

Cette étude vise à fournir une analyse historique de la mortalité par causes de décès en France Métropolitaine, puis à proposer une modélisation et des projections de la mortalité par causes. Dans un premier temps, les travaux s'appuient sur des données de population nationale. Par la suite, une analyse segmentée est effectuée, en vue de comparer la mortalité au sein de groupes de départements homogènes en termes de caractéristiques socio-économiques.

Ces travaux s'appuient sur la méthodologie employée dans deux rapports rédigés par Milliman pour la SOA en 2019 et 2021.

- [Modeling and Forecasting Cause-of-Death Mortality \(soa.org\)](#)
- [Modeling and Forecasting Cause-of-Death Mortality by Socioeconomic Factors \(soa.org\)](#)

En complément, cette publication fait le lien entre taux de mortalité et consommation de médicaments relatifs à certains types de maladies.

- 1 Présentation des données utilisées
- 2 Analyse historique des taux de décès par causes en France
- 3 Cadre de modélisation
- 4 Analyse des résultats
- 5 Lien entre mortalité et consommation de médicaments

## Caveats

- A l'exception de l'étude du lien entre mortalité et consommation de médicaments, les analyses n'incluent pas les années de la pandémie Covid-19. En effet, il est difficile d'appréhender les effets du Covid-19 sur chacune des causes de décès recensées, et d'appliquer des retraitements pertinents. Ainsi, les années 2020 et 2021 ont été exclues de l'historique étudié.
- Les projections de mortalité à long terme doivent être traitées avec attention parce qu'elles ne prennent pas en compte plusieurs facteurs qui pourraient affecter l'espérance de vie. Ainsi, les améliorations dues aux progrès médicaux passés sont projetées telles quelles: la stabilisation des avancées médicales dans certains domaines n'est pas prise en compte dans les projections; il en est de même pour de potentielles percées médicales non anticipées. Par ailleurs, l'impact du changement climatique et des événements extrêmes sur la santé n'est pas projeté.
- Pour mesurer l'accès aux soins, notre approche de segmentation des départements exploite des données de nombre d'établissements de santé par habitant: ces données pourraient être complétées pour mieux refléter l'accès aux soins. Par ailleurs, notre approche de segmentation tient compte conjointement de l'accès aux soins et des variables socio-économiques: les clusters doivent être interprétés comme tels.



## Sources des données utilisées

### Pour la modélisation de la mortalité par causes de décès

- **CépiDc (Inserm – CépiDc)** : fournit des bases d'effectifs et de taux de décès par causes, disponibles par sexe, par tranche de dix ans d'âge et par département entre 1979 et 2021. Cette base exploite une classification des maladies en 18 causes principales. Dans un souci de significativité des données, seuls les départements de France métropolitaine sont exploités. Toutefois, les expositions sous-jacentes au calcul des taux de mortalité variant au sein d'un même département, âge et sexe, les taux de mortalité ont été reconstitués à partir de données de population de l'INSEE.
- **Données de population (INSEE)** : fournit des estimations de population au 1<sup>er</sup> janvier 2024 par sexe et département entre 1975 et 2024. Les données par âge quinquennal ont permis de reconstituer les expositions départementales requises pour calculer les taux de mortalité par cause de décès.

### Pour la segmentation des départements par variables socio-économiques

- **Statistiques locales (INSEE)** : fournit un grand nombre d'indicateurs sur des thèmes variés (équipements et services à la population dont accès aux soins, niveau de vie, pouvoir d'achat, etc.), de la maille communale à régionale, la plupart datant de 2021.
- **Action sociale départementale (INSEE)** : complète la base précédente avec d'autres indicateurs, notamment sur des aspects d'insertion sociale.

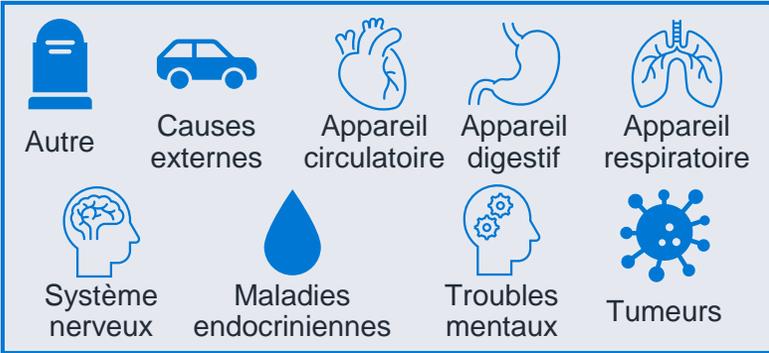
Dans les deux bases, certaines données en nombre doivent être rapportées à la population du département.

### Pour le lien avec la consommation de médicaments

- **Open Medic (data.gouv)** : fournit des données relatives aux dépenses de médicaments délivrés en pharmacies de ville entre 2014 et 2023 par région, par âge et sexe. L'âge du bénéficiaire est distingué selon 3 tranches (moins de 19 ans, 20-59 ans et plus de 60 ans). Les données incluent le nombre de boîtes délivrées ainsi que le montant remboursé, pour différents groupes de médicaments.

Cette première analyse historique des taux de décès par cause en France s'appuie sur l'étude statistique de la base de données [CépiDc](#).

## Classification des causes de décès



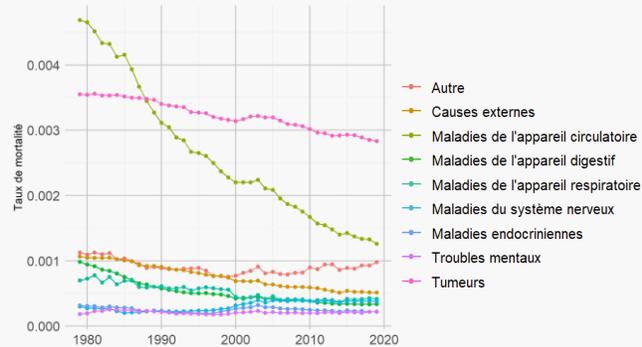
- La catégorie "Autre" rassemble toutes les causes de décès peu significatives, dont la mortalité infantile.
- Les décès accidentels (comme les accidents de la route) sont comptabilisés dans les "Causes externes".
- Les troubles du comportement (abus d'alcool et toxicomanie) sont intégrés dans les "Troubles mentaux".

## Evolution des taux de mortalité par cause (Âges 25 – 84 ans, tous sexes)

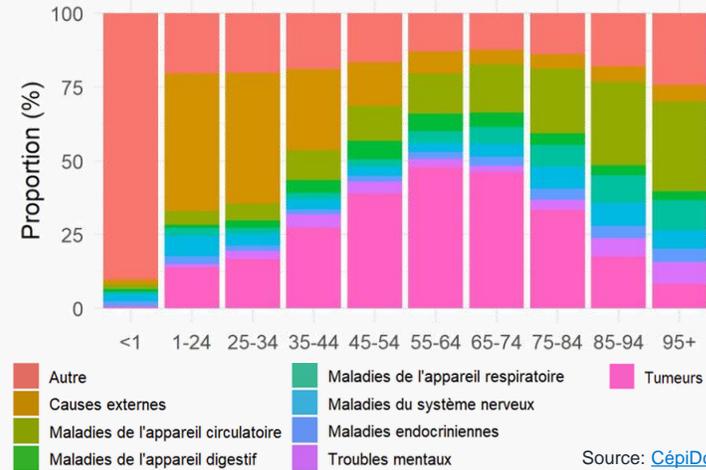
Si la mortalité par causes diffère selon l'âge et le sexe, quelques phénomènes généraux sont à noter:

- Depuis 1979, la mortalité due aux maladies de l'appareil circulatoire a drastiquement diminué en France métropolitaine.
- La mortalité due aux tumeurs diminue.
- Une légère baisse est observée sur les causes externes: elle peut s'expliquer par la mise en œuvre de mesures préventives telles que les politiques de sécurité routière.

Des mouvements plus légers sont observables sur les autres causes de décès.



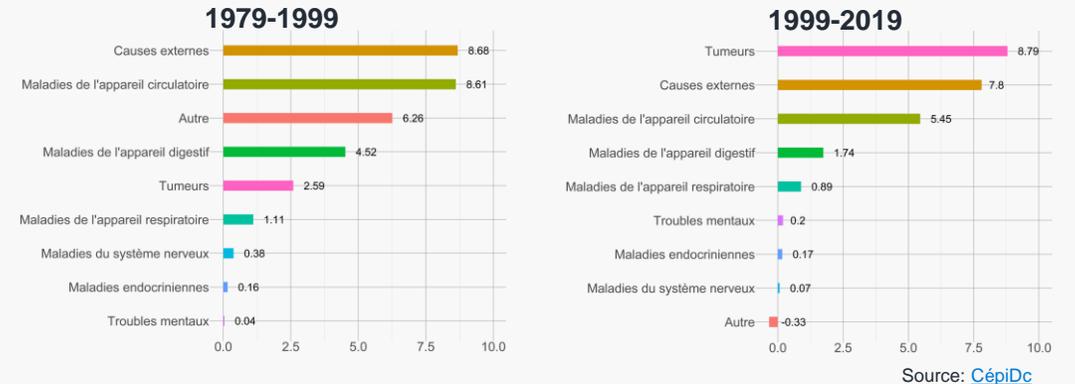
## Distribution des causes de décès par tranche d'âge en 2019 (tous sexes)



Les principales causes de décès par tranche d'âge en 2019 montrent quelles sont les pathologies les plus mortelles pour chaque âge, cohérentes avec les risques encourus à chaque âge ainsi qu'avec les compétences médicales actuelles :

- Pour le groupe d'âge 0-1 an: Autre (i.e.: mortalité infantile)
- Pour les âges de 1 à 35 ans : Causes externes et tumeurs
- Pour les âges de 45 à 74 ans: Tumeurs
- Pour les âges supérieurs à 75 ans: Tumeurs et maladies de l'appareil circulatoire

## Variations d'espérance de vie (en mois) des hommes par cause de décès



Pour chaque cause, l'espérance de vie est comparée au début et à la fin de la période considérée:

- Pour les maladies de l'appareil circulatoire, le gain d'espérance de vie a diminué entre 1999 et 2019.
- A l'inverse, ce dernier a augmenté pour les tumeurs sur la même période, probablement en raison de campagnes de dépistage et de prévention contre les cancers.

Le cadre de modélisation retenu se déroule en 3 étapes principales. Le premier volet consiste à calibrer un modèle de mortalité par causes de décès de type Lee-Carter au niveau national, afin de projeter, et d'obtenir ainsi des projections par âge, sexe et cause de décès. On cherche ensuite à modéliser la mortalité par cause de décès par âge, sexe, mais également en tenant compte de variables socio-économiques et d'accès aux soins. Pour ce faire, on utilise comme proxy la donnée de la mortalité par cause au niveau départemental: on construit des clusters de départements homogènes en termes de caractéristiques socio-économiques. Un modèle relationnel entre la mortalité nationale et la mortalité par cluster est ensuite calibré.

## Etape 1 – Modélisation de la mortalité par cause au niveau national

- Données: CépiDc
- Calibrage d'un modèle de mortalité type Lee-Carter pour chaque cause de décès
- Projection des taux de mortalité par cause de décès

## Etape 2 – Construction de groupes de départements homogènes en termes de caractéristiques socio-éco

- Données: INSEE
- Segmentation des départements par variables socio-économiques

## Etape 3 – Modélisation de la mortalité par clusters socio-économiques

- Données: CépiDc
- Mise en œuvre d'un modèle relationnel par cause de décès entre mortalité nationale et mortalité par cluster
- Projection des taux de mortalité par cluster à partir du modèle relationnel et des taux nationaux projetés via le modèle de Lee-Carter

2

## Segmentation des départements par variables socio-économiques

- La segmentation est effectuée grâce à des variables socio-économiques datant de 2021. Elle consiste en une classification hiérarchique ascendante suivie d'une analyse en composantes principales afin d'identifier les caractéristiques des clusters.
- La segmentation repose à la fois sur des variables d'accès aux soins, ainsi que sur des variables reflétant le niveau de vie: les clusters résultants sont une combinaison de ces facteurs, et doivent être interprétés comme tels.

1

## Modélisation de la mortalité nationale et projection de la tendance temporelle

- Une adaptation du modèle de Lee-Carter (1992) pour inclure la cause de décès dans un cadre multivarié a été utilisé pour pouvoir modéliser les interactions entre les causes de décès.
- La formule du logarithme du taux de mortalité pour un âge  $x$ , une cause  $i$  et un instant  $t$  est donnée ci-dessous :

$$\ln(\mu_{x,t,i}) = \alpha_{x,i} + \beta_{x,i} \kappa_{t,i}$$

- Pour projeter la mortalité et obtenir les interactions entre les taux de mortalité de chaque cause, les séries temporelles  $(\kappa_{t,i})_i$  ont été conjointement modélisées et projetées en utilisant des modèles de marches aléatoires.
- La tendance de la composante temporelle du modèle ne sera calibrée que sur la tendance la plus récente si un point de rupture a été détecté par l'algorithme développé par [Priyadarshana & Sofronov \(2015\)](#), basée sur la méthode de l'entropie croisée.

3

## Modélisation de la mortalité par cluster

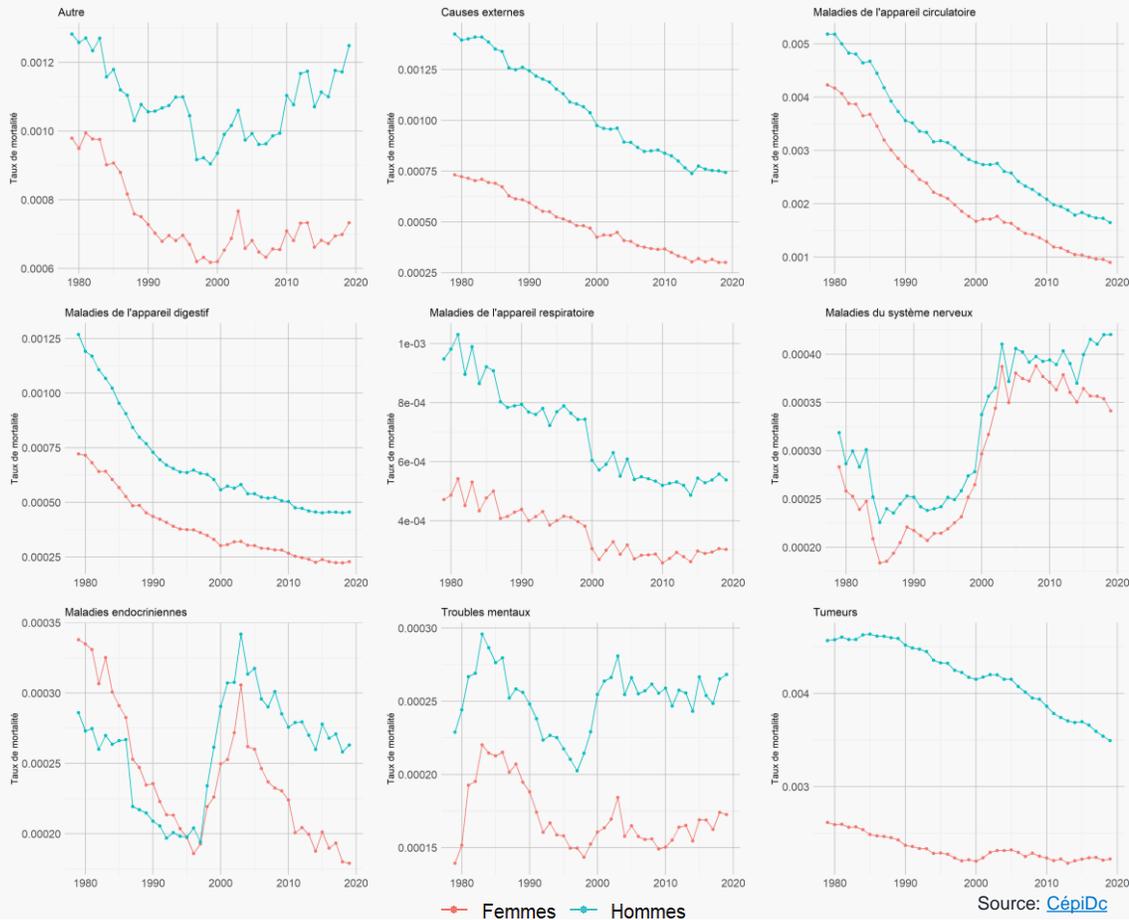
- Un modèle relationnel est établi entre la mortalité du cluster et la mortalité nationale. Pour chaque cause  $k$ , âge  $a$ , genre  $g$  et année  $y$ , le modèle linéaire suivant est mis en œuvre:

$$\ln(\mu_{k,a,g,y}^{cluster}) = \alpha_{k,g,y} \times \ln(\mu_{k,a,g,y}^{nat}) + \beta_{k,g,y}$$

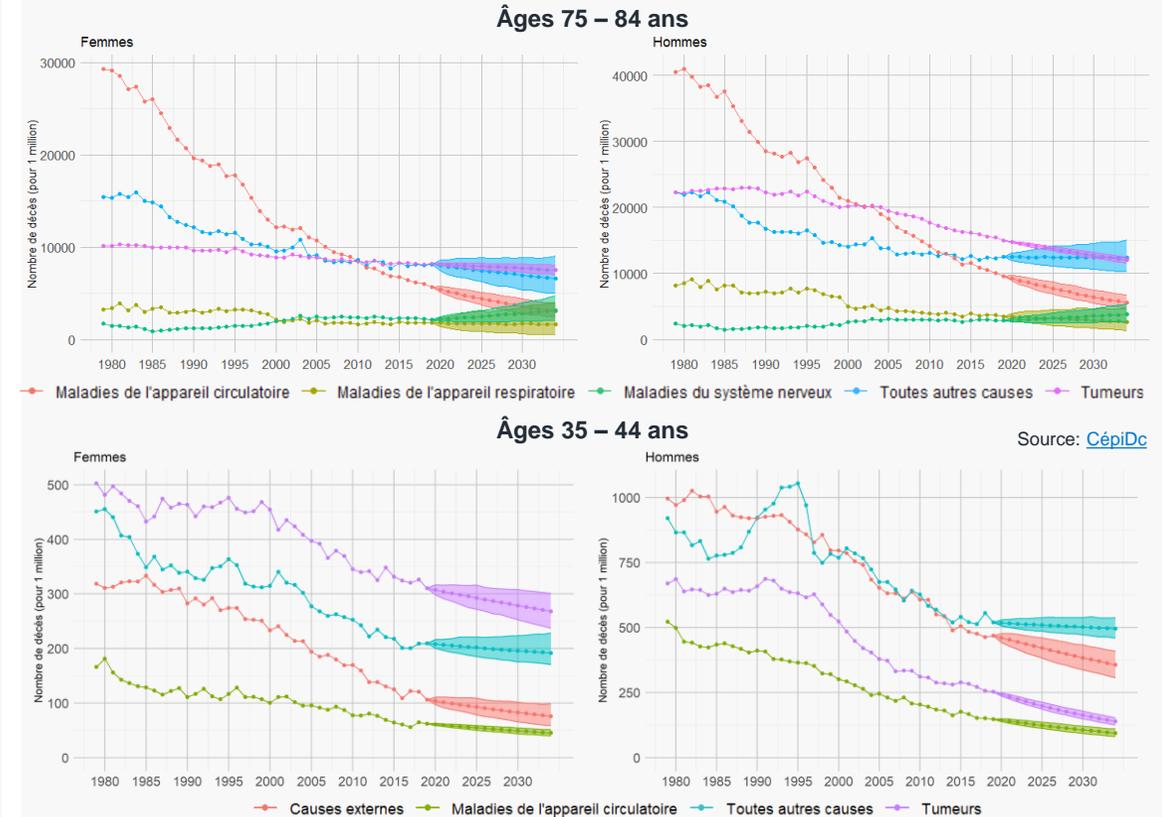
- Les coefficients  $\alpha_{k,g,y}$  et  $\beta_{k,g,y}$  de la régression linéaire sont ensuite projetés à partir de modèles de séries temporelles.
- La mortalité du cluster pour chaque cause est ensuite projetée de proche en proche, à partir des prévisions du modèle de Lee-Carter, en calculant les améliorations de mortalité annuelles.

## Analyse historique de la mortalité par causes de décès (Âges 25 – 84 ans)

- La mortalité due aux maladies de l'appareil circulatoire et de l'appareil digestif, ainsi qu'aux causes externes, est en **nette récession depuis 1980**. La mortalité due aux tumeurs quant à elle diminue pour les hommes, mais beaucoup moins pour les femmes.
- Enfin, on observe que **certaines maladies sont en progression**: c'est le cas de la mortalité due aux maladies respiratoires (épisodes grippaux et virus respiratoires, maladies respiratoires chroniques), qui est en légère croissance depuis 2015, ainsi que les troubles mentaux (et particulièrement pour les âges jeunes) et les maladies du système nerveux (constat marqué pour les âges élevés).



## Projections de mortalité à l'échelle nationale



Quelques phénomènes marquants sont observables dans les projections du modèle, pour les hommes comme pour les femmes:

- La tendance de **diminution de la mortalité liée aux maladies de l'appareil circulatoire** devrait se poursuivre. Les **causes externes** observent ce même constat chez les populations les plus jeunes.
- Par ailleurs, **la mortalité due aux tumeurs devrait davantage diminuer chez les hommes** que chez les femmes.
- Les décès causés par les **maladies du système nerveux** (principalement Parkinson et Alzheimer) seraient en **hausse** chez les personnes âgées. En particulier, chez les femmes, ces maladies pourraient devancer les maladies de l'appareil circulatoire.

## 4 clusters découlent de la segmentation des départements par variables socio-économiques

Le partitionnement fait apparaître 4 groupes de départements:

- Le **groupe A** est assez proche de la moyenne nationale.
- Le **groupe B** a des conditions d'accès aux soins moyennes mais une mauvaise situation économique.
- Le **groupe C** a de très bonnes conditions d'accès aux soins – selon les variables retenues - et une situation économique en dessous de la moyenne.
- Le **groupe D** est le groupe avec la meilleure situation économique.



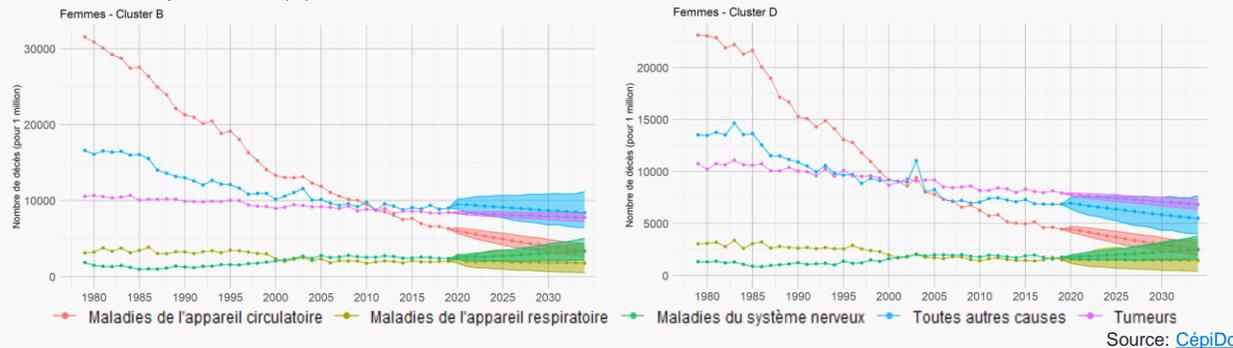
Sources: Segmentation basée sur les données INSEE ([Action sociale départementale](#) et [Statistiques locales](#))

	Nombre de pharmacies pour 1000 habitants	Nombre de médecins généralistes pour 1000 habitants	Nombre de services d'urgences pour 10000 habitants	Taux de pauvreté	Taux de chômage	Part des jeunes entre 18 et 25 ans non-insérés	Taux d'allocataires des minimas sociaux	Médiane du niveau de vie	Nombre d'hébergements pour personnes âgées pour 1000 habitants	Rapport interdécile du niveau de vie
<b>National</b>	0,32	0,89	0,10	14,97	7,72	20,86	8,01	23 354,86	0,15	3,41
<b>A</b>	0,29	0,87	0,10	13,22	7,04	19,35	6,98	23 511,81	0,16	3,18
<b>B</b>	0,32	0,89	0,11	19,61	9,87	25,91	10,80	21 220,35	0,14	3,35
<b>C</b>	0,38	0,97	0,15	16,40	7,93	23,19	9,25	22 180,46	0,19	3,26
<b>D</b>	0,33	0,89	0,08	12,65	6,54	14,70	5,89	29 116,74	0,10	5,10

Ce tableau présente les valeurs moyennes observées au sein du cluster, pour chaque variable socio-économique retenue dans l'analyse. Les niveaux nationaux sont donnés à titre de comparaison.

## Des projections par cluster conformes aux tendances et niveaux historiques

Les projections ci-dessous montrent des évolutions globalement similaires, mais des niveaux de mortalité assez différents. On notera par ailleurs que **l'amélioration de la mortalité projetée** due aux tumeurs est **bien plus importante pour le cluster le plus favorisé économiquement (D)** que pour le cluster qui au contraire a un niveau de vie plus faible (B).



## Des tendances similaires mais des niveaux de mortalité variant selon les caractéristiques socio-économiques

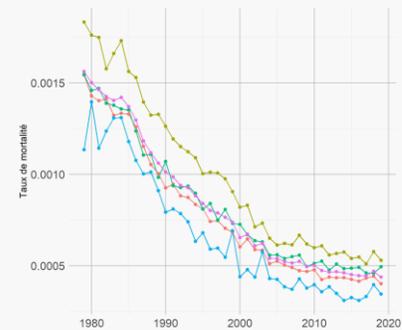
Observations générales

- On observe globalement une **mortalité plus faible dans le groupe D** – les départements les plus aisés – que dans les autres clusters.
- Malgré des différences de niveaux entre les groupes, les taux de mortalité suivent les **mêmes tendances qu'à l'échelle nationale**.
- Peu importe le groupe, les **principales causes de mortalité sont identiques** pour chaque âge donné.

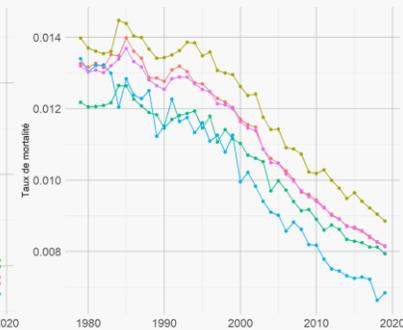
Analyse détaillée

- L'ampleur des écarts de niveaux de mortalité observés entre les clusters varie selon la tranche d'âge et la cause de décès considérée. Ainsi, par exemple, les départements que l'on peut considérer comme « les plus riches » (ayant les taux de pauvreté et de chômage les plus faibles, et ayant un niveau de vie médian le plus élevé) ont un taux de mortalité relatif aux décès accidentel beaucoup plus faible que les autres départements.
- Il est intéressant d'observer que pour certaines causes de décès – comme les causes externes - malgré de bonnes conditions d'accès aux soins, la situation économique du groupe C semble avoir un impact important sur la mortalité. En revanche, pour d'autres causes, comme les tumeurs, l'importance de l'accès aux soins semble l'emporter.
- Le groupe B combine quant à lui des conditions d'accès aux soins médicaux moyennes et une mauvaise situation économique: sur la plupart des causes de décès X âge X sexe, il possède les taux de décès les plus élevés.

Maladies de l'appareil circulatoire Femmes de 55 à 64 ans



Tumeurs Hommes de 65 à 74 ans



Causes externes Hommes de 25 à 34 ans



— A — B — C — D — National

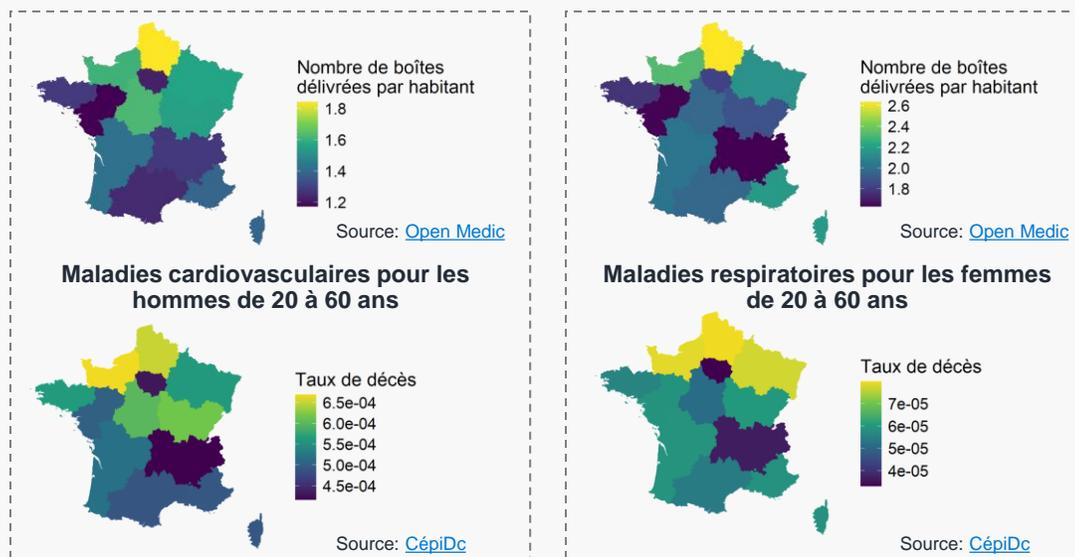
Source: CépiDc

Cette dernière section complète nos travaux, en proposant d'étudier le lien entre consommation de médicaments et taux de mortalité sur l'année 2021. Pour ce faire, une analyse a été effectuée sur la base de données [Open Medic](#), fournissant notamment le nombre de boîtes de médicaments délivrées dans les pharmacies de ville françaises en France par région.

## Des corrélations significatives entre taux de mortalité et nombre de boîtes de médicaments délivrées

Nous avons étudié les nombres de boîtes de médicaments délivrées par habitant pour 3 causes de décès :

- Maladies liées au système cardio-vasculaire
- Maladies liées au système respiratoire
- Maladies liées au système nerveux et aux organes de sens



Si à l'échelle régionale, des relations sont observables graphiquement entre taux de décès et consommation de médicaments, au niveau national ces corrélations sont également notables:

	Maladies cardio-vasculaires	Maladies du système respiratoire	Maladies du système nerveux et des organes de sens
<b>Hommes</b>	0,81	0,76	0,7
<b>Femmes</b>	0,91	0,76	0,61

Sources: [CépiDc](#) et [Open Medic](#)

## Conclusion

- L'étude de la mortalité par causes de décès est source d'informations sur les maladies les plus meurtrières selon l'âge et le sexe. Par ailleurs, l'évolution de la répartition des causes de décès met en évidence des avancées médicales ciblées sur certaines pathologies (maladies de l'appareil circulatoire, maladies du système digestif, cancers), ainsi que l'impact de mesures de prévention (sécurité routière, vaccinations, prévention du SIDA, etc.). On observe également une augmentation des maladies du système nerveux, des troubles mentaux et des maladies respiratoires.
- Par ailleurs, l'analyse de la mortalité par causes de décès et par niveaux de revenus et de conditions d'accès aux soins, montre que ces variables ont un réel lien avec la mortalité. Ainsi, les départements les plus riches présentent des taux de mortalité globalement beaucoup plus faibles que les autres groupes de départements, malgré de très bonnes conditions d'accès aux soins parmi ces derniers. Les tendances restent en revanche inchangées: seuls les niveaux sont impactés.
- Les projections effectuées montrent une diminution des décès dus aux maladies cardiovasculaires et aux cancers. En ce qui concerne l'augmentation du nombre de décès, les cas de maladies nerveuses devraient continuer à progresser. Ainsi, les maladies telles que Parkinson et Alzheimer resteront probablement une préoccupation majeure pour les personnes âgées de 75 ans et plus.

## Références – Pour aller plus loin



- [Modeling and Forecasting Cause-of-Death Mortality \(soa.org\)](#)
- [Modeling and Forecasting Cause-of-Death Mortality by Socioeconomic Factors \(soa.org\)](#)
- [What is the impact of wearable technologies on life expectancy? \(Milliman.com\)](#)
- [Modeling the impact of climate risks on mortality \(Milliman.com\)](#)
- [Impact of climate change on disease prevalence \(Milliman.com\)](#)

*The recipient should not construe any of the material contained herein as investment, hedging, trading, legal, regulatory, tax, accounting or other advice. The recipient should not act on any information in this document without consulting its investment, hedging, trading, legal, regulatory, tax, accounting and other advisors. The materials in this document is based upon public data or information; if the underlying data or information is inaccurate or incomplete, the results of our analysis may likewise be inaccurate or incomplete. The materials in this document represent the opinion of the authors and are not representative of the views of Milliman, Inc. Milliman does not certify the information, nor does it guarantee the accuracy and completeness of such information. Use of such information is voluntary and should not be relied upon unless an independent review of its accuracy and completeness has been performed. Materials may not be reproduced without the express consent of Milliman.*

**Contacts:** [eveelisabeth.titon@milliman.com](mailto:eveelisabeth.titon@milliman.com) [marie.ganon@milliman.com](mailto:marie.ganon@milliman.com)