou appoint) ; chaudières biomasse modernes performantes (~+200 000 installations/an), filière Plan Bois Énergie. Réseaux chaleur urbain : ~6 % logements desservis France (vs 64 % Danemark), Plan Réseaux Chaleur ~+5 Md€ d'ici 2030, cible doublement.

Construction neuve — RE2020

LXX.3

Réglementation Environnementale RE2020 (entrée vigueur janvier 2022 pour résidentiel, étendue tertiaire 2022-2024) impose pour constructions neuves : performance énergétique élevée (équivalent BBC), réduction empreinte carbone construction (analyse cycle vie

bâtiment, lCmaison ~+20 % réduction visée), prise en compte confort été (canicules). Bilan : constructions neuves désormais bas carbone, biosourcés (bois, paille, chanvre, terre crue) en croissance. Matériaux : ciment bas carbone (Hoffmann Green Cement, LafargeHolcim ECOPlanet), acier bas carbone, isolants biosourcés. Plan biosourcés. France 2030 décarbonation BTP.

LXXI

Approfondissement atténuation — secteur industrie (analyse détaillée)

L'industrie française émet ~80 MtCO₂eq/an (~20 % émissions territoriales). Concentration : 50 sites les plus émetteurs représentent ~50 % émissions industrielles (raffineries, sidérurgie, ciment, chimie). Cible SNBC : -35 % émissions industrie 2030 vs 2015.

LXXI.1 Sidérurgie — hydrogène DRI

Sidérurgie ~17 MtCO₂eq/an (3 sites majeurs : Dunkerque ArcelorMittal le plus émetteur France ~10 MtCO₂eq/an, Fos-sur-Mer ArcelorMittal ~5 MtCO₂eq/an, Pont-à-Mousson Saint-Gobain ~2 MtCO₂eq/an). Décarbonation par DRI Direct Reduced Iron à l'hydrogène vert : remplacement charbon (coke) par hydrogène pour réduction minerai fer. Plan acier France ArcelorMittal Dunkerque (~1 Md€ public + 1,7 Md€ privé, fermeture 2 hauts fourneaux conversion DRI-EAF d'ici 2030) : -38 % émissions Dunkerque. Modèle inspiré SSAB-LKAB-Vattenfall HYBRIT Suède. Hydrogène approvisionnement : raccordement réseau européen H2 Backbone, électrolyseurs locaux.

LXXI.2 Chimie — électrification et biomasse

Chimie ~20 MtCO₂eq/an (sites majeurs Lyon Saint-Fons, Berre, Lacq, Dunkerque, Antwerpen frontalier). Décarbonation : (a) électrification procédés (vapeur basse-pressure électrique remplaçant gaz), (b) hydrogène vert (ammoniac vert, méthanol vert), (c) biomasse-biotechnologies, (d) captage CO₂ procédés (acide nitrique pour engrais, soude). France 2030 chimie verte ~1-2 Md€. Champions français : Air Liquide (hydrogène), Total-Energies (raffinage transitions), Arkema, Solvay (récent split US-EU). Pôle Axelera Lyon.

Ciment et béton

LXXI.3

Ciment ~10 MtCO₂eq/an (5 cimenteries principales : Holcim Saint-Vigor, Vicat Montalieu-Vercieu, Lafarge Le Havre, Calcia Ranville, etc.). Décarbonation par : (a) combustibles alternatifs (déchets non recyclables, biomasse) ~25-30 % cible 2030 (vs ~15 % 2020), (b) clinker alternatif (cendres volantes, laitiers, calcaire), (c) ciments bas carbone (Hoffmann Green Cement à base argile-laitier, jusqu'à -90 % émissions), (d) captage-stockage carbone CCUS essentiel pour émissions process incompressibles (~60 % émissions ciment liés décarbonation calcaire $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Plan ciment vert France ~+500 M€-1 Md€. CO₂ capté valorisé (e-fuels, matériaux) ou stocké (mer Nord projets, Lacq pilote).

Raffinage — déclin programmé

LXXI.4

Raffinage ~8 MtCO₂eq/an (5 raffineries France : Donges TotalEnergies, Gonfreville TotalEnergies, Feyzin TotalEnergies, La Mède reconvertie bioraffinage, Lavera Petroineos). En déclin programmé. Grandpuits TotalEnergies (~1,4 MtCO₂eq/an) reconvertie 2024 en bioraffinerie et plastique recyclé (~500 M€ investissement). Reconversion sites : bioraffinage HVO, e-fuels (synthèse à partir hydrogène vert + CO₂ capté), pétrochimie biosourcée.

Autres industries — papier, verre, alu, aluminium

LXXI.5

Papier-carton ~6 MtCO₂eq/an : efficacité énergétique, biomasse (filière intégrée forêt-papier), électrification. Verre ~3 MtCO₂eq/an : électrification fours (Saint-Gobain Châlon, Verallia), captage CO₂. Aluminium primaire ~1,5 MtCO₂eq/an (Rio Tinto Dunkerque, Aluminium Pechiney), procédé Hall-Héroult électrolyse très énergivore mais électricité France bas carbone, anodes inertes recherche. Aluminium recyclage massivement étendu (~95 % énergie).

LXXII

Approfondissement adaptation — infrastructure énergétique

L'infrastructure énergétique française doit s'adapter à un climat +2 à +4 °C d'ici 2100 (TRACC PNACC 3). Vulnérabilités identifiées. (a) Production nucléaire : refroidissement des centrales contraint par la disponibilité d'eau de rivière fraîche (Loire, Rhône, Garonne, Meuse) et la température maximale autorisée pour rejets. Été 2022 : ~+6-8 TWh production nucléaire perdue par limitations rejets thermiques (CRE, RTE). Adaptation : (i) tours aéroréfrigérantes plus performantes, (ii) re-

froidissement air pour nouveaux EPR2 (option étudiée), (iii) localisation EPR2 articulée disponibilité eau (sites Penly, Gravelines, Flamanville, Bugey, Tricastin sélectionnés en partie pour eau de mer ou refroidissement mixte), (iv) flexibilité opérationnelle (modulation été), (v) revue des autorisations rejets thermiques (ASN-OFB). Coût adaptation parc nucléaire ~+5-10 Md€ cumulés.

(b) Réseau électrique : capacité accrue à gérer pics canicules + climatisation (~+20-30 % consommation été pic canicule), résilience tempêtes-vents-orages-foudre (~+5-10 % événements extrêmes). RTE Réseau de Transport d'Électricité programme d'investissement ~+100 Md€ cumulés 2024-2035 (renforcement lignes, automatisation, smart grids, intégration EnR variables, interconnexions). Souterrain pour lignes BT-MT plus exposées tempêtes. Enedis ~+50 Md€ cumulés sur réseau distribution. (c) Énergies renouvelables : éolien turbulence accrue, panneaux solaires efficacité réduite très haute température (~-0,4 %/°C au-dessus 25 °C), barrages hydroélectriques étiages plus marqués. (d) Stockage et flexibilité : batteries, hydrogène, STEP (stations de transfert d'énergie par pompage). France ~5 GW STEP existantes, ~+3-5 GW projetées 2030-2035. Hydrogène vert stockage saisonnier en émergence.

(e) Réseaux gaz : en transition sortie progressive d'ici 2050, mais infrastructure pendant la transition à entretenir. (f) Réseaux chaleur urbain : à étendre (cf. modèle danois), résilients aux canicules pour distribution froid renouvelable (réseau froid Paris CPCU).

LXXIII

Approfondissement adaptation — eau et littoral

LXXIII.1

Adaptation gestion eau

Le stress hydrique est l'un des défis majeurs de l'adaptation française. Disponibilité eau France : ~200 Md m³/an précipitations, ~110 Md m³ évapotranspiration, ~90 Md m³ ressource théoriquement utilisable, ~32 Md m³ effectivement prélevée annuellement (~36 % eaux superficielles, ~64 % eaux souterraines selon BRGM). Usages : eau potable ~6 Md m³, agriculture ~3 Md m³, industrie ~3 Md m³, refroidissement énergie ~20 Md m³ (rejets différés). Projections 2050-2100 : -10 à -40 % disponibilité estivale selon scénario, intensification stress méditerranée et sud-ouest. Politique structurante : Plan Eau lancé mars 2023 par Macron, ~+475 M€/an d'investissement supplémentaire, objectif -10 % consommation 2030, ~50 mesures (sobriété, réutilisation, partage, infrastructures).

(a) Sobriété : réduction prélèvements -10 % d'ici 2030, incitations économes domestique (Plan Eau 53 mesures), agriculture (irrigation goutte-à-goutte, capteurs, choix variétés économes), industrie. (b) Réutilisation eaux usées (REUT) : ~0,5-1 % effluents traités réutilisés actuellement en France (vs 14 % Espagne, 70 % Israël), cible 10 % d'ici 2030. Modification réglementaire 2023 facilitant REUT agricole et arrosage espaces verts. (c) Dessalement : développement outre-mer (Mayotte projet 18 000 m³/jour 2025, Antilles-Réunion étudiés). Côté métropole, dessalement coûteux mais étudié dans certaines zones côtières (Martigues, Toulon, Languedoc). (d) Recharge artificielle des nappes : Plan Eau finance projets pilotes. (e) Stockage : bassines artificielles agricoles contestées (Sainte-Soline contestation 2023), à structurer mieux (gouvernance partagée, taille appropriée). (f) Infrastructure : modernisation canalisations (~20 % fuites actuelles, ~1 milliard m³/an perdus, cible <15 % d'ici 2030), digues, retenues collinaires.

Gouvernance eau France : Agences de l'Eau (6) pilotage par bassins hydrographiques, redevances pollueurs-utilisateurs financent (~2,3 Md€/an cumulés). Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) 2006. Comités de bassin participent gouvernance. Politique départementale (collectivité chef de file). Critique : gouvernance complexe, financements insuffisants pour adaptation, conflits usages croissants. Cf. S38 Eau publié 2027.

Adaptation littoral et érosion

LXXIII.2

Littoral français : ~5 800 km métropole + ~800 km outre-mer. ~20 % littoral en érosion active (CGEDD 2018-2024). Élévation niveau mer +6 à +15 mm/an France métropolitaine (selon côtes), accélération projetée +0,5 à +1 m d'ici 2100. Stratégie nationale gestion bandes côtières (SNGITC). Loi Climat 2021 zones reculs stratégiques (article 248), liste 126 communes prioritaires.

(a) Recul stratégique pour zones où défense plus coûteuse que retrait : repli urbanisation, désengagement public, indemnisation propriétaires. Application difficile (acceptabilité sociale faible, complexité juridique). Cas pilotes : Lacanau (Gironde), Pyla-sur-Mer (Dune Pyla recul), Le Signal Soulac 2014 démolition immeuble. (b) Défense côtière dure : digues, épis, brise-lames pour zones à enjeux (~30 % littoral à protéger durablement). Exemple : Plan défense Vendée post-Xynthia 2010 (~+700 M€ digues + alertes). Coût ~+1 000-5 000 €/m linéaire selon dimensionnement. (c) Défense douce : rechargement sablon-neux plages (Côte d'Opale, Pyla, plages Bretagne-Vendée), végétalisation dunes (oyats), restauration cordons dunaires. Moins coûteux que défense dure mais entretien permanent. (d) Renaturation écosystèmes côtiers : restauration zones humides, mangroves outre-mer, prés salés, herbiers Posidonie. Bénéfices multiples (défense, biodiversité, séquestration carbone). (e) Urbanisme adapté : PLU intégrant

submersion-érosion, interdiction nouvelles constructions zones haut risque, surélève baies fragiles.

Conservatoire du littoral (établissement public 1975) : ~205 000 ha protégés (~13 % littoral), modèle pertinent. Renforcement budget proposé ~+30-50 M€/an. Modèle Pays-Bas Delta inspiration partielle (cf. LVIII). Coût total adaptation littoral France ~+1-3 Md€/an cumulés 2027-2050.

LXXIV

Approfondissement adaptation — agriculture et forêt

LXXIV.1

Adaptation agriculture

Agriculture française face adaptation profonde. (a) Variétés résistantes : sélection génétique INRAE Plan d'Adaptation Agriculture 2025-2050, variétés blé résistantes sécheresse-chaueur, maïs précoces ou tardifs selon trajectoire, viticulture cépages adaptés (Marselan, Tempranillo, Vermentino émergents Languedoc, viticulture remontant vers Nord). (b) Irrigation économe : généralisation goutte-à-goutte (~50 % surface irriguée 2030 vs ~30 % actuel), capteurs sols connectés, pilotage précision. Modération extension surfaces irriguées (conflits eau). (c) Agroforesterie : intégration arbres-cultures-élevage, ombrage, séquestration carbone, biodiversité. Plan Agroforesterie 2015-2020 puis 2021-2025, ~+10 000 ha/an. (d) Refonte assolements : intégration légumineuses (Plan Protéines végétales ~+200 M€/an), rotations longues, cultures résistantes (sorgho, mil, quinoa, plantes méditerranéennes). (e) Élevage : adaptation races (croisement, sélection thermo-tolérance), ombrage bâtiments-pâtures, ventilation, fourrages diversifiés. (f) Sols : couverture permanente, réduction labour, agroécologie. Cf. S52 Agriculture publié.

LXXIV.2

Adaptation forêt

Forêt française 17 M ha (~31 % territoire), 4ème UE. Vulnérabilités multiples : (a) sécheresses-canicules (dépérissements massifs Vosges, Lorraine 2018-2022 hêtre-épicéa, ~3-5 M ha affectés), (b) feux (~+40 % surface brûlée moyenne 2010-2023 vs 1990-2009), (c) ravageurs amplifiés (scolytes épicéa, processionnaire pin, chenilles), (d) tempêtes (Klaus 2009 Sud-Ouest, Lothar-Martin 1999 traumatismes mémoire), (e) déséquilibre essences sur trajectoire futur climat. Politique adaptation : (a) sélection essences adaptées climat futur (~+50-100 essences testées par ONF-CNPF), (b) Plan Sapin SAPENO essences alternatives, (c) prévention feux (entretien, débroussaile-

ment, pare-feu, surveillance OACA-Météo France), (d) restauration zones brûlées (Plan Chêne, replantation post-2022 Gironde ~+10 000 ha), (e) gestion durable forêt privée (66 % forêt française, 3,5 M propriétaires) défi structurel. ONF (Office National des Forêts) ~9 000 agents, gère forêt publique 25 %. Plan France 2030 forêt ~500 M€ adaptation reboisement. Programme Renforcement de la Forêt Française.

LXXV

Approfondissement adaptation — santé et urbanisme

Adaptation santé publique

LXXV.1

Adaptation santé publique structurée. (a) Plan Canicule renforcé : registres nominatifs étendus, équipement EHPAD climatisation (objectif 100 % d'ici 2030, ~+500 M€), salles climatisées mairies, alertes en temps réel SMS, signalisation espaces frais. (b) Surveillance épidémiologique amplifiée Santé publique France (vagues chaleur, maladies vectorielles, allergies, qualité eau). (c) Hôpitaux adaptés : climatisation/rafraîchissement nouvelles constructions (RE2020 confort été), planification événements extrêmes. (d) Formation soignants (Plan SP4 Santé publique-prévention). (e) Lutte vectorielle (cf. LVII.4). (f) Santé mentale climatique (LVII.6).

Adaptation urbanisme et îlot chaleur urbaine

LXXV.2

Îlots de chaleur urbaine (ICU) ~+2-7 °C centres-villes vs périphéries nuit, particulièrement caniculaire. Métropoles densités fortes (Paris, Lyon, Marseille, Lille, Strasbourg) concernées. Solutions : (a) végétalisation massive (objectif +1 arbre/habitant Plan arbre Île-de-France ~+170 000 arbres/an, doublement canopée arborée à 2050), (b) désimperméabilisation sols (parkings perméables, jardins partagés, places piétonnes plantées), (c) toitures végétalisées et fraîches (peintures cool roofs blanc/clair, jardins suspendus), (d) cours oasis (écoles, places refuges chaleur), (e) circulation eau ouverte (fontaines, brumisateurs, baignades urbaines Bassin de la Villette), (f) urbanisme bioclimatique (ventilation naturelle, orientation, matériaux clairs). Plans Climat métropoles : Plan Climat Paris (cible neutralité 2050, neutralité bâtiments municipaux 2030, Plan arbre +170 000), Plan Climat Lyon, Marseille, etc. Refonte PLU intercommunaux climat-compatibles. Coût adaptation urbaine ~+5-10 Md€/an cumulés tous niveaux.

LXXVI

Chronologie politique climatique française 1990–2026

LXXVI.1 **Années 1990 — Émergence**

1992 : Sommet de la Terre Rio, Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). France engagée. 1995 : 1ère COP Berlin. 1997 : Protocole de Kyoto, France engagée -8 % émissions UE 2008–2012. 1998 : 1er programme français lutte effet serre.

LXXVI.2 **Années 2000–2010 — Structuration**

2000 : 1er Plan climat français. 2003 : canicule choc institutionnel (15 000 décès). 2004 : Plan canicule. 2005 : Loi POPE Programmation Orientations Politique Énergétique, facteur 4 émissions 2050. 2007 : Grenelle de l'Environnement (Sarkozy-Borloo). 2009 : Loi Grenelle 1. Bilan carbone ADEME. 2010 : Loi Grenelle 2, Schéma Régional Climat Air Énergie SRCAE.

LXXVI.3 **Années 2010–2015 — Loi Transition Énergétique**

2010–2014 : structuration progressive. Tempête Xynthia 2010 (53 morts) renforce attention littoral. Conférence environnementale Hollande 2012. 2015 : Loi Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV, Royal) : -40 % émissions 2030 vs 1990, -50 % consommation énergétique 2050, 32 % EnR 2030, 50 % nucléaire 2025 (objectif repoussé). Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC 1) publiée 2015. PPE 1 publiée 2016. COP-21 Paris : Accord de Paris, 195 pays signataires, neutralité fin de siècle, +1,5 °C à +2 °C. France pays hôte présidence COP-21 Fabius-Tubiana.

LXXVI.4 **Années 2017–2022 — Macron 1er quinquennat**

2017 : Plan Climat Hulot. Création Plan Climat avec objectif neutralité 2050. 2018 : démission Hulot, Loi Programmation Énergétique. Création Haut Conseil pour le Climat HCC (novembre 2018). Mouvement Gilets jaunes (octobre 2018–2019) déclenché en partie par taxe carbone, retrait taxe carburant. 2019 : Loi Énergie-Climat (neutralité 2050 inscrite), abandon nucléaire 50 % 2035. 2019–2020 : Convention Citoyenne pour le Climat (150 citoyens tirés au sort), 149 propositions, « sans filtre » partiellement respecté. 2020 : Stratégie Nationale Bas Carbone SNBC 2 publiée. France 2030 lancée 2021 (~54 Md€). 2021 : Loi Climat et Résilience (Pompili) issue Convention Citoyenne — ZFE, rénovation, DPE, publicité fossile, alimentation, EEDD.

Années 2022-2026 — Macron 2e quinquennat et accélération contrainte

LXXVI.5

2022 : crise gaz Ukraine choc énergétique, Plan Sobriété octobre 2022 (-8 % consommation gaz hiver 2022-2023). Annonce 6 EPR2 + 8 option Belfort. 2023 : Plan Eau Macron mars 2023 (~+475 M€/an). Loi Industrie Verte octobre 2023 (financement, foncier, formation). Plan France Nation Verte. 2024 : PNACC 3 publié mars 2024 (TRACC +4 °C 2100). C3IV crédits impôts investissements industries vertes ~3 Md€/an. Tarif électricité régulé révisé. SNBC 3 et PPE 3 en révision (2024-2025). 2025-2026 : enjeu majeur Loi Programmation Climat 2027-2032, calendrier politique post-élections municipales 2026 et législatives 2027.

LXXVII

Approfondissement régional — 13 régions métropolitaines + DROM-COM

Auvergne-Rhône-Alpes

LXXVII.1

Auvergne-Rhône-Alpes : 2ème région PIB France, ~8 M habitants. Vulnérabilités : (a) Alpes recul glaciaire -25 % surface 1960-2020 (Mer de Glace, Mont Blanc, Vanoise), -50 % volume projeté 2100, risque cryosphérique périglaciaire (chutes glace, glissements terrain liés dégel permafrost) ; (b) tourisme hiver fragilisé basse altitude (raccourcissement saison ski, disparition stations <1500 m d'altitude, ~50 stations menacées d'ici 2050) ; (c) eau Rhône stress estival (refroidissement nucléaire Bugey-Tricastin-Saint-Alban-Cruas contraint), risques inondations vallée Rhône ; (d) Lyon métropole densité ICU canicule ; (e) feux émergents Drôme-Ardèche. Politiques : Plan Avenir Montagne (~1,7 Md€ 2021-2026 prolongé), diversification 4 saisons, modernisation stations, climatisation logements urbains. Cf. S22 Logement social, S26 Transports collectifs, S38 Eau publiés.

Provence-Alpes-Côte d'Azur

LXXVII.2

PACA : ~5 M habitants, vulnérabilité maximale méditerranéenne. (a) Canicules les plus intenses France (Marseille, Nice, Avignon, Toulon températures records >40 °C récurrents) ; (b) sécheresses chroniques Var-Bouches-du-Rhône-Vaucluse ; (c) feux forêt récurrents (Provence verte, Estérel, Maures, calanques) ; (d) élévation mer Camargue (déjà -1 cm/an enfoncement parc régional), érosion côtière intense ; (e) salinisation nappes côtières (Bouches-du-Rhône, Var) ; (f) tourisme

été massif renforce pression sur eau-énergie. Politiques : Plan Var-Méditerranée Climat (~+500 M€/an régional), PCAET renforcés EPCI, Plan agroécologie spécifique (oliveraies, vignobles, lavandes), Plan littoral 21 amplifié, Plan feu massif amplifié, plan tourisme étalement saisonnier.

LXXVII.3

Occitanie

Occitanie : ~6 M habitants, vulnérabilités méditerranéennes (Hérault, Gard, Aude, Pyrénées-Orientales) + sud-ouest. Sécheresses Pyrénées-Orientales catastrophiques 2022-2024 (record agriculture). Stress hydrique Lez-Vidourle-Hérault. Inondations cévenoles épisodiques (8-12 sept 2024 Cévennes). Recul glaciaire Pyrénées (~-50 % surface). Politiques : Plan Hérault-eau, Plan Catalogne nord (transfrontalier Espagne). Toulouse métropole adaptation. SRADDET en révision.

LXXVII.4

Nouvelle-Aquitaine

Nouvelle-Aquitaine : ~6 M habitants, façade atlantique majeure. Vulnérabilités : (a) érosion massive Côte Aquitaine (Aquitaine vue +20-50 m recul/an certaines plages Soulac, Lacanau, Biscarrosse), (b) feux forêt Gironde Landes (Landiras-La Teste 2022 ~27 000 ha record), (c) submersion estuaires (Gironde, Charente), (d) intensification précipitations hiver. Politiques : Plan littoral Aquitaine, Plan défense côtière, recul stratégique (Le Signal Soulac modèle), reboisement post-2022 Gironde (~+10 000 ha), Plan feu défense forêt amplifié.

LXXVII.5

Pays de la Loire

Pays de la Loire : ~3,8 M habitants, façade atlantique sud Vendée-Loire-Atlantique. Mémoire Xynthia 2010 (53 morts La Faute-sur-Mer-Aiguillon-sur-Mer post-tempête). Érosion littorale, submersion. Loire estuarienne stress estival. Politiques : digues renforcées post-Xynthia, Plan Loire grandeur nature. Industries Saint-Nazaire (chantiers navals, éolien offshore Saint-Nazaire en service 2022 premier français).

LXXVII.6

Bretagne

Bretagne : ~3,4 M habitants, façade atlantique-Manche. Vulnérabilités relatives moindres (climat océanique, peu canicules). Mais : (a) érosion côtière diffuse (~30 % littoral), (b) algues vertes amplifiées par eutrophisation et chaleur (côtes Nord), (c) submersion îles. Agriculture intensive ~50 % émissions agricoles France (élevage porcin-volailler, lait). Transition agroécologique défi structurel. Bretagne pionnière éolien offshore (Saint-Brieuc en service 2024).

LXXVII.7

Normandie

Normandie : ~3,3 M habitants, Cherbourg-Le Havre-Caen-Rouen. Façade Manche exposée. Érosion falaises (~20 cm/an Étretat, Treport).

Industries Le Havre-Port (logistique, raffinerie TotalEnergies Gonfreville), Cherbourg (nucléaire Flamanville EPR, Penly EPR2 futur, chantiers Naval Group). Plan Vallée Seine industries vertes ~+10 Md€. Submersion estuaire Seine.

Hauts-de-France

LXXVII.8

Hauts-de-France : ~6 M habitants. Traumatisme inondations Pas-de-Calais novembre 2023-janvier 2024 (~75 000 sinistrés cumulés, dommages ~640 M€ CCR). Industries Dunkerque (sidérurgie ArcelorMittal Plan Acier 2030, gigafactories batteries Verkor-ACC-ProLogium, hydrogène). Plan Dunkerque industrie verte ~+10 Md€ public-privé. Érosion Côte d'Opale.

Grand Est

LXXVII.9

Grand Est : ~5,5 M habitants. Sécheresses 2022-2023 nappes phréatiques sous tension. Agriculture intensive en transition. Industrie acier-chimie Lorraine décarbonation (Hayange, Florange). Strasbourg métropole transfrontalière (Allemagne, Suisse). Sapin-épicéa dépérissements Vosges. Plan Vosges-Jura-Alsace forêt.

Bourgogne-Franche-Comté

LXXVII.10

Bourgogne-Franche-Comté : ~2,8 M habitants. Viticulture Bourgogne (Chablis, Beaune) vendanges avancées ~+15-20 jours depuis 1980, qualité millésimes en mutation. Massif Jura nappes sous tension étiage. Forêt vulnérable.

Centre-Val de Loire

LXXVII.11

Centre-Val de Loire : ~2,6 M habitants. Loire centrale stress estival (refroidissement Saint-Laurent-Dampierre-Belleville centrales nucléaires). Agriculture céréalière intensive en adaptation. Vignobles Loire (Sancerre, Vouvray).

Île-de-France

LXXVII.12

Île-de-France : ~12 M habitants, métropole majeure. Vulnérabilités : (a) ICU intense (~+5-7 °C nuit centre Paris vs périphéries) cumulé canicules, (b) qualité air dégradée (NO₂, particules), (c) inondations Seine-Marne (étiage estival, crues hivernales). Plan Climat Paris (cible neutralité 2050), Plan arbre ~+170 000/an, Plan rafraîchissement urbain, Plan climat Région IDF, Société Grand Paris (réseau Grand Paris Express transport). Adaptation infrastructure transport (SNCF, RATP) canicules.

LXXVII.13 Corse

Corse : ~340 000 habitants. Vulnérabilités méditerranéennes (sécheresses, feux, érosion littorale, intensification incendies). Insularité énergétique défi (mix isolé, EnR). Plan Corse adaptation.

LXXVII.14 Outre-mer DROM-COM

DROM-COM : ~2,7 M habitants. Vulnérabilités cumulées maximales. (a) Antilles (Guadeloupe ~390 000, Martinique ~360 000) : cyclones intensifiés (Irma 2017 Saint-Martin-Saint-Barth ~95 % infrastructure détruite), érosion plages massive, blanchiment coraux -80 % récifs 30 ans, sargasses sahariennes massives (~+50 000 t/an échouages). (b) La Réunion (~870 000) : cyclones, sécheresse occasionnelle, biodiversité endémique. (c) Mayotte (~330 000) : crise eau historique 2023-2024 (rationnement 2 jours/3 sans eau), surpopulation, vulnérabilité maximum. (d) Guyane (~290 000) : Amazonie française, biodiversité, paludisme. (e) Polynésie française (~280 000) : élévation niveau marin atolls (Tuamotu surface 1-2 m), blanchiment coraux. (f) Nouvelle-Calédonie (~270 000) : risques côtiers, biodiversité endémique (nickel, espèces). (g) Saint-Pierre-et-Miquelon, Wallis-et-Futuna, TAAF petits territoires. Plan Outre-mer 2030 climat ~+500 M€-1 Md€/an, Plan Mayotte eau, Plan sargasses ~+30 M€/an, restauration coraux-mangroves. Coopération scientifique IRD-Ifrermer outre-mer.

LXXVIII

Approfondissement économique — analyse macro-sectorielle

Banque de France 2024 stress tests climat : scénario « hot house world » (politiques actuelles, +3 à +4 °C 2100) → -5 à -10 points PIB cumulés 2050, -20 à -30 points 2100. Scénario « orderly transition » (politiques compatibles +1,5 à +2 °C) → -0,5 à -1,5 points PIB transition courte (coûts initiaux), retour neutralité ou positif long terme. Scénario « disorderly transition » (action tardive et brutale) → -3 à -5 points PIB. Convergence FMI 2023 (Article IV France), OCDE Climate Action.

Coûts dommages annuels actuels France ~10-15 Md€/an (Pisani-Ferry/Mahfouz 2023, France Stratégie, valorisations Cat-Nat + impacts sectoriels). Trajectoire ~30-50 Md€/an dommages directs 2050 si trajectoire +2-3 °C maintenue. Augmentations sectorielles : (a) agriculture (pertes rendements, conflits eau), (b) tourisme (-10-30 % saison montagne hiver, recomposition tourisme littoral), (c) BTP-immobilier (dévaluation patrimoine zones à risque), (d) santé (vies

perdues, soins), (e) assurance (Cat-Nat doublement projeté 2050), (f) infrastructures (renforcement, réparations).

Secteur assurance France sous tension. Régime Cat-Nat (Catastrophes Naturelles, créé 1982) mutualisé public-privé. Surprime obligatoire ~12 % primes assurances (passée à 20 % 1er janvier 2025) finance fonds CCR (Caisse Centrale Réassurance) garantie État. Sinistres climatiques annuels moyens : ~3-4 Md€/an 1990-2000, ~6-10 Md€/an 2015-2024 (en augmentation), projection FFA Fédération Française Assurance ~10-20 Md€/an cumulés 2050. Risque retraits assureurs zones très exposées (modèle USA Floride-Californie, déjà premiers signaux France certaines zones inondables). Régulation française : régime mutualisé maintenu pour solidarité, mais réformes nécessaires (modulation primes selon exposition, prévention obligatoire, accompagnement adaptation).

LXXIX

Approfondissement financier — finance verte et NGFS

NGFS Network for Greening Financial System créé 2017 (initiative française Villeroy de Galhau, Bank of England Carney) compte 130+ banques centrales et autorités prudentielles. Publication scenarios climat utilisés par les autorités prudentielles mondiales (sept scénarios : « orderly », « disorderly », « hot house world », « too little too late », « fragmented world », etc.). Influence majeure sur stress tests bancaires.

ACPR Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (Banque de France) intègre risques climatiques. Stress tests climat 2020 (1er au monde) et 2023 sur banques-assurances françaises. Résultats : exposition portefeuilles bancaires-assurance ~30 % secteurs climat-sensibles. Pertes potentielles 2050 ~5-15 % capitalisation si trajectoire désordonnée. Recommandations : intégration risques climat tous établissements, taxonomie verte effective, transparence portfolios. Article 29 LEC Loi Énergie-Climat 2019 impose reporting climat investisseurs institutionnels (~3 000 sociétés concernées).

Mobilisation finance privée. (a) Green sovereign bonds France ~50 Md€ cumulés depuis 2017 (première émission AFT), extension cible 100 Md€ d'ici 2030. (b) Green bonds privés ~80-100 Md€/an France (50 % marché européen, top 3 mondial). (c) Sustainability-linked loans, ELTIF European Long-Term Investment Fund. (d) Livret de Développement Durable et Solidaire LDDS climat-fléché ~+5-10 Md€/an additionnels. (e) Plan Épargne Retraite vert obligatoire 30 % actifs

ESG. (f) Loi Industrie verte 2024 oriente assurance-vie ~+30 Md€ vers industries vertes, fonds Avenir Climat (épargne climat dédiée). (g) Bpifrance Climat ~+15 Md€/an prêts verts. (h) Caisse des Dépôts Climat ~+10 Md€/an dédiés. Total mobilisation finance verte publique-privée cible ~+60-80 Md€/an 2030.

Taxonomie européenne (Règlement 2020/852) classe activités économiques durables. Critères techniques par secteur. Application progressive 2022-2026. CSRD Corporate Sustainability Reporting Directive (2023) impose reporting durabilité ~50 000 entreprises européennes (vs ~12 000 NFRD précédent). Standards ESRS European Sustainability Reporting Standards. SFDR Sustainable Finance Disclosure Regulation classe fonds (article 6, 8, 9). Impact massif sur reporting, donc sur allocation capital.

LXXX

Approfondissement gouvernance européenne — Pacte vert, Fit for 55, CBAM

LXXX.1

Pacte vert européen — architecture complète

European Green Deal adopté décembre 2019 par Commission von der Leyen — feuille de route 2050 transition climatique-énergétique-environnementale. Architecture en 9 grands chapitres : (1) Loi européenne climat (juin 2021) inscrit neutralité 2050 juridiquement et cible -55 % émissions 2030 vs 1990 ; (2) Fournir énergie propre et abordable (paquet Énergie, RED III, EED) ; (3) Mobiliser industrie pour économie circulaire (Plan circulaire 2020, Eco-design) ; (4) Construire et rénover économiquement en matière d'énergie et de ressources (Vague de rénovation, Smart Buildings) ; (5) Transition juste (Just Transition Mechanism ~55 Md€) ; (6) Mobilité durable (Stratégie Mobilité durable et intelligente 2020) ; (7) Stratégie de la ferme à la table « From Farm to Fork » (alimentation, biodiversité, pesticides -50 % d'ici 2030) ; (8) Préserver et restaurer écosystèmes et biodiversité (Stratégie biodiversité 2030, Loi Restauration nature 2024) ; (9) Pollution zéro pour environnement sans toxiques (Plan d'action pollution zéro).

Mobilisation financière ~1 000 Md€ cumulés 2021-2030 selon Commission. Sources : InvestEU (~26 Md€ garanties), Innovation Fund (~38 Md€, financé par ventes ETS), Modernisation Fund (~57 Md€), Just Transition Fund (~17,5 Md€), NextGenerationEU « Recovery and Resilience Facility » RRF (~750 Md€ dont 37 % minimum climat = ~278 Md€), Horizon Europe (35 % climat = ~33 Md€), Connecting Europe

Facility (~30 Md€), LIFE programme (~5,4 Md€). France maximise absorption (cible 100 % taux d'usage).

Fit for 55 — paquet législatif détaillé

LXXX.2

Fit for 55 (juillet 2021, adopté largement 2022–2023) opérationnalise objectif –55 % émissions 2030 vs 1990. 13 propositions législatives interconnectées. (a) ETS 1 renforcé : objectif –62 % émissions ETS 2030 vs 2005, suppression progressive quotas gratuits industrie (avec CBAM compensant), inclusion maritime 2024, extension aviation intra-européenne. (b) ETS 2 nouveau : couvre transport routier et chauffage bâtiment, entrée 2027 (initialement) avec mécanisme stabilisateur. Social Climate Fund 86 Md€ 2026–2032 pour amortir impact ménages modestes. (c) ESR Effort Sharing Regulation : objectifs nationaux pour secteurs non-ETS (transport, bâtiment, agriculture, déchets). France –47,5 % émissions ESR 2030 vs 2005. (d) LULUCF Land Use, Land-Use Change and Forestry : objectif augmentation puits carbone –310 MtCO₂ 2030. (e) RED III Renewable Energy Directive : 42,5 % EnR énergie finale UE 2030 (objectif optionnel 45 %). France ~37 % EnR 2030 (vs ~22 % 2023). (f) EED Energy Efficiency Directive : –11,7 % consommation finale 2030 vs projection 2020. (g) AFIR Alternative Fuels Infrastructure Regulation : bornes recharge VE et hydrogène réseau routier transeuropéen. (h) ReFuelEU Aviation : SAF Sustainable Aviation Fuels obligatoire 2 % 2025 → 70 % 2050. (i) FuelEU Maritime : carburants maritimes décarbonés. (j) Règlement CO₂ véhicules : 100 % véhicules neufs zéro émission 2035 (avec révision 2026). (k) Méthane énergie : règlement réduction émissions fugitives. (l) Marchés ENR gaz hydrogène : refonte directives gaz. (m) CBAM (couvert section LXXX.3).

CBAM Carbon Border Adjustment Mechanism — analyse approfondie

LXXX.3

CBAM = mécanisme d'ajustement carbone aux frontières UE, adopté 2023, entrée en application effective 1er janvier 2026 (période transitoire reporting 2023–2025, coût effectif à partir 2026 avec montée progressive jusqu'à 2034). Mécanisme : les importateurs UE de produits couverts paient un certificat CBAM dont le prix égale le prix ETS de la semaine, ajusté du carbone déjà payé dans le pays exportateur. Objectif : éviter fuite carbone (industries lourdes UE délocalisées hors UE pour échapper au prix carbone européen) et créer pression sur partenaires commerciaux pour ambition climatique.

Couverture initiale 2026 : acier, aluminium, ciment, engrais, électricité, hydrogène. Couverture sera élargie 2028–2030 : polymères, chimie, verre, papier (négociation en cours). Émissions couvertes : émissions directes + indirectes (électricité utilisée) pour certains produits. Mécanisme parallèle ETS : suppression progressive quotas gratuits

industrie ETS 2026–2034 compensée par CBAM. Recettes UE attendues ~10–20 Md€/an d'ici 2030, croissantes ensuite.

Effets attendus. (a) Protection industries lourdes UE compétitivité (sidérurgie, ciment, chimie) face concurrence pays sans prix carbone équivalent. (b) Incitation partenaires commerciaux à adopter signal-prix carbone (effet « Brussels effect » déjà observé). (c) Recettes UE pour budget commun et politique climat. Critiques. (a) Couverture initialement partielle (chimie, raffinage, plastiques non encore couverts). (b) Complexité administrative (calcul empreinte carbone produits importés). (c) Risque représailles commerciales (Chine, Inde, Russie, Turquie ont protesté à OMC). (d) Clauses miroirs débat commercial (Mercosur). (e) Impact pays pauvres exportateurs (Inde, Bangladesh, Vietnam) — équité Sud-Nord. Position française : soutien fort CBAM (industrie compétitive avec mix bas carbone valorisé), extension rapide vers chimie-polymères demandée.

LXXX.4

RePowerEU — réponse crise Ukraine

RePowerEU lancé mai 2022 (~210 Md€ mobilisés) en réponse crise gaz post-invasion Ukraine. Objectifs : (a) sortie gaz russe accélérée (-2/3 gaz russe fin 2022 atteint, 0 % objectif 2027) ; (b) accélération EnR (+45 % cible 2030 RED III vs 32 % initial) ; (c) hydrogène ambition (10 Mt production interne + 10 Mt importée 2030) ; (d) efficacité énergétique (+13 %) ; (e) diversification approvisionnements (GNL américain-qatari, gaz norvégien). Bilan 2024 : sortie gaz russe atteinte, prix gaz détendu après pic 2022 (~30–50 €/MWh fin 2024 vs 350 €/MWh août 2022), accélération EnR effective. Coûts ménages-entreprises importants amortis par boucliers énergie (~+300 Md€ UE cumulés 2022–2024 selon Bruegel). Risque : verrouillage long terme GNL (infrastructure terminaux Allemagne, Italie, France à amortir).

LXXX.5

Plan industriel Pacte vert et NZIA

Plan industriel Pacte vert (mars 2023, von der Leyen) répond à IRA US 2022. Combine : (a) Sovereign Tech Fund et Strategic Technologies for Europe Platform STEP (~10 Md€ pivot vers technologies vertes et critiques). (b) Net-Zero Industry Act (NZIA, février 2024) : cible 40 % production EU technologies neutralité 2030 (solaire, éolien, batteries, pompes à chaleur, électrolyseurs, captage CO₂, SMR nucléaire). Simplification permis (procédure 12–18 mois max), zones accélération. (c) Critical Raw Materials Act (CRMA, février 2024) : cible souveraineté matières critiques. 17 matériaux « critiques », 17 « stratégiques ». Cibles UE 2030 : 10 % extraction, 40 % raffinage, 25 % recyclage, max 65 % dépendance pays unique. Projets stratégiques accélérés. (d) Réforme marché électricité (2023) : contrats long terme (PPA, Contracts for Difference) stabilisent prix. (e) Loi industrie verte France 2024 transpose nationalement.

LXXXI

Approfondissement justice climatique — analyse distributive et générationnelle

Inégalités d'émissions par décile de revenu

LXXXI.1

Les inégalités d'émissions au sein de la France sont massives et documentées. Lucas Chancel (World Inequality Lab, Paris School of Economics) 2023 : empreinte carbone individuelle par décile de revenu France 2019 (incluant biens importés). Décile 1 (10 % plus pauvres) : ~5 tCO₂eq/personne. Décile 5 (médiane) : ~9 tCO₂eq/personne. Décile 9 : ~17 tCO₂eq/personne. Top 1 % : ~50 tCO₂eq/personne (×10 plus pauvres). Top 0,1 % : ~150–200 tCO₂eq/personne. Ratio inter-décile ~4 (décile 9 vs décile 1). Postes contributifs différenciés : aviation (top 10 % ~10× plus que médiane), automobile (utilitaire vs SUV-prestige), résidence principale (taille, isolation, énergie), résidence secondaire, biens consommation (mode, électronique). Implication politique : signal-prix carbone uniforme touche disproportionnellement les ménages modestes (~5 % budget vs 1 % top 10 %), d'où nécessité redistribution équitable.

Mécanismes redistributifs étudiés

LXXXI.2

Plusieurs mécanismes redistributifs sont étudiés pour rendre signal-prix carbone politiquement acceptable. (a) « Climate dividend » ou « carbon fee and dividend » : redistribution complète des recettes carbone à parts égales à tous les citoyens. Modèle Canadien et Suisse partiel. Étude France Stratégie 2023 simule : redistribution intégrale rendrait 70 % des ménages français bénéficiaires nets (les modestes-moyens), 30 % top revenus perdraient (proportionnel à leur empreinte). Acceptabilité politique forte mais perte de marge budgétaire pour investissement transition. (b) Redistribution ciblée modestes : Chèque énergie élargi (~+5–10 Md€/an, cible 7–10 M ménages), MaPrimeRénov' Serein renforcée, Leasing social VE. (c) Redistribution mixte : 50 % climate dividend + 50 % investissement transition. (d) Réduction autres impôts modestes : baisse CSG-IRPP cotisations bas-moyens revenus financée par taxe carbone (modèle suédois). Choix politique entre simplicité (dividend) et fléchage (investissement-transition).

Inégalités territoriales et énergétique

LXXXI.3

Inégalités territoriales fortes. Métropoles méditerranéennes (Marseille, Montpellier, Nice) cumulent canicules + stress hydrique. Quartiers populaires urbains : ICU intenses, passoires thermiques, mobilité subie.

Ruralité périurbaine : dépendance voiture (transport ~25–30 % budget énergie), chauffage individuel fioul-gaz. Outre-mer vulnérabilité maximale. Politique justice climatique territoriale : Plan Quartiers 2030 climat-compatible, Politique de la ville climat-intégrée, Plan Avenir Montagne (transitions stations), Plan Outre-mer adapté, accompagnement zones désindustrialisation (Bassins emplois Houille, Lorraine acier).

LXXXI.4 **Inégalités générationnelles et jurisprudence climatique**

Inégalités générationnelles : générations jeunes et futures hériteront impacts climatiques massifs qu'elles n'ont pas causés. Articulations juridiques. (a) Conseil d'État Grande-Synthe décision novembre 2020 puis octobre 2021 : condamne État pour insuffisance action climat, ordonne mesures supplémentaires sous astreinte. (b) Affaire du Siècle (Notre Affaire à Tous, Greenpeace, FNH, Oxfam) Tribunal Administratif Paris 14 octobre 2021 : condamne État pour préjudice écologique, réparation symbolique 1 € mais ordonne mesures correctrices. (c) Charte Environnement 2004 valeur constitutionnelle, articles 1–4 (droit environnement sain, prévention, précaution, information-participation). (d) Convention Aarhus 1998 (ratifiée France 2002) information-participation-justice environnementale. (e) Cour Constitutionnelle Fédérale allemande 24 mars 2021 décision Klimaschutzgesetz historique : insuffisance future = inconstitutionnelle (effet sur générations futures). Trends mondiaux : Klimasenioren Suisse devant CEDH 2024, jurisprudence intergouvernementale.

LXXXI.5 **Justice climatique internationale Nord-Sud**

Justice climatique internationale Nord-Sud. (a) Responsabilité historique : pays industrialisés (UE-USA-Canada-Japon-Australie) responsables ~80 % émissions cumulées 1850–2020 alors qu'ils représentent ~15 % population mondiale. France ~3 % émissions cumulées historiques (1850–2020) pour ~1 % population. (b) Vulnérabilités inversées : Sud (Afrique, Asie du Sud, petites îles) le plus exposé impacts climatiques. (c) Capacités financières : Sud pauvre en investissement climat. (d) Engagements Paris : 100 Md\$/an de financement climat pays développés vers pays en développement promis 2020, atteint partiellement 2022–2023, NCQG New Collective Quantified Goal COP–29 Bakou ~300 Md\$/an 2035 (jugé insuffisant par Sud, ~1 300 Md\$/an besoins). (e) Loss & Damage Fund COP–27 Charm el-Cheikh 2022 (pertes et dommages climatiques irréversibles), montée en charge lente. (f) Position française : engagement APD climat ~5 Md€/an cible, soutien Loss & Damage Fund, articulation Pacte vert pour Afrique.

LXXXII

Approfondissement recherche climatique française et coopérations

Excellence française en recherche climatique. (a) IPSL Institut Pierre-Simon Laplace : fédération 9 laboratoires Sorbonne Université, CNRS, CEA, École Polytechnique. 1 800 personnes. Modèle climatique IPSL-CM (CMIP6 base AR6). Auteurs majeurs GIEC (Valérie Masson-Delmotte vice-présidente WGI AR6, Hervé Le Treut, Pascale Braconnot, Sandrine Bony, etc.). (b) CNRM Centre National de Recherches Météorologiques Météo France-CNRS Toulouse. Modèle CNRM-CM. (c) CERFACS Toulouse calcul intensif climat. (d) LSCE Laboratoire Sciences du Climat et Environnement Saclay CEA-CNRS-UVSQ. (e) LMD Laboratoire Météorologie Dynamique Polytechnique. (f) LOCEAN Sorbonne océan. (g) LATMOS UVSQ atmosphère. (h) INRAE Climate-Land-Society. (i) Ifremer océan. (j) BRGM eau-sol-risques. (k) CIRED Centre International Recherche Environnement Développement (économie climat). (l) Mines ParisTech CMA Centre Mathématiques Appliquées. Au total ~3 000–5 000 chercheurs climat France.

Programmes structurants. (a) PEPR Programmes et Équipements Prioritaires Recherche France 2030 climat-énergie ~+1–2 Md€ cumulés : PEPR Climat (modélisation, impacts, adaptation), PEPR Mer (océan, littoral), PEPR Agroécologie (sols, biodiversité agricole), PEPR Hydrogène, PEPR Décarbonation industrie, PEPR Solaire, PEPR Recyclage matériaux, PEPR Capture CO₂. (b) Plateformes : Joliot-Curie HPC TGCC, infrastructures CO₂ (Lacq pilote ANR), observatoires terre-mer. (c) Coopération européenne : Horizon Europe 2021–2027 (~95 Md€ total, ~35 % climat-énergie = ~33 Md€), Missions UE Climate-Adapted Cities, Climate Adaptation Mission (150 régions), Soil Mission, Ocean Mission. (d) Coopération internationale : GIEC (rapports), ISC International Science Council, FUTURE EARTH, WCRP World Climate Research Programme.

Convergences IA et climat : (a) IA pour climat : modélisation affinée (downscaling régional réseaux neurones), prévision météorologique court terme (GraphCast Google DeepMind 2023, FourCastNet NVIDIA), maintenance prédictive infrastructures, optimisation réseaux (smart grids, prévision EnR), optimisation procédés industriels, agriculture précision, gestion eau, alertes risques. (b) Climat de l'IA : empreinte data centers ~+15–20 %/an, refroidissement (canicules), localisation (France compétitive avec mix bas carbone), sobriété numérique. (c) Initiatives françaises : Mistral AI, projets PEPR IA-climat. Cf.

S34 Souveraineté numérique, S50 IA services publics, S65 IA enseignement.

LXXXIII

Approfondissement des 9 thèses falsifiables — preuves et contre-preuves

LXXXIII.1

THESE-HS-001 — Réchauffement France +1,7[×] rythme mondial

Preuves convergentes. (a) Météo France « Bilan climat 2023 » : tendance linéaire +1,7 °C cumulé 1900–2023 France métropolitaine, calcul moyenné sur 30 stations métriques homogénéisées. (b) Comparaison à GIEC AR6 WGI : tendance globale +1,1 °C 1850–1900 vs 2011–2020. Ratio ~1,55, robuste. (c) Reconstitutions IPSL, CNRM convergentes. (d) Hervé Le Treut et al. « Changement climatique dans le bassin méditerranéen » (2020) : Méditerranée ~+1,5–2 °C, encore au-dessus moyenne globale. Contre-preuves potentielles à examiner. (a) Effet îlot chaleur urbaine sur stations Météo France (correction appliquée mais débat). (b) Sélection stations (homogénéisation difficile sur 120 ans). (c) Variabilité naturelle interne (oscillations atlantiques NAO, AMV) pouvant amplifier tendance courte 1980–2024. Statut maintenu Consolidée : convergences multiples sources, robustesse confirmée par chaque rapport annuel.

LXXXIII.2

THESE-HS-002 — Conséquences sanitaires majeures déjà observables

Preuves convergentes. (a) Santé publique France-Inserm Hémon-Jougla 2003, Pascal et al. 2019, séries annuelles Bilan Santé Environnement 2024 : ~50 000 décès cumulés 2003–2023 attribués vagues chaleur. (b) OMS Europe « Methods of assessing the burden of heat-waves » applique méthodes standardisées. (c) Pollution air ~40 000 décès anticipés/an PM2.5 + ~7 000 NO2 (SPF). (d) Maladies vectorielles documentées Anses-Pasteur-Cire (cas autochtones dengue 49 cas 2023). Contre-preuves. (a) Attribution canicule-mortalité méthodologiquement complexe (modèles de surmortalité confrontés à variabilité). (b) Confondants (effet automne suivant canicule, mortalité différée). Statut Consolidée maintenu : convergence multiples sources institutionnelles, méthodes robustes.

THESE-HS-003 — Investissements ~+25-30 Md€/an publics requis

LXXXIII.3

Preuves convergentes. (a) Rapport Pisani-Ferry/Mahfouz « Les incidences économiques de l'action pour le climat » France Stratégie mai 2023 : ~+66 Md€/an investissements totaux supplémentaires pour atteindre -55 % 2030, dont ~+30 Md€/an publics + ~+36 Md€/an privés. (b) Cour des comptes « Rapport politiques climat » 2024 confirme ordre grandeur. (c) FMI Article IV France 2023 convergent. (d) HCC Rapport 2024 cohérent. Contre-preuves potentielles. (a) Estimation pourrait être réduite par évolution prix technologies (panneaux solaires, batteries continuent à baisser). (b) Mobilisation finance privée verte si conditions favorables réduit besoin publics. (c) Gains efficacité productivité non capturés. Statut Consolidée : ordres grandeur convergents multiples sources rigoureuses.

THESE-HS-004 — Adaptation TRACC +4 °C nécessaire (Hypothèse)

LXXXIII.4

Preuves de soutien. (a) PNACC 3 publié mars 2024 retient officiellement TRACC France +2 °C 2030, +4 °C 2100 — décision politique fondée sur projections CNRM-IPSL avec scénarios SSP3-7.0 et SSP5-8.5. (b) Lignée argumentation principe précaution : si politiques mondiales actuelles maintenues, trajectoire ~+2,7-3,2 °C global 2100 (UNEP Emissions Gap 2024), donc France ~+4 °C plausible. (c) Coût additionnel si sous-dimensionner adaptation ~2-3× supérieur à coût adaptation initialement plus ambitieuse. Contre-preuves potentielles. (a) Si politiques mondiales accélèrent (IRA US, EU Pacte vert), trajectoire +1,5-2 °C global possible → France +3 °C suffisant. (b) Estimations TRACC sont précautionneuses, pas centrales. (c) Surdimensionnement infrastructure coûteux. Maintien Hypothèse : nécessite suivi annuel trajectoires effectives globales, révision possible si action mondiale ambitieuse 2025-2030.

THESE-HS-005 — Co-bénéfices santé majeurs (Hypothèse)

LXXXIII.5

Preuves de soutien. (a) Études Lancet Countdown 2023, 2024 estiment co-bénéfices santé sortie fossiles à -3 à -7 % décès cardio-respiratoires UE. (b) Études Santé publique France ~40 000 décès anticipés/an PM2.5 fossiles, dont 50-70 % évitables à 10 ans avec décarbonation rapide = -10 000 à -30 000 décès/an. (c) WHO Air Quality Guidelines actualisées 2021 abaissent seuils dangerosité confirmant urgence. Contre-preuves potentielles. (a) Substitution polluante (chauffage bois remplace gaz mais particules fines). (b) Délai matérialisation co-bénéfices long. (c) Confondants difficiles isoler. Hypothèse maintenue : à valider par études Santé publique France suivi décarbonation effective 2025-2030.

LXXXIII.6

THESE-HS-006 — Justice climatique distributive nécessaire (Hypothèse)

Preuves de soutien. (a) Mouvement Gilets jaunes octobre 2018–2019 déclenché en partie par hausse taxe carbone TICPE +6,5 c€/L : retrait taxe par gouvernement Macron–Philippe novembre 2018 prouve sensibilité politique. (b) Études France Stratégie 2023 : taxe carbone sans redistribution touche 5 % budget ménages modestes vs 1 % top 10 %, régressivité documentée. (c) Comparaison Suède (taxe carbone élevée mais consensus politique large entretenu) vs France (acceptabilité fragile, redistribution insuffisante). Contre-preuves potentielles. (a) Acceptabilité dépend aussi pédagogie, transparence usage recettes, communication — pas seulement redistribution. (b) Alternatives non-fiscales (normes, interdictions progressives, marché ETS) peuvent fonctionner sans signal-prix élevé. Hypothèse à consolider par évaluations CESE–Cour comptes 2027–2030.

LXXXIII.7

THESE-HS-007 — Avantage français mix bas carbone valorisable

Preuves convergentes. (a) Empreinte CO₂/kWh électrique France ~50–70 gCO₂/kWh 2023 (RTE), Allemagne ~400 gCO₂/kWh, Espagne ~140, Royaume-Uni ~180, UE moyenne ~250. Avantage net France parmi plus grands monde. (b) Origines : nucléaire ~65–70 % mix, hydroélectricité ~10–15 %, EnR variables ~15–20 %. (c) CBAM 2026 valorise industries énergivores France (sidérurgie, ciment, chimie). (d) Attractivité gigafactories : Vektor Dunkerque, ACC, ProLogium, Stellantis ATLAS choisissent France pour mix bas carbone + soutiens France 2030 + Loi Industrie verte. Contre-preuves potentielles. (a) Risques dégradation parc nucléaire (corrosion sous contrainte 2022, disponibilité été canicules). (b) Coût et délai EPR2 (~50 Md€, 2035–2037 premiers). (c) Déploiement EnR contraint (opposition locales). Statut Consolidée : avantage mesuré empiriquement, mais préservation requiert investissement nucléaire–EnR pluriannuel.

LXXXIII.8

THESE-HS-008 — Modèles Pays-Bas/RU/Suède inspirants (Hypothèse)

Preuves de soutien. (a) Sections LVIII–LXI ce rapport documentent enseignements précis transposables : modèle Delta NL (Plan Delta, Deltacommissaris, Deltafonds), modèle CCC UK (gouvernance indépendante, Carbon Budgets), modèle suédois (taxe carbone précoce élevée 130 €/tCO₂). (b) HCC français créé 2018 inspiré CCC UK montre transposabilité partielle. (c) Échanges experts France–NL–UK–Suède structurés. Contre-preuves potentielles. (a) Conditions nationales spécifiques (géographie, démographie, structure énergétique) limitent transposabilité. (b) Voie française distincte (nucléaire–EnR mix unique) pourrait performer aussi bien sans copier. (c) Gouver-

nance multi-niveaux française plus complexe. Hypothèse maintenue : nécessite évaluations comparatives 2027-2030.

THESE-HS-009 — Politique cohérente coût-bénéfice favorable

LXXXIII.9

Preuves convergentes. (a) Stern Review 2006 mises à jour 2017 : coût action ~1-2 % PIB vs coût inaction ~5-20 % PIB → ratio coût-bénéfice favorable action. (b) Pisani-Ferry/Mahfouz 2023 : +25-30 Md€/an publics + bénéfices substantiels (dommages évités, co-bénéfices santé, emplois, souveraineté). (c) Banque de France 2024 stress tests confirment trajectoire ordonnée meilleure que désordonnée. (d) FMI 2023 Article IV France convergent. (e) Nordhaus DICE-RICE actualisés intègrent risques effets seuil. (f) Évaluations BEI Banque européenne investissement. Contre-preuves potentielles. (a) Coûts transition sous-évalués (acceptabilité, complexité institutionnelle). (b) Bénéfices long terme actualisés avec taux élevé (débat éthique taux discount). (c) Distribution coûts-bénéfices intra-générationnel et géographique (gagnants et perdants). Statut Consolidée : convergence évaluations multiples rigoureuses indépendantes, ratio coût-bénéfice favorable robuste à hypothèses raisonnables.

LXXXIV

Innovations technologiques clés — analyse approfondie

Hydrogène vert et bleu

LXXXIV.1

Hydrogène pivot transition énergétique. (a) Production : électrolyse eau alimentée électricité bas carbone (vert) ou reformage gaz avec captage CO₂ (bleu). Coûts 2024 : vert ~4-6 €/kg, bleu ~2-3 €/kg, gris (fossile sans capture) ~1,5 €/kg. Cible 2030 : vert ~2-3 €/kg avec économies échelle. (b) Usages prioritaires : sidérurgie DRI (cf. LXXI.1), chimie (ammoniac, méthanol), raffinage transition, mobilité poids lourds-aérien-maritime, électricité de pointe (turbines). (c) Stratégie nationale hydrogène France 2020 puis amplifiée 2023 : ~9 Md€ engagés, 6,5 GW électrolyseurs 2030 cible, 10 GW 2035. Plan France 2030 hydrogène. (d) Champions : Air Liquide (leader mondial gaz industriels), McPhy (électrolyseurs Belfort), Lhyfe (électrolyseurs offshore), Symbio (piles à combustible Saint-Fons), Hopium-Hyvia projets mobilité. (e) Articulation européenne : RePowerEU 10 Mt hydrogène vert produit + 10 Mt importé 2030, H2 Backbone réseau européen, partenariats Allemagne-Espagne-Portugal-Maroc-Norvège. Articulation

S16 Énergie, S20 Réindustrialisation, S60 Énergie compétitivité industrielle publiés.

LXXXIV.2

Captage-stockage-utilisation carbone (CCUS)

CCUS = Carbon Capture Utilisation and Storage. Trois étapes : capture CO₂ source (cheminée industrielle ou air ambiant Direct Air Capture DAC), transport (pipeline, navire), stockage (aquifères salins profonds, gisements pétrole-gaz épuisés) ou utilisation (e-carburants, matériaux). Capacité mondiale 2024 : ~45 MtCO₂/an captées (négligeable vs 37 GtCO₂/an émissions, mais croissance rapide). Cible AIE Net Zero 2050 : ~7 GtCO₂/an captées 2050 = ×150 capacités actuelles.

Applications CCUS prioritaires : (a) industries lourdes émissions process inévitables (ciment-clinker, chimie acide nitrique, raffinage transition), (b) BECCS Bioenergy with CCS (combustion biomasse + capture = émissions négatives), (c) puissances de pointe gaz (transition flexibilité), (d) DAC Direct Air Capture (technologie émergente, coûts élevés 200–600 \$/tCO₂, baisse projetée). France projets : pilote Lacq depuis 2010 (Total Energies–IFPEN), Plan Captage CO₂ émergent, partenariats Mer du Nord (Northern Lights Norvège, Aramis Pays-Bas). Investissement ~+1–3 Md€ cumulés 2024–2035. Position française : approche pragmatique CCUS pour irréductibles, mais priorité décarbonation directe.

LXXXIV.3

SMR Small Modular Reactors nucléaire IVe génération

SMR Small Modular Reactors : réacteurs nucléaires modulaires 50–300 MW (vs 1 000–1 600 MW grands réacteurs). Avantages : fabrication usine standardisée (économies échelle), implantation flexible, coût unitaire prévisible, sécurité passive renforcée. Marché émergent. (a) Projets internationaux : NuScale USA (premier SMR autorisé NRC 2023, fermé 2023 retraits Utah), Rolls-Royce SMR UK, GE–Hitachi BWRX–300 Canada–Pologne, KAERI SMART Corée, Russie KLT–40S flottant, Chine ACP100, Argentine CAREM. (b) Projets France : Nuward (consortium EDF–Framatome–CEA–Naval Group, ~340 MW, design 2024–2026, prototype 2030, déploiement 2035+), TechnicAtome (CEA propulsion navale base). (c) Plan France 2030 SMR ~1 Md€ dédié. Articulation S55 Espace politique spatiale publié (technologies duales).

LXXXIV.4

Stockage électricité massif

Stockage électricité critique pour mix EnR. (a) Batteries Li-ion : compétitives 1–4 h, prix divisés par 10 depuis 2010 (~150 \$/kWh 2024, cible 100 \$/kWh 2030). Déploiement massif : ~+170 GWh installés mondial 2024 (×10 vs 2020), USA–Chine leaders. France : ~+5 GWh installés 2024, ~+30 GWh cible 2030 (modulations EnR). Champions : Verkor (gigafactory Dunkerque), ACC Stellantis–Mercedes–TotalEnergies.

gies (Douvrin, Kaiserslautern, Termoli), ProLogium (Dunkerque solid-state), Envision-Renault. (b) STEP Station Transfert Énergie Pompage : ~5 GW installées France (Grand'Maison, Revin, Le Cheylas), ~+3-5 GW projetées 2030-2035 (Plan PPE). (c) Hydrogène stockage saisonnier : potentiel important mais coûts élevés. (d) Air comprimé, batteries flow, gravity storage : technologies complémentaires émergentes.

Bioéconomie et économie circulaire

LXXXIV.5

Bioéconomie : valorisation biomasse végétale-animale-microbienne pour produits, énergie, matériaux. Domaines : biocarburants 3e génération (algues, déchets, e-fuels), bioplastiques (PLA, PHA), matériaux biosourcés (bois construction, paille, chanvre, lin), pharmacie verte, agroécologie. Plan France 2030 biotechnologies ~+1-2 Md€. Économie circulaire : Loi AGEC 2020 cadre, ~+50 Md€ marché annuel France, ~+500 000 emplois (cible doublement 2030). Recyclage matières critiques (batteries 70 % Li cible 2030, aluminium 95 % énergie économisée). Réemploi-réparation (Indice réparabilité, Bonus réparation). Cf. S25 Économie circulaire-déchets à publier 2028.

Scénarios prospectifs détaillés 2030-2050

LXXXV

Scénario Nexien volontariste (Scénario A)

LXXXV.1

Description. France déploie voie nexienne dès 2027 : Loi Programmation Climat 2027-2032 votée, Plan Investissement Climat ~+30 Md€/an publics sécurisé pluriannuel, SNBC 3 amplifiée, PPE 3 mix bas carbone (EPR2 6+8 + EnR massives + hydrogène 6,5 GW), PNACC 3 déployé Fonds Vert ~+5-10 Md€/an, justice climatique distributive opérationnelle (taxe carbone progressive avec redistribution équitable), gouvernance HCC renforcé saisine obligatoire, articulation européenne pleine. Effets attendus 2030. Émissions -55 % vs 1990 atteintes (~250 MtCO₂eq territoriales), trajectoire neutralité 2050 sur les rails. Mix électrique 100 % bas carbone consolidé (50-60 gCO₂/kWh maintenu). EnR ~42,5 % énergie finale (cible RED III atteinte). Rénovation thermique massive (~+800 000 logements/an). Industries vertes structurées (gigafactories batteries, hydrogène, sidérurgie DRI). Position française leader UE consolidée. ~+300 000 emplois nets industries vertes. Co-bénéfices santé documentés (-10 000 à -20 000 décès anticipés/an évités). Effets attendus 2050. Trajectoire neutralité carbone atteinte. Adaptation TRACC +4 °C opérationnelle.

Résilience climatique majeure. Position internationale consolidée. Capacité influence COP-40 à COP-45.

LXXXV.2

Scénario Tendanciel (Scénario B)

Description. Politiques actuelles maintenues sans amplification massive. SNBC 2 trajectoire prolongée, PNACC 3 déployé sans financement à hauteur (~2,5-5 Md€/an Fonds Vert), pas de Loi Programmation Climat (ou amputée), cycles politiques fragmentés, justice climatique partielle (Gilets jaunes mémoire entretenue). Effets attendus 2030. Émissions -45 à -50 % vs 1990 (objectif Fit for 55 -55 % manqué de 5-10 points). Mix électrique bas carbone maintenu mais ralentissement EnR. Rénovation thermique ~+500 000 logements/an. Industries vertes émergentes mais retard vs IRA US et Plan industriel Pacte vert UE. Position française médiane UE. ~+150 000 emplois nets industries vertes. Co-bénéfices santé partiels. Effets attendus 2050. Trajectoire neutralité 2050 incertaine (probable +10-20 ans retard). Adaptation TRACC partielle. Vulnérabilités résiduelles. Position internationale érodée. Coût économique cumulé -3 à -7 points PIB vs scénario A.

LXXXV.3

Scénario Pessimiste (Scénario C)

Description. Chocs cumulés. (a) Récession majeure ou crise géopolitique (Ukraine prolongée, Taiwan, tensions Moyen-Orient). (b) Politiques climatiques abandonnées partiellement (changement gouvernement national ou européen). (c) Désinformation climato-sceptique amplifiée (réseaux sociaux, IA générative). (d) Événements climatiques extrêmes cumulés (canicules tueuses, inondations massives, feux apocalyptiques) → effet politique paradoxal possible (radicalisation, repli national). (e) Compétition industrielle perdue (IRA US capte, Chine domine, Europe en retard). Effets attendus 2030. Émissions seulement -30 à -40 % vs 1990 (objectif raté largement). Mix électrique partiellement dégradé. EnR ralenties. Industries vertes émergentes peu structurées. Position française et UE médiocre. Désindustrialisation accélérée. Inégalités climatiques amplifiées. Effets attendus 2050. Trajectoire neutralité 2050 abandonnée. Adaptation TRACC insuffisante. Crises sanitaires (canicules), économiques (assurance Cat-Nat saturée), sociales (mobilité climatique). Position internationale fragilisée. Coût économique cumulé -10 à -15 points PIB vs scénario A. Risque rupture institutionnelle.

LXXXV.4

Comparaison et choix démocratiques

Comparaison synthétique. Investissements publics 2027-2050 cumulés : Scénario A ~+700-900 Md€, B ~+400-500 Md€, C ~+200-300 Md€. PIB cumulé 2050 : A référence, B -3 à -7 points, C -10 à -15 points (= 250-400 Md€ moindres PIB cumulés). Vies sauvées (canicules-inondations-feux) : A ~+50 000-100 000 cumulés 2030-2050, B intermédiaire, C ~-50 000 à -100 000

supplémentaires perdues. Emplois nets industries vertes 2035 : A ~+300 000–500 000, B ~+150 000–250 000, C ~+50 000–100 000 (concurrencé par désindustrialisation). Position internationale : A leadership, B médian, C déclin. Choix démocratique français déterminera scénario effectif. Probabilité actuelle réalisations : A ~20–30 %, B ~50–60 %, C ~15–25 % (estimations Nexus à révision continue). Mission Nexus = informer le débat démocratique pour favoriser scénario A.

LXXXVI

Sources et bibliographie exhaustive

Sources scientifiques internationales principales. (a) GIEC AR6 (Sixth Assessment Report 2021–2023) : WGI « The Physical Science Basis » (Masson-Delmotte, Zhai et al., 2021, 3 949 pages), WGII « Impacts, Adaptation and Vulnerability » (Pörtner, Roberts et al., 2022, 3 068 pages), WGIII « Mitigation of Climate Change » (Shukla, Skea et al., 2022, 2 913 pages), Synthesis Report (2023, 85 pages). Tous accessibles ipcc.ch. (b) AIE Agence Internationale Énergie : World Energy Outlook annuel, Net Zero by 2050 Roadmap (2021, mise à jour 2023, 2024). (c) IRENA Renewable Energy Statistics annuel. (d) UNEP Emissions Gap Report annuel. (e) Copernicus C3S Climate Change Service européen (bulletins mensuels température). (f) NOAA Global Climate Report mensuel. (g) NGFS Network for Greening Financial System scenarios.

Sources institutionnelles françaises majeures. (a) Météo France « Climat HD » portail, Bilan climatique annuel. (b) IPSL Institut Pierre-Simon Laplace publications scientifiques. (c) ONERC Observatoire National Effets Réchauffement Climatique rapports. (d) Citepa Rapport SECTEN inventaire émissions GES annuel. (e) DGEC Direction Générale Énergie Climat trajectoires SNBC. (f) ADEME Agence Transition Écologique études sectorielles. (g) HCC Haut Conseil pour le Climat rapports annuels 2019–2025. (h) Cour des comptes Rapport politiques publiques climatiques annuel depuis 2024. (i) Banque de France Risques climatiques et stabilité financière, rapports stress tests. (j) ACPR rapports prudentiels. (k) Pisani-Ferry/Mahfouz France Stratégie « Les incidences économiques de l'action pour le climat » (2023). (l) Inserm-Santé publique France rapports santé environnement. (m) BRGM rapports eau-sol-risques. (n) Inrae rapports agriculture-forêt-climat. (o) Ifremer rapports océan-littoral. (p) IGN-Inventaire forestier national.

Sources européennes. (a) Commission UE textes officiels Pacte vert, Fit for 55, CBAM. (b) Agence européenne environnement AEE rapports.

(c) Eurostat statistiques. (d) Banque européenne investissement BEI Climate Bank Roadmap. (e) Conseil européen conclusions. (f) Parlement européen rapports résolutions.

Sources économiques internationales. (a) FMI Article IV France rapports annuels. (b) OCDE Climate Action Monitor. (c) Banque mondiale Climate Change Action Plan. (d) Stern Review « The Economics of Climate Change » 2006 et mises à jour 2017. (e) Nordhaus DICE-RICE modèles. (f) Climate Bonds Initiative rapports green bonds.

Recherches académiques mobilisées (sélection). (a) Jean-Marc Jancovici « Le monde sans fin » (2021), « Plan de transformation économie française » Shift Project (2021-2024). (b) Christian de Perthuis (Climate Economics Chair) « Carbone fossile, carbone vivant » (2023). (c) Hervé Le Treut « Comprendre le climat » (2019), travaux IPSL. (d) Jean Jouzel « Quel climat pour demain ? » (2024). (e) Valérie Masson-Delmotte travaux GIEC. (f) Andreas Eisl IFRAP-Institut Jacques Delors. (g) Patrick Artus « Croissance zéro » (2019). (h) Olivier Blanchard travaux sur taux d'actualisation climat. (i) Nicholas Stern Stern Review et mises à jour Stiglitz-Stern 2017. (j) William Nordhaus « A Question of Balance » (2008), prix Nobel 2018. (k) Joseph Stiglitz travaux justice climatique. (l) Lucas Chancel World Inequality Lab « Climate and Inequality » (2023). (m) Études Centre Climate Economics Université Paris-Dauphine. (n) Travaux IPSL, CIRED, EconomiX Paris Nanterre, Mines ParisTech.

LXXXVII

Conclusion finale enrichie et perspective décennale

Le hors-série Nexus « Réchauffement climatique et société française » propose un cadrage exhaustif et rigoureux pour la trajectoire climatique française des trois prochaines décennies. Le constat scientifique est sans équivoque (GIEC AR6, Météo France) : réchauffement France ~1,7 fois plus rapide que moyenne mondiale, conséquences sanitaires-démographiques-économiques-infrastructurales-environnementales-agricoles déjà massivement observables (~50 000 décès canicules cumulés, ~40 000 décès anticipés/an pollution air liée fossiles, sécheresses-feux-inondations-érosion littoral records). Sans action ambitieuse, trajectoire pessimiste documentée par Banque de France-FMI-OCDE : -5 à -15 points PIB cumulés 2050, vies perdues massives, vulnérabilité institutionnelle.

La voie nexienne propose une réponse cohérente articulant cinq axes opérationnels : (1) atténuation accélérée tous secteurs (mix bas

carbone amplifié EPR2 + EnR + hydrogène, décarbonation industrie-transport-bâtiment-agriculture, sobriété structurée), (2) adaptation différenciée TRACC +4 °C (PNACC 3 amplifié Fonds Vert ~+5-10 Md€/an, infrastructure résiliente, populations protégées, littoral aménagé, agriculture-forêt adaptées, urbanisme bioclimatique), (3) justice climatique distributive (taxe carbone progressive ~+80-130 €/tCO₂ 2030 avec redistribution équitable Chèque énergie élargi, MaPrime-Rénov' modestes, Leasing social VE, compensations territoriales), (4) gouvernance Loi Programmation Climat 2027-2032 (équivalent climat de la LOLF, HCC renforcé saisine obligatoire grands projets, Budget Vert LFI consolidé, Comité Interministériel Climat structuré, articulation européenne pleine Pacte vert-Fit for 55-CBAM-RePowerEU-NZIA-CRMA), (5) recherche-innovation-formation (France 2030 climat amplifié, PEPR climat-énergie, métiers verts ~+200 000-500 000 emplois nets cible 2035, EEDD éducation, formation continue reconversions).

Coût total ~+25-30 Md€/an investissements publics dédiés + ~+40 Md€/an privés à mobiliser = ~+1-2,5 % PIB. Bénéfices substantiels documentés : dommages climatiques évités (~10-30 Md€/an dès 2030, ~+50-200 Md€/an d'ici 2050), vies sauvées (milliers/an canicules-inondations-feux), co-bénéfices santé (-10 000 à -30 000 décès anticipés/an), souveraineté énergétique renforcée, émergence industries vertes et emplois nets, position française leadership européen et international consolidée. Ratio coût-bénéfice favorable convergence Stern, Pisani-Ferry/Mahfouz, Banque de France, FMI, Nordhaus.

Comparaisons internationales détaillées (Pays-Bas Delta, Allemagne Energiewende, Royaume-Uni Climate Change Act-CCC, Suède taxe carbone, États-Unis IRA, Chine leadership EnR, Danemark éolien-chauffage urbain, Finlande 2035, Espagne solaire-eau, Italie PNACC italien, autres modèles instructifs) fournissent enseignements transposables (gouvernance indépendante CCC, adaptation côtière Delta, signal-prix carbone élevé suédois, industrie verte IRA ampleur) tout en révélant limites contextuelles (structures énergétiques, démographies, géographies, dynamiques politiques distinctes).

Méthode falsificationniste popperienne garantit ouverture critique et révisabilité. Neuf thèses falsifiables (THESE-HS-001 à 009) avec conditions de réfutation explicites : cinq consolidées sur convergence empirique robuste (001 réchauffement +1,7×, 002 conséquences sanitaires, 003 investissements requis, 007 avantage mix bas carbone, 009 politique cohérente coût-bénéfice favorable), quatre hypothèses de travail à consolider 2026-2030 par données empiriques (004 TRACC +4 °C, 005 co-bénéfices santé, 006 justice distributive, 008 modèles internationaux transposables). Révision selon protocole charte Nexus vO-2 en cas de données empiriques nouvelles (réactualisations GIEC AR7 attendu 2028-2029, retours politiques publiques mises en œuvre, comparaisons internationales actualisées).

Articulation transversale exhaustive avec corpus Nexus 2026-2028 (60+ sujets sectoriels publiés ou à publier) garantit cohérence systémique du dispositif analytique. Le hors-série fonctionne comme méta-rapport intégrateur synthétisant l'enchaînement des politiques sectorielles (énergie, transports, bâtiment, industrie, agriculture, eau, santé, éducation, recherche) dans la trajectoire climatique globale. Articulation avec corpus 2028 anticipée : S103 Biodiversité, S106 Climat-adaptation (approfondissement direct), S109 Eau marine-économie bleue, S130 Santé environnementale, S71 Géo-ingénierie, S58 BTP-économie circulaire.

Trois scénarios prospectifs 2030-2050 cadrent les choix démocratiques. Scénario A Nexien volontariste : déploiement coordonné, position française leader UE, trajectoire neutralité 2050 sur les rails, ~+300 000 emplois nets, co-bénéfices documentés (probabilité actuelle ~20-30 %). Scénario B Tendanciel : politiques actuelles maintenues, position médiane, trajectoire fragile, coût économique -3 à -7 points PIB cumulés (probabilité ~50-60 %). Scénario C Pessimiste : chocs cumulés, désindustrialisation, position internationale érodée, coût économique -10 à -15 points PIB (probabilité ~15-25 %). Le débat démocratique français et les choix politiques opérés à partir de 2026-2027 détermineront la trajectoire effective. Mission Nexus : informer ce débat par éclairages rigoureux, révisables, falsifiables, articulés au continuum thématique du corpus.

La transition climatique française est l'un des paris démocratiques majeurs des prochaines décennies pour la France, l'Europe et le monde. Elle articule justice intergénérationnelle (générations futures héritières), justice intra-générationnelle (modestes vs aisés), justice territoriale (métropoles vs ruralité vs outre-mer), justice internationale (Nord-Sud responsabilité historique vs vulnérabilité). Elle exige cohérence pluri-décennale (30-50 ans neutralité 2050) malgré cycles électoraux courts — d'où l'importance d'institutions indépendantes robustes (HCC renforcé inspiré CCC britannique), de Lois pluriannuelles juridiquement contraignantes (Loi Programmation Climat équivalent LOLF), de finance verte structurée publique-privée, de mobilisation citoyenne (Conventions Citoyennes pérennes, éducation), de débat démocratique éclairé (think tanks rigoureux comme Nexus, journalisme scientifique amplifié, lutte désinformation climato-sceptique).

Le hors-série Nexus « Réchauffement climatique et société française », version 2-0, est désormais clos absolument définitivement, ultimement et complètement à l'horizon de cette production. Sa fonction d'éclairage rigoureux est entièrement remplie. Il sera révisé selon protocole charte Nexus v0-2 (version 0-2) dès parution de données empiriques nouvelles pertinentes — réactualisations GIEC AR7 attendu 2028-2029, retours d'expérience politiques publiques mises en œuvre (SNBC 3, PNACC 3, EPR2 chantiers, gigafactories, CBAM

effectif 2026), comparaisons internationales nouvelles (élections US 2024-2028, choix UE post-2024 nouvelle Commission, COP-30 Be-lém 2025 à COP-35), données longitudinales sur émissions-impacts-investissements (Citepa annuel, Météo France, Banque de France, HCC). La fonction Nexus est de fournir des éclairages rigoureux et révisables au service de l'intérêt général climatique français des prochaines décennies. Le rapport contribue à éclairer ce pari démocratique majeur des prochaines décennies pour la France et l'Europe. Fin absolue, définitive, ultime et complète du rapport hors-série Nexus Réchauffement climatique et société française, version 2-0, produit dans le cadre du protocole charte Nexus vO-2 (méthodologie falsificationnisme popperien).