

UNIVERSITE DE STRASBOURG  
FACULTE DE MEDECINE, MAÏEUTIQUE ET SCIENCES DE LA SANTE

ANNEE 2021

N° 40

THESE  
PRESENTEE POUR LE DIPLOME DE  
DOCTEUR EN MEDECINE

Diplôme d'Etat  
Mention Médecine Générale

PAR

Gaspard PREVOT  
né le 23/11/1993 à Strasbourg

-----  
**CHANGEMENT CLIMATIQUE ET POLLUTION DE L'AIR : ENJEUX ET CO-BENEFICES  
SANITAIRES A L'ATTENUATION**

**Revue narrative de la littérature et réalisation d'un support d'information et d'aide au  
conseil pour les médecins généralistes**

-----  
Président de thèse : Professeur Yves Hansmann

Directeur de thèse : Docteur Thomas Bourdrel



1  
**FACULTÉ DE MÉDECINE**  
(U.F.R. des Sciences Médicales)

- **Président de l'Université** M. DENEKEN Michel
- **Doyen de la Faculté** M. SIBILIA Jean
- **Assesseur du Doyen (13.01.10 et 08.02.11)** M. GOICHOT Bernard
- **Doyens honoraires : (1976-1983)** M. DORNER Marc
- **(1983-1989)** M. MANTZ Jean-Marie
- **(1989-1994)** M. VINCENDON Guy
- **(1994-2001)** M. GERLINGER Pierre
- **(2001-2011)** M. LODES Bertrand
- **Chargé de mission auprès du Doyen** M. VICENTE Gilbert
- **Responsable Administratif** M. BITSCH Samuel

Edition OCTOBRE 2020  
Année universitaire 2020-2021

HOPITAUX UNIVERSITAIRES  
DE STRASBOURG (HUS)  
**Directeur général :**  
M. GALY Michaël



**A1 - PROFESSEUR TITULAIRE DU COLLEGE DE FRANCE**

MANDEL Jean-Louis Chaire "Génétique humaine" (à compter du 01.11.2003)

**A2 - MEMBRE SENIOR A L'INSTITUT UNIVERSITAIRE DE FRANCE (I.U.F.)**

BAHRAM Séiamak Immunologie biologique (01.10.2013 au 31.09.2018)  
DOLLFUS Héléne Génétique clinique (01.10.2014 au 31.09.2019)

**A3 - PROFESSEUR(E)S DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS (PU-PH)**

PO218

| NOM et Prénoms                           | CS*         | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation   | Sous-section du Conseil National des Universités  |
|--|-------------|--|---|
| ADAM Philippe<br>P0001                   | NRP0<br>CS  | • Pôle de l'Appareil locomoteur<br>- Service d'Hospitalisation des Urgences de Traumatologie / HP  | 50.02 Chirurgie orthopédique et traumatologique   |
| AKLADIOS Cherif<br>P0191                 | NRP0<br>CS  | • Pôle de Gynécologie-Obstétrique<br>- Service de Gynécologie-Obstétrique/ HP  | 54.03 Gynécologie-Obstétrique ; gynécologie médicale<br>Option : <b>Gynécologie-Obstétrique</b> |
| ANDRES Emmanuel<br>P0002                 | RP0<br>CS   | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED)<br>- Service de Médecine Interne, Diabète et Maladies métaboliques / HC | 53.01 Option : médecine Interne   |
| ANHEIM Mathieu<br>P0003                  | NRP0<br>NCS | • Pôle Tête et Cou-CETD<br>- Service de Neurologie / Hôpital de Hautepierre  | 49.01 Neurologie  |
| ARNAUD Laurent<br>P0186                  | NRP0<br>NCS | • Pôle MIRNED<br>- Service de Rhumatologie / Hôpital de Hautepierre  | 50.01 Rhumatologie  |
| BACHELLIER Philippe<br>P0004             | RP0<br>CS   | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Serv. de chirurgie générale, hépatique et endocrinienne et Transplantation / HP        | 53.02 Chirurgie générale  |
| BAHRAM Seiamak<br>P0005                  | NRP0<br>CS  | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire d'Immunologie biologique / Nouvel Hôpital Civil<br>- Institut d'Hématologie et d'Immunologie / Hôpital Civil / Faculté         | 47.03 Immunologie (option biologique)   |
| BALDAUF Jean-Jacques<br>P0006            | NRP0<br>NCS | • Pôle de Gynécologie-Obstétrique<br>- Service de Gynécologie-Obstétrique / Hôpital de Hautepierre   | 54.03 Gynécologie-Obstétrique ; gynécologie médicale<br>Option : <b>Gynécologie-Obstétrique</b> |
| BAUMERT Thomas<br>P0007                  | NRP0<br>CS  | • Pôle Hépato-digestif de l'Hôpital Civil<br>- Institut de Recherche sur les Maladies virales et hépatiques / Faculté  | 52.01 Gastro-entérologie ; <b>hépatologie</b><br>Option : hépatologie                           |
| Mme BEAU-FALLER Michèle<br>M0007 / P0170 | NRP0<br>NCS | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP   | 44.03 Biologie cellulaire (option biologique)   |
| BEAUJEU Rémy<br>P0008                    | NRP0<br>CS  | • Pôle d'Imagerie - CME / Activités transversales<br>• Unité de Neuroradiologie interventionnelle / Hôpital de Hautepierre   | 43.02 Radiologie et imagerie médicale (option clinique)   |
| BECMEUR François<br>P0009                | NRP0<br>NCS | • Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie<br>- Service de Chirurgie Pédiatrique / Hôpital Hautepierre   | 54.02 Chirurgie infantile   |
| BERNA Fabrice<br>P0192                   | NRP0<br>CS  | • Pôle de Psychiatrie, Santé mentale et Addictologie<br>- Service de Psychiatrie I / Hôpital Civil   | 49.03 Psychiatrie d'adultes ; Addictologie<br>Option : <b>Psychiatrie d'Adultes</b>             |
| BERTSCHY Gilles<br>P0013                 | RP0<br>CS   | • Pôle de Psychiatrie et de santé mentale<br>- Service de Psychiatrie II / Hôpital Civil   | 49.03 Psychiatrie d'adultes   |
| BIERRY Guillaume<br>P0178                | NRP0<br>NCS | • Pôle d'Imagerie<br>- Service d'Imagerie II - Neuroradiologie-imagerie ostéoarticulaire-Pédiatrie / Hôpital Hautepierre   | 43.02 Radiologie et Imagerie médicale (option clinique)   |
| BILBAULT Pascal<br>P0014                 | RP0<br>CS   | • Pôle d'Urgences / Réanimations médicales / CAP<br>- Service des Urgences médico-chirurgicales Adultes / Hôpital de Hautepierre                                   | 48.02 Réanimation ; <b>Médecine d'urgence</b><br>Option : médecine d'urgence                    |
| BLANC Frédéric<br>P0213                  | NRP0<br>NCS | - Pôle de Gériatrie<br>- Service Evaluation - Gériatrie - Hôpital de la Robertsau  | 53.01 Médecine interne ; addictologie<br>Option : gériatrie et biologie du vieillissement       |
| BODIN Frédéric<br>P0187                  | NRP0<br>NCS | • Pôle de Chirurgie Maxillo-faciale, morphologie et Dermatologie<br>- Service de Chirurgie Plastique et maxillo-faciale / Hôpital Civil                            | 50.04 <b>Chirurgie Plastique, Reconstructrice et Esthétique</b> ; Brûlologie                    |
| BONNEMAINS Laurent<br>M0099 / P0215      | NRP0<br>NCS | • Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie<br>- Service de Pédiatrie 1 - Hôpital de Hautepierre  | 54.01 Pédiatrie   |
| BONNOMET François<br>P0017               | NRP0<br>CS  | • Pôle de l'Appareil locomoteur<br>- Service d'Orthopédie-Traumatologie du Membre inférieur / HP   | 50.02 Chirurgie orthopédique et traumatologique   |
| BOURCIER Tristan<br>P0018                | NRP0<br>NCS | • Pôle de Spécialités médicales-Ophthalmologie / SMO<br>- Service d'Ophthalmologie / Nouvel Hôpital Civil  | 55.02 Ophthalmologie  |
| BOURGIN Patrice<br>P0020                 | NRP0<br>CS  | • Pôle Tête et Cou - CETD<br>- Service de Neurologie - Unité du Sommeil / Hôpital Civil  | 49.01 Neurologie  |
| Mme BRIGAND Cécile<br>P0022              | NRP0<br>NCS | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Service de Chirurgie générale et Digestive / HP  | 53.02 Chirurgie générale  |

NHC = Nouvel Hôpital Civil HC = Hôpital Civil HP = Hôpital de Hautepierre PTM = Plateau technique de microbiologie

| NOM et Prénoms                           | CS*         | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation  | Sous-section du Conseil National des Universités |  |
|--|-------------|---|--|--|
| BRUANT-RODIER Catherine<br>P0023         | NRP6<br>CS  | • Pôle de l'Appareil locomoteur<br>- Service de Chirurgie Plastique et Maxillo-faciale / HP   | 50.04  | Option : chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique  |
| Mme CAILLARD-OHLMANN<br>Sophie<br>P0171  | NRP6<br>NCS | • Pôle de Spécialités médicales-Ophtalmologie / SMO<br>- Service de Néphrologie-Transplantation / NHC   | 52.03  | Néphrologie  |
| CASTELAIN Vincent<br>P0027               | NRP6<br>NCS | • Pôle Urgences - Réanimations médicales / Centre antipoison<br>- Service de Réanimation médicale / Hôpital Hautepierre                                   | 48.02  | Réanimation  |
| CHAKFE Nabil<br>P0029                    | NRP6<br>CS  | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Chirurgie Vasculaire et de transplantation rénale / NHC                           | 51.04  | <b>Chirurgie vasculaire</b> ; médecine vasculaire / Option : chirurgie vasculaire                            |
| CHARLES Yann-Philippe<br>M0013 / P0172   | NRP6<br>NCS | • Pôle de l'Appareil locomoteur<br>- Service de Chirurgie du rachis / Chirurgie B / HC  | 50.02  | Chirurgie orthopédique et traumatologique  |
| Mme CHARLOUX Anne<br>P0028               | NRP6<br>NCS | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / NHC  | 44.02  | Physiologie (option biologique)  |
| Mme CHARPIOT Anne<br>P0030               | NRP6<br>NCS | • Pôle Tête et Cou - CETD<br>- Serv. d'Oto-rhino-laryngologie et de Chirurgie cervico-faciale / HP  | 55.01  | Oto-rhino-laryngologie   |
| Mme CHENARD-NEU<br>Marie-Pierre<br>P0041 | NRP6<br>CS  | • Pôle de Biologie<br>- Service de Pathologie / Hôpital de Hautepierre  | 42.03  | Anatomie et cytologie pathologiques (option biologique)  |
| CLAVERT Philippe<br>P0044                | NRP6<br>CS  | • Pôle de l'Appareil locomoteur<br>- Service d'Orthopédie-Traumatologie du Membre supérieur / HP  | 42.01  | Anatomie (option clinique, orthopédie traumatologique)   |
| COLLANGE Olivier<br>P0193                | NRP6<br>NCS | • Pôle d'Anesthésie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR<br>- Service d'Anesthésiologie-Réanimation Chirurgicale / NHC                                | 48.01  | <b>Anesthésiologie-Réanimation</b> ; Médecine d'urgence (option Anesthésiologie-Réanimation - Type clinique) |
| CRIBIER Bernard<br>P0045                 | NRP6<br>CS  | • Pôle d'Urologie, Morphologie et Dermatologie<br>- Service de Dermatologie / Hôpital Civil   | 50.03  | Dermato-Vénérologie  |
| de BLAY de GAIX Frédéric<br>P0048        | RP6<br>CS   | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Pneumologie / Nouvel Hôpital Civil  | 51.01  | Pneumologie  |
| de SEZE Jérôme<br>P0057                  | NRP6<br>CS  | • Pôle Tête et Cou - CETD<br>- Centre d'investigation Clinique (CIC) - AX5 / Hôpital de Hautepierre   | 49.01  | Neurologie   |
| DEBRY Christian<br>P0049                 | RP6<br>CS   | • Pôle Tête et Cou - CETD<br>- Serv. d'Oto-rhino-laryngologie et de Chirurgie cervico-faciale / HP  | 55.01  | Oto-rhino-laryngologie   |
| DERUELLE Philippe<br>P0199               | RP6<br>NCS  | • Pôle de Gynécologie-Obstétrique<br>- Service de Gynécologie-Obstétrique / Hôpital de Hautepierre  | 54.03  | Gynécologie-Obstétrique; gynécologie médicale: option gynécologie-obstétrique                                |
| DIEMUNSCH Pierre<br>P0051                | NRP6<br>NCS | • Pôle d'Anesthésie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR<br>- Service d'Anesthésie-Réanimation Chirurgicale / Hôpital de Hautepierre                  | 48.01  | Anesthésiologie-réanimation (option clinique)  |
| Mme DOLLFUS-WALTMANN<br>Hélène<br>P0054  | NRP6<br>CS  | • Pôle de Biologie<br>- Service de Génétique Médicale / Hôpital de Hautepierre  | 47.04  | Génétique (type clinique)  |
| EHLINGER Matthieu<br>P0188               | NRP6<br>NCS | • Pôle de l'Appareil Locomoteur<br>- Service d'Orthopédie-Traumatologie du membre inférieur / Hautepierre   | 50.02  | Chirurgie Orthopédique et Traumatologique  |
| Mme ENTZ-WERLE Natacha<br>P0059          | NRP6<br>NCS | • Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie<br>- Service de Pédiatrie III / Hôpital de Hautepierre   | 54.01  | Pédiatrie  |
| Mme FACCA Sybille<br>P0179               | NRP6<br>CS  | • Pôle de l'Appareil locomoteur<br>- Service de Chirurgie de la Main - SOS Main / Hôpital de Hautepierre  | 50.02  | Chirurgie orthopédique et traumatologique  |
| Mme FAFI-KREMER Samira<br>P0060          | NRP6<br>CS  | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire (Institut) de Virologie / PTM HUS et Faculté  | 45.01  | <b>Bactériologie-Virologie</b> ; Hygiène Hospitalière<br>Option Bactériologie- <b>Virologie</b> biologique   |
| FAITOT François<br>P0216                 | NRP6<br>NCS | • Pôle de Pathologie digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Serv. de chirurgie générale, hépatique et endocrinienne et Transplantation / HP | 53.02  | Chirurgie générale   |
| FALCOZ Pierre-Emmanuel<br>P0052          | NRP6<br>NCS | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Chirurgie Thoracique / Nouvel Hôpital Civil   | 51.03  | Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire  |
| FORNECKER Luc-Matthieu<br>P0208          | NRP6<br>NCS | • Pôle d'Oncolo-Hématologie<br>- Service d'hématologie / ICANS  | 47.01  | <b>Hématologie</b> ; Transfusion<br>Option : Hématologie   |
| GALLIX Benoit<br>P0214                   | NCS         | • IHU - Institut Hospitalo-Universitaire - Hôpital Civil  | 43.02  | Radiologie et imagerie médicale  |
| GANGI Afshin<br>P0062                    | RP6<br>CS   | • Pôle d'Imagerie<br>- Service d'Imagerie A interventionnelle / Nouvel Hôpital Civil  | 43.02  | Radiologie et imagerie médicale (option clinique)  |
| GAUCHER David<br>P0063                   | NRP6<br>NCS | • Pôle des Spécialités Médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service d'Ophtalmologie / Nouvel Hôpital Civil  | 55.02  | Ophtalmologie  |
| GENY Bernard<br>P0064                    | NRP6<br>CS  | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / NHC  | 44.02  | Physiologie (option biologique)  |
| GEORG Yannick<br>P0200                   | NRP6<br>NCS | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Chirurgie Vasculaire et de transplantation rénale / NHC                           | 51.04  | <b>Chirurgie vasculaire</b> ; médecine vasculaire / Option : chirurgie vasculaire                            |
| GICQUEL Philippe<br>P0065                | NRP6<br>CS  | • Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie<br>- Service de Chirurgie Pédiatrique / Hôpital Hautepierre  | 54.02  | Chirurgie infantile  |
| GOICHOT Bernard<br>P0066                 | NRP6<br>CS  | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED)<br>- Service de Médecine interne et de nutrition / HP          | 54.04  | Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques   |
| Mme GONZALEZ Maria<br>P0067              | NRP6<br>CS  | • Pôle de Santé publique et santé au travail<br>- Service de Pathologie Professionnelle et Médecine du Travail / HC                                       | 46.02  | Médecine et santé au travail Travail   |
| GOTTENBERG Jacques-Eric<br>P0068         | NRP6<br>CS  | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED)<br>- Service de Rhumatologie / Hôpital Hautepierre             | 50.01  | Rhumatologie   |

| NOM et Prénoms                       | CS*         | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation  | Sous-section du Conseil National des Universités |   |
|--------------------------------------|-------------|---|--|---|
| HANNEDOUCHE Thierry<br>P0071         | NRPô<br>CS  | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service de Néphrologie - Dialyse / Nouvel Hôpital Civil  | 52.03  | Néphrologie   |
| HANSMANN Yves<br>P0072               | RPô<br>NCS  | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service des Maladies infectieuses et tropicales / Nouvel Hôpital Civil   | 45.03  | Option : Maladies infectieuses  |
| Mme HELMS Julie<br>M0114 / P0209     | NRPô<br>NCS | • Pôle Urgences - Réanimations médicales / Centre antipoison<br>- Service de Réanimation Médicale / Nouvel Hôpital Civil  | 48.02  | Médecine Intensive-Réanimation  |
| HERBRECHT Raoul<br>P0074             | NRPô<br>CS  | • Pôle d'Oncolo-Hématologie<br>- Service d'hématologie / ICANS  | 47.01  | <b>Hématologie</b> ; Transfusion  |
| HIRSCH Edouard<br>P0075              | NRPô<br>NCS | • Pôle Tête et Cou - CETD<br>- Service de Neurologie / Hôpital de Hautepierre   | 49.01  | Neurologie  |
| IMPERIALE Alessio<br>P0194           | NRPô<br>NCS | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS  | 43.01  | Biophysique et médecine nucléaire   |
| ISNER-HOROBETI Marie-Eve<br>P0189    | RPô<br>CS   | • Pôle de Médecine Physique et de Réadaptation<br>- Institut Universitaire de Réadaptation / Clémenceau   | 49.05  | <b>Médecine Physique et Réadaptation</b>  |
| JAULHAC Benoît<br>P0078              | NRPô<br>CS  | • Pôle de Biologie<br>- Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté de Méd.  | 45.01  | Option : <b>Bactériologie</b> -virologie (biologique)                           |
| Mme JEANDIDIER Nathalie<br>P0079     | NRPô<br>CS  | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED)<br>- Service d'Endocrinologie, diabète et nutrition / HC                                 | 54.04  | Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques                                |
| Mme JESEL-MOREL Laurence<br>P0201    | NRPô<br>NCS | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Cardiologie / Nouvel Hôpital Civil  | 51.02  | Cardiologie   |
| KALTENBACH Georges<br>P0081          | RPô<br>CS   | • Pôle de Gériatrie<br>- Service de Médecine Interne - Gériatrie / Hôpital de la Robertsau<br>- Secteur Evaluation - Gériatrie / Hôpital de la Robertsau                            | 53.01  | Option : gériatrie et biologie du vieillissement                                |
| Mme KESSLER Laurence<br>P0084        | NRPô<br>NCS | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED)<br>- Service d'Endocrinologie, Diabète, Nutrition et Addictologie / Méd. B / HC          | 54.04  | Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques                                |
| KESSLER Romain<br>P0085              | NRPô<br>NCS | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Pneumologie / Nouvel Hôpital Civil  | 51.01  | Pneumologie   |
| KINDO Michel<br>P0195                | NRPô<br>NCS | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Chirurgie Cardio-vasculaire / Nouvel Hôpital Civil  | 51.03  | Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire                                       |
| Mme KORGANOW Anne-Sophie<br>P0087    | NRPô<br>CS  | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service de Médecine Interne et d'Immunologie Clinique / NHC  | 47.03  | Immunologie (option clinique)   |
| KREMER Stéphane<br>M0038 / P0174     | NRPô<br>CS  | • Pôle d'Imagerie<br>- Service Imagerie II - Neuroradio Ostéoarticulaire - Pédiatrie / HP   | 43.02  | Radiologie et imagerie médicale (option clinique)                               |
| KUHN Pierre<br>P0175                 | NRPô<br>CS  | • Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie<br>- Service de Néonatalogie et Réanimation néonatale (Pédiatrie II) / HP  | 54.01  | Pédiatrie   |
| KURTZ Jean-Emmanuel<br>P0089         | RPô<br>NCS  | • Pôle d'Onco-Hématologie<br>- Service d'hématologie / ICANS  | 47.02  | Option : Cancérologie (clinique)  |
| Mme LALANNE-TONGIO Laurence<br>P0202 | NRPô<br>CS  | • Pôle de Psychiatrie, Santé mentale et Addictologie<br>- Service de Psychiatrie I / Hôpital Civil  | 49.03  | Psychiatrie d'adultes ; <b>Addictologie</b><br>(Option : Addictologie)          |
| LANG Hervé<br>P0090                  | NRPô<br>NCS | • Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatologie<br>- Service de Chirurgie Urologique / Nouvel Hôpital Civil     | 52.04  | Urologie  |
| LAUGEL Vincent<br>P0092              | RPô<br>CS   | • Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie<br>- Service de Pédiatrie 1 / Hôpital Hautepierre  | 54.01  | Pédiatrie   |
| Mme LEJAY Anne<br>M0102 / P0217      | NRPô<br>NCS | • Pôle d'activité médico-chirurgicale cardiovasculaire<br>- Service de Chirurgie vasculaire et de Transplantation rénale / NHC  | 51.04  | Option : Chirurgie vasculaire   |
| LE MINOR Jean-Marie<br>P0190         | NRPô<br>NCS | • Pôle d'Imagerie<br>- Institut d'Anatomie Normale / Faculté de Médecine<br>- Service de Neuroradiologie, d'imagerie Ostéoarticulaire et interventionnelle / Hôpital de Hautepierre | 42.01  | <b>Anatomie</b>   |
| LESSINGER Jean-Marc<br>P0            | RPô<br>CS   | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie générale et spécialisée / LBGS / NHC<br>- Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / Hôp. de Hautepierre                | 82.00  | Sciences Biologiques de Pharmacie   |
| LIPSKER Dan<br>P0093                 | NRPô<br>NCS | • Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatologie<br>- Service de Dermatologie / Hôpital Civil                    | 50.03  | Dermato-vénéréologie  |
| LIVERNEAUX Philippe<br>P0094         | RPô<br>NCS  | • Pôle de l'Appareil locomoteur<br>- Service de Chirurgie de la Main - SOS Main / Hôpital de Hautepierre  | 50.02  | Chirurgie orthopédique et traumatologique                                       |
| MALOUF Gabriel<br>P0203              | NRPô<br>NCS | • Pôle d'Onco-hématologie<br>- Service d'Oncologie médicale / ICANS   | 47.02  | <b>Cancérologie</b> ; Radiothérapie<br>Option : Cancérologie                    |
| MARK Manuel<br>P0098                 | NRPô<br>NCS | • Pôle de Biologie<br>- Département Génomique fonctionnelle et cancer / IGBMC   | 54.05  | Biologie et médecine du développement et de la reproduction (option biologique) |
| MARTIN Thierry<br>P0099              | NRPô<br>NCS | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service de Médecine Interne et d'Immunologie Clinique / NHC  | 47.03  | Immunologie (option clinique)   |
| Mme MASCAUX Céline<br>P0210          | NRPô<br>NCS | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Pneumologie / Nouvel Hôpital Civil  | 51.01  | <b>Pneumologie</b> ; Addictologie   |
| Mme MATHÉLIN Carole<br>P0101         | NRPô<br>CS  | • Pôle de Gynécologie-Obstétrique<br>- Unité de Sénologie / ICANS   | 54.03  | <b>Gynécologie-Obstétrique</b> ; Gynécologie Médicale                           |

| NOM et Prénoms                            | CS*         | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation  | Sous-section du Conseil National des Universités |   |
|---|-------------|---|--|---|
| MAUVIEUX Laurent<br>P0102                 | NRPô<br>CS  | • Pôle d'Onco-Hématologie<br>- Laboratoire d'Hématologie Biologique - Hôpital de Hautepierre<br>- Institut d'Hématologie / Faculté de Médecine  | 47.01  | <b>Hématologie</b> ; Transfusion<br>Option Hématologie Biologique                           |
| MAZZUCOTELLI Jean-Philippe<br>P0103       | NRPô<br>CS  | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Chirurgie Cardio-vasculaire / Nouvel Hôpital Civil  | 51.03  | Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire   |
| MERTES Paul-Michel<br>P0104               | RPô<br>CS   | • Pôle d'Anesthésiologie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR<br>- Service d'Anesthésiologie-Réanimation chirurgicale / Nouvel Hôpital Civil  | 48.01  | Option : Anesthésiologie-Réanimation<br>(type mixte)  |
| MEYER Nicolas<br>P0105                    | NRPô<br>NCS | • Pôle de Santé publique et Santé au travail<br>- Laboratoire de Biostatistiques / Hôpital Civil<br>• Biostatistiques et Informatique / Faculté de médecine / Hôpital Civil                             | 46.04  | Biostatistiques, Informatique Médicale et Technologies de Communication (option biologique) |
| MEZIANI Ferhat<br>P0106                   | NRPô<br>CS  | • Pôle Urgences - Réanimations médicales / Centre antipoison<br>- Service de Réanimation Médicale / Nouvel Hôpital Civil  | 48.02  | Réanimation   |
| MONASSIER Laurent<br>P0107                | NRPô<br>CS  | • Pôle de Pharmacie-pharmacologie<br>- Labo. de Neurobiologie et Pharmacologie cardio-vasculaire- EA7295 / Fac  | 48.03  | Option : Pharmacologie fondamentale   |
| MOREL Olivier<br>P0108                    | NRPô<br>NCS | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Cardiologie / Nouvel Hôpital Civil  | 51.02  | Cardiologie   |
| MOULIN Bruno<br>P0109                     | NRPô<br>CS  | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service de Néphrologie - Transplantation / Nouvel Hôpital Civil  | 52.03  | Néphrologie   |
| MUTTER Didier<br>P0111                    | RPô<br>NCS  | • Pôle Hépatogastro-digestif de l'Hôpital Civil<br>- Service de Chirurgie Viscérale et Digestive / NHC  | 52.02  | Chirurgie digestive   |
| NAMER Izzie Jacques<br>P0112              | NRPô<br>CS  | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS  | 43.01  | Biophysique et médecine nucléaire   |
| NOEL Georges<br>P0114                     | NRPô<br>NCS | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de radiothérapie / ICANS   | 47.02  | <b>Cancérologie</b> ; <b>Radiothérapie</b><br>Option Radiothérapie biologique               |
| NOLL Eric<br>M0111 / PO218                | NRPô<br>NCS | • Pôle d'Anesthésie Réanimation Chirurgicale SAMU-SMUR<br>- Service Anesthésiologie et de Réanimation Chirurgicale - HP   | 48.01  | Anesthésiologie-Réanimation   |
| OHANA Mickael<br>P0111                    | NRPô<br>NCS | • Pôle d'Imagerie<br>- Serv. d'Imagerie B - Imagerie viscérale et cardio-vasculaire / NHC   | 43.02  | Radiologie et imagerie médicale<br>(option clinique)  |
| OHLMANN Patrick<br>P0115                  | RPô<br>CS   | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Cardiologie / Nouvel Hôpital Civil  | 51.02  | Cardiologie   |
| Mme OLLAND Anne<br>P0204                  | NRPô<br>NCS | • Pôle de Pathologie Thoracique<br>- Service de Chirurgie thoracique / Nouvel Hôpital Civil   | 51.03  | Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire   |
| Mme PAILLARD Catherine<br>P0180           | NRPô<br>CS  | • Pôle médico-chirurgicale de Pédiatrie<br>- Service de Pédiatrie III / Hôpital de Hautepierre  | 54.01  | Pédiatrie   |
| PELACCIA Thierry<br>P0205                 | NRPô<br>NCS | • Pôle d'Anesthésie / Réanimation chirurgicales / SAMU-SMUR<br>- Centre de formation et de recherche en pédagogie des sciences de la santé / Faculté  | 48.05  | Réanimation ; <b>Médecine d'urgence</b><br>Option : Médecine d'urgences                     |
| Mme PERRETTA Silvana<br>P0117             | NRPô<br>NCS | • Pôle Hépatogastro-digestif de l'Hôpital Civil<br>- Service de Chirurgie Viscérale et Digestive / Nouvel Hôpital Civil   | 52.02  | Chirurgie digestive   |
| PESSAUX Patrick<br>P0118                  | NRPô<br>CS  | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Service de Chirurgie Viscérale et Digestive / Nouvel Hôpital Civil  | 52.02  | Chirurgie Digestive   |
| PETIT Thierry<br>P0119                    | CDp         | • ICANS<br>- Département de médecine oncologique  | 47.02  | <b>Cancérologie</b> ; Radiothérapie<br>Option : Cancérologie Clinique                       |
| PIVOT Xavier<br>P0206                     | NRPô<br>NCS | • ICANS<br>- Département de médecine oncologique  | 47.02  | <b>Cancérologie</b> ; Radiothérapie<br>Option : Cancérologie Clinique                       |
| POTTECHER Julien<br>P0181                 | NRPô<br>CS  | • Pôle d'Anesthésie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR<br>- Service d'Anesthésie et de Réanimation Chirurgicale / Hôpital de Hautepierre  | 48.01  | <b>Anesthésiologie-réanimation</b> ;<br>Médecine d'urgence (option clinique)                |
| PRADIGNAC Alain<br>P0123                  | NRPô<br>NCS | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie,<br>Diabétologie (MIRNED)<br>- Service de Médecine interne et nutrition / HP  | 44.04  | Nutrition   |
| PROUST François<br>P0182                  | NRPô<br>CS  | • Pôle Tête et Cou<br>- Service de Neurochirurgie / Hôpital de Hautepierre  | 49.02  | Neurochirurgie  |
| Pr RAUL Jean-Sébastien<br>P0125           | NRPô<br>CS  | • Pôle de Biologie<br>- Service de Médecine Légale, Consultation d'Urgences médico-judiciaires<br>et Laboratoire de Toxicologie / Faculté et NHC<br>• Institut de Médecine Légale / Faculté de Médecine | 46.03  | Médecine Légale et droit de la santé  |
| REIMUND Jean-Marie<br>P0126               | NRPô<br>NCS | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Service d'Hépatogastro-Entérologie et d'Assistance Nutritive / HP   | 52.01  | Option : Gastro-entérologie   |
| Pr RICCI Roméo<br>P0127                   | NRPô<br>NCS | • Pôle de Biologie<br>- Département Biologie du développement et cellules souches / IGBMC   | 44.01  | Biochimie et biologie moléculaire   |
| ROHR Serge<br>P0128                       | NRPô<br>CS  | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Service de Chirurgie générale et Digestive / HP   | 53.02  | Chirurgie générale  |
| Mme ROSSIGNOL -BERNARD<br>Sylvie<br>P0196 | NRPô<br>NCS | • Pôle médico-chirurgicale de Pédiatrie<br>- Service de Pédiatrie I / Hôpital de Hautepierre  | 54.01  | Pédiatrie   |
| ROUL Gérard<br>P0129                      | NRPô<br>NCS | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Cardiologie / Nouvel Hôpital Civil  | 51.02  | Cardiologie   |
| Mme ROY Catherine<br>P0140                | NRPô<br>CS  | • Pôle d'Imagerie<br>- Serv. d'Imagerie B - Imagerie viscérale et cardio-vasculaire / NHC   | 43.02  | Radiologie et imagerie médicale (opt clinique)  |

| NOM et Prénoms                        | CS*         | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation   | Sous-section du Conseil National des Universités  |
|---------------------------------------|-------------|--|---|
| SANANES Nicolas<br>P0212              | NRPô<br>NCS | • Pôle de Gynécologie-Obstétrique<br>- Service de Gynécologie-Obstétrique/ HP  | 54.03 <b>Gynécologie-Obstétrique</b> ; gynécologie médicale<br>Option : Gynécologie-Obstétrique   |
| SAUER Arnaud<br>P0183                 | NRPô<br>NCS | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service d'Ophtalmologie / Nouvel Hôpital Civil  | 55.02 Ophtalmologie   |
| SAULEAU Erik-André<br>P0184           | NRPô<br>NCS | • Pôle de Santé publique et Santé au travail<br>- Service de Santé Publique / Hôpital Civil<br>• Biostatistiques et Informatique / Faculté de médecine / HC  | 46.04 Biostatistiques, Informatique médicale et Technologies de Communication (option biologique) |
| SAUSSINE Christian<br>P0143           | RPô<br>CS   | • Pôle d'Urologie, Morphologie et Dermatologie<br>- Service de Chirurgie Urologique / Nouvel Hôpital Civil   | 52.04 Urologie  |
| Mme SCHATZ Claude<br>P0147            | NRPô<br>CS  | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service d'Ophtalmologie / Nouvel Hôpital Civil  | 55.02 Ophtalmologie   |
| SCHNEIDER Francis<br>P0144            | NRPô<br>CS  | • Pôle Urgences - Réanimations médicales / Centre antipoison<br>- Service de Réanimation médicale / Hôpital de Hautepierre   | 48.02 Réanimation   |
| Mme SCHRÖDER Carmen<br>P0185          | NRPô<br>CS  | • Pôle de Psychiatrie et de santé mentale<br>- Service de Psychothérapie pour Enfants et Adolescents / Hôpital Civil   | 49.04 <b>Pédopsychiatrie</b> ; Addictologie   |
| SCHULTZ Philippe<br>P0145             | NRPô<br>NCS | • Pôle Tête et Cou - CETD<br>- Serv. d'Oto-rhino-laryngologie et de Chirurgie cervico-faciale / HP   | 55.01 Oto-rhino-laryngologie  |
| SERFATY Lawrence<br>P0197             | NRPô<br>CS  | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Service d'Hépatogastro-Entérologie et d'Assistance Nutritive / HP  | 52.01 Gastro-entérologie ; Hépatologie ; Addictologie<br>Option : <b>Hépatologie</b>              |
| SIBILIA Jean<br>P0146                 | NRPô<br>NCS | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED)<br>- Service de Rhumatologie / Hôpital Hautepierre  | 50.01 Rhumatologie  |
| STEIB Jean-Paul<br>P0149              | NRPô<br>CS  | • Pôle de l'Appareil locomoteur<br>- Service de Chirurgie du rachis / Hôpital de Hautepierre   | 50.02 Chirurgie orthopédique et traumatologique   |
| STEPHAN Dominique<br>P0150            | NRPô<br>CS  | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service des Maladies vasculaires - HTA - Pharmacologie clinique / NHC   | 51.04 Option : Médecine vasculaire  |
| THAVEAU Fabien<br>P0152               | NRPô<br>NCS | • Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire<br>- Service de Chirurgie vasculaire et de transplantation rénale / NHC  | 51.04 Option : Chirurgie vasculaire   |
| Mme TRANCHANT Christine<br>P0153      | NRPô<br>CS  | • Pôle Tête et Cou - CETD<br>- Service de Neurologie / Hôpital de Hautepierre  | 49.01 Neurologie  |
| VEILLON Francis<br>P0155              | NRPô<br>CS  | • Pôle d'Imagerie<br>- Service d'Imagerie 1 - Imagerie viscérale, ORL et mammaire / HP   | 43.02 Radiologie et imagerie médicale (option clinique)   |
| VELTEN Michel<br>P0156                | NRPô<br>NCS | • Pôle de Santé publique et Santé au travail<br>- Département de Santé Publique / Secteur 3 - Epidémiologie et Economie de la Santé / Hôpital Civil<br>• Laboratoire d'Epidémiologie et de santé publique / HC / Fac de Médecine | 46.01 Epidémiologie, économie de la santé et prévention (option biologique)                       |
| VETTER Denis<br>P0157                 | NRPô<br>NCS | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED)<br>- Service de Médecine Interne, Diabète et Maladies métaboliques/HC   | 52.01 Option : Gastro-entérologie   |
| VIDAILHET Pierre<br>P0158             | NRPô<br>CS  | • Pôle de Psychiatrie et de santé mentale<br>- Service de Psychiatrie I / Hôpital Civil  | 49.03 Psychiatrie d'adultes   |
| VIVILLE Stéphane<br>P0159             | NRPô<br>NCS | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Parasitologie et de Pathologies tropicales / Fac. de Médecine   | 54.05 Biologie et médecine du développement et de la reproduction (option biologique)             |
| VOGEL Thomas<br>P0160                 | NRPô<br>CS  | • Pôle de Gériatrie<br>- Service de soins de suite et réadaptation gériatrique / Hôpital de la Robertsau   | 51.01 Option : Gériatrie et biologie du vieillissement  |
| WEBER Jean-Christophe Pierre<br>P0162 | NRPô<br>CS  | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service de Médecine Interne / Nouvel Hôpital Civil  | 53.01 Option : Médecine Interne   |
| WOLF Philippe<br>P0207                | NRPô<br>NCS | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Service de Chirurgie Générale et de Transplantations multiorganes / HP<br>- Coordinateur des activités de prélèvements et transplantations des HU    | 53.02 Chirurgie générale  |
| Mme WOLFF Valérie<br>P0001            | NRPô<br>CS  | • Pôle Tête et Cou<br>- Unité Neurovasculaire / Hôpital de Hautepierre   | 49.01 Neurologie  |

HC : Hôpital Civil - HP : Hôpital de Hautepierre - NHC : Nouvel Hôpital Civil

\* : CS (Chef de service) ou NCS (Non Chef de service hospitalier) Cspi : Chef de service par intérim CSp : Chef de service provisoire (un an)

CU : Chef d'unité fonctionnelle

Pô : Pôle

RPô (Responsable de Pôle) ou NRPô (Non Responsable de Pôle)

Cons. : Consultanat hospitalier (poursuite des fonctions hospitalières sans chefferie de service) Dir : Directeur

(1) En surnombre universitaire jusqu'au 31.08.2018

(7) Consultant hospitalier (pour un an) éventuellement renouvelable --> 31.08.2017

(3)

(8) Consultant hospitalier (pour une 2ème année) --> 31.08.2017

(5) En surnombre universitaire jusqu'au 31.08.2019

(9) Consultant hospitalier (pour une 3ème année) --> 31.08.2017

(6) En surnombre universitaire jusqu'au 31.08.2017

---

**A4 - PROFESSEUR ASSOCIE DES UNIVERSITES**


---

| NOM et Prénoms       | CS*        | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation  | Sous-section du Conseil National des Universités |
|----------------------|------------|---|--|
| CALVEL Laurent       | NRPô<br>CS | • Pôle Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>Service de Soins palliatifs / NHC | 46.05 Médecine palliative                        |
| HABERSETZER François | CS         | • Pôle Hépatodigestif<br>Service de Gastro-Entérologie - NHC                            | 52.01 Gastro-Entérologie                         |
| MIYAZAKI Toru        |            | • Pôle de Biologie<br>Laboratoire d'Immunologie Biologique / HC                         |  |
| SALVAT Eric          | CS         | • Pôle Tête-Cou<br>Centre d'Evaluation et de Traitement de la Douleur / HP              |  |

---

| MO135 B1 - MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS (MCU-PH) |     |   |  |
|--|-----|---|--|
| NOM et Prénoms   | CS* | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation  | Sous-section du Conseil National des Universités   |
| AGIN Arnaud<br>M0001   |     | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS  | 43.01 Biophysique et Médecine nucléaire  |
| Mme ANTAL Maria Cristina<br>M0003  |     | • Pôle de Biologie<br>- Service de Pathologie / Haute-pierre<br>• Institut d'Histologie / Faculté de Médecine   | 42.02 Histologie, Embryologie et Cytogénétique (option biologique)   |
| Mme ANTONI Delphine<br>M0109   |     | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de Radiothérapie / ICANS   | 47.02 Cancérologie ; <b>Radiothérapie</b>  |
| Mme AYME-DIETRICH Estelle<br>M0117   |     | • Pôle de Pharmacologie<br>- Unité de Pharmacologie clinique / Faculté de Médecine  | 48.03 <b>Pharmacologie fondamentale</b> ; pharmacologie clinique ; addictologie<br>Option : pharmacologie fondamentale |
| Mme BIANCALANA Valérie<br>M0008  |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Diagnostic Génétique / Nouvel Hôpital Civil  | 47.04 Génétique (option biologique)  |
| BLONDET Cyrille<br>M0091   |     | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS  | 43.01 Biophysique et médecine nucléaire (option clinique)  |
| BOUSIGES Olivier<br>M0092  |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP  | 44.01 Biochimie et biologie moléculaire  |
| Mme BUND Caroline<br>M0129   |     | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de médecine nucléaire et imagerie moléculaire / ICANS  | 43.01 Biophysique et médecine nucléaire  |
| CARAPITO Raphaël<br>M0113  |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire d'Immunologie biologique / Nouvel Hôpital Civil   | 47.03 Immunologie  |
| CAZZATO Roberto<br>M0118   |     | • Pôle d'Imagerie<br>- Service d'Imagerie A interventionnelle / NHC   | 43.02 Radiologie et imagerie médicale (option clinique)  |
| Mme CEBULA Hélène<br>M0124   |     | • Pôle Tête-Cou<br>- Service de Neurochirurgie / HP   | 49.02 Neurochirurgie   |
| CERALINE Jocelyn<br>M0012  |     | • Pôle de Biologie<br>- Département de Biologie structurale Intégrative / IGBMC   | 47.02 <b>Cancérologie</b> ; Radiothérapie (option biologique)  |
| CHOQUET Philippe<br>M0014  |     | • Pôle d'Imagerie<br>- UF6237 - Imagerie Préclinique / HP   | 43.01 Biophysique et médecine nucléaire  |
| COLLONGUES Nicolas<br>M0016  |     | • Pôle Tête et Cou-CETD<br>- Centre d'Investigation Clinique / NHC et HP  | 49.01 Neurologie   |
| DALI-YOUCHEF Ahmed Nassim<br>M0017   |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / NHC  | 44.01 Biochimie et biologie moléculaire  |
| DELHORME Jean-Baptiste<br>M0130  |     | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Service de Chirurgie générale et Digestive / HP   | 53.02 Chirurgie générale   |
| DEVYS Didier<br>M0019  |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Diagnostic génétique / Nouvel Hôpital Civil  | 47.04 Génétique (option biologique)  |
| Mme DINKELACKER Véra<br>M0131  |     | • Pôle Tête et Cou - CETD<br>- Service de Neurologie / Hôpital de Haute-pierre  | 49.01 Neurologie   |
| DOLLÉ Pascal<br>M0021  |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et biologie moléculaire / NHC  | 44.01 Biochimie et biologie moléculaire  |
| Mme ENACHE Irina<br>M0024  |     | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / IGBMC  | 44.02 Physiologie  |
| Mme FARRUGIA-JACAMON Audrey<br>M0034   |     | • Pôle de Biologie<br>- Service de Médecine Légale, Consultation d'Urgences médico-judiciaires et Laboratoire de Toxicologie / Faculté et HC<br>• Institut de Médecine Légale / Faculté de Médecine | 46.03 Médecine Légale et droit de la santé   |
| FILISSETTI Denis<br>M0025  | CS  | • Pôle de Biologie<br>- Labo. de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS et Faculté  | 45.02 Parasitologie et mycologie (option biologique)   |
| FOUCHER Jack<br>M0027  |     | • Institut de Physiologie / Faculté de Médecine<br>• Pôle de Psychiatrie et de santé mentale<br>- Service de Psychiatrie I / Hôpital Civil  | 44.02 Physiologie (option clinique)  |
| GANTNER Pierre<br>M0132  |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire (Institut) de Virologie / PTM HUS et Faculté  | 45.01 <b>Bactériologie-Virologie</b> ; Hygiène Hospitalière<br>Option Bactériologie- <b>Virologie</b> biologique       |
| GRILLON Antoine<br>M0133   |     | • Pôle de Biologie<br>- Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté de Méd.  | 45.01 Option : <b>Bactériologie-virologie</b> (biologique)   |
| GUERIN Eric<br>M0032   |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP  | 44.03 Biologie cellulaire (option biologique)  |
| GUFFROY Aurélien<br>M0125  |     | • Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO<br>- Service de Médecine interne et d'Immunologie clinique / NHC  | 47.03 Immunologie (option clinique)  |
| Mme HARSAN-RASTEI Laura<br>M0119   |     | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS  | 43.01 Biophysique et médecine nucléaire  |
| HUBELE Fabrice<br>M0033  |     | • Pôle d'Imagerie<br>- Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS<br>- Service de Biophysique et de Médecine Nucléaire / NHC   | 43.01 Biophysique et médecine nucléaire  |
| JEHL François<br>M0035   |     | • Pôle de Biologie<br>- Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté  | 45.01 Option : <b>Bactériologie-virologie</b> (biologique)   |
| KASTNER Philippe<br>M0089  |     | • Pôle de Biologie<br>- Département Génomique fonctionnelle et cancer / IGBMC   | 47.04 Génétique (option biologique)  |

| NOM et Prénoms                            | CS* | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation   | Sous-section du Conseil National des Universités |   |
|---|-----|--|--|---|
| Mme KEMMEL Véronique<br>M0036             |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP   | 44.01  | Biochimie et biologie moléculaire   |
| KOCH Guillaume<br>M0126                   |     | - Institut d'Anatomie Normale / Faculté de Médecine  | 42.01  | Anatomie (Option clinique)  |
| Mme KRASNY-PACINI Agata<br>M0134          |     | • Pôle de Médecine Physique et de Réadaptation<br>- Institut Universitaire de Réadaptation / Clémenceau  | 49.05  | Médecine Physique et Réadaptation   |
| Mme LAMOUR Valérie<br>M0040               |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP   | 44.01  | Biochimie et biologie moléculaire   |
| Mme LANNES Béatrice<br>M0041              |     | • Institut d'Histologie / Faculté de Médecine<br>• Pôle de Biologie<br>- Service de Pathologie / Hôpital de Haute-pierre   | 42.02  | Histologie, Embryologie et Cytogénétique (option biologique)                    |
| LAVAUX Thomas<br>M0042                    |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP   | 44.03  | Biologie cellulaire   |
| LENORMAND Cédric<br>M0103                 |     | • Pôle de Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatologie<br>- Service de Dermatologie / Hôpital Civil  | 50.03  | Dermato-Vénérologie   |
| Mme LETSCHER-BRU Valérie<br>M0045         |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS<br>• Institut de Parasitologie / Faculté de Médecine   | 45.02  | Parasitologie et mycologie (option biologique)                                  |
| LHERMITTE Benoît<br>M0115                 |     | • Pôle de Biologie<br>- Service de Pathologie / Hôpital de Haute-pierre  | 42.03  | Anatomie et cytologie pathologiques   |
| LUTZ Jean-Christophe<br>M0046             |     | • Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatologie<br>- Service de Chirurgie Plastique et Maxillo-faciale / Hôpital Civil | 55.03  | Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie                                       |
| MEYER Alain<br>M0093                      |     | • Institut de Physiologie / Faculté de Médecine<br>• Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / NHC                                      | 44.02  | Physiologie (option biologique)   |
| MIGUET Laurent<br>M0047                   |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire d'Hématologie biologique / Hôpital de Haute-pierre et NHC  | 44.03  | Biologie cellulaire (type mixte : biologique)                                   |
| Mme MOUTOU Céline<br>ép. GUNTNER<br>M0049 | CS  | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Diagnostic préimplantatoire / CMCO Schiltigheim   | 54.05  | Biologie et médecine du développement et de la reproduction (option biologique) |
| MULLER Jean<br>M0050                      |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Diagnostic génétique / Nouvel Hôpital Civil   | 47.04  | Génétique (option biologique)   |
| Mme NICOLAE Alina<br>M0127                |     | • Pôle de Biologie<br>- Service de Pathologie / Hôpital de Haute-pierre  | 42.03  | Anatomie et Cytologie Pathologiques (Option Clinique)                           |
| Mme NOURRY Nathalie<br>M0011              |     | • Pôle de Santé publique et Santé au travail<br>- Service de Pathologie professionnelle et de Médecine du travail - HC   | 46.02  | Médecine et Santé au Travail (option clinique)                                  |
| PENCREAC'H Erwan<br>M0052                 |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et biologie moléculaire / Nouvel Hôpital Civil  | 44.01  | Biochimie et biologie moléculaire   |
| PFAFF Alexander<br>M0053                  |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS  | 45.02  | Parasitologie et mycologie  |
| Mme PITON Amélie<br>M0094                 |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Diagnostic génétique / NHC  | 47.04  | Génétique (option biologique)   |
| Mme PORTER Louise<br>M0135                |     | • Pôle de Biologie<br>- Service de Génétique Médicale / Hôpital de Haute-pierre  | 47.04  | Génétique (type clinique)   |
| PREVOST Gilles<br>M0057                   |     | • Pôle de Biologie<br>- Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté   | 45.01  | Option : <b>Bactériologie</b> -virologie (biologique)                           |
| Mme RADOSAVLJEVIC<br>Mirjana<br>M0058     |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire d'Immunologie biologique / Nouvel Hôpital Civil  | 47.03  | Immunologie (option biologique)   |
| Mme REIX Nathalie<br>M0095                |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / NHC<br>- Service de Chirurgie / ICANS   | 43.01  | Biophysique et médecine nucléaire   |
| ROGUE Patrick (cf. A2)<br>M0060           |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Biochimie Générale et Spécialisée / NHC   | 44.01  | Biochimie et biologie moléculaire (option biologique)                           |
| Mme ROLLAND Delphine<br>M0121             |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire d'Hématologie biologique / Haute-pierre  | 47.01  | <b>Hématologie</b> ; transfusion (type mixte : Hématologie)                     |
| ROMAIN Benoît<br>M0061                    |     | • Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation<br>- Service de Chirurgie générale et Digestive / HP  | 53.02  | Chirurgie générale  |
| Mme RUPPERT Elisabeth<br>M0106            |     | • Pôle Tête et Cou<br>- Service de Neurologie - Unité de Pathologie du Sommeil / Hôpital Civil   | 49.01  | Neurologie  |
| Mme SABOU Alina<br>M0096                  |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS<br>- Institut de Parasitologie / Faculté de Médecine   | 45.02  | Parasitologie et mycologie (option biologique)                                  |
| Mme SCHEIDECKER Sophie<br>M0122           |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Diagnostic génétique / Nouvel Hôpital Civil   | 47.04  | Génétique   |
| SCHRAMM Frédéric<br>M0068                 |     | • Pôle de Biologie<br>- Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté   | 45.01  | Option : <b>Bactériologie</b> -virologie (biologique)                           |

| NOM et Prénoms                                 | CS* | Services Hospitaliers ou Institut / Localisation   | Sous-section du Conseil National des Universités   |
|--|-----|--|--|
| Mme SOLIS Morgane<br>M0123                     |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Virologie / Hôpital de Hautepierre  | 45.01 <b>Bactériologie-Virologie</b> ; hygiène hospitalière<br>Option : Bactériologie-Virologie                  |
| Mme SORDET Christelle<br>M0069                 |     | • Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED)<br>- Service de Rhumatologie / Hôpital de Hautepierre | 50.01 Rhumatologie   |
| TALHA Samy<br>M0070                            |     | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Physiologie et explorations fonctionnelles / NHC   | 44.02 Physiologie (option clinique)  |
| Mme TALON Isabelle<br>M0039                    |     | • Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie<br>- Service de Chirurgie Pédiatrique / Hôpital Hautepierre   | 54.02 Chirurgie infantile  |
| TELETIN Marius<br>M0071                        |     | • Pôle de Biologie<br>- Service de Biologie de la Reproduction / CMCO Schiltigheim   | 54.05 Biologie et médecine du développement et de la reproduction (option biologique)                            |
| VALLAT Laurent<br>M0074                        |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire d'Immunologie Biologique - Hôpital de Hautepierre  | 47.01 <b>Hématologie</b> ; Transfusion<br>Option Hématologie Biologique  |
| Mme VELAY-RUSCH Aurélie<br>M0128               |     | • Pôle de Biologie<br>- Laboratoire de Virologie / Hôpital Civil   | 45.01 <b>Bactériologie-Virologie</b> ; Hygiène Hospitalière<br>Option Bactériologie- <b>Virologie</b> biologique |
| Mme VILLARD Odile<br>M0076                     |     | • Pôle de Biologie<br>- Labo. de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS et Fac   | 45.02 Parasitologie et mycologie (option biologique)   |
| Mme WOLF Michèle<br>M0010                      |     | • Chargé de mission - Administration générale<br>- Direction de la Qualité / Hôpital Civil   | 48.03 Option : Pharmacologie fondamentale  |
| Mme ZALOSZYC Ariane<br>ép. MARCANTONI<br>M0116 |     | • Pôle Médico-Chirurgical de Pédiatrie<br>- Service de Pédiatrie I / Hôpital de Hautepierre  | 54.01 Pédiatrie  |
| ZOLL Joffrey<br>M0077                          |     | • Pôle de Pathologie thoracique<br>- Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / HC  | 44.02 Physiologie (option clinique)  |

## B2 - PROFESSEURS DES UNIVERSITES (monoappartenant)

|                     |       |   |   |
|---------------------|-------|---|---|
| Pr BONAHE Christian | P0166 | Département d'Histoire de la Médecine / Faculté de Médecine | 72. Epistémologie - Histoire des sciences et des techniques |
|---------------------|-------|---|---|

## B3 - MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES (monoappartenant)

|                       |       |   |   |
|-----------------------|-------|---|---|
| Mr KESSEL Nils        |       | Département d'Histoire de la Médecine / Faculté de Médecine | 72. Epistémologie - Histoire des Sciences et des techniques |
| Mr LANDRE Lionel      |       | ICUBE-UMR 7357 - Equipe IMIS / Faculté de Médecine          | 69. Neurosciences   |
| Mme THOMAS Marion     |       | Département d'Histoire de la Médecine / Faculté de Médecine | 72. Epistémologie - Histoire des Sciences et des techniques |
| Mme SCARFONE Marianna | M0082 | Département d'Histoire de la Médecine / Faculté de Médecine | 72. Epistémologie - Histoire des Sciences et des techniques |

---

**C - ENSEIGNANTS ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE**  
**C1 - PROFESSEURS ASSOCIES DES UNIVERSITES DE M. G. (mi-temps)**

|                        |       |  |
|------------------------|-------|--|
| Pr Ass. GRIES Jean-Luc | M0084 | Médecine générale (01.09.2017)               |
| Pr GUILLOU Philippe    | M0089 | Médecine générale (01.11.2013 au 31.08.2016) |
| Pr HILD Philippe       | M0090 | Médecine générale (01.11.2013 au 31.08.2016) |
| Dr ROUGERIE Fabien     | M0097 | Médecine générale (01.09.2014 au 31.08.2017) |

---

**C2 - MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE - TITULAIRE**

|                     |       |                                      |
|---------------------|-------|--------------------------------------|
| Dre CHAMBE Juliette | M0108 | 53.03 Médecine générale (01.09.2015) |
| Dr LORENZO Mathieu  |       |                                      |

---

**C3 - MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DES UNIVERSITES DE M. G. (mi-temps)**

|                              |       |  |
|------------------------------|-------|--|
| Dre BREITWILLER-DUMAS Claire |       | Médecine générale (01.09.2016 au 31.08.2019) |
| Dre GROS-BERTHOU Anne        | M0109 | Médecine générale (01.09.2015 au 31.08.2018) |
| Dre SANSELMÉ Anne-Elisabeth  |       | Médecine générale                            |
| Dr SCHMITT Yannick           |       | Médecine générale                            |

---

**D - ENSEIGNANTS DE LANGUES ETRANGERES**  
**D1 - PROFESSEUR AGREGE, PRAG et PRCE DE LANGUES**

|                             |       |  |
|-----------------------------|-------|--|
| Mme ACKER-KESSLER Pia       | M0085 | Professeure certifiée d'Anglais (depuis 01.09.03)  |
| Mme CANDAS Peggy            | M0086 | Professeure agrégée d'Anglais (depuis le 01.09.99) |
| Mme SIEBENBOUR Marie-Noëlle | M0087 | Professeure certifiée d'Allemand (depuis 01.09.11) |
| Mme JUNGER Nicole           | M0088 | Professeure certifiée d'Anglais (depuis 01.09.09)  |
| Mme MARTEN Susanne          | M0098 | Professeure certifiée d'Allemand (depuis 01.09.14) |

---

**E - PRATICIENS HOSPITALIERS - CHEFS DE SERVICE NON UNIVERSITAIRES**

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Dr ASTRUC Dominique              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie</li> <li>- Service de Réanimation pédiatrique spécialisée et de surveillance continue / Hôpital de Hautepierre</li> </ul> |
| Dr DE MARCHI Martin              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Oncologie médico-chirurgicale et d'Hématologie</li> <li>- Service d'Oncologie Médicale / ICANS</li> </ul>   |
| Mme Dre GERARD Bénédicte         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Biologie</li> <li>- Laboratoire de Diagnostic Génétique / Nouvel Hôpital Civil</li> </ul>  |
| Mme Dre GOURIEUX Bénédicte       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Pharmacie-pharmacologie</li> <li>- Service de Pharmacie-Stérilisation / Nouvel Hôpital Civil</li> </ul>  |
| Dr KARCHER Patrick               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Gériatrie</li> <li>- Service de Soins de suite de Longue Durée et d'hébergement gériatrique / EHPAD / Hôpital de la Robertsau</li> </ul>               |
| Mme Dre LALLEMAN Lucie           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Urgences - SAMU67 - Médecine Intensive et Réanimation</li> <li>- Permanence d'accès aux soins de santé - La Boussole (PASS)</li> </ul>                    |
| Dr LEFEBVRE Nicolas              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Spécialités Médicales - Ophtalmologie - Hygiène (SMO)</li> <li>- Service des Maladies Infectieuses et Tropicales / Nouvel Hôpital Civil</li> </ul>     |
| Mme Dre LICHTBLAU Isabelle       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Biologie</li> <li>- Laboratoire de biologie de la reproduction / CMCO de Schiltigheim</li> </ul>   |
| Mme Dre MARTIN-HUNYADI Catherine | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Gériatrie</li> <li>- Secteur Evaluation / Hôpital de la Robertsau</li> </ul>   |
| Dr NISAND Gabriel                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Santé Publique et Santé au travail</li> <li>- Service de Santé Publique - DIM / Hôpital Civil</li> </ul>   |
| Mme Dre PETIT Flore              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Spécialités Médicales - Ophtalmologie - Hygiène (SMO)</li> <li>- UCSA</li> </ul>   |
| Dr PIRRELLO Olivier              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pôle de Gynécologie et d'Obstétrique</li> <li>- Service de Gynécologie-Obstétrique / CMCO</li> </ul>   |
| Dr REY David                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO</li> <li>- «Le trait d'union» - Centre de soins de l'infection par le VIH / Nouvel Hôpital Civil</li> </ul>   |
| Mme Dre RONDE OUSTEAU Cécile     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Locomax</li> <li>- Service de Chirurgie Séptique / Hôpital de Hautepierre</li> </ul>  |
| Mme Dre RONGIERES Catherine      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Gynécologie et d'Obstétrique</li> <li>- Centre Clinico Biologique d'AMP / CMCO</li> </ul>  |
| Dr TCHOMAKOV Dimitar             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Médico-Chirurgical de Pédiatrie</li> <li>- Service des Urgences Médico-Chirurgicales pédiatriques / Hôpital de Hautepierre</li> </ul>                     |
| Mme Dre WEISS Anne               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Urgences - SAMU67 - Médecine Intensive et Réanimation</li> <li>- SAMU</li> </ul>  |

---

### F1 - PROFESSEURS ÉMÉRITES

- o **de droit et à vie** (membre de l'Institut)
  - CHAMBON Pierre (Biochimie et biologie moléculaire)
  - MANDEL Jean-Louis (Génétique et biologie moléculaire et cellulaire)
- o *pour trois ans (1er septembre 2018 au 31 août 2021)*
  - Mme DANION-GRILLIAT Anne (Pédopsychiatrie, addictologie)
- o *pour trois ans (1er avril 2019 au 31 mars 2022)*
  - Mme STEIB Annick (Anesthésie, Réanimation chirurgicale)
- o *pour trois ans (1er septembre 2019 au 31 août 2022)*
  - DUFOUR Patrick (Cancérologie clinique)
  - NISAND Israël (Gynécologie-obstétrique)
  - PINGET Michel (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques)
  - Mme QUOIX Elisabeth (Pneumologie)
- o *pour trois ans (1er septembre 2020 au 31 août 2023)*
  - BELLOCQ Jean-Pierre (Service de Pathologie)
  - DANION Jean-Marie (Psychiatrie)
  - KEMPF Jean-François (Chirurgie orthopédique et de la main)
  - KOPFERSCHMITT Jacques (Urgences médico-chirurgicales Adultes)

---

### F2 - PROFESSEUR des UNIVERSITES ASSOCIE (mi-temps)

M. SOLER Luc                      CNU-31                      IRCAD (01.09.2009 - 30.09.2012 / renouvelé 01.10.2012-30.09.2015-30.09.2021)

---

### F3 - PROFESSEURS CONVENTIONNÉS\* DE L'UNIVERSITE

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| Pr CHARRON Dominique    | (2019-2020) |
| Pr KINTZ Pascal         | (2019-2020) |
| Pr LAND Walter G.       | (2019-2020) |
| Pr MAHE Antoine         | (2019-2020) |
| Pr MASTELLI Antoine     | (2019-2020) |
| Pr REIS Jacques         | (2019-2020) |
| Pre RONGIERES Catherine | (2019-2020) |

(\* 4 années au maximum)

---

## G1 - PROFESSEURS HONORAIRES

ADLOFF Michel (Chirurgie digestive) / 01.09.94  
 BABIN Serge (Orthopédie et Traumatologie) / 01.09.01  
 BAREISS Pierre (Cardiologie) / 01.09.12  
 BATZENSCHLAGER André (Anatomie Pathologique) / 01.10.95  
 BAUMANN René (Hépto-gastro-entérologie) / 01.09.10  
 BERGERAT Jean-Pierre (Cancérologie) / 01.01.16  
 BERTHEL Marc (Gériatrie) / 01.09.18  
 BIENTZ Michel (Hygiène Hospitalière) / 01.09.04  
 BLICKLE Jean-Frédéric (Médecine Interne) / 15.10.17  
 BLOCH Pierre (Radiologie) / 01.10.95  
 BOEHM-BURGER Nelly (Histologie) / 01.09.20  
 BOURJAT Pierre (Radiologie) / 01.09.03  
 BOUSQUET Pascal (Pharmacologie) / 01.09.19  
 BRECHENMACHER Claude (Cardiologie) / 01.07.99  
 BRETTE Jean-Philippe (Gynécologie-Obstétrique) / 01.09.10  
 BURGHARD Guy (Pneumologie) / 01.10.86  
 BURSZEJN Claude (Pédopsychiatrie) / 01.09.18  
 CANTINEAU Alain (Médecine et Santé au travail) / 01.09.15  
 CAZENAVE Jean-Pierre (Hématologie) / 01.09.15  
 CHAMPY Maxime (Stomatologie) / 01.10.95  
 CHAUVIN Michel (Cardiologie) / 01.09.18  
 CHELLY Jameleddine (Diagnostic génétique) / 01.09.20  
 CINQUALBRE Jacques (Chirurgie générale) / 01.10.12  
 CLAVERT Jean-Michel (Chirurgie infantile) / 31.10.16  
 COLLARD Maurice (Neurologie) / 01.09.00  
 CONRAUX Claude (Oto-Rhino-Laryngologie) / 01.09.98  
 CONSTANTINESCO André (Biophysique et médecine nucléaire) / 01.09.11  
 DIETEMANN Jean-Louis (Radiologie) / 01.09.17  
 DOFFOEL Michel (Gastroentérologie) / 01.09.17  
 DUCLOS Bernard (Hépto-Gastro-Hépatologie) / 01.09.19  
 DUPEYRON Jean-Pierre (Anesthésiologie-Réa. Chir.) / 01.09.13  
 EISENMANN Bernard (Chirurgie cardio-vasculaire) / 01.04.10  
 FABRE Michel (Cytologie et histologie) / 01.09.02  
 FISCHBACH Michel (Pédiatrie) / 01.10.16  
 FLAMENT Jacques (Ophtalmologie) / 01.09.09  
 GAY Gérard (Hépto-gastro-entérologie) / 01.09.13  
 GERLINGER Pierre (Biol. de la Reproduction) / 01.09.04  
 GRENIER Jacques (Chirurgie digestive) / 01.09.97  
 GROSSHANS Edouard (Dermatologie) / 01.09.03  
 GRUCKER Daniel (Biophysique) / 01.09.18  
 GUT Jean-Pierre (Virologie) / 01.09.14  
 HASSELMANN Michel (Réanimation médicale) / 01.09.18  
 HAUPTMANN Georges (Hématologie biologique) / 01.09.06  
 HEID Ernest (Dermatologie) / 01.09.04  
 IMBS Jean-Louis (Pharmacologie) / 01.09.09  
 IMLER Marc (Médecine interne) / 01.09.98  
 JACQMIN Didier (Urologie) / 09.08.17  
 JAECK Daniel (Chirurgie générale) / 01.09.11  
 JAEGER Jean-Henri (Chirurgie orthopédique) / 01.09.11  
 JESEL Michel (Médecine physique et réadaptation) / 01.09.04  
 KAHN Jean-Luc (Anatomie) / 01.09.18  
 KEHR Pierre (Chirurgie orthopédique) / 01.09.06  
 KEMPF Jules (Biologie cellulaire) / 01.10.95  
 KREMER Michel / 01.05.98  
 KRETZ Jean-Georges (Chirurgie vasculaire) / 01.09.18  
 KRIEGER Jean (Neurologie) / 01.01.07  
 KUNTZ Jean-Louis (Rhumatologie) / 01.09.08  
 KUNTZMANN Francis (Gériatrie) / 01.09.07  
 KURTZ Daniel (Neurologie) / 01.09.98  
 LANG Gabriel (Orthopédie et traumatologie) / 01.10.98  
 LANG Jean-Marie (Hématologie clinique) / 01.09.11  
 LANGER Bruno (Gynécologie) / 01.11.19  
 LEVY Jean-Marc (Pédiatrie) / 01.10.95  
 LONSDORFER Jean (Physiologie) / 01.09.10  
 LUTZ Patrick (Pédiatrie) / 01.09.16  
 MAILLOT Claude (Anatomie normale) / 01.09.03  
 MAITRE Michel (Biochimie et biol. moléculaire) / 01.09.13  
 MANDEL Jean-Louis (Génétique) / 01.09.16  
 MANGIN Patrice (Médecine Légale) / 01.12.14  
 MANTZ Jean-Marie (Réanimation médicale) / 01.10.94  
 MARESCAUX Christian (Neurologie) / 01.09.19  
 MARESCAUX Jacques (Chirurgie digestive) / 01.09.16  
 MARK Jean-Joseph (Biochimie et biologie cellulaire) / 01.09.99  
 MESSER Jean (Pédiatrie) / 01.09.07  
 MEYER Christian (Chirurgie générale) / 01.09.13  
 MEYER Pierre (Biostatistiques, informatique méd.) / 01.09.10  
 MINCK Raymond (Bactériologie) / 01.10.93  
 MONTEIL Henri (Bactériologie) / 01.09.11  
 MORAND Georges (Chirurgie thoracique) / 01.09.09  
 MOSSARD Jean-Marie (Cardiologie) / 01.09.09  
 OUDET Pierre (Biologie cellulaire) / 01.09.13  
 PASQUALI Jean-Louis (Immunologie clinique) / 01.09.15  
 PATRIS Michel (Psychiatrie) / 01.09.15  
 Mme PAULI Gabrielle (Pneumologie) / 01.09.11  
 PINGET Michel (Endocrinologie) / 01.09.19  
 POTTECHER Thierry (Anesthésie-Réanimation) / 01.09.18  
 REYS Philippe (Chirurgie générale) / 01.09.98  
 RITTER Jean (Gynécologie-Obstétrique) / 01.09.02  
 RUMPLER Yves (Biol. développement) / 01.09.10  
 SANDNER Guy (Physiologie) / 01.09.14  
 SAUDER Philippe (Réanimation médicale) / 01.09.20  
 SAUVAGE Paul (Chirurgie infantile) / 01.09.04  
 SCHAFF Georges (Physiologie) / 01.10.95  
 SCHLAEDER Guy (Gynécologie-Obstétrique) / 01.09.01  
 SCHLIENGER Jean-Louis (Médecine Interne) / 01.08.11  
 SCHRAUB Simon (Radiothérapie) / 01.09.12  
 SCHWARTZ Jean (Pharmacologie) / 01.10.87  
 SICK Henri (Anatomie Normale) / 01.09.06  
 STIERLE Jean-Luc (ORL) / 01.09.10  
 STOLL Claude (Génétique) / 01.09.09  
 STOLL-KELLER Françoise (Virologie) / 01.09.15  
 STORCK Daniel (Médecine interne) / 01.09.03  
 TEMPE Jean-Daniel (Réanimation médicale) / 01.09.06  
 TONGIO Jean (Radiologie) / 01.09.02  
 TREISSER Alain (Gynécologie-Obstétrique) / 24.03.08  
 VAUTRAVERS Philippe (Médecine physique et réadaptation) / 01.09.16  
 VETTER Jean-Marie (Anatomie pathologique) / 01.09.13  
 VINCENDON Guy (Biochimie) / 01.09.08  
 WALTER Paul (Anatomie Pathologique) / 01.09.09  
 WEITZENBLUM Emmanuel (Pneumologie) / 01.09.11  
 WIHLM Jean-Marie (Chirurgie thoracique) / 01.09.13  
 WILK Astrid (Chirurgie maxillo-faciale) / 01.09.15  
 WILLARD Daniel (Pédiatrie) / 01.09.96  
 WOLFRAM-GABEL Renée (Anatomie) / 01.09.96

### Légende des adresses :

**FAC** : Faculté de Médecine : 4, rue Kirschleger - F - 67085 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.68.85.35.20 - Fax : 03.68.85.35.18 ou 03.68.85.34.67

### HOPITAUX UNIVERSITAIRES DE STRASBOURG (HUS) :

- NHC : **Nouvel Hôpital Civil** : 1, place de l'Hôpital - BP 426 - F - 67091 Strasbourg Cedex - Tél. : 03 69 55 07 08
- HC : **Hôpital Civil** : 1, Place de l'Hôpital - B.P. 426 - F - 67091 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.11.67.68
- HP : **Hôpital de HautePierre** : Avenue Molière - B.P. 49 - F - 67098 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.12.80.00
- **Hôpital de La Robertsau** : 83, rue Himmerich - F - 67015 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.11.55.11
- **Hôpital de l'Elsau** : 15, rue Cranach - 67200 Strasbourg - Tél. : 03.88.11.67.68

**CMCO** - Centre Médico-Chirurgical et Obstétrical : 19, rue Louis Pasteur - BP 120 - Schiltigheim - F - 67303 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.62.83.00

**C.C.O.M.** - Centre de Chirurgie Orthopédique et de la Main : 10, avenue Baumann - B.P. 96 - F - 67403 Illkirch Graffenstaden Cedex - Tél. : 03.88.55.20.00

**E.F.S.** - Etablissement Français du Sang - Alsace : 10, rue Spielmann - BP N°36 - 67065 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.21.25.25

**Centre Régional de Lutte contre le cancer "Paul Strauss"** - 3, rue de la Porte de l'Hôpital - F-67085 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.25.24.24

**IURC** - Institut Universitaire de Réadaptation Clemenceau - CHU de Strasbourg et UGECAM (Union pour la Gestion des Etablissements des Caisses d'Assurance Maladie) - 45 boulevard Clemenceau - 67082 Strasbourg Cedex

## RESPONSABLE DE LA BIBLIOTHÈQUE DE MÉDECINE ET ODONTOLOGIE ET DU DÉPARTEMENT SCIENCES, TECHNIQUES ET SANTÉ DU SERVICE COMMUN DE DOCUMENTATION DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Monsieur Olivier DIVE, Conservateur

LA FACULTÉ A ARRÊTÉ QUE LES OPINIONS ÉMISES DANS LES DISSERTATIONS  
QUI LUI SONT PRÉSENTÉES DOIVENT ÊTRE CONSIDÉRÉES COMME PROPRES  
A LEURS AUTEURS ET QU'ELLE N'ENTEND NI LES APPROUVER, NI LES IMPROUVER

## SERMENT D'HIPPOCRATE

*Tel que mis à jour par le Conseil National de l'Ordre des Médecins en 2012*

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la rédaction de cette thèse, directement ou indirectement.

Je voudrais dans un premier temps remercier mon directeur de thèse **Dr. Thomas BOURDREL**, radiologue et expert sur le sujet de la pollution de l'air, président du collectif Strasbourg Respire, pour les conseils, les informations, la bonne humeur et les opportunités qu'il m'a apportées cette dernière année.

Je souhaite remercier ensuite ma tutrice, **Dr. Claire DUMAS**, qui a fait preuve de pédagogie et d'une attention notable tout au long de mon internat, et qui a su m'aiguiller sagement lors de la réflexion initiale autour de la méthodologie de ce travail.

J'adresse mes remerciements et mon respect à mes maîtres et maîtresses de stage pour leur implication dans ma formation, et tout particulièrement **Dr. Emilie WACK** pour l'intérêt qu'elle a porté à mon travail et la confiance qu'elle m'a accordée et permis de consolider.

Merci aux docteurs **Pierre-Antoine Bouchard** et **Julie Legrand** pour leur travail original et pionnier, et m'avoir donné l'autorisation de transcrire leurs résultats dans le livret d'information produit.

De même, il me faut remercier mes parents, **Catherine et Pascal**, pour leur amour, leur écoute et leur soutien lors de mes étapes de transition ces dernières années, ainsi que leur relecture ; mon père pour m'avoir donné le goût du doute et la force de l'imaginaire ; ma mère pour m'avoir appris à travailler assidument et permis d'exploiter mes capacités.

Merci également à tous les rebelles, activistes et militants écologistes, vulgarisateurs et professionnels de santé engagés que j'ai rencontrés cette année, pour m'avoir permis de retrouver un peu d'optimisme et de confiance en l'avenir. Mention spéciale à l'Alliance Santé Planétaire, à la fondation de laquelle j'ai eu l'honneur de participer.

Je dédie cette thèse à **Judith**, et aux autres enfants à venir. Ils sont l'espoir et l'innocence, et les héritiers de nos choix.

**Clara**, c'est grâce à toi tout ça. Mon « éveil » écologiste, ma transition personnelle, mon engagement scientifique, la réalisation de ce travail. Ta confiance en moi aura été le meilleur carburant cette année. Pour cela, pour notre complicité, nos souvenirs et nos projets, merci du fond de mon cœur. Tu es la lumière à tous mes étages, je t'aime.

**Hugo, Valentine et Robin**, mes frères et sœur que j'aime. Puisseons-nous continuer à jouer, réfléchir, se livrer et s'épauler.

**Adam**, mon ami. Je sais que tu aurais fait preuve d'un enthousiasme revigorant à propos de mon travail. Tu me manques.

# TABLE DES MATIERES

|  |     |
|--|-----|
| Remerciements .....  | 15  |
| Table des illustrations .....  | 18  |
| Glossaire des abreviations .....   | 20  |
| Introduction .....   | 22  |
| Matériel et méthodes .....   | 26  |
| Résultats .....  | 27  |
| A. Changement climatique .....   | 27  |
| 1. Mécanismes, état des lieux et projections.....  | 27  |
| 2. Conséquences sur les océans et la cryosphère.....   | 50  |
| 3. Conséquences sur l'usage des terres et les écosystèmes terrestres .....                             | 53  |
| 4. Risques sanitaires émergents.....   | 56  |
| B. Pollution de l'air .....  | 65  |
| 1. Réglementation française et internationale.....   | 66  |
| 2. Polluants et sources d'émissions.....   | 67  |
| 3. Pics de pollution .....   | 83  |
| 4. Etat des lieux français et européen .....   | 84  |
| 5. Risques sanitaires de la pollution de l'air.....  | 85  |
| C. Mesures d'atténuation .....   | 98  |
| 1. Transports.....   | 100 |
| 2. Alimentation .....  | 107 |
| 3. Logement.....   | 126 |
| D. Réalisation d'un support d'information.....   | 132 |
| Discussion.....  | 132 |
| Forces et limites.....   | 132 |
| Freins cognitifs au changement .....   | 135 |
| Montrer l'exemple .....  | 139 |
| Une médecine résiliente dans le « monde d'après » .....  | 140 |
| Adaptation et justice climatique.....  | 143 |
| Urgence climatique, libertés et actions individuelles.....   | 144 |
| Réalité des enjeux et changement systémique .....  | 146 |
| Intégration dans les objectifs de développement durable et de réduction de la morbi-<br>mortalité..... | 150 |

|  |            |
|--|------------|
| Conclusion .....   | 153        |
| Annexes .....  | 155        |
| Annexe 1 – Bénéfices sanitaires de mesures d'atténuation du changement climatiques(5)<br>.....   | 156        |
| Annexe 2 – Schématisation de la physiopathologie de l'action d'un régime basé sur les<br>plantes sur le risque cardiovasculaire(126,127) ..... | 159        |
| Annexe 5 – Support d'information, corps de texte .....   | 160        |
| Enjeux sanitaires du changement climatique.....  | 160        |
| Enjeux sanitaires de la pollution de l'air .....   | 161        |
| Conseils .....   | 162        |
| Alimentation : place au règne végétal .....  | 162        |
| Transports : électricité et sobriété .....   | 163        |
| Logement : rénovation thermique, étiquette énergie, filtration et ventilation .....  | 164        |
| Cabinet durable : conseils supplémentaires pour le MG.....   | 166        |
| Pour se protéger de la pollution de l'air extérieur .....  | 168        |
| Pics de pollution .....  | 168        |
| Pour en savoir plus .....  | 169        |
| Conseils globaux et analyses :.....  | 169        |
| Calculateurs empreinte carbone individuelle .....  | 169        |
| Alimentation .....   | 169        |
| Aides financières.....   | 170        |
| Surveillance qualité de l'air .....  | 170        |
| Santé Planétaire .....   | 170        |
| Annexe 6 – Serment pour la Santé Planétaire à l'ère de l'Anthropocène.....   | 171        |
| Traduction française officielle .....  | 172        |
| Bibliographie .....  | 174        |
| <b>Résumé</b> .....  | <b>182</b> |

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 - Modélisation de l'effet de serre (ADEME).....   | 30 |
| Figure 2 - Facteurs de forçage radiatif (GIEC) (7).....  | 30 |
| Figure 3 - Répartition des émissions de GES par secteur dans le monde (GIEC) (6).....  | 34 |
| Figure 4 Répartition des émissions de GES par secteur en France Métropolitaine.....  | 34 |
| Figure 5 - Emissions de GES par type d'aliment en France métropolitaine(ADEME) (10) ....   | 36 |
| Figure 6 - Emissions de GES en kgCO <sub>2</sub> éq/kg par type d'aliment (Clune et al.,2017) (14)....   | 37 |
| Figure 7 - Répartition par secteur de l'origine des émissions de GES de différents aliments.<br>(Données Poore et Nemecek (16)).....   | 38 |
| Figure 8 - Part des émissions de GES des différents modes de transport, sur le total des<br>émissions du secteur (10) .....  | 41 |
| Figure 9 - Figure 9 Emissions de CO <sub>2</sub> des transports en commun (grammes de CO <sub>2</sub> par<br>passager-kilomètre) (10) .....  | 44 |
| Figure 10 - Moyennes mondiales des concentrations de gaz à effet de serre (6) .....  | 48 |
| Figure 11 - Infographie de l'OMS représentant les risques sanitaires provoqués par le<br>changement climatique (5) .....   | 56 |
| Figure 12 - Contribution (%) des secteurs d'émissions principaux de SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>2,5</sub> et<br>PM <sub>10</sub> primaires, NH <sub>3</sub> , COVs non-métalliques (NMVOCs), CO, black carbon et CH <sub>4</sub> en<br>Europe en 2017 (34) ..... | 78 |
| Figure 13 - Secteurs d'émissions ayant le plus d'impact sur la mortalité liée à la pollution de<br>l'air en 2010(36). .....  | 81 |
| Figure 14 - Secteurs d'émissions ayant le plus d'impact sur la mortalité liée à la pollution de<br>l'air en 2010, avec considération d'un impact 5x plus grand des aérosols carbonés vis-à-vis<br>des composés inorganiques (38).....  | 81 |
| Figure 15 - Sources de pollution de l'air intérieur (ADEME).....   | 83 |
| Figure 16 - Concentrations médianes en PM <sub>2,5</sub> dans le monde par région en 2014 (adapté<br>de (42)) .....  | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure 17 - Mortalité liée à la pollution de l'air extérieur et intérieur dans le monde en 2012, par pathologie (adapté de (42)) .....  | 87  |
| Figure 18 - Mortalité liée à la pollution de l'air en France, de 1990 à 2017 .....  | 87  |
| Figure 19 Physiopathologie cardiovasculaire de la pollution de l'air.....   | 93  |
| Figure 20 - Empreinte carbone des Français en 2018(92).....   | 99  |
| Figure 21 - Emissions de carbone en LCA ( <i>life-cycle assesment</i> ) par segment et motorisation (93) .....  | 102 |
| Figure 22 - Impact environnemental moyen de différents régimes alimentaires (Baroni et al.) (18).....   | 109 |
| Figure 23 - Potentiel d'atténuation d'un changement de régime alimentaire d'ici 2050 en GtCO <sub>2</sub> eq/an (GIEC, Rapport spécial sur le changement climatique et l'usage des terres (2019), chapitre 5 Sécurité alimentaire (8))..... | 111 |
| Figure 24 – Opportunité carbone perdue dans l'agriculture animale, groupée par rangs de revenu national. (105).....   | 113 |
| Figure 25 - Intensité carbone de l'électricité consommée (en gCO <sub>2</sub> eq/kWh) (Source : electricitymap.org).....  | 127 |
| Figure 26 - Comparatif des différents systèmes de chauffage (ADEME) .....   | 129 |
| Figure 27- Les 5 étapes de Kübler-Ross .....  | 136 |
| Figure 28 - Modélisation des projections de perspectives de développement par l'équipe de Dennis Meadows en 1972, mises en parallèle avec les données observées entre 1970 et 2000 (123).....   | 141 |
| Figure 29- Leviers de réduction de l'empreinte carbone moyenne : parts individuelle et collective .....   | 149 |
| Figure 30 - Classement des 10 principaux facteurs de risques de mortalité selon stade de développement (OMS, Global Health Risks 2014).....   | 152 |

## GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS

**AASQA** Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

**ADEME** Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

**AFAT / UTCATF** Agriculture, foresterie et autres usages des terres

**AVC** Accident vasculaire cérébral

**BBC / BEPOS** Bâtiment Basse Consommation / Bâtiment à Energie POSitive

**B(a)P** Benzo(a)pyrène

**BPCO** Bronchopneumopathie chronique obstructive

**CH<sub>4</sub>** Méthane

**CIRC** Centre International de Recherche sur le Cancer

**CO<sub>2</sub>** Dioxyde de carbone

**CO** Monoxyde de carbone

**COV** Composé Organique Volatile

**CCNUCC** Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC)

**COP** Conférence des Parties de la CCNUCC

**EEA** Agence Européenne de l'Environnement

**FAO** Food and Agriculture Organisation

**GES** Gaz à effet de serre

**GIEC** Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (IPCC)

**Gt / Mt** Gigatonne / mégatonne

**HAP** Hydrocarbures aromatiques polycycliques

**IATA** Association Internationale du Transport Aérien

**LCA** Life-Cycle Assessment (ACV = analyse du cycle de vie)

**N<sub>2</sub>O** Protoxyde d'azote

**NH<sub>3</sub>** Ammoniac

**NO<sub>2</sub>** Dioxyde d'azote

**NDC** Nationally Determined Contribution

**NO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub>** Dioxyde d'azote / oxydes nitreux ou d'azote

**O<sub>3</sub>** Ozone

**OACI** Organisation de l'Aviation Civile Internationale

**OCDE** Organisation de Coopération et de Développement Economique

**OMS** Organisation Mondiale de la Santé

**PIB** Produit Intérieur Brut

**PM** "particulate matter", matières particulaires

**PRG** Pouvoir de Réchauffement Global

**RCP** Representative Concentration Pathway

**RT2012 / RT2020** Réglementation thermique 2012 et 2020

**SNBC** Stratégie Nationale Bas Carbone

**SO<sub>2</sub>** Dioxyde de soufre

**SSP** Shared Socioeconomic Pathway

## INTRODUCTION

La santé et le développement humains dépendent des paramètres d'un environnement soumis depuis la deuxième moitié du XIXe siècle à des changements fondamentaux de façon globale. Il est très clairement admis aujourd'hui que ces changements sont dus à l'activité humaine, et à un système économique de croissance infinie basée sur des ressources limitées. Nous sommes en train de dépouiller la Terre de ses ressources naturelles, de la polluer de déchets et de substances toxiques, sapant ses systèmes de maintien de la vie : hausse des températures moyennes, perte massive de biodiversité, modification des paysages, de la composition de l'atmosphère et des océans.

Ainsi, malgré le gain conséquent en termes de santé publique des dernières décennies, l'espèce humaine fait de plus en plus face aux risques induits par l'altération de la qualité de l'air, la diminution de la capacité de production alimentaire, les risques infectieux émergents, la difficulté grandissante d'accès à l'eau, l'augmentation de la fréquence des événements météorologiques extrêmes et l'exposition aux dégâts corporels et structurels. Il est extrêmement urgent d'agir pour réduire l'impact des activités humaines sur l'environnement qui nous fait vivre, afin de garantir une bonne santé aux générations futures et de sauvegarder le plus possible la vie sur Terre telle qu'on la connaît.

De multiples collectifs et organismes gouvernementaux ou non-gouvernementaux de santé comme l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la World Medical Association (WMA), la World Organisation of Family Doctors (WONCA), le *Lancet*, Health Care Without Harm, l'Association Santé Environnement France (ASEF) appellent aujourd'hui les professionnels de santé à intégrer la défense de notre environnement à leur pratique, et faire la transition du concept de "Santé publique" à celui de "Santé planétaire". Les buts de cette discipline sont de "caractériser les liens entre les altérations des systèmes naturels dues aux activités humaines, et les impacts résultants sur la santé humaine, et de développer des solutions basées sur les preuves permettant la sauvegarde d'un monde équitable, durable et sain" (1). Elle intègre notre environnement aux cibles

de l'adage "*Primum non nocere*" : cette responsabilité s'intègre dans les engagements pris lors du serment d'Hippocrate.

*« Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. [...] J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. »*

Après avoir appliqué le fruit de nombreuses réflexions sur le sujet à mon mode de vie personnel, et en avoir observé les répercussions sur mon entourage, j'ai aspiré à intégrer la pensée écologique à ma pratique professionnelle : en faire le sujet de ma thèse m'a semblé être un premier pas adéquat.

Plusieurs axes d'action se présentent au médecin généraliste pour faire de sa pratique, une pratique écologique et durable :

- La gestion du matériel, des déchets, de l'énergie du cabinet médical : sujet traité de façon très exhaustive par la docteure Julie Legrand, dans sa thèse (2) de Médecine Générale à Paris Diderot en mars 2018, et sur son site web <http://santedurable.net> ;
- La prescription d'examens et de thérapeutiques de façon raisonnée, selon les recommandations de bonne pratique et les données de la littérature, et en tenant compte du cycle de vie des produits ;
- L'éducation et la sensibilisation des patients aux questions environnementales, les risques sanitaires impliqués et comment s'en protéger, ainsi que les possibilités de réduction de leur empreinte écologique ;
- L'activité de lobbying auprès des institutions et des entreprises : le corps médical est un des plus puissants acteurs influençant les politiques de santé publique. Sa capacité à modifier l'opinion publique et déclencher des changements sociétaux, comme il a pu le faire pour la consommation de tabac ou la vaccination, ne doit pas être sous-estimée : nous avons la responsabilité de donner l'alerte et de montrer l'exemple.
- L'adaptation du système sanitaire aux risques environnementaux émergents : alertes précoces et préparation des établissements aux extrêmes météorologiques et aux crises épidémiques, amélioration des programmes de contrôle des maladies infectieuses (sécurité

alimentaire, programmes vaccinaux, diagnostic et traitements précoces, contrôles vectoriels), surveillance sanitaire, formation des professionnels de santé.

J'ai choisi de travailler sur l'éducation et le conseil au patient : le dialogue médecin-patient est un outil qui peut être utilisé quotidiennement, et se trouve au centre du travail du médecin généraliste. Celui-ci bénéficie d'une place privilégiée auprès d'une très grande part de la population pour transmettre des messages de prévention et d'éducation : son implication permet de pallier la non-information, voire la désinformation, de certaines populations, et de réduire la part de la barrière socio-culturelle dans les freins à la transition. Contre le sentiment d'insignifiance de l'action individuelle face à l'impact des grandes entreprises et institutions, le médecin généraliste peut être un coordonnateur de ces actions individuelles afin de les transformer en mouvements de groupe, avec un rayonnement capable d'agir sur les politiques institutionnelles et privées.

En outre, il est du devoir du médecin généraliste de s'emparer des problématiques environnementales, au vu des risques sanitaires posés par le réchauffement climatique et la pollution de l'air, afin d'informer et d'alerter la population. Une étude de l'INPES<sup>1</sup> montre cependant que les médecins généralistes se sentent en majorité mal ou très mal informés sur la santé environnementale, et souhaiteraient une formation complémentaire sur le sujet (3).

Andy Haines et Carlos Dora publient en 2012 dans le *British Medical Journal* un manifeste (4) faisant la promotion de l'action climatique exercée par les professionnels de santé, mettant en exergue le lien trop peu exploité entre protection de l'environnement et réduction de prévalence des maladies chroniques non-transmissibles.

De même, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) évoquent dans leurs rapports l'influence positive ou négative de nombreuses mesures de protection de l'environnement, sur d'autres objectifs sociétaux : santé

---

<sup>1</sup> Institut national de prévention et d'éducation pour la santé

humaine, sécurité alimentaire, biodiversité et qualité des écosystèmes, accès à l'énergie, accès à l'emploi, développement durable et équitable, et inversement.

A l'occasion de la COP24 en 2018 (24<sup>e</sup> conférence annuelle de l'UNFCCC<sup>2</sup>), l'OMS publie un rapport spécial (5) sur le changement climatique et la santé, établissant que la pollution de l'air et le réchauffement climatique se placent au sommet des dix plus grandes menaces sanitaires mondiales. Les activités humaines y sont décrites comme un facteur de perturbations environnementales mais aussi de mauvaise santé (le lien le plus direct étant la pollution de l'air, suivie des modes de consommation alimentaire), faisant de l'action climatique une politique doublement intéressante : selon ces estimations, les avantages sanitaires dépassent de loin les coûts nécessaires à l'action climatique. Ces experts estiment que dans les 15 pays les plus émetteurs, les coûts de la pollution de l'air pour le système de santé valent 4% du PIB<sup>3</sup>, quand une action climatique atteignant les objectifs de l'Accord de Paris coûterait 1% du PIB mondial.

En 2014, le GIEC insiste sur la prise en compte de ces "co-bénéfices" et leurs opposés, les risques et effets indésirables dans la prise de décision pour ou contre certaines mesures, plus robustes quand elles servent plusieurs objectifs : un raisonnement tout à fait comparable à celui du "rapport bénéfices-risques" utilisé dans la démarche diagnostique et thérapeutique médicale (6).

Ce travail a pour but de proposer un support d'information énonçant des recommandations de bonne pratique aux médecins généralistes afin de les aider à comprendre et appliquer une éducation des patients aux mesures visant l'atténuation du changement climatique et de la pollution de l'air, et présentant des co-avantages sanitaires directs et indirects.

Pour cela, il est d'abord nécessaire de faire un état des lieux des connaissances concernant le réchauffement climatique, la pollution de l'air, leurs risques et leurs origines, puis d'analyser les méthodes d'atténuation de ces phénomènes en interaction plus ou moins directe avec la santé individuelle. Je procéderai ensuite à l'élaboration d'un support d'information.

---

<sup>2</sup> Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

<sup>3</sup> Produit Intérieur Brut

## MATERIEL ET METHODES

L'élaboration du support d'information s'est fondée sur une revue narrative de la littérature, réalisée entre novembre 2019 et mai 2020.

Pour la partie concernant le changement climatique, la revue s'est fondée sur les ouvrages de référence émis par les organismes d'experts internationaux (GIEC, OMS) ou nationaux (ADEME<sup>4</sup>), et les publications citées en référence dans ces ouvrages, qui traitaient des co-bénéfices et aspects sanitaires des mesures d'atténuation applicables dans un pays développé occidental.

Pour la partie concernant la pollution de l'air, la revue s'est fondée sur les données émises par l'OMS et l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA) et leurs références, et une recherche d'articles publiés dans des revues validées par les pairs, sur la base de données *PUBMED* avec les mots-clés « pollution de l'air » « cardiovasculaire » « pulmonaire » « cancer » « mortalité » en privilégiant revues et méta-analyses.

L'élaboration des mesures d'atténuation et du support d'information s'est également appuyée sur les données publiées par des groupes d'experts et revues par les pairs, et des sociétés savantes spécialisées, ainsi que les recommandations déjà existantes provenant de l'ADEME et de la thèse(7) de médecine générale de Pierre-Antoine Bouchard sur les conseils à donner en période de pics de pollution.

---

<sup>4</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

# RESULTATS

## A. Changement climatique

### 1. MECANISMES, ETAT DES LIEUX ET PROJECTIONS

Depuis 1950, de nombreux changements, sans précédents depuis des millénaires, ont été observés : hausse des températures moyennes de la surface terrestre, réchauffement, eutrophisation<sup>5</sup> et acidification des océans, diminution de la couverture de neige et de glace et élévation du niveau des mers (6). Le réchauffement climatique est aujourd'hui sans équivoque, et l'imputabilité des activités humaines est admise. Ses causes, ses conséquences, et les moyens d'atténuation et d'adaptation sont étudiés de près par la communauté scientifique mondiale. Le GIEC effectue un travail de revue de l'intégralité des articles scientifiques, techniques et socioéconomiques les plus récents publiés dans le domaine de l'évaluation du changement climatique, et diffuse régulièrement des rapports de synthèse et des rapports spéciaux : les derniers en date étant le 5e Rapport d'Evaluation (2014) (6), le Rapport spécial sur le réchauffement planétaire de 1.5°C (2018) (8), le Rapport spécial sur le changement climatique et les terres émergées (2019) (9) et le Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique (2019) (10).

En France, l'ADEME édite des analyses et propose de nombreux outils aux entreprises et aux particuliers pour la maîtrise du bilan carbone. Elle publie en 2018 un rapport "Chiffres clés 2018 - Climat Air Energie" (11).

---

<sup>5</sup> Phénomène causé par un excès d'apport de nutriments (nitrates et phosphates), induisant une surcroissance des algues, qui sont consommées à leur mort par un nombre excessif de bactéries aérobies, respirant une trop grande quantité d'oxygène. L'hypoxie temporaire menace la survie des autres êtres vivants, et favorise la prolifération de bactéries anaérobies relâchant des gaz comme le méthane ou le sulfure d'hydrogène.

La température moyenne mondiale (terre et océans) a augmenté d'environ 1°C par rapport aux niveaux pré-industriels<sup>6</sup> (8). Chacune des trois dernières décennies a été plus chaude que la précédente et que toutes les autres depuis 1850. Le nombre moyen de journées et de nuits froides a diminué, le nombre moyen de journées et nuits chaudes a augmenté, et la fréquence des vagues de chaleur a augmenté.

La persistance de ces gaz dans l'atmosphère, particulièrement du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), induit une inertie du système climatique : ainsi, l'intégralité des scénarios d'émissions projettent une augmentation de la température de surface tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle, une augmentation de la fréquence et de la durée des vagues de chaleur, de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes, la poursuite du réchauffement et de l'acidification des océans, et de l'élévation du niveau moyen des mers (6).

### a. Effet de serre

L'**effet de serre** est un phénomène naturel de piégeage de l'énergie solaire dans l'atmosphère terrestre.

Environ 70% de l'énergie des rayonnements solaires est absorbée par la surface terrestre, l'atmosphère et les océans, les 30% restants étant directement réfléchis dans l'espace par l'atmosphère, les nuages, les aérosols et la surface terrestre. Ce phénomène de réflexion est nommé l'**albédo**. De l'absorption des rayonnements solaires par l'atmosphère et les sols résulte une émission de rayonnements infrarouges, à leur tour réfléchis dans toutes les directions par les nuages et les **gaz à effet de serre (GES)**. Ainsi, les GES laissent passer les rayonnements solaires entrants, mais piègent les infrarouges dans le système terre-atmosphère, augmentant la température moyenne de surface à 15°C. Sans ce phénomène, la température moyenne de -18°C

---

<sup>6</sup> Ere pré-industrielle : avant 1750

ne permettrait pas le développement de la vie : l'effet de serre est un phénomène nécessaire qui garantit l'équilibre bioclimatique de la planète.

Le GIEC emploie les termes de **forçage radiatif** pour désigner la propension d'un facteur à retenir l'énergie solaire dans l'atmosphère, ou la renvoyer dans l'espace : une valeur positive (pour les GES) indique qu'ils contribuent à réchauffer l'atmosphère, tandis qu'une valeur négative (pour les aérosols) indique qu'ils contribuent à la refroidir. Le forçage radiatif s'exprime en  $W/m^2$ .

La figure 2 présente les différents facteurs de forçage radiatif présents dans l'atmosphère. En rouge, on retrouve les facteurs réchauffant : dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), méthane ( $CH_4$ ), protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), halocarbonés, ozone troposphérique<sup>7</sup>, vapeur d'eau stratosphérique, le black carbon qui réduit l'albedo de la couverture neigeuse, les traînées de condensation et les radiations solaires. En bleu sont représentés les facteurs refroidissants : ozone stratosphérique, aérosols et albedo. La somme du forçage total, largement positive, est représentée à droite.

Cet état d'équilibre est perturbé par les GES émis par les activités humaines : on parle d'**émissions anthropiques**. La proportion des émissions anthropiques sur le total des émissions de GES est relativement faible, mais leur impact sur le climat est important. Les variations climatiques entre 1400 et 1950 peuvent être expliquées par les variations naturelles (éruptions volcaniques, variations solaires), mais passé 1950, les variations de température ne sont explicables qu'en incluant les activités humaines dans les simulations (6). Les émissions de GES aujourd'hui ont augmenté de 80% depuis 1970, et ont été les plus importantes de l'histoire humaine dans la dernière décennie 2000-2010 (6).

---

<sup>7</sup> Ozone situé dans la troposphère, la couche de l'atmosphère la plus proche de la croûte terrestre

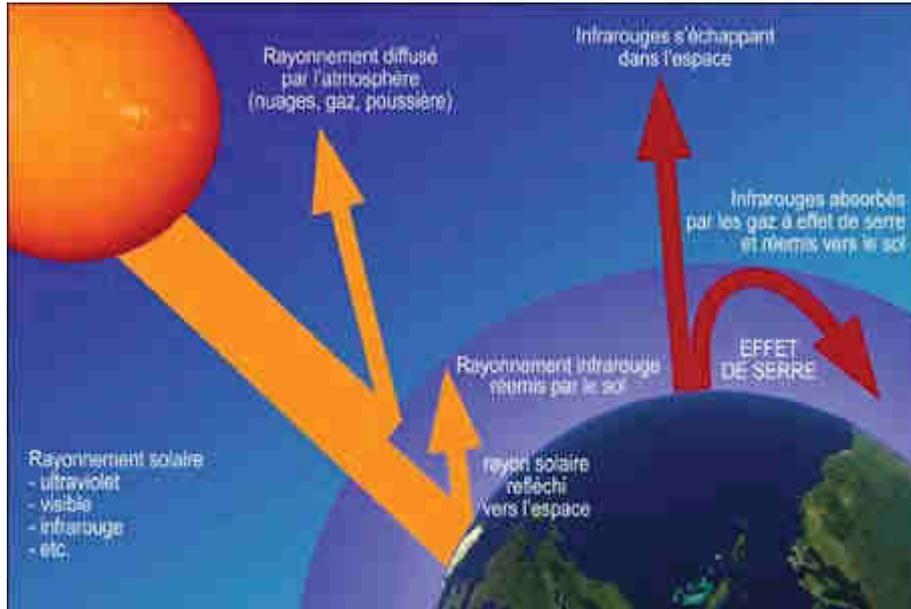


Figure 1 - Modélisation de l'effet de serre (ADEME)

## Radiative-forcing components

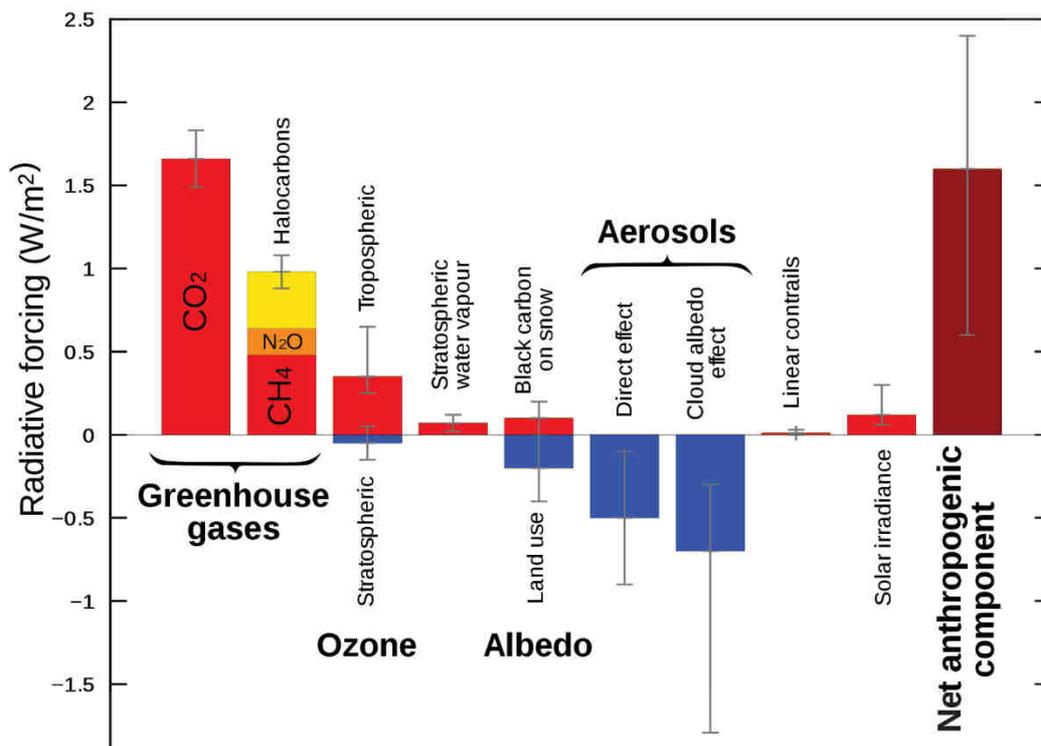


Figure 2 - Facteurs de forçage radiatif (GIEC) (8)

Tous les gaz n'ont pas la même durée de vie et la même capacité à réfléchir les infrarouges, c'est pourquoi les climatologues du GIEC utilisent l'**indice PRG** (Pouvoir de Réchauffement Global) pour exprimer le potentiel à renvoyer de l'énergie sur une période donnée, comparativement au CO<sub>2</sub> (PRG=1). Cette valeur ne s'exprime pas en valeur absolue mais se compare au PRG du dioxyde de carbone : on parle ainsi d'**équivalents carbone** (éqCO<sub>2</sub>), d'"empreinte carbone", de "bilan carbone"...

En 2010, le GIEC dénombre un total de 49 Gt<sub>éqCO<sub>2</sub></sub>/an (gigatonnes d'équivalent carbone par an) d'émissions anthropiques mondiales de GES.

Le GIEC étudie plusieurs scénarios de forçage radiatif dans son 5<sup>e</sup> rapport de synthèse : les *Representative Concentration Pathways* ; le **RCP2.6** correspond à un forçage de +2.6W/m<sup>2</sup> en 2100, le RCP4.5 correspond à un forçage de 4.5W/m<sup>2</sup> en 2100, le RCP6 correspond à un forçage de 6W/m<sup>2</sup> en 2100, et le **RCP8.5** correspond à un forçage de 8.5W/m<sup>2</sup> en 2100. Les variables sont la quantité de gaz à effet de serre émise dans la suite du XXI<sup>e</sup> siècle, et les mesures d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques entreprises. Le RCP2.6 représente un scénario de forte réduction des émissions de GES, et le RCP8.5 représente un scénario sans effort supplémentaire de réduction des émissions (scénario aussi appelé "business as usual"). Ce dernier est depuis critiqué car il se base sur l'hypothèse que les ressources fossiles (pétrole, charbon, schiste) seront toujours aussi disponibles dans le siècle à venir. Le 6<sup>e</sup> rapport de synthèse du GIEC prévu pour 2022, utilisera un nouveau panel de scénarios fondés sur la politique climatique entreprise : les SSP (Shared Socioeconomic Pathways).

Le CITEPA (Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique), association créée en 1961 et opérateur d'Etat pour le compte du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire émet des rapports d'inventaire des émissions de GES et de polluants atmosphériques à l'attention des décideurs en France et à l'étranger, ainsi que des méthodes de suivi, de quantification, de projection et de modélisation des émissions et des

politiques et mesures d'atténuation comme d'adaptation. Leurs données seront utilisées dans ce travail.

## b. Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre sont multiples, et leur importance varie en fonction de leur potentiel de réchauffement, de leur concentration dans l'atmosphère, et de leur durée de vie.

- **Dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub>) : le principal gaz à effet de serre responsable du changement climatique, car c'est celui qui est le plus concentré, et qui a la durée de vie la plus longue dans l'atmosphère, responsable de l'inertie du réchauffement. Il persiste dans l'atmosphère pendant 100 ans, et provient principalement de la combustion des énergies fossiles (pétrole, charbon et gaz) pour l'industrie, l'énergie, les transports et le chauffage, de la modification de l'utilisation des sols (déforestation) et de la fabrication du ciment et de la chaux (cuisson du calcaire) ;
- **Méthane** (CH<sub>4</sub>) : avec un PRG à 100 ans de 30, le méthane est un GES très puissant, mais il ne persiste que 12 ans dans l'atmosphère (son PRG double sur une période plus courte de 40 ans). C'est pourquoi l'augmentation ou la réduction des émissions de méthane peut avoir un effet rapide sur le changement climatique. Il provient principalement de l'élevage des ruminants (vaches, moutons, chèvres), et des décharges d'ordures ménagères. Il réagit avec les autres GES pour former de l'ozone troposphérique ;
- **Carbone suie** (black carbon) : avec un PRG de 900 mais présent en plus faibles quantités, ce n'est pas un gaz mais correspond à des particules (un aérosol, la suie), émises par la combustion de charbon, de pétrole ou de bois. Son pouvoir réchauffant s'explique tout simplement par sa couleur : les particules noires absorbent la lumière, chauffent l'air autour d'elles, et font

fondre la glace sur laquelle elles sont déposées. Ce faisant, elles participent à la réduction de l'albedo terrestre. C'est un des polluants de l'air les plus nocifs (cf.B.Pollution de l'air) ;

- **Protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)** : d'un PRG de 300, il provient essentiellement de l'utilisation d'engrais azotés agricoles, et des déjections des animaux d'élevage ;
- **Gaz halogénés et hydrofluorocarbures** : ont un effet de forçage radiatif positif et d'érosion de la couche d'ozone. Ils sont utilisés comme réfrigérants (climatisation, chaîne du froid), dans les extincteurs, dissolvants, et dans certains procédés industriels. Ils sont aussi des perturbateurs endocriniens ;
- **Ozone (O<sub>3</sub>)** : dans la stratosphère, l'ozone (la "couche d'ozone") absorbe une grande partie des rayonnements solaires, mais plus bas dans la troposphère il exerce un forçage radiatif positif et présente une toxicité pour les humains et autres animaux qui l'inhalent (cf. partie B des résultats) ;
- **Vapeur d'eau stratosphérique** : responsable de la majorité de l'effet de serre naturel, elle exerce un effet auto-amplificateur du réchauffement climatique : l'augmentation des températures favorise l'évaporation, ce qui augmente la concentration de l'atmosphère en vapeur d'eau. La vapeur d'eau émise par les moteurs d'avion compte pour une grande partie de l'impact de l'aviation sur le changement climatique ;
- **Aérosols** : de fines particules en suspension dans l'air, exerçant un forçage radiatif globalement négatif par absorption et diffusion des rayonnements solaires, qui sont renvoyés dans l'espace, et en agissant sur la formation, la composition et l'albédo des nuages. Ils sont présents dans le système naturel, mais leur concentration est augmentée par les activités industrielles ;

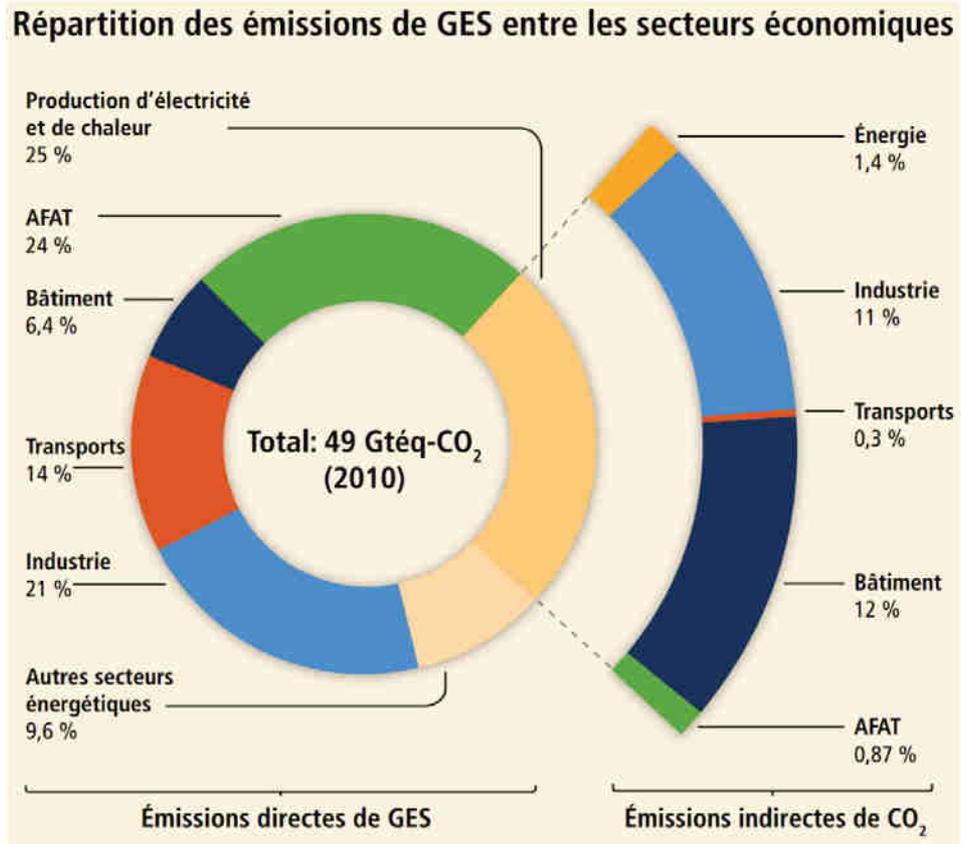


Figure 3 - Répartition des émissions de GES par secteur dans le monde (GIEC) (6)

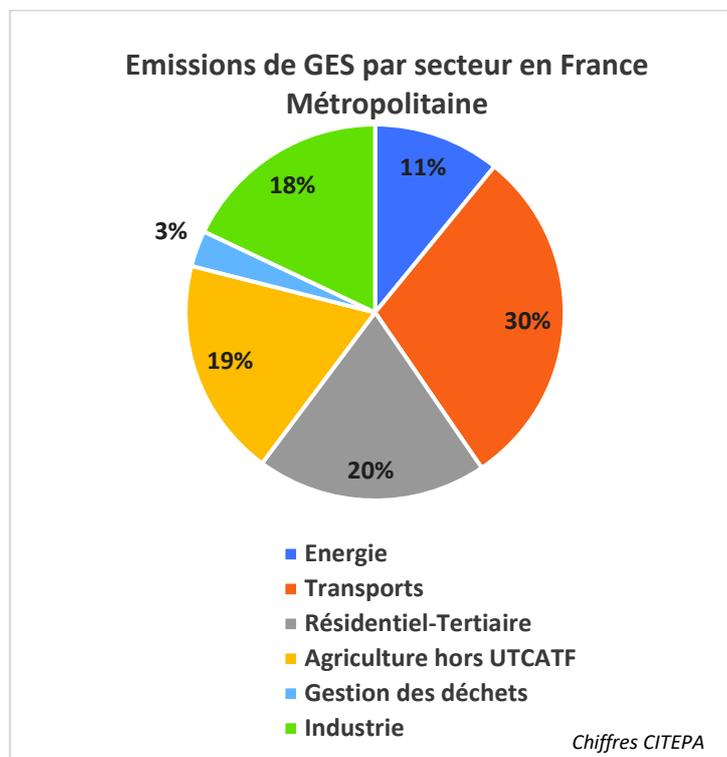


Figure 4 Répartition des émissions de GES par secteur en France Métropolitaine

## c. Secteurs d'émissions principaux

### Alimentation

Le secteur de l'**agriculture** est l'un des plus grands responsables des émissions anthropiques de GES. L'estimation des émissions liée à l'agriculture est complexe, leur inventaire étant soit lié soit séparé des émissions de l'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF, ou AFAT) selon les auteurs. En effet, l'afforestation représente un puits de carbone considérable, faisant diminuer d'autant le chiffre d'émissions du secteur, sans être liée directement à l'agriculture. Inversement, la part de déforestation (déstockage de carbone) due à l'agriculture fait augmenter le chiffre d'émissions du secteur.

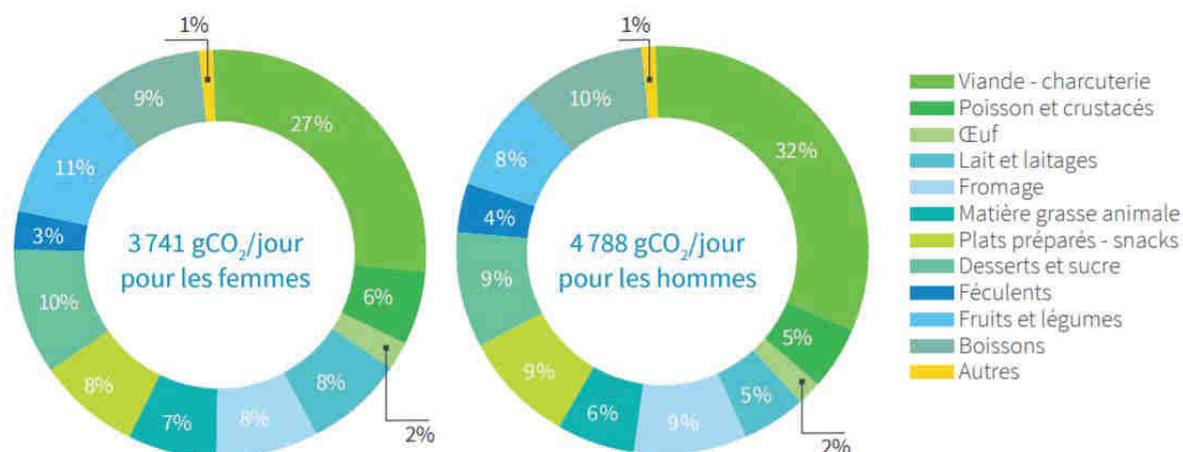
De plus, considérer l'alimentation, plus largement que la seule agriculture demande la prise en compte des émissions provenant des **transports** et de l'**industrie agro-alimentaire**.

Le GIEC regroupe l'agriculture, la foresterie et autres usages des terres (AFAT) en un secteur responsable de 21-37% des émissions anthropiques nettes totales (10.7-19.1Gt CO<sub>2</sub>éq/an) (9). Les proportions sont encore plus larges si l'on se focalise sur des GES spécifiques : sur la période 2010-2016, le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) émis "à l'intérieur des fermes" représente la moitié du méthane, et les trois quarts du protoxyde d'azote émis par tous les secteurs.

Avec l'accroissement de la population mondiale, des niveaux de vie, de l'urbanisation et l'augmentation de la consommation de nourriture intense en carbone, les émissions liées au secteur de l'agriculture devraient augmenter de 80% d'ici 2050 (12).

L'ADEME présente dans son rapport *Climat, Air, Energie 2018* (11) un graphique présentant la part dans les émissions de GES de chaque type d'aliment dans l'alimentation des français : 58-59% des émissions liées à notre alimentation proviennent des produits d'origine animale, sans compter ceux présents dans les desserts et produits sucrés, et 12% proviennent des fruits,

légumes et féculents. Selon Sandström et al. (13) les produits d'origine animale constituent 83% des émissions mondiales de l'alimentation.



Source : ADEME/INRA - « Impact carbone de régimes alimentaires différenciés selon leur qualité nutritionnelle » - 2011  
(Données alimentaires issues de l'étude INCA2 conduite en 2006-2007)  
Champ : France métropolitaine

**Figure 5 - Emissions de GES par type d'aliment en France métropolitaine(ADEME) (11)**

La quantité de GES émis lors de la production de nourriture varie principalement selon le type de nourriture. Les **produits d'origine animale** (viande, produits laitiers principalement) émettent beaucoup plus de GES par calorie ou par gramme de protéines produites que la production de végétaux destinés à l'alimentation humaine : 1g de protéines provenant de l'élevage de ruminants émet 250 fois plus de GES que la même quantité de protéines végétales (12).

Le GIEC explore la capacité d'atténuation d'un changement de régime alimentaire vers une alimentation basée sur les plantes dans le chapitre 5 de son *Rapport spécial sur le changement climatique et l'usage des terres* en 2019 (9).

Deux revues systématiques sur l'impact environnemental des différents produits alimentaires (14,15) concluent que les régimes riches en produits d'origine animale, ont un impact environnemental plus élevé que les régimes riches en produits d'origine végétale. La viande, particulièrement la viande de ruminants (bœuf, agneau, chèvre) y est systématiquement déterminée comme la nourriture avec l'impact le plus élevé, autant en termes d'émissions que de

surface terrestre utilisée par individu. Les mêmes conclusions sont retrouvées dans d'autres revues citées par le GIEC, dont une focalisée exclusivement sur les émissions de GES(16), et une autre sur l'analyse du cycle de vie ("life-cycle assessment" ou LCA) (17). Cette dernière intègre la variabilité des facteurs d'émissions en fonction du contexte de production, selon les pays et les modes d'élevage et de transport.

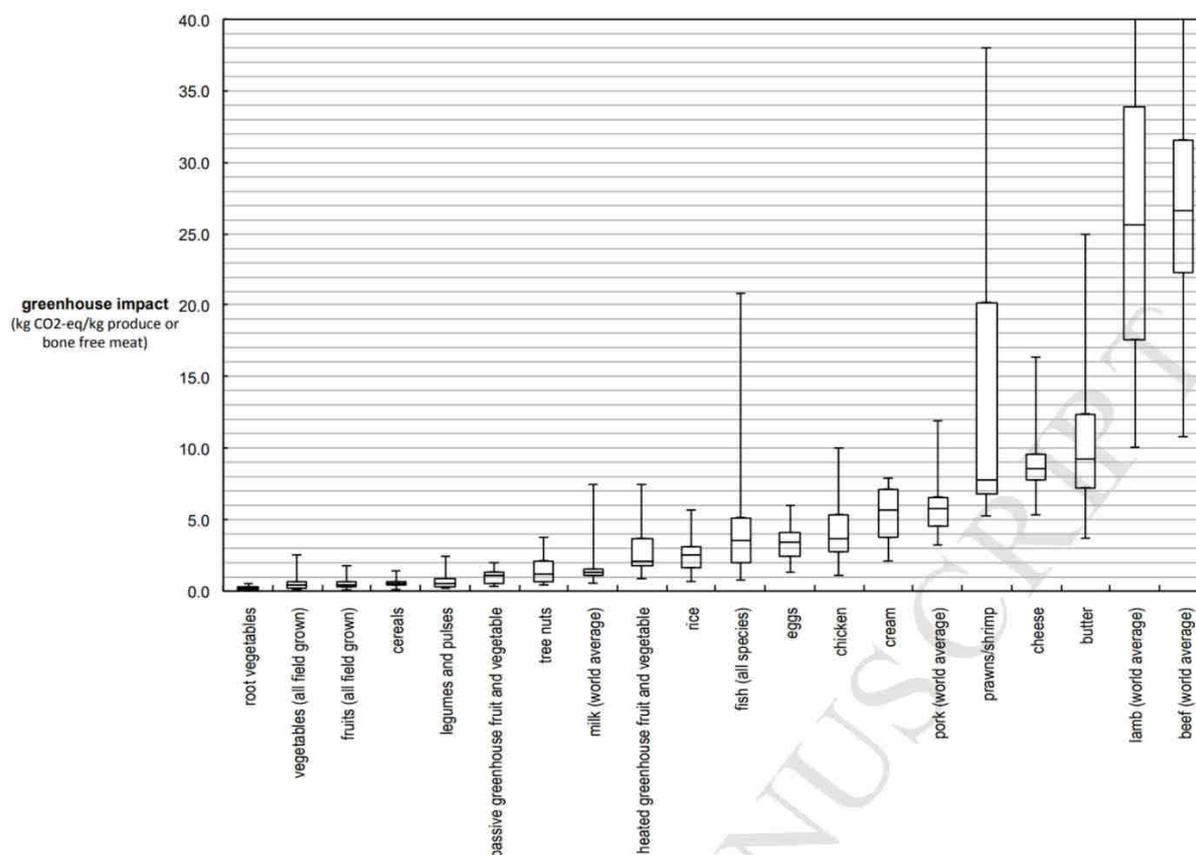


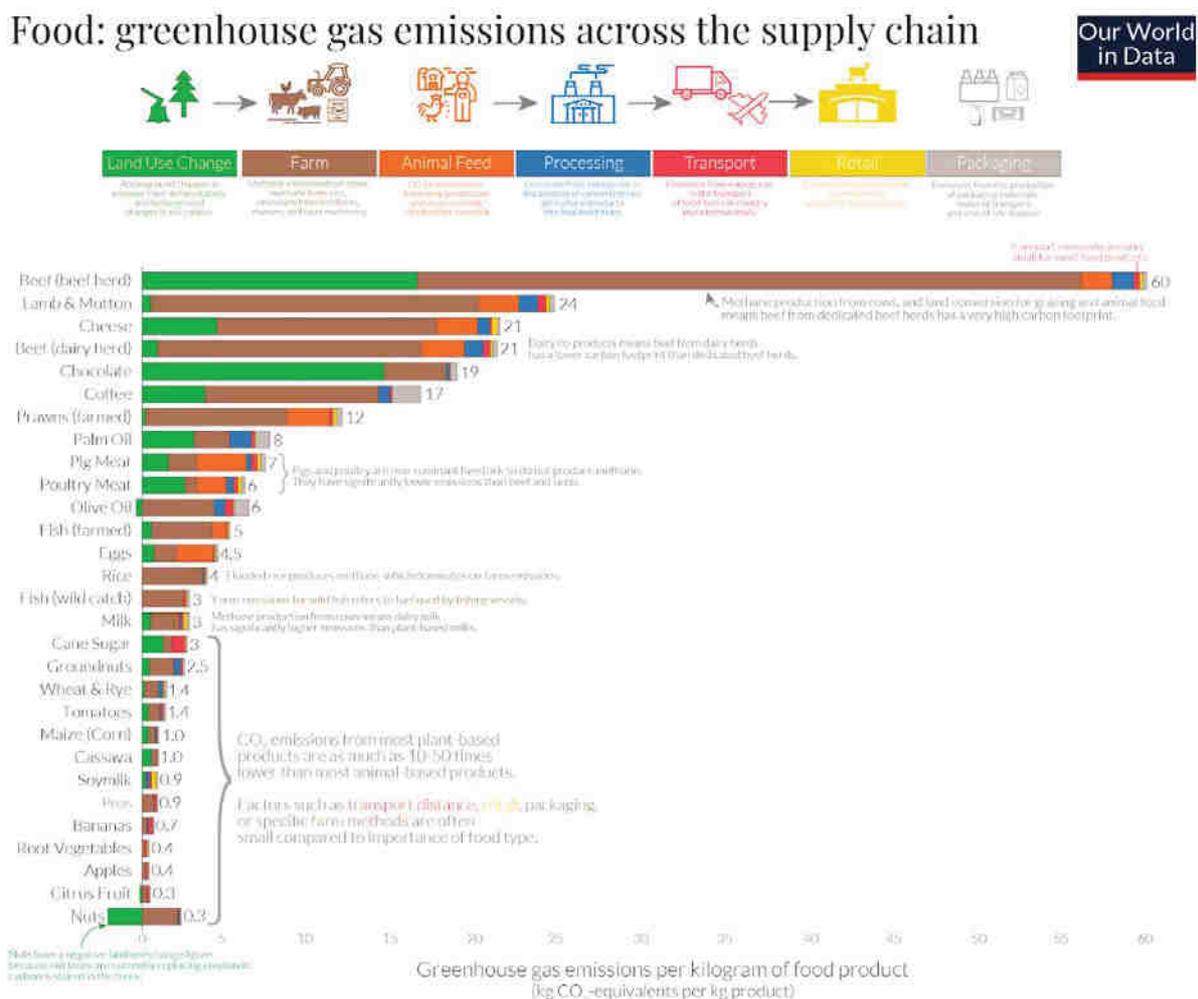
Figure 6 - Emissions de GES en kgCO<sub>2</sub>éq/kg par type d'aliment

(Clune et al.,2017) (14)

La FAO (Food and Agriculture Organisation, organe des Nations Unies) alertait déjà en 2006 dans son rapport *Livestock's long shadow*, puis en 2013 dans son rapport *Tackling Climate Change through Livestock* (18) de la responsabilité de l'élevage dans les émissions de GES, qu'elle calcule à **7.1GtCO<sub>2</sub>éq/an, équivalent 14.5% des émissions anthropiques nettes mondiales**. Les émissions liées à l'élevage ("à l'intérieur des fermes") tiennent principalement du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O provenant de la fermentation intestinale des ruminants, et de la fermentation anaérobie dans le

traitement du fumier, ainsi que du fumier déposé sur les pâturages. S’y ajoutent les émissions “hors des fermes” liées à la déforestation nécessaire aux cultures de nourriture pour les animaux et l’extension des terres de pâturage, ainsi qu’aux transport, stockage, transformation, et distribution des produits issus de l’élevage.

Dans la figure 7, le site *Our World In Data* de l’Université d’Oxford reprend les données issues de l’analyse de cycle de vie de Poore et Nemecek (17) pour représenter la part de chaque étape de production dans les émissions de GES de nos aliments.



**Figure 7 - Répartition par secteur de l’origine des émissions de GES de différents aliments. (Données Poore et Nemecek (17))**

Disponible sur : <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>

Dans leur revue, Baroni et al. (19) reviennent sur l'impact environnemental global de la production de viande : en plus des émissions de GES, la production de viande entraîne dans certaines zones **l'érosion des sols**, la déplétion et l'eutrophisation des ressources en eau, la **pollution des eaux** de surface et phréatiques par des pathogènes, des toxines, de l'azote et du phosphore délétères pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine par les dépôts de fumier. Elle affecte la **biodiversité**<sup>8</sup> par la conversion d'habitats pour l'extension des terres de pâturages ou les cultures de céréales et de soja destinées à l'alimentation des animaux d'élevage : 88% des terres **déforestées** en Amazonie sont utilisées pour le pâturage, et seulement 20% des protéines végétales nourries aux animaux de ferme proviennent d'Europe, le reste étant importé de pays en voie de développement. En septembre 2020, l'organisme WWF alerte sur la disparition de 68% de la population de vertébrés entre 1970 et 2016, et pointe comme responsable principale la destruction des habitats à des fins agricoles.

L'élevage utilise 77% des terres agricoles pour ne fournir que 18% des calories et 37% des protéines consommées par l'espèce humaine (18). Les auteurs comparent l'animal de ferme à une machine de production de nourriture très polluante et très peu efficace : la transformation de protéines animales à partir de protéines végétales passe par la perte d'une grande partie des protéines et de l'énergie contenue dans les végétaux, utilisée dans les processus métaboliques et la fabrication de tissus non-comestibles (os, cartilage, déchets). Une grande quantité d'énergie est également injectée dans la production de la nourriture pour le bétail et le fonctionnement des infrastructures d'élevage, de traite et d'abattage. Si l'on ne considère que la consommation d'énergies fossiles, la production d'une calorie de bœuf nécessite 40 calories de pétrole, une calorie de lait nécessite 14 calories de pétrole, tandis qu'une calorie de céréales nécessite en moyenne 2.2 calories d'énergies fossiles.

---

<sup>8</sup> Diversité des espèces vivantes (micro-organismes, végétaux, animaux) présentes dans un milieu.

L'agriculture et l'élevage représentent 70% de la **consommation d'eau douce** mondiale, face à 22% par l'industrie et 8% dans les ménages. La plus grande part de l'eau utilisée dans l'agriculture sert à l'irrigation des cultures céréalières et oléagineuses destinées à nourrir le bétail, et au nettoyage des infrastructures de l'industrie de l'élevage. Face aux pénuries d'eau, l'augmentation de la demande en produits d'origine animale est intenable, et les prochaines générations ne pourront être nourries de la façon dont on se nourrit aujourd'hui, en tout cas sans importer de l'eau de pays pauvres vers les pays riches.

De plus, l'utilisation répandue d'**antibiotiques** dans les élevages, à des fins prophylactiques mais également de stimulation de la croissance tissulaire, contribue largement à la création de gènes de résistance bactérienne aux antibiotiques.

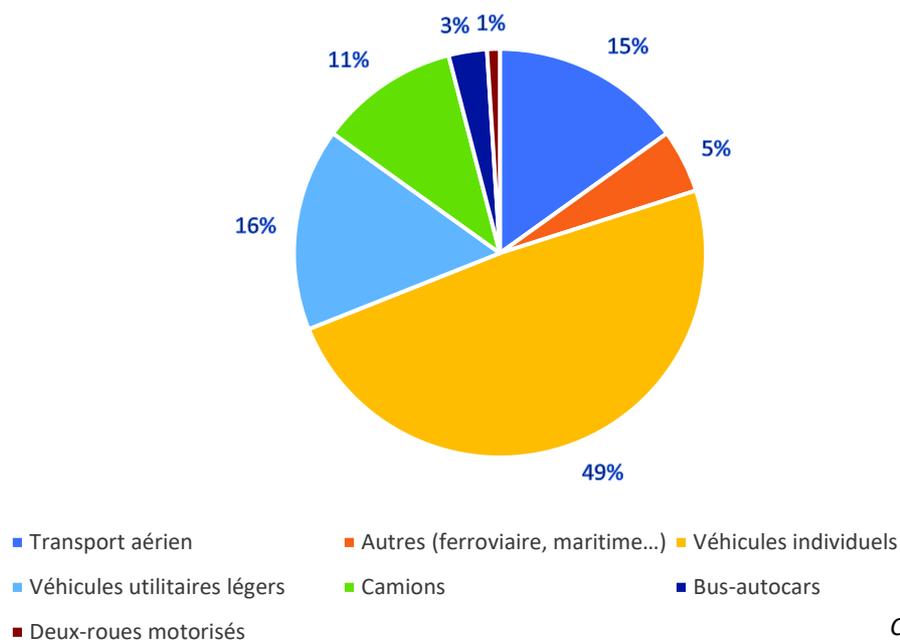
Nous aurons l'occasion de revenir sur les opportunités d'atténuation des émissions dans ce secteur dans la partie C.2.a (page 28).

### Transports

Le secteur des transports est un autre grand contributeur aux émissions de GES et à la pollution de l'air locale. Selon le GIEC (6), il était responsable en 2010 de **14% des émissions anthropiques totales** de GES. Le trafic routier est également la principale source d'émissions de particules fines et de NO<sub>x</sub> (oxydes nitreux), autres polluants aériens et précurseurs dans la formation de GES (ozone et protoxyde d'azote), dont nous reparlerons plus bas.

L'ADEME (11) attribue 31% des consommations finales d'énergie au secteur, avec le transport routier en tête (80% de la consommation dans le secteur des transports), suivi par le transport aérien (15%). Les émissions du transport routier sont principalement liées aux véhicules individuels (61%), comme représenté dans la figure 8 ci-dessous.

#### Parts des émissions de GES des différents modes de transport



**Figure 8 - Part des émissions de GES des différents modes de transport, sur le total des émissions du secteur (10)**

Les véhicules neufs sont globalement de plus en plus performants, grâce à l'innovation technologique : la consommation unitaire moyenne des voitures est passée de 8.21l/100km en 1990 à 6.4l/100km en 2017 (baisse de 22%), avec en 2017 un parc automobile constitué de 6% de voitures neuves consommant en moyenne 4.7l/100km. Malgré cela, la vente de véhicules lourds tout-terrain (SUV) ne cesse d'augmenter, alors que ces véhicules consomment beaucoup de carburant, et émettent donc beaucoup de GES.

La population européenne en est la plus grande consommatrice avec 253 millions de voitures pour 512,6 millions d'habitants en 2014 (31,9 millions en circulation en France).

Les trajets en voiture sont réalisés sans passager dans trois quarts des cas en semaine, et 40% des trajets urbains font moins de 3 kilomètres, ce qui émet 2 fois plus de polluants que des trajets plus longs. Selon l'INSEE, 58% des trajets de moins de 1km se font en voiture.

L'empreinte carbone du **transport aérien** est difficile à estimer : il constituerait selon les données de la DGAC<sup>9</sup> 2,8% des émissions du secteur des transports, soit 0.8% des émissions anthropiques totales de GES en France en 2016, mais les mesures retrouvant ce résultat ne prennent pas en compte les vols internationaux et plusieurs facteurs essentiels du pouvoir réchauffant des avions. En effet le bilan change quand on considère le forçage radiatif positif provoqué par la vapeur d'eau dans les traînées de condensation, ou cirrus, laissés par les réacteurs des avions, le forçage dû aux oxydes d'azote (NOx) induisant la formation d'ozone en basse atmosphère (partiellement compensé par la réduction de la quantité de méthane), l'empreinte carbone de la production et du transport du carburant, des transferts ville-aéroport, et que l'on intègre 50% du bilan des vols internationaux au départ et à l'arrivée sur le territoire national.

Une étude de Lee et al. (2009) (20) conclut à une contribution de 4.9% au forçage radiatif positif anthropique global.

Un rapport en juillet 2020 d'un cabinet d'études en développement durable (21) évalue une contribution à **7,3% du forçage radiatif positif anthropique global** : selon ce rapport, les seules émissions du secteur aérien représenteraient l'équivalent du budget carbone sur tous les secteurs en 2050 établi par la Stratégie Nationale Bas Carbone. Pour les auteurs, il est impossible d'imaginer une réduction significative (c'est-à-dire compatible avec les objectifs de l'Accord de Paris) des émissions de GES du secteur aérien en agissant sur l'optimisation énergétique des avions (avion électrique, à l'hydrogène, aux biocarburants, augmentation du nombre de passagers et réduction du poids total, « compensation carbone »...).

---

<sup>9</sup> Direction Générale de l'Aviation Civile

Malgré des mesures améliorant l'efficacité énergétique des avions, le nombre toujours croissant de passagers aériens (augmentation de 6.4% du nombre de passagers entre 2017 et 2018 selon l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), prévision de +3.5% par an et multiplication par 2 du trafic d'ici 2037 selon l'Association Internationale du Transport Aérien (IATA)) expliquée par l'augmentation du niveau de vie et le faible prix d'un voyage aérien, laisse envisager une hausse importante des émissions liées à ce type de transport. A noter que selon l'IATA, 36% des vols sont des vols intérieurs en novembre 2019.

La seule façon de diminuer suffisamment les émissions du secteur est d'en diminuer la demande le plus possible. La simple comparaison du « poids carbone » d'un trajet en avion (environ 2,5 tonnes de CO<sub>2</sub> pour un aller-retour Paris-New York) et du « budget carbone » individuel déterminé pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris (2 tonnes de CO<sub>2</sub> par an par personne) met en évidence l'incompatibilité de l'aviation avec les objectifs climatiques, d'autant plus que ces émissions ne représenteraient que 4,9-7,3% des émissions totales.

Les **mesures de compensation** avancées par les entreprises ne représentent que des gouttes d'eau dans un océan de kérosène. La recapture du carbone par la plantation d'arbres ne vise qu'à ne pas dépasser les émissions de 2019, dans lesquelles ne sont pas comptées les émissions « hors CO<sub>2</sub> » et les émissions indirectes. Par ailleurs, les « stocks » de carbone ainsi constitués sont fragiles (incendies de forêts, déforestation), et situés dans le futur, donc peu fiables. Les quotas carbone alloués aux entreprises (SEQUE-UE<sup>10</sup>) le sont à un prix dérisoire (en moyenne <10 dollars par tonne d'équivalent CO<sub>2</sub>, contre les 100 dollars recommandés par le GIEC), et leur mise en place en 2005 n'a clairement pas montré d'efficacité sur les émissions des entreprises polluantes.

---

<sup>10</sup> Système européen d'échange de quotas d'émissions

La figure 9 présente une hiérarchie des modes de transport motorisés selon leurs émissions par passager au kilomètre, en fonction de leur taux de remplissage.

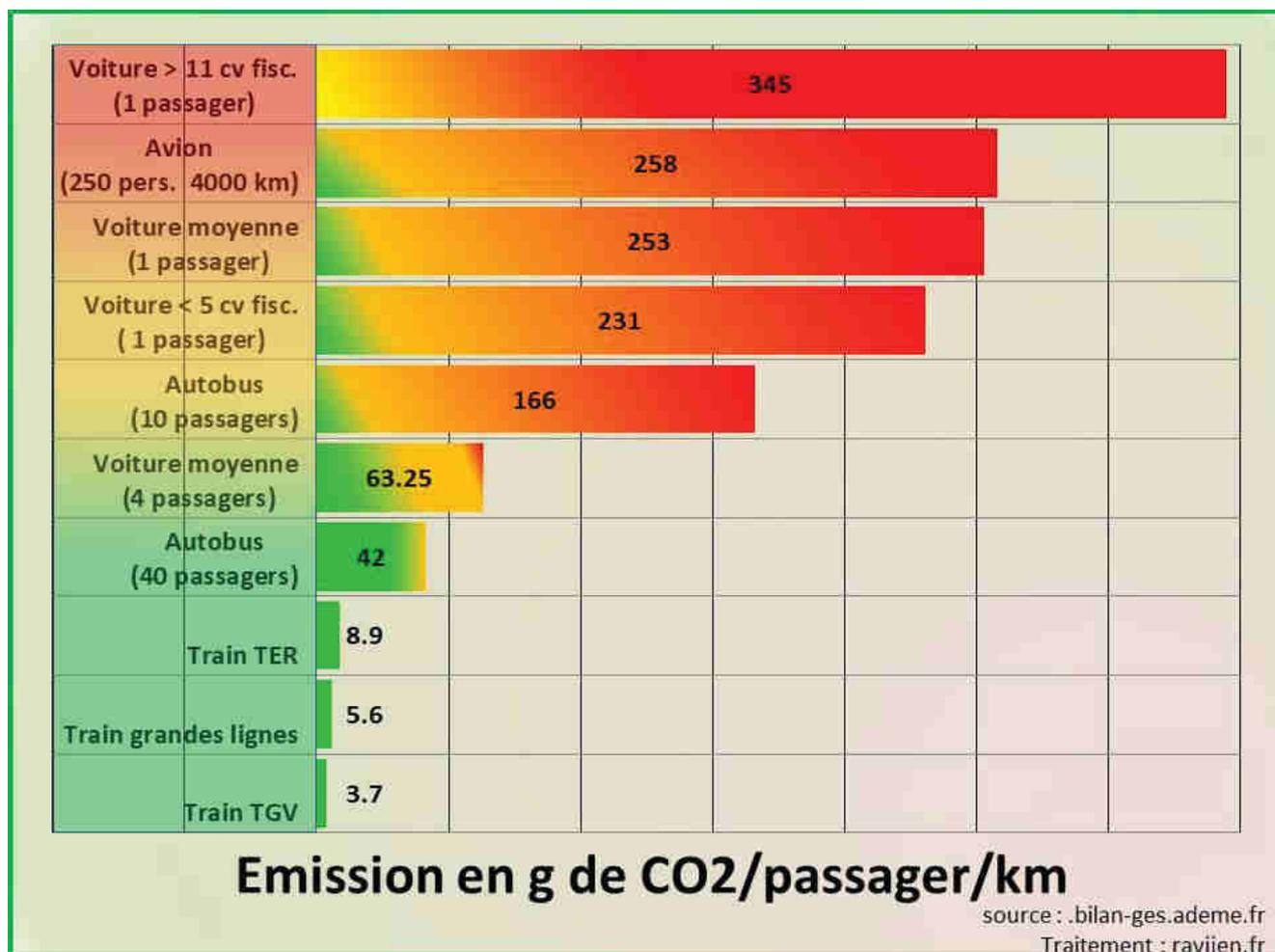


Figure 9 - Figure 9 Emissions de CO<sub>2</sub> des transports en commun (grammes de CO<sub>2</sub> par passager-kilomètre) (11)

### Logement

Après les émissions liées aux transports et à l'alimentation, la contribution des ménages est le troisième secteur majeur d'émissions de GES en France. Elle dépend du mode de **chauffage** du logement, de son **isolation** thermique et de la consommation énergétique des **équipements** du

logement. Le secteur résidentiel est responsable de 30% des consommations finales d'énergie et 14.5% des émissions de GES en France(11).

Selon l'ADEME, la consommation énergétique domestique se répartit comme suit en 2015 : 60% pour le chauffage, 21% pour les appareils électriques, 13% pour l'eau chaude sanitaire, 7% pour la cuisson. Avec les progrès technologiques, ces proportions ont tendance à baisser pour le chauffage, et augmenter pour l'utilisation des appareils électriques, mais la tendance globale est à la baisse grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique des logements et des équipements (9).

L'efficacité énergétique du logement, dépendante de l'isolation thermique, est un déterminant majeur de la consommation énergétique d'un foyer. Les bâtiments anciens sont moins bien isolés que les plus récents, du fait des progrès réalisés dans les techniques et matériaux de construction, ainsi que des **réglementations thermiques** successives.

La plus récente norme thermique est la norme RT2012 « maison passive » avec une limite de consommation <50 kWh/m<sup>2</sup>/an, la norme RT2020 « maison positive » avec une consommation de 0 kWh/m<sup>2</sup>/an est en préparation. Cette dernière prendra en compte, contrairement à ces prédécesseurs, l'impact carbone de la construction.

L'appellation « maison passive » ne fait l'objet d'aucune réglementation, mais elle correspond à une maison qui est basée sur une isolation renforcée et l'utilisation de l'apport passif de chaleur par le soleil. Son coût de construction peut-être plus élevé, mais elle consomme en moyenne 90% d'énergie en moins. Par ailleurs, « passive » ne veut pas nécessairement dire « écologique », car il convient de porter une attention aux matériaux et techniques de construction également.

En plus de l'avantage financier représenté par la réduction du montant des factures d'énergie, la rénovation thermique est subventionnée par les collectivités et l'Etat, qui projette un parc résidentiel entièrement rénové aux normes BBC<sup>11</sup> en 2050, grâce à des aides financières : sur des travaux

---

<sup>11</sup> Bâtiment Basse Consommation, ancien label inclus dans la RT2005 équivalent en consommation d'énergie à la RT2012 (<50KWh/m<sup>2</sup>/an)

coûtant en moyenne 10 000€ par logement, ces aides auraient permis de réduire la facture de 17% en moyenne en 2018 (soit environ 1700€ par logement).

Le mode de chauffage est un important facteur d'émissions de GES et de pollution de l'air intérieur et extérieur ; principalement par la combustion de matières organiques (bois, fioul, charbon, déchets organiques) qui sont à l'origine de 25% des émissions de carbone suie et de CO<sub>2</sub>, non compensées par l'afforestation nécessaire à la production de bois (5). L'utilisation de pétrole liquide émet moins de GES et de particules fines que les composés organiques solides, et peut constituer ainsi une solution intermédiaire dans la transition du mode de chauffage.

L'ADEME dispose d'un Fonds Air permettant l'aide à la transition vers des équipements de chauffage plus propres.

L'étiquette énergie attribuée aux équipements électroménagers depuis 1994 a permis une réduction de la production d'appareils peu efficaces énergétiquement.

Au-delà de l'efficacité énergétique des logements (bâtiments et équipements), le **comportement** des habitants joue un rôle prépondérant dans la quantité d'énergie consommée : selon une étude comportementale réalisée en 2013 dans des logements à hautes performances énergétiques (22), les comportements écoénergétiques induisent respectivement 51%, 37% et 11% de différence de consommation de chauffage, d'électricité et d'eau entre les logements. Les auteurs rapportent que le plus gros frein au changement de comportement serait l'habitude, et ce qui le favoriserait le plus serait l'économie d'argent. Ils ajoutent qu'il existe de fortes lacunes dans la connaissance des habitants en leur système de chauffage, souvent dû à un manque d'information de la part des propriétaires.

Il existe une interaction non négligeable entre logement et transports : la construction de toujours plus de nouveaux lotissements dans les villages ruraux. En plus d'artificialiser les sols et ainsi de

contribuer à la perte de sols cultivables et de biodiversité, et à l'effet îlot de chaleur<sup>12</sup>, ces logements sont la plupart du temps habités par des personnes travaillant en ville et souvent dépendants d'une motorisation individuelle.

#### d. Etat des lieux et projections

Les émissions anthropiques de GES ont augmenté depuis l'époque pré-industrielle, principalement du fait de la croissance économique et démographique. Les émissions passées ont élevé les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux à des niveaux sans précédent depuis au moins 800 000 ans (6) (figure 10), entraînant une absorption nette d'énergie par le système climatique.

Entre 1750 et 2011, l'espèce humaine a émis un cumul de **2 040GtCO<sub>2</sub>**. Environ 40% sont demeurées dans l'atmosphère depuis 1750 (6), le reste ayant été extrait et stocké dans les puits de carbone<sup>13</sup>, les réservoirs naturels du cycle du carbone. Parmi eux, les océans ont absorbé 30 % du CO<sub>2</sub> rejeté par les activités humaines, ce qui a entraîné une acidification de leurs eaux.

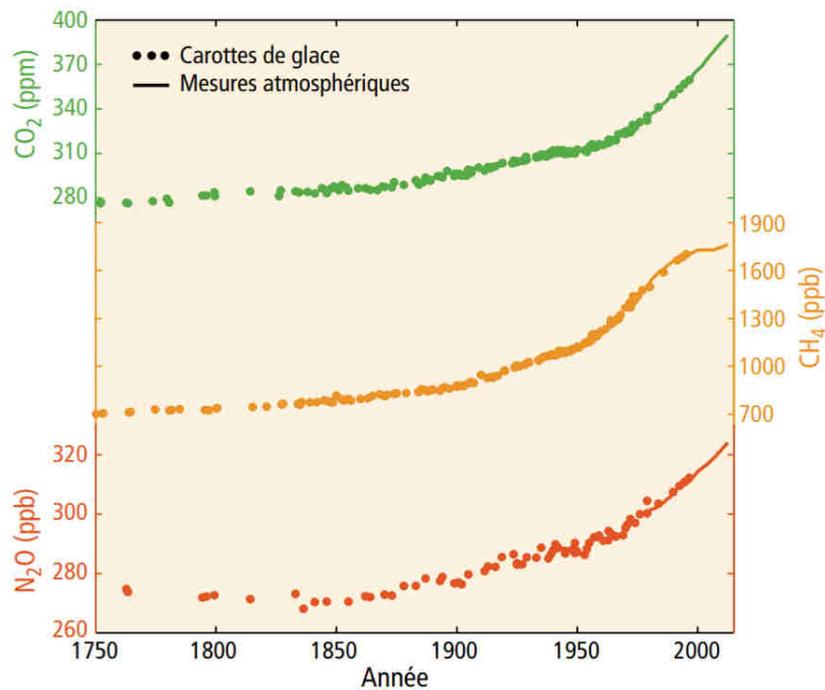
Malgré le nombre croissant de politiques adoptées en faveur de leur réduction, les émissions annuelles de GES ont augmenté en moyenne de 1,0Gt<sub>éq</sub>CO<sub>2</sub> par an entre 2000 et 2010, décennie pendant laquelle les émissions anthropiques totales de GES ont été les plus importantes de toute l'histoire de l'humanité : elles ont atteint **49Gt<sub>éq</sub>CO<sub>2</sub>/an en 2010** (6). En France, on mesure en 2017 l'émission de 452Mt<sub>éq</sub>CO<sub>2</sub>/an (23). Le commissariat général au développement durable émet en janvier 2020 un rapport sur l'empreinte carbone des français, pour le compte du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire : il estime à **11,2tCO<sub>2</sub>éq/an le « poids carbone » du français moyen**.

---

<sup>12</sup> Microclimat urbain avec de hautes températures maximales diurnes et nocturne, comparativement aux températures rurales et péri-urbaines. Favorisé par la rareté végétale, l'artificialisation des sols, le "dôme thermique" de pollution de l'air au-dessus des villes, la densité d'utilisation de moteurs à combustion...

<sup>13</sup> Réservoirs naturels ou artificiels de captation du CO<sub>2</sub> présent dans la biosphère : sols (tourbières), forêts, océans (phytoplancton, roches sédimentaires, coraux)

### Moyennes mondiales des concentrations de gaz à effet de serre



**Figure 1.3** | Changements observés dans les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre: dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, vert), méthane (CH<sub>4</sub>, orange) et oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O, rouge), avec superposition des données provenant de carottes de glace (symboles) et des mesures directes dans l'atmosphère (lignes). [GT I 2.2, 6.2, 6.3, figure 6.11]

### Figure 10 - Moyennes mondiales des concentrations de gaz à effet de serre (6)

Parallèlement à l'augmentation de la concentration atmosphérique des GES, La **température moyenne annuelle** du globe a augmenté de 1.0°C depuis l'ère pré-industrielle, et il est probable que cette valeur atteigne 1.5°C d'ici 2030-2052, si le rythme du réchauffement reste identique (environ 0.2°C par décennie), du fait des émissions passées et présentes (8). Si on arrêtait aujourd'hui toutes les émissions, celles du passé continueraient d'influer sur le système climatique (montée du niveau de la mer, acidification de l'océan), mais ne suffiraient pas à atteindre +1.5°C (8).

On parle de température moyenne car certaines régions du globe se réchauffent plus vite : les eaux se réchauffent bien moins vite que les terres émergées, dont les plus exposées sont les terres arctiques (8).

Les zones humides deviennent plus humides, et les zones sèches deviennent plus sèches.

Les événements météorologiques extrêmes tels que les canicules, sécheresses, déluges, et ouragans se font plus fréquents et plus intenses.

Concrètement, dans nos latitudes moyennes, le GIEC projette une augmentation du nombre de jours chauds et de la température moyenne de ces jours de chaleur : +3°C pour 1.5°C de réchauffement, +4°C pour 2°C de réchauffement (8).

En 2015 lors de la COP21, 195 pays ont signé l'**Accord de Paris sur le climat**, s'engageant à adopter les mesures nécessaires (NDCs ou *Nationally Determined Contributions*) pour limiter le réchauffement à +2°C, si possible à +1.5°C.

Le rapport spécial du GIEC sur le réchauffement de +1.5°C, en 2018, revient sur ces NDCs et les juge insuffisantes : dans un scénario supposant tous les engagements respectés, la quantité totale d'émissions anthropiques annuelles serait de 52-58Gt $\text{CO}_2$ /an en 2030 (8). **Le réchauffement climatique est alors estimé à +3°C en 2100**, avec une poursuite du phénomène a posteriori. Les scénarios excluant tout nouvel effort d'atténuation (RCP8.5) projettent un réchauffement de plus d'environ +4°C à +7°C d'ici à 2100 (8).

Avec le déclenchement de « boucles de rétro-action positives », le changement climatique pourrait s'emballer de façon imprévisible et faire de la Terre une « planète étuve » où la survie de l'espèce humaine, pour ne citer qu'elle, serait impossible.

En France, ces NDCs sont présentées en 2015 dans la Stratégie Nationale Bas Carbone, ensuite révisée en 2018-2019, dont le nouveau but est d'atteindre la « neutralité carbone » en 2050, comme préconisé par le GIEC en 2018 pour limiter le réchauffement à +1.5°C.

## 2. CONSEQUENCES SUR LES OCEANS ET LA CRYOSPHERE

### a. Etat des lieux

La moyenne des **précipitations** dans les régions continentales des latitudes moyennes de l'hémisphère Nord a augmenté depuis 1901, modifiant le cycle hydrique planétaire. Les températures de surface océaniques augmentent, et le rythme de ce réchauffement a doublé depuis 1993, entraînant une dilatation des eaux de surfaces. L'absorption de CO<sub>2</sub> par les océans a entraîné une **acidification** (baisse de pH de 0,1 correspondant à une augmentation de 26% de la concentration en ions hydrogène) depuis l'ère préindustrielle, **l'eutrophisation** des eaux, une réduction de la concentration en **oxygène** dans le premier kilomètre de profondeur, et une réduction des flux verticaux d'échanges de **nutriments**, de carbone et d'oxygène (10). La baisse du pH marin rend la calcification difficile : les coquilles, carapaces et squelettes des animaux marins se dissolvent, ne peuvent plus se former, et la survie des planctons à la base de la chaîne alimentaire devient impossible.

Tous ces facteurs contribuent à une modification des conditions de vie des **écosystèmes**, mettant en péril toutes les espèces incapables de s'adapter rapidement (physiologie, habitat, reproduction, maladies, défense contre les espèces invasives), ou de migrer.

La diminution de masse des **nappes glaciaires** du Groenland (-278 Gt/an entre 2006 et 2015) et de l'Antarctique (-155 Gt/an entre 2006 et 2015), des **glaciers** de presque toutes les régions du monde (-220 Gt/an entre 2006 et 2015), et de l'étendue du **manteau neigeux** de l'hémisphère Nord au printemps s'accélère constamment. La température du **pergélisol**<sup>14</sup> (permafrost) a dépassé les records dans toutes les régions (augmentation moyenne de 0.29°C entre 2007 et 2016), à cause de l'augmentation des températures de surface et de la diminution de l'étendue du manteau neigeux (10). Dans le pergélisol, sont piégés de nombreux animaux, végétaux, et micro-organismes dont la décomposition bactérienne est stoppée par le gel. Le dégel provoque la reprise

---

<sup>14</sup> Couche de terre gelée en permanence

de cette décomposition, résultant en émissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> dont la masse potentielle équivaut environ au double de celle déjà présente dans l'atmosphère, avec comme conséquence l'accélération du dérèglement climatique : ce phénomène est appelé une boucle de rétroaction positive.

La fonte des glaciers, l'augmentation des précipitations, et la dilatation thermique des océans contribuent à une **augmentation du niveau moyen des mers** sans précédent (+0.16m entre 1902 et 2015), en constante accélération (+3,6mm/an entre 2006 et 2015). Ceci contribue, avec l'augmentation des événements météorologiques extrêmes, à l'intensification des épisodes de montée des eaux et d'accidents côtiers (10).

## b. Projections

Ces modifications de la cryosphère vont voir leur fréquence et leur intensité augmenter encore dans la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle, dans un scénario à fortes émissions (RCP8.5), et dans une moindre mesure dans un scénario de forte réduction des émissions (RCP2.6).

Le GIEC projette une réduction de la masse des **glaciers** mondiaux entre 2015 et 2100 de 36% dans le RCP8.5, et de 18% dans le RCP2.6 : de nombreux glaciers disparaîtront dans les deux cas.

La fonte du **pergélisol** superficiel (3-4 premiers mètres) atteindra 69% en 2100 dans le RCP8.5, entraînant la libération de dizaines, voire de centaines de milliards de tonnes de carbone sous forme de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub>, exacerbant le réchauffement climatique à un degré incertain. Le RCP2.6 limite la fonte du pergélisol à 24%. L'augmentation de la densité végétale sur les sols dégelés peut compenser en partie ces émissions, mais ne suffira pas sur le long terme (10). Sur le même principe de boucle de rétroaction positive, la hausse de la température des océans fait craindre la libération d'hydrates de méthane, ou "clathrates" piégés en masse sur le plancher océanique.

La fonte des glaciers et du pergélisol augmente le risque **d'inondations** dues au débordement de lacs glaciaires, de **glissements de terrain** et d'**avalanches** dans les zones montagneuses mais également dans de nouvelles zones, et sur des saisons plus longues.

La probabilité d'une mer arctique sans glace en septembre d'ici la fin du siècle est d'environ 1% dans un scénario de stabilisation du réchauffement à +1.5°C, mais cette probabilité monte à 10-35% pour une stabilisation à +2°C. D'ici à 2100, le GIEC projette une baisse du pH océanique de 0.3 sans réduction des émissions (10).

Quel que soit le scénario d'émissions considéré, le nombre d'**événements extrêmes** de montée des eaux devrait augmenter très fortement dans de nombreuses régions, continuellement et au-delà de 2100. Les **courants de convection** atlantiques (dont fait partie le *Gulf Stream*) s'affaiblissent du fait de modifications thermiques et de salinité, mais il est très improbable qu'ils s'effondrent pendant le XXI<sup>e</sup> siècle. Malgré cela, un affaiblissement substantiel devrait causer une baisse de la "**productivité marine**" dans l'Atlantique Nord, et une augmentation du nombre de **tempêtes** en Europe du Nord. Le nombre d'événements météorologiques de grande échelle devrait doubler pendant le XXI<sup>e</sup> siècle, par rapport à leur nombre pendant le XX<sup>e</sup> siècle. Sans réduction des émissions, le taux d'élévation du niveau des mers devrait atteindre plusieurs centimètres par an dans les prochains siècles, aboutissant à une élévation rapide de plusieurs mètres (10).

Les changements cryosphériques auront enfin une répercussion sur l'**accès à l'eau** et son usage (énergie, agriculture...), et présentent des risques physiques pour les infrastructures, la culture, le tourisme, les loisirs, du fait de l'augmentation des inondations, avalanches et glissements de terrain.

Dans les régions côtières, polaires et montagneuses, les modifications de la cryosphère entraînent des changements majeurs dans la distribution des espèces, modifiant la structure et le fonctionnement des **écosystèmes**, et laissant craindre la perte de **biodiversités** uniques.

Quel que soit le scénario d'émissions, le GIEC projette une diminution globale de la biomasse marine et une modification de la composition de la biodiversité marine de la surface aux planchers océaniques, dues aux modifications thermiques et exacerbées par l'acidification et la désoxygénation des milieux, la diminution de l'étendue de glace marine, la destruction des habitats et les activités marines humaines. Certains écosystèmes entiers sont menacés par la pêche (10).

On projette une **élévation du niveau moyen des mers** atteignant +21-89cm d'ici à 2100, menaçant directement entre 600 et 700 millions de personnes, quel que soit le scénario considéré (6). Dans son rapport spécial sur le réchauffement de +1.5°C, le GIEC précise une projection de +26-77cm en 2100 par rapport à 1986-2005 pour un réchauffement limité à +1.5°C. Pour un réchauffement de +2°C, s'ajoutent 10cm représentant une menace pour 10 millions de personnes supplémentaires. Même si le réchauffement se limite à +1.5°C, le processus continuera jusqu'à atteindre plusieurs mètres sur le très long terme (10).

Un réchauffement limité à +1.5°C aurait moins d'impact qu'à +2°C sur la température moyenne de l'océan, son acidification et les niveaux d'oxygène. Il impliquerait donc moins d'extinctions d'espèces et une limitation significative de la disparition des barrières de corail (70-90% disparues pour +1.5°C ; >99% pour +2°C) (10).

### 3. CONSEQUENCES SUR L'USAGE DES TERRES ET LES ECOSYSTEMES TERRESTRES

#### a. Etat actuel

La température de l'atmosphère a augmenté deux fois plus vite au-dessus des terres émergées qu'au-dessus des eaux. Le changement climatique, causé en partie par l'usage humain des terres, contribue en plus largement à la **désertification** et à la **dégradation des sols** (érosion, déforestation, incendies, dégel du pergélisol, salinisation des côtes) et a un impact négatif sur les **écosystèmes terrestres** et la **sécurité alimentaire**.

La fréquence, l'intensité et la durée des épisodes de **chaleur extrême** et des épisodes de **fortes précipitations** peuvent être fortement affectées par les modifications de l'état des sols (dé-afforestation, couverture végétale, urbanisation, couverture de neige et albedo, pergélisol, humidité).

La couverture végétale et l'afforestation permettent, pendant les saisons chaudes, une réduction des températures locales à court terme par évapotranspiration, grâce à des échanges énergétiques et hydriques. A l'inverse, elles favorisent une augmentation des températures en hiver, par la diminution de l'étendue de la couverture neigeuse et de l'albedo (9).

## b. Projections

Avec l'augmentation des températures, le GIEC projette une augmentation continue de la fréquence, de l'intensité et de la durée des canicules, sécheresses et épisodes de fortes précipitations de façon globale, augmentant les risques de **diminution du rendement** des cultures et des élevages, de sécheresses, **d'incendies**, de **dégel du pergélisol**, de **dégradation des habitats** et de **perte de biodiversité**. Ces risques sont, aux niveaux actuels de réchauffement, modérés, et suivent l'augmentation de la température globale moyenne. Aujourd'hui à +1°C, 4% des terres subissent une transformation du type d'écosystème, et ce nombre monte à 13% pour +2°C. La toundra est particulièrement exposée et subit déjà des modifications. Limiter à +1.5°C plutôt qu'à +2°C permet d'épargner entre 1.5 et 2.5 millions de km<sup>2</sup> de cette zone de pergélisol sur plusieurs siècles (8,9).

D'ici à 2100, les températures enregistrées devraient dépasser les records historiques de 6°C à 13°C en France (24).

De l'accroissement de la population humaine, combinée à l'évolution des habitudes alimentaires (tendance des pays en voie de développement à adopter le régime alimentaire occidental) résulte l'augmentation de la demande en nourriture, en aliments pour animaux d'élevage et en eau. Ces changements et les pratiques de gestion des terres impliquent des risques concernant l'usage des

sols, l'accès à l'eau, la sécurité alimentaire, les émissions anthropiques de GES, le potentiel de capture du carbone, et la biodiversité. La sécurité alimentaire peut être améliorée dans un scénario de réduction de la demande ou d'amélioration de la productivité. L'accès à l'eau reste menacé quel que soit le scénario considéré, et les risques sur la biodiversité augmentent proportionnellement avec l'extension des terres de culture et de pâturage.

Enfin, la sécurité alimentaire est également menacée par la diminution de productivité induite par l'urbanisation des terres de culture. La production urbaine et périurbaine de nourriture, et la végétalisation des villes sont citées comme de bonnes stratégies pour réduire ce risque (9).

En 10 000 ans, notre espèce a réussi à transformer le visage de la **biodiversité** : de la biomasse des mammifères, il ne reste que 4% de mammifères sauvages, aux côtés de 36% d'humains et 60% de bétail (25). Aujourd'hui, une espèce sur quatre, faune et flore confondues, est menacée d'extinction, la population de vertébrés a diminué de 50% en 40 ans, la population d'insectes en Europe a chuté de 80% en 30 ans. La biodiversité est un principe primordial du fonctionnement des écosystèmes (« services rendus » par chaque espèce, p.ex. la pollinisation, ou les oiseaux qui disséminent les graines, combattent les parasites dans les cultures, mangent les carcasses d'animaux morts dans la nature...) et de la résilience de la vie sur notre planète. Une plus grande diversité autorise une meilleure résistance aux facteurs d'agression que sont les maladies, la prédation, la modification voire la destruction de l'habitat.

## 4. RISQUES SANITAIRES EMERGENTS



Figure 11 - Infographie de l'OMS représentant les risques sanitaires provoqués par le changement climatique (5)

Le réchauffement climatique engendre déjà de fortes répercussions sur les déterminants sociaux et environnementaux de la santé. Son intensification va exacerber ces risques existants et en générer de nouveaux pour les systèmes naturels et humains. Ces risques ne sont pas répartis de façon égale, et touchent généralement plus les populations défavorisées de tous les pays, quel que soit leur niveau de développement. Ils concernent de multiples aspects de la vie humaine : accès à l'eau potable, sécurité alimentaire, accès à l'emploi, santé physique et mentale, infrastructures et sécurité des personnes, transports, tourisme, culture et loisirs.

L'OMS estime en 2014 (26) que le changement climatique devrait causer environ **250 000 morts** prématurées supplémentaires par an entre 2030 et 2050 causées par la malnutrition, le paludisme et la dengue, les maladies diarrhéiques et la chaleur, et induire entre 2 et 4 milliards de dollars par an de coût supplémentaires pour le secteur de la santé. En 2018 (5), le même organisme revient sur ces chiffres et exprime la forte probabilité que ce premier chiffre soit sous-estimé, et que le changement climatique affecte en fait la santé de plusieurs centaines de millions de personnes

supplémentaires, car il se base sur un scénario optimiste de développement économique, et ne compte que les risques attribués à 4 facteurs principaux (chaleur, malnutrition, maladies diarrhéiques et paludisme), oubliant les nombreux autres facteurs impliqués, directs ou indirects.

Il est à noter que les facteurs liés à l'activité humaine à l'origine de la dégradation de notre environnement sont souvent également à l'origine directe de risques sanitaires d'un autre ordre : ne faisons ici que citer l'exemple de la combustion des énergies fossiles, à l'origine de l'émission de GES mais aussi de la pollution de l'air, que nous développerons plus bas. C'est sur ce principe que se fondent les « co-bénéfices » sanitaires des mesures d'atténuation.

Par ailleurs, le réchauffement climatique induit à l'inverse une réduction de certains risques sanitaires : le GIEC projette notamment une baisse de la morbi-mortalité liée au froid. Cependant, les avantages directs sur la santé humaine, sur la production alimentaire ou la propagation de maladies vectorielles sont inclus dans leurs analyses, et ne permettent pas de contrebalancer l'impact négatif du phénomène sur la santé.

### a. Différences d'exposition et de vulnérabilité

La nature et la gravité des risques induits par le réchauffement climatique dépendent de l'exposition et de la vulnérabilité des systèmes humains et naturels, déterminées par la géographie et le développement socio-économique, les efforts d'atténuation entrepris dans les prochaines années, les efforts d'adaptation des infrastructures et des populations. Les pays en voie de développement, qui ont le moins contribué aux émissions de GES, seront les plus exposés et les plus vulnérables.

Ainsi il existe des facteurs (6,9,10):

- **D'exposition :**
  - Géographiques : habitants de pays insulaires, de pays en voie de développement, de deltas et de régions côtières, de mégalopoles, de régions montagneuses, arides et arctiques. Selon les régions, les habitants peuvent être plus exposés aux effets de la désertification (Asie et

d'Afrique), des incendies (Amérique du Nord et du Sud, pourtour méditerranéen, Afrique du Sud et Asie centrale), de la réduction de la productivité agricole (régions tropicales et subtropicales).

- Démographiques : jeune âge (temps d'exposition plus long), populations indigènes et petites communautés dépendantes de la pêche ou de l'agriculture.

- **De vulnérabilité :**

- Démographiques : personnes fragiles (enfants, personnes âgées, handicapées ou victimes de polymorbidités ou polymédiquées),

- Socio-économiques : nonaccès à la technologie et l'information, difficultés financières menaçant l'accès aux ressources, emplois précaires, fragilité et résilience des infrastructures communautaires (santé, gestion des ressources, gestion des conflits)

Le GIEC qualifie le réchauffement climatique de "**multiplicateur de pauvreté**" : les risques sanitaires sont plus grands pour les populations et communautés défavorisées dans tous les pays, quel que soit le niveau de développement (8), en agissant aussi bien directement - perturbation des moyens de subsistance, réduction du rendement des cultures, destruction des habitats - qu'indirectement - hausse du prix des aliments, insécurité alimentaire, etc.

Les populations marginalisées sont particulièrement vulnérables et exposées, par l'interaction de multiples processus sociaux provoquant des inégalités socio-économiques (6). Les discriminations fondées sur le sexe, l'ethnie, la classe sociale, la religion, l'âge ou l'état physique sont des processus favorisant la mise en place et l'entretien de ces inégalités sur les plans de la vulnérabilité et de l'exposition (6).

Il est attendu qu'un réchauffement de +1.5°C entraîne 100 millions de personnes vers l'extrême pauvreté (8).

## b. Risques liés à l'alimentation

Comme abordé plus haut, le réchauffement climatique affecte la production, la qualité et la diversité de la nourriture par de multiples facteurs : extrêmes de chaleur, sécheresses, inondations et autres catastrophes météorologiques, montée des eaux (perte de terrains et salinisation)

augmentation de la difficulté d'accès à l'eau, appauvrissement des sols, effondrement des populations de pollinisateurs, propagation de maladies et d'insectes nuisibles, entrave à l'activité humaine à l'extérieur, hausse des prix et de la pauvreté. De surcroît, une haute concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère réduit la qualité nutritive des cultures, et la hausse des températures entraîne une augmentation de la présence de pathogènes dans les aliments d'origine animale (6,9).

La malnutrition est également favorisée par la prévalence de maladies infectieuses diarrhéiques dans les pays en voie de développement, et en est réciproquement un facteur de risque, par augmentation de la vulnérabilité aux infections. En 2011, elle cause 45% des décès d'enfants de moins de 5 ans (3,1 million de décès par an) (26).

Le GIEC considère le risque de **pénurie alimentaire** haut pour un réchauffement de +1.5°C, très haut pour un réchauffement de +2°C (9). La FAO estime en 2009 à 1 milliard le nombre de personnes dans l'incapacité d'obtenir la nourriture qui leur est nécessaire. La même année, Nelson et al. (27) calculent à 20% l'augmentation du nombre d'enfants en insuffisance pondérale due à la baisse de productivité en 2050, dans un scénario à hautes émissions. L'OMS évoque quant à elle en 2014 7.5 millions d'enfants supplémentaires en retard de croissance en 2030 et 10.1 millions en 2050 dans un scénario de croissance économique continue. Dans les mêmes conditions, la mortalité des enfants de moins de 5 ans attribuée à la malnutrition additionnelle est estimée à 95 175 en 2030 et 84 695 en 2050. Les auteurs précisent que la proportion de population sous-nourrie est indépendante de la population totale : plus de bouches à nourrir peuvent induire une réduction de la disponibilité alimentaire, ou une augmentation de la disponibilité grâce à l'augmentation de production suite à celle de la demande, et ils estiment que chaque effet s'annule. Ainsi, une réduction du nombre total de population sous-nourrie entre 2030 et 2050 dans ce scénario serait expliqué par une réduction de la population totale d'enfants de moins de 5 ans. On attend de ces risques qu'ils touchent principalement les populations d'Afrique sub-saharienne et d'Asie du Sud (26). Ces chiffres, donnés par le rapport de 2014 de l'OMS, sont largement sous-estimés : ils proviennent d'analyses ne prenant pas en compte les potentiels chocs climatiques, épidémiques et économiques, se basent sur des scénarios de réchauffement inférieurs aux estimations

actuelles, et ne prennent pas en compte les impacts sur les émissions d'une croissance économique continue.

Les risques de sécheresse et de **stress hydrique** (déséquilibre entre la demande et la quantité disponible d'eau potable) seraient significativement diminués dans un scénario limitant le réchauffement à +1.5°C, particulièrement dans les régions méditerranéenne et sud-africaine.

### c. Risques liés aux maladies infectieuses

#### *Maladies vectorielles*

Le changement climatique génère un élargissement et une modification des zones de répartition des maladies tropicales, particulièrement les maladies vectorielles (paludisme, dengue, schistosomiase, virus du Nil occidental, maladie de Lyme, fièvre jaune, Zika, Chikungunya...). Les inondations constituent un facteur favorisant de constitution de milieux de reproduction des vecteurs, et les modifications de température et d'humidité élargissent les zones géographiques et les périodes de transmission des maladies vectorielles (26,28).

Prenons l'exemple de l'effet du changement climatique sur le paludisme à *Plasmodium falciparum*, la maladie vectorielle avec l'impact sanitaire mondial le plus élevé (1,24 million de morts par an en moyenne, principalement des enfants âgés de moins de 5 ans (29)), qui a été particulièrement étudié. Pendant le 20<sup>e</sup> siècle, la zone de transmission du paludisme a grandement diminué grâce au développement économique et à l'extension des zones urbaines, majoritairement aux Etats-Unis et en Europe.

Sa transmission est saisonnière, car les températures et l'humidité agissent sur le métabolisme du parasite et de son vecteur principal, *Anopheles gambiae* : en-dessous de 16°C et au-dessus de 40°C, leur survie est menacée. Une augmentation des températures ambiantes induit un développement plus rapide de *P. falciparum* dans le vecteur, et un métabolisme plus rapide chez le moustique nécessitant des repas sanguins plus fréquents, le tout augmentant la probabilité de piqûre, et de transmission à chaque piqûre. Les saisons humides ont été caractérisées comme plus à risque de transmission du paludisme, à cause d'une densité vectorielle plus importante.

Il reste une incertitude quant à l'effet du réchauffement climatique sur la répartition du paludisme : on évoque plus facilement une modification des zones de répartition, plutôt qu'une expansion. Certaines régions actuellement touchées par des maladies vectorielles pourraient en être libérées (Asie du Sud et du Sud-Est, Chine du Nord), mais d'autres régions auparavant indemnes pourraient être concernées à l'avenir (8). En outre, il existe d'autres facteurs à la répartition que les facteurs climatiques : barrières physiques, prédation, compétition, dégradation de l'habitat... Le développement économique régional et l'extension urbaine diminuent la prévalence locale du paludisme : diminution des sites de reproduction des vecteurs, accès plus rapide et plus facile aux traitements et aux mesures de prévention. Ces variables sont importantes dans la considération de l'expansion de toutes les maladies vectorielles. L'impact du changement climatique sur le paludisme et la dengue a été évalué par l'OMS en fonction de plusieurs scénarios d'adaptation, et de changements socioéconomiques. Dans un scénario sans changement socio-économique et avec un changement climatique résultant d'émissions stabilisées à un niveau moyen (RCP6.0), la dengue et le paludisme subissent une expansion de leurs zones de transmission, principalement en Amérique du Sud, en Afrique et en Asie.

Le GIEC estime que les zones de répartition de *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus*, vecteurs de maladies comme la dengue, le virus Zika, le Chikungunya ou la fièvre jaune augmenteront d'ici à 2030. Le virus du Nil occidental et la maladie de Lyme voient déjà leurs zones de transmission étendues, principalement en Amérique du Nord et en Europe, sans qu'il soit possible d'affirmer la seule responsabilité du changement climatique (8).

L'OMS précise que le changement climatique pourrait affecter la transmission sur le territoire français de la fièvre jaune, du Chikungunya, de la leishmaniose et de la dengue. Pour cette dernière, 26% du territoire dépasserait le seuil de transmission pendant 3 mois de l'année sur la période 2041-2070, dans le scénario sans effort supplémentaire d'atténuation (RCP8.5), contre 5% entre 1961 et 1990(30).

Il est également supposé que la perte massive de biodiversité découlant du réchauffement climatique puisse induire une disparition des espèces vectorielles et hôtes intermédiaires, conduisant à une baisse d'incidence des maladies vectorielles et zoonoses de façon globale. Les micro-organismes pathogènes pourraient être d'autres victimes de cette extinction de masse (31). Le GIEC estime tout de même un impact globalement positif sur l'exposition à ces maladies (8).

### *Diarrhées infectieuses*

Les maladies diarrhéiques sont une cause majeure de mortalité, principalement pour les enfants de moins de 5 ans dans les pays en voie de développement (**500 000 décès** d'enfants de moins de 5 ans par an (26)), ainsi que la **première cause de malnutrition** dans cette même population.

La modification des régimes de précipitations, et les inondations sont à l'origine d'une **baisse de l'hygiène et de la qualité de l'eau**, causant 88% des décès dus à une diarrhée infectieuse (99% dans les pays en voie de développement) (5,32). L'OMS observe un lien entre le **stress hydrique** dans certaines populations et l'incidence de maladies diarrhéiques de toutes causes. Ce stress hydrique est exacerbé par le réchauffement climatique, mais également par l'augmentation de la consommation globale et de la pollution de l'eau.

Plusieurs études (couvrant 5 des 21 régions définies par l'OMS) ont caractérisé un lien significatif encore mal expliqué entre les variations de température et l'augmentation d'incidence de maladies diarrhéiques : de 3%-11% par 1°C d'élévation de température (26). Il n'existe pas de données suffisantes pour définir quels entéropathogènes sont impliqués dans ces liens de façon globale.

L'OMS estime une **augmentation** de la mortalité chez les enfants de moins de 15 ans causée par les maladies diarrhéiques **de 48 000 morts par an** en 2030 en raison du réchauffement climatique, dans un scénario d'émissions stabilisées à un niveau moyen (RCP6.0) (26).

## Zoonoses

Environ 60% des maladies infectieuses émergentes sont des zoonoses<sup>15</sup> (33) comme celles donnant des diarrhées infectieuses (campylobactériose, salmonellose, choléra...) ou celles d'apparition récente et auparavant inconnues comme les différentes gripes aviaire ou porcine, tuberculose bovine, fièvres hémorragiques (Ebola), VIH, SARS-CoV 1 et 2 (COVID-19) et MERS-CoV, mais également les maladies vectorielles précédemment abordées.

L'émergence et la propagation de ces maladies n'est pas directement favorisée par le changement climatique mais par plusieurs facteurs communs à la destruction de l'environnement par les activités humaines, le sujet est donc abordé succinctement. Cela s'explique principalement par la réduction de la distance entre l'Homme et sa faune domestique d'une part, et la faune sauvage d'autre part : l'antibiorésistance, la promiscuité, la destruction des habitats naturels et la diminution de la biodiversité dues à l'élevage intensif et à la déforestation, ainsi que le braconnage favorisent les interactions et fragilisent les populations. L'émergence notamment des virus Ebola, SARS-CoV 1 et 2 est attribuée à la capture de chauves-souris, et celle du VIH à la chasse de chimpanzés.

A cette facilitation de transmission de l'animal à l'animal, et de l'animal à l'homme, il faut ajouter la facilitation de transmission inter-humaine favorisée par le transit international massif de personnes, phénomène associé à un forçage radiatif majeur (cf. A.1.c Transports).

### d. Stress thermique, mortalité cardio-vasculaire et respiratoire

Le **stress thermique** désigne l'incapacité du corps humain à maintenir une température normale, en raison de conditions extérieures (température, humidité) inappropriées.

---

<sup>15</sup> Maladies infectieuses transmissibles d'un animal à l'homme

En France et dans les pays développés, le risque de mortalité due à la chaleur est le risque le plus grand induit par le réchauffement climatique.

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleurs et des températures moyennes saisonnières induisent une augmentation substantielle des risques directs de morbidité neurologique (hyperthermie), et de **mortalité cardio-vasculaire et respiratoire**, particulièrement dans les zones urbaines du fait de l'effet d'îlot de chaleur (5).

La **canicule de l'été 2003**, pendant laquelle la température maximale enregistrée était de 44,1°C a causé au moins 70 000 décès en Europe, dont 19 490 en France (34). Pour un réchauffement entre +1.5°C et +2°C, le GIEC projette une occurrence annuelle d'épisodes similaires de canicule. Entre 2000 et 2016, le nombre de personnes vulnérables exposées aux vagues de chaleur a augmenté de 125 millions (5). Pour un réchauffement de +1.5°C, 350 millions de personnes seraient exposées chaque année à un risque de décès dû à la chaleur en 2050, et ce nombre augmente avec les années suivantes (8). L'OMS va plus loin en considérant le vieillissement de la population et l'urbanisation des terres, et projette l'exposition de **3 milliards d'individus de plus de 65 ans** à des vagues de chaleur mortelles d'ici 2100 (5).

#### e. Effets du réchauffement climatique sur la pollution de l'air

L'élévation des températures moyennes de l'atmosphère entraîne l'**augmentation de la concentration troposphérique d'ozone**, de pollens et autres pneumallergènes augmentant la morbidité respiratoire.

L'augmentation en fréquence et en étendue des feux de forêt participera à l'élévation des **émissions de particules fines et d'autres polluants**. Dans certaines zones, la sécheresse rendra les tempêtes de sables plus fréquentes. (5)

#### f. Risques liés aux infrastructures, migrations et conflits

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des orages et déluges, des feux de forêts et inondations le long des côtes et à l'intérieur des terres, des glissements de terrain et l'élévation du

niveau des mers génèrent des **risques physiques** pour les humains (plus de 50% de la population mondiale vit à moins de 60km des côtes) et pour les **infrastructures**, dont les infrastructures de santé et de protection sociale. Le GIEC compte une augmentation de 46% des **événements météorologiques extrêmes** entre 2000 et 2013 (8).

L'OMS projette, pour un scénario sans réduction des émissions (RCP8.5) et sans effort d'adaptation, une exposition en France de 435 100 personnes par an aux risques d'inondations, contre 900 personnes par an pour un scénario de fortes réduction des émissions (RCP2.6) avec efforts d'adaptation (30).

Les accidents induits par ces risques, leurs conséquences physiques et psychiques, la difficulté d'accès aux infrastructures et aux ressources en zones rurales, la diminution de la productivité des cultures vivrières et des revenus agricoles, provoqueront des déplacements des zones de production et des populations : la Banque Mondiale projette **143 millions de migrants climatiques** internes d'ici 2050. L'OMS attribue à ces migrations climatiques des risques supplémentaires de troubles mentaux, de propagation de maladies infectieuses, et l'exacerbation de conflits violents entre les populations (5,26).

## B. Pollution de l'air

Le lien le plus direct entre facteurs environnementaux et mauvaise santé est la pollution de l'air, provenant principalement de la **combustion des énergies fossiles** dans les transports et dans les logements, l'industrie et l'énergie, l'agriculture, la gestion des déchets et l'usage des terres.

La pollution de l'air est actuellement le risque environnemental le plus important dans le monde. Chaque année, **7 millions de personnes** meurent de l'exposition à la pollution de l'air extérieur et intérieur, dont 500 000 en Europe en 2017 (35). Avec 90% de la population urbaine mondiale vivant au-dessus des seuils recommandés par l'OMS, elle est la 2<sup>e</sup> cause de **maladies non-**

**transmissibles** et la 3<sup>e</sup> cause de décès en France après le tabac et l'alcool : elle est à l'origine de 26% de la mortalité de maladie coronaire, 24% de la mortalité des accidents vasculaires cérébraux (AVC), 43% de la mortalité de la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) et 29% de la mortalité des cancers pulmonaires (5).

## 1. REGLEMENTATION FRANÇAISE ET INTERNATIONALE

L'OMS détermine des lignes directrices internationales relatives à la qualité de l'air (dernière mise à jour en 2005) (36), fixant des seuils de concentration des principaux polluants au-delà desquels une exposition serait nuisible à la santé, au court-terme comme au long-terme.

L'Union Européenne a, quant à elle, émis des directives sur la qualité de l'air aux cibles beaucoup moins ambitieuses, fondées sur la faisabilité technique et économique, mais minimisant de fait la réalité de la proportion d'individus exposés (35).

L'Agence Européenne de l'Environnement (EEA) émet chaque année un rapport relatif à la qualité de l'air en Europe, l'état de la science sur les conséquences de la pollution de l'air sur les écosystèmes et la santé humaine, les secteurs d'émission et les bénéfices attendus de l'atteinte des objectifs fixés par les **lignes directrices de l'OMS** en Europe (35).

Chaque Etat membre de l'UE est soumis aux seuils « intermédiaires » fixés par les directives européennes, et la France ne fait pas exception. En 1996, la loi LAURE (Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie) définit le droit de chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Depuis, plusieurs textes réglementaires ou arrêtés sont venus la compléter, notamment l'arrêté du 13 mars 2018 qui apporte des recommandations sanitaires sur la prévention des effets de la pollution de l'air. En mai 2020, la Commission Européenne met en demeure la France pour non transposition des directives européennes sur la qualité de l'air dans la loi française.

En France, des **Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA)** sont nommées par l'Etat dans chaque région (Atmo Grand-Est, Airparif, Atmo Hauts-de France, Atmosud, etc.). Ces 13 associations ont pour missions de **surveiller** la qualité de l'air sur le

territoire grâce à 650 stations de mesure, d'**informer** la population et d'**alerter** les préfetures de dépassements des seuils de pollution.

## 2. POLLUANTS ET SOURCES D'EMISSIONS

### a. Polluants atmosphériques

La pollution de l'air est constituée de multiples composants **gazeux**, **composés organiques volatiles** et de **matières particulaires** de différentes tailles. La composition des substances polluant l'air varie selon les conditions météorologiques, l'heure et le jour de la semaine, l'activité industrielle et agricole, la densité du trafic routier. Il existe des polluants « primaires », directement émis dans l'air, et des polluants « secondaires », formés par la réaction entre deux composés, dans des conditions spécifiques : c'est le cas de l'ozone et des particules fines émises par les épandages agricoles.

Les AASQA communiquent un indice entre 1 et 10, destiné à refléter la qualité de l'air locale, mais ne se basent que sur les concentrations en PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>.

La mesure de la qualité de l'air s'exprime en général en microgrammes du polluant concerné par mètre cube d'air (µg/m<sup>3</sup>).

#### Particules (particulate matter : PM)

Les matières particulaires sont les polluants dont la nocivité est la plus importante, selon les données épidémiologiques. Leur toxicité provient des molécules que ces particules peuvent véhiculer plus ou moins facilement dans l'organisme humain.

Elles sont classées en fonction de leur taille : les **PM<sub>10</sub>** « grossières » ont un diamètre entre 2,5µm et 10µm et peuvent se loger dans les alvéoles pulmonaires, les **PM<sub>2,5</sub>** « particules fines » ont un diamètre entre 0,1µm et 2,5µm peuvent traverser la barrière alvéolo-capillaire et atteindre la circulation, les **PM<sub>1</sub>** ont un diamètre inférieur à 1µm, et les **PM<sub>0,1</sub>** « particules ultrafines » ou

« nanoparticules » ont un diamètre inférieur à  $0,1\mu\text{m}$  (ces dernières représentent 90% des particules émises par le trafic routier) (37). Seules les  $\text{PM}_{10}$  et les  $\text{PM}_{2,5}$  font l'objet d'une réglementation et d'une surveillance par l'Union Européenne.

Elles varient également beaucoup en fonction de leur **composition**, différente selon leur source. Ainsi, schématiquement, les particules « primaires » provenant du trafic routier (principalement les moteurs diesel) ou du chauffage au bois sont faites d'un noyau d'atomes de carbone (**black carbon**) recouvert d'**hydrocarbures aromatiques polycycliques** (HAP) ou de **métaux lourds**<sup>16</sup>. Les particules « secondaires » ou « inorganiques » provenant, pour leur part anthropique, de l'agriculture présentent un noyau de **sels d'ammonium** (nitrate ou sulfate) formés par réaction photochimique entre le  $\text{NH}_3$  émis par les épandages d'engrais azotés, le  $\text{NO}_2$  et le  $\text{SO}_2$  dont nous parlerons plus bas (38), et peuvent véhiculer, entre autres, des **pesticides**. Leur origine explique les pics de pollution mesurés au printemps. Les particules peuvent également provenir de phénomènes naturels (éruptions volcaniques, tempêtes de sable...).

La première source de PM en Europe est l'agriculture, mais les particules émises par l'agriculture (inorganiques) ne sont pas les plus nocives comparativement aux **particules ultrafines** carbonées émises par le trafic routier et le chauffage domestique, qui, du fait de leur composition et de leur diamètre leur ouvrant les recoins les plus profonds de l'organisme, sont **les plus toxiques** (39).

Il est difficile d'évaluer la participation différentielle de chaque type de PM à la charge globale de morbidité, étant donnée la variabilité de leur composition qui n'est en général pas prise en compte dans les études épidémiologiques s'intéressant à l'exposition aux PM. De plus, les différents composés des particules vont subir des interactions dans l'air, et elles seront au final constituées d'un mélange de différentes sources. Ainsi en ville, les particules sont constituées à 60% de matières carbonées et HAP issus de la combustion et de l'usure des pneus, mais aussi de métaux

---

<sup>16</sup> Arsenic, cadmium, nickel, plomb, mercure : émissions en baisse, mais leur accumulation dans les sols et les organismes font persister leurs risques sanitaires cancérigènes et perturbateurs endocriniens.

issus des pots catalytiques et plaquettes de frein, de sulfate, nitrate et autres matières inorganiques. A l'inverse en zone rurale, loin d'axes routiers et en période d'épandages agricoles, les particules seront constituées à plus de 60% de nitrate et sulfate d'ammonium.

Les PM seraient à l'origine de **48 000 décès par an** en France, et 3.15 millions par an dans le monde (39).

Les particules fines ont un rôle à jouer dans le **dérèglement climatique** : elles prennent le nom d'aérosols lorsqu'on les considère comme un ensemble en suspension dans l'air. Ces aérosols (anthropiques et naturels) exercent un effet **albedo** : un forçage radiatif négatif refroidissant l'atmosphère. Cependant, il existe une exception de taille : le black carbon (carbone suie), noyau de PM carbonées émises par l'industrie, la déforestation, le transport, l'incinération des déchets, entraîne un forçage radiatif positif et la fonte des glaciers ainsi que de la banquise de par sa couleur sombre (voir Figure 2). Par ailleurs, cet effet albedo des émissions particulières ne peut pas être considéré comme une contrepartie rendant plus acceptable les émissions fossiles, car il ne suffit pas à compenser le forçage radiatif positif des GES émis par les mêmes sources.

Devant l'existence d'un lien étroit entre l'accroissement ou la diminution des quantités de PM dans l'air et la morbi-mortalité, et l'absence de seuil en dessous duquel l'exposition aux PM n'entraînerait pas d'effet nocif, l'OMS recommande d'en limiter au maximum les émissions.

Dans une volonté de prise de mesures de transition avec des cibles intermédiaires, l'OMS émet tout de même des seuils recommandés, qui permettraient de réduire de 15% le taux de mortalité lié à la pollution de l'air, comparativement aux taux communément mesurés dans de nombreuses villes (36) :

PM<sub>2.5</sub> : moyenne annuelle de **10µg/m<sup>3</sup>** (contre 20µg/m<sup>3</sup> dans les directives européennes, et 35µg/m<sup>3</sup> en moyenne actuellement) ; moyenne sur 24h de 25µg/m<sup>3</sup>

PM<sub>10</sub> : moyenne annuelle de **20µg/m<sup>3</sup>** (contre 40µg/m<sup>3</sup> dans les directives européennes, et 70µg/m<sup>3</sup> en moyenne actuellement) ; moyenne sur 24h de 50µg/m<sup>3</sup>

En Europe en 2016, **44% de la population** est exposée à des concentrations de PM<sub>10</sub> supérieures aux seuils recommandés par l’OMS, et 75% au-dessus des mêmes seuils de PM<sub>2,5</sub> (35). L’EEA ne dispense pas de tel paramètre concernant l’exposition aux particules ultrafines (PM<sub>0,1</sub>), celles-ci ne faisant de toute façon pas la cible de directives européennes ou de lignes directrices de l’OMS.

Les études épidémiologiques réalisées aujourd’hui sur les PM ne sont pas capables d’analyser l’impact spécifique des **particules ultrafines** car en l’absence de normes, ces particules ultrafines ne sont pas mesurées en routine. Même si une partie de leur concentration est incluse dans la mesure des PM<sub>2,5</sub> ou aux PM<sub>10</sub>, elle reste sous-estimée. En effet, les concentrations en PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub> sont mesurées en µg/m<sup>3</sup>, or les particules ultrafines ont une masse négligeable alors qu’elles constituent une part majeure du nombre total de particules dans l’air ambiant. Les particules ultrafines représentent déjà plus de 90% des particules émises par le trafic routier et leur participation au nombre total de particules émises ne fait qu’augmenter en raison de filtres à particules à haute pression désormais de plus en plus utilisés.

### Ozone (O<sub>3</sub>)

A distinguer de l’ozone stratosphérique protecteur, l’**ozone troposphérique** entraîne un stress oxydatif sur les voies respiratoires, provoquant la réduction de la fonction pulmonaire, des **exacerbations d’asthme et de BPCO** : on observe des pics d’admissions et décès à l’hôpital pour motifs cardio-respiratoires près des pics de concentration en O<sub>3</sub> pendant les mois les plus chauds de l’année. La mortalité liée à l’exposition à long-terme à l’O<sub>3</sub> fait encore l’objet de recherches aux résultats flous (38).

Il est formé par des réactions photochimiques (en présence de rayonnements solaires) dans l’atmosphère à partir de précurseurs gazeux émis par l’élevage, le trafic routier, les solvants et l’industrie : méthane, NO<sub>x</sub>, CO, composés organiques volatils (COVs)... Des pics de concentration sont mesurés lors des périodes d’ensoleillement et en fonction des activités humaines à l’origine de l’émission des précurseurs. Sur le plus long terme, cette concentration s’élève au fur et à mesure de l’augmentation des températures moyennes et des émissions de précurseurs. L’O<sub>3</sub> serait à l’origine de 1 500 morts par an en France, et 142 000 par an dans le monde, dues à la BPCO.

L'O<sub>3</sub> **endommage la végétation** (champs, forêts, plantes en général) en réduisant leur vitesse de croissance, avec un impact négatif sur la biodiversité et les écosystèmes, et fait donc la cible de réglementations internationales et européennes pour la protection de la végétation (35). L'O<sub>3</sub> troposphérique est également un agent de **forçage radiatif positif** et contribue ainsi au réchauffement climatique.

Valeurs recommandées OMS : **100µg/m<sup>3</sup>** en moyenne sur 8 heures (contre 120µg/m<sup>3</sup> dans les directives européennes)

En Europe en 2017, **96% de la population** urbaine est exposée à des concentrations d'O<sub>3</sub> supérieures aux seuils recommandés par l'OMS (35).

### Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)

Groupe de gaz composés d'un atome d'azote et d'atomes d'oxygènes, le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et le monoxyde d'azote (NO) : au-delà du seuil recommandé, le NO<sub>2</sub> entraîne une importante inflammation des voies aériennes. Ils présentent une toxicité directe par la création de **radicaux libres**, et participent à la **formation de PM<sub>2,5</sub>** (nitrate et sulfate d'ammonium en présence de NH<sub>3</sub>) **et d'ozone** en présence d'ultraviolets. Les NO<sub>x</sub> seraient à l'origine de 7 700 morts par an en France.

Par ailleurs, les NO<sub>x</sub> ont un impact direct sur les écosystèmes naturels et la biodiversité : ils provoquent une **eutrophisation** des écosystèmes terrestres et aquatiques en perturbant l'équilibre d'apport de nutriments azotés (35). Le NH<sub>3</sub> des engrais azotés participe également significativement à ce processus.

Les NO<sub>x</sub> contribuent enfin à l'**acidification** des eaux et des sols en permettant la formation d'acide nitrique.

Les émissions anthropiques de NO<sub>x</sub> proviennent essentiellement de la combustion d'énergie fossile pour le chauffage, la production d'électricité, les moteurs thermiques. Ils sont émis 6 à 7 fois plus par les **moteurs diesel** par rapport aux émissions des moteurs à essence ; 60% des NO<sub>x</sub> urbains proviennent des moteurs diesel.

Valeurs recommandées OMS : **40µg/m<sup>3</sup>** en moyenne annuelle, 200µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire (directives européennes similaires).

En Europe en 2017, 7% de la population urbaine est exposée à des concentrations de NO<sub>2</sub> supérieure aux seuils recommandés par l'OMS(35).

### Monoxyde de carbone (CO)

L'exposition au monoxyde de carbone, principalement dans l'**air intérieur**, provient de combustions incomplètes de carburants carbonés (bois, charbon, pétrole, gaz naturel, kérosène). Moteurs de véhicules, fumée de tabac, d'encens et matériel de cuisson de mauvaise qualité en sont les principales sources d'émission.

Le CO provoque des **troubles cardiaques** (angine de poitrine et dépression du segment ST) chez les personnes à comorbidités<sup>17</sup> cardiovasculaires, et une **diminution des capacités d'exercice** en diminuant la capacité de transport de l'oxygène par l'hémoglobine. Il peut être fatal lors d'une exposition importante, par exemple dans un logement mal ventilé.

L'OMS définit des seuils de concentration de 100mg/m<sup>3</sup> sur 15 minutes, 35mg/m<sup>3</sup> sur 1h, 10mg/m<sup>3</sup> sur 8h, et 7mg/m<sup>3</sup> sur 24h, pour ne pas dépasser 2% de carboxyhémoglobine<sup>18</sup>(40).

---

<sup>17</sup> La présence d'un ou de plusieurs troubles associés à un trouble ou une maladie primaire, pouvant avoir une conséquence sur son expression, son pronostic et son traitement.

<sup>18</sup> Hémoglobine liée au monoxyde de carbone plutôt qu'à de l'oxygène

### Composés Organiques Volatiles (COVs)

Les composés organiques volatiles (COVs) sont des substances gazeuses facilement dispersibles dans l'air extérieur et intérieur, d'origine naturelle ou anthropique. Ce sont des composés hydrocarbures ( $C_xH_y$ ) parfois associés à d'autres substances (chlore, carburants, solvants...)

Ils participent à la néoformation d'ozone lors de réactions photochimiques.

**Le benzène ( $C_6H_6$ )** est un COV d'origine anthropique : on le retrouve dans les solvants organiques utilisés dans l'industrie, et sa concentration est plus haute dans l'air intérieur que dans l'air extérieur, comme les autres COVs, du fait de l'infiltration mais également des sources intérieures (solvants, matériaux de construction, tabac). Dans l'air extérieur le benzène provient également du trafic routier, notamment du parc automobile essence, des stations essence et des raffineries.

C'est un **cancérogène** génotoxique classé par le CIRC, facteur de risque reconnu de leucémie et autres troubles de l'hématopoïèse. Un empoisonnement aigu provoque des **troubles neurologiques** et peut être fatal.

L'OMS recommanderait un seuil de concentration annuelle de  $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (40) pour limiter le risque de leucémie provoquée sur une vie à 1/100 000, quand l'UE se limite à  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (35). Il n'a pas été trouvé de seuil en dessous duquel le risque de leucémie est nul.

**L'hexane ( $C_6H_{14}$ )** est également très toxique : dépression du système nerveux central, polynévrites périphériques sensitivo-motrices, troubles mentaux, irritation des muqueuses oculaires et respiratoires.

Dans cette catégorie, on pourra encore citer le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le dichlorométhane, et le tétrachloroéthylène, tous classés cancérogènes par le CIRC.

### Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques proviennent principalement de la combustion de carburants carbonés dans le trafic routier, mais également de la combustion du bois (chauffage au bois, déforestation) et de procédés industriels, notamment l'incinération de déchets. De nombreux HAP existent à la fois sous forme de gaz mais aussi sous forme de particules - notamment à la surface des particules de combustion.

De par leur capacité à se présenter soit sous forme de gaz soit sous forme solide (particulaire) en fonction de la température par exemple, ils sont appelés composés organiques semi-volatiles. Ils sont également présents dans les sols, les eaux et les organismes. Le **benzo[a]pyrène (B[a]P)** est un HAP présent à la surface des particules fines ( $PM_{2,5}$ ) et ultrafines, largement utilisé comme indicateur de concentration en HAP. Les HAP sont essentiellement retrouvés dans la composition des particules carbonées  $PM_{2,5}$  et ultrafines, associés à un noyau de carbone, formant une particule également appelée "**black carbon**" ou carbone suie. C'est essentiellement en raison de la présence d'HAP que l'impact de ces particules de combustion est particulièrement grand.

Le CIRC a classé les HAP et le B[a]P comme **cancérogènes certains (classe 1)** pour l'homme en 2005. C'est notamment en raison des HAP émis en grande quantité par les véhicules diesels que l'OMS a classé le **diesel** comme cancérogène certain en 2012. Par ailleurs, l'exposition aux HAP présenterait des risques de **petit poids de naissance** et d'**asthme infantile**, ainsi que de **cardiopathie ischémique** (40).

L'OMS recommanderait de ne pas dépasser  **$0.12ng/m^3$**  annuellement pour cette substance (estimation, ne fait pas partie des lignes directrices)(contre  $1ng/m^3$  pour l'UE) : en 2017, **83% de la population** urbaine européenne vit au-dessus de ce seuil (35). En Europe, il est émis principalement par la combustion de charbon et de bois dans les foyers, à la surface de particules ultrafines émises par les moteurs diesel et à la combustion de déchets agricoles dans une moindre mesure en Europe du Sud (35).

La population est également exposée aux HAP par le biais du tabac, de l'eau de boisson et très majoritairement des aliments. La cuisson d'un aliment émet plus ou moins de HAP, selon le mode de cuisson et sa richesse en corps gras : un aliment plus gras émet plus de HAP, et bouillir émet le moins de HAP, tandis que griller et frire en émettent le plus. Les HAP présents sur les légumes

à feuilles et les graines disparaissent au lavage à l'eau (40). Dans nos pays industrialisés, l'exposition aux HAP se fait, et de loin, principalement par ingestion et non par inhalation.

HAP, COVs et métaux lourds seraient responsables du potentiel cancérigène de la pollution de l'air, et ce sont de puissants perturbateurs endocriniens.

### Métaux lourds

Les métaux lourds (**arsenic** (As), **plomb** (Pb), **mercure** (Hg), **nickel** (Ni), **cadmium** (Cd)) présents en grande quantité dans l'environnement sont un danger pour les écosystèmes et l'humain. Ils sont émis par les centrales industrielles, majoritairement par les industries telles que les **incinérateurs**, et peuvent voyager de longues distances à la surface de PM, puis rester présent dans l'environnement, circuler et **s'accumuler** dans l'air, l'eau, les sols et les organismes pendant de nombreuses années. Ainsi, l'impact de ces émissions se fait ressentir **sur plusieurs décennies**, de même que l'impact des mesures de réduction.

L'exposition nocive aux métaux lourds par inhalation est difficilement estimée, car les concentrations mesurées dans l'**air** sont généralement trop basses pour en estimer la toxicité (35). Cependant, la population y est principalement exposée par le biais de l'**eau** de boisson et des **aliments** dans lesquels ils auront pu s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire (**produits animaux** gras principalement), ou par **voie materno-fœtale**.

Le CIRC a classé l'arsenic, le cadmium et le nickel comme **cancérogènes** pour l'humain. Les métaux lourds provoquent également une altération des fonctions rénale (Cd, Pb, Ni, Hg), respiratoire (Cd, Ni, Hg), reproductive (As, Pb, Hg), hépatique (Pb), des systèmes nerveux (Pb, Hg), squelettique (Cd), et cardiovasculaire (Hg, As, Ni). Le plomb, le mercure et l'arsenic sont des substances **neurotoxiques**, provoquant des troubles du neurodéveloppement (1.9 millions de

bébés par an en Europe naissent après une exposition supérieure aux seuils recommandés). L'arsenic et le nickel provoquent également des **dermatites de contact**<sup>19</sup> (35).

L'accumulation et la persistance des métaux lourds dans l'environnement a de lourdes conséquences sur les **écosystèmes** : hautement toxiques pour les animaux (aquatiques plus exposés) et aux **organismes** du sol, délétères à la croissance des végétaux. Ils s'accumulent au fur et à mesure de la chaîne alimentaire.

Les lignes directrices de l'OMS fixent des seuils annuels de concentration atmosphérique de  $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le plomb, et de  $5\text{ng}/\text{m}^3$  pour le cadmium, et des seuils estimés de  $6.6\text{ng}/\text{m}^3$  pour l'arsenic et de  $25\text{ng}/\text{m}^3$  pour le nickel. Dans ses directives, l'UE fixe des seuils comparables. Peu d'endroits dépassent ces seuils en Europe, et sont **très localisés** autour de centrales industrielles. Il n'existe pour le moment pas de seuil fixé pour le mercure.

La réglementation autour des émissions de métaux lourds a permis une **baisse des émissions** depuis 2000, jusqu'à **-65%** pour le plomb en Europe. Les risques demeurent cependant similaires, puisque les métaux se sont accumulés et persistent : il est donc nécessaire de continuer les efforts de réduction des émissions.

### Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

Gaz incolore d'odeur piquante, c'est un polluant produit de la combustion du **pétrole** ou du **charbon** et de la fonte des **minerais de fer**. Sa présence dans l'atmosphère est en diminution, mais les émissions en sont toujours importantes, notamment dans le transport maritime, le chauffage domestique, et la production d'électricité.

---

<sup>19</sup> Inflammation cutanée due à une irritation par contact avec une substance, qui provoque douleurs et démangeaisons

Le SO<sub>2</sub> réagit avec l'eau pour former l'acide sulfurique à l'origine de **pluies acides** contribuant à la **déforestation**, et à l'**acidification** des sols et des eaux menant à la perte massive de **biodiversité**, dans une moindre mesure que les NO<sub>x</sub> du fait de la diminution de la quantité de SO<sub>2</sub> émise (35).

L'exposition au SO<sub>2</sub> entraîne une **inflammation bronchique** (toux, exacerbations d'asthme, bronchite chronique, sensibilisation aux infections respiratoires), et une **irritation oculaire**. Une exposition de seulement 10 minutes entraînerait des symptômes respiratoires et une altération de la fonction pulmonaire chez les asthmatiques. Les jours de forte concentration en SO<sub>2</sub>, la mortalité et le nombre d'hospitalisation pour cardiopathie décompensée augmentent.

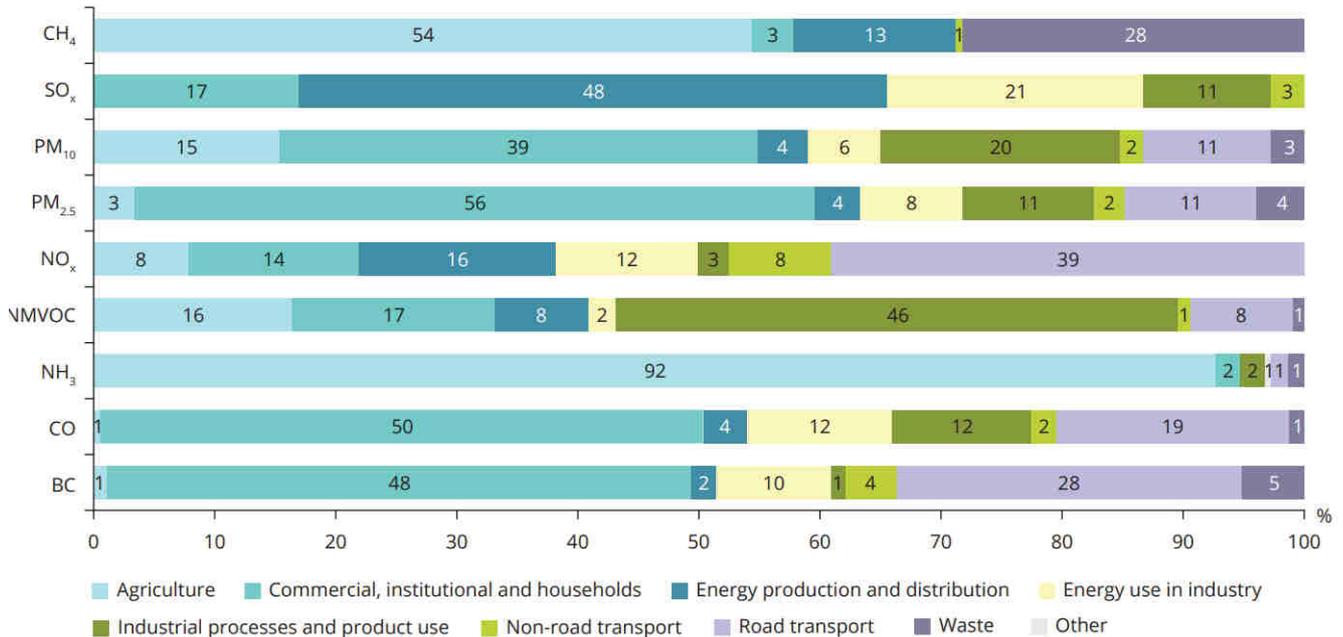
Valeurs recommandées OMS : **20µg/m<sup>3</sup>** moyenne sur 24 heures (contre 125µg/m<sup>3</sup> dans les directives européennes), 500µg/m<sup>3</sup> moyenne sur 10 minutes.

En Europe en 2017, **31% de la population** est exposée à des concentrations de SO<sub>2</sub> supérieure aux seuils recommandés par l'OMS (35).

## b. Secteurs d'émissions principaux

Une part de la pollution atmosphérique provient de sources naturelles : les éruptions volcaniques émettent particules et dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), l'érosion et les tempêtes de sable émettent des particules, les incendies émettent CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> et particules, la foudre est source de NO<sub>x</sub> et d'ozone, les végétaux sont source de pollens et autres composés organiques volatils (COV). Les sources anthropiques de pollution atmosphérique, comme pour les émissions de GES, viennent fortement perturber un équilibre, générant des niveaux d'exposition délétères pour la santé des êtres vivants et pour l'environnement.

En Europe, les secteurs des transports et de l'usage d'énergie résidentiel et tertiaire<sup>20</sup> sont les principales sources de pollution de l'air extérieur.



**Figure 12 - Contribution (%) des secteurs d'émissions principaux de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub> primaires, NH<sub>3</sub>, COVs non-métalliques (NMVOCs), CO, black carbon et CH<sub>4</sub> en Europe en 2017 (35)**

- **Résidentiel et tertiaire** : Le secteur résidentiel, institutionnel et commercial a vu ses émissions baisser très lentement entre 2000 et 2017, malgré une augmentation concomitante de l'usage d'énergie. On note cependant une augmentation des émissions de plomb, cadmium et mercure dans ce secteur. Il reste en 2017 le **premier émetteur de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> primaires, B[a]P, CO et black carbon.**

<sup>20</sup> Usage d'énergie résidentiel et tertiaire : consommation d'énergie dans les foyers et dans les magasins, bureaux, hôtels, musées, hôpitaux, etc. principalement pour le chauffage et les appareils électriques.

- **Production et distribution d'énergie** : En 2017, le secteur de la production et de la distribution d'énergie (centrales thermiques) est le **premier émetteur de SO<sub>2</sub>**.

- **Transports** : En 2017, le secteur des transports est le **premier émetteur de NO<sub>x</sub>**, et le **deuxième émetteur de black carbon, CO et PM<sub>2,5</sub>** (Figure 12).

Dans les métropoles, le trafic routier – particulièrement le parc diesel – représente 20 à 40 % des émissions de particules en masse et plus de 60 % des émissions de NO<sub>2</sub> (23).

Les **moteurs diesel** sont réputés avoir un meilleur impact environnemental, car ils émettent moins de CO<sub>2</sub>; cependant, ils émettent environ 6 fois plus de NO<sub>2</sub> et cent fois plus de PM que les moteurs à essence. Ces PMs transportent des **métaux lourds, HAP** et autres substances toxiques et cancérigènes (37). En outre, 90% des émissions du secteur seraient en fait des **particules ultrafines** (<0,1µm), à la toxicité plus importante (41).

Il convient de pondérer l'impact des émissions de ce secteur par la **forte exposition** de la population. En effet, les émissions de particules et de NO<sub>x</sub> par le trafic routier s'effectuent au niveau du sol, au contact direct des utilisateurs de véhicules motorisés, et sont plus concentrées dans les zones urbaines densément peuplées.

La combustion fossile n'est pas la seule fautive à l'origine de l'émission de PM par les véhicules : l'usure des pneus, des freins et du revêtement des routes est également en cause (35,37).

Les secteurs de l'aviation et du transport maritime posent encore un problème important en termes de pollution atmosphérique, pour laquelle de fortes mesures de contrôles seraient nécessaires.

- **Agriculture : Première source de PM<sub>2,5</sub> secondaires, de NH<sub>3</sub> et de CH<sub>4</sub>** en Europe, l'agriculture modifie la qualité de l'air par plusieurs procédés chimiques. Les émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) par les épandages d'engrais et les animaux d'élevage réagissent avec NO<sub>x</sub> et SO<sub>2</sub> pour former des PM<sub>2,5</sub> secondaires de nitrate et sulfate d'ammonium. Les émissions de CH<sub>4</sub> par les animaux d'élevage, majeures dans ce secteur sont, en plus de permettre la néoformation d'ozone, une source de forçage radiatif positif important. Il est à noter que les émissions de NH<sub>3</sub> ne font actuellement l'objet d'**aucune réglementation européenne**.

- **Industrie** : En 2017, le secteur industriel (industries métallurgique, chimique, agro-alimentaire, centrales thermiques, matériaux de construction, manufactures, raffineries de pétrole) est le **premier émetteur de COVs et de métaux lourds**, et le deuxième émetteur de PM<sub>10</sub>(Figure 12) (35).
- **Sources naturelles** : Eruptions volcaniques, poussières désertiques, incendies, foudre, végétaux. Il faut ici considérer la contribution des activités humaines par la désertification des terres, les feux de forêt et les pratiques agricoles : les émissions « naturelles » ont une origine en partie anthropique.

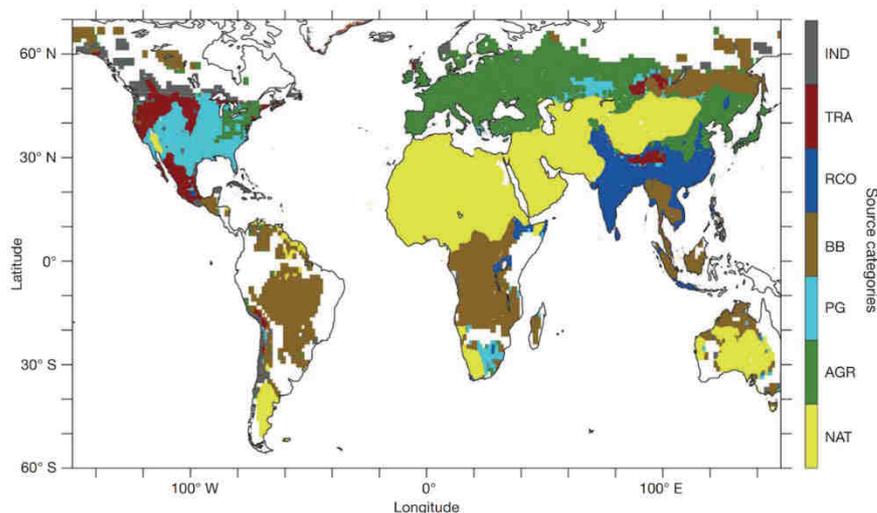
Dans leur revue systématique, Lelieveld et al. analysent et classent les secteurs d'émissions selon leur part dans la mortalité liée à la pollution de l'air, sans prendre en compte les particules ultrafines. Ils concluent que les émissions agricoles correspondent, en volume, à la principale source de PM<sub>2.5</sub> en Europe. Cependant, ce sont essentiellement les secteurs émetteurs de particules de combustion (trafic routier, chauffage) qui ont le plus d'impact sur la mortalité en lien avec les PM<sub>2.5</sub>, si l'on considère que les PM carbonées sont plus toxiques que les PM inorganiques.

L'usage d'énergie résidentiel et commercial serait à l'origine d'un tiers de la mortalité mondiale liée à la pollution de l'air (1,0 million de morts par an), voire le double si l'on considère la différence de toxicité entre PM carbonée et inorganique : combustion de matière organique (chauffage au bois), générateurs à diesel, incinération des déchets. Par ailleurs, ce chiffre ne concerne que la mortalité liée à l'exposition à la pollution de l'air extérieur : ce million est donc à rajouter aux 3.5-3.8 millions de morts liés à la pollution de l'air intérieur provenant principalement de la même source(39) (Figure 14).

En France, le trafic routier occupe une place prépondérante dans la mortalité liée à la pollution de l'air (Figure 14).

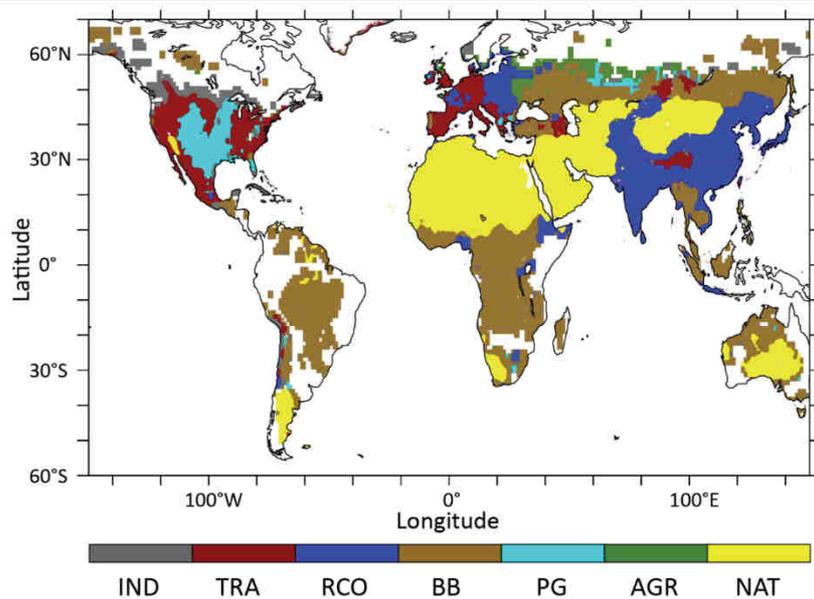
Bourdrel et al. et l'Agence Européenne de l'Environnement placent également le **trafic routier** et le **chauffage résidentiel** comme **premiers facteurs de mortalité liée à la pollution de l'air** en

Europe (35,41). Aux USA, la production d'énergie et l'industrie y contribuent également largement, tandis qu'en Afrique les sources naturelles et la combustion de biomasse seront prépondérantes, de même que le chauffage et la cuisson en Asie.



**Figure 13 - Secteurs d'émissions ayant le plus d'impact sur la mortalité liée à la pollution de l'air en 2010(36).**

Secteurs : IND, industrie ; TRA, trafic routier ; RCO, énergie résidentielle et commerciale ; BB, combustion de biomasse ; PG, génération d'énergie ; AGR, agriculture ; NAT, sources naturelles ; en blanc données insuffisantes.



**Figure 14 - Secteurs d'émissions ayant le plus d'impact sur la mortalité liée à la pollution de l'air en 2010, avec considération d'un impact 5x plus grand des aérosols carbonés vis-à-vis des composés inorganiques (39)**

### c. Air intérieur

Entre multiplication des sources et manque de ventilation, l'air à l'intérieur des logements est souvent plus pollué qu'à l'extérieur, et nous y passons la majeure partie de notre temps. Chaque année, 3.8 millions de personnes meurent prématurément de maladies imputables à la pollution de l'air intérieur (cardiopathies ischémiques et AVC majoritairement, BPCO et pneumonies, cancer du poumon...) (36,40,42).

La pollution de l'air intérieur est **très variable** : particules et fibres, NO<sub>x</sub>, CO, COVs, pesticides et HAP issus de la combustion de bois, du tabac, des bougies et encens, des solvants de peinture, colles, vernis, encres, retardateurs de flamme, produits d'entretien et matériaux de construction, isolants cosmétiques, parfums d'intérieur, mais aussi les allergènes, agents infectieux et moisissures, NO<sub>x</sub> et SO<sub>2</sub> issus de l'air extérieur, en sont responsables sur notre continent (40,41).

L'**humidité** dans nos logements, provenant des sanitaires, des appareils de lavage, du séchage du linge, et des habitants eux-mêmes, favorise le développement de moisissures et d'acariens.

Nous sommes également exposés à l'intérieur de nos logements au **radon**, gaz radioactif d'origine naturelle. Provenant de la dégradation de l'uranium dans la croûte terrestre, il se trouve en concentration plus élevée à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur. Une exposition régulière à des taux trop élevés de radon, peut à long terme favoriser le développement de cancer du poumon.

La responsabilité de la pollution de l'air intérieur devrait être majoritaire dans le calcul global de la mortalité, étant donné que nous passons environ 80% de notre temps à l'intérieur. Néanmoins, une méta-analyse réalisée en 2016 démontre qu'en Europe, 60% de la morbi-mortalité en lien avec la pollution de l'air intérieur provient en fait des **particules fines de l'air extérieur** infiltrant les bâtiments (42), et l'écrasante majorité des décès dus à la pollution de l'air, en France, sont en fait liés à la pollution extérieure selon l'Institute of Health and Metrics(Figure 18).

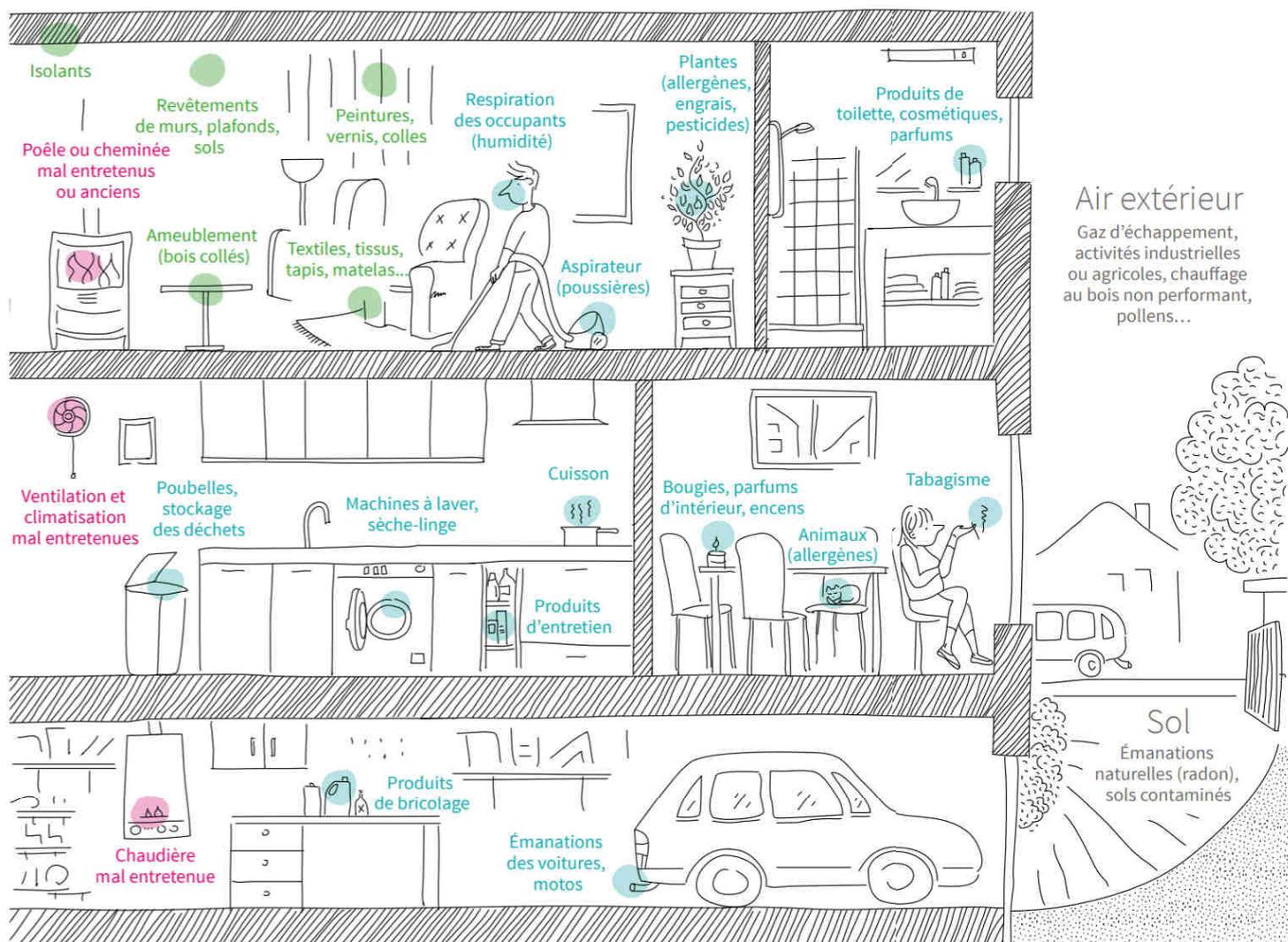


Figure 15 - Sources de pollution de l'air intérieur (ADEME)

### 3. PICS DE POLLUTION

La concentration en polluants peut être soumise à des **variations des conditions** spatiales ou temporelles, à l'origine de pics de pollution.

L'**ozone**, polluant secondaire, forme des pics pendant la **période estivale** et surtout en fin d'après-midi, lorsque les conditions d'ensoleillement, de température et de pression sont optimales. Lors de tels pics, les zones suburbaines ou rurales sont souvent plus affectées que les zones urbaines.

C'est en **hiver**, et à proximité des **axes routiers**, que l'on observe les pics de concentration en **NO<sub>x</sub>**, en **PM** et **SO<sub>2</sub>** : l'absence de vent et le phénomène d'inversion thermique<sup>21</sup> en empêchent la dispersion.

Les polluants sont principalement concentrés dans les villes, mais sont aussi très présents dans les campagnes, proche des zones agricoles chargeant l'air de particules, d'ozone et de pesticides. De plus, les particules émises en ville peuvent voyager sur des kilomètres et polluer les campagnes. Les montagnes enclavant les vallées peuvent constituer une **barrière physique** empêchant la dispersion des polluants, qui s'accumulent alors dans les vallées.

#### 4. ETAT DES LIEUX FRANÇAIS ET EUROPEEN

En Europe, les **émissions de polluants ont diminué** lors des deux dernières décennies, du fait de multiples facteurs : **règlementations**, **transition** vers des carburants plus propres, des technologies plus efficaces, ou **délocalisation** des productions... La baisse la plus importante est celle des émissions de SO<sub>2</sub> : -77% entre 2000 et 2017, et la moins importante est celle de 9% du NH<sub>3</sub>. Les émissions de NH<sub>3</sub> sont en fait reparties à la hausse depuis 2013, principalement dans le secteur agricole. Si l'on considère chaque secteur séparément, on observe une tendance à la baisse de tous les polluants entre 2000 et 2017 dans presque tous les secteurs : persiste une stagnation de tous les polluants émis par l'**agriculture**, du CH<sub>4</sub> émis par le secteur de l'énergie et du black carbon émis par l'incinération des déchets. On observe également une augmentation progressive des concentrations moyennes estivales d'ozone.

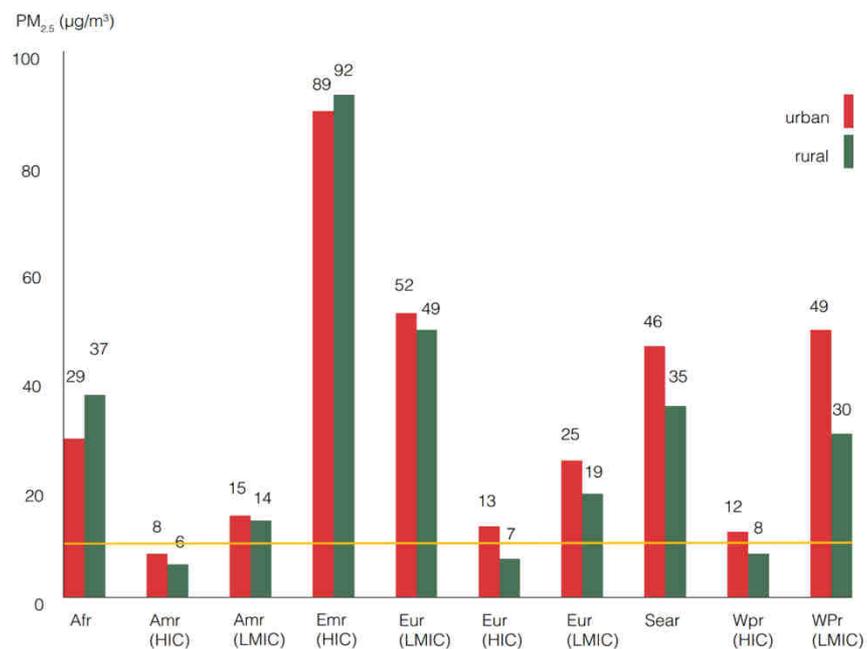
L'estimation de l'évolution des PM est difficile, puisque les **particules ultrafines** ne sont pas surveillées : si la masse totale de PM a tendance à diminuer, il n'est pas possible d'affirmer que leur nombre, et leur nocivité, suit la même tendance. Les innovations dans les moteurs diesel (filtre à particules, système d'injection à haute pression) ont eu l'effet de diminuer le diamètre des

---

<sup>21</sup> Lorsque la couche d'air au sol est plus froide que les couches supérieures, les mouvements d'air verticaux sont limités.

particules émises. Des particules ultrafines plus nombreuses peuvent induire une diminution ou une stagnation de la masse totale, malgré une toxicité plus élevée du fait d'une meilleure mobilité à travers l'organisme et d'une surface d'interaction augmentée.

**En France**, la médiane de concentration estimée en **PM<sub>2,5</sub>** est de **12µg/m<sup>3</sup>** en zone rurale, et de **13µg/m<sup>3</sup>** en zone urbaine. Dans le monde, 90% de la population respire un air pollué au-dessus des recommandations de l'OMS(43).



Recommandations OMS pour les PM<sub>2,5</sub> : 10µg/m<sup>3</sup>

Afr: Africa; Amr: Americas; Emr: Eastern Mediterranean; Eur: Europe; Sear: South-East Asia, Wpr: Western Pacific; LMIC: low- and middle-income countries; HIC: high-income countries. Note: This graph represents the median PM<sub>2,5</sub> of regional urban and rural areas. These estimates are not in relation to the number of people exposed to those levels.

**Figure 16 - Concentrations médianes en PM<sub>2,5</sub> dans le monde par région en 2014**

(adapté de (43))

## 5. RISQUES SANITAIRES DE LA POLLUTION DE L'AIR

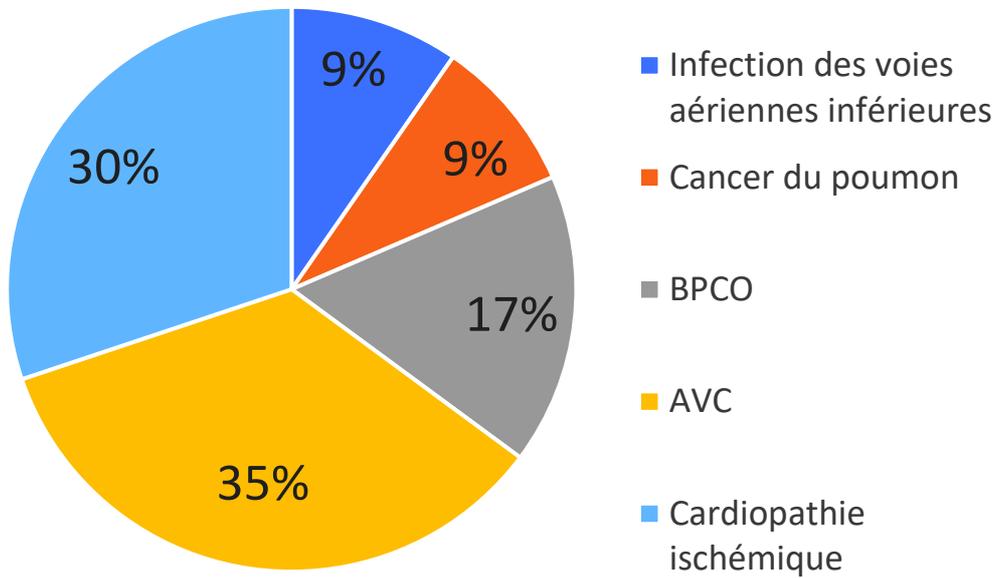
En 2016, l'OMS estime à **4.2 millions** le nombre de décès prématurés provoqués par la pollution de l'**air extérieur** dans le monde, et **3.8 millions** par la pollution de l'**air intérieur** (39). Ces chiffres

sont variables selon les études : on citera notamment l'*European Heart Journal* qui fait état en 2019 de 790 000 décès prématurés par an dus à la pollution de l'air en Europe, avec **réduction moyenne de l'espérance de vie de 2,2 ans** (44). Le chiffre total de décès prématurés annuels pourrait même atteindre 8,8 millions selon certains, faisant de la pollution atmosphérique la première cause mondiale évitable de mortalité, devant le tabagisme.

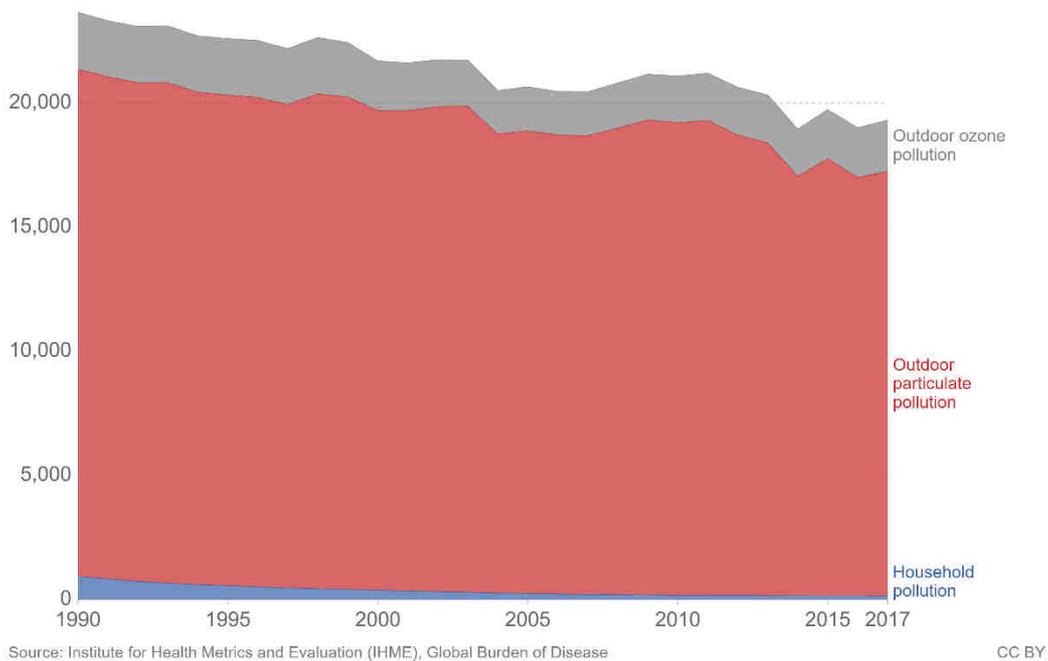
Plus vulnérables et exposées, ce sont les populations des **pays à revenus faibles ou intermédiaire** qui en enregistrent la plus grande part (91%). De même, les personnes âgées, les enfants, femmes enceintes et les patients avec comorbidités sont les **plus vulnérables**. Les patients à faible revenus sont **plus exposés**, leurs logements étant plus souvent situé à proximité d'axes routiers encombrés ou de zones industrielles, et leur accès à l'énergie nécessitant plus souvent la combustion de matières organiques à l'intérieur.

Selon des modèles d'estimation suivant un scénario « business-as-usual », la mortalité liée à la pollution de l'air pourrait **doubler d'ici 2050**, du fait de l'augmentation des émissions et de la population urbaine (39).

Il est **difficile d'estimer** la morbi-mortalité due à la pollution de l'air, car les pathologies qu'elle provoque sont multifactorielles, et la comparaison entre un groupe exposé et un groupe non-exposé n'est pas possible, l'ensemble de la population étant exposée quotidiennement. Par ailleurs, le risque posé n'est pas dépendant uniquement des émissions de polluants, mais également de la proximité de la source vis-à-vis du récepteur, de la topographie, de la météorologie. Les études épidémiologiques sont donc fondées sur des paramètres intermédiaires comme la **variation de la concentration entre deux groupes**, ou de la **distance d'habitation par rapport un axe routier**.



**Figure 17 - Mortalité liée à la pollution de l'air extérieur et intérieur dans le monde en 2012, par pathologie (adapté de (43))**



**Figure 18 - Mortalité liée à la pollution de l'air en France, de 1990 à 2017**

(Our World In Data, <https://ourworldindata.org/air-pollution>)

De plus, comme évoqué précédemment, la toxicité des différentes particules est probablement différente selon leur composition, mais ces différences sont encore mal connues ; de nombreuses preuves suggèrent cependant une toxicité plus importante des **particules carbonées** (provenant de la combustion d'énergies fossiles dans le trafic routier et de matières organiques comme le bois) face aux particules inorganiques. Il existe également la notion d'un « **effet cocktail** » résultant de l'interaction entre les différents polluants, dont l'estimation est une difficulté supplémentaire dans l'attribution différentielle des risques, notamment dans l'analyse des études expérimentales.

Les décès prématurés provoqués par la pollution de l'air seraient grossièrement dus à 35% aux **accidents vasculaires cérébraux**<sup>22</sup>, à 30% aux **cardiopathies ischémiques**<sup>23</sup>, à 17% aux **bronchopneumopathies chroniques obstructives**<sup>24</sup>, à 9% **infections aiguës des voies aériennes inférieures**, et 9% aux **cancers pulmonaires** (Figure 17) (43).

En France, la mortalité liée à la pollution de l'air est très majoritairement liée à la pollution de l'air extérieur, selon l'Institute of Health Metrics and Evaluation (Figure 18). Elle est à l'origine de 341 années de vie perdues et 361 années de vie en bonne santé perdues (DALYs) pour 100 000 habitants en France (43).

Les effets les plus étudiés de la pollution de l'air sur la santé sont du domaine **cardiovasculaire** et **respiratoire**, mais de nombreux travaux montrent également des effets sur la **grossesse**, le **neurodéveloppement**, et le **système endocrinien**.

---

<sup>22</sup> Un accident vasculaire cérébral (AVC) résulte de l'interruption de la circulation sanguine dans le cerveau, en général quand un vaisseau sanguin éclate ou est bloqué par un caillot. L'apport en oxygène et en nutriments est stoppé, ce qui endommage les tissus cérébraux. *Définition OMS*

<sup>23</sup> Trouble de la fonction cardiaque provoquée par un flux sanguin insuffisant vers les tissus musculaires du cœur, pouvant être dû au rétrécissement des artères coronaires, à l'obstruction par un thrombus, par un rétrécissement diffus des vaisseaux du cœur. Peut avoir comme conséquence la nécrose du muscle cardiaque (Infarctus du myocarde). *Définition MeSH*

<sup>24</sup> Maladie respiratoire chronique causée par le rétrécissement et l'obstruction diffuse et irréversible des voies respiratoires inférieures. *Définition MeSH*

- Cardiovasculaire

En 2010, **80% et 60% des décès liés à la pollution** de l'air extérieur et intérieur respectivement étaient causés par les maladies cérébrovasculaires et cardiopathies ischémiques (39). De nombreuses études épidémiologiques établissent un lien, désormais admis, entre pollution de l'air et morbi-mortalité cardiovasculaire (37,41). Des preuves sont établies d'un lien entre exposition à **long-terme** et cardiopathie ischémique et accidents vasculaires cérébraux, et entre exposition à **court-terme** et déclenchement d'évènements cardiovasculaires aigus dans les 24-48h.

L'OMS estime que **11% des décès dus à des cardiopathies ischémiques** (plus d'un million de décès prématurés par an) résultent de l'exposition à la pollution de l'air intérieur.

#### *Rôle d'une exposition à long-terme sur la mortalité cardiovasculaire*

Une méta-analyse de 15 études observationnelles sur l'exposition à long terme à la pollution de l'air démontre en 2013 qu'une différence de  $+10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de l'exposition aux  $\text{PM}_{2,5}$  entraîne une augmentation de 11% de la **mortalité cardiovasculaire** (45).

Une autre méta-analyse sur 19 études retrouve une augmentation de 13% de la mortalité cardiovasculaire pour une différence de  $+10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentration annuelle en  $\text{NO}_2$ , et une augmentation de 20% de la mortalité cardiovasculaire pour une différence de  $+10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentration en  $\text{PM}_{2,5}$  (46).

Une étude prospective américaine sur 100 000 femmes retrouve une augmentation de 38% du risque de mort subite d'origine cardiaque chez les femmes vivant à moins de 50m d'un gros axe routier, comparativement aux femmes vivant à plus de 500m d'un gros axe routier, ceci après ajustement selon facteurs de confusion et autres facteurs de risque cardiovasculaire (47).

Une étude prospective européenne sur >100 000 individus provenant de 11 cohortes (**ESCAPE**) retrouve une augmentation du risque d'infarctus du myocarde (IDM) de 12% pour une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentration en  $\text{PM}_{10}$ , et de 13% pour une augmentation de  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$ , après ajustement selon facteurs de confusion (48). Une étude prospective du

même projet (ESCAPE), démontre une augmentation du risque d'AVC de 19% pour une augmentation de  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentration annuelle de  $\text{PM}_{2,5}$  (49). **Ces corrélations ont été retrouvées dans des concentrations inférieures aux recommandations européennes.**

Une étude prospective américaine sur 66 000 femmes ménopausées relève une augmentation de 24% du risque d'évènement cardiovasculaire et de 35% du risque d'AVC pour une différence de  $+10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$  (37) (50).

La pollution de l'air serait responsable de **29% des AVC dans le monde** (41).

### *Rôle d'une exposition à court-terme sur la mortalité cardiovasculaire*

Plusieurs études démontrent l'impact des  $\text{PM}_{2,5}$  sur le risque de **déclenchement d'évènements coronaires ischémiques** (angor instable et infarctus) lors d'une augmentation rapide des concentrations : une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  augmenterait ce risque de 2.8% à 4.5% (37,41,51,52). Une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  du  $\text{NO}_2$  dans les dernières 24h augmenterait ce risque de 5.1% (41).

Une étude publiée dans le *New England Journal of Medicine* démontre un **risque d'IDM multiplié par 3** (OR : 2.92 ; 95%CI 2.22-3.83) pour une exposition au trafic routier dans l'heure précédent l'évènement (53). Il est même déterminé dans le *Lancet* que l'exposition au trafic routier soit le **premier facteur de risque attribuable à la population**, pour le déclenchement d'un IDM non-fatal, avant l'exercice physique. En effet, même si le risque individuel est inférieur à celui d'un effort intense ou de la prise de cocaïne, par exemple, la part très importante de population exposée au facteur de risque "pollution" est telle que cela place la pollution de l'air comme premier déclencheur d'infarctus à l'échelle de la population générale (54). Une augmentation à court terme des concentrations en  $\text{SO}_2$  et  $\text{O}_3$  pourrait également être associée au déclenchement d'IDM (52,55,56).

De nombreuses études analysent le lien entre augmentation rapide de la pollution et le déclenchement d'AVC. Une étude publiée dans *Stroke* estime une augmentation de 4% du risque de déclenchement d'évènement cardiovasculaire ou cérébrovasculaire dans les 6h après une

augmentation d'un interquartile des concentrations en polluants(57). Les particules ultrafines seraient d'autant plus toxiques qu'une augmentation d'un interquartile en 24h augmenterait le risque d'AVC de 8.5% (58).

### *Rôle de la pollution de l'air sur d'autres enjeux cardiovasculaires*

Le lien entre exposition à la pollution de l'air et l'**arythmie cardiaque** est encore discuté : des études montrent une augmentation du nombre d'admissions hospitalières pour arythmie lors de pics de pollution, d'autres pointent du doigt un risque augmenté d'arythmie ventriculaire chez les patients équipés d'un défibrillateur implantable. Une association positive a été déterminée entre pollution de l'air, allongement du segment QT à l'électrocardiogramme et diminution de la variabilité de la fréquence cardiaque, signe d'un déséquilibre du système nerveux autonome (41).

Une méta-analyse du *Lancet* démontre une association entre variations aiguës en polluants et augmentation du risque d'hospitalisation et de décès directement lié à l'**insuffisance cardiaque** (59).

Plusieurs études mettent également en évidence un lien entre exposition à la pollution de l'air (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub>), tant à long-terme qu'à court-terme, et **hypertension artérielle** (41,60).

### *Physiopathologie*

Le mécanisme d'action de particules inhalées sur le système cardiovasculaire reste imprécisément compris, et **plusieurs hypothèses** reposant beaucoup sur le stress oxydatif, sont en cours d'évaluation : **inflammation systémique** suite à une inflammation locale alvéolaire, translocation des particules à travers la membrane alvéolo-capillaire afin d'exercer une **action directe sur**

**l'endothélium** vasculaire<sup>25</sup>, action des PM sur des **récepteurs alvéolaires** ou des voies aériennes supérieures activant une réponse à court-terme du **système nerveux autonome**, accumulation et amplification des toxiques dans les **tissus adipeux**... Chacune de ces hypothèses peut se révéler exacte à un certain degré, et le stress oxydatif peut jouer un rôle à plusieurs étapes de chacune de ces hypothèses.

L'augmentation du risque cardiovasculaire par l'exposition à long terme à la pollution de l'air s'expliquerait par le rôle des PM dans le **stress oxydatif** induit par la formation de radicaux libres dépassant les capacités des anti-oxydants physiologiques. Ces **radicaux libres** permettent **l'oxydation des lipides circulants** et **l'activation de cellules inflammatoires** menant à la formation de **plaques d'athérome**<sup>26</sup>, et une **dysfonction endothéliale** par inhibition de l'action bénéfique du NO endothélial (vasodilatation, anti-agrégation et inactivation plaquettaires, régulation des cellules inflammatoires et de la prolifération des cellules musculaires lisses). Le potentiel de génération de radicaux libres par les PM dépend des substances retrouvées à leur surface, donc des types d'environnement qu'elles ont rencontrés : les métaux lourds et HAP des particules issues de la combustion fossiles sont les plus incriminés (37,41).

Des études d'exposition contrôlées chez l'humain ont mis en évidence l'augmentation des pressions artérielles diastolique et moyenne, l'augmentation des ischémies myocardiques d'effort, une dysfonction endothéliale, une augmentation des résistances vasculaires pulmonaires, suite à une exposition à court terme aux PM (37,41).

L'activation plaquettaire et la thrombo-formation seraient favorisées par l'exposition aux polluants aériens, notamment par la diminution de l'expression de **l'activateur tissulaire du plasminogène**

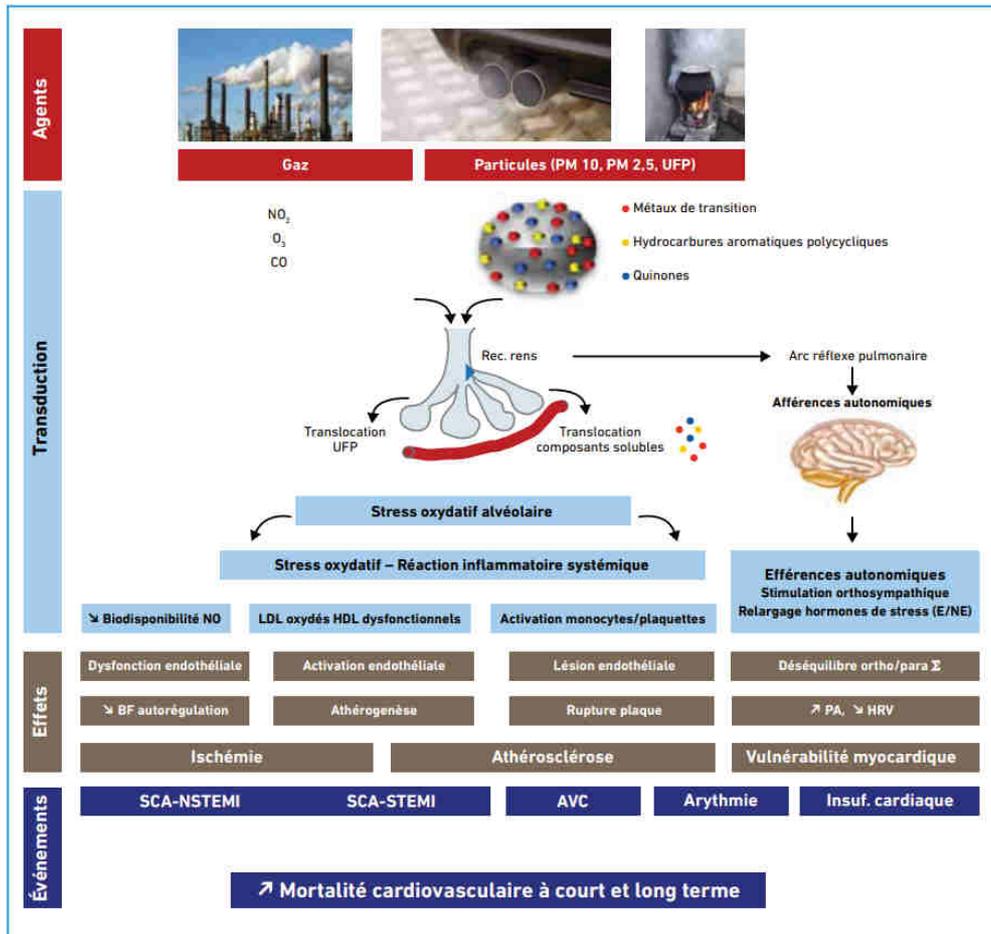
---

<sup>25</sup> Paroi interne des vaisseaux sanguins, assurant une fonction anti-coagulante. Une agression peut provoquer la formation de thromboses.

<sup>26</sup> Plaque formée sur la paroi des artères à partir de dépôts de lipides principalement, provoquant le rétrécissement, voire l'obstruction du vaisseau. Elle peut également se détacher et provoquer des accidents ischémiques dans les tissus en aval.

due à la dysfonction endothéliale, et l'augmentation de **facteurs de coagulation** (fibrinogène, facteur tissulaire et facteur VIII) due à l'inflammation systémique(37,41).

L'exposition aux PM<sub>2,5</sub> et au NO<sub>2</sub> aurait également un impact sur la **calcification artérielle** (37,41,61–63).



**Fig. 1 :** Effets physiopathologiques de la pollution de l'air. **PM :** matière particulaire; **UFP :** particules ultrafines; **NO<sub>2</sub> :** dioxyde d'azote; **O<sub>3</sub> :** ozone; **CO :** monoxyde de carbone; **Res Sens :** récepteur sensitif; **E :** épinephrine; **NE :** norépinephrine; **BF :** flux sanguin; **PA :** pression artérielle; **HRV :** variabilité du rythme cardiaque; **SCA :** syndrome coronarien aigu; **NSTEMI :** infarctus myocardique sans élévation du ST; **STEMI :** infarctus myocardique avec élévation du ST; **AVC :** accident vasculaire cérébral; **Insuf. cardiaque :** insuffisance cardiaque; **NO :** monoxyde d'azote; **Para Σ :** système parasympathique.

### Figure 19 Physiopathologie cardiovasculaire de la pollution de l'air

Entre athérosclérose, hypertension, arythmie et thrombo-formation, la pollution de l'air a tous les outils en main pour provoquer des infarctus du myocarde ou des accidents vasculaires cérébraux.

- Pulmonaire

L'exposition à la pollution de l'air à court terme provoque une **irritation des muqueuses** oculaires, nasale et pharyngée, une **toux**, des **nausées**, des **manifestations allergiques**, des exacerbations d'**asthme**. A long terme, elle provoque la détérioration de la réponse immunitaire et du transport de l'oxygène, et favorise le développement et l'expression des allergies, de l'asthme, de la **bronchopneumopathie chronique obstructive** ( $O_3$  et  $PM_{2,5}$ ) et des **pneumopathies** infectieuses chez l'adulte et l'enfant.

Le stress oxydatif sur les parois bronchiques entraîne leur inflammation, et certains polluants, comme l'ozone, irritent directement les muqueuses. L'inflammation induite diminue le seuil de réactivité bronchique, ce qui entraîne une réponse allergique plus rapide, et l'exacerbation de pathologies respiratoires telles que l'asthme. De plus, les PM peuvent agir comme vecteur pour les allergènes, et leur permettre une pénétration plus facile.

Les études épidémiologiques ont montré que l'incidence et la prévalence de l'**asthme** et l'incidence de symptômes bronchitiques chez l'enfant asthmatique augmentent avec une exposition de longue durée aux  $PM_{2,5}$  et au  $NO_2$  (36,64,65). On observe des pics de consultation aux urgences pour exacerbations d'asthme lors des pics de pollution (66). En 10 ans, la prévalence de l'asthme infantile a doublé, et toucherait aujourd'hui **10% des enfants en France**.

En 2016, 600 000 enfants sont décédés de **pneumonies** dues à la pollution de l'**air intérieur** : cela représente près de la moitié de la mortalité infantile de cette pathologie (36).

- **Cancers**

L'exposition à la pollution de l'air favorise le développement de cancers, notamment du **poumon** et des **voies urinaires**, mais également d'**hémopathies** (cancers des cellules sanguines). Les facteurs incriminés seraient les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP**) et le **benzène**, présents **à la surface des PM**. Le CIRC classe en 2013 la pollution de l'air et les PM comme cancérogènes pour l'humain.

Une étude sur des mineurs exposés à des rejets de moteurs diesel en milieu confiné, ajustée sur le statut tabagique, démontre une multiplication du risque de cancer du poumon par 3, voire par 7 pour les mineurs très exposés pendant plus de 15 ans et n'ayant jamais fumé (67). D'autres études montrent la carcinogénicité des rejets diesel sur le poumon de professionnels du transport (68–70), ou de la population générale, de façon bien plus marquée pour les non-fumeurs (71–74).

Une différence de **+5µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2,5</sub> augmenterait le risque de cancer du poumon de 18%** (55% pour les adénocarcinomes) (73).

Selon une étude parisienne, les enfants habitant à moins de 150m d'un axe routier ont un risque de **leucémie aiguë myéloïde** augmenté de 20% (75). L'exposition au benzène au travail augmente le risque de leucémie, qui est reconnue comme maladie professionnelle.

L'exposition aux polluants du trafic routier **pendant la grossesse** augmenterait le risque d'**astrocytome** de 40%, et le risque de **leucémie aiguë lymphoïde** de 20% chez l'enfant. L'exposition aux HAP augmenterait le risque de **cancers solides chez l'enfant**, notamment médulloblastome et neuroblastome (76).

- **Grossesse et développement**

Comme évoqué plus haut, la pollution de l'air augmente le risque cardiovasculaire : les femmes enceintes ne sont pas épargnées. L'**hypertension gravidique** présenterait un risque augmenté de **57%** pour une différence de +5µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2,5</sub>, et la **prééclampsie** verrait son risque augmenté de **31%** pour les mêmes paliers (77).

La pollution de l'air aurait une influence sur le développement *in utero*. En effet, les particules dans le sang maternel s'accumulent à la surface placentaire et permettent le passage des molécules toxiques au travers de la barrière placentaire. L'étude prospective européenne ESCAPE démontre qu'une différence de +5µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2,5</sub> augmente de **18%** le risque de **petit poids de naissance** à terme, tandis qu'à l'inverse, une diminution de 10µg/m<sup>3</sup> permettrait une diminution de 22% de cas de petits poids de naissance (78). L'exposition aux particules fines primaires et secondaires, à l'O<sub>3</sub>

et au NO<sub>2</sub> pendant la grossesse augmenterait également le risque de **prématurité** et d'**avortement spontané** avant la 20<sup>e</sup> semaine (79).

De plus, l'exposition *in utero* à la pollution de l'air serait associée à un plus haut risque de développer de l'**asthme**, une rhinite allergique, une dermatite atopique, des **malformations** congénitales vasculaires (coarctation de l'aorte, tétralogie de Fallot, communication inter-auriculaire), digestives et des organes génitaux (80–83).

- **Système nerveux central**

Des preuves ont été avancées d'un effet néfaste de l'exposition à la pollution de l'air sur le développement du système nerveux central et sur des maladies neurodégénératives. Les substances toxiques véhiculées par les PM dans le sang, mais aussi à travers la lame criblée de l'ethmoïde<sup>27</sup> par le biais du nerf olfactif (particules ultrafines), entraînent une **inflammation cérébrale chronique** avec des anomalies de la substance blanche par activation de la microglie.

L'exposition aux polluants aériens pré- et post-natale serait à l'origine d'une augmentation de risque de **troubles du spectre autistique** et d'une **diminution du QI** chez l'enfant (84,85), peut-être de schizophrénie (86), puis d'une augmentation du risque de **maladies neurodégénératives** (notamment Parkinson et Alzheimer) (85). La maladie de **Parkinson** est d'ailleurs reconnue comme maladie professionnelle pour les agriculteurs exposés aux pesticides, qui peuvent être véhiculés par des PM même en zones urbaines, selon la proximité des épandages agricoles.

La physiopathologie de la toxicité des polluants aériens sur le système nerveux central est encore mal comprise.

- **Système endocrinien**

---

<sup>27</sup> Lame horizontale de l'os ethmoïde, qui constitue la paroi supérieure des fosses nasales, et par laquelle transitent les fibres nerveuses du nerf olfactif.

La pollution de l'air augmente le risque d'apparition d'**insulinorésistance** et de **diabète** de type 2 selon de nombreuses études. Une méta-analyse associe une variation de  $+10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$  à une **augmentation de 10%** du risque de diabète de type 2 (87). Cela pourrait s'expliquer par un lien entre l'inflammation systémique induite par l'inhalation des polluants et le développement d'une insulinorésistance, ou encore un stress oxydatif exercé par les radicaux libres sur les cellules  $\beta$  du pancréas ou la voie de signalisation de l'insuline (88).

Les PM dans l'air extérieur comme intérieur véhiculent toutes sortes de molécules toxiques, parmi elles des **substances perturbatrices** du système endocrinien : HAP, dioxines, formaldéhyde, métaux lourds, pesticides organochlorés, composés polybromés. Devant la complexité de ce sujet et les incertitudes encore présentes dans ce domaine, l'auteur de ce travail a choisi de ne pas le traiter.

- **Transmission de maladies infectieuses**

En plus de sensibiliser aux infections respiratoires et d'affaiblir le système immunitaire (hypertension, diabète), la pollution de l'air pourrait avoir un rôle dans la transmission de pathologies infectieuses (89). En effet, les taux de transmission et de propagation de virus comme celui du SARS-CoV-1 et -2, de la grippe aviaire, de la rougeole ou le VRS<sup>28</sup>, ont été corrélés positivement aux taux locaux de  $\text{PM}_{2,5}$  et  $\text{PM}_{10}$ , laissant émettre l'hypothèse d'un rôle de vecteur exercé par ces particules. Ce rôle de vecteur a été démontré pour certains virus, notamment le virus de la grippe aviaire (90).

Lors de la crise sanitaire due à la **COVID-19** en 2020, une équipe de l'Université d'Harvard travaille sur une étude, disponible en prépublication, liant la pollution de l'air à la mortalité due au COVID-19 aux Etats-Unis : ils concluent qu'une variation de  $+1\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$  augmente le risque de mourir de la maladie de 8% (91). Ces résultats ne permettent pas d'affirmer si l'effet de la pollution

---

<sup>28</sup> Virus respiratoire syncytial : cause la grande majorité des bronchiolites du nourrisson

est direct et à court terme, par l'utilisation des  $PM_{2,5}$  comme vecteurs, ou indirect en fragilisant les défenses immunitaires sur le long terme, ou les deux.

La Société Italienne de Médecine Environnementale publie une note (92) faisant état d'une corrélation entre le nombre de cas de COVID-19 et les concentrations atmosphériques en  $PM_{10}$ , en tenant compte des délais d'incubation et de diagnostic. Les régions les moins polluées suivaient des courbes épidémiques sans cassures, semblant refléter la seule transmission interhumaine, quand les régions polluées du nord montraient des accélérations lors de pics de  $PM_{10}$ .

## C. Mesures d'atténuation

Le réchauffement moyen de la fin du XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà est déterminé aujourd'hui par le cumul des émissions de  $CO_2$  dans l'atmosphère : une restriction de ce cumul par un **bilan  $CO_2$  nul** permettrait de **limiter les risques de dommages** climatiques, bien qu'il ne soit plus possible de les éliminer totalement (6). Des efforts de réduction dans les émissions des **autres GES** peuvent, eux, agir de façon significative sur la réduction du rythme et de l'ampleur du réchauffement climatique à **court terme** (8).

Dans leur rapport spécial sur le réchauffement planétaire de  $+1.5^\circ C$  en octobre 2018 (8), le GIEC détermine ainsi des valeurs de réduction des émissions qu'il semble nécessaire d'atteindre pour ne pas dépasser un certain seuil de température moyenne. Ainsi, pour limiter le réchauffement à  $+1.5^\circ C$  en 2100, les émissions nettes de  $CO_2$  doivent **diminuer de 45% d'ici 2030** par rapport à 2010 (moins de  $35GtqCO_2/an$ ), et atteindre le **zéro net**<sup>29</sup> **d'ici 2050**. Pour limiter le réchauffement à  $+2^\circ C$ , elles doivent diminuer de 25% en 2030 par rapport à 2010, et atteindre le zéro net d'ici 2070.

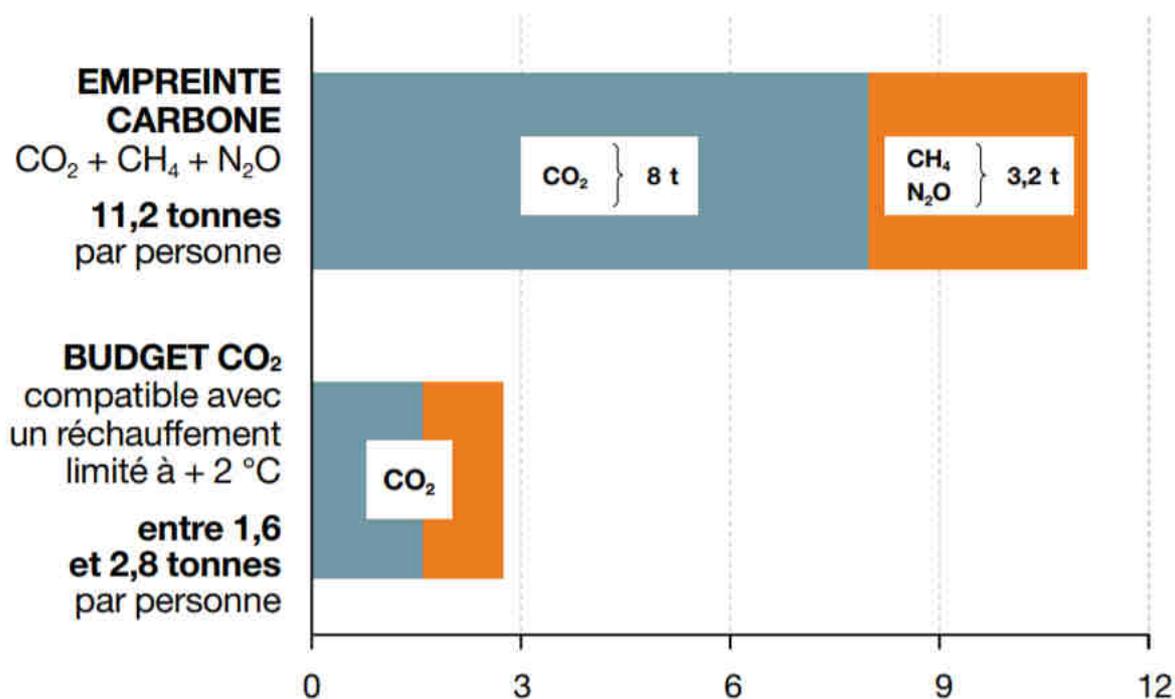
---

<sup>29</sup> Somme nulle entre la quantité de GES émise et la quantité de  $CO_2$  recapturée

Dans les deux scénarios, une diminution profonde des autres GES est nécessaire : le GIEC préconise une diminution de 35% des émissions de méthane et de carbone suie (ou black carbon) d'ici 2050 par rapport à 2010.

En France, ces objectifs sont traduits par un « **budget CO<sub>2</sub>** » par personne estimé entre 1,6 et 2,8 tonnes de CO<sub>2</sub>éq par an. Actuellement, le français moyen a une empreinte de 11,2 à 11,9 tonnes par an : il est donc nécessaire de diviser par 4 à 7 les émissions individuelles.

Il est important de préciser la différence entre “empreinte carbone”, et “bilan carbone” ou inventaire national. L’inventaire national ou “bilan carbone” comptabilise les émissions ayant lieu sur le territoire français et les exportations. L’empreinte carbone ne compte pas les exportations mais intègre les **importations**, sur lesquelles reposent 60% de ladite empreinte.



Champ : France métropolitaine + Drom (périmètre Kyoto).

Sources : GIEC ; Citepa ; AIE ; FAO ; Douanes ; Eurostat ; Insee.

Traitements : SDES, 2019

Figure 20 - Empreinte carbone des Français en 2018(93)

Pour ce qui est de la pollution de l'air, nous avons pu voir qu'il n'existe pas vraiment de seuil de concentration en-dessous duquel une exposition à long-terme serait bénigne. Nous devons donc faire le maximum d'efforts pour en diminuer l'intensité.

L'efficacité des mesures d'atténuation et d'adaptation sur le **plan politique et collectif** est certaine, et leur application est nécessaire, mais elles ne sauraient suffire : pour permettre leur mise en place et pour qu'elles soient efficaces, elles doivent reposer sur une **coopération** à toutes les échelles. Les émissions de GES et des polluants de l'air, notre capacité d'atténuation et d'adaptation, ainsi que la vulnérabilité des populations dépendent grandement des modes de vie, des métiers, des comportements et de la culture.

## 1. TRANSPORTS

### a. Mesures d'atténuation

Dans le secteur des transports, des mesures d'atténuation peuvent être prises par la modification des comportements, des technologies, des investissements dans de nouvelles infrastructures et le réaménagement urbain.

Les mesures de modifications technologiques à l'échelle individuelle sont représentées par le choix de technologies plus efficaces en énergie et l'utilisation d'**énergies propres** et sobres en carbone. Ces mesures présentent le co-avantage de réduire les émissions de NO<sub>x</sub> et de PM, mais elles entraînent des effets indésirables (utilisation de ressources minières limitées). Les ventes de véhicules électriques ont augmenté de 50% entre 2016 et 2017, mais leur nombre reste toujours très restreint (environ 3 millions dans le monde) (5). Par ailleurs, les véhicules électriques sont toujours une source de polluants aériens, de par l'usure des pneus, des freins et des routes (5). Ils ne présentent pas non plus les avantages des modes de déplacements actifs que sont la décongestion urbaine, la diminution des accidents de la voie publique, l'augmentation de l'activité physique.

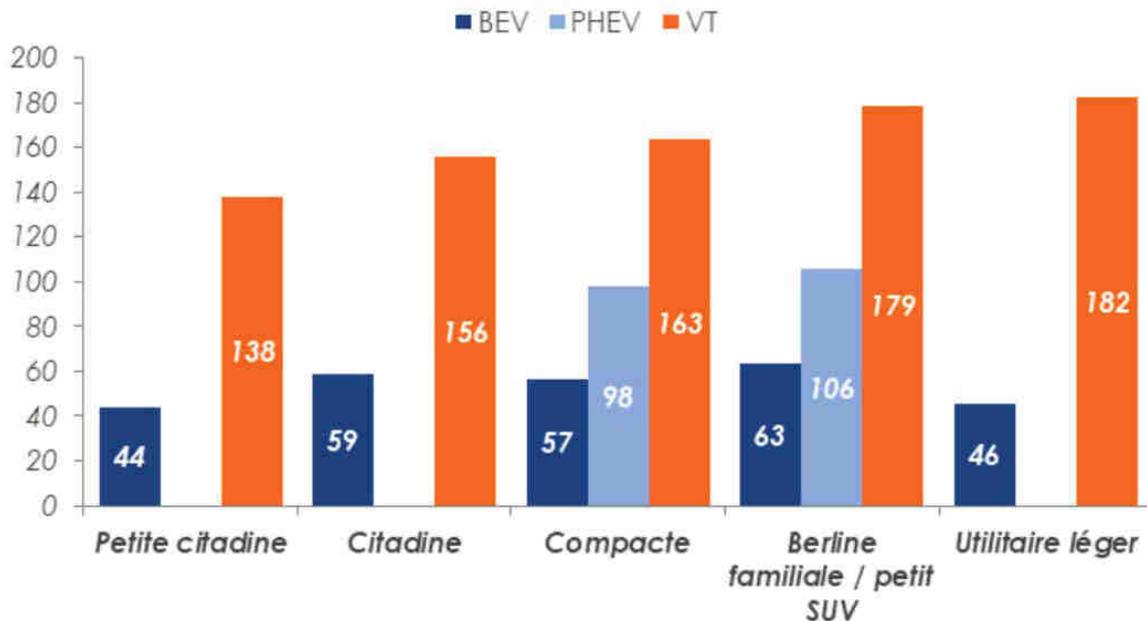
Les filtres à particules des **véhicules diesel** ont permis une réduction de la masse des particules émises, mais ne semblent pas suffire à annuler l'effet cancérigène et de stress oxydatif,

probablement du fait de l'augmentation des émissions de particules ultrafines par les systèmes d'injection haute pression, non filtrées (41). Les moteurs diesel émettent des HAP (dont B[a]P) à la surface de ces particules ultrafines, et sont un large contributeur à l'émission de NO<sub>x</sub>. Ils disposent d'une réglementation avantageuse en termes d'émissions, vis-à-vis de leurs cousins à essence.

Les **masques de protection** individuelle contre la pollution de l'air ont une efficacité limitée, selon le modèle. Les masques de type FFP3 filtrent 99% des particules dans l'air, laissant son porteur en respirer une portion minime, mais ne filtrent pas les polluants gazeux (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO) pour lesquels un filtre à charbon actif est nécessaire. Certains fabricants combinent ces technologies, mais aucune étude n'a encore analysé le bénéfice d'une telle protection. Les masques FFP3 s'accompagnent d'une résistance inspiratoire non négligeable et devraient être déconseillés aux patients souffrant d'insuffisance respiratoire.

Pour l'ADEME, afin que l'empreinte carbone de leur production (batterie) soit compensée, les **véhicules électriques à batteries (BEV)** doivent rouler fréquemment, et sont donc plus adaptés aux usagers effectuant de longs trajets quotidiens, aux transports en communs et aux flottes captives. Pour les usagers effectuant des trajets courts, le **véhicule hybride** essence-électrique est plus intéressant, car sa batterie a une taille réduite, à condition de rouler le plus possible en mode électrique (ADEME). Il est important que l'électricité (énergie secondaire) provienne d'une source décarbonée. Le cabinet **Carbone 4** quant à lui, estime dans son rapport (94) que le BEV est plus intéressant que son cousin thermique car sur l'ensemble de son cycle de vie, il émet **2,5 fois moins de CO<sub>2</sub>**. Selon la taille du véhicule, un certain seuil kilométrique de dépassement de « dette » carbone après la fabrication peut être estimé : 50 000km pour une citadine, 90 000km pour une berline, et ainsi de suite. Ce rapport est rendu possible par la pauvreté en carbone du **mix électrique français** (320gCO<sub>2</sub>/kWh en Europe), est n'est pas le même dans d'autres régions où il peut même être **inversé** (Pologne, Chine) : un seuil est dépassé pour une valeur de 600gCO<sub>2</sub>/kWh (moyenne mondiale 52gCO<sub>2</sub>/kWh). Carbone 4 rappelle que des améliorations seront encore apportées dans les procédés de fabrication des véhicules et des batteries, dans le

recyclage des matériaux et dans le mix électrique source. Partant de ce principe, en l'appliquant également aux véhicules thermiques (plus efficaces), les auteurs retrouvent toujours le même écart en 2030, quoiqu'encore un peu plus en faveur du BEV (Figure 21 ci-dessous).



**Figure 21 - Emissions de carbone en LCA (*life-cycle assesment*) par segment et motorisation (94)**

gégCO<sub>2</sub>/km / 2030 / France  
 BEV = véhicule électrique à batteries  
 PHEV = véhicule hybride rechargeable  
 VT = véhicule thermique

Cependant, les auteurs mettent en garde contre la course à l'autonomie, qui pourrait inverser le rapport en voyant grossir les batteries.

La transition à l'électro-motricité n'est pas une solution absolue et doit être l'occasion de repenser notre rapport à la mobilité, en favorisant les transports en commun ou partagés pour les longues distances, et en faisant des choix d'emménagement cohérents (distance domicile-travail). Le choix de tels véhicules pour des usages très fréquents est abondamment justifié par la rentabilité de son utilisation et par la durée de vie de la batterie actuellement limitée à environ 10 ans.

L'achat ou la location longue durée (*leasing*) de véhicules électriques est encouragé en France par le "bonus écologique" à l'immatriculation, d'un montant maximal de 6000€ en 2020. Inversement, l'achat ou la location longue durée d'un véhicule à fortes émissions est pénalisé par un "malus

écologique” dont le montant est fonction des émissions de CO<sub>2</sub> et peut atteindre 12 500€, plus un malus annuel de 160€ pour les plus polluants.

La prime à la conversion d’un véhicule diesel peut atteindre 4000€.

La **modification des comportements** constitue une source majeure de réduction des émissions de GES liées aux transports, et présente de conséquents co-avantages sanitaires. Voici une synthèse des conseils donnés par l’ADEME concernant la mobilité :

- Pour les trajets courts (3-5km), favoriser la marche ou le vélo ;
- Habiter près de son lieu de travail permet de raccourcir les trajets les plus fréquents et d’augmenter significativement la part de trajets effectués à pied ou à vélo ;
- Pour les trajets moyens, préférer le vélo ou les transports en commun au véhicule individuel
- Si l’utilisation d’un véhicule individuel est indispensable, exercer une “conduite écologique”, planifier ses déplacements et augmenter le taux d’occupation (covoiturage), ou pratiquer l’autopartage.
- Si l’achat d’une voiture est nécessaire, choisir un modèle à faibles émissions
- Pour les trajets longs, remplacer l’avion par le train, oublier les destinations non-couvertes par le transport en train.
- Sur le plan collectif, augmenter la part du fret ferroviaire, promouvoir les transports en commun par des mesures incitatives, promouvoir les modes de déplacement propres et actifs par l’aménagement urbain

La diminution de l’utilisation de véhicules individuels présente les co-avantages suivants : réduction de la pollution sonore, de la pollution atmosphérique, diminution de la sédentarité, amélioration de la sécurité routière, réduction des temps de déplacement par le désengorgement des voies.

L’utilisation du **vélo** permet de limiter les risques de maladie cardiovasculaire, d’obésité, de diabète, de cancer (11,95), mais elle est également plus sûre que la voiture (risque de blessure 10 fois inférieur à la voiture), et permettrait d’économiser 650kg de CO<sub>2</sub> par an et par personne (11). Les trajets courts et urbains (moins de 3km) sont plus rapides à vélo, son stationnement prend

moins de place, et il revient bien sûr beaucoup moins cher de se déplacer en vélo qu'en voiture. Cependant, le vélo représente 3% des déplacements en France, contre 10% en Allemagne et 28% aux Pays-Bas, où il permettrait d'allonger l'espérance de vie de 6 mois et d'éviter 6500 décès par an (96).

L'utilisation des **transports en commun** est moins polluante et plus sûre : le risque d'accidents mortels est 24 fois moindre en train et 15 fois moindre en bus qu'en voiture. Un tramway émet 62 fois moins de CO<sub>2</sub> qu'une voiture, un bus émet 54 fois moins de CO<sub>2</sub> qu'une voiture (11). Leur utilisation encourage également l'activité physique, si l'on considère la distance à couvrir en marchant vers et depuis les arrêts, et serait plus économique et plus rapide en milieu urbain. Elle est également pourvoyeuse d'équité dans l'accès au déplacement, aux infrastructures, à l'emploi. Le **train** émet peu de polluants aériens, et est un des modes de transport les moins émetteurs de GES : un TGV émet 3,2g de CO<sub>2</sub> par passager par kilomètre, c'est-à-dire 7 à 10 fois moins qu'un avion (60 fois moins qu'un vol intérieur).

L'**avion** est jugé totalement incompatible avec une limitation du réchauffement à +1.5°C, à moins d'un choc majeur (pandémie, effondrement économique, réglementation extrême) ou d'un boycott total. Afin d'atteindre les engagements de limitation à +2°C, il serait nécessaire de réduire le nombre de passagers d'entre 2,5% et 4% par an, c'est-à-dire de moitié d'ici 10 à 20 ans, en plus de scénarios inenvisageables de progrès techniques (21). Actuellement et comme nous l'avons vu plus haut, la tendance de ce paramètre est plutôt à la hausse (+3,5-6,4% par an). Les éventuels progrès techniques (avion électrique, hydrogène, avion solaire...) sont aujourd'hui irréalisables à l'échelle du trafic actuel, et leur mise en place serait retardée de dizaines d'années par le carnet actuel de commandes des compagnies aériennes.

## b. Co-avantages sanitaires

Dans son 5e rapport de synthèse, le GIEC évoque les nombreux co-avantages sanitaires de la réduction de l'utilisation des moyens de transports carburant aux énergies fossiles. De telles

mesures permettraient la réduction de la morbidité et de la mortalité liées aux **accidents** de la voie publique, à la **pollution** de l'air, à la pollution sonore, aux **îlots de chaleur** urbains, à la réduction des espaces verts et de la **biodiversité**, à la **sédentarité**, au **changement climatique**, et à **l'isolement sociale** (97).

Dans leur étude de 2009, Woodcock et al. (95) comparent les effets sanitaires de plusieurs scénarios d'utilisation de véhicules motorisés dans deux grandes villes : Londres et New Delhi. Des co-avantages sanitaires directs par la réduction de la pollution de l'air extérieur, des risques d'accidents physiques, l'augmentation de l'activité physique et la diminution de la sédentarité y sont mesurés : ils seraient plus importants dans un scénario d'augmentation des modes actifs de déplacement (vélo, marche) que dans un scénario d'augmentation de la part de véhicules à basses émissions, mais seraient les plus importants dans un scénario combinant les deux facteurs. La réduction de la distance parcourue en véhicules motorisés aurait un plus grand effet sur la réduction de la pollution de l'air extérieur que l'augmentation de la part de véhicules à basses émissions, et l'augmentation des modes actifs de déplacement permettrait une diminution des risques de **cardiopathie ischémique**, de **maladie cérébro-vasculaire**, de **dépression**, de **démence**, de **diabète**, de **cancer du côlon et du sein**.

La promotion du **déplacement actif** peut être un facteur important d'augmentation de l'activité physique à des niveaux bénéfiques pour la santé. Le manque d'activité physique est à l'origine de 2.1 millions de décès prématurés par an (97). De plus, le transport fait déjà partie de la **routine** quotidienne, tandis que le sport "loisir" peut représenter un coût (en argent, en temps et en énergie) et donc ne pas être une solution durable dans le temps à l'échelle individuelle. Saunders et al. (2013) (98), à l'issue de leur revue systématique sur les avantages sanitaires du déplacement actif, concluent prudemment à une réduction du risque de diabète de type 2, ne disposant pas d'assez de données pour conclure sur le risque d'obésité ou de maladie cardiovasculaire. Ils avertissent des biais dus à la variabilité de la définition du déplacement actif, aux types de terrains considérés, à la distinction de la part du déplacement actif dans l'activité physique globale, le biais de suivi dans la majorité des études considérées (études observationnelles prospectives), la confusion

entre les avantages apportés par la réduction de la pollution de l'air, des émissions de GES, la création de lien social... Selon la Fédération Française de Cardiologie, 30 minutes d'activité physique quotidienne réduisent le risque cardiovasculaire de 30%.

Par ailleurs, le secteur des transports est à l'origine de 80% des **bruits** émis dans l'environnement (pollution sonore), une menace importante pour la santé, comparable à - et indépendante de - celles représentée par la pollution de l'air et le manque d'activité physique (97) adressée par l'OMS dans des recommandations en 2018. Hypoacousie, acouphènes, augmentation du risque cardiovasculaire, troubles cognitifs chez l'enfant, troubles du sommeil, stress et irritabilité sont les conséquences sur la santé d'une exposition à long-terme à un environnement bruyant. En France, 25 millions de personnes sont affectées significativement par le bruit des transports, dont 9 millions exposées à des niveaux critiques pour leur santé (ADEME).

La planification urbaine selon des modes de transports motorisés nécessite une artificialisation des sols considérable pour les infrastructures de transport (routes, parkings). Cet espace pourrait être utilisé autrement pour créer des **espaces verts**, dont la présence favoriserait la réduction de la mortalité prématurée de toutes causes, du risque cardio-vasculaire, et représenterait un bénéfice pour la santé mentale et la capture de carbone dans les villes, en plus de participer à la régulation thermique des villes et de diminuer l'effet îlot de chaleur<sup>30</sup>.

Globalement, les différents impacts sanitaires liés aux transports motorisés ont augmenté durant les deux dernières décennies jusqu'à atteindre un niveau alarmant : augmentation de 46% de la mortalité due aux accidents de la voie publique, augmentation de 11% de la mortalité due à la pollution de l'air. Si l'on combine tous les risques, le taux de décès dus au trafic routier dépasse celui du diabète, du paludisme, de la tuberculose, du SIDA... (99)

---

<sup>30</sup> cf A.3. de la partie Résultats

S'ajoutent à ces risques "directs" les risques indirects liés au changement climatique, plus difficiles à quantifier et se répercutant à long terme, évoqués plus haut, ainsi que d'autres risques comme la propagation de maladies infectieuses par les transports en communs terrestres ou aériens, et la pollution des eaux et des sols.

Khreis et al. (97) déplorent l'absence d'un nombre suffisant d'études s'intéressant à l'ampleur de l'impact des interventions sur le secteur des transports.

### Exemple de Tokyo

En 2003, la ville de Tokyo au Japon décide d'éliminer les moteurs diesel de son parc automobile, par des mesures d'incitation. Une étude compare les mortalités attribuables à différentes causes entre la ville de Tokyo et celle d'Osaka en 2012 : les auteurs y démontrent une réduction de 22% de la mortalité respiratoire, de 10% de la mortalité par cardiopathie ischémique, et de 11% de la mortalité cardiovasculaire totale. Une telle réduction de mortalité n'a pu être atteinte par aucune autre mesure de santé publique (100).

## 2. ALIMENTATION

### a. Produits d'origine animale

#### Projection de l'impact d'une intervention sur le régime alimentaire

Quelques définitions pour commencer :

- Régime **ovo-lacto-végétarien** : exclusion de la viande et du poisson, consommation d'œufs et de produits laitiers. Désigné aussi par le terme « végétarien ».
- Régime **végétalien** : exclusion de tout produit d'origine animale de l'alimentation
- **Véganisme** : mode de vie visant l'exclusion de la consommation de tout produit d'origine animale dans la limite du possible (alimentation, textiles, cosmétiques...). En anglais, le terme « vegan » peut aussi vouloir dire « végétalien », ce qui peut mener à des confusions.

Avant toute chose, il semble important de souligner le fait que les études scientifiques réalisées sur la nutrition en général, ne permettent pas de statuer sur des postulats de la façon la plus objective possible, et leur interprétation nécessite des précautions, dans un sens comme dans l'autre. Ce sont en effet principalement des études observationnelles, au cours desquelles sont suivies des populations pendant une certaine durée, et les évènements de santé notés. Cela permet d'établir des corrélations statistiques entre différents facteurs, mais pas d'établir des liens de cause à effet. Ceux-ci ne pourront être que supposés, sur la base des connaissances de physiopathologie et d'études *in vitro*.

Dans leur revue publiée dans *Nature* en 2014, Tilman & Clark (12) évaluent les liens entre régime alimentaire, durabilité environnementale et santé humaine et l'impact potentiel d'un changement de régime global. Pour ce faire, ils revoient 555 **analyses du cycle de vie (LCA)** sur les émissions de GES de 82 produits végétaux et animaux, des données sur les tendances alimentaires des 100 pays les plus peuplés sur plus de 50 ans, une compilation des résultats d'études observationnelles sur la santé et l'alimentation englobant dix millions de personnes-années, et les projections d'accroissement démographique global. Ils concluent que la transition globale vers des régimes alimentaires visant une **réduction de la consommation de produits animaux** permettrait d'apporter une solution plausible au trilemme alimentation-environnement-santé.

Baroni et al. publient en 2007 dans l'*EJCN (European Journal of Clinical Nutrition)* une étude (19) comparative de l'impact environnemental de différents régimes à l'échelle individuelle sur une semaine chez des sujets italiens, selon la méthode de l'analyse du cycle de vie (Figure 21). Y sont comparés, à équivalence d'apport en énergie et en nutriments, les régimes omnivore, végétarien (exclusion de viandes et poissons) et végétalien (exclusion de tous produits d'origine animale), chacun selon un mode de production conventionnel puis biologique, et le régime italien moyen, issu de l'agriculture conventionnelle. L'impact environnemental y est déterminé en fonction de l'influence du régime en question sur le changement climatique, l'exposition aux cancérogènes, aux polluants respiratoires organiques et inorganiques, la dégradation de la couche d'ozone, l'écotoxicité, l'acidification et l'eutrophisation des eaux, l'usage des terres et l'usage de ressources (eau) et d'énergies fossiles.

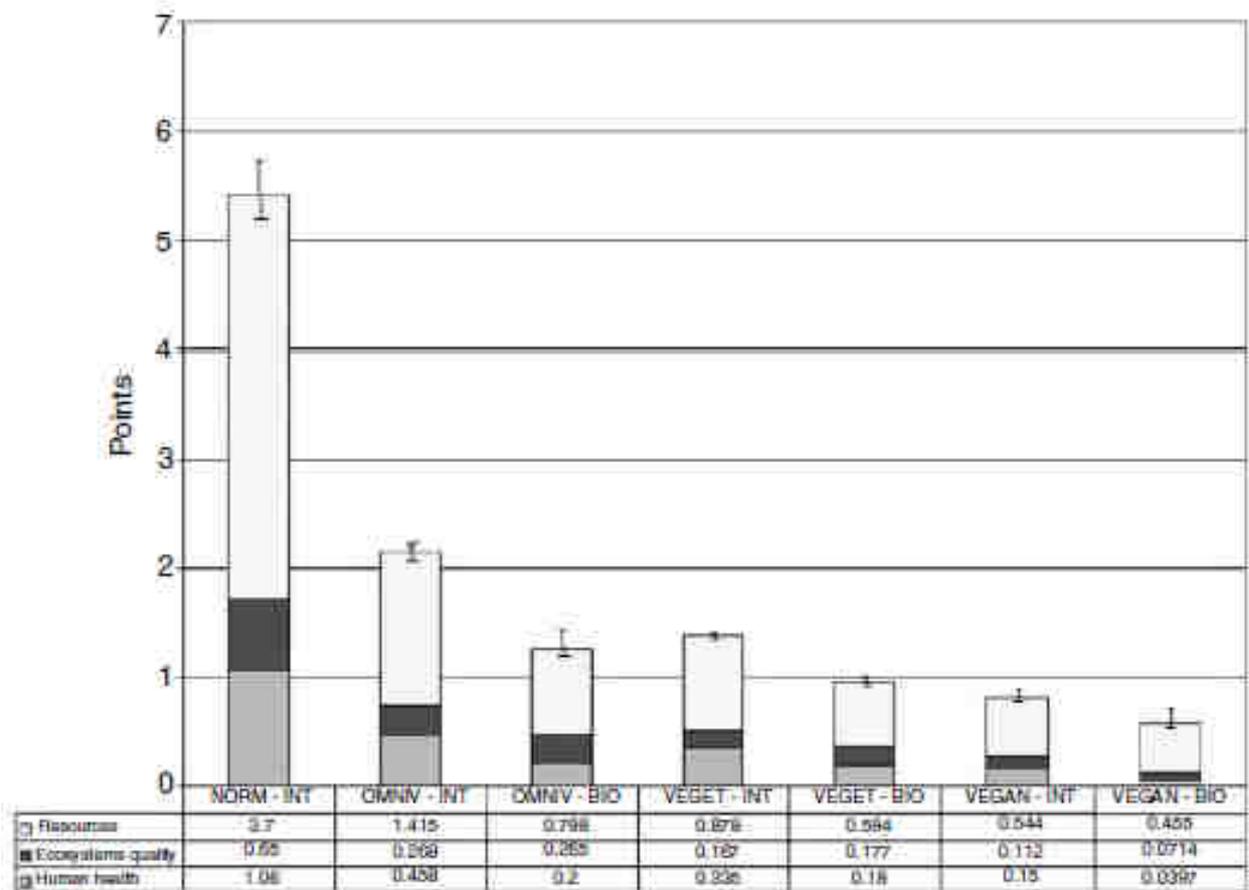


Figure 222 - Impact environnemental moyen de différents régimes alimentaires

(Baroni et al.) (19)

NORM : régime italien moyen ; OMNIV : régime selon les recommandations nutritionnelles ; VEGET : végétarien ; VEGAN : végétalien ; INT : issu de l'agriculture conventionnelle ; BIO : issu de l'agriculture biologique

Le régime ayant l'impact environnemental le plus élevé se trouve être le régime italien moyen, basé sur l'agriculture conventionnelle et dont 78% de l'impact repose sur l'usage de produits d'origine animale. Le régime ayant l'impact le moins élevé, selon cette étude, est le **régime végétalien basé sur l'agriculture biologique**.

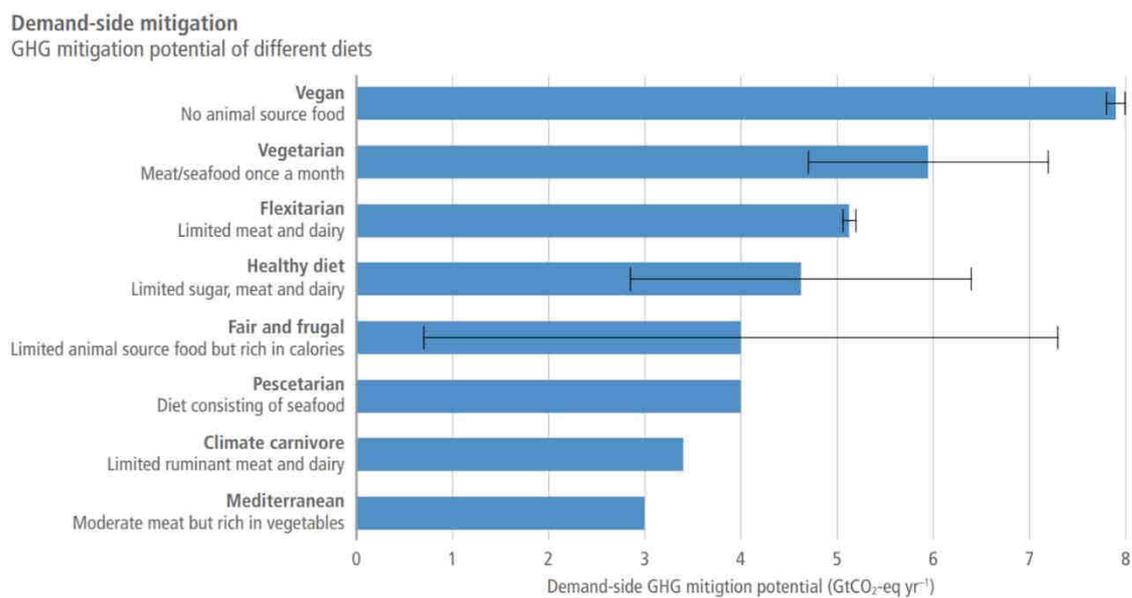
Trois autres études publiées dans l'*American Journal of Clinical Nutrition* arrivent à la même conclusion de l'impact environnemental moindre d'un régime limitant - voire excluant - les produits d'origine animale (101–103).

A grande échelle, la réduction de consommation de produits d'origine animale pourrait **diminuer la surface terrestre utilisée** pour l'élevage et les cultures fourragères, et permettrait la reconversion de ces terres en cultures pour les humains ou en végétation sauvage, assurant **recapture de carbone et sauvegarde de la biodiversité**. D'ici 2050, un changement de régime alimentaire excluant les produits d'origine animale pourrait libérer plusieurs millions de km<sup>2</sup> de terres (3 200 MHa de terres de pâturage + réduction de 10% des terres de cultures) pour, selon le GIEC en 2019, présenter un potentiel d'atténuation de 8.0GtCO<sub>2</sub>éq/an (9). Poore et Nemecek (17) estiment qu'à grande échelle, une exclusion des produits animaux dans l'alimentation entraînerait une réduction des émissions liées à l'alimentation de 6.6GtCO<sub>2</sub>éq/an (réduction de 49%), et permettrait en plus la recapture de 8.1GtCO<sub>2</sub>éq/an sur 100 ans grâce à la conservation des terres. Au total, cela représente une **baisse de 28% des émissions** anthropiques globales. Aux Etats-Unis, où la consommation de viande vaut le triple de la moyenne mondiale, le potentiel est encore plus grand avec une réduction de 61-73% des émissions liées à l'alimentation. Un scénario de réduction de moitié de la consommation de produits animaux permettrait une réduction de 20% des émissions anthropiques globales.

Stehfest et al. (104) comparent en 2009 l'impact de différents régimes alimentaires sur la faisabilité technique et économique des stratégies de stabilisation du climat : l'impact le plus important est celui du régime végétalien : diminution de 47% de la quantité d'émissions à réduire d'ici 2050, et diminution des coûts des autres mesures d'atténuation entre 2000 et 2050 de 80%, contre 54% et 70% respectivement pour un régime suivant les recommandations nutritionnelles et un régime végétarien. Dans leur conclusion, ils évoquent l'importance de l'argument santé pour inciter la population à baisser sa consommation de viande, d'œufs et de produits laitiers, face à l'inefficacité de mesures coercitives financières ou des considérations écologiques.

Un changement de régime alimentaire à l'échelle globale est jugé nécessaire à la **soutenabilité du système alimentaire mondial** par la FAO, devant l'augmentation exponentielle de la population (FAO, *The Future of Food and Agriculture: Alternative Pathways to 2050*).

Le GIEC estime donc qu'il existe des preuves solides et cohérentes qu'un régime alimentaire basé sur les plantes, comprenant légumes, fruits, céréales, légumineuses, oléagineux et graines, et moins riche en produits d'origine animale, est associé à un impact environnemental nettement réduit ainsi qu'à une amélioration de multiples paramètres de santé publique. Il devient de plus en plus clair qu'un changement de régime est essentiel pour éviter des conséquences environnementales comme l'effondrement de la biodiversité ou un réchauffement dépassant +1,5°C, tout en permettant un accès à une nourriture plus saine et moins chère à une population toujours croissante.



**Figure 233 - Potentiel d'atténuation d'un changement de régime alimentaire d'ici 2050 en GtCO<sub>2</sub>éq/an** (GIEC, Rapport spécial sur le changement climatique et l'usage des terres (2019), chapitre 5 Sécurité alimentaire (9))

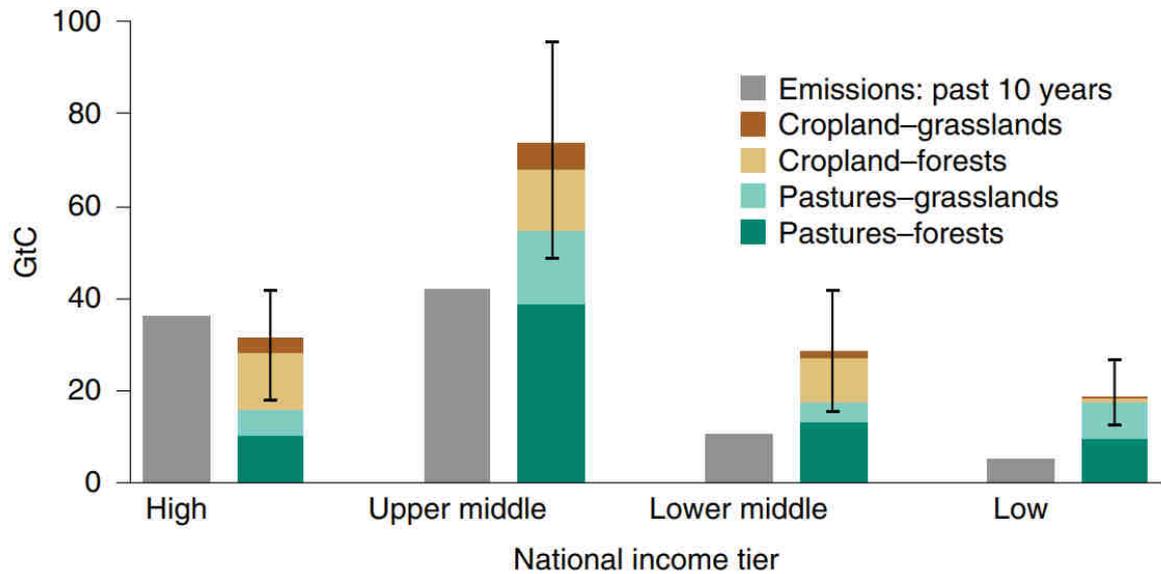
Plus récemment publiée dans le *Lancet – Planetary Health* (2020), une étude (105) conclut que le remplacement de toute la viande par des protéines végétales dans le régime alimentaire individuel engendre **une diminution moyenne de 49,6% des émissions individuelles** de GES, pour un coût réduit de 10,5% et une amélioration de 8,7% d'un index de nutrition saine (HEI, Healthy Eating

Index). Comparativement, une substitution uniquement du bœuf par de la viande de volaille engendre respectivement dans cette population une diminution de 35,7% des émissions de GES, de 1,7% du coût, et une amélioration de 1,7% de l'HEI.

Le journal *Nature* prend la main en septembre 2020 en publiant un article (106) faisant l'inventaire mondial de ce que les auteurs appellent « perte d'opportunité carbone » estimant que le changement global vers un régime basé sur les plantes permettrait de **soustraire 547-772GtCO<sub>2</sub> en 2050** grâce à la reconversion des terres. Une telle soustraction serait un scénario compatible avec une probabilité de 66% de maintenir le réchauffement global sous la barre des +1,5°C, sans même compter les autres réductions dans la combustion fossile et les 225 GtqCO<sub>2</sub> capturé par les sols et les écosystèmes souterrains renouvelés, nombre pour lequel persiste une forte incertitude.

Pour ce faire, ils ont comparé la biomasse actuelle de chaque territoire et leur biomasse potentielle si l'on y arrêta l'exploitation agricole, sur des données mondiales récoltées les vingt dernières années. En ressortent trois scénarios d'émissions pour 2050 :

- le scénario « business-as-usual » provoquant l'augmentation de 6% de surface de terres de pâturage et le relargage de 86GtqCO<sub>2</sub> supplémentaires ;
- le scénario correspondant aux recommandations EAT-Lancet (réduction de 70% de la quantité de viande consommée), permettant le stockage de 467GtqCO<sub>2</sub>, ce qui correspond aux treize dernières années d'émissions par la combustion fossile
- - le scénario d'une alimentation végétale équilibrée, en comptant la reconversion de certains champs pour permettre un apport en protides, glucides et lipides suffisant. Ce scénario permet le stockage de 547-772 GtqCO<sub>2</sub>, soit l'ensemble des émissions liées aux énergies fossiles depuis 1995. Ce scénario permettrait d'augmenter de 230% la limite d'émissions annuelles à ne pas dépasser pour rester sous la barre +1.5°C.



**Figure 244 – Opportunité carbone perdue dans l’agriculture animale, groupée par rangs de revenu national. (106)**

Emissions de CO<sub>2</sub> (en gris) : énergies fossiles et ciment

Pertes d’opportunité carbone : divisée par « type de terrain agricole actuel – biosphère végétale potentielle »

- Cultures dans des zones naturellement herbeuses, prairies (orange)
- Cultures dans des zones naturellement boisées, forêts (jaune)
- Pâturages dans des zones naturellement herbeuses, prairies (bleu clair)
- Pâturages dans des zones naturellement boisées, forêts (vert)

La consommation de produits d’origine animale de moindre intensité carbone, si tant est qu’une telle chose puisse être significative, peut amener, selon un effet rebond, à une augmentation des émissions plutôt qu’à une diminution : c’est le **paradoxe de Jevons**<sup>31</sup>. Leur production serait moins gourmande en ressources et moins chère, et l’attitude des consommateurs en serait influencée : la demande augmente, et la production suit. Ainsi, pour une limitation efficace des émissions de ce secteur, le regard ne doit pas se tourner vers l’amélioration de la qualité de la nourriture consommée, mais bien vers la réduction de la quantité totale produite (9).

<sup>31</sup> Le paradoxe de Jevons énonce qu’à mesure que les améliorations technologiques augmentent l’efficacité avec laquelle une ressource est employée, la consommation totale de cette ressource peut augmenter au lieu de diminuer. En particulier, ce paradoxe implique que l’introduction de technologies plus efficaces en matière d’énergie peut, dans l’agrégat, augmenter la consommation totale de l’énergie. Il est nommé d’après William Stanley Jevons, auteur d’un essai intitulé *The Coal Question* en 1865.

## Co-avantages sanitaires

La viande, les produits laitiers et les œufs sont des sources riches d'énergie et de nutriments tels que le fer, le zinc, le calcium, l'iode, la vitamine B12. Cependant, à l'exception de la vitamine B12, il est possible d'absorber suffisamment de tous ces nutriments sans manger de produits d'origine animale, du moment qu'une **alimentation variée** en fruits, légumes, céréales, légumineuses, graines et oléagineux est suivie. Ainsi, selon l'American Academy of Pediatrics (107,108), l'Academy of Nutrition and Dietetics (109), l'American Dietetics Association (110), l'European Journal of Clinical Nutrition (111), l'Italian Society of Human Nutrition (112), le National Health Service britannique, la Société Canadienne de Pédiatrie, une alimentation végétalienne (excluant tout produit d'origine animale) est **adaptée à tous les âges de la vie** et permet la croissance normale, du moment qu'elle est bien conduite, et peut apporter des bénéfices sanitaires. Les personnes suivant ce régime doivent notamment porter attention à leur apport en **vitamine B12**, qui est absente du règne végétal, du moins sous forme biodisponible. Elle peut être trouvée dans des produits complémentés, ou dans des compléments alimentaires élaborés à partir de cultures bactériennes. Des détails quant aux recommandations nutritionnelles sont disponibles dans ces articles, ainsi que sur des sites de ressources de nutrition.

Le Groupe Francophone d'Hépatologie, Gastro-entérologie et de Nutrition pédiatriques (GFHGNP) ne recommande pas l'alimentation végétalienne chez les enfants, dans un article (113) à la méthodologie discutable, où il est attribué des conclusions alternatives à des articles cités précédemment (107,108,112), et où il est fait une confusion entre régime végétalien et macrobiotique<sup>32</sup>. Après avoir énoncé que chez les enfants à l'alimentation diversifiée, un régime végétalien varié permet de satisfaire les besoins nutritionnels en protéines et en iode, mais qu'un régime végétalien mal conduit induit des risques de carences en calcium, en zinc et en **acide**

---

<sup>32</sup> Régime basé sur l'équilibre *yin* et *yang* entre les aliments.

**docosahexaénoïque (DHA)**, les auteurs recommandent une supplémentation en vitamine D à doses plus hautes que le reste de la population (enfants à risque), et en vitamine B12. Chez les nourrissons nourris par des **formules infantiles à base de protéines de riz ou de soja** trouvées dans le commerce, ou allaités par une mère au régime végétalien équilibré, ces risques sont inexistantes. A noter que deux des cinq auteurs ont perçu des rémunérations d'entreprises agroalimentaires telles que Nestlé ou Danone, et que le GFHGNP est partenaire de Lactalis, Novalac, Gallia, Modilac, Nestlé, Danone.

L'alimentation des nourrissons à partir de laits végétaux non formulés, comme à partir de lait maternel animal non formulé, est dangereuse et inadaptée.

De nombreuses études (Farchi et al. 2017, Hallström et al. 2017, Biesbroek et al. 2014, Friel et al. 2009, Milner et al. 2015) estiment qu'une diminution de la consommation de viande rouge et de viande transformée à des quantités suivant les recommandations nutritionnelles peuvent réduire le risque relatif de **maladie coronaire, diabète de type 2**, et de **cancer colorectal**.

L'OMS et le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) ont classifié la viande transformée comme **cancérogène** pour les humains (groupe 1), et la viande rouge comme cancérogène probable (groupe 2A), principalement associés au cancer colorectal, et au cancer gastrique pour la viande transformée (114).

L'Academy of Nutrition and Dietetics rapporte dans sa revue (109) que les régimes végétariens sont associés à **une réduction de 18% de l'incidence de cancers** de toutes causes.

Elle rapporte également une **réduction importante du risque cardiovasculaire** (réduction du risque de maladie cardio-vasculaire de 10-13%, de coronaropathie de 19%, d'hospitalisation ou de décès d'une cause cardiaque de 32%) en modifiant plusieurs facteurs de risque (surpoids et **obésité**, hyperlipidémie, contrôle glycémique, tension artérielle, **insulinorésistance**), et en réduisant la formation de la plaque d'athérome grâce à une diminution du stress oxydatif et des marqueurs de l'inflammation. Les personnes suivant un régime végétalien bénéficient de la

réduction du risque cardiovasculaire la plus importante, consommant le plus de fibres, le moins de graisse totale et de graisses saturées, et présentant les poids et taux de **cholestérol** (total, LDL et HDL) les plus sains par rapport à la population générale et aux autres végétariens. La population végétarienne présente une pression artérielle et une prévalence d'**hypertension artérielle** plus basses que la population générale, un effet encore plus marqué sur la population végétalienne.

Après ajustement sur l'IMC, l'âge et autres facteurs de confusion, les végétariens et végétaliens bénéficient d'une **réduction du risque de diabète de type 2 de 38% et 62%** respectivement, comparativement à la population omnivore. Selon les auteurs, ces régimes peuvent être utilisés efficacement comme moyens de prévention et de traitement de première intention du diabète de type 2.

Une attention particulière doit être portée à la **santé osseuse** dans le régime végétalien : bien qu'un important apport en magnésium, potassium, vitamine K, vitamine C dans ce régime apporte des bénéfices à la santé osseuse, des apports insuffisants en **calcium, vitamines D et B12** peuvent entraîner une baisse de la densité minérale osseuse. Une augmentation de 30% du risque de fracture dans la population végétalienne comparativement à la population omnivore et végétarienne disparaît après exclusion des végétaliens consommant moins de **525mg/j de calcium** (recommandations françaises d'apport en calcium : 900mg/j pour un(e) adulte jeune non enceinte; recommandations britanniques (NHS) d'apport en calcium : 700mg/j), ce qui permet d'estimer que cette augmentation du risque de fracture est due aux végétaliens ne faisant pas suffisamment attention à leur apport calcique. On retrouve du calcium dans les fruits secs, légumineuses, certaines graines, les légumes verts, le chocolat, les laits et yaourts végétaux complémentés, et l'eau minérale ou du robinet.

Dans l'étude BROAD publiée dans *Nature* en 2017 (115), sont comparés deux groupes de sujets obèses randomisés à qui sont proposés deux stratégies de **perte de poids** : la stratégie standard, et une stratégie basée sur un régime végétalien (whole-food plant-based, WFPB) sans restriction calorique ni exercice physique imposé. A 6 et 12 mois, les différences sont significatives entre les deux groupes pour les critères de jugement principaux qu'étaient l'IMC et le taux de cholestérol total : les sujets du groupe WFPB rapportent une perte de 3,9kg/m<sup>2</sup> d'IMC et de 0.56mmol/l de

cholestérol total. Les auteurs évoquent des améliorations sur d'autres facteurs secondaires comme la qualité de vie, l'usage de médicaments, le risque cardiovasculaire.

Godfray et al. rapportent dans leur revue (15) les mêmes conclusions concernant le risque cardiovasculaire, la maladie coronaire, le diabète de type 2, l'obésité, la tension artérielle, la dyslipidémie, et ajoutent une augmentation du risque d'accident vasculaire cérébrale par la consommation de viande rouge.

Appleby et al., dans une revue (116) incluant 280 000 participants du même milieu socio-économique dont plus de 100 000 végétariens confirme le bénéfice en termes de diminutions des concentrations en LDL principalement, et dans une moindre mesure en HDL. Sur la base d'une réduction d'incidence de coronaropathie de 30% pour une réduction de 10% de la concentration en cholestérol, est déduite une **réduction du risque de coronaropathie** chez les végétariens et végétaliens britanniques **de 24% et 57%** respectivement.

Une réanalyse de cinq études prospectives retrouve une diminution du risque de cardiopathie ischémique de 24% chez les végétariens, mais ne retrouve pas de différence significative dans la mortalité liée aux AVC entre les végétariens et non-végétariens.

Cette revue objective également **une réduction du risque de diverticulose de 31% et 72%** chez les végétariens et végétaliens respectivement, comparativement aux omnivores, probablement due à l'apport en fibres plus élevé. L'étude de la cohorte EPIC-Oxford retrouve également chez les végétariens une diminution du risque de cataracte, de lithiase rénale, d'arthrose dégénérative, de syndrome métabolique et d'hyperthyroïdie, mais ces résultats nécessitent des études supplémentaires.

Les auteurs évoquent la difficulté de réaliser des études sur les régimes végétarien et végétalien, car leur définition est celle d'une exclusion, et non la composition précise d'un régime alimentaire, ce qui peut entraîner de **fortes disparités** entre les sujets. De plus, la population végétarienne est une population qui a plus tendance à faire attention à sa santé, ce qui peut biaiser les résultats malgré les ajustements sur les facteurs de confusion identifiables.

En décembre 2020, la dernière édition du *Lancet Countdown on Health and Climate Change* rappelle que l'excès de viande rouge aurait provoqué 990 000 décès en 2017.

Springmann et al. (2016) (117) comparent 4 scénarios d'application globale d'un régime alimentaire : un scénario de référence « business-as-usual » projeté par la FAO (reference ; REF), un scénario suivant les recommandations de santé publique (healthy global diet ; HGD), un scénario d'exclusion de la viande et du poisson (vegetarian ; VGT) et un scénario d'alimentation basée sur les plantes exclusivement (vegan ; VGN). Il est intéressant de noter que pour atteindre les quantités recommandées (HGD) dans les pays occidentaux développés, il serait nécessaire d'augmenter de 25% (99g/j) la consommation de fruits et légumes, de diminuer de 78% (113g/j) la consommation de viande rouge, et de 15% la ration calorique globale.

Cette étude conclut, comparativement avec le scénario de référence, que le scénario HGD permet une réduction de 5.1 millions de décès prématurés par an, le scénario VGT une réduction de 7.3millions/an, et le scénario VGN une **réduction de 8.1millions de décès par an**. Parmi les décès évités dans les 3 scénarios alternatifs, la moitié des décès évités serait due à la diminution d'incidence de cardiopathie ischémique, un quart à la diminution d'incidence des AVC, et le dernier quart à la diminution du cancer et du diabète de type 2.

Par ailleurs, l'élevage des animaux est le principal réservoir à infections alimentaires et à l'origine d'épidémies de **zoonoses** de plus en plus fréquentes. Il faut également considérer les bénéfices sanitaires indirects induits par la sauvegarde de la biodiversité et l'atténuation du réchauffement climatique. En outre, devant l'apparente non-nécessité de l'exploitation des animaux pour notre alimentation, et le lourd tribut payé par notre planète et les générations futures, il convient de s'interroger sur l'utilité et la moralité des actes de violence infligés quotidiennement à des êtres capables de faire la différence entre bien-être et **souffrance** (200 millions d'animaux terrestres sont tués chaque jour dans le monde pour l'alimentation humaine, 3 milliards en comptant les poissons et prises accessoires) (FAOSTAT).

De plus, la réduction de la consommation de produits animaux s'inscrit dans une réflexion de décroissance, et d'abandon de la domination toxique des humains sur la nature, que nous semblons avoir cru éternelle.

Le choix d'une alimentation végétalienne plus respectueuse de l'environnement doit évidemment s'inscrire dans une recherche globale de **cohérence écologique**, et donc intégrer d'autres habitudes bénéfiques bien que moins impactantes, comme la consommation de produits locaux le moins transformés possible et issus de l'agriculture biologique, de saison, en évitant le suremballage.

Une synthèse schématique de la physiopathologie des effets bénéfiques du régime basé sur les plantes sur le risque cardiovasculaire a été réalisée, et est disponible en Annexes (Annexe 2).

## b. Circuit court, gaspillage alimentaire

Des modifications des comportements concernant le gaspillage alimentaire, et le contrôle de l'origine et du cheminement des aliments peut aussi avoir, à grande échelle, un effet significatif sur les émissions de GES liées à l'alimentation.

Le **gaspillage** alimentaire est une autre source majeure d'émissions de GES : 25-30% de la nourriture produite dans le monde est jetée, une quantité représentant 8-10% des émissions totales de GES entre 2010 et 2016 et environ 1 trillion de dollars US par an (9). Le gaspillage alimentaire a lieu à tous les niveaux, de la production à la consommation, en passant par le transport, le conditionnement et la distribution. De même, la **surconsommation alimentaire** (consommation excessive de nourriture par rapport aux apports recommandés), serait à l'origine de 33% des GES émis par le secteur de l'alimentation, en plus d'être à l'origine de maladies chroniques telles que l'**obésité** et le **diabète**. Ainsi, une consommation en quantité raisonnée, de produits les moins transformés/préparés possible, assure la réduction du gaspillage alimentaire à l'échelle individuelle.

Dans certains cas, consommer de la nourriture **locale**, provenant d'un **circuit court** permet une réduction du gaspillage alimentaire et d'améliorer la résilience alimentaire et économique des territoires. Si nécessaire, importer de la nourriture de pays européens permet d'émettre moins de GES que d'importer de pays du Sud, plus lointains et moins efficaces.

Toutefois, comme l'étude basée sur l'analyse du cycle de vie des aliments de Poore et Nemecek (23) permet de l'affirmer, la **part du transport dans le total d'émissions** attribuables à un type d'aliment est extrêmement **minime** dans le cas des aliments les plus intenses en carbone, ce qui place la nature de l'aliment largement devant son origine géographique dans la hiérarchie des sources de son intensité carbone. Le graphique présenté par *Our World In Data* présenté plus haut (Figure 7) souligne bien ce principe : ainsi, manger de la viande bovine d'un producteur local plutôt qu'importée du Brésil n'apporte pas une différence significative à l'empreinte carbone de cette viande bovine.

De plus, les bénéfices écologiques des produits locaux peuvent être contrebalancés dans le cas de produits à haut facteur d'émission et gourmands en ressources, parfois du fait de systèmes de production inefficients mais nécessaires à la production dans les conditions locales. Par exemple, la consommation de tomates uniquement en saison permet d'éviter la production en serres chauffées, qui émettent beaucoup plus de GES que les cultures en champs ouverts. Certains produits peuvent ainsi avoir un facteur d'émissions moins grand s'ils sont importés de pays lointains, où leur production est moins énergivore car de saison.

Une solution avancée par le GIEC à la diminution de la productivité alimentaire due à l'urbanisation des terres est celle de la végétalisation des villes, et la production alimentaire dans des **fermes urbaines** ou péri-urbaines.

### c. Agriculture biologique

Ce travail ne s'intéresse pas à l'impact d'une alimentation basée sur des aliments issus de l'agriculture biologique, mais il semble approprié de l'évoquer. En effet, les conséquences positives

de la non-utilisation de pesticides et d'engrais de synthèse sur l'environnement et les écosystèmes sont connus, mais elles sont moins claires quand il s'agit de la santé humaine. Les **pesticides** utilisés dans l'agriculture auraient des effets **perturbateurs endocriniens et cancérigènes** : l'exposition répétée à ces substances entraînerait des lymphomes, cancers de la prostate et maladies de Parkinson chez les agriculteurs les maniant, mais l'impact des pesticides en bout de chaîne de consommation est peu étudié. Une étude épidémiologique publiée dans le *JAMA*<sup>33</sup> (118), basée sur la cohorte NutriNet-Santé en 2018, conclut à une réduction du risque de cancer chez les consommateurs réguliers d'aliments issus de l'agriculture biologique (25% de réduction du risque relatif, par rapport aux personnes en consommant moins souvent). Des études supplémentaires sur le sujet sont nécessaires, que ce soit sur la cancérigénité, ou l'effet perturbateur endocrinien, par ingestion en bout de chaîne, ou par inhalation à la surface de particules.

L'URPS ML-PACA<sup>34</sup>, en collaboration avec l'ASEF<sup>35</sup> émet un guide (119) régulièrement mis à jour, à destination des médecins libéraux, concernant les perturbateurs endocriniens, les risques qu'ils impliquent et des conseils aux patients pour y réduire leur exposition. L'alimentation biologique est évidemment citée comme un moyen de se protéger contre les pesticides, mais les auteurs mettent en garde contre les **différences entre les certifications « bio »** retrouvées dans le commerce. Toutes ne présentent pas les mêmes critères, et il faut faire attention au marketing mensonger. Dans tous les cas, il est certain que l'on a beaucoup moins de chances de retrouver ces produits dans les produits issus de l'agriculture biologique que dans ceux issus de l'agriculture « conventionnelle ».

#### d. Alimentation et pollution de l'air

---

<sup>33</sup> *Journal of the American Medical Association*

<sup>34</sup> Union Régionale des Professionnels de Santé – Médecins Libéraux – Provence-Alpes-Côte d'Azur

<sup>35</sup> Association Santé Environnement France

Plusieurs études rapportent un intérêt potentiel de la consommation de certains nutriments pour réduire les effets nocifs de la pollution de l'air. Ainsi, consommer des nutriments anti-inflammatoires et anti-oxydants (vitamines B, C et E, oméga-3) apporterait des défenses supplémentaires contre l'action des radicaux libres. Il reste cependant à prouver un bénéfice clinique à ces stratégies nutritionnelles (41).

### e. Recommandations nutritionnelles

Le nouveau **Plan National Nutrition Santé** (PNNS 2019-2023) établi par le HCSP<sup>36</sup> est plus en accord que ses prédécesseurs avec les résultats de cette revue de littérature, en cela qu'il recommande une diminution des produits carnés et une augmentation de la consommation de fruits, légumes, légumineuses et céréales complètes. Cependant, il ne conseille pas d'exclure (mais bien de réduire) les produits carnés transformés, malgré leur reconnaissance en tant que cancérigènes certains. Par ailleurs, la consommation de produits laitiers y est toujours encouragée, malgré leur lourd poids environnemental et leur richesse en acides gras saturés. Sans que cela suffise à les remettre en question, les **liens d'intérêts** entre le HCSP et les industries de l'agroalimentaire, et tout particulièrement les professionnels de l'industrie laitière (représentés par le CNIEL) interrogent quant à la rigueur et la validité scientifique de ces recommandations. Au même titre que l'industrie du tabac à une époque pas si lointaine, ces entreprises ne devraient pas avoir un tel pouvoir sur les recommandations sanitaires ; à l'instar du combat mené contre la consommation de tabac par les professionnels de santé, il serait approprié de se saisir de ces "nouveaux" enjeux alimentaires aujourd'hui.

---

<sup>36</sup> Haut Conseil de la Santé Publique

En 2019, le *Lancet* réunit la commission **EAT**, chargée d'établir des recommandations pour garantir à 10 milliards d'humains, en 2050, un "régime alimentaire sain reposant sur des systèmes alimentaires durables" dans l'Anthropocène<sup>37</sup> (120). Il est utilisé comme scénario dans plusieurs études, dont la récente et ambitieuse étude sur la perte d'opportunités carbone due à l'agriculture en 2020 (106).



En 2020, le *British Medical Journal* publie une analyse modélisée des impacts sanitaire et environnemental de régimes correspondant aux recommandations nutritionnelles de 85 pays, au regard des objectifs du Plan d'action mondial pour la lutte contre les maladies non transmissibles, de l'Accord de Paris sur le Climat et d'autres objectifs environnementaux (121). Les résultats sont très variables, avec une moyenne de 15% de réduction de la mortalité prématurée et de 13% des émissions de GES. Un tiers des pays inclus ont des **recommandations nutritionnelles incompatibles** avec les **objectifs sanitaires**, et 67-87% sont incompatibles avec les **objectifs environnementaux**. L'adoption des recommandations nutritionnelles de l'OMS aboutit aux mêmes résultats, tandis que l'adoption des recommandations du *EAT-Lancet* atteint les deux objectifs, avec une réduction de 34% de la mortalité prématurée et une réduction des émissions de GES de 42%, une réduction de la consommation d'eau, des rejets d'azote et de phosphore. Les auteurs

---

<sup>37</sup>devant l'observation de l'impact des activités humaines modifiant la planète sur les couches géologiques.

attribuent cette différence à la réduction de la consommation de produits laitiers (1 contre 4 par jour), en plus de la réduction de la consommation de produits carnés déjà encouragée dans les programmes nutritionnels.

L'alimentation est à l'origine du quart des émissions de GES anthropiques nettes globales dont 80% sont liés à l'élevage, alors que les régimes alimentaires non-équilibrés largement répandus et l'obésité associée sont parmi les plus grands facteurs de maladies chroniques non-transmissibles et de mortalité prématurée dans les pays riches, tout comme la malnutrition dans les pays pauvres. Devant son potentiel d'atténuation à court terme des impacts climatiques (demi-vie courte du méthane) et environnementaux, et ses bénéfices sanitaires, la transition des comportements alimentaires vers un régime basé sur les plantes doit être encouragée.

**Les professionnels de santé doivent être formés** et impliqués dans l'éducation pour la réduction de la consommation de produits d'origine animale par la population générale.

Les patients désirant effectuer une transition vers un régime végétarien, voire végétalien, doivent être encouragés et accompagnés, notamment lors de périodes critiques de la vie comme la grossesse, l'allaitement, l'enfance ou l'adolescence. La stigmatisation de ce choix, en plus de constituer une **perte de chance** pour l'atténuation du réchauffement climatique, présente un risque de **mauvaise prise en charge** initiale sur le plan diététique, impérative pour les patients n'ayant pas un accès autonome à une information de qualité. Au contraire, une **information claire** et diffuse sur cette transition alimentaire, des facilitations financières, réglementaires, commerciales, pratiques ou culturelles permettraient de rendre moins fréquente la nécessité d'une prise en charge diététique initiale. Par exemple, un PNNS adapté aux personnes suivant un régime végétarien/végétalien, des objectifs marketing et des publicités orientées vers des aliments apportant l'équilibre nécessaire, une **complémentation systématique en B12** de certains produits à l'instar du sel iodé en France, pourraient rendre cette transition plus facile et rapide à l'échelle de la population, de même que la diminution de la TVA pour les produits alimentaires de provenance locale et biologique permettrait une meilleure accessibilité à une alimentation plus saine et respectueuse de l'environnement.

La complémentation en vitamine B12 des personnes suivant un régime végétarien ou végétalien doit être garantie. Cette vitamine est produite par des bactéries se trouvant notamment dans le microbiote intestinal des mammifères ; pour en assimiler, l'humain peut choisir de manger le corps d'un animal dont le système digestif en permet l'absorption après sa production, mais dont beaucoup sont directement supplémentés dans les élevages, ou de s'en procurer à la source grâce aux cultures bactériennes. Les sources végétales de vitamine B12 (spiruline, shiitaké, tempeh...) ne contiennent qu'une forme non-biodisponible et ne constituent pas un apport adapté. Le dosage sanguin de la vitamine B12 est inutile, car le besoin de supplémentation est généralisable à toute la population végétarienne/végétalienne (l'apport en B12 par les produits laitiers et les œufs est très insuffisant : il serait pour cela nécessaire de manger une trentaine d'œufs par jour, répartis sur la journée). Par ailleurs, il existerait un risque de faux négatifs car le dosage ne différencierait pas les formes actives des formes inactives de la vitamine. Enfin, la posologie de la supplémentation en B12 telle que conseillée dans la plupart des notices des spécialités pharmaceutiques ne conviennent pas à une population végétarienne/végétalienne. Des ressources sont disponibles en ligne (cf. Support d'information).

La transition vers un régime alimentaire pauvre en produits d'origine animale peut rencontrer des **barrières d'ordre cognitif, social ou culturel**, ou lié aux pratiques locales de production. Une mince minorité de personnes n'ont pas d'alternatives à un régime riche en viande et autres produits animaux. Pour la majorité de la population mondiale cependant, l'accès à une nourriture dense en énergie et nutriments comme la viande garantissait autrefois la survie et donc un avantage évolutif, mais aujourd'hui le rapport s'est inversé et il constitue plus un facteur prédisposant aux maladies de la consommation et une menace pour la biosphère planétaire (15).

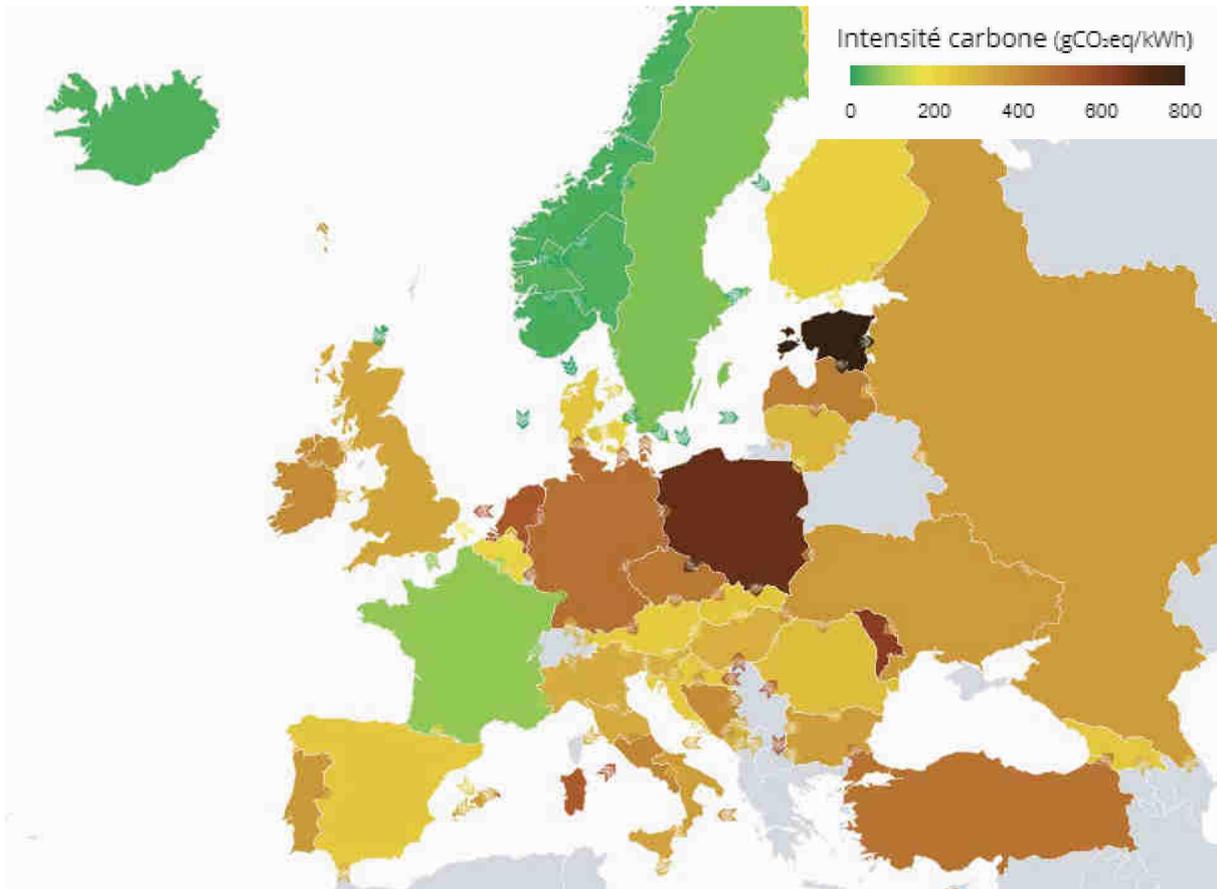
L'alimentation est un très bon exemple d'inégalités sociales, sanitaires et climatiques ; nous avons vu plus haut que la FAO compte 1 milliard de personnes dans l'incapacité d'accéder à une quantité suffisante de nourriture pour subvenir à leurs besoins. De l'autre côté de la balance, le nombre de cas d'obésité a triplé depuis 1975 : en 2016, l'OMS compte que 39% de la population adulte mondiale est en surpoids, 13% de la population adulte mondiale sont obèses, 340 millions d'adolescents (entre 5 et 19 ans) sont en surpoids ou obèses, et 41 millions d'enfants de moins de

5 ans en surpoids ou obèses. Sur le plateau Sud de cette balance : les populations des pays en voie de développement dont les terres arables sont utilisées pour l'extension des surfaces de pâturage et de productions céréalières destinées à nourrir le bétail des pays industrialisés du plateau Nord ; une tendance en constante augmentation. En agissant sur la généralisation d'un régime alimentaire basé sur des aliments d'origine végétale, locale, de saison et sans utilisation d'engrais de synthèse ou de pesticides, on atteint non seulement une **atténuation drastique** du changement climatique, de la pollution de l'air, de l'eau et des sols, et de l'effondrement de la biodiversité, mais également la **réduction des inégalités** d'accès à une nourriture de qualité, à l'eau, à l'énergie, une plus juste **répartition des ressources**, une meilleure **santé globale**, et on garantit une meilleure **résilience** climatique grâce à l'adaptation des systèmes de production et de distribution de nourriture et l'**autonomie** alimentaire des territoires.

### 3. LOGEMENT

#### a. Energie et équipements électriques

La production d'énergie doit s'éloigner de la combustion d'énergie fossiles et laisser la place à des **énergies renouvelables**, sûres, accessibles, pour protéger le climat et la santé humaine des polluants aériens et des gaz à effets de serre. Pour le GIEC, la part des énergies à basses émissions dans l'industrie et les habitations doit augmenter de 25% actuellement, à **70-85%** de renouvelable d'ici 2050 pour limiter le réchauffement à +1.5°C, ou 65% pour limiter à +2°C (5,8). Cette transition doit être effectuée de façon régulée et juste envers les populations dépendantes de la production d'énergies fossiles : la réalisabilité d'une telle transition à l'échelle de la consommation actuelle n'est pas abordée. En France, la production d'électricité est à 90% décarbonée, en grande partie grâce au nucléaire : c'est une des exceptions en Europe, les pays scandinaves étant très en avance.



**Figure 25 - Intensité carbone de l'électricité consommée (en gCO<sub>2</sub>eq/kWh) (Source :  
electricitymap.org)**

Les énergies solaire et éolienne posent encore des défis techniques, sociaux, économiques et politiques, mais l'amélioration des technologies de captation et de stockage de l'énergie ces dernières années indiquent une potentielle transition systémique de la production d'électricité. Leur taux de retour énergétique<sup>38</sup> dépend de l'énergie utilisée pour leur production : ainsi ces technologies représentent un investissement énergétique pour l'avenir.

En plus de la réduction des émissions de GES, l'utilisation d'énergie sobre en carbone permet de réduire considérablement la pollution de l'air, et l'ampleur des îlots de chaleur dans les zones

---

<sup>38</sup> ratio d'énergie utilisable acquise à partir d'une source donnée d'énergie, rapportée à la quantité d'énergie dépensée pour obtenir cette énergie.

urbaines. Elles présentent également des co-bénéfices en ce qui concerne les incidences sur les écosystèmes, l'autosuffisance en ressources, la résilience et la sécurité du système énergétique.

La transition vers des modes de production d'énergie « propres » relève du collectif plus que de l'individuel, mais on peut évoquer dans ce travail la possibilité de l'autoproduction/autoconsommation d'énergie. La production d'énergie renouvelable en autoconsommation par les particuliers, plus ou moins revente du surplus, est encouragée par des appels d'offre gouvernementaux, et se popularise progressivement (14 000 producteurs auto-consommateurs en 2017, projections de 600 000 installations en 2022 et 4 millions en 2037) (11).

Préférer des **équipements les plus efficaces** (A+, A++ ou A+++ ) permet aux familles de limiter la consommation d'énergie, et donc la pollution de l'air et les émissions de GES, en plus d'économiser en moyenne 2980€ (dépenses totales d'énergie sur la durée de vie moyenne des équipements), comparativement à une famille équipée d'appareils peu efficaces (11).

## b. Chauffage, isolation thermique et ventilation

Les bâtiments doivent respecter certaines normes d'efficacité énergétique (isolation thermique et étanchéité à l'air, ventilation et rafraîchissement, exposition au soleil et chauffage et éclairage...) : depuis 2013, les constructions neuves en France doivent respecter les **normes BBC** (Bâtiment Basse Consommation). Les normes RT2020 devraient entrer en vigueur d'ici peu, à l'heure de la rédaction de ce travail.

Une isolation thermique correcte du logement, en plus de limiter la consommation énergétique due au chauffage, est liée à de substantiels avantages pour la santé, sur lesquels reviennent Maidment et al. dans leur méta-analyse (122) : mortalité hivernale, **BPCO et infections respiratoires**, risque d'**AVC** et d'**infarctus** du myocarde lié à l'hypertension artérielle, **allergies** et **asthme** liés à l'humidité et aux moisissures, stress et **dépression**, isolation sociale. Cependant, des préoccupations existent sur les **effets indésirables** de mesures visant à améliorer l'efficacité

énergétique des foyers (perturbateurs endocriniens et polluants dans les matériaux utilisés, augmentation de la pollution de l'air intérieur par les mesures visant la diminution de la ventilation), mais les auteurs concluent qu'ils sont largement évités ou compensés par les effets bénéfiques, tant sur la santé physique et mentale, que sur la situation socio-économique des résidents.

Les **aides financières** à la rénovation thermique sont multiples, et applicables ou non selon les cas. Pour s'informer et s'orienter dans ces aides financières, plusieurs solutions ont été mises en place : des points d'informations (453 PRIS en France (points rénovation info service)), un numéro de téléphone unique et un site internet ([renovation-info-service.gouv.fr](http://renovation-info-service.gouv.fr)).

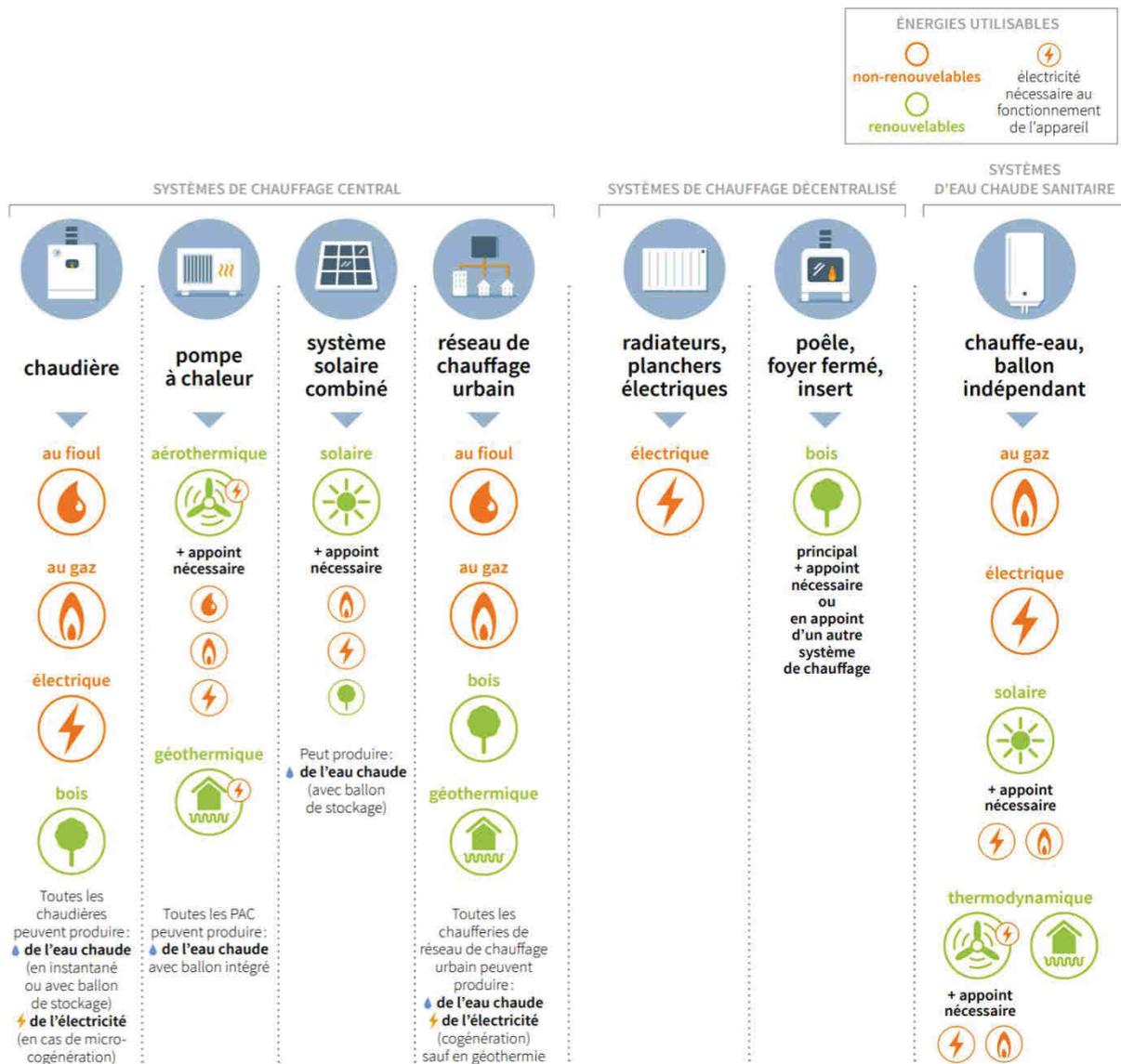


Figure 26 - Comparatif des différents systèmes de chauffage (ADEME)

Le **chauffage** mobilise deux tiers de la consommation énergétique d'un foyer. Il existe plusieurs systèmes de chauffage, aux carburants variables. Le choix d'un système efficient et propre, et/ou d'un carburant renouvelable influera grandement sur les émissions de GES et de polluants de l'air à l'intérieur et à l'extérieur du foyer, mais il ne faut pas oublier la place du comportement individuel dans la bonne utilisation du système de chauffage, et son entretien.

Les anciens modes de chauffage au bois, au fioul ou au gaz sont peu performants, et consomment beaucoup de carburant pour peu d'énergie restituée, et beaucoup d'émissions de polluants. C'est d'autant plus vrai pour les vieux appareils de chauffage au bois (avant 2002) ou les cheminées ouvertes, qui ne permettent pas une combustion complète du bois. Comme dans le bâtiment, les dernières avancées permettent aux appareils les plus récents de produire plus d'énergie avec moins de carburant, d'émettre moins de polluants, et facilitent leur utilisation et leur entretien. Ainsi, pour limiter la pollution de l'air à l'intérieur de son logement, on peut changer de mode de chauffage pour un **appareil récent**.

Les meilleurs appareils de chauffage au bois font la cible d'un **label « Flamme Verte »** prenant en compte l'efficacité énergétique et la pollution de l'air induite : un appareil Flamme Verte 7 étoiles émettrait 30 fois moins de particules fines qu'une cheminée ouverte. Ceci dit, le bois ne peut être considéré comme une énergie renouvelable à court-terme, du fait du temps nécessaire à une forêt à partir de sa plantation pour recapturer le carbone qu'elle a émis en brûlant. Sa généralisation comme "énergie propre" est donc dangereuse vis-à-vis de la dégradation de la qualité de l'air, mais également pour l'accélération de la déforestation et pourrait augmenter de 5-10% les émissions de GES en Europe.

Les énergies renouvelables comme le **solaire** thermique, les **pompes à chaleur** géothermique ou aérothermique, peuvent être utilisées pour chauffer le logement, seules ou en complément l'un de l'autre, ou d'un système de chauffage (électrique dans l'idéal en France) afin d'adapter la source d'énergie en fonction des conditions climatiques et de la demande en chauffage. Le solaire thermique ne peut pas encore subvenir à 100% des besoins en chauffage d'un foyer sous nos latitudes, et nécessite un chauffage d'appoint. Le raccordement à un **réseau de chaleur** est également une solution alternative pour réaliser des économies d'énergie à grande échelle.

L'électricité est une énergie secondaire générée à partir d'une énergie primaire lors de procédés entraînant des pertes d'énergie (il faut en moyenne 2.58kWh d'énergie primaire pour 1kWh d'électricité, ce rapport variant en fonction de la source d'énergie).

En termes de rendement énergétique <sup>39</sup>, la première place revient aux pompes à chaleur (**géothermique 190% de rendement**, puis aérothermique avec 130%), suivies de près par le solaire thermique avec appoint (110%), puis les chaudières à bois en plaquettes/granulés (105%), puis les chaudières à gaz (92%). Le chauffage électrique affiche 38% de rendement, et 89% pour les chaudières au fioul (123).

Il est idéal de maintenir, grâce à un thermostat, une **température entre 19°C et 21°C** dans les pièces occupées la journée, et de 17°C dans les pièces non occupées, ou la nuit dans les pièces occupées, ainsi que d'éteindre, ou de baisser au minimum le chauffage lors d'absences prolongées et pendant les beaux jours du printemps à l'automne.

La réduction des sources de pollution de l'air intérieur aura le plus d'efficacité sur son atténuation, mais elle doit être complétée par une **ventilation efficace**, voire la **filtration** de l'air extérieur (42). Depuis 1982, des normes de ventilation des logements ont été instaurées, et les logements neufs équipés d'une Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC), dont il existe plusieurs types : le plus intéressant étant la VMC double-flux, qui permet un **échange thermique** entre l'air entrant et l'air sortant (ce qui réduit la nécessité de chauffage ou de climatisation), et la filtration des pollens et particules dans l'air entrant. Un renouvellement de l'air insuffisant peut entraîner des degrés d'exposition aux polluants intérieurs supérieurs aux seuils recommandés, et causer des dégâts matériels (humidité).

---

<sup>39</sup> quantité d'énergie fournie par rapport à la quantité d'énergie consommée

## D. Réalisation d'un support d'information

Un support d'information à destination des médecins généralistes a été produit. L'objectif de cette production est de présenter les raisons pour lesquelles se saisir des problématiques du changement climatique et de la pollution de l'air en tant que professionnel de santé, et quelles mesures individuelles avec quels co-bénéfices santé sont recommandables aux patients.

Ce support s'appuie sur les résultats de la revue de littérature présentés plus haut, les travaux d'organismes spécialisés (ADEME, Carbone 4), les résultats de la thèse de Dr. Julie Legrand sur la gestion d'un cabinet durable et les résultats de la thèse de Dr. Pierre-Antoine Bouchard les conseils à donner en cas de pic de pollution. Les auteurs ont donné leur accord pour la diffusion des données intégrées.

Il a été conçu selon un cahier des charges établi au préalable (cf. Annexe), avec l'aide d'un graphiste et d'un imprimeur. Une copie est disponible en Annexe.

## DISCUSSION

Cette partie contient une analyse critique du travail réalisé, des réflexions autour des résultats et leurs applications, et des ouvertures vers des sujets de recherche à exploiter dans l'optique du développement de la santé planétaire. Elle contient des paragraphes pouvant relever de l'opinion personnelle de l'auteur sans autre valeur que celle des sources citées et de recherches annexes non développées précédemment.

## Forces et limites

Ce travail s'appuie sur des revues de littérature, des méta-analyses et des rapports d'autorités scientifiques reconnues : en cela, le niveau de preuve de ses résultats peut être estimé haut, tout du moins pour ce qui est de l'estimation des conséquences sanitaires actuelles des phénomènes

étudiés. Une grande partie des résultats de cette revue consiste en des projections, et quelle que soit l'éminence de leurs auteurs, leur véracité pourra, comme elle l'a déjà été par le passé, être mise à l'épreuve. En effet, les premiers rapports du GIEC ont tous été jugés trop optimistes par les suivants, et il en va de même pour l'OMS qui juge son rapport de 2014 (26) bien trop prudent en 2018 (5).

C'est là toute la difficulté de ce sujet : selon les années, les estimations et les objectifs varient, et la même année pourront paraître des recommandations pour l'atteinte d'un objectif qu'il n'est déjà plus très probable d'atteindre. C'est le cas de l'objectif +1,5°C : il a été fixé avec ambition lors de l'Accord de Paris pour le Climat en 2015, mais quatre ans après le GIEC dans son rapport spécial sur l'atteinte de cet objectif, estime que les mesures prises par les états (NDCs) sont insuffisantes. La trajectoire actuelle qui y est décrite, sans mesures supplémentaires, est celle d'un réchauffement à +3°C, voire +4°C. Les objectifs de réduction alors fixés sont très ambitieux, mais depuis les émissions ne baissent pas, si bien que le prochain rapport de synthèse risque fort d'adopter un ton toujours plus pessimiste. Les publications dans ce domaine sont très nombreuses, et il en paraît de nouvelles très fréquemment : il n'est pas possible de faire un travail absolument synthétique sur l'évolution des connaissances et des projections. Depuis la rédaction de la revue de littérature, de nombreux travaux sur la santé planétaire, notamment ceux du *Lancet Countdown* ou de la Revue Médicale Suisse, ou d'autres projets de sensibilisation ont vu le jour.

Une autre limite à laquelle s'est heurtée la rédaction de ce travail est l'imprécision des estimations de la morbi-mortalité liée à la pollution de l'air, notamment du fait de l'absence de prise en compte des PM<sub>0.1</sub> dans les recommandations, et donc dans les mesures effectuées. Il semble raisonnable, au vu des connaissances scientifiques, d'imaginer que leur prise en compte entraîne une hausse de la part de responsabilité de ce phénomène dans le *burden of disease*. Par ailleurs, l'évaluation de l'exposition individuelle aux polluants dans la population générale n'est actuellement qu'estimée à partir de taux localisés de pollution de l'air extérieur, et non mesurée. Elle ne prend pas en compte plusieurs facteurs comme le temps passé à l'extérieur, l'heure, le temps passé dans le trafic routier... Ceci peut constituer un biais de classification. Pour mener la recherche plus loin, il est nécessaire d'instaurer de nouvelles méthodes d'estimation, voire de mesure de l'exposition

individuelle : on peut citer le cas de capteurs de la qualité de l'air déjà développés, et dont s'équipent de nombreuses personnes.

Par ailleurs, la même difficulté se pose dans l'évaluation de l'impact d'un régime alimentaire sur la santé. Les études réalisées sur ce sujet sont des études observationnelles, permettant d'établir des corrélations, et non des causalités. Elles ne peuvent être réalisées en double aveugle, et les études concernant un régime alimentaire choisi principalement pour des raisons écologiques, éthiques et donc morales, ne peuvent être randomisées. De plus, les régimes végétariens et végétaliens sont définis par des exclusions, et non par une définition précise de la composition d'une assiette type. Chacun adapte sa consommation à ses considérations personnelles, en fonction de ses connaissances, et non d'une règle dogmatique : en cela, la définition de ces régimes peut être floue selon les individus. Cela dit, le même biais est présent dans les études réalisées sur la population générale et un régime omnivore : il n'est pas plus flou que la définition d'un régime où l'on mange « de tout ». La réalisation des recommandations nutritionnelles pour la population générale s'appuie sur le même type d'études observationnelles comparatives entre habitudes de consommation et incidence d'événements de santé. L'établissement d'une probabilité d'un lien de causalité par les études *in vitro* ou les connaissances en physiopathologie est l'outil permettant de s'assurer qu'une corrélation estimée se rapproche de la réalité.

En outre, les paragraphes abordant des concepts très complexes et sortant du champ de la médecine, comme celui de l'énergie, sont sujets à un biais dû au manque de formation initiale de l'auteur sur le sujet. L'auteur a voulu minimiser ce biais en ne basant ces paragraphes que sur les textes d'organismes de référence ayant déjà un niveau de preuve élevé.

Au vu des résultats des recherches dans la littérature scientifique et la littérature grise, le lien entre médecine générale et écologie est bien établi, mais encore très peu populaire. Le concept de santé planétaire doit prendre de l'ampleur et être intégré aux formations initiale et continue. Il n'existe pas, à la connaissance de l'auteur, de thèse de médecine sur le sujet, ce qui fait de ce travail une étape pionnière surtout en France, où le sujet n'est pas vraiment évoqué dans les journaux médicaux. C'est un travail qui a servi, et continuera à servir de base pour l'information et la diffusion

de données scientifiques utiles dans les débats que peuvent engendrer les questions d'écologie et de mesures individuelles, de santé et de prévention.

De même, le support d'information produit sera diffusé aux professionnels de santé concernés, afin d'atteindre son but de démocratiser la prise en compte des enjeux collectifs (hors enjeux épidémiques et économiques) dans la prévention en soins primaires. Cependant, ce document souffre d'une limite méthodologique : en effet, son intérêt et son efficacité n'ont pas été évalués auprès du public cible. Cette évaluation pourrait faire l'objet d'un travail futur.

## Freins cognitifs au changement

En 2020, après 50 ans d'alertes scientifiques régulières, les enjeux climatiques et de la qualité de l'air sont répandus, à divers degrés, dans les préoccupations de tous les Français et ne font plus débat. Ils sont devenus des arguments marketing de premier choix, pour les commerçants comme pour les politiques. Comment expliquer, après cet éveil climatique général, l'inaction voire l'accélération continue des individus dans une direction délétère ? La réponse à cette question nécessiterait encore de nombreuses pages, je ne ferai ici qu'évoquer des pistes. La même question vis-à-vis des entreprises et des politiques peut être posée, mais elle sort du cadre de ce travail et sa réponse aborde des enjeux économiques et administratifs insuffisamment développés dans le reste du texte.

On peut établir en premier lieu un parallèle entre notre réaction face aux enjeux climatiques et notre réaction face à la mort future. Une « vérité qui dérange », que l'on préfère ignorer : le **déni** est la (souvent) première des 5 étapes décrites par Elisabeth Kübler-Ross, dans la réaction d'un patient face à l'annonce d'une maladie incurable et mortelle. Cette « courbe du changement » a été appliquée à toutes sortes de transitions, et est adaptée pour celle-ci également. D'autres modèles similaires ont été proposés. L'étape de **détresse psychique**, assez classique après le choc de la prise de conscience, fait l'objet de nombreux travaux, et peut prendre le nom de solastalgie, ou « éco-anxiété » selon la forme clinique. La dernière étape, celle de l'acceptation, est celle qu'il nous

faut atteindre, tant au niveau individuel que sociétal, pour parvenir à une participation active de chacun dans la guérison d'une maladie planétaire, qui n'est, elle, heureusement pas incurable si prise en charge assez précocément. Selon Charline Schmerber, psychothérapeute à Montpellier se spécialisant dans l'éco-anxiété et ses cousines solastalgie, collapsalgie ou effondralgie, ces étapes ne sont pas linéaires mais, car elles sont causées par un stress « pré-traumatique », et l'objet du deuil est encore situé dans le futur. Le patient revient alors sur certaines étapes au grès de son cheminement, de ses réalisations et ses apprentissages.

| Étapes      | Définition   |
|-------------|--|
| Déni        | Décision consciente ou inconsciente de refuser d'admettre que quelque chose est vrai: un diagnostic, des séquelles, la sévérité d'un problème ou le besoin d'une intervention. |
| Colère      | Acte physique ou émotif par lequel le patient tente de blâmer quelqu'un. Il peut souvent s'agir du médecin.  |
| Marchandage | Processus de négociation par lequel le patient tente de retarder l'inévitable ou de prendre ses distances de la réalité de la situation.                                       |
| Dépression  | Sentiment de perte de contrôle ou de désespoir par rapport à la situation.   |
| Acceptation | Sentiment de stabilité ou de résignation alors que le patient devient un participant actif dans sa vie.  |

**Figure 27- Les 5 étapes de Kübler-Ross**

On parle également beaucoup du concept de **dissonance cognitive**, défini par la tension interne provoquée par la contradiction entre nos comportements et nos opinions, nos croyances, nos émotions. Dans le contexte de la transition écologique, il peut s'appliquer aux comportements individuels privés et professionnels. Pour se libérer de cette tension, l'individu a deux choix : celui de changer de comportement/de profession, ou d'opinion. Il est évident, au vu des changements drastiques nécessaires, qu'il est plus facile de changer d'opinion, quitte à chercher pour cela des justifications fantaisistes.

Une hypothèse très populaire, intéressante mais manquant de preuves est celle de Sébastien Bohler, journaliste scientifique, dans son livre "Le Bug Humain", qui aborde la responsabilité du

striatum et du **système de la récompense** dans un prisme de psychologie évolutionniste. Il y évoque la possibilité que l'action climatique ne soit pas instinctive par nature, car contraire à des comportements déclenchant la réponse dopaminergique striatale, c'est-à-dire des comportements favorisés par l'évolution, donc favorisant la survie à un état primitif. L'auteur explique ainsi la tendance de l'Homme à surconsommer, à s'assurer une position sociale privilégiée, à dominer le reste de son espèce et de la nature, le tout en dépensant le moins d'énergie possible. C'est une hypothèse intéressante, mais qui, en plus de n'être fondée que sur peu de matériel scientifique, ne prend pas assez en compte l'influence de la société, des mœurs, de la culture et de l'éducation, sur les comportements. Se limiter à cette hypothèse serait également ignorer que cette tendance surconsommatrice n'est pas commune à toutes les communautés humaines, ni à tous les individus dans notre société occidentale. Les personnes faisant le choix de changer de comportement pour assurer la survie de leur espèce devraient-elles alors s'inquiéter d'une malformation ou d'une lésion cérébrale ?

Cependant, la responsabilité de la récompense immédiate dans l'inaction climatique est claire : bien que conscient de l'impact environnemental d'un steak de bœuf, nombreuses sont les personnes informées qui succombent à la tentation. Coralie Chevallier, chercheuse en sciences cognitives et comportementales axe ses recherches sur les freins cognitivo-sociaux à l'action climatique, en parle et rappelle le rôle de l'**éducation** aux enjeux climatiques, et surtout aux **ordres de grandeur**. Ainsi, communiquer sur des chiffres bruts ne provoquant pas de réponse émotionnelle forte, la **vulgarisation** (par la comparaison, par exemple) des informations est primordiale. Une meilleure information sur les ordres de grandeurs est nécessaire pour réduire la proportion de personnes éveillées aux enjeux environnementaux se satisfaisant de "**petits gestes**" peu significatifs, et s'en servant pour justifier des actions aux impacts climaticides bien plus significatifs (exemple : je trie mes bouteilles d'eau, alors je peux bien prendre l'avion une fois par an). Elle parle également de la **réciprocité** des actions : peu de gens sont prêts à se priver de ce qu'ils considèrent comme des libertés individuelles s'ils se perçoivent être les seuls à le faire. Nous mettons la barre des efforts à fournir à hauteur de ceux des autres individus qui nous entourent. Le « whataboutisme » agit de même à l'échelle d'un pays : « pourquoi s'infliger de tels sacrifices si la France n'est responsable que de 1% des émissions de GES ? Les USA et la Chine

émettent bien plus, ce serait condamner notre économie que de faire le premier pas ». En cela, la **culpabilité** semble pouvoir être un moteur du changement : une famille ayant plus tendance à réduire sa consommation d'énergie si on lui rapporte qu'elle consomme plus que la moyenne de sa communauté. Une dernière approche très intéressante abordée par Coralie Chevallier, est celle de la disponibilité de chacun à entreprendre des actions, à s'engager. Elle considère que l'engagement climatique est dépendant de nos conditions de vie, et du "**taux d'escompte temporelle**" : selon que l'on attache plus de valeur au présent ou au futur. Une enfance difficile, des conditions de vie précaires, font attacher plus de valeur au présent et rendent moins probable l'adoption d'une vision long-termiste, de sacrifices individuels immédiats pour des récompenses collectives à long terme. Il est donc, selon elle, plus facile d'être écologique quand on est éduqué et sans problème d'argent : une possible explication, en tout cas partielle, à la caricature de l'écologie « blanche et bourgeoise » de l'action individuelle.

Par ailleurs, l'action individuelle est découragée par l'absence d'**ennemi extérieur** à blâmer : une fois l'éveil climatique passé, nos actions quotidiennes jusqu'alors réalisées sans réflexion, sans intention, deviennent "l'ennemi" et provoquent un ressentiment, une colère, un déni. C'est probablement pour cela que bon nombre d'activistes écologistes s'insurgent contre l'injonction à l'action individuelle, ou "colibrisme"<sup>40</sup>, et sacrent en reines absolues l'action politique et la révolte. Quand bien même chaque approche est indispensable, elles ne sauraient se suffire chacune à

---

<sup>40</sup> Terme dérivé du mouvement des Colibris de Pierre Rahbi et Cyril Dion, dont le nom provient d'une légende amérindienne promouvant l'action collective résultant de la somme des actions individuelles :

*Un jour, dit la légende, il y eut un immense incendie de forêt. Tous les animaux terrifiés, atterrés, observaient impuissants le désastre. Seul le petit colibri s'activait, allant chercher quelques gouttes avec son bec pour les jeter sur le feu. Après un moment, le tatou, agacé par cette agitation dérisoire, lui dit : "Colibri ! Tu n'es pas fou ? Ce n'est pas avec ces gouttes d'eau que tu vas éteindre le feu ! "*

*Et le colibri lui répondit : "Je le sais, mais je fais ma part."*

elle-même : faut-il changer le système pour changer les gens, ou changer les gens pour changer le système, afin que le climat change le moins possible ? Il serait réducteur et délétère de ne se limiter qu'à une des deux approches. Nous reviendrons sur les ordres de grandeur relevant de chaque approche, un peu plus bas.

Ainsi, le médecin généraliste, éduqué et probablement sans problème d'argent, susceptible de provoquer le changement individuel et collectif par sa place de scientifique et de professionnel de santé inscrit dans une communauté, se doit d'**alerter**, d'**informer**, mais également d'**inspirer** l'action par la réciprocité.

## Montrer l'exemple

Pour ce faire, plusieurs options sont accessibles aux médecins généralistes. Dans un premier temps, appliquer les mesures de transition individuelle que nous avons abordées dans ce travail dans sa vie personnelle semble la meilleure façon de donner du poids à leur promotion, et permet l'acquisition de compétences utiles au conseil et au suivi du patient.

La gestion durable du cabinet médical est un autre axe sur lequel s'attarder, et c'est ce qu'a fait de façon très exhaustive la docteure Julie Legrand à l'occasion de sa thèse de médecine générale. Elle a synthétisé ses recommandations sur un site internet (<https://santedurable.net>). Ces recommandations incluent entre autres la gestion des matériels à usage unique et autres consommables, des mesures d'hygiène, de la production et de la consommation d'énergie et autres mesures relevant du bâtiment, de la mise à disposition d'informations et de poubelles de tri en salle d'attente, mais également la promotion des déplacements actifs pour les collègues/employés par l'installation de douches, ou des véhicules électriques en installant des emplacements réservés avec prises sur le parking...

Y est également évoqué le rôle du choix des prescriptions : évidemment, une prescription raisonnée est une prescription plus durable. Ainsi, il est recommandé de suivre les recommandations scientifiques pour ne pas sur-prescrire (tant en médicaments qu'en examens),

prêter attention au développement de l'antibiorésistance, sensibiliser à l'automédication et au stockage des déchets médicamenteux. Par ailleurs, une prévention et une éducation plus efficace permettrait une réduction de l'utilisation de beaucoup de médicaments. Il reste du chemin à parcourir : le déconditionnement des médicaments, effectif dans plusieurs pays, serait une étape clé dans le chemin vers un système de santé plus résilient. En ne délivrant que la quantité exacte prescrite, on limite le gaspillage et l'auto-médication, réduisant par là-même le risque de développer l'antibio-résistance, ainsi que la masse de déchets d'emballages.

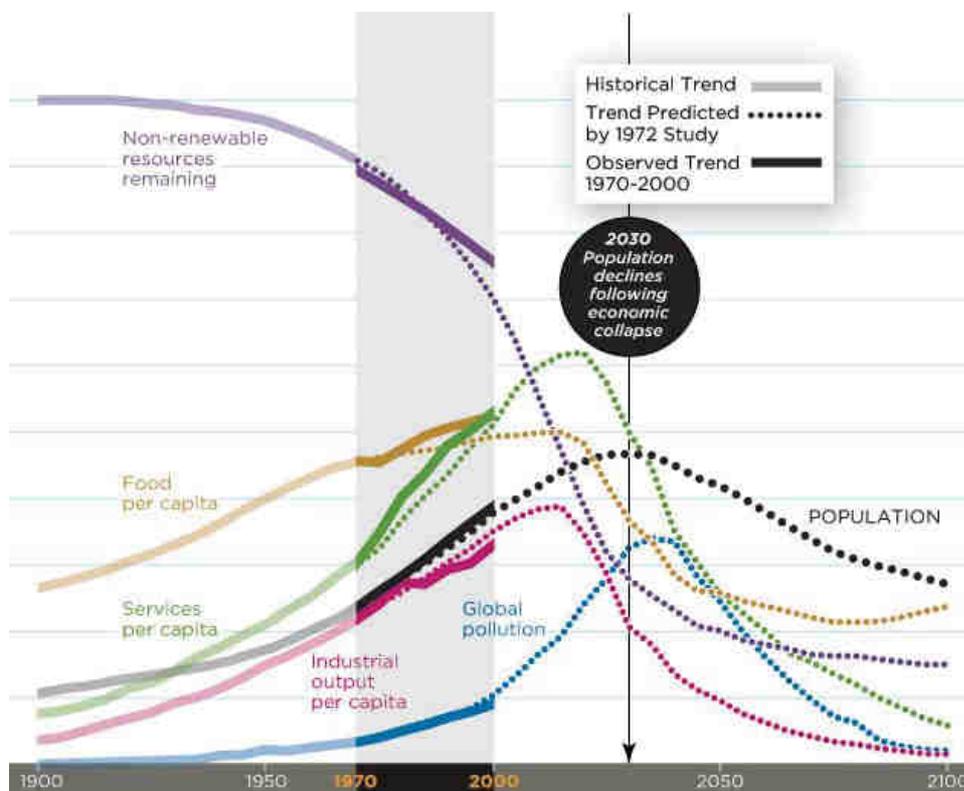
Une piste intéressante est celle de l'indice PBT (Persistence, Bioaccumulation et Toxicité), un indice d'impact environnemental appliqué aux molécules de nos médicaments, développé par des chercheurs suédois (*Environmentally Classified Pharmaceuticals*) qui pourrait être ajouté aux fiches RCP des produits pharmaceutiques. Une initiative "Ecoprescription" alliant prise en compte du PBT et récupérations des médicaments non utilisés a ainsi vu le jour dans les Vosges par le biais de l'association ASOQS.

Dans une optique plus politique, le professionnel de santé peut également développer une action climatique en exerçant une activité de lobbying auprès des collectivités, et en s'engageant dans des organisations de santé planétaire ou d'écologie à diverses échelles. C'est également le rôle des collègues d'enseignants en médecine et des organismes de formation continue de se saisir de la problématique afin d'adapter les programmes de formation aux prochaines contraintes climatiques, et aux considérations qui aujourd'hui permettraient une transition écologique du monde de la santé.

## Une médecine résiliente dans le « monde d'après »

En 1972, le Club de Rome mandate une équipe de chercheurs au Massachusetts Institute of Technology (MIT) dirigée par Dennis Meadows pour la rédaction d'un rapport sur les perspectives de développement mondial, qui prendra la forme de l'ouvrage *The Limits to Growth*, autrement connu sous le nom de "**Rapport Meadows**". Cette publication constitue la première sonnette d'alarme scientifique concernant la direction prise par les sociétés humaines de croissance

économique et démographique continue dans un monde aux ressources limitées, n'entrevoiant que deux scénarios : **le développement durable ou l'effondrement global**. A l'heure d'une prospérité économique comme celle des Trente Glorieuses en France, ce rapport est extrêmement critiqué, les auteurs qualifiés de prophètes de l'apocalypse. Il a été au centre de polémiques pendant des décennies, lors des conférences de l'ONU comme la Conférence de Stockholm la même année, puis à Rio en 1992 où fut créée la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (UNFCCC) se réunissant lors des COP. Aujourd'hui, l'analyse des données économiques, démographiques et environnementales donnent raison aux projections des auteurs du rapport, et laissent penser à l'arrivée imminente d'un effondrement global des ressources, de la population et de l'économie mondiales, dans un monde toxique.



**Figure 28 - Modélisation des projections de perspectives de développement par l'équipe de Dennis Meadows en 1972, mises en parallèle avec les données observées entre 1970 et 2000 (124).**

La perspective d'un effondrement globalisé imminent, est une thèse étudiée par de nombreux chercheurs et philosophes mais qui ne fait pas consensus, et qui mériterait d'y consacrer beaucoup

plus que quelques lignes. Nous n'aborderons ici, rapidement, que les conséquences sur la santé publique d'un tel phénomène : la probable réduction de l'espérance de vie humaine, et la transition des préoccupations de santé.

La **médecine conventionnelle** occidentale repose sur l'utilisation de ressources finies, jetables, et de solutions ultra-techniques dans un réseau globalisé : les technologies diagnostiques, l'industrie pétrochimique mécanisée et la délocalisation des productions de médicaments et de produits de santé dans les pays en voie de développement sont autant de déterminants qui, aujourd'hui, signent la richesse et le développement d'un système de santé, mais qui, demain, pourraient fortement porter atteinte à sa **résilience** face à l'épuisement des ressources et la fragilisation des infrastructures. Ceci est d'autant plus vrai dans un pays comme la France, où l'on consomme en moyenne 48 boîtes de médicaments par an et par personne. Il est nécessaire de réfléchir dès aujourd'hui à des moyens de s'assurer une autonomie vis-à-vis de la production de médicaments et de produits de santé, et de réaliser des avancées dans le domaine de la « chimie verte »<sup>41</sup> et ses applications médicales, le développement de produits réutilisables, ainsi que dans la connaissance et les applications de thérapeutiques dites « complémentaires » ayant fait leurs preuves (acupuncture, phytothérapie...) et fondées sur des ressources renouvelables.

En outre, la **résistance aux antibiotiques** devrait rapidement atteindre un seuil critique. Il est projeté qu'elle devienne le premier facteur de mortalité en 2050 (hors évolution d'autres phénomènes émergents comme ceux abordés dans ce travail), en provoquant 10 millions de morts par an (Banque Mondiale). La réalité de la médecine actuelle, centrée sur les maladies chroniques non-transmissibles, en serait bouleversée. De plus, l'indisponibilité de traitements antibiotiques empêcherait la réalisation d'opérations chirurgicales à risque infectieux, de chimiothérapies anticancéreuses, de traitements immunosuppresseurs, de greffes d'organes, etc. Nous pouvons

---

<sup>41</sup> Dans la majorité des procédés de l'industrie pétrochimique, les végétaux peuvent remplacer le pétrole : lipides, amidon, saccharose, cellulose... Ce domaine produit déjà des « bioplastiques » et « biocarburants » a priori renouvelables et biodégradables : l'efficacité environnementale de ces procédés doit cependant être encore évalué.

cependant toujours nous reposer sur la pérennité de la vaccination pour nous protéger des maladies infectieuses.

Si les possibilités de traitement des pathologies de tout bord se font plus rares, la place de l'éducation à la santé, de la **prévention**, de la diététique et de l'hygiène physique et mentale dans la prise en charge des patients sera encore plus prépondérante qu'aujourd'hui. Plus efficace et moins coûteuse, elle serait également facilitée par un monde "post-effondrement" de par la moindre propagation de maladies infectieuses par les transports, la plus fréquente nécessité d'activité physique pour de plus nombreuses tâches de la vie quotidienne, l'obligatoire diminution de consommation de produits d'origine animale et produits transformés, la moindre exposition à divers toxiques perturbateurs endocriniens et cancérogènes et aux polluants de l'air.

## Adaptation et justice climatique

Nous avons abordé en détail les mesures d'atténuation individuelles dans ce travail, mais l'atténuation fonctionne de pair avec l'adaptation aux risques climatiques pour **diminuer les impacts** de ces risques. L'adaptation est étroitement liée au concept de justice climatique. Les pays développés ont participé le plus aux émissions cumulées de GES dans l'atmosphère, du fait de leur développement industriel précoce et leur économie fondée sur la croissance sans limites, mais ce sont les populations des pays en voie de développement, beaucoup moins responsables de la situation et moins aptes à se préparer (à s'adapter) aux changements en cours, qui sont les plus atteintes par les risques induits.

Les mesures politiques et collectives d'adaptation peuvent relever du **système de santé** : par exemple, le GIEC rapporte que les mesures d'adaptation déjà prises ont réduit l'impact des canicules sur la santé humaine. Les scénarios intégrant une adaptation toujours plus importante permettent d'entrevoir une réduction dans l'ampleur projetée des risques sanitaires. Qu'elles concernent les vagues de chaleur, les maladies infectieuses, les risques traumatologiques de catastrophes météorologiques et de conflits : des programmes sanitaires d'alerte précoce et des structures d'accueil d'urgence préparées peuvent fortement réduire la morbi-mortalité liée au

réchauffement climatique dans un territoire donné (8). Lors de la crise de la COVID-19, nous avons pu apprécier l'importance d'un système de santé aux fondations solides pour affronter les crises à venir. Une réflexion sur le fonctionnement et les stratégies de santé est donc nécessaire pour assurer une diminution des risques à venir, d'autant que selon le collectif Healthcare Without Harm, le secteur de la santé serait responsable de 4,4% des émissions anthropiques totales (environ 2GtCO<sub>2</sub>eq/an).

Ces mesures sont renforcées si elles s'intègrent dans des plans reliant l'adaptation et l'atténuation à d'autres objectifs sociétaux (comme les **Objectifs de Développement Durable** de l'ONU), donnant lieu à des co-avantages. Les scénarios étudiés par le GIEC limitant le réchauffement à +1.5°C impliquent plus de co-avantages que d'effets indésirables, mais la balance peut être moins favorable si la transition n'est pas gérée convenablement, générant des risques dans les domaines de la pauvreté, l'accès à l'eau, la nourriture et l'énergie. Les scénarios avec la meilleure balance sont ceux incluant une **faible demande** en énergie, une **faible consommation** matérielle, et une faible consommation de nourriture à haut facteur d'émissions de gaz à effets de serre. En outre, comme nous l'avons abordé plus haut, les **inégalités socio-économiques** au sein des populations, accentuées par les discriminations, **freinent la transition** collective de ces populations.

## Urgence climatique, libertés et actions individuelles

A mesure que le temps disponible s'amenuise, les mesures nécessaires deviennent plus difficiles à mettre en place, et plus coûteuses. Refuser aujourd'hui l'action climatique ne fait que la reporter à demain, et augmenter la charge et le coût de l'effort à fournir pour atteindre les mêmes objectifs. **Aucune alerte scientifique ou citoyenne, ni décision politique** n'aura su jusqu'ici ne serait-ce qu'enranger un début de décroissance de la courbe des émissions annuelles de GES. Au lieu de cela, on voit les consommations mondiales d'énergie et de produits animaux exploser, le marché automobile se diriger vers la démocratisation des **SUV** (nouvelle dénomination du 4x4 considéré comme le 2<sup>e</sup> facteur d'accélération du changement climatique en 2020, et annulant tous les progrès

en termes d'efficacité carbone de l'ensemble du secteur du véhicule individuel) avec un passage de 5% du marché en 2008 à 41% en 2020. Ces tendances sont favorisées par le système économique occidental, son marketing et ses intérêts politiques, moulant les individus à la consommation effrénée d'une production globale nécessairement toujours plus rapide et gourmande. En parallèle, les crises météorologiques se multiplient, les forêts brûlent, les rivières débordent, les espèces s'éteignent en masse, une première pandémie s'installe, les riches deviennent plus riches et les pauvres deviennent plus pauvres.

Les mesures individuelles ont des détracteurs de toutes parts : d'un côté accusées d'être **liberticides**, de l'autre jugées **inutiles** face à la part conséquente d'émissions incontrôlables par l'individu.

De l'**inertie** des systèmes économique et climatique, et de la possibilité de **conséquences irréversibles** du réchauffement climatique, découle l'importance des mesures à court terme, accessibles à chaque individu quotidiennement, ce qui est d'autant plus vrai pour les mesures réduisant les émissions de GES à demi-vie courte comme le CH<sub>4</sub>. L'action individuelle présente l'intérêt de ne pas engager l'individu plus loin qu'auprès de ses propres principes : elle est moins effrayante mais est **responsabilisante**, et peut être une première étape pour se motiver à aller plus loin, et surtout **inspirer** le changement autour de soi afin de créer une dynamique collective. En effet, à l'échelle d'une société ou d'une communauté, l'acceptation et l'application de changements comportementaux sont conditionnés par les **valeurs** et les objectifs de ladite société, et sa **perception des risques** (6). Un travail d'éducation de la population s'installe ainsi comme une mesure d'un grand intérêt pour favoriser l'atteinte des objectifs climatiques.

Malheureusement, la généralisation des changements comportementaux d'initiative individuelle par l'incitation peut demander trop de temps, ou ne jamais arriver. Devant l'urgence, certains estiment qu'elle devrait passer par la **coercition** : c'est une limite qui, quand elle est évoquée, engendre des réactions avec l'utilisation de termes comme « liberticide », « extrémistes », « khmers verts », « ayatollahs », etc.

Seulement, si l'on considère que la liberté des uns s'arrête où commence celle des autres, que **l'intérêt collectif** prime sur l'intérêt individuel, de tels propos ne devraient pas freiner la législation. Si aujourd'hui, un automobiliste s'arrête au feu rouge ou un fumeur sort du restaurant pour s'intoxiquer, qu'il soit d'accord ou pas, c'est une privation de liberté individuelle au service de l'intérêt collectif qu'on ne remet plus en question. En France, le système républicain permet de faire primer l'intérêt collectif sur l'individuel, mais l'économie **capitaliste** et la démocratie sur le mode **représentatif** provoquent la prime des intérêts économiques et politiques à court-terme, sur l'intérêt de la population et de l'environnement. C'est ainsi que la législation peut être bloquée par l'implantation tentaculaire des entreprises privées dans les sphères législatives et exécutives.

Evidemment la nécessité de mesures coercitives devrait diminuer avec l'accroissement de la proportion d'individus engagés dans une transition. Cela permet d'aborder la notion de **points de bascule sociale**, une notion importante à la conservation de l'optimisme dans le combat pour l'environnement : la transition des normes sociales / les changements politiques majeurs pourraient n'être provoqués que par une « **minorité active** » (entre 3,5% et 10% de la population selon les auteurs) entraînant la « majorité silencieuse » avec elle. Cette notion a été rendue populaire par les travaux d'Erica Chenoweth et est utilisée par certains collectifs de désobéissance civile comme point d'ancrage de l'espoir.

Sans mesures d'atténuation rapides et ambitieuses supplémentaires, et même si des mesures d'adaptation sont prises, le risque de conséquences graves, généralisées et irréversibles à l'échelle du globe sera élevé à très élevé à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle en raison du réchauffement climatique.

## Réalité des enjeux et changement systémique

La plupart des sources de GES et de pollution de l'air extérieur échappent totalement au contrôle des individus et nécessitent une action concertée au niveau local, national et international des responsables des secteurs des transports, de l'énergie, de la gestion des déchets, de l'urbanisme, de l'agriculture et du commerce.

L'accessibilité des mesures individuelles étant limitée pour certaines, à des contraintes physiques, culturelles ou économiques, une majeure partie de la population dépend de la facilitation d'accès à ces mesures par d'autres mesures collectives. Les responsables cités plus haut ont le devoir de garantir à toutes les populations cet accès à des moyens de consommation sobres : énergies (sources renouvelables, coproduction de chaleur et d'électricité, décentralisation de la production), chauffage, alimentation, gestion des déchets (réduction, réutilisation, recyclage, captage de méthane à utiliser comme biogaz, contrôle strict des émissions des incinérateurs...), planification urbaine (transports doux, végétalisation, rendement énergétique des bâtiments...), promotion de technologies non polluantes dans l'industrie, taxation réduite des produits locaux et/ou biologiques (alimentation, textile, produits ménagers...), réduction de la publicité dans les lieux publics...

En plus de faciliter l'accès aux mesures individuelles, des mesures politiques serviraient également à inciter collectivement : on est plus susceptibles de changer si son voisin change, et lui-même est plus susceptible de changer si la collectivité donne une image positive du changement. C'est également le rôle du secteur culturel d'orienter les instincts en donnant un nouvel imaginaire, une nouvelle narration au monde dont on fait partie.

Les mesures individuelles présentent des limites auxquelles on peut se heurter assez rapidement. L'importance des ordres de grandeur doit être clarifiée auprès de la population générale. Les « petits gestes » du quotidien peuvent être insignifiants ou significatifs, mais la communication à leur propos est malhonnête dans les deux sens. Par exemple, le tri des déchets, la consommation d'emballages recyclés permet à beaucoup d'entreprises et d'individus de s'acheter une bonne conscience et de considérer en faire suffisamment. On ne s'épanchera pas ici sur la réalité du recyclage, qui fait partie de la famille des arguments *greenwashing* très à la mode, à l'instar des biocarburants, du flexitarianisme et de la viande « de bonne qualité » ou de production locale, de la compensation carbone (*treewashing*) ou de la « croissance verte ». De même, il faut garder à l'esprit l'importance de l'effet rebond (paradoxe de Jevons) dans l'impact de l'amélioration de l'efficacité énergétique de la production et de l'utilisation, dans le cycle de vie d'une catégorie de produits.

En outre, une certaine part des émissions associée aux services publics, à la Défense, au secteur financier, à l'industrie, au mode de transport des marchandises et de personnes, aux modes de production d'énergie, ne relève pas d'un choix de consommation individuel. Le cabinet de conseil en développement durable Carbone 4, fondé par Jean-Marc Jancovici, publie un rapport « Faire sa part » (125) étudiant le rapport entre l'impact des mesures individuelles et des transformations systémiques, dans le cheminement vers l'objectif fixé par l'Accord de Paris. Il présente deux situations : une idéale d'un engagement « héroïque » de l'ensemble des citoyens, et une « réaliste ». On notera que le régime végétalien n'est pas pris en considération, diminuant de fait un gain possible de l'engagement « héroïque ».

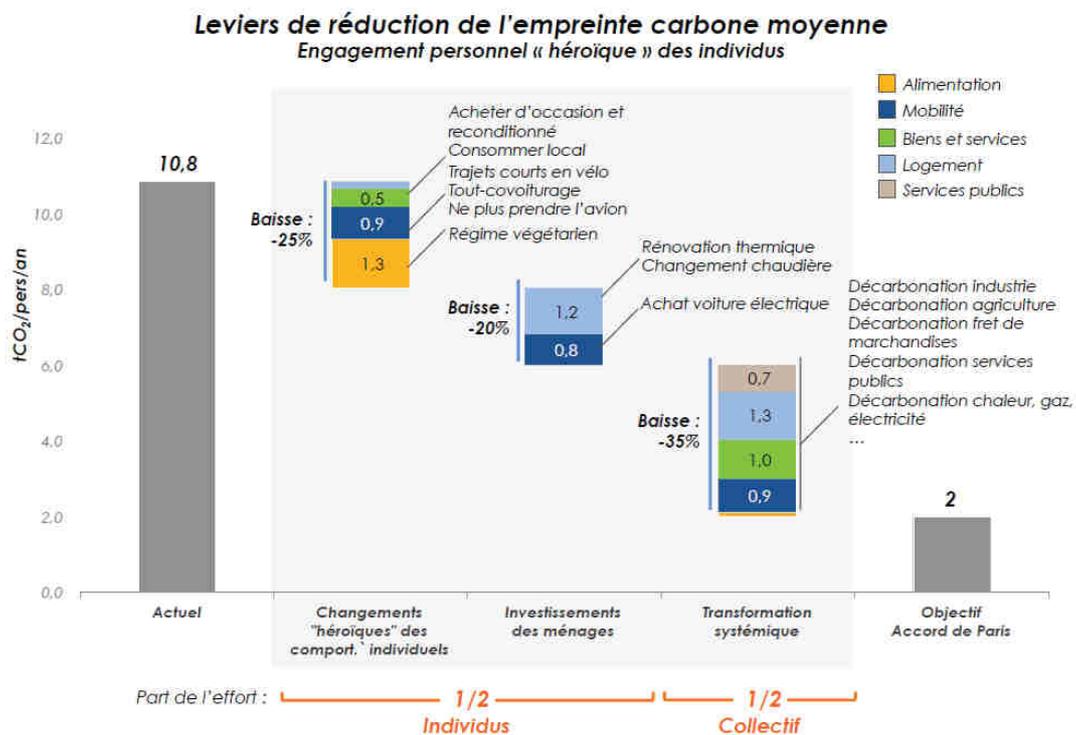
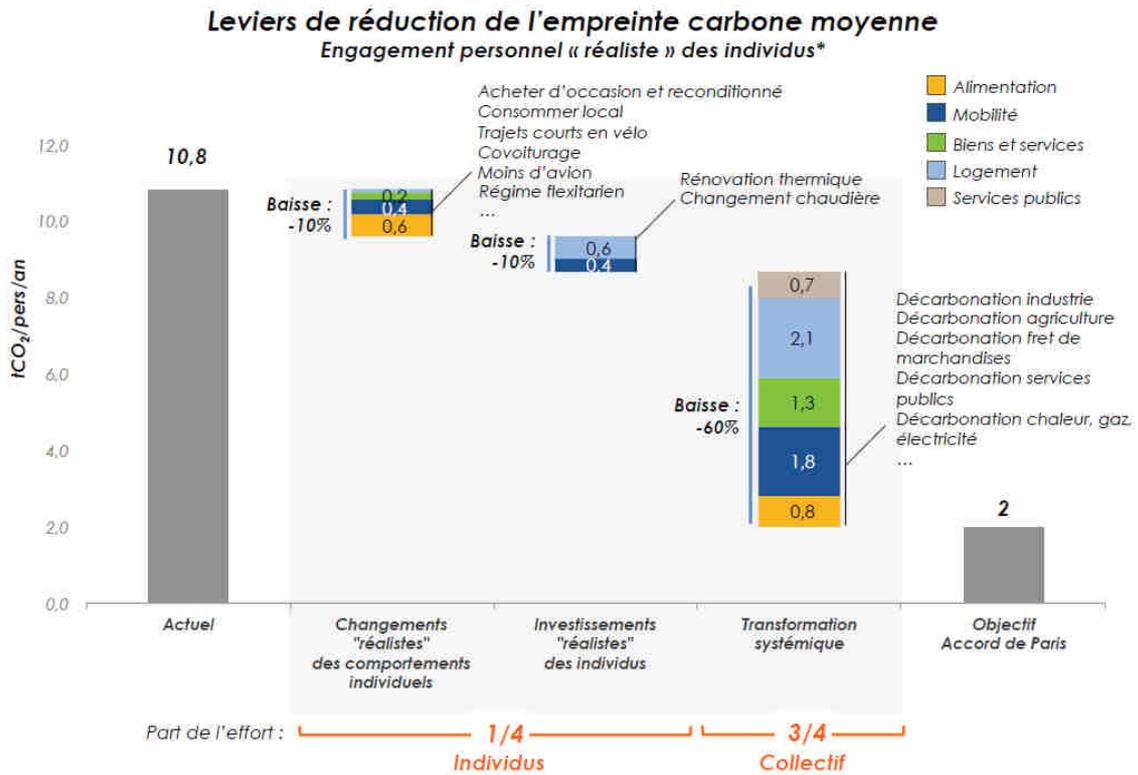


Figure 29- Leviers de réduction de l'empreinte carbone moyenne : parts individuelle et collective

La comparaison des deux graphiques nous permet d'affirmer que l'action climatique individuelle, même « héroïque » est effectivement inefficace pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris si elle n'est pas accompagnée de mesures collectives. Elle permet cependant également d'affirmer qu'il existe une différence significative dans le degré d'engagement individuel : un engagement « héroïque » permettant de réduire la part collective de 25%. Au vu de la nullité des progrès engagés par les décisions politiques, il est nécessaire, d'avoir le courage politique de pousser à un changement sociétal, mais d'autre part également d'intensifier son engagement individuel. Si l'on garde à l'esprit ces éléments et la théorie des points de bascule sociaux à l'esprit, il n'est pas sérieux à l'heure de l'urgence, de qualifier l'action individuelle de dérisoire.

La question qui persiste est celle de la limite entre information motivante et culpabilisation désengageante. Il faut savoir expliquer à une personne qu'elle doit changer ses habitudes et une partie de son confort pour le bien commun. Les dernières polémiques autour de la vaccination, du port du masque ou du confinement en France ne laissent pas envisager beaucoup d'espoir de ce côté-là.

## Intégration dans les objectifs de développement durable et de réduction de la morbi-mortalité

L'action climatique, à l'échelle individuelle ou collective, a de multiples liens avec l'action de prévention pour la santé, individuelle ou collective, et les autres objectifs de développement durable (ODD) déterminés par l'ONU. Ces 17 objectifs ont été fixés en 2015 pour être atteints en 2030 et « sauver le monde » :

- Pas de pauvreté
- Faim « zéro »
- Bonne santé et bien-être
- Education de qualité
- Egalité entre les sexes
- Eau propre et assainissement
- Energie propre et d'un coût abordable

- Travail décent et croissance économique
- Industrie, innovation et infrastructure
- Inégalités réduites
- Villes et communautés durables
- Consommation et production durables
- Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques
- Vie aquatique
- Vie terrestre
- Paix, justice et institutions efficaces
- Partenariats pour la réalisation des objectifs

La réussite de la plupart de ces objectifs et la réduction des émissions de GES et de polluants se conditionnent mutuellement. L'action climatique est une opportunité d'amélioration de la santé globale, de diminution des dépenses publiques, de création d'emplois, de meilleure répartition des ressources, de révision des institutions, de création de partenariats, d'innovation technique et sociétale, de renforcement de la résilience des infrastructures et des individus.

Par ailleurs, les mesures énoncées plus haut et dans le support d'information permettent d'exercer une action sur 7 des 10 premiers facteurs de mortalité mondiale en 2014 (Figure 30).

| Risk factor                                | Deaths (millions) | Percentage of total | Risk factor                              | Deaths (millions) | Percentage of total |
|--|-------------------|---------------------|--|-------------------|---------------------|
| <i>World</i>                               |                   |                     | <i>Low-income countries<sup>a</sup></i>  |                   |                     |
| 1 High blood pressure                      | 7.5               | 12.8                | 1 Childhood underweight                  | 2.0               | 7.8                 |
| 2 Tobacco use                              | 5.1               | 8.7                 | 2 High blood pressure                    | 2.0               | 7.5                 |
| 3 High blood glucose                       | 3.4               | 5.8                 | 3 Unsafe sex                             | 1.7               | 6.6                 |
| 4 Physical inactivity                      | 3.2               | 5.5                 | 4 Unsafe water, sanitation, hygiene      | 1.6               | 6.1                 |
| 5 Overweight and obesity                   | 2.8               | 4.8                 | 5 High blood glucose                     | 1.3               | 4.9                 |
| 6 High cholesterol                         | 2.6               | 4.5                 | 6 Indoor smoke from solid fuels          | 1.3               | 4.8                 |
| 7 Unsafe sex                               | 2.4               | 4.0                 | 7 Tobacco use                            | 1.0               | 3.9                 |
| 8 Alcohol use                              | 2.3               | 3.8                 | 8 Physical inactivity                    | 1.0               | 3.8                 |
| 9 Childhood underweight                    | 2.2               | 3.8                 | 9 Suboptimal breastfeeding               | 1.0               | 3.7                 |
| 10 Indoor smoke from solid fuels           | 2.0               | 3.3                 | 10 High cholesterol                      | 0.9               | 3.4                 |
| <i>Middle-income countries<sup>a</sup></i> |                   |                     | <i>High-income countries<sup>a</sup></i> |                   |                     |
| 1 High blood pressure                      | 4.2               | 17.2                | 1 Tobacco use                            | 1.5               | 17.9                |
| 2 Tobacco use                              | 2.6               | 10.8                | 2 High blood pressure                    | 1.4               | 16.8                |
| 3 Overweight and obesity                   | 1.6               | 6.7                 | 3 Overweight and obesity                 | 0.7               | 8.4                 |
| 4 Physical inactivity                      | 1.6               | 6.6                 | 4 Physical inactivity                    | 0.6               | 7.7                 |
| 5 Alcohol use                              | 1.6               | 6.4                 | 5 High blood glucose                     | 0.6               | 7.0                 |
| 6 High blood glucose                       | 1.5               | 6.3                 | 6 High cholesterol                       | 0.5               | 5.8                 |
| 7 High cholesterol                         | 1.3               | 5.2                 | 7 Low fruit and vegetable intake         | 0.2               | 2.5                 |
| 8 Low fruit and vegetable intake           | 0.9               | 3.9                 | 8 Urban outdoor air pollution            | 0.2               | 2.5                 |
| 9 Indoor smoke from solid fuels            | 0.7               | 2.8                 | 9 Alcohol use                            | 0.1               | 1.6                 |
| 10 Urban outdoor air pollution             | 0.7               | 2.8                 | 10 Occupational risks                    | 0.1               | 1.1                 |

**Figure 30 - Classement des 10 principaux facteurs de risques de mortalité selon stade de développement (OMS, Global Health Risks 2014)**

La pollution de l'air, par exemple, aux sources communes aux GES, provoque 7 millions de morts par an. Le coût économique annuel de ce phénomène est estimé à 5110 milliards de dollars, ou >4% du PIB du pays concerné dans les 15 pays les plus émetteurs. Face à ce constat, les mesures nécessaires à l'atteinte des mesures de Paris auraient un coût d'environ 1% du PIB en moyenne pour chacun de ces pays, et permettraient de sauver 1 million de ces vies par an (5).

## CONCLUSION

Le dérèglement climatique et la pollution de l'air sont deux phénomènes déterminants majeurs de la santé globale, et il devient de plus en plus urgent pour la sauvegarde d'acquis sanitaires et sociaux de s'en saisir.

La santé planétaire est une approche systémique de la santé et de l'écologie, permettant d'établir et d'exploiter les liens entre facteurs d'émissions, facteurs de risque sanitaires actuels et futurs, afin de s'attaquer au plus grand défi du XXI<sup>e</sup> siècle qu'est le changement climatique. C'est le devoir de chaque individu, et plus encore des professionnels de santé de se saisir de ce défi individuellement et collectivement, d'entamer et promouvoir une transition vers des modes de consommation et de production soutenables et de garantir une bonne santé aux humains et au reste de la biosphère dès aujourd'hui.

Les mesures à appliquer à l'échelle individuelle sont fortes d'interactions entre la protection de l'environnement et la prévention des maladies chroniques non-transmissibles : ce sont ces interactions, ou co-bénéfiques, qui ont été exploitées pour la création d'un support d'information à destination primaire des médecins généralistes. L'information et l'éducation de la population sont primordiales à l'initiation des transitions individuelles et collectives, et le médecin généraliste occupe une place privilégiée pour actionner ce levier, en s'aidant de messages forts de prévention.

L'action du professionnel de santé ne se limite pas à l'information et à l'éducation : cabinet durable, éco-prescription, adaptation du système de santé aux crises sanitaires à venir, réduction des inégalités d'accès au soin, formation initiale et continue... Ces sujets ont pu faire ou pourront faire l'objet d'autres travaux de recherche.

Au-delà de la généralisation de mesures individuelles ne sachant suffire, la prise de décisions politiques et économiques ambitieuses et rapides est nécessaire pour garder la main sur la sauvegarde de nos conditions de vie : si nous ne décroissons pas de nous-mêmes dans le cadre

de la lutte contre les impacts environnementaux de notre modèle de société, les contraintes météorologiques et la contraction des ressources devraient s'en charger pour nous plutôt tôt que tard.

VU

Strasbourg, le 16 12 2020

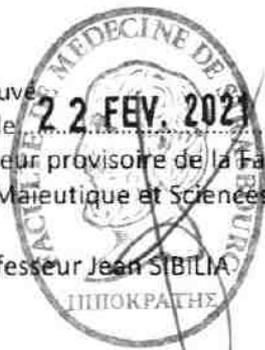
Le président du Jury de Thèse

Professeur Yves HANSMANN



VU et approuvé  
Strasbourg, le 22 FEB. 2021  
Administrateur provisoire de la Faculté de  
Médecine, Maieutique et Sciences de la Santé

Professeur Jean SIBLIA



ΠΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ

| ANNEXES

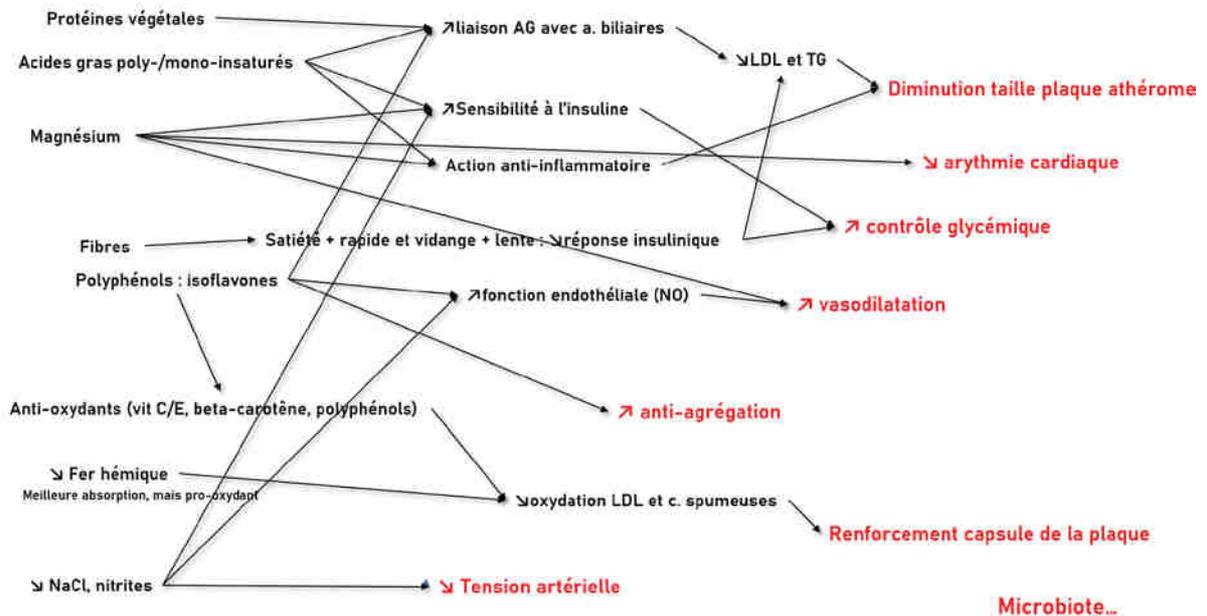
## Annexe 1 – Bénéfices sanitaires de mesures d'atténuation du changement climatiques(5)

| Mitigation activity                                   | Certainty of major effect on short-lived climate pollutants | Aggregate level of potential health benefit | Main health benefits<br>Direct benefits<br>Indirect benefits<br>Ancillary benefits for health   | Potential level of reduction in CO <sub>2</sub> |
|---|---|---|---|---|
| <b>TRANSPORT</b>                                      |   |   |   |   |
| Support for active (and rapid mass) transport         | High  | High  | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather<br>Increased physical activity<br>Reduced noise<br>Fewer road traffic injuries | High  |
| Support for active (and rapid mass) transport         | High  | High  | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather<br>Increased physical activity<br>Reduced noise<br>Fewer road traffic injuries | None  |
| Ultra-low-sulfur diesel with diesel particle filters  | Medium-high   | Medium                                      | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather  | None  |
| Higher standards for vehicle emissions and efficiency | High  | Medium-high                                 | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather  | High  |
| <b>AGRICULTURE</b>                                    |   |   |   |   |
| Alternate wet and dry rice irrigation                 | Medium-high   | Low-medium                                  | Less crop damage and extreme weather<br>Reduced vector-borne disease  | Low   |
| Improved manure management                            | Low-Medium  | Low-Medium                                  | Reduced zoonotic disease  | Low   |
|   | Medium  | Medium                                      | Improved indoor air quality   |   |

| Reduced open burning of agricultural fields  | Medium      | Low-medium                           | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather   | Low                                   |
|--|-------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Promotion of healthy diets low in red meat and processed meats and rich in plant-based foods | High        | High                                 | Less crop damage and extreme weather<br>Reduced obesity and diet-related non-communicable diseases                                     | Medium-high                           |
| Reduced food waste   | Medium-high | Low-medium                           | Less crop damage and extreme weather<br>Reduced food insecurity/<br>undernutrition   | Medium-high                           |
| HOUSEHOLD AIR POLLUTION AND BUILDING DESIGN  |             |                                      |  |                                       |
| Low-emission stoves and/or reducing solid fuel use   | Medium-high | High                                 | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather<br>Less violence and risk of injury during fuel collection<br>Fewer burns | Medium                                |
| Better lighting to replace kerosene lamps  | Medium      | Medium                               | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather<br>Fewer burns  | Low-medium                            |
| Passive design principles  | Low-medium  | Medium                               | Thermal regulation<br>Improved indoor air quality  | Medium                                |
| ENERGY SUPPLY, ELECTRICITY   |             |                                      |  |                                       |
| Switch from fossil fuels to renewable energy for large-scale power production                | Low         | High (coal, oil)<br>Low-medium (gas) | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather<br>Fewer occupational injuries  | High (coal, oil)<br>Medium-high (gas) |

|  |            |             |   |            |
|--|------------|-------------|---|------------|
| Replacement with or supplementation of small-scale diesel generators with renewable energy | Low-medium | Low-medium  | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather<br>Reduced noise                   | Low-medium |
| Control of fugitive emissions from fossil fuel industry                                    | High       | Low         | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather                                    | Low-medium |
| <b>INDUSTRY</b>  |            |             |   |            |
| Improved brick kilns   | Low-medium | Medium      | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather                                    | Low-medium |
| Improved coke ovens  | Low-medium | Medium      | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather                                    | Low-medium |
| Control of fugitive emissions from fossil fuel industry                                    | High       | Low         | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather                                    | Low-medium |
| <b>WASTE MANAGEMENT</b>  |            |             |   |            |
| Landfill gas recovery  | Medium     | Low         | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather                                    | Low-medium |
| Improved wastewater treatment (including sanitation)                                       | Medium     | Medium-high | Improved air quality<br>Less crop damage and extreme weather<br>Reduced infectious disease risk | Low-medium |

## Annexe 2 – Schématisation de la physiopathologie de l'action d'un régime basé sur les plantes sur le risque cardiovasculaire(126,127)



AG = acides gras

TG = triglycérides

NO = monoxyde d'azote endothélial

## Annexe 5 – Support d’information, corps de texte

Une version livret A5 mise en page et illustrée sera éditée et distribuée

# SANTE PLANETAIRE : ENJEUX ET CONSEIL AU PATIENT

Changement climatique

Pollution de l’air

Le médecin généraliste occupe une place privilégiée pour sensibiliser et éduquer la population aux enjeux écologiques, et aux déterminants environnementaux de la santé. Ce guide présente les enjeux sanitaires de deux thèmes majeurs de santé planétaire que sont le changement climatique et la pollution de l’air, et les mesures d’atténuation présentant des co-bénéfices sanitaires pour le patient.

## ENJEUX SANITAIRES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Toutes les populations ne sont pas exposées et vulnérables aux mêmes risques et à un même degré.

Le changement climatique devrait alourdir le bilan de mortalité de plusieurs centaines de milliers de morts, bien qu’estimer un chiffre exact s’avère compliqué.

Dans le monde, la sous-nutrition et la malnutrition entretenues par une diminution de la productivité, de la qualité et de la diversité alimentaire, et la difficulté d’accès à l’eau potable sont à l’origine du plus grand nombre de décès (3 millions d’enfants <5 ans par an en 2011, +85 000 en 2050), sans compter les retards de croissance. Le GIEC estime le risque de pénurie alimentaire très haut pour un réchauffement de +2°C en 2100. Trajectoire actuelle : environ +4°C en 2100.

Dans les pays développés comme la France, le risque le plus important est posé par le stress thermique, qui provoque hyperthermie, déshydratation et insuffisance rénale, décompensation cardiaque ou respiratoire, IDM, AVC. La canicule de 2003 avait fait 20 000 morts en France ; le GIEC prévoit une occurrence annuelle de ce genre d’épisodes. D’ici 2100, >3 milliards de personnes âgées seront exposées à des vagues de chaleur mortelles. Dans les deux dernières décennies, le nombre de décès dus à la chaleur a augmenté de 54% (300 000 décès en 2018).

Le changement climatique partage des causes ou exerce un rôle sur la propagation de maladies infectieuses. La répartition des zones de transmission de maladies vectorielles (paludisme, dengue, fièvre jaune...) se modifie, et la France devrait voir un quart de son

territoire au-dessus du seuil de transmission de la dengue >3 mois de l'année d'ici 2040-2070. Les diarrhées infectieuses, première cause de malnutrition, sont favorisées par la raréfaction de l'eau potable. Les zoonoses, dont l'émergence et la propagation sont liées à l'élevage, la déforestation, les atteintes à la biodiversité et les transports internationaux.

La pollution de l'air partage des causes avec le changement climatique : combustion d'énergies fossiles et agriculture principalement. Elle est également intensifiée par la hausse des températures : hausse de la concentration d'ozone troposphérique, particules fines provenant d'incendies et de tempêtes de sable.

Le changement climatique provoque des risques physiques pour la santé et la sécurité des populations humaines. Inondations, tempêtes, incendies, glissement de terrain sont à l'origine d'accidents et d'un appauvrissement majeur et de déplacement massifs de population, ce qui entraîne une augmentation des risques de propagation de maladies infectieuses, l'apparition de troubles mentaux et l'exacerbation de conflits violents.

## ENJEUX SANITAIRES DE LA POLLUTION DE L'AIR

La pollution de l'air provoque le décès de 7 millions de personne par an dans le monde (48 000 en France) : c'est une des premières causes évitables de mortalité. Particules fines et ultra-fines (PM) et les substances qu'elles véhiculent (HAP, pesticides...), oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), monoxyde de carbone (CO), composés organiques volatiles (COVs) sont à l'origine d'une mortalité majoritairement liée aux AVC (35%), cardiopathies ischémiques (30%), BPCO (17%), cancers pulmonaires (9%) et infections des voies aériennes inférieures (9%). Au-delà de la mortalité cardio-respiratoire, elle cause l'apparition et l'exacerbation de troubles ventilatoires obstructifs (asthme et BPCO), insuffisance et arythmie cardiaques, hypertension artérielle et athéromatose.

La pollution de l'air présente également des risques pour la femme enceinte et le fœtus : HTA gravidique et pré-éclampsie, petit poids de naissance, prématurité et avortement spontané, malformations artérielles et digestives, asthme et dermatite atopique chez l'enfant après exposition *in utero*.

Certains polluants de l'air auraient un effet sur le système nerveux central : maladies neurodégénératives, troubles du spectre autistique et retard mental.

Un certain nombre de substances véhiculées par les particules fines ont un effet perturbateur endocrinien, favorisant entre autres le développement d'un diabète de type 2. Les particules fines pourraient également jouer le rôle de vecteur pour la transmission et la propagation de maladies infectieuses.

## CONSEILS

### Alimentation : place au règne végétal

#### **Diminuer la consommation de produits d'origine animale (viande, poisson, produits laitiers et oeufs), végétaliser son alimentation**

Est la mesure individuelle la plus significative pour l'environnement : permet de réduire les émissions de GES, la pollution des eaux et de l'air, la dégradation des sols et la déforestation, et de ralentir la progression de l'antibiorésistance.

Diminue les risques de propagation d'épidémies de zoonoses

Diminue le risque cardiovasculaire, de cancer de toutes causes, de diabète et d'obésité indépendamment.

La meilleure performance sur ces réductions sont atteintes par un régime végétalien (exclusion de tout produits d'origine animale) :

Le régime végétalien réduirait le risque de diabète de type 2 de 62% et le risque de coronaropathie de 57%, de cancer de toutes causes de 18%.

Une globalisation permettrait la réduction des émissions anthropiques de 28-49% ou une recapture de jusqu'à 772 GtCO<sub>2</sub> en 30 ans.

Un régime végétalien est jugé viable à tous les âges de la vie et à toutes les étapes du développement<sup>4243</sup>, du moment qu'il est suffisamment varié, et que l'on suit une complémentation orale en vitamine B12<sup>44</sup>. Une attention particulière doit être portée aux apports en fer, iode, calcium.

Site d'aide à l'accompagnement nutritionnel : <https://vegecliv.com/>

Le choix du type de nourriture consommée importe beaucoup plus que son origine ou son mode de production.

#### **Manger des aliments d'origine locale, et de saison**

Limite les émissions de GES et la consommation d'énergie.

Pour certains aliments, mieux vaut importer que manger local (aliments hors-saison).

Pour les produits les plus intenses en carbone, la part du transport dans l'empreinte totale est très négligeable (produits d'origine animale).

#### **Manger bio**

Limite l'exposition aux perturbateurs endocriniens (pesticides) et préserve les écosystèmes, en tout cas plus que l'agriculture conventionnelle.

Limite l'utilisation d'engrais synthétiques émettant du protoxyde d'azote (gaz à effet de serre).

Les labels bio n'ont pas tous les mêmes critères, attention aux pièges marketing,



Labels alimentaires institutionnels : Français Européen

<sup>42</sup> American Dietetics Association <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19562864/>

<sup>43</sup> Academy of Nutrition and Dietetics <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27886704/>

<sup>44</sup> Recommandations nutritionnelles véganes [https://www.federationvegane.fr/wp-content/uploads/2017/10/Flyer\\_nutrition\\_A5\\_02\\_LR.pdf](https://www.federationvegane.fr/wp-content/uploads/2017/10/Flyer_nutrition_A5_02_LR.pdf)



Labels alimentaires non institutionnels :

### **Préparer soi-même, éviter plats tout faits et produits transformés**

Ces plats sont trop riches en sel

La viande transformée est un cancérigène certain pour l'humain.

Ils émettent plus de GES car le circuit producteur-consommateur est plus long

Ils exposent le consommateur à des cancérigènes et des perturbateurs endocriniens (emballages et procédés industriels).

### **Limiter le gaspillage alimentaire**<sup>45 46</sup> (en France, on jette 30kg/personne/an)

Faire des courses raisonnables, en fonction des repas prévus (une planification alimentaire peut être bénéfique dans la prise en charge du diabète ou de l'obésité)

Attention à la signification des dates de péremption

DLC (date limite de consommation) = "à consommer jusqu'au" = risque d'intoxication si date dépassée.

DDM (date de durabilité minimale) = "de préférence avant le" = perte de qualités nutritive et/ou gustative, mais peut être consommé.

Conserver les aliments à température adéquate, selon les étages du réfrigérateur (généralement détails dans la notice)

Préparer la bonne quantité, cuisiner les restes

## **Transports : électricité et sobriété**

**Favoriser la marche ou le vélo** pour les trajets courts (3-10km) : sobriété carbone et activité physique

Un cycliste inhale moins de polluants qu'un automobiliste, même s'il réalise un effort physique !

**Habiter près de son lieu de travail** et favoriser le télétravail, permettent de raccourcir les trajets les plus fréquents et d'augmenter significativement la part de trajets effectués à pied ou à vélo

Le **déplacement actif** (marche, vélo)

Réduit le risque **cardiovasculaire**, le risque de **diabète** et **d'obésité**, de **cardiopathie ischémique**, de **maladie cérébro-vasculaire**, de **dépression**, de **démence**, de **cancer du côlon** et du **sein**

Réduit les émissions individuelles de polluants de l'air et de gaz à effet de serre

Réduit l'exposition à la **pollution de l'air** dans le trafic routier, et diminue ainsi les risques cardiovasculaires, de cancer, d'asthme et de BPCO, d'infections respiratoires

Réduit l'exposition à la **pollution sonore**, et diminue ainsi encore le risque cardiovasculaire, les risques de troubles de l'audition, de trouble du sommeil et de troubles cognitifs chez l'enfant

Favorise le **lien social** et le bien-être physique et mental

<sup>45</sup>ADEME <https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/alimentation/eviter-gaspillage-alimentaire>

<sup>46</sup>ADEME <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-manger-mieux-gaspiller-moins.pdf>

Pour les trajets moyens, **préférer les transports en commun** au véhicule individuel  
Si l'utilisation d'un véhicule individuel est indispensable, exercer une "**conduite écologique**", planifier ses déplacements et augmenter le taux d'occupation (**covoiturage**), pratiquer **l'autopartage**

Si l'achat d'une voiture est nécessaire, choisir un **modèle à faibles émissions**<sup>47 48</sup> le plus récent possible, et à la meilleure étiquette énergie. Pour les véhicules d'occasion, choisir Crit'Air 1.

En France, la **voiture électrique** émet le moins de GES sur son cycle de vie entier qu'une voiture thermique (aides financières).

Pour les trajets longs, **remplacer l'avion par le train**, et oublier les destinations non-couvertes par le transport en train (pour les déplacements professionnels, plaider pour l'utilisation des télécommunications)

## Logement : rénovation thermique, étiquette énergie, filtration et ventilation

Dans la maison ou l'appartement, agir pour réduire sa consommation d'énergie et préserver son air intérieur : pour limiter l'asthme, la BPCO, les allergies, le cancer.

### Consommation d'énergie

**Choisir un fournisseur d'énergie renouvelable** voire installer des panneaux photovoltaïques (aides financières)

Choisir des **appareils électroménagers de classe énergétique la plus intéressante** (A+++ consomme entre 20% et 50% de moins que A+) et avec un bon indice de réparabilité, penser à éteindre ceux qu'on n'utilise pas.

**Utiliser des LEDs** consomme 10 fois moins d'énergie que des ampoules basse consommation, pour une durée d'utilisation de 40 000h

**Dégivrer son congélateur** permet d'éviter une surconsommation d'énergie qui peut aller jusqu'à 30%

### Chauffage

Procéder à la **rénovation thermique** de son logement grâce à des aides financières aux propriétaires ou locataires<sup>49 50</sup>

**Système de chauffage** : privilégier les **énergies renouvelables** (solaire thermique, pompes à chaleur géothermique et aérothermique, chaleur de récupération) puis les réseaux de

<sup>47</sup> <http://carlabelling.ademe.fr/>

<sup>48</sup> [www.jechangemavoiture.gouv.fr](http://www.jechangemavoiture.gouv.fr)

<sup>49</sup> <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-aides-financieres-renovation-habitat-2020.pdf>

<sup>50</sup> <http://renovation-info-service.gouv.fr/>

chaleur, puis les chaudières à bois/granulés, puis les systèmes électriques ou au biogaz, éviter les combustibles fossiles (fioul, charbon)

**Si chauffage au bois nécessaire**<sup>51</sup> : pour limiter la pollution de l'air intérieur et extérieur privilégier un insert / poêle / foyer fermé avec label Flamme Verte 7🌿, entretenu annuellement, pratiquer l'allumage inversé

Renouveler son équipement si **appareil datant d'avant 2002** (aides financières)

Utiliser du bois feuillu dense, sec, sans champignons, non souillé ni peint ou vernis, certifié

Une après-midi de chauffage au bois dans un foyer ouvert est l'équivalent d'un aller-retour Paris-Marseille dans une voiture diesel.

**Chauffer entre 19°C et 21°C** la journée dans les pièces occupées, 17°C la nuit et dans les pièces non occupées la journée, régler le chauffe-eau entre 55°C et 60°C

**Gestion des déchets** : valorisation et réduction. Limite la pollution de l'air par les incinérateurs, et la pollution plastique

**Eviter produits jetables**, privilégier réutilisable/rechargeable au recyclable, acheter les consommables en vrac.

**Economie circulaire** : acheter et vendre d'occasion, donner, réparer ce qui peut l'être. Respecter les **consignes de tri**<sup>52</sup>, amener à la déchetterie les déchets dangereux ou encombrants. Piles, ampoules et appareils électriques dans les bacs de collecte spécifiques.

**Jardinage raisonné** pour limiter la pollution de l'air

**Limiter les déchets, et ne pas les brûler** à l'air libre, mais plutôt les utiliser pour le compost ou le paillage, ou les valoriser en déchetterie.

**Limiter l'utilisation de produits phytosanitaires** (engrais, pesticides) grâce à la permaculture (paillage, associations de plantes...), aux engrais naturels (compost), planter des espèces résistantes à la sécheresse.

**Ventilation par VMC** : l'idéal est la **VMC double flux** qui permet un échange thermique avec préchauffage ou rafraîchissement de l'air entrant

Diminution des besoins de chauffage/clim

Possibilité de filtration de l'air entrant (particules et pollen) avec filtres HEPA.

Nettoyer une fois par trimestre et ne pas boucher les entrées d'air et bouches d'extraction.

**Aérer le logement pendant 10-15 minutes chaque jour, tôt le matin et tard le soir** (avec le débit maximal de la VMC ou des fenêtres ne donnant pas sur un axe routier), plutôt en milieu de journée si pic de pollution aux particules

+ selon l'activité (bricolage, aspirateur, cuisine, douche/bain, utilisation de produits d'entretien...)

Maintenir un **taux d'humidité à 40-60%** (l'air est insuffisamment renouvelé si de la condensation apparaît sur les fenêtres)

**Purificateurs d'air** portables : efficacité variable selon la pollution ambiante locale, la taille et l'étanchéité de la pièce, peuvent réduire de 50-85% la concentration en PM<sub>2,5</sub> de l'air intérieur

---

<sup>51</sup> <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-chauffage-au-bois-mode-emploi.pdf>

<sup>52</sup> <https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/dechets/bien-jeter/faire-dechets>

Réduire les **autres sources** de pollution de l'air intérieur :

Ne pas utiliser de **bougies parfumées/encens/diffuseurs**

Ne pas fumer de **tabac** à l'intérieur

**Produits de construction et décoration** : classe A+, limite COVs dans l'air intérieur.



Privilégier produits avec logos environnementaux (Ecolabel européen



Ecolabel nordique , Ange bleu )

Limiter l'utilisation de **produits d'entretien** : préférer vinaigre blanc et bicarbonate de soude, nettoyage à la vapeur ou à l'eau très chaude avec chiffon en microfibres (penser à bien aérer)

Eviter **tapis et moquettes**, où stagnent les poussières et prolifèrent les acariens

**Construction** : privilégier les matériaux locaux dans la mesure du possible (limite transports)

## Cabinet durable : conseils supplémentaires pour le MG

Conseils adaptés de la thèse de la Dr. Julie Legrand<sup>53</sup>

### Locaux et énergie :

Détecteurs de présence dans les communs, piles rechargeables, multiprises avec interrupteur pour faciliter l'extinction des appareils non-utilisés

Thermostat 21-23°C en salle de consultation, 19-21°C dans les communs

Matériel informatique multi-fonctions (imprimante/scanner) et mutualisé au sein d'une structure

Tri sélectif dans les bureaux et la salle d'attente

Affiches de sensibilisation en salle d'attente

### Matériel :

Achats en gros mutualisés, livraisons groupées, éviter suremballage, favoriser fournisseurs aux valeurs durables et/ou en discuter avec eux

---

<sup>53</sup> <http://santedurable.net>

Privilégier la dématérialisation (formulaires, résultats d'analyses...), impressions recto-verso, réutiliser les enveloppes papier recyclé

Réduire les consommables uniques : désinfection/stérilisation, réutilisation

Papier d'examen : privilégier nettoyage microfibre/vapeur/produit labellisé quand c'est nécessaire, ou drap réutilisable

Eviter l'utilisation de vaisselle et capsules de café/thé jetables

Refuser les visiteurs médicaux et leurs goodies/emballages inutiles

Cadeaux enfants : préférer coloriages/fruits/etc. aux ballons de baudruche

### **Prescriptions**

Prescription raisonnée basée sur les preuves

Réfléchir avec les pharmaciens sur choix des fournisseurs, cycle de vie des médicaments

Prise en compte de l'indice PBT<sup>54</sup>

Privilégier une prévention de qualité pour limiter la nécessité de thérapeutiques médicamenteuses

### **Transports :**

Proposer la prise en charge intégrale des abonnements de transports en commun pour les salariés

Regrouper les visites, covoiturer

Réfléchir au mode de transport en fonction de l'implantation et du mode d'exercice

Inciter patients/collègues aux déplacements sobres : douches sur place, parking vélos/prises de recharge véhicules électriques

---

<sup>54</sup> Persistance, Bioaccumulation et Toxicité : <https://politiquedesante.fr/wp-content/uploads/2014/05/PBT-2014-2015-copie.pdf>

## Pour se protéger de la pollution de l'air extérieur

### Sur la route :

Choisir un véhicule étanche équipé de filtres HEPA, à remplacer régulièrement

Garder les fenêtres fermées lors de la conduite dans une zone polluée/trafic dense, utiliser le renouvellement de l'air sauf dans les tunnels

**Protection respiratoire individuelle** : les masques N95/FFP2 sont intéressants pour la protection contre les PM10 et PM2.5, mais ne filtrent pas les particules ultrafines et polluants gazeux. Les masques FFP3, plus efficaces, opposent une résistance inspiratoire plus importante : contre-indiqués pour les insuffisants respiratoires, ils sont peu adaptés pour activité physique (vélo, course). Certaines marques ajoutent un filtre à charbon actif pour filtrer les gaz tels que NOx, SO2.

Attention à l'usure des masques et à leur bonne utilisation (entretien, morphologie du visage, pilosité faciale). Malgré quelques études démontrant un potentiel bénéfique sur le risque cardiovasculaire, ces protections ne sont actuellement pas recommandées par l'ANSES, faute de données suffisantes).

## Pics de pollution<sup>55</sup>

conseils adaptés de la thèse du Dr. Pierre-Antoine Bouchard

**Activité physique en extérieur** : Eviter le long des axes routiers à forte circulation, lors des heures les moins polluées (milieu de journée). Déplacer les compétitions dans la mesure du possible.

**Symptômes** : En cas de gêne respiratoire ou cardiaque, prenez conseil auprès d'un professionnel de santé. Vigilance accrue des patients avec pathologies chroniques.

**Établissements scolaires** : Pour les enfants connus comme étant sensibles ou qui présenteraient une gêne à cette occasion, privilégiez les activités calmes. Signaler l'asthme aux structures d'accueil pour mise en place PAI<sup>56</sup>.

**Limiter les irritants** supplémentaires : tabac, solvants à l'intérieur, chauffage au bois, exposition aux pollens, brûlis de déchets verts...

Sorties des **nourrissons** : peuvent être maintenues, mais les limiter dans la durée à proximité des sources majeures de pollution (grands axes routiers), favoriser les heures les moins polluées (milieu de journée)

Aération logement : idem

---

<sup>55</sup> Surveillance ATMO : <https://atmo-france.org/la-qualite-de-lair-dans-votre-region>

<sup>56</sup> Projet d'Accueil Individualisé

## Pour en savoir plus

Toutes les informations contenues dans ce document proviennent des résultats d'une revue de la littérature effectuée pour une thèse de médecine générale consultable en ligne.

La thèse :  
bit.ly/PERdu42

Les sources :

Un code QR sera ajouté après la  
publication officielle de la thèse  
en ligne



## Conseils globaux et analyses :

BonPote, The Shift Project, Carbone 4, Carbonbrief  
Guides ADEME  
Application guide WWF  
Petits guides de l'ASEF

## Calculateurs empreinte carbone individuelle

ADEME : <http://ecolab.ademe.fr/apps/climat>  
Avenir pour le Climat (MicMac) <http://avenirclimatique.org/micmac/simulationCarbone.php>  
Calculateur empreinte alimentation  
<https://bonpourleclimat.eco2initiative.com/>  
Calculateur empreinte transports  
<https://ecolab.ademe.fr/transport>  
Comparateur empreinte véhicules  
<http://carlabelling.ademe.fr/>

## Alimentation

Informations scientifiques nutrition végétale  
[https://medlineplus.gov/vegetariandiet.html#cat\\_27](https://medlineplus.gov/vegetariandiet.html#cat_27)  
Ressources nutrition végétale  
<https://vegeclac.com/>  
<https://vegan-pratique.fr/conseils-nutrition-vegetalienne/>  
<https://www.federationvegane.fr/>  
<https://www.vegetarisme.fr/sante/documentation-nutrition/>  
Informations impacts de l'élevage  
<https://www.viande.info/>  
Eviter le gaspillage alimentaire  
<https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/alimentation/eviter-gaspillage-alimentaire>  
Manger mieux, gaspiller moins : guide ADEME  
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-manger-mieux-gaspiller-moins.pdf>

## Aides financières

Guide ADEME :

<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-aides-financieres-renovation-habitat-2020.pdf>

Numéro vert : 0 808 800 700 (service gratuit + prix d'un appel)

<http://renovation-info-service.gouv.fr/>

Aides pour l'achat d'une voiture plus propre

[www.jechangemavoiture.gouv.fr](http://www.jechangemavoiture.gouv.fr)

## Surveillance qualité de l'air

<https://www.lcsqa.org/fr/vigilance-atmospherique>

Carte : [www2.prevoir.org](http://www2.prevoir.org)

Répertoires des AASQA <https://atmo-france.org/la-qualite-de-lair-dans-votre-region>

Air intérieur : <https://www.oqai.fr/fr>

## Santé Planétaire

Gérer son cabinet de façon durable (Dr Julie Legrand)

<http://santedurable.net>

HealthCare Without Harm

<https://noharm.org/>

Planetary Health Alliance

<http://www.planetaryhealthalliance.org/planetary-health>

Lancet Planetary Health, Lancet Countdown on Health and Climate change

<https://www.lancetcountdown.org/>

Indice PBT (toxicité et bioaccumulation des produits de santé) :

<https://politiquedesante.fr/wp-content/uploads/2014/05/PBT-2014-2015-copie.pdf>

Un exemple de projet de santé territorial

<http://sesoignersanspolluer.com/>

Green Impact for Health Toolkit : <https://www.greenerpractice.co.uk>

Emergency on Planet Earth, Dr Emily Grossman avec l'appui de la communauté XR Scientists.

<https://docs.google.com/document/d/1QdWn7PCDqNUQvzmPaJPMEYqsXKAVcuE0MPxcjVdaKjw>

Planetary Health : Protecting Nature to Protect Ourselves de Samuel Myers

Health of People, Health of Planet and Our Responsibility de Wael K. Al-Delaimy, Veerabhadran Ramanathan, Marcelo Sánchez Sorondo

Changements climatiques et santé : Prévenir, soigner et s'adapter. Livre de Diane Bélanger, Pierre Gosselin, Ray Bustinza, Céline Campagna

## Annexe 6 – Serment pour la Santé Planétaire à l'ère de l'Anthropocène

Publié le 7 novembre 2020 dans le *Lancet* par Katharina-Jacqueline Wabnitz

En cours de traduction officielle par l'Alliance Santé Planétaire France

I solemnly pledge to dedicate my life to the service of humanity, and to the protection of natural systems on which human health depends.

The health of people, their communities, and the planet will be my first consideration and I will maintain the utmost respect for human life, as well as reverence for the diversity of life on Earth.

I will practise my profession with conscience and dignity and in accordance with good practice, taking into account planetary health values and principles.

To do no harm, I will respect the autonomy and dignity of all persons in adopting an approach to maintaining and creating health which focuses on prevention of harm to people and planet.

I will respect and honour the trust that is placed in me and leverage this trust to promote knowledge, values, and behaviours that support the health of humans and the planet.

I will actively strive to understand the impact that direct, unconscious, and structural bias may have on my patients, communities, and the planet, and for cultural self-awareness in my duty to serve.

I will advocate for equity and justice by actively addressing environmental, social, and structural determinants of health while protecting the natural systems that underpin a viable planet for future generations.

I will acknowledge and respect diverse sources of knowledge and knowing regarding individual, community, and planetary health such as from Indigenous traditional knowledge

systems while challenging attempts at spreading disinformation that can undermine planetary health.

I will share and expand my knowledge for the benefit of society and the planet; I will also actively promote transdisciplinary, inclusive action to achieve individual, community, and planetary health.

I will attend to my own health, wellbeing, and abilities in order to provide care and serve the community to the highest standards.

I will strive to be a role model for my patients and society by embodying planetary health principles in my own life, acknowledging that this requires maintaining the vitality of our common home.

I will not use my knowledge to violate human rights and civil liberties, even under threat; recognising that the human right to health necessitates maintaining planetary health.

I make these promises solemnly, freely, and upon my honour. By taking this pledge, I am committing to a vision of personal, community, and planetary health that will enable the diversity of life on our planet to thrive now and in the future.

## TRADUCTION FRANÇAISE OFFICIELLE

Je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité, ainsi qu'à la protection des systèmes naturels dont dépend la santé humaine.

Je ferai de la santé des individus, de leurs communautés et de la planète ma priorité et je m'engage à montrer le plus grand respect pour la vie humaine et la diversité de la vie sur terre.

J'exercerai ma profession avec conscience et dignité, conformément aux bonnes pratiques et en tenant compte des valeurs et des principes de la santé planétaire.

Afin de ne pas nuire, je respecterai l'autonomie et la dignité de toutes les personnes, en adoptant une approche visant à maintenir et améliorer la santé, grâce à la prévention des préjudices portés aux individus et à la planète.

Je respecterai et j'honorerai la confiance qui m'est accordée, et j'emploierai cette confiance à promouvoir les connaissances, les valeurs et les comportements qui sont favorables à la santé humaine et planétaire.

Je mettrai tout en œuvre pour comprendre le rôle que mes croyances personnelles (conscientes et inconscientes), ainsi que les biais structurels peuvent jouer dans mes interactions avec les patient·es, les communautés et la planète; Je m'engage à mieux considérer les influences culturelles dans le cadre de mon devoir de service envers la communauté.

Je militerai en faveur de l'équité et de la justice en me préoccupant concrètement des déterminants environnementaux, sociaux et structurels de la santé, tout en protégeant les systèmes naturels qui favorisent la viabilité de la planète pour les générations à venir.

Je reconnaitrai et respecterai diverses sources de connaissances et de savoirs relatifs à la santé individuelle, communautaire et planétaire, telles que les systèmes de connaissances

traditionnels autochtones, tout en m'opposant aux tentatives de désinformation qui peuvent affaiblir la santé planétaire.

Je partagerai et élargirai mes connaissances dans l'intérêt de la société et de la planète ; je participerai activement aux actions transdisciplinaires et inclusives pour améliorer la santé individuelle, communautaire et planétaire.

Je veillerai à ma propre santé, mon bien-être et mes capacités afin de prendre soin du mieux possible de ma communauté.

Je m'efforcerai d'être un modèle pour mes patient·es et la société en incarnant les principes de la santé planétaire dans ma propre vie, et en reconnaissant que cela nécessite de maintenir la viabilité de notre maison commune.

Je n'utiliserai pas mes connaissances dans le but de porter atteinte aux droits humains et aux libertés civiles, même sous la menace ; je reconnais que le droit fondamental à la santé nécessite la sauvegarde de la santé planétaire.

Je prends ces engagements solennellement, librement et sur mon honneur. Par ce serment, j'adhère à une vision de la santé à la fois individuelle, communautaire et planétaire qui permettra à la diversité de la vie sur notre planète de prospérer aujourd'hui et à l'avenir.

Traducteurs :

Isabelle Thibaudière, traductrice assermentée

Alexandre Robert, infirmier et spécialiste en santé globale

Eva Decotte, médecine générale

Pearl Anne Ante-Testard, infirmière et doctorante santé publique

Mélanie Popoff, médecin rééducatrice

Benoît Blaes, médecin généraliste

Claudiel Pétrin-Desrosiers, médecine familiale (Québec)

## BIBLIOGRAPHIE

1. World Organisation of Family Doctors. Declaration Calling for Family Doctors of the World To Act on Planetary Health Declaration Calling for Family Doctors of the World. 2019 [cited 2020 Mar 4];1–10. Available from: [www.planetaryhealthalliance.org/clinicians](http://www.planetaryhealthalliance.org/clinicians).
2. Legrand J. Prise en compte du développement durable dans les cabinets de médecine générale : une thèse qualitative [Internet]. Université Paris Diderot - Paris VII; 2018 [cited 2020 Mar 4]. Available from: <https://drive.google.com/file/d/1e7Wxt0dX5FqlvImDzwh-SxQOrwtqwOhU/view>
3. Ménard C, Léon, Tarik Benmarhnia C. Médecins généralistes et santé environnement.
4. Haines A, Dora C. How the low carbon economy can improve health. [Internet]. Vol. 344, BMJ (Clinical research ed.). 2012 [cited 2020 Mar 4]. p. e1018. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22431656>
5. World Health Organization. COP24 Special report: Health and Climate Change [Internet]. 2018 [cited 2020 Mar 4]. Available from: <https://www.who.int/globalchange/publications/COP24-report-health-climate-change/en/>
6. Pachauri RK, Meyer L. Changements climatiques 2014 Rapport de synthèse [Internet]. [cited 2020 Mar 4]. Available from: <http://www.ipcc.ch>.
7. Bouchard P-A. Conseils à donner en période de pics de pollution atmosphérique : 20 messages clefs à destination des patients. Établis par un consensus d'experts. Université de Rouen-Normandie; 2019.
8. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H-O, Roberts D, Skea J, Shukla PR, et al. IPCC - Global warming of 1.5°C [Internet]. 2019 [cited 2020 Mar 4]. Available from: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>
9. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H-O, Roberts D, Skea J, Calvo E, et al. Climate Change and Land [Internet]. 2019 [cited 2020 Mar 4]. Available from: <https://www.ipcc.ch/srccl/download/>
10. Pörtner H-O, Roberts DC, Alegría A, Nicolai M, Okem A, Petzold J, et al. The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Internet]. 2019 [cited 2020 Mar 4]. Available from: <https://www.ipcc.ch/srocc/download/>
11. ADEME. CLIMAT, AIR ET ENERGIE. Chiffres-Clés [Internet]. 2015 [cited 2020 Mar 4]. Available from: [https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/2018-climat-air-energie\\_chiffres-cles-010354.pdf](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/2018-climat-air-energie_chiffres-cles-010354.pdf)
12. Tilman D, Clark M. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*. 2014 Nov 27;515(7528):518–22.
13. Sandström V, Valin H, Krisztin T, Havlík P, Herrero M, Kastner T. The role of trade in the greenhouse gas footprints of EU diets. *Glob Food Sec* [Internet]. 2018 Dec 1 [cited 2020 Sep 30];19:48–55. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211912418300361>
14. Nelson ME, Hamm MW, Hu FB, Abrams SA, Griffin TS. Alignment of Healthy Dietary Patterns and Environmental Sustainability: A Systematic Review. *Adv Nutr An Int Rev J* [Internet]. 2016 Nov [cited 2020 Mar 6];7(6):1005–25. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28140320>
15. Godfray HCJ, Aveyard P, Garnett T, Hall JW, Key TJ, Lorimer J, et al. Meat consumption, health, and the environment. Vol. 361, *Science* (New York, N.Y.). 2018.
16. Clune S, Crossin E, Verghese K. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *J Clean Prod*. 2017 Jan 1;140:766–83.
17. Poore J, Nemecek T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* (80- ). 2018 Jun 1;360(6392):987–92.

18. Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, et al. Tackling Climate Change Through Livestock [Internet]. 2013 [cited 2020 Mar 6]. Available from: [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)
19. Baroni L, Cenci L, Tettamanti M, Berati M. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. *Eur J Clin Nutr* [Internet]. 2007 Feb [cited 2020 Mar 6];61(2):279–86. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17035955>
20. Lee DS, Fahey DW, Forster PM, Newton PJ, Wit RCN, Lim LL, et al. Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmos Environ* [Internet]. [cited 2020 Mar 7];43:3520–37. Available from: <http://www.airlines.org/economics/traffic/World>
21. Louis CA, Bouvet C, Martin G, Boucherand S. Climat : pouvons-nous (encore) prendre l'avion ? Analyse et modélisation de l'impact climatique du transport aérien actuel et à venir en France [Internet]. 2020 [cited 2020 Aug 4]. Available from: [www.bl-evolution.com](http://www.bl-evolution.com)
22. Huebner GM, Hamilton I, Chalabi Z, Shipworth D, Oreszczyn T. Explaining domestic energy consumption - The comparative contribution of building factors, socio-demographics, behaviours and attitudes. *Appl Energy*. 2015 Dec 1;159:589–600.
23. CITEPA. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques Bilan des émissions en France [Internet]. 1990 [cited 2020 Mar 10]. Available from: <https://www.citepa.org/fr/secten/>
24. Bador M, Terray L, Somot S, Alias A, Gibelin A-L, Dubuisson B. European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environ Res Lett* [Internet]. 2017 [cited 2020 Sep 25]; Available from: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa751c>
25. Bar-On YM, Phillips R, Milo R. The biomass distribution on Earth. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2018 Jun 19;115(25):6506–11.
26. WHO - Simon Hales SKSLDC-L. Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s [Internet]. 2014 [cited 2020 Mar 6]. 1–128 p. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/134014>
27. Nelson GC, Rosegrant MW, Koo J, Robertson R, Sulser T, Zhu T, et al. Climate Change : Impact on Agriculture and Costs of Adaptation [Internet]. 2009 [cited 2020 Mar 6]. Available from: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/rome2007/docs/Impact\\_on\\_Agriculture\\_and\\_Costs\\_of\\_Adaptation.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rome2007/docs/Impact_on_Agriculture_and_Costs_of_Adaptation.pdf)
28. Zhou XN, Yang GJ, Yang K, Wang XH, Hong QB, Sun LP, et al. Potential impact of climate change on schistosomiasis transmission in China. *Am J Trop Med Hyg*. 2008 Feb;78(2):188–94.
29. Murray CJL, Rosenfeld LC, Lim SS, Andrews KG, Foreman KJ, Haring D, et al. Global malaria mortality between 1980 and 2010: A systematic analysis. *Lancet* [Internet]. 2012 Feb 4 [cited 2020 Mar 6];379(9814):413–31. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22305225>
30. WHO. Climate and Health Country profile - France [Internet]. 2015 [cited 2020 Mar 6]. Available from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/246130/WHO-FWC-PHE-EPE-15.36-eng.pdf?sequence=1>
31. Lafferty KD. The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*. 2009 Apr;90(4):888–900.
32. World Health Organization, editor. Global Health Risks : Mortality and burden of disease attributable to selected major risks [Internet]. 2009 [cited 2020 Mar 12]. Available from: [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GlobalHealthRisks\\_report\\_full.pdf?ua=1](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf?ua=1)
33. Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, et al. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* [Internet]. 2008 Feb 21 [cited 2020 Nov 17];451(7181):990–3. Available from: <https://www.nature.com/articles/nature06536>
34. Robine JM, Cheung SLK, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, et al. Death toll

- exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus - Biol.* 2008 Feb;331(2):171–8.
35. European Environmental Agency. Air quality in Europe — 2019 report — EEA Report No 10/2019. 2019. 104 p.
  36. Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre.
  37. Miller MR, Shaw CA, Langrish JP. From particles to patients: Oxidative stress and the cardiovascular effects of air pollution. Vol. 8, *Future Cardiology*. 2012. p. 577–602.
  38. Atkinson RW, Butland BK, Dimitroulopoulou C, Heal MR, Stedman JR, Carslaw N, et al. Long-term exposure to ambient ozone and mortality: a quantitative systematic review and meta-analysis of evidence from cohort studies. *BMJ Open* [Internet]. 2016 [cited 2020 Mar 30];6:9493. Available from: <http://bmjopen.bmj.com/>
  39. Lelieveld J, Evans JS, Fnais M, Giannadaki D, Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*. 2015 Sep 16;525(7569):367–71.
  40. Adamkiewicz A, Krzyzanowski M, Choi H, Delgado Saborit JM, Harrison P, Harrison RM, et al. WHO Guidelines for indoor air quality : selected pollutants [Internet]. 2010 [cited 2020 Apr 16]. Available from: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf)
  41. Bourdrel T, Bind M-A, Béjot Y, Morel O, Argacha J-F. Cardiovascular effects of air pollution. *Arch Cardiovasc Dis*. 2017;110(11):634–42.
  42. Asikainen A, Carrer P, Kephelopoulos S, Fernandes EDO, Wargocki P, Hänninen O. Reducing burden of disease from residential indoor air exposures in Europe (HEALTHVENT project). *Environ Heal A Glob Access Sci Source* [Internet]. 2016 Dec 8 [cited 2020 Apr 1];15(S1):S35. Available from: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-016-0101-8>
  43. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease [Internet]. 2016 [cited 2020 Apr 17]. Available from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1>
  44. Lelieveld J, Klingmüller K, Pozzer A, Pöschl U, Fnais M, Daiber A, et al. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. [cited 2020 Apr 20]; Available from: [www.messy-interface.org](http://www.messy-interface.org)
  45. Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, et al. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review [Internet]. 2013 [cited 2020 Apr 1]. Available from: <http://www.ehjournal.net/content/12/1/43>
  46. Faustini A, Rapp R, Forastiere F. Nitrogen dioxide and mortality: Review and meta-analysis of long-term studies. Vol. 44, *European Respiratory Journal*. European Respiratory Society; 2014. p. 744–53.
  47. Hart JE, Chiuve SE, Laden F, Albert CM. Roadway proximity and risk of sudden cardiac death in women. *Circulation* [Internet]. 2014 Oct 21 [cited 2020 Apr 1];130(17):1474–82. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25332277>
  48. Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R, et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: Prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the escape project. *BMJ* [Internet]. 2014 Jan 21 [cited 2020 Apr 1];348:f7412. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24452269>
  49. Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: Results from 11 European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Health Perspect*. 2014;122(9):919–25.
  50. Miller KA, Siscovick DS, Sheppard L, Shepherd K, Sullivan JH, Anderson GL, et al. Long-Term Exposure to Air Pollution and Incidence of Cardiovascular Events in Women. *N Engl J Med*

- [Internet]. 2007 Feb 1 [cited 2020 Apr 7];356(5):447–58. Available from: <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJMoa054409>
51. Pope CA, Muhlestein JB, May HT, Renlund DG, Anderson JL, Horne BD. Ischemic heart disease events triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution. *Circulation* [Internet]. 2006 Dec 5 [cited 2020 Apr 1];114(23):2443–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17101851>
  52. Milojevic A, Wilkinson P, Armstrong B, Bhaskaran K, Smeeth L, Hajat S. Short-term effects of air pollution on a range of cardiovascular events in England and Wales: Case-crossover analysis of the MINAP database, hospital admissions and mortality. *Heart* [Internet]. 2014 Jul [cited 2020 Apr 1];100(14):1093–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24952943>
  53. Peters A, von Klot S, Heier M, Trentinaglia I, Hörmann A, Wichmann HE, et al. Exposure to Traffic and the Onset of Myocardial Infarction. *N Engl J Med* [Internet]. 2004 Oct 21 [cited 2020 Apr 6];351(17):1721–30. Available from: <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJMoa040203>
  54. Nawrot TS, Perez L, Künzli N, Munters E, Nemery B. Public health importance of triggers of myocardial infarction: A comparative risk assessment. *Lancet* [Internet]. 2011 Feb 26 [cited 2020 Apr 6];377(9767):732–40. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21353301>
  55. Argacha JF, Collart P, Wauters A, Kayaert P, Lochy S, Schoors D, et al. Air pollution and ST-elevation myocardial infarction: A case-crossover study of the Belgian STEMI registry 2009–2013. *Int J Cardiol*. 2016 Nov 15;223:300–5.
  56. Ruidavets JB, Cournot M, Cassadou S, Giroux M, Meybeck M, Ferrières J. Ozone air pollution is associated with acute myocardial infarction. *Circulation* [Internet]. 2005 Feb 8 [cited 2020 Apr 1];111(5):563–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15699276>
  57. Yorifuji T, Suzuki E, Kashima S. Cardiovascular emergency hospital visits and hourly changes in air pollution. *Stroke* [Internet]. 2014 May [cited 2020 Apr 7];45(5):1264–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24692477>
  58. Kettunen J, Lanki T, Tiittanen P, Aalto PP, Koskentalo T, Kulmala M, et al. Associations of fine and ultrafine particulate air pollution with stroke mortality in an area of low air pollution levels. *Stroke*. 2007 Mar;38(3):918–22.
  59. Shah ASV, Langrish JP, Nair H, McAllister DA, Hunter AL, Donaldson K, et al. Global association of air pollution and heart failure: A systematic review and meta-analysis. *Lancet*. 2013 Sep 21;382(9897):1039–48.
  60. Yang BY, Qian Z, Howard SW, Vaughn MG, Fan SJ, Liu KK, et al. Global association between ambient air pollution and blood pressure: A systematic review and meta-analysis [Internet]. Vol. 235, *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd; 2018 [cited 2020 Apr 8]. p. 576–88. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29331891>
  61. Kaufman JD, Adar SD, Barr RG, Budoff M, Burke GL, Curl CL, et al. Association between air pollution and coronary artery calcification within six metropolitan areas in the USA (the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution): a longitudinal cohort study. *Lancet*. 2016 Aug 13;388(10045):696–704.
  62. Hoffmann B, Moebus S, Möhlenkamp S, Stang A, Lehmann N, Dragano N, et al. Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis. *Circulation* [Internet]. 2007 Jul 31 [cited 2020 Apr 1];116(5):489–96. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17638927>
  63. Sun Q, Wang A, Jin X, Natanzon A, Duquaine D, Brook RD, et al. Long-term air pollution exposure and acceleration of atherosclerosis and vascular inflammation in an animal model. *J Am Med Assoc*. 2005 Dec 21;294(23):3003–10.
  64. Gehring U, Wijga AH, Brauer M, Fischer P, De Jongste JC, Kerkhof M, et al. Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2010 Mar 15 [cited 2020 Apr 8];181(6):596–603. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19965811>

65. Bowatte G, Lodge C, Lowe AJ, Erbas B, Perret J, Abramson MJ, et al. The influence of childhood traffic-related air pollution exposure on asthma, allergy and sensitization: a systematic review and a meta-analysis of birth cohort studies. *Allergy* [Internet]. 2015 Mar 1 [cited 2020 Apr 8];70(3):245–56. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/all.12561>
66. Strickland MJ, Darrow LA, Klein M, Flanders WD, Sarnat JA, Waller LA, et al. Short-term associations between ambient air pollutants and pediatric asthma emergency department visits. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2010 Aug 1 [cited 2020 Apr 8];182(3):307–16. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20378732>
67. Silverman DT, Samanic CM, Lubin JH, Blair AE, Stewart PA, Vermeulen R, et al. The diesel exhaust in miners study: A nested case-control study of lung cancer and diesel exhaust. *J Natl Cancer Inst*. 2012;104(11):855–68.
68. Garshick E, Laden F, Hart JE, Rosner B, Smith TJ, Dockery DW, et al. Lung cancer in railroad workers exposed to diesel exhaust. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2004 Nov [cited 2020 Apr 8];112(15):1539–43. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15531439>
69. Garshick E, Laden F, Hart JE, Rosner B, Davis ME, Eisen EA, et al. Lung cancer and vehicle exhaust in trucking industry workers. *Environ Health Perspect*. 2008;116(10):1327–32.
70. Olsson AC, Gustavsson P, Kromhout H, Peters S, Vermeulen R, Brüske I, et al. Exposure to diesel motor exhaust and lung cancer risk in a pooled analysis from case-control studies in Europe and Canada. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2011 Apr 1 [cited 2020 Apr 8];183(7):941–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21037020>
71. Chen G, Wan X, Yang G, Zou X. Traffic-related air pollution and lung cancer: A meta-analysis. *Thorac Cancer* [Internet]. 2015 May 1 [cited 2020 Apr 8];6(3):307–18. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26273377>
72. Turner MC, Krewski D, Pope CA, Chen Y, Gapstur SM, Thun MJ. Long-term ambient fine particulate matter air pollution and lung cancer in a large cohort of never-smokers. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2011 Dec 15 [cited 2020 Apr 8];184(12):1374–81. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21980033>
73. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: Prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol*. 2013 Aug;14(9):813–22.
74. Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, et al. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ Health Perspect*. 2008 Feb;116(2):196–202.
75. Houot J, Marquant F, Goujon S, Faure L, Honoré C, Roth M-H, et al. Residential Proximity to Heavy-Traffic Roads, Benzene Exposure, and Childhood Leukemia-The GEOCAP Study, 2002-2007. *Am J Epidemiol* [Internet]. 2015 Oct 15 [cited 2020 Apr 8];182(8):685–93. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26377958>
76. Bourdrel T. Pollution de l'air pendant la grossesse : effets in utero et néonataux. *La Lett du Pneumol* [Internet]. 2019 Feb [cited 2020 Apr 20];1(1). Available from: <https://www.edimark.fr/lettre-pneumologue/pollution-air-pendant-grossesse-effets-in-utero-neonataux>
77. Pedersen M, Stayner L, Slama R, Sørensen M, Figueras F, Nieuwenhuijsen MJ, et al. Ambient air pollution and pregnancy-induced hypertensive disorders: A systematic review and meta-analysis. *Hypertension*. 2014;64(3):494–500.
78. Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, Aguilera I, Andersen AMN, Ballester F, et al. Ambient air pollution and low birthweight: A European cohort study (ESCAPE). *Lancet Respir Med*. 2013 Nov;1(9):695–704.
79. Kioumourtzoglou MA, Raz R, Wilson A, Fluss R, Nirel R, Broday DM, et al. Traffic-related Air Pollution and Pregnancy Loss. *Epidemiology*. 2019 Jan 1;30(1):4–10.

80. Deng Q, Lu C, Li Y, Sundell J, Dan Norbäck. Exposure to outdoor air pollution during trimesters of pregnancy and childhood asthma, allergic rhinitis, and eczema. *Environ Res* [Internet]. 2016 Oct 1 [cited 2020 Apr 8];150:119–27. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27281689>
81. Farhi A, Boyko V, Almagor J, Benenson I, Segre E, Rudich Y, et al. The possible association between exposure to air pollution and the risk for congenital malformations. *Environ Res*. 2014 Nov 1;135:173–80.
82. Schembari A, Nieuwenhuijsen MJ, Salvador J, de Nazelle A, Cirach M, Dadvand P, et al. Traffic-Related Air Pollution and Congenital Anomalies in Barcelona. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2014 Mar [cited 2020 Apr 8];122(3):317–23. Available from: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1306802>
83. Vrijheid M, Martinez D, Manzanares S, Dadvand P, Schembari A, Rankin J, et al. Ambient air pollution and risk of congenital anomalies: A systematic review and meta-analysis [Internet]. Vol. 119, *Environmental Health Perspectives*. 2011 [cited 2020 Apr 8]. p. 598–606. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21131253>
84. Suades-González E, Gascon M, Guxens M, Sunyer J. Air pollution and neuropsychological development: A review of the latest evidence [Internet]. Vol. 156, *Endocrinology*. Endocrine Society; 2015 [cited 2020 Apr 8]. p. 3473–82. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26241071>
85. Block ML, Elder A, Auten RL, Bilbo SD, Chen H, Chen JC, et al. The outdoor air pollution and brain health workshop. Vol. 33, *NeuroToxicology*. NIH Public Access; 2012. p. 972–84.
86. Antonsen S, Mok PLH, Webb RT, Mortensen PB, McGrath JJ, Agerbo E, et al. Exposure to air pollution during childhood and risk of developing schizophrenia: a national cohort study. *Lancet Planet Heal*. 2020 Feb 1;4(2):e64–73.
87. Liu F, Chen G, Huo W, Wang C, Liu S, Li N, et al. Associations between long-term exposure to ambient air pollution and risk of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. Vol. 252, *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd; 2019. p. 1235–45.
88. Li Y, Xu L, Shan Z, Teng W, Han C. Association between air pollution and type 2 diabetes: an updated review of the literature. Vol. 10, *Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism*. SAGE Publications Ltd; 2019.
89. Ciencewicki J, Jaspers I. Air pollution and respiratory viral infection. Vol. 19, *Inhalation Toxicology*. *Inhal Toxicol*; 2007. p. 1135–46.
90. Spekrijse D, Bouma A, Koch G, Stegeman A. Quantification of dust-borne transmission of highly pathogenic avian influenza virus between chickens. *Influenza Other Respi Viruses*. 2013 Mar;7(2):132–8.
91. Wu X, Nethery RC, Sabath BM, Braun D, Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States. *medRxiv*. 2020;2020.04.05.20054502.
92. Setti L, Rizzo -Società E, Medicina I, Alessandro A, Italiana M-S, Ambientale M. Relazione circa l'effetto dell'inquinamento da particolato atmosferico e la diffusione di virus nella popolazione.
93. Commissariat général au développement durable F. L'empreinte carbone des Français reste stable [Internet]. 2020 [cited 2020 Aug 3]. Available from: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-essentiel-204-l-empreinte-carbone-des-francais-reste-stable-janvier2020.pdf>
94. Amant S, Aulanier H-M, Ramos C, Schuller A, Timsit S. La France amorce le virage vers le véhicule électrique [Internet]. 2018 [cited 2020 Sep 27]. Available from: <http://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2018/09/Publication-Carbone-4-Mobilite-electrique.pdf>
95. Woodcock J, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. Vol. 374, *The*

- Lancet. 2009. p. 1930–43.
96. Fishman E, Schepers P, Kamphuis CBM. Dutch cycling: Quantifying the health and related economic benefits. *Am J Public Health* [Internet]. 2015 Aug 1 [cited 2020 Nov 17];105(8):e13–5. Available from: [/pmc/articles/PMC4504332/?report=abstract](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27479647/)
  97. Khreis H, May AD, Nieuwenhuijsen MJ. Health impacts of urban transport policy measures: A guidance note for practice. Vol. 6, *Journal of Transport and Health*. Elsevier Ltd; 2017. p. 209–27.
  98. Saunders LE, Green JM, Petticrew MP, Steinbach R, Roberts H. What Are the Health Benefits of Active Travel? A Systematic Review of Trials and Cohort Studies. *PLoS One*. 2013 Aug 15;8(8).
  99. Bhalla K, Shotten M, Cohen A, Brauer M, Shahraz S, Burnett R, et al. Transport for Health : the global burden of disease from motorized road transport [Internet]. 2014 [cited 2020 Mar 12]. Available from: [www.healthmetricsandevaluation.org](http://www.healthmetricsandevaluation.org)
  100. Yorifuji T, Kashima S, Doi H. Fine-particulate air pollution from diesel emission control and mortality rates in Tokyo: A quasi-experimental study. *Epidemiology* [Internet]. 2016 Nov 1 [cited 2020 Apr 7];27(6):769–78. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27479647>
  101. Reijnders L, Soret S. Quantification of the environmental impact of different dietary protein choices. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 2003 [cited 2020 Mar 6];78(3 Suppl):664S–668S. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12936964>
  102. Pimentel D, Pimentel M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. 2003.
  103. Leitzmann C. Nutrition ecology: the contribution of vegetarian diets. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 2003 [cited 2020 Mar 6];78(3 Suppl):657S–659S. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12936962>
  104. Stehfest E, Bouwman L, Van Vuuren DP, Den Elzen MGJ, Eickhout B, Kabat P. Climate benefits of changing diet. *Clim Change*. 2009 Jul 4;95(1–2):83–102.
  105. Willits-Smith A, Aranda R, Heller MC, Rose D. Addressing the carbon footprint, healthfulness, and costs of self-selected diets in the USA: a population-based cross-sectional study. *Lancet Planet Heal*. 2020 Mar 1;4(3):e98–106.
  106. Hayek MN, Harwatt H, Ripple WJ, Mueller ND. The carbon opportunity cost of animal-sourced food production on land. *Nat Sustain* [Internet]. 2020 Sep 7 [cited 2020 Sep 21]; Available from: <http://www.nature.com/articles/s41893-020-00603-4>
  107. Moilanen BC. Vegan diets in infants, children, and adolescents. *Pediatr Rev*. 2004 May 1;25(5):174–6.
  108. Renda M, Fischer P. Vegetarian diets in children and adolescents. *Pediatr Rev* [Internet]. 2009 Jan [cited 2020 Mar 6];30(1):e1–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19118135>
  109. Melina V, Craig W, Levin S. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J Acad Nutr Diet*. 2016 Dec 1;116(12):1970–80.
  110. Craig WJ, Mangels AR. Position of the American Dietetic Association: vegetarian diets. *J Am Diet Assoc*. 2009;109(7):1266–82.
  111. Pawlak R. To vegan or not to vegan when pregnant, lactating or feeding young children [Internet]. Vol. 71, *European Journal of Clinical Nutrition*. Nature Publishing Group; 2017 [cited 2020 Mar 6]. p. 1259–62. Available from: <http://www.cnn.com/>
  112. Agnoli C, Baroni L, Bertini I, Ciappellano S, Fabbri A, Papa M, et al. Position paper on vegetarian diets from the working group of the Italian Society of Human Nutrition. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2017 Dec 1;27(12):1037–52.
  113. Lemale J, Mas E, Jung C, Bellaiche M, Tounian P. Practice guidelines Vegan diet in children

- and adolescents. Recommendations from the French-speaking Pediatric Hepatology, Gastroenterology and Nutrition Group (GFHGNP). [cited 2020 Mar 6]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2019.09.001>
114. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, International Agency for Research on Cancer. Red meat and processed meat. [Internet]. [cited 2020 Mar 6]. 506 p. Available from: <http://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Red-Meat-And-Processed-Meat-2018>
  115. Wright N, Wilson L, Smith M, Duncan B, McHugh P. The BROAD study: A randomised controlled trial using a whole food plant-based diet in the community for obesity, ischaemic heart disease or diabetes. *Nutr Diabetes* [Internet]. 2017;7(3). Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/nutd.2017.3>
  116. Appleby PN, Key TJ. The long-term health of vegetarians and vegans. In: *Proceedings of the Nutrition Society*. Cambridge University Press; 2016. p. 287–93.
  117. Springmann M, Godfray HCJ, Rayner M, Scarborough P. Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016 Apr 12;113(15):4146–51.
  118. Baudry J, Assmann KE, Touvier M, Allès B, Seconda L, Latino-Martel P, et al. Association of Frequency of Organic Food Consumption with Cancer Risk: Findings from the NutriNet-Santé Prospective Cohort Study. *JAMA Intern Med*. 2018 Dec 1;178(12):1597–606.
  119. Dagher C, Lefevre J, Souvet P, Saccomano L, Guardigli W, Leclair I, et al. Comment protéger mes patients de la contamination chimique & des perturbateurs endocriniens : Guide à l'usage des médecins libéraux [Internet]. 2020 [cited 2020 Apr 26]. Available from: <http://www.urps-ml-paca.org/wp-content/uploads/2020/01/Guide-PE-Dossier-scientifique.pdf>
  120. Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, et al. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems [Internet]. Vol. 393, *The Lancet*. Lancet Publishing Group; 2019 [cited 2020 Oct 1]. p. 447–92. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/>
  121. Springmann M, Spajic L, Clark MA, Poore J, Herforth A, Webb P, et al. The healthiness and sustainability of national and global food based dietary guidelines: modelling study. *BMJ* [Internet]. 2020 Jul 15 [cited 2020 Aug 3];370:m2322. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136>
  122. Maidment CD, Jones CR, Webb TL, Hathway EA, Gilbertson JM. The impact of household energy efficiency measures on health: A meta-analysis. *Energy Policy*. 2014 Feb;65:583–93.
  123. Ademe. Se chauffer mieux et moins cher : les solutions pour optimiser les systèmes de chauffage et d'eau chaude [Internet]. 2019 [cited 2020 May 1]. Available from: <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-chauffer-mieux-moins-cher.pdf>
  124. The Limits to Growth Revisited [Internet]. [cited 2020 Nov 26]. Available from: <http://stats.uis.unesco.org/unesco/TableViewer/document.aspx?ReportId=>
  125. Dugast C, Soyeux A, Cassagnaud C, Ledoux R, Jancovici J-M, Grandjean A. Faire sa part ? Pouvoir et responsabilités des individus, des entreprises et de l'Etat face à l'urgence climatique [Internet]. 2019 [cited 2020 Nov 10]. Available from: [www.carbone4.com](http://www.carbone4.com)
  126. Satija A, Hu FB. Plant-based diets and cardiovascular health [Internet]. Vol. 28, *Trends in Cardiovascular Medicine*. Elsevier Inc.; 2018 [cited 2020 Oct 2]. p. 437–41. Available from: [/pmc/articles/PMC6089671/?report=abstract](http://pmc/articles/PMC6089671/?report=abstract)
  127. Kottler BM, Ferdowsian HR, Barnard ND. Effects of Plant-Based Diets on Plasma Lipids [Internet]. Vol. 104, *American Journal of Cardiology*. Elsevier; 2009 [cited 2020 Oct 2]. p. 947–56. Available from: [www.AJConline.org](http://www.AJConline.org)

# RESUME

PREVOT, G. Changement climatique et pollution de l'air : enjeux et co-bénéfices sanitaires à l'atténuation. Revue narrative de la littérature et réalisation d'un support d'information et d'aide au conseil pour les médecins généralistes. Thèse de médecine. Université de Strasbourg ;2021,180p.

**Contexte** : La santé planétaire est une des priorités du XXI<sup>e</sup> siècle, comme l'ont déclaré plusieurs acteurs majeurs internationaux de la santé. L'intégration des enjeux de la protection de l'environnement à l'exercice de la médecine générale est justifiée et facilitée par l'existence de co-bénéfices sanitaires à l'action environnementale individuelle et collective. En tant que scientifique, et professionnel de santé ancré dans un territoire et une communauté, le médecin généraliste occupe une place privilégiée pour sensibiliser et aiguiller la population vers l'application de ces mesures individuelles. L'objectif de ce travail est de caractériser les liens entre changement climatique, pollution de l'air et morbi-mortalité, puis de proposer des mesures d'action environnementale individuelles apportant des co-bénéfices à la santé sous la forme d'un support d'information papier et numérique.

**Méthode** : Une revue narrative de la littérature a été réalisée, fondée principalement sur des textes de références d'organismes internationaux et nationaux (GIEC, OMS, FAO, ADEME...), leurs propres références, les rapports de différents cabinets d'étude indépendants et la base de données Pubmed. Sur la base des résultats de cette revue, un support d'information à destination des médecins généralistes a été produit.

**Résultats** : Le changement climatique est responsable de l'exacerbation de risques existants, à un degré croissant conjointement à l'augmentation des températures moyennes. La trajectoire de réchauffement actuelle laisse prévoir une pénurie alimentaire globalisée, une exposition croissante à des chaleurs extrêmes potentiellement mortelles, une augmentation de l'émergence et de la transmission de maladies infectieuses, des risques physiques dus aux événements météorologiques extrêmes plus fréquents et plus intenses, ou aux migrations massives et aux inégalités d'accès aux ressources déclenchant des conflits violents. La pollution de l'air, aux sources similaires et intensifiée par le changement climatique, cause 7 millions de morts chaque année dans le monde. Ce phénomène provoque à long-terme l'apparition et l'aggravation de pathologies cardiovasculaires, pulmonaires, cancéreuses, neurodégénératives et materno-fœtales.

Par le biais de messages d'éducation dans les domaines de l'alimentation, de la mobilité et du logement, le professionnel de santé peut avoir une action sur la protection de l'environnement et la santé de ses patients de façon conjointe. Alimentation basée sur les plantes, déplacement actif, isolation et modes de chauffage sont autant de mesures individuelles permettant d'agir sur les déterminants majeurs des maladies chroniques non-transmissibles, autre fléau du XXI<sup>e</sup> siècle dans les pays développés.

**Conclusion** : Un support d'information a été réalisé pour faciliter l'introduction des médecins généralistes à certains principes de santé planétaire et leur intégration à l'exercice professionnel. Il pourrait bénéficier d'une évaluation par le public cible dans une autre étude.

---

**Rubrique de classement** : Médecine Générale

---

**Mots-clés** : santé planétaire ; changement climatique ; pollution de l'air ; régime végétarien/végétalien ; déplacement actif ; air intérieur ; mesures individuelles ; co-bénéfices ; médecine générale

---

**Président** : Professeur Yves Hansmann (PU-PH)

**Assesseurs** : Professeur Frédéric Blanc (PU-PH), Docteur Claire Dumas (MCU de Médecine Générale), Docteur Christophe MARCOT (Praticien Hospitalier)

---

Adresse de l'auteur : 22, rue Saint-Louis 67000 Strasbourg

Université

de Strasbourg

Faculté  
de médecine**DECLARATION SUR L'HONNEUR****Document avec signature originale devant être joint :****- à votre mémoire de D.E.S.****- à votre dossier de demande de soutenance de thèse**Nom : PREVOT Prénom : GASPARD

Ayant été informé(e) qu'en m'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans mon propre mémoire de spécialité ou dans mon mémoire de thèse de docteur en médecine, je me rendrais coupable d'un délit de contrefaçon au sens de l'article L335-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle et que ce délit était constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics,

Ayant été avisé(e) que le président de l'université sera informé de cette tentative de fraude ou de plagiat, afin qu'il saisisse la juridiction disciplinaire compétente,

Ayant été informé(e) qu'en cas de plagiat, la soutenance du mémoire de spécialité et/ou de la thèse de médecine sera alors automatiquement annulée, dans l'attente de la décision que prendra la juridiction disciplinaire de l'université

J'atteste sur l'honneur

Ne pas avoir reproduit dans mes documents tout ou partie d'œuvre(s) déjà existante(s), à l'exception de quelques brèves citations dans le texte, mises entre guillemets et référencées dans la bibliographie de mon mémoire.

**A écrire à la main** : « J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète ».

J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète

Signature originale :

A Strasbourg, le 12/12/2020

**Photocopie de cette déclaration devant être annexée en dernière page de votre mémoire de D.E.S. ou de Thèse.**