



HAL
open science

**Typologie des arrêts cardiaques au regard des inégalités
sociales et territoriales de santé en Ile-de-France :
application au registre national des arrêts cardiaques
(RéAC)**

Laurent Castra

► **To cite this version:**

Laurent Castra. Typologie des arrêts cardiaques au regard des inégalités sociales et territoriales de santé en Ile-de-France : application au registre national des arrêts cardiaques (RéAC). Médecine humaine et pathologie. Université de Lille, 2018. Français. NNT : 2018LILUS025 . tel-02051038

HAL Id: tel-02051038

<https://theses.hal.science/tel-02051038>

Submitted on 27 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE LILLE
ECOLE DOCTORALE 446 BIOLOGIE-SANTE
Thèse de Doctorat d'Université

Discipline : épidémiologie, santé publique, recherche clinique et technologies biomédicales

Spécialité : Pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquées à la santé

Soutenue publiquement le 2 Octobre 2018 à 14H
A la Faculté d'Ingénierie et de Management de la Santé (ILIS)

Par Laurent Castra

**Typologie des arrêts cardiaques au regard des inégalités sociales
et territoriales de santé en Ile-de-France : application au registre
national des arrêts cardiaques (RéAC)**

Devant le jury composé de :

Madame le Professeur Marie-Pierre LETERME-FLAMENT, Présidente

Monsieur le Professeur Pierre MOLS, Rapporteur

Monsieur Professeur Karim TAZAROURTE, Rapporteur

Madame le Docteur Agnès RICARD-HIBON, Examinatrice

Madame le Docteur Cyrielle DUMONT, Examinatrice

Monsieur le Docteur Michaël GENIN, Examineur

Monsieur le Professeur Hervé HUBERT, Directeur de thèse

Remerciements

Je tiens à remercier en tout premier lieu le Professeur Hervé Hubert, mon directeur de thèse, à qui je dois d'avoir pu réaliser ce travail. Ses qualités scientifiques et pédagogiques, sa parfaite connaissance du domaine étudié, son accompagnement et sa disponibilité bienveillante m'ont seuls permis de mener à bien cet ouvrage.

Je souhaite exprimer ma plus profonde reconnaissance aux Professeurs Pierre Mols et Karim Tazarourte pour avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, et pour l'évaluation de travaux qui ont pu trouver grâce aux yeux de ces éminents universitaires, praticiens et spécialistes de l'arrêt cardiaque.

Qu'il me soit également permis de témoigner de ma plus profonde gratitude au Professeur Marie-Pierre Leterme-Flament, pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury, et aux Docteurs Agnès Ricard-Hibon, Cyrielle Dumont et Michaël Genin, pour avoir accepté d'y siéger.

Le Docteur Genin aura été pour moi non seulement un examinateur intransigeant, mais le précieux expert auquel je dois d'être initié aux statistiques de scan.

Mes souhaits de prompt et complet rétablissement vont au Professeur Dominique Bégué, qu'un souci de santé aura empêché de compter au nombre des membres de mon jury.

Je ne saurais oublier Monsieur Claude Evin, qui, en tant que Directeur Général de l'Agence Régionale de Santé d'Ile de France, a bien voulu s'intéresser à ce projet.

Mes remerciements vont également aux équipes qui ont bien voulu m'accepter en leur sein :

- L'équipe de l'Unité de Recherche EA 2694 « Santé Publique – Epidémiologie et Qualité des Soins », et son directeur, le Professeur Alain Duhamel, qui a participé au suivi de ces travaux dans le cadre de mon Comité de Thèse,
- L'équipe de RéAC, et plus particulièrement Joséphine et Aurélie, pour l'accueil qu'elles m'ont réservé et notamment la mise à disposition des données de ce registre,
- L'équipe de l'Ecole Doctorale Biologie Santé, son Directeur, le Professeur Bernard Sablonnière, et ses membres, Mesdames Fofana, Beguin, Herminet, mais aussi Monsieur Delcroix, pour la qualité de leur accompagnement

Merci enfin à toutes celles et ceux dont l'Amitié et l'Amour ont été – et sont – l'indéfectible et indispensable soutien.

Glossaire

AC : Arrêt Cardiaque

ACM : Arrêt Cardiaque Médical

ACR : Arrêt Cardio-Respiratoire

ACT : Arrêt Cardiaque Traumatique

AHA : American Heart Association

AJUR : All-Japan Utstein Registry

ALS : Advanced Life Support

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ANSP : Agence Nationale de Santé Publique

ARS : Agence Régionale de Santé

ATIH : Agence Technique de l'Information sur l'Hospitalisation

AUS-ROC : Australian Resuscitation Outcomes Consortium

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

AVIESAN : Alliance nationale pour les sciences de la Vie et de la Santé

BLS : Basic Life Support

BPCO : Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive

CARES : Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival

CCTIRS : Comité Consultatif sur le Traitement de l'Information en matière de Recherche en Santé

CEE : Communauté Economique Européenne

CépiDc : Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de Décès

CER : Comité d'Evaluation des Registres

CIM : Classification Internationale des Maladies

CMD : Catégorie Majeure de Diagnostic

CNIL: Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

CNR : Comité National des Registres

CPC : Cerebral Performance Category

CPR : Cardiopulmonary Resuscitation

CRRA : Centre de Réception et de Régulation des Appels

DAE : Défibrillateur Automatique Externe

DAI : Défibrillateur Automatique Implantable

DALY : Disability Adjusted Life Year

DDSC : Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles

DGOS : Direction Générale de l'Offre de Soins

DGRI : Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation

DGS : Direction Générale de la Santé

DHOS : Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins

DREES : Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques

DSA : Défibrillateur Semi-Automatique

EGB : Echantillon Généraliste des Bénéficiaires

ECG : Electrocardiogramme

ELS : Extracorporeal Life Support

EMS : Emergency Medical Service

EMT : Emergency Medical Technician

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

EPT : Etablissement Public Territorial

ERC : European Resuscitation Council

EuReCA : European Registry of Cardiac Arrest

FV : Fibrillation Ventriculaire

GCS : Glasgow Coma Scale

GHM : Groupe Homogène de Malades

GRA : Global Resuscitation Alliance

HAS : Haute Autorité de Santé

HCSP : Haut Conseil de la Santé Publique

HLM : Habitation à Loyer Modéré

IAURIF : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile de France

ICP : Intervention Coronarienne Percutanée
IDH : Indice de Développement Humain
IGA : Inspection Générale de l'Administration
IGAS : Inspection Générale des Affaires Sociales
ILCOR : International Liaison Committee on Resuscitation
IMD : Index of Multiple Deprivation
INCA : Institut National du Cancer
INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique
LISA : Local Indicators of Spatial Association
LLR : Log Likelihood Ratio
MCO : Médecine-Chirurgie-Obstétrique
MLC : Most Likely Cluster
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OHCA : Out-of-Hospital Cardiac Arrest
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONS : Observatoire National du Suicide
ORS : Observatoire Régional de la Santé
PAROS : Pan-Asian Resuscitation Outcome Study
PMSI : Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
QALY : Quality-Adjusted Life Year
RACS : Reprise d'Activité Circulatoire Spontanée
RCP : Réanimation Cardio-Pulmonaire
RéAC : Registre électronique des Arrêts Cardiaques
ROC : Resuscitation Outcomes Consortium
ROSC : Return Of Spontaneous Circulation
RR : Risque Relatif
RSP : Rythme Sans Pouls

SAMU : Service d'Aide Médicale d'Urgence
SAUV : Service d'Accueil des Urgences Vitales
SDIS : Service Départemental d'Incendie et de Secours
SFAR : Société Française d'Anesthésie et de Réanimation
SFMU : Société Française de Médecine d'Urgence
SIR : Standardized Incidence Ratio
SMUR : Service Mobile d'Urgence et de Réanimation
SNDS : Système National des Données de Santé
SNIIRAM : Système National d'Information Inter-Régimes
SROS : Schéma Régional de l'Organisation des Soins
TOR : Termination Of Resuscitation
TV : Tachycardie Ventriculaire
UMH : Unité Mobile Hospitalière
USIC : Unité de Soins Intensifs Cardiologiques
VSAV : Véhicule de Secours et d'Assistance aux Victimes
YLD : Year Lived with Disability
YLL : Year of Life Lost
ZEAT : Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire

Table des matières

Table des matières	6
Introduction	9
Partie 1 : Arrêt cardiaque : problématique, définition et enjeux	12
Chapitre 1 : Définition(s) et enjeu(x) de l'arrêt cardiaque	13
1. <i>Un enjeu majeur de santé publique</i>	13
2. <i>Définition(s) de l'arrêt cardiaque</i>	19
a. Le risque de confusion avec la mort (cardiaque) subite	20
b. L'arrêt cardiaque	21
3. <i>Physiopathologie, causes et facteurs de risque de l'arrêt cardiaque</i>	24
a. Physiopathologie de l'arrêt cardiaque	24
b. Les rythmes	26
c. Les causes et les facteurs de risques	29
i. Causes des arrêts cardiaques	29
ii. Facteurs de risque des arrêts cardiaques	37
d. Des facteurs de risque cardiovasculaires à l'intégration de la notion de vulnérabilité	40
e. Maladies cardiovasculaires et arrêts cardiaques : de la vulnérabilité aux facteurs de risques socio-économiques	44
i. Facteurs socioéconomiques des maladies cardiovasculaires	44
ii. Statut socioéconomique et arrêt cardiaques	45
4. Epidémiologie des arrêts cardiaques	52
a. Incidence des arrêts cardiaques : comparaisons internationales	52
b. Caractéristiques des populations	57
i. Caractéristiques des arrêts cardiaques en Amérique du Nord	59
ii. Caractéristiques des arrêts cardiaques en Asie et au Moyen-Orient : un panorama nuancé	62
iii. Caractéristiques de l'arrêt cardiaque en Europe : une proximité avec l'Amérique du Nord	65
iv. Caractéristiques des arrêts cardiaques en France : les données de RéAC	66
c. Survie et devenir des patients	72
i. Lien entre incidence et survie	72
ii. Comparaison internationale des taux de survie	74
iii. Facteurs prédictifs de la survie	78
d. Les coûts de l'arrêt cardiaque	92
i. Futilité médicale de la réanimation cardiopulmonaire	92
ii. Survie et coût des arrêts cardiaques : efficacité et utilité des interventions	93
iii. Le (les) coût(s) de l'arrêt cardiaque	97
iv. Le coût de l'arrêt cardiaque en France	105
5. « Chaîne de survie » et recommandations en matière de réanimation cardiopulmonaire (RCP)	109
a. Premier maillon : reconnaissance de l'arrêt cardiaque et alerte des secours	111
b. Deuxième maillon : RCP précoce (massage cardiaque)	112
c. Troisième maillon : défibrillation précoce	113
d. Quatrième maillon : RCP avancée précoce et soins post-réanimation	113
Chapitre 2 : Nécessité et organisation d'un recueil d'information	118
1. D'une définition consensuelle à un cadre commun de recueil de données, l'enjeu du modèle d'Utstein	118
2. Forme du style d'Utstein : les recommandations en matière de contenu des registres	121

3.	Les limites du style d'Utstein _____	124
a.	Les limites liées aux conditions du déploiement et au respect des recommandations _____	124
b.	Les limites liées au contenu du style d'Utstein _____	126
4.	Le développement des registres : le succès international du style d'Utstein _____	128
5.	La situation en France : une absence de bases de données institutionnelles sur l'arrêt cardiaque _____	132
a.	Les registres en France : un cadre juridique complexe destiné à favoriser le développement et la diversité _____	132
b.	Etat des lieux des registres en France : un développement axé sur les cancers et les maladies rares, l'absence de registre des arrêts cardiaques qualifié _____	137
6.	L'arrêt cardiaque dans les bases de données de santé en France _____	138
a.	Les arrêts cardiaques dans CépiDc (Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès) _____	138
b.	Les arrêts cardiaques dans le PMSI (Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information) _____	139
Chapitre 3 : Un registre pour quoi faire ? _____		140
1.	Développer les études afin d'améliorer la connaissance et la prise en charge des arrêts cardiaques _____	140
a.	Le recueil de données relatives aux arrêts cardiaques extrahospitaliers dans RéAC _____	143
b.	Le programme d'études de RéAC _____	144
2.	Une limite des registres : l'absence de données socio-économiques _____	145
Partie 2 : Impact du statut socio-économique sur l'incidence de l'arrêt cardiaque : une analyse spatiale sur la région Ile-de-France _____		150
Chapitre 1 : Matériel et méthodes _____		152
1.	La collecte des données relatives aux patients au sein de RéAC : organisation et participation des acteurs de l'aide médicale urgente _____	152
a.	L'aide médicale urgente en France : une organisation à plusieurs niveaux _____	152
b.	La médecine d'urgence en (Ile de) France _____	156
c.	La participation au recueil d'informations dans le cadre de RéAC _____	157
2.	Constitution de la base de données : la sélection des variables _____	158
a.	Le choix de la région Ile de France _____	159
i.	Spécificités franciliennes _____	159
ii.	Un bon état de santé mais de fortes inégalités _____	161
iii.	Des inégalités sociales complexes à appréhender _____	163
b.	Le choix de la « Petite Couronne » (Départements 92,93 et 94) _____	168
c.	Données et variables issues de RéAC _____	173
d.	Les données socio-économiques _____	175
i.	Le choix d'un indice de défaveur sociale : l'IDH-2 (indice de développement humain) _____	176
ii.	La sélection de variables complémentaires représentatives des inégalités sociales et territoriales _____	181
3.	Plan d'analyse statistique _____	186
a.	La classification des méthodes d'analyse spatiale _____	186
b.	Première étape de l'analyse spatiale : représentation cartographique et SIR _____	188
i.	Calcul des SIR _____	188
ii.	Lissage des SIR _____	190
c.	Deuxième étape de l'analyse spatiale : détection des clusters et recours aux statistiques de scan _____	193
i.	Les différentes méthodes de détection de clusters _____	193
ii.	Les différentes méthodes de statistiques de scan _____	196
iii.	Le choix de la méthode _____	197
iv.	Application des statistiques de scan _____	199

d. Troisième étape de l'analyse spatiale : la comparaison des groupes de communes _____	203
Chapitre 2 : Résultats _____	204
1. Analyse statistique – Principales caractéristiques _____	204
2. Incidence des arrêts cardiaques en Ile-de-France _____	207
3. Analyse spatiale _____	208
i. Détection des clusters de sur-incidence et de sous-incidence _____	208
ii. Comparaison des caractéristiques socio-économiques des groupes de communes en fonction de l'incidence. _____	212
Chapitre 3 : Discussion _____	216
1. Caractéristiques des arrêts cardiaques extrahospitaliers : les spécificités franciliennes _____	216
2. L'incidence des arrêts cardiaques en « Petite Couronne » francilienne _____	221
3. Le lien entre l'incidence et les facteurs socio-économiques _____	222
4. Limites de l'étude _____	225
a. Limites relatives aux données _____	225
b. Limites relatives aux méthodes _____	229
Conclusion _____	231
Liste des figures _____	233
Liste des tableaux _____	236
Bibliographie _____	237
Annexes _____	255
Annexe 1 : Variables du modèle d'Utstein _____	256
Annexe 2 : Variables recueillies dans le cadre d'EuReCa _____	257
Annexe 3 : Fiches d'intervention RéAC et de suivi à J+30 _____	262

Introduction

L'arrêt cardiaque est l'une des principales causes de mortalité au niveau mondial. Il en est de même en France et il constitue donc un enjeu de santé publique majeur, même s'il n'est pas toujours perçu comme tel par le grand public. Associé à un taux de survie particulièrement faible, il est considéré comme l'une des plus grandes priorités de santé publique, en France comme au niveau international.

Aux États-Unis on dénombre 350.000 arrêts cardiaques extrahospitaliers chaque année, correspondant à trois millions d'années de vie perdues [1-3]. En France, le nombre d'arrêts cardiaques est estimé à 46.000 par an, associé à un taux de survie de moins de 5 % [4, 5]. La prévention des arrêts cardiaques, l'amélioration de la « chaîne de survie » sont au cœur des préoccupations et des recommandations internationales.

Ces dernières sont régulièrement mises à jour par les professionnels de l'urgence et de la réanimation qui se sont attachés à promouvoir le déploiement d'un recueil d'informations standardisé au plan international permettant de disposer ainsi d'un instrument de surveillance et de connaissance épidémiologiques et d'un outil d'évaluation et de comparaison des pratiques professionnelles. Ce recueil d'information, ou « style Utstein » a été implémenté dans de nombreux pays dans le cadre de la mise en place de registres sur l'arrêt cardiaque, et notamment en France sous l'appellation de Registre National des Arrêts Cardiaques (RéAC) [6-8].

C'est dans le cadre de ce registre et sur la base de son observation qu'a été réalisée la présente étude. S'attachant à mieux appréhender les problématiques de l'incidence et de la survie, caractérisées par de fortes variations à tous les niveaux géographiques d'observation, des équipes de recherche ont procédé à des investigations visant principalement à renforcer chacun des maillons de la chaîne de survie. Un certain nombre d'études ont ainsi pu mettre en évidence l'importance du lien entre le statut socioéconomique et l'incidence des arrêts cardiaques. Certaines d'entre elles ont privilégié une approche territoriale, parfois fondée sur une analyse spatiale [9-19].

Différentes caractéristiques ont ainsi pu être identifiées parmi lesquelles outre l'importance de l'âge, des facteurs de risque d'ordre socioéconomique comme le revenu, le niveau d'éducation, la pauvreté, le chômage, l'origine ethnique ou encore la composition du ménage ou les conditions de logement.

Ayant recours à une sélection de variables réalisée la plupart du temps a priori, ces études présentent une grande diversité sur le plan des méthodologies employées. Peu d'entre elles ont été fondées sur une approche territoriale. Quelques-unes ont toutefois pris en compte les travaux de recherche réalisés dans de nombreux pays en vue d'appréhender les inégalités sociales par un nombre limité de variables représentatives de ces inégalités, ou encore adopté des méthodes d'analyse spatiale. L'utilisation de systèmes d'information géographique, le recours à des modèles bayésiens en particulier, ont permis d'identifier des territoires de sur et sous-incidence ou d'appréhender les mécanismes de la survie en matière d'arrêt cardiaque. Parmi la dizaine d'études ayant emprunté cette voie, seules deux toutefois ont été réalisées en utilisant les méthodes de statistiques de scan [16, 19], seules méthodes à même de permettre la détection de clusters significatifs d'une sur ou d'une sous-incidence des arrêts cardiaques. Aucune étude employant cette méthodologie sur la thématique de l'arrêt cardiaque n'a été réalisée en France.

En 2012, Sasson et al. [16] ont conclu que « des recherches futures devront être menées pour mieux comprendre comment l'origine ethnique, le statut socioéconomique et le niveau d'éducation ont un impact sur la probabilité d'être dans une zone à haut risque d'arrêt cardiaque ».

Nous avons donc emprunté cette voie dans le cadre de cette thèse. L'objectif de notre travail consiste à mettre en œuvre une approche méthodologique originale en deux étapes qui vise d'abord à identifier et à étudier la distribution des clusters d'incidence de l'arrêt cardiaque en utilisant une approche bayésienne. Dans un second temps nous déterminerons les clusters de sous-incidence et de sur-incidence à l'aide de statistiques de scan, avant de caractériser ces clusters sur un plan socio-économique.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons commencé par réaliser une analyse des causes et facteurs de risques des arrêts cardiaques, puis d'en examiner les caractéristiques tant sur le plan de l'incidence que de la survie. Dans cette première partie, nous avons identifié au sein des travaux existants les facteurs de risques socioéconomiques d'importance.

Puis dans une seconde partie nous avons sélectionné un ensemble de données, individuelles et relatives aux arrêts cardiaques, agrégées et représentatives du statut socioéconomique des communes de trois départements franciliens et de leurs habitants. En l'occurrence notre étude a porté sur 3 414 arrêts cardiaques issus du registre RéAC et survenus dans les trois départements de la « Petite Couronne » de la région Ile de France (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis et Val-de-Marne) entre 2013 et 2015.

Le protocole d'étude mis en œuvre nous a alors conduit à procéder à une analyse statistique permettant de mettre en évidence les caractéristiques de chacun de ces départements et d'établir une comparaison avec les données disponibles au plan national, puis à réaliser une analyse spatiale en trois étapes. L'examen de la répartition spatiale de l'incidence des arrêts cardiaques en Ile-de-France a été complétée par la détection de clusters significatifs de sur et sous-incidence dont les caractéristiques ont ensuite pu être analysées.

Les résultats escomptés de cette thèse ont non seulement vocation à conforter les résultats obtenus dans d'autres études nationales mais devraient également permettre d'apporter un éclairage sur l'importance de certains facteurs de risques socioéconomiques et mettre en évidence l'intérêt de la mise en œuvre des statistiques de scan.

Partie 1 : Arrêt cardiaque : problématique, définition et enjeux

Chapitre 1 : Définition(s) et enjeu(x) de l'arrêt cardiaque

1. Un enjeu majeur de santé publique

L'arrêt cardiaque représente un enjeu majeur de santé publique en France [4, 5, 20] et reconnu au plan international. Il en est d'ailleurs fait mention dans l'ensemble des publications consacrées à ce sujet.

Il existe un lien étroit entre la survenue d'un arrêt cardiaque (dont la cause est médicale) et les maladies cardiovasculaires. Identifiées comme l'une des causes principales de mortalité parmi les pathologies non transmissibles, les maladies cardiovasculaires sont à l'origine d'un nombre très important d'années de vie perdues ou vécues avec une incapacité. Les maladies cardiovasculaires considérées dans leur ensemble font l'objet de nombreuses études et bénéficient d'un suivi régulier à travers le monde.

Dans une étude de 2016, Kassebaum et al. [21] constatent que pour l'ensemble des pathologies au niveau mondial, le nombre total de « disability adjusted life years » (DALY) - correspondant à l'addition du nombre des années vécues avec une incapacité (YLD : Years Lived with Disability) et de celui des années de vie perdues (YLL : Years of Life Lost) - était de 2.464.895.400 en 2015 (en diminution de 3.5 % par rapport à 2005). Les maladies non transmissibles représentaient plus de la moitié de ce chiffre (1.473.508.200), dont 347.528.900 DALY (en hausse de 6.5 % par rapport à 2005) pour les seules maladies cardiovasculaires. Ce chiffre représente le nombre de DALY le plus important - loin devant les cancers - auxquelles on devrait ajouter les 64.134.500 DALY relatives au diabète insulino-dépendant. Les données publiées par l'OMS pour l'année 2015 viennent conforter ces résultats [22].

La prépondérance des maladies cardiovasculaires parmi les causes de mortalité est également constatée dans les études consacrées aux pays de l'OCDE : un tiers des décès y est en effet dû à une maladie ischémique, un AVC ou une autre maladie circulatoire, à comparer au quart des décès causés par un cancer. Lesdites maladies cardiovasculaires demeurent la principale cause de mortalité, ce malgré un recul de près de 50 % depuis 1990 des maladies ischémiques en particulier.

Cela étant l'OCDE fait observer que ce recul pourrait être enrayé du fait de la progression de facteurs de risques tels que le diabète, qui touche d'ores et déjà 7 % de la population adulte de l'OCDE (en particulier dans les groupes socio-professionnels et populations les moins favorisés), soit 93 millions de personnes auxquelles il convient d'ajouter 33 millions de cas non diagnostiqués et près de 250 000 enfants atteints de diabète de type 1 et d'obésité. Alors que la réduction de la consommation de tabac alliée à d'importants progrès techniques et en matière de prise en charge ont contribué à ce jour à une réduction de la mortalité (OCDE, 2017). L'OCDE insiste plus particulièrement sur la baisse de la mortalité due à une crise cardiaque ou un AVC, la mortalité par crise cardiaque étant l'un des cinq indicateurs retenus par cette organisation internationale dans son « tableau de bord de l'état de santé » (**Figure 1**). A cet égard, on peut observer un taux de mortalité par crise cardiaque particulièrement favorable en France, mais cette donnée mérite d'être prise en compte avec circonspection compte tenu des conditions de recensement des données de mortalité pour certaines pathologies en France (nous reviendrons sur ce sujet dans le cadre de l'examen de CépiDc).

Figure 1 : OCDE : Tableau de bord de l'état de santé – Indicateurs de l'OCDE - 2017

✔ Mieux que la moyenne OCDE
● Proche de la moyenne OCDE
✘ Moins bien que la moyenne OCDE
 – Valeur manquante

	ESPÉRANCE DE VIE (M)	ESPÉRANCE DE VIE (F)	ESPÉRANCE DE VIE (65)	MORTALITÉ PAR CRISE CARDIAQUE	PRÉVALENCE DE LA DÉMENCE
	Années de vie à la naissance, hommes	Années de vie à la naissance, femmes	Années de vie à 65 ans, total	Taux standardisés par âge pour 100 000 habitants	Cas pour 1 000 habitants
OCDE	77.9	83.1	19.5	112	14.8
Allemagne	78.3 ●	83.1 ●	19.5 ●	106 ●	20.2 ✘
Australie	80.4 ●	84.5 ●	20.9 ●	85 ●	14.2 ●
Autriche	78.8 ●	83.7 ●	19.7 ●	131 ●	18.0 ●
Belgique	78.7 ●	83.4 ●	19.9 ●	54 ●	18.0 ●
Canada	79.6 ●	83.8 ●	20.2 ●	93 ●	13.0 ●
Chili	76.5 ●	81.7 ●	18.5 ●	64 ●	11.7 ●
Corée	79.0 ●	85.2 ●	20.3 ●	38 ✔	9.6 ✔
Danemark	78.8 ●	82.7 ●	19.4 ●	60 ●	16.4 ●
Espagne	80.1 ●	85.8 ✔	21.0 ✔	53 ●	19.4 ✘
Estonie	73.2 ✘	82.2 ●	18.1 ✘	211 ✘	14.7 ●
Etats-Unis	76.3 ●	81.2 ●	19.3 ●	113 ●	11.6 ●
Finlande	78.7 ●	84.4 ●	20.1 ●	147 ●	18.5 ●
France	79.2 ●	85.5 ✔	21.5 ✔	39 ✔	19.7 ✘
Grèce	78.5 ●	83.7 ●	19.9 ●	82 ●	19.6 ✘
Hongrie	72.3 ✘	79.0 ✘	16.4 ✘	288 ✘	10.6 ●
Irlande	79.6 ●	83.4 ●	19.7 ●	127 ●	11.5 ●
Islande	81.2 ✔	83.8 ●	20.4 ●	100 ●	13.0 ●
Israël	80.1 ●	84.1 ●	20.2 ●	64 ●	10.5 ●
Italie	80.3 ●	84.9 ●	20.6 ●	84 ●	22.5 ✘
Japon	80.8 ●	87.1 ✔	21.9 ✔	34 ✔	23.3 ✘
Lettonie	69.7 ✘	79.5 ✘	16.6 ✘	328 ✘	14.6 ●
Luxembourg	80.0 ●	84.7 ●	20.4 ●	59 ●	13.3 ●
Mexique	72.3 ✘	77.7 ✘	17.7 ✘	144 ●	7.2 ✔
Norvège	80.5 ●	84.2 ●	20.3 ●	72 ●	15.1 ●
Nouvelle-Zélande	79.9 ●	83.4 ●	20.4 ●	129 ●	13.5 ●
Pays-Bas	79.9 ●	83.2 ●	19.8 ●	46 ✔	16.1 ●
Pologne	73.5 ✘	81.6 ●	17.9 ✘	98 ●	9.9 ✔
Portugal	78.1 ●	84.3 ●	19.9 ●	55 ●	19.9 ✘
République slovaque	73.1 ✘	80.2 ✘	16.9 ✘	291 ✘	8.3 ✔
République tchèque	75.7 ●	81.6 ●	17.7 ✘	237 ✘	10.4 ✔
Royaume-Uni	79.2 ●	82.8 ●	19.7 ●	98 ●	17.1 ●
Slovénie	77.8 ●	83.9 ●	19.5 ●	82 ●	11.8 ●
Suède	80.4 ●	84.1 ●	20.2 ●	95 ●	18.1 ●
Suisse	80.8 ●	85.1 ●	20.9 ●	78 ●	17.2 ●
Turquie	75.3 ●	80.7 ✘	17.8 ✘	146 ●	8.0 ✔

Note : Tous les chiffres se rapportent à l'année 2015 ou à l'année la plus proche, sauf ceux concernant la prévalence de la démence, qui se rapportent à l'année 2017. Les indicateurs sont tirés du chapitre 3 (espérance de vie, masculine et féminine ; mortalité par cardiopathie ischémique) et du chapitre 11 (espérance de vie à 65 ans ; prévalence de la démence).

Source : Statistiques de l'OCDE sur la santé 2017 ; Analyse de l'OCDE des données du Rapport mondial Alzheimer 2015 et des Nations Unies (pour la prévalence de la démence).

Dans une étude récente réalisée aux Etats-Unis portant spécifiquement sur les arrêts cardiaques, Stecker et al. [3] ont mis en évidence l'enjeu majeur représenté par ces arrêts cardiaques aux Etats-Unis. Au-delà du fait qu'ils constituent l'une des principales causes de

mortalité, les arrêts cardiaques constituent également une très importante cause de décès prématurés, avec respectivement 2,04 millions d'années de vie perdues (YLL) pour les hommes et 1.29 millions d'années pour les femmes. Soit un total de plus de 3,1 millions d'années de vie perdues rien que pour les Etats-Unis, soit plus que pour toutes les autres causes de mortalité. L'arrêt cardiaque est de ce fait érigé en priorité nationale aux Etats-Unis, qu'il s'agisse de sa prévention ou de sa prise en charge. Aucune étude de ce type n'a été réalisée à ce jour en France. Toutefois, et malgré les faiblesses des bases de données institutionnelles qui ne permettent pas d'appréhender précisément la mortalité due aux arrêts cardiaques (de loin supérieure à ce que peut en laisser paraître l'exploitation des certificats de décès dans CépiDc), ces derniers sont très clairement identifiés comme un enjeu de santé publique majeur en France, au regard de l'incidence et des taux de survie constatés [4, 5, 20]. A la forte mortalité due aux maladies cardio-vasculaires et notamment aux crises cardiaques (ou infarctus du myocarde, qui peuvent être à l'origine d'un arrêt cardiaque) constatées par l'OCDE correspondent en effet un faible taux de survie et une incidence élevée des arrêts cardiaques en particulier. Le nombre des arrêts cardiaques a été et demeure jusqu'à ce jour difficile à apprécier. Et nous ne pouvons que reprendre l'expression de Nicolas et Lecomte selon lesquels aborder cette question « oblige à aborder la question de l'épidémiologie de la mort subite (*liée aux arrêts cardiaques*) avec une infinie modestie et à encourager (...) la mise en place d'un programme rigoureux de recherche sur (*ce*) thème » [23].

Gräsner et al. donnent une estimation de 275.000 arrêts cardiaques pour l'Europe et 420.000 pour les USA [24]. Ce dernier nombre doit toutefois être retenu avec circonspection et illustre, au travers du cas des USA, la difficulté qu'il peut y avoir à connaître le nombre d'arrêts cardiaques. Kong et al. ont ainsi publié les résultats d'une méta-analyse en 2011 (à partir de 6 études) montrant que le nombre d'arrêts cardiaques aux USA pouvait être estimé de 180.000 à 450.000 par année [25]. Cette amplitude peut de fait être expliquée notamment par les définitions utilisées, certains auteurs prenant en considération les morts (cardiaques) subites, d'autres les arrêts cardiaques. Kong et al. soulignaient une ambiguïté persistante du point de vue de l'utilisation de ces définitions qui apparaissaient parfois être interchangeables et en tout

cas variables pour chacune d'elles selon les études, et qu'il était toujours difficile de connaître en 2011 la «véritable » incidence des arrêts cardiaques aux USA.

En complétant les résultats de cette méta-analyse d'autres références nous obtenons ainsi pour les USA :

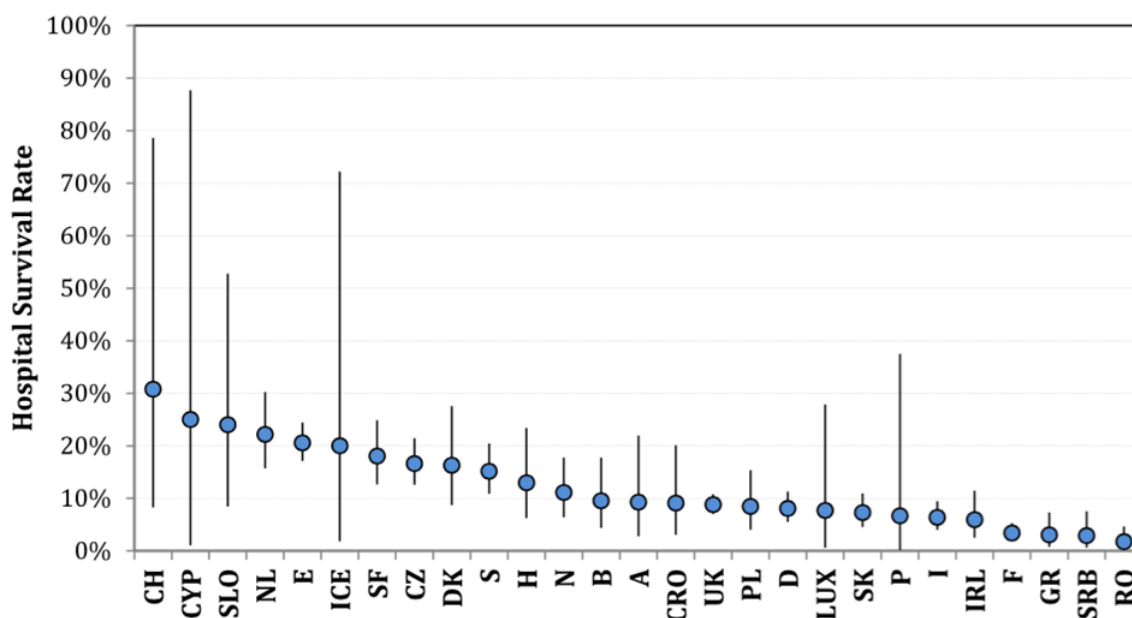
- Un nombre global d'arrêts cardiaques allant de 166.000 [26] à 356.461 arrêts cardiaques extrahospitaliers [2] (avec une estimation intermédiaire de 295.000 selon Nichol et al. [27])
- Un nombre d'arrêts cardiaques pris en charge (réanimation) par les services d'urgence de 155 000 [28] à 184 000 arrêts cardiaques extrahospitaliers [29], mais pouvant varier de 180 000 à 250 000 selon Chugh et al. [30, 31]
- Un nombre de 300 000 de morts (cardiaques) subites selon Zipes en 1992 [32], de 310.000 selon Rosamond et al. [26], de 300 000 à 400 000 selon Zipes et Wellens [33], de 400 000 à 450 000 d'après Zheng et al. [34] (avec toutefois des définitions variables de la mort cardiaque subite, que l'American Heart Association définit comme l'échec d'une tentative de restauration de l'activité circulatoire en cas d'arrêt cardiaque) [2]

Si nous retenons l'estimation publiée par l'AHA à partir des données issues du ROC de 356 000 arrêts cardiaques aux USA, et un taux de survie de l'ordre de 10 % [35], nous obtenons plus de 320 000 décès liés aux arrêts cardiaques par an, ce qui en fait la première cause de mortalité aux USA. Estimation dont il convient de préciser qu'elle est établie à partir d'un taux de survie qui varie fortement d'un Etat/Comté à l'autre des USA [35, 36]. Girotra et al. ont en effet pu constater que le taux de survie variait de 3,4 à 22 % [35], confirmant une situation que Nichol et al. avaient déjà pu observer quelques années auparavant entre sites du ROC, avec un taux de survie allant de 3 % dans l'Alabama à plus de 16 % dans l'Etat de Washington (Seattle) [27].

Cette variabilité est également au cœur des constats réalisés par Berdowski et al. sur un ensemble de 67 pays au plan international [37], d'une part, de Gräsner et al. dans le cadre du projet européen EuReCA ONE [24], d'autre part.

Enjeu majeur aux USA, l'arrêt cardiaque ne l'est pas moins en Europe. Le taux de survie moyen de 10,3 % y est là encore très variable d'un pays à l'autre (**Figure 2**) [24], variabilité qui avait déjà pu être constatée dans le cadre d'études antérieures réalisée par Herlitz et al. à la fin des années 1990 (en Europe du Nord) et Atwood et al. au début des années 2000. Atwood et al. avaient ainsi pu constater des taux de survie variant de 1 à 10 selon les pays, régions, ou communes étudiés et pouvant atteindre jusqu'à 30 % [38, 39].

Figure 2 : Taux de survie à la sortie de l'hôpital des différents pays européens (identifiés par leur(s) initiale(s)), participants à l'étude EuReCa
(Source : Gräsner et al. – 2016)



Ce constat de variabilité vaut également pour l'incidence en Europe. Avec une estimation de 275.000 cas par an, l'arrêt cardiaque est également un enjeu majeur de santé publique majeur en Europe. Cette estimation, due à Atwood et al. [38] a été reprise par Gräsner et al. dans leurs récents travaux [24]. Cependant l'estimation de Atwood et al. était fondée sur un taux d'incidence de 37,72/100 000, calculé sur les seuls arrêts cardiaques pris en charge par un service d'urgence [38]. Or Gräsner et al. ont pu calculer à partir des données de l'étude EuReCA ONE un taux d'incidence fondé sur le nombre d'arrêts cardiaques ayant donné lieu à une RCP (par un témoin ou un service d'urgence) de 49/100 000, d'une part, un taux

d'incidence globale de 84/100 000 (très proche du taux de 87,4/100 000 résultant de l'étude de Berdowski et al.) d'autre part [24, 37]. L'enjeu en Europe est donc de l'ordre de 430 000 arrêts cardiaques par an, et de près de 390 000 décès pour un taux de survie de 10 %, enjeu considérable au regard des 5 millions de décès constatés annuellement au niveau européen (5.2 millions en 2015 selon les données Eurostat).

La France se différencie par un taux d'incidence des arrêts cardiaques inférieur à la moyenne européenne. Estimé à 60/100.000 par Gräsner et al., une étude récente réalisée par Luc et al. dans le cadre du registre RéAC a permis de conforter cette estimation avec un taux d'incidence de 61.5/100.000 [5, 24]. En revanche, le taux de survie (après réalisation d'une RCP) constaté par Luc et al. - 10.4 % - se trouve être très proche de ceux figurant dans les études de Atwood et al. (10.7 %) et Gräsner et al. (10.3 %) et donc de la moyenne européenne. Cependant l'arrêt cardiaque demeure un enjeu majeur de santé publique en France, avec un nombre de cas proche de 46 000 par an et un taux de survie global à 30 jours (intégrant l'ensemble des arrêts cardiaques et non pas seulement ceux ayant donné lieu à une RCP) compris entre 4,6 et 4,9 % [4, 5]. Le caractère sensible de l'arrêt cardiaque provient non seulement de ce qu'il constitue l'une des principales causes de décès en France, mais également du fait qu'il « représente la plus extrême des urgences mais qui n'est plus considéré comme irréversible », en témoignant les progrès en matière de prise en charge et l'amélioration de la chaîne de survie, en particulier grâce à la l'évolution des recommandations, au développement de l'expertise des services d'urgences et à une meilleure connaissance des arrêts cardiaques liés à la mise en place de registres [40].

2. Définition(s) de l'arrêt cardiaque

L'arrêt cardiaque, ou arrêt cardio-respiratoire, est parfois confondu - à tort - par le grand public avec la crise cardiaque (ou infarctus du myocarde, qui peut à l'origine d'un arrêt cardiaque). L'écart est grand, en effet, entre la connaissance intuitive, très partagée, de l'arrêt cardiaque et sa définition précise, peu connue. Rares sont les personnes, qui par exemple, savent mettre en œuvre la chaîne de survie en France. Mais il existe un autre risque de confusion, par ailleurs souvent constaté, avec la mort (cardiaque) subite.

a. Le risque de confusion avec la mort (cardiaque) subite

Kong et al. ont souligné dans leur méta-analyse la confusion, ou du moins la substituabilité, dans de nombreuses études entre mort (cardiaque) subite et arrêt cardiaque [25]. Deo et Albert [41] relèvent d'ailleurs que même si « le terme de mort subite (MS) se rapporte généralement à un décès de cause cardiovasculaire survenu de manière totalement imprévisible chez une personne atteinte ou non d'une affection cardiaque préexistante », la spécificité de cette définition varie selon que l'événement s'est ou non produit en présence d'un témoin et que la plupart des études ont porté sur des cas dans lesquels le collapsus avait été constaté par un tiers (la personne étant décédée dans l'heure ayant suivi une modification brutale de son état clinique) ou sur des décès survenus brutalement au cours des précédentes 24 heures [41]. Au regard de cette définition Deo et Albert considèrent comme un arrêt cardiaque cette fois « une mort subite récupérée grâce à une procédure de réanimation documentée ou (une mort subite ayant) spontanément avorté, l'intéressé ayant survécu à l'arrêt cardiaque ».

L'Académie Nationale de Médecine propose la définition suivante de la mort subite : « mort d'une personne survenant moins de vingt-quatre heures après l'apparition des symptômes ou signes alarmants ».

Toutefois, nous retiendrons ici la définition élaborée et publiée en 2010 par un groupe d'experts mandaté au plan international par le National Heart, Lung and Blood Institute et la Heart Rhythm Society. En substance, on peut lire : « un cas de mort subite cardiaque établie est une mort inattendue sans cause extracardiaque évidente, se produisant avec un effondrement rapide et observé, ou, s'il n'y a pas de témoin, se produisant dans l'heure suivant l'apparition des symptômes. Une mort subite cardiaque probable est une mort inattendue sans cause extracardiaque évidente survenue dans les 24 heures précédentes. Dans toutes les situations, le décès ne devrait pas se produire dans le cadre d'une affection terminale antérieure, telle qu'une tumeur maligne qui n'est pas en rémission ou une maladie pulmonaire obstructive chronique en phase terminale. Le terme « arrêt cardiaque soudain » doit être utilisé pour décrire les cas de mort subite cardiaque pour lesquels des enregistrements de réanimation spécifiques sont disponibles ou si la personne a survécu à l'événement [42].

Afin de bien la différencier de celle de la mort (cardiaque) subite, et compte tenu de l'objet de la présente thèse nous allons maintenant préciser la définition de l'arrêt cardiaque, son évolution et les enjeux qu'elle recouvre.

b. L'arrêt cardiaque

Différentes définitions de l'arrêt cardiaque sont diffusées par des fédérations (la Fédération Française de Cardiologie par exemple), fondations (notamment la Fondation Cœur et Artères), associations ou sociétés savantes (parmi lesquelles le Conseil Français de Réanimation Cardio-Pulmonaire, la Société Française de Médecine d'Urgence, la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation ou encore la Société Française de Cardiologie).

Ces définitions françaises sont souvent inspirées de définitions internationales issues d'un consensus. On pourra notamment citer les définitions de l'American Heart Association (AHA) et de l'European Resuscitation Council (ERC) établies sous l'égide de l'International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR).

Pour ce qui est de la France, les définitions varient souvent selon l'objectif poursuivi par l'institution qui en est à l'origine. Par exemple, pour la Fédération Française de Cardiologie, qui s'adresse en priorité au grand public, l'arrêt cardiaque est défini comme un trouble cardiaque souvent dû à une fibrillation ventriculaire et fréquemment lié à une complication de l'infarctus du myocarde. Cette définition, bien que simpliste, a pour objectif de permettre au grand public d'avoir une première approche de l'arrêt cardiaque.

D'autres définitions, plus complètes, ont été données, notamment celle de l'Académie Nationale de Médecine dans la version 2018 de son dictionnaire (en ligne sur le site dictionnaire.academie-medecine.fr).

Cette définition s'intéresse aux signes et causes de l'arrêt cardiaque. On peut ainsi lire dans ce dictionnaire que l'arrêt cardiaque est un « *arrêt soudain des battements du cœur (asystolie, fibrillation ventriculaire, dissociation électromécanique, désamorçage cardiaque par collapsus), interrompant la circulation. Il conduit rapidement à l'anoxie cérébrale, qui entraîne à son tour une encéphalopathie anoxique laissant des séquelles en cas de survie. Signes immédiats : sensation de malaise, expression de l'angoisse, gasps, puis pâleur, mydriase,*

absence de pouls carotidien, de bruits cardiaques et de pression artérielle (ne pas perdre du temps pour la rechercher). Causes : cardiaques (infarctus du myocarde), broncho-pulmonaire (embolie pulmonaire, obstruction des voies aériennes par corps étranger, strangulation, œdème aigu ou noyade) ou nerveuse (réflexe vasovagal), hypoxie exogène ».

L'Académie Nationale de Médecine intègre également dans cette définition des éléments indicatifs concernant la prise en charge des arrêts cardiaques. Elle insiste sur l'importance jouée par les premiers secours et sur la nécessaire médicalisation, dans un second temps, de la prise en charge. Dans cette même définition, on peut donc lire également :

« Il ne faut pas perdre une minute : la ressuscitation cardiorespiratoire se fait en deux phases :
- suppléance, dans le cas général, massage cardiaque externe et bouche-à-bouche, et si possible oxygénation ; en salle d'opération sur malade intubé mis en oxygène pur, ventilation bouche à canule — en cas de doute sur la qualité du mélange anesthésique — massage cardiaque direct (en chirurgie à thorax ouvert)

- relance du cœur, défibrillation, injection d'adrénaline puis réanimation médicale.

Les soins doivent être prolongés, surtout chez les jeunes en cas d'hypothermie (noyade). Les résultats sont d'autant meilleurs que des premiers soins efficaces ont été prodigués dans les toutes premières minutes (importance du secourisme). La survie est de 50 % en moyenne si l'arrêt cardiaque si l'arrêt cardiaque est massé en moins de 2,5 min ».

Aujourd'hui dans la plupart des travaux de recherche et/ou études épidémiologiques portant sur cette thématique, la définition retenue est issue d'un consensus international. Il a fallu attendre 2004 pour disposer d'une définition internationale de l'arrêt cardiaque issue d'un consensus d'experts. Cette définition validée par l'ILCOR s'inscrit dans le cadre du modèle d'Utstein, permettant de définir les variables nécessaires à la description uniforme des arrêts cardiaques. On peut lire dans l'article de Jacobs et al. [7] : *« Cardiac arrest is the cessation of cardiac mechanical activity as confirmed by the absence of signs of circulation. If an EMS provider or physician did not witness the cardiac arrest, then the professional may be uncertain as to whether a cardiac arrest actually occurred ».*

Cette définition a été reprise par l'American Heart Association qui a apporté un certain nombre de précisions, notamment sur l'origine (cardiaque ou non cardiaque) appréciée par les secours. Il est ainsi précisé qu'un arrêt cardiaque sera considéré a priori comme ayant une origine cardiaque, sauf si une autre cause peut être identifiée par les secours. Cette autre cause peut être un traumatisme, une noyade, une overdose, une asphyxie, une exsanguination, cette liste n'étant pas exclusive, et l'appréciation relevant de la responsabilité des secours [1, 2].

L'arrêt cardiaque pouvant résulter de processus pathologiques très différents, une démarche consensuelle a été engagée sous l'égide de l'ILCOR lors de la mise à jour du modèle d'Utstein [7]. Cette démarche a permis d'aboutir en 2015 à une classification et une définition en matière de pathogénèse de l'arrêt cardiaque avec six causes principales (probables), cinq d'entre elles étant qualifiées de causes externes (traumatique, overdose, noyade, électrocution et asphyxie), et une cause interne qualifiée de cause médicale (**Figure 3**).

Figure 3 : Causes de l'arrêt cardiaque

(Source : Perkins et al. - 2015)

Pathogenesis	The most likely primary cause of the cardiac arrest.	Medical/traumatic cause/drug overdose/drowning/electrocution/asphyxial/not recorded. (Note this variable does not include the unknown option as unknown causes should be assigned as medical causes.)
	<p>Medical: Includes cases in which the cause of the cardiac arrest is presumed to be cardiac, other medical cause (eg, anaphylaxis, asthma, GI bleed), and in which there is no obvious cause of the cardiac arrest</p> <p>Traumatic: Cardiac arrest directly caused by blunt, penetrating, or burn injury</p> <p>Drug overdose: Evidence that the cardiac arrest was caused by deliberate or accidental overdose of prescribed medications, recreational drugs, or ethanol</p> <p>Drowning: Victim is found submersed in water without an alternative causation</p> <p>Electrocution</p> <p>Asphyxial: External causes of asphyxia, such as foreign-body airway obstruction, hanging, or strangulation</p>	

Cependant, il apparaît important de souligner qu'est par principe considéré comme relevant d'une cause médicale tout arrêt cardiaque dont l'origine n'a pu être identifiée, d'une part, que les arrêts cardiaques relatifs à une overdose, accidentelle ou non, de médicaments prescrits ne relèvent pas d'une cause médicale, d'autre part.

Ces définitions, évolutives, pour simples qu'elles puissent paraître, témoignent de la complexité de la définition, de la compréhension et de la description de l'arrêt cardiaque. Ceci a conduit les acteurs à se fédérer en un groupe de travail (« task force ») afin d'établir un consensus international sur la définition de l'arrêt cardiaque et sur la liste des variables nécessaires permettant de le décrire correctement. L'objectif étant de permettre des collaborations et des comparaisons internationales les plus étendues en garantissant une information homogène et comparable dans les différents pays impliqués. Cet état de fait constituant un facteur primordial dans la compréhension de l'arrêt cardiaque et dans l'amélioration de sa prise en charge.

3. Physiopathologie, causes et facteurs de risque de l'arrêt cardiaque

a. Physiopathologie de l'arrêt cardiaque

L'arrêt cardiovasculaire, communément appelé Arrêt Cardiaque (AC) (ou arrêt cardiorespiratoire), correspond à la perte brutale d'une activité cardiaque efficace. Il est dû à l'arrêt du fonctionnement d'un composant de l'appareil cardiovasculaire. L'AC entraîne l'arrêt de la respiration et celui de la circulation sanguine.






L'arrêt cardiaque et la crise cardiaque ne doivent pas être confondus même s'il peut exister un lien entre eux. Un arrêt cardiaque peut en effet intervenir à la suite d'une crise cardiaque (ou en phase de récupération), et une crise cardiaque peut augmenter le risque de survenue d'un arrêt cardiaque (**Figure 4**). Cela étant une crise cardiaque n'est la plupart du temps pas à l'origine d'un arrêt cardiaque. Il existe en effet d'autres causes : cardiomyopathie, insuffisance cardiaque, arythmie, fibrillation ventriculaire, syndrome de QT long notamment ou d'autres causes non médicales telles que le traumatisme, la noyade, l'asphyxie, l'électrocution ou l'overdose.

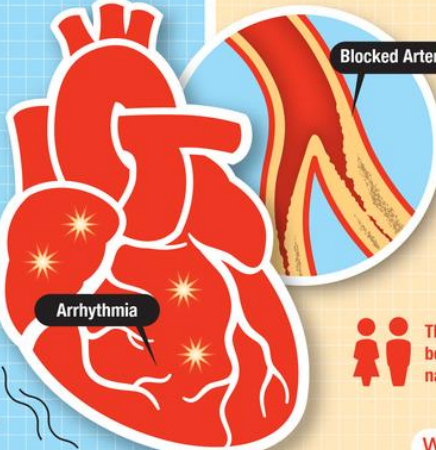
Figure 4 : Différence entre arrêt cardiaque et crise cardiaque

(Source : American Heart Association)


CARDIAC ARREST VS. HEART ATTACK


People often use these terms interchangeably, but they are not the same.

WHAT IS CARDIAC ARREST?	WHAT IS A HEART ATTACK?
<p>CARDIAC ARREST occurs when the heart malfunctions and stops beating unexpectedly.</p> <p>Cardiac arrest is triggered by an electrical malfunction in the heart that causes an irregular heartbeat (arrhythmia). With its pumping action disrupted, the heart cannot pump blood to the brain, lungs and other organs.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Cardiac arrest is an “ELECTRICAL” problem.</p> </div>	<p>A HEART ATTACK occurs when blood flow to the heart is blocked.</p> <p>A blocked artery prevents oxygen-rich blood from reaching a section of the heart. If the blocked artery is not reopened quickly, the part of the heart normally nourished by that artery begins to die.</p> <div style="text-align: center;">  <p>A heart attack is a “CIRCULATION” problem.</p> </div>
<p>WHAT HAPPENS</p> <p>Seconds later, a person becomes unresponsive, is not breathing or is only gasping. Death occurs within minutes if the victim does not receive treatment.</p>	<p>WHAT HAPPENS</p> <p>Symptoms of a heart attack may be immediate and may include intense discomfort in the chest or other areas of the upper body, shortness of breath, cold sweats, and/or nausea/vomiting. More often, though, symptoms start slowly and persist for hours, days or weeks before a heart attack. Unlike with cardiac arrest, the heart usually does not stop beating during a heart attack. The longer the person goes without treatment, the greater the damage.</p>
<p>WHAT TO DO</p> <p>CALL 9-1-1  Cardiac arrest can be reversible in some victims if it's treated within a few minutes. First, call 9-1-1 and start CPR right away. Then, if an Automated External Defibrillator (AED) is available, use it as soon as possible. If two people are available to help, one should begin CPR immediately while the other calls 9-1-1 and finds an AED.</p>	<p>WHAT TO DO</p> <p>CALL 9-1-1 Even if you're not sure it's a heart attack, call 9-1-1 or your emergency response number. Every minute matters! It's best to call EMS to get to the emergency room right away. Emergency medical services staff can begin treatment when they arrive — up to an hour sooner than if someone gets to the hospital by car. EMS staff are also trained to revive someone whose heart has stopped. Patients with chest pain who arrive by ambulance usually receive faster treatment at the hospital, too.</p>
<p> Fast action can save lives.</p> <p>Learn more about CPR or to find a course, go to heart.org/cpr</p>	<p>WHAT IS THE LINK? </p> <p>Most heart attacks do not lead to cardiac arrest. But when cardiac arrest occurs, heart attack is a common cause. Other conditions may also disrupt the heart's rhythm and lead to cardiac arrest.</p>



Arrhythmia (pointing to the heart) and **Blocked Artery** (pointing to the artery).

 The heart attack symptoms in women can be different than men (shortness of breath, nausea/vomiting, and back or jaw pain).



American Heart Association
life is why™

©2015, American Heart Association. 7/15 DS9493

Dans le cas d'un arrêt cardiaque, le cœur fibrille et/ou en vient à ne plus assurer l'éjection du sang dans l'organisme et le cerveau (dans tous les cas il devient inefficace dans sa fonction de « pompe »), pouvant causer en quelques minutes la mort des tissus [43] et des organes

[44] en l'absence de reprise de l'activité circulatoire (par exemple 3 minutes suffisent après l'AC pour causer des lésions irréversibles au cerveau). D'éventuelles séquelles neurologiques graves peuvent ainsi survenir dans le cadre d'un syndrome post-arrêt cardiaque, du fait de lésions cellulaires et tissulaires dès la phase de no-flow [45, 46].

La cessation de l'activité mécanique cardiaque est confirmée par « l'absence de pouls et une apnée ou respiration agonique (« gasping) » [47].

La Fédération Française de Cardiologie relève que 90 % des arrêts cardiaques sont dus à une cause médicale d'origine cardio-vasculaire, dont l'infarctus du myocarde, et qu'il s'agit le plus souvent d'une fibrillation ventriculaire, donc d'un « trouble du rythme cardiaque correspondant à des contractions rapides, irrégulières et inefficaces des ventricules du cœur ». En cas de trouble cardiaque, le mécanisme à l'origine de l'anomalie de l'activité électrique déclenchant l'activité anormale du muscle cardiaque peut prendre la forme : d'une fibrillation ventriculaire, d'une tachycardie, d'une asystolie, d'une bradycardie, ou d'une activité mécanique sans pouls [48]. La fibrillation ventriculaire et la tachycardie étant les mécanismes les plus fréquents.

A cet égard Rubart et Zipes [49] ont pu constater que les mécanismes les plus fréquents étaient la dégénérescence d'une tachycardie en une fibrillation ventriculaire (durant laquelle le rythme des contractions ne permettait plus aux ventricules d'éjecter le sang), suivie de l'asystolie et de l'activité électrique sans pouls [49].

Souvent liées à une étiologie non cardiaque, l'asystolie et la dissociation électromécanique ne sont pas choquables (un défibrillateur automatisé, semi-automatisé ou manuel s'avère inefficace pour les traiter), à la différence des autres mécanismes de l'arrêt cardiaque.

L'ensemble des définitions proposées ci-dessous, concernant les rythmes, sont issues du dictionnaire de l'Académie de Médecine dans sa version 2018.

b. Les rythmes

Quatre troubles du rythme peuvent être responsables de l'AC. Un électrocardiogramme permet de les identifier :

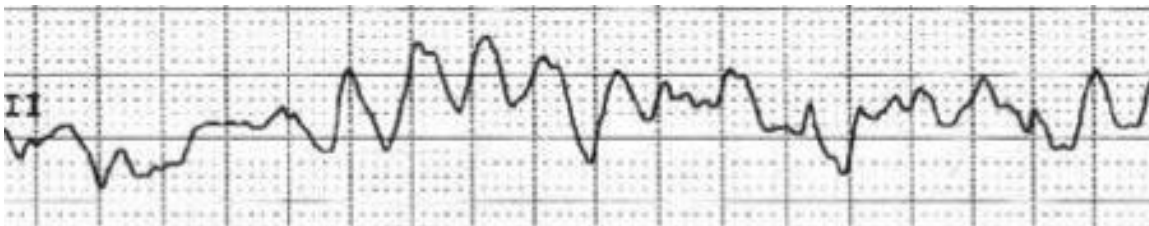
- **La Fibrillation Ventriculaire (FV)**

La fibrillation ventriculaire est une altération très grave du rythme cardiaque (**Figure 5**), remplaçant la contraction normale organisée par des contractions rapides, anarchiques et inefficaces de toutes les fibres myocardiques.

La fibrillation ventriculaire entraîne une inefficacité totale du cœur et un arrêt circulatoire spontanément mortel en quelques minutes. Le traitement représente donc une extrême urgence. Il consiste à appliquer à la masse ventriculaire un choc électrique délivré par un défibrillateur. Dans le cadre de la circulation extracorporelle pour chirurgie du cœur, est utilisée couramment une fibrillation ventriculaire provoquée volontairement par application d'un courant électrique, afin de supprimer les battements cardiaques et faciliter les gestes chirurgicaux.

Non prise en charge, l'intensité de la FV diminue et se transforme en asystolie [50, 51].

Figure 5 : Tracé d'une fibrillation ventriculaire



- **La Tachycardie Ventriculaire sans pouls (TV)**

Durant une tachycardie ventriculaire la fréquence cardiaque est supérieure à 100 battements par minute chez l'adulte. On distingue les tachycardies sinusales normales, liées à l'effort ou à une stimulation sympathique excessive (émotion, absorption de substances dites «excitantes»), les tachycardies pathologiques, secondaires soit à une insuffisance cardiaque, soit à une stimulation hormonale (hyperthyroïdie, sécrétion médullo-surrénalienne excessive) ou encore les tachycardies réactionnelles à un état d'anémie, aiguë ou chronique, et les tachycardies ectopiques prenant naissance soit dans la paroi auriculaire (tachycardie supraventriculaire) en amont du faisceau de His, soit dans les parois ventriculaires (tachycardie ventriculaire). Contrairement à la FV, les ondes QRS sont identiques, ce rythme n'est pas anarchique. Généralement, dans le cas de l'AC, les TV se transforment rapidement

en FV. Ces deux rythmes sont d'ailleurs très souvent confondus, on parle de « FV/TV sans pouls » sans distinction (**Figure 6**).

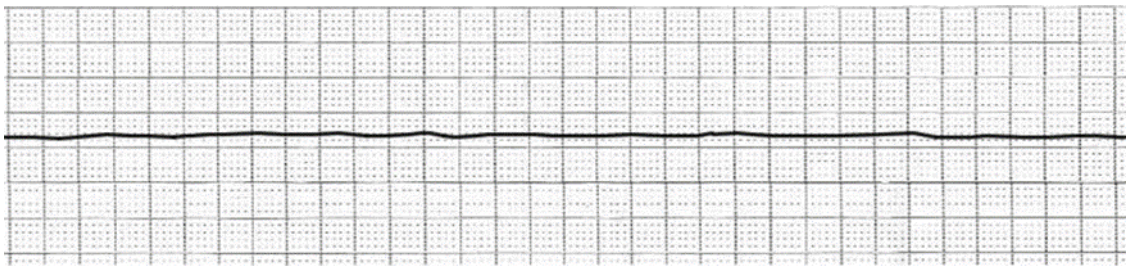
Figure 6 : Tracé d'une tachycardie ventriculaire sans pouls



- **L'Asystolie**

L'asystolie est un arrêt des contractions cardiaques ventriculaires, le cœur restant immobile. Aucune activité électrique ou mécanique n'est retrouvée (**Figure 7**). Le cœur ne bat plus, c'est ce que l'on peut appeler communément un « tracé plat ».

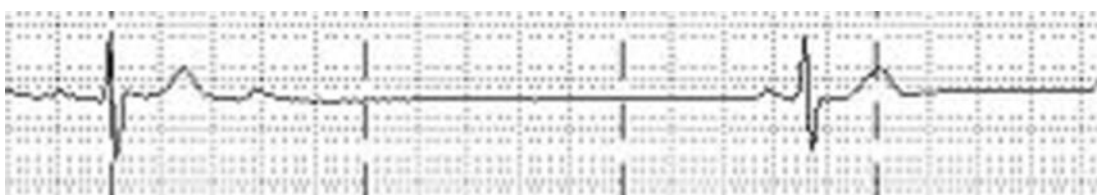
Figure 7 : Tracé d'une asystolie sur un ECG



- **La Dissociation électromécanique (ou activité électrique sans pouls).**

Lors de l'arrêt cardiaque, il y a persistance de l'activité électrique du cœur pendant un certain temps. Puis le cœur reprend une activité électrique normale, cependant ses battements ne permettent pas une circulation sanguine efficace (**Figure 8**). Elle est peu modifiée d'abord, puis il y a un espacement progressif des complexes, certains pouvant se manifester une heure encore après l'arrêt mécanique. En effet l'activité mécanique du cœur est due à la contraction des myofibrilles riches en mitochondries.

Figure 8 : Tracé d'un RSP sur un ECG



c. Les causes et les facteurs de risques

Les causes des arrêts cardiaques sont multiples et ont fait l'objet de travaux de synthèse. Aux causes médicales largement décrites dans la littérature, peuvent venir s'ajouter des causes d'une autre nature qui amènent à s'interroger sur les facteurs de risque des arrêts cardiaques. Pendant de nombreuses années, l'enjeu au cœur même de la démarche d'élaboration du modèle d'Utstein a été d'identifier les arrêts cardiaques en fonction de leur origine, cardiaque ou non-cardiaque. L'évolution du modèle a conduit l'ILCOR à recommander une nouvelle typologie, distinguant les causes médicales d'un certain nombre de causes qualifiées d'externes (traumatisme (blessure), asphyxie, overdose, noyade, électrocution) [2, 8]. Cette nouvelle typologie permet de surmonter l'obstacle que peut représenter l'imprécision et la variabilité d'une classification qui ne peut que nuire à l'identification des causes des arrêts cardiaques et à la pertinence des moyens d'actions mis en œuvre pour les prévenir et les prendre en charge.

Cependant les causes des arrêts cardiaques soulèvent encore d'importants problèmes d'identification : la définition donnée par le modèle d'Utstein est très large et rend d'autant plus nécessaire une démarche rigoureuse d'identification des causes des arrêts cardiaques qui devrait être confortée par l'analyse de données hospitalières et d'autopsie [37, 52, 53].

Une identification précise des causes et des facteurs de risque des arrêts cardiaques constitue un enjeu majeur car elle permet non seulement une comparaison des études réalisées sur le sujet, mais également d'adapter les stratégies thérapeutiques, d'étudier le pronostic des patients, d'optimiser les prises en charge et donc d'améliorer le taux de survie et la prévention des séquelles neurologiques [53].

i. Causes des arrêts cardiaques

L'identification des causes en matière d'arrêt cardiaque est très dépendante de la définition qui en est donnée :

- A la suite de la dernière mise à jour du style d'Utstein intervenue en 2014, l'ILCOR a émis une recommandation visant à retenir une typologie en 6 causes (**Figure 3**). Un

arrêt cardiaque peut ainsi être lié à une cause médicale ou à l'une des 5 causes externes suivantes : noyade, traumatisme, asphyxie, électrocution, overdose [2, 8].

- Auparavant la typologie était fondée – et ceci est important du point de vue de l'interprétation des résultats publiés - sur une distinction entre origines cardiaque ou non cardiaque de l'arrêt cardiaque. Avec la typologie suivante pour ce qui est de l'origine non cardiaque : traumatisme, noyade, overdose, asphyxie, exsanguination, autres causes [7].

Le consensus précité de l'ILCOR étant récent, nous ferons référence ici à des résultats relevant des deux classifications. Force est de constater que la typologie de l'ILCOR n'est retenue que depuis 2018 par l'AHA [2]. L'AHA faisait en effet encore référence à une autre typologie en 2017 (**Figure 9**).

Figure 9 : Arrêt cardiaque – Typologie employée par l'AHA en 2017

(Source : Benjamin et al.- 2017)

Table 18-1. Utstein Classification of Cardiac Arrest Causes²

Primary Causes	Description
Medical	Includes cases in which the cause of the cardiac arrest is presumed to be cardiac or other medical cause (eg, anaphylaxis, asthma, GI bleed) and in which there is no obvious cause of the cardiac arrest
Traumatic	Cardiac arrest directly caused by blunt, penetrating, or burn injury
Drug overdose	Evidence that the cardiac arrest was caused by deliberate or accidental overdose of prescribed medications, recreational drugs, or ethanol
Drowning	Victim is found submersed in water without an alternative causation
Asphyxia	External causes of asphyxia, such as foreign-body airway obstruction, hanging, or strangulation

GI indicates gastrointestinal.

Par ailleurs, la définition de l'ILCOR n'est toujours pas retenue par certains registres, parmi les principaux, tel le registre CARES aux USA (**Figure 10**).

Figure 10 : Identification des causes des arrêts cardiaques dans le registre CARES

(Source : CARES - 2018)

Presumed Cardiac Arrest Etiology	Definition
Presumed Cardiac Etiology	The arrest should be coded as “Presumed Cardiac Etiology” unless it is known or likely to have been caused by a non-cardiac cause (see definitions below).
Trauma	Defined as out-of-hospital injury (e.g. blunt or penetrating trauma, burns, GSW, hanging, etc.) resulting in traumatic arrest. In cases where seemingly minor “trauma” may be present but not likely the cause of the arrest, cardiac etiology should be considered (e.g. minor MVA with patient slumped over; a minor fall).
Respiratory/Asphyxia	Underlying respiratory disease or a respiratory mechanism as the primary cause of arrest, e.g. acute respiratory event that is likely the cause of the cardiac arrest. Examples include: choking, hypoxemia, foreign body airway obstruction (FBAO).
Drowning/Submersion	Submersion in water with no evidence of other contributing factors such as drug poisoning or trauma prior to falling into the water.
Electrocution	Primary cause of arrest due to electric shock, i.e. by a source of high voltage current.
Exsanguination/Hemorrhage	Includes GI bleed, post-surgical complications, ruptured varices, all ruptured aneurysms, subarachnoid hemorrhage (SAH), cranial bleeds not specified as stroke or CVA, any other uncontrolled bleeding resulting in hypovolemia.
Drug Overdose	Includes all intentional and accidental arrests caused by a presumed or known overdose of medication or drugs (legal/illegal), to include alcohol.
Other	Only to be used if the cause of arrest is <u>known and documented</u> but is not one of the available options. “Other” is not the default answer and therefore should not be used for “unknown” etiologies. When this option is selected, please indicate/describe the arrest etiology in the free text field. Examples of Other etiologies include, but are not limited to: Anaphylaxis; End Stage Cancer; Carbon Monoxide (CO) Poisoning; Chemical Poisoning; Labor Complications; Metabolic Disease (DKA, Hypo or Hyperkalemia, Hyponatremia, Hypo or Hyperglycemia, Renal or Liver Failure); Pulmonary Embolism (PE); Stroke or CVA; Sudden Unexplained Infant Death (SUID); Sudden Infant Death Syndrome (SIDS).

De fait, et nonobstant ces précisions, il ressort des études disponibles que l’arrêt cardiaque a dans plus de 80 % des cas une cause d’origine cardiaque/médicale en Amérique du Nord, comme au Japon ou en Europe (et notamment en France).

- Pour ce qui est de l’Amérique du Nord, l’étiologie des arrêts cardiaques est abordée par le ROC selon une répartition entre causes « évidentes » et « non évidentes ». Au rang des premières figurent les causes suivantes : traumatisme, noyade, pendaison, asphyxie (par inhalation de gaz), strangulation ... alors qu’aux secondes correspond la présomption d’une origine cardiaque. Les résultats de l’étude de Daya et al. portant sur la période 2006-

2013 montrent une stabilité de la proportion des arrêts cardiaques dont l'origine est présumée cardiaque, de l'ordre de 92 % (92.7 % en 2013). Daya et al. observent toutefois une forte variabilité entre sites pour ce qui est des 8 % d'arrêts cardiaques liés à une « cause évidente » (de 2,9 à 13,7 % selon le site), et une proportion plus importante de ce type d'arrêt cardiaque chez les jeunes de moins de 18 ans (26,1 % des arrêts cardiaques pour la population des moins de 18 ans) [54]

- Au Japon, Kitamura et al. constatent que 56,1 % des arrêts cardiaques ont une origine cardiaque, 43,9 % une origine non cardiaque ; 17,1 % ayant une cause « externe », 82,9 % des arrêts cardiaques auraient donc une cause médicale au Japon [55]
- En Europe, l'étude réalisée par Gräsner et al. dans le cadre du registre EuReCA ONE a permis d'identifier 91,4 % d'arrêts cardiaques ayant une cause médicale ou cardiaque, et 4,1 % d'arrêts cardiaques liés à un traumatisme, les autres causes représentant 4,4 % des arrêts cardiaques [24]
- Enfin, en France une très récente étude conduite dans le cadre du registre RéAC permet de constater que les arrêts cardiaques ont pour 87,8 % une origine médicale, et pour 12,7 % une origine « traumatique » cette catégorie regroupant l'ensemble des autres causes [5]. A cet égard, il convient de souligner que, par exemple, la noyade est considérée dans RéAC comme une cause médicale présumée. Cela étant les noyades ne représentent qu'une très faible part des arrêts cardiaques en France : Hubert et al. ont ainsi montré en 2016 [56] que sur 32.182 arrêts cardiaques étudiés entre 2011 et 2014, 291 seulement – soit moins de 1 % - avaient pour cause une noyade (le plus souvent en eau libre). En revanche figurent bien au rang des arrêts cardiaques traumatiques au sein de RéAC les arrêts ayant pour origine une pendaison, cause importante [57], et ce d'autant plus que la pendaison est le mode de suicide le plus fréquemment utilisé : 53 % des 11 400 suicides recensés en 2011. Sachant qu'outre les suicides par overdose de médicaments (24 % des suicides), nous retrouvons l'emploi d'armes à feu (14 %) et le saut dans le vide (chute, 7 %) parmi les principaux modes de suicide (Observatoire National des Suicides, 2014). Or nous retrouvons

également l'emploi d'armes à feu et les chutes parmi les causes d'arrêts cardiaques traumatiques dans RéAC. Le lien entre suicide et arrêt cardiaque représente donc un enjeu important.

Pour ce qui est des comparaisons internationales, des données peuvent être trouvées en matière de noyades ou de pendaisons pour certains pays tel l'Australie, avec un taux d'incidence de 1,5/100.000 pour ce qui est des noyades [58] et des pendaisons à l'origine de 4 % des arrêts cardiaques [59].

Mais les comparaisons internationales sont rendues difficiles de par la diversité des définitions employées et par les difficultés d'identification des causes des arrêts cardiaques. La définition donnée dans le cadre du style d'Utstein est très large et certains auteurs pensent que cela rend d'autant plus nécessaire une démarche rigoureuse d'identification des causes des arrêts cardiaques, confortée par l'analyse de données hospitalières et d'autopsie [37, 52, 53]. Certaines études réalisées en Finlande et en Autriche dès la fin des années 1990 ont ainsi pu montrer que l'identification initiale pouvait conduire à sous-estimer les causes non-cardiaques, du fait notamment de l'indétermination de la cause de nombreux arrêts cardiaques qui s'avéraient relever ex-post d'une origine non cardiaque [52, 53]. Une identification précise des causes et des facteurs de risque des arrêts cardiaques constitue un enjeu majeur car elle permet non seulement une comparaison des études réalisées sur le sujet, mais également d'adapter les stratégies thérapeutiques, d'élaborer des pronostics, d'optimiser les prises en charge et donc d'améliorer le taux de survie voire de diminuer les séquelles neurologiques [53].

Cela étant les causes cardiaques/médicales des arrêts cardiaques sont et demeurent de très loin les plus nombreuses. Pour les causes médicales, la Task Force mise en place par la Société Européenne de Cardiologie s'était engagée dans un rapport publié en 2001 dans une démarche d'identification des causes et facteurs de risques, mais également de stratification des risques et d'élaboration de recommandations en matière de prévention à partir d'une très importante revue de littérature [60].

Une liste des causes médicales avait alors été établie par la Société Européenne de Cardiologie, soulignant l'origine génétique de certaines pathologies, liste proche de celles publiée récemment, près de deux décennies plus tard, par l'AHA dans son rapport annuel de 2018 [2].

Ainsi, dès 2001, la Task Force européenne insistait plus particulièrement sur les pathologies cardiaques et en dressait la liste suivante :

- Infarctus du myocarde et insuffisance cardiaque
- Cardiomyopathie hypertrophique
- Cardiomyopathie arythmogène du ventricule droit
- Cardiomyopathie dilatée
- Syndrome du QT long
- Syndrome de Brugada
- Tachycardie ventriculaire polymorphe catécholaminergique
- Sténose aortique
- Prolapsus valvulaire mitral
- Syndrome de Wolff-Parkinson-White
- Myocardite

L'origine génétique de nombre de ces pathologies était par ailleurs soulignée : « des pathologies telles que le syndrome du QT long, le syndrome de Brugada, la cardiomyopathie hypertrophique, la cardiomyopathie arythmogène du ventricule droit, la tachycardie ventriculaire polymorphe catécholaminergique ou la cardiomyopathie dilatée constituant les exemples les plus connus de maladies monogéniques prédisposant à un arrêt cardiaque » [60].

Mais la Task Force mettait également l'accent sur certains actes, traitements ou situations pouvant être à l'origine d'arrêts cardiaques tels que les pontages myocardiques, les traumatismes thoraciques, « torsades de pointes » médicamenteuses (dus notamment à la prise d'anti-arythmiques, d'antihistaminiques ou de dérivés de la quinalone), ou encore

l'entraînement intensif des athlètes, touchant là à certaines autres causes des arrêts cardiaques. Enfin, la Société Européenne de Cardiologie évoquait la survenue d'arrêts cardiaques asymptomatiques pour des patients ayant un cœur normal (1 % des survivants, et jusqu'à 8 % des victimes d'arrêts cardiaques). Dumas et al. [61] ont plus récemment étudié les causes médicales en distinguant les pathologies préexistantes selon qu'elles étaient d'origine cardiaque ou non (**Figure 11**).

Figure 11 : Comorbidités et survie – Classification de Dumas et al. (2017)

Table 2
Distribution of chronic conditions and symptoms according to survival status^a.

	Overall N= 1488	Survivors N= 653 (44)	Non Survivors N= 835 (56)	p-value	Unadjusted OR
Any comorbidities n= 1258	1143 (91)	461 (86)	682 (95)	<0.001	0.33 [0.22–0.50]
Pre-existing Heart disease n= 1176	645 (55)	248 (48)	397 (60)	<0.001	0.63 [0.50–0.79]
Prior cardiac arrest	17 (1)	5 (1)	12 (2)	0.33	0.54 [0.19–1.53]
Myocardial infarction	168 (14)	62 (12)	106 (16)	0.06	0.73 [0.52–1.02]
Congestive heart failure	187 (16)	63 (12)	124 (19)	0.003	0.61 [0.44–0.85]
Coronary Artery Disease	177 (15)	62 (12)	114 (17)	0.02	0.68 [0.49–0.94]
Peripheral arterial disease	45 (4)	16 (3)	29 (4)	0.29	0.71 [0.38–1.32]
Atrial Fibrillation	117 (10)	51 (10)	66 (10)	0.99	1.0 [0.68–1.47]
Heart Procedure	287 (24)	117 (23)	170 (26)	0.28	0.86 [0.66–1.13]
Valvulopathy	31 (3)	11 (2)	20 (3)	0.46	0.71 [0.34–1.49]
Non-cardiac medical history n= 1201	951 (79)	376 (73)	575 (84)	<0.001	0.51 [0.38–0.67]
Hypertension	528 (44)	218 (42)	310 (45)	0.29	0.88 [0.70–1.11]
Hypercholesterolemia	96 (8)	46 (9)	50 (7)	0.33	1.24 [0.82–1.88]
Diabetes	295 (25)	103 (20)	192 (28)	0.001	0.64 [0.49–0.84]
Stroke	59 (5)	15 (3)	44 (6)	0.005	0.43 [0.24–0.79]
Liver history	13 (1)	4 (1)	9 (1)	0.41	0.58 [0.18–1.91]
Lung disease	126 (10)	37 (7)	89 (13)	0.001	0.52 [0.34–0.77]
Gastrointestinal disease	119 (10)	43 (8)	76 (11)	0.11	0.72 [0.49–1.07]
Kidney disease	87 (7)	32 (6)	55 (8)	0.22	0.75 [0.48–1.19]
Cancer history	82 (7)	15 (3)	67 (10)	<0.001	0.28 [0.16–0.49]
Mental health disease	124 (10)	45 (9)	79 (12)	0.13	0.73 [0.50–1.07]
Other neurological disease	56 (5)	13 (3)	43 (6)	0.002	0.34 [0.20–0.72]
HIV	3 (0.2)	0	3 (100)	***	***
Tissue/Inflammatory disease	29 (2)	12 (2)	17 (2)	1	0.93 [0.44–1.97]
Metabolic disease	47 (4)	14 (3)	33 (5)	0.07	0.55 [0.29–1.04]
Symptoms	691 (46)	312 (48)	379 (45)	0.36	1.10 [0.90–1.35]
Chest, arm, jaw, or back pain	275 (18)	149 (23)	126 (15)	<0.001	1.66 [1.28–2.16]
Dyspnea	176 (12)	76 (12)	100 (12)	0.84	0.97 [0.70–1.33]
Indigestion, abdominal pain, nausea	115 (8)	48 (7)	67 (8)	0.63	0.91 [0.62–1.34]
Malaise, Tiredness, Weakness	198 (13)	85 (13)	113 (14)	0.77	0.96 [0.71–1.29]
Syncope	78 (5)	41 (6)	37 (4)	0.13	1.44 [0.92–2.28]
Diaphoresis	60 (4)	28 (4)	32 (4)	0.69	1.12 [0.67–1.89]
Seizure	26 (2)	18 (3)	8 (1)	0.01	2.93 [1.26–6.78]

^a Percentages are taking into account missing data (n= 230 (15%) had no information about comorbidity, n= 312 (21%) had no information regarding heart disease, n= 287 (19%) had no information on non cardiac medical history).

Il en ressort globalement que les maladies coronariennes constituent la principale cause des arrêts cardiaques dans les pays développés, et ce à hauteur d'environ 75 à 80 % selon les études [2, 41, 62-66]. Cette convergence entre plusieurs études et méta-analyses de référence laisse toutefois la place à certaines nuances dès lors qu'il est question d'identifier l'origine et les facteurs de risque des arrêts cardiaques non liés à des maladies coronariennes.

Près de deux décennies après les travaux de la Société Européenne de Cardiologie, l'AHA souligne l'importance de certaines de ces pathologies en tant que causes des arrêts cardiaques : syndromes du QT long et de Brugada, tachycardie ventriculaire polymorphe

catécholaminergique, cardiomyopathie arythmogène du ventricule droit, cardiomyopathie hypertrophique, déjà mentionnées par la Société Européenne de Cardiologie, ajoutant également les syndromes du QT court et de repolarisation précoce [2].

Le lien étroit entre l'étiologie des arrêts cardiaques et celle des maladies cardiovasculaires est généralement reconnu et constaté dans les pays d'Europe de l'Ouest.

Il ressort en effet que les maladies coronariennes constituent la principale cause des arrêts cardiaques dans les pays développés, et ce à hauteur de 75 à 80 % selon les études [2, 41, 62-66]. Cette forme de convergence entre plusieurs méta-analyses de référence sur le sujet, laisse toutefois la place à certaines nuances dès lors qu'il est question d'identifier l'origine et les facteurs de risque des arrêts cardiaques non liés à des maladies coronariennes :

- Outre les 80 % d'arrêts cardiaques dus à une maladie coronarienne, 10 à 15 % seraient associés à une myopathie non ischémique (comme les cardiomyopathies hypertrophique ou dilatée), l'influence des facteurs génétiques étant soulignée, et environ 5 % résulteraient d'une défaillance d'ordre électrophysiologique (syndrome du QT long ou de Brugada) selon Nosoworthy et Newton-Cheh [65], les 5 à 10 % restant demeurant inexplicables mais pouvant l'être en grande partie par des facteurs génétiques selon Benett et al. [62]
- L'origine de l'arrêt cardiaque serait coronarienne (infarctus aigu du myocarde, ischémie sans infarctus, anomalie structurale) dans 75 % des cas selon Deo et Albert [41], et dans 20 % des cas une cardiomyopathie (dilatée, hypertrophique ou ventriculaire droite arythmogène) ou un trouble électrique primitif en rapport avec une canalopathie, avec une absence d'anomalie décelée (à l'issue d'une enquête hospitalière ou d'une autopsie).

L'étiologie diffère quelque peu en France, avec 87,8 % d'arrêts cardiaques d'origine médicale, dont 43 % dus à une maladie cardiovasculaire, 13 % à une maladie pulmonaire, 13 % à un diabète, et 5 % à une situation de fin de vie (en raison principalement d'un cancer) [5]. Outre le fait qu'il s'agit là de premiers résultats en France sur ce sujet, ce qui ouvre une perspective en matière d'exploitation régulière des données de RéAC sur cette question, il convient de

rappeler et de souligner l'enjeu d'un recueil d'informations fondé sur des définitions précises, stables et partagées.

ii. Facteurs de risque des arrêts cardiaques

Soulignant une prévalence importante des coronaropathies, des infarctus du myocarde et des dysfonctions ventriculaires gauche, associée à la difficulté d'identifier les individus à titre préventif, la Task Force de la Société Européenne de Cardiologie insistait dans son étude de 2001 [60] sur les facteurs de risque. Elle soulignait que ceux-ci sont pour l'essentiel les mêmes que pour les maladies coronariennes : l'avancée en âge, le fait d'être de sexe masculin, les antécédents familiaux en matière de maladie coronarienne, l'augmentation du cholestérol LDL, l'hypertension, la tabac, le diabète insulino-dépendant. La Task Force ajoutait des facteurs spécifiques non identifiés pour l'infarctus du myocarde ou les autres maladies coronariennes, telles l'accélération du rythme cardiaque (tachycardie) ou une consommation élevée d'alcool. La liste des facteurs de risque liés à certaines pathologies et/ou certains comportements identifiés par la Task Force est donnée ci-dessous, et on peut remarquer qu'elle intégrait la notion de facteurs génétiques (**Figure 12**).

Figure 12 : Facteurs de risque des arrêts cardiaques

(Source : Société Européenne de Cardiologie - Rapport de la Task Force (2001))

- Hypertension et hypertrophie ventriculaire gauche

Avec parmi les déterminants de l'hypertrophie ventriculaire gauche, l'âge, l'obésité, l'intolérance au glucose, les facteurs génétiques

A cet égard, les auteurs du rapport soulignent l'importance d'un facteur de risque « ethnique » : une étude comparant deux populations – blanche et noire – indiquait une prévalence moindre des maladies coronariennes chez les sujets noirs, mais une prévalence bien plus élevée de l'hypertension et de l'incidence des arrêts cardiaques (Clarke et alii, 1989)
- LDL cholestérol

Les auteurs de l'étude soulignant notamment que les prescriptions de statines devraient permettre de réduire le risque relatif de survenue d'un arrêt cardiaque dès lors qu'elles permettraient de réduire le risque de maladie coronarienne et d'infarctus du myocarde
- Diététique (avec l'importance d'une consommation d'aliments riches en oméga 3)
- Manque d'activité physique
- Consommation d'alcool (une consommation élevée ayant pour effet d'allonger l'intervalle QT)
- Arythmie, variation du rythme cardiaque
- Consommation de tabac
- Diabète sucré insulino-dépendant
- Les changements constatés dans le cadre de la réalisation d'électrocardiogrammes (des anomalies telles que les modifications du segment ST et/ou de l'onde T) peuvent révéler une maladie coronarienne ou une hypertrophie ventriculaire gauche
- Génétique

Force est de constater que ces facteurs de risque sont des « invariants ». Si l'on considère la classification retenue par l'INSERM dans le cadre de son programme de lutte contre les maladies cardiovasculaires à la suite des travaux de Meneton et al. [67], ces derniers identifient ainsi 12 facteurs de risques répartis en quatre groupes (**Figure 13**), mettant l'accent sur les interactions entre ces facteurs.

Figure 13 : Modélisation des facteurs de risque et de leurs interactions

(Source : Meneton et al. – 2016)

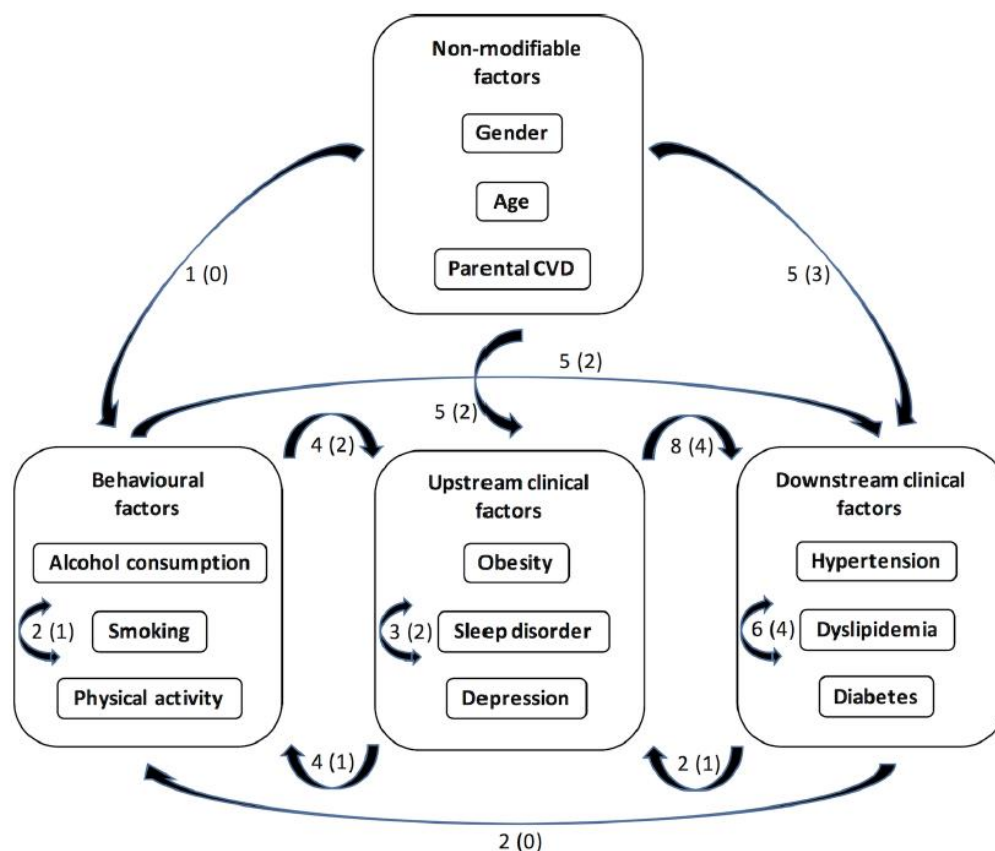


Fig 1. Conceptual framework of the relationships between CVD risk factors. The factors are grouped into 4 types based on the number of other factors predicting each of them. The numbers next to the arrows represent the number of prospective associations between or within the 4 types of factors at $p < 0.05$ or $p < 0.0001$ (in parenthesis).

doi:10.1371/journal.pone.0162386.g001

Trois constats ressortent plus particulièrement des résultats de l'étude de Meneton et al. :

- L'importance des facteurs d'aval (« downstream clinical factors ») en matière de surveillance des maladies cardiovasculaires dès lors qu'ils « canalisent » les effets des autres facteurs situés en amont et sur lesquels il convient d'agir,

- Le fait que 75 à 90 % des maladies coronaires sont dues aux 4 « facteurs clés » que sont le diabète, l'hypertension, le tabagisme et l'hyperlipidémie,
- Ce qui conduit à relativiser l'importance du facteur génétique comme l'affirmaient déjà d'autres auteurs [68, 69]

Une avancée significative dans l'identification des facteurs de risque est cependant due à l'introduction et à la prise en compte de la notion de vulnérabilité.

d. Des facteurs de risques cardiovasculaires à l'intégration de la notion de vulnérabilité

Le lien étroit entre l'étiologie des arrêts cardiaques et celle des maladies cardiovasculaires est généralement reconnu. Ce lien particulièrement fort témoigne selon Deo et Albert [41] d'une communauté de facteurs de risques, comme l'illustre le graphique ci-dessous (**Figure 14**).

Figure 14 : Facteurs de risque communs selon Deo et Albert (2012)

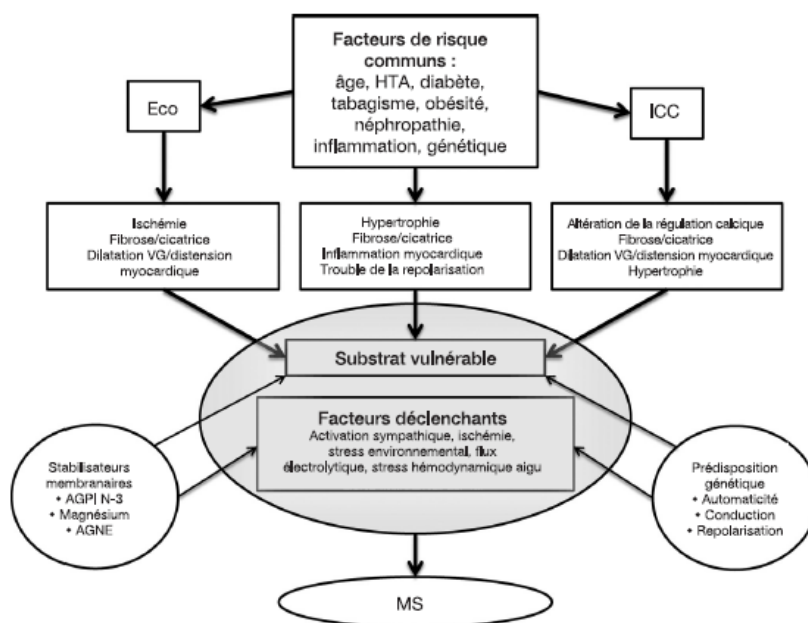


Figure 4. Eléments physiopathologiques majeurs responsables de l'instabilité électrique et de la survenue d'une mort subite. HTA : hypertension artérielle ; Eco : événement coronaire ; ICC : insuffisance cardiaque congestive ; VG : ventriculaire gauche ; AGPI : acides gras polyinsaturés ; AGNE : acides gras non estérifiés ; MS : mort subite.

La classification de Deo et Albert [41] fait par ailleurs apparaître aux côtés des facteurs de risque proprement dits des « facteurs déclenchants » susceptibles d'influer également sur un « substrat vulnérable ». Parmi ces facteurs figurent notamment des facteurs d'ordre environnemental voire psychosocial pouvant expliquer par exemple des variations diurnes et

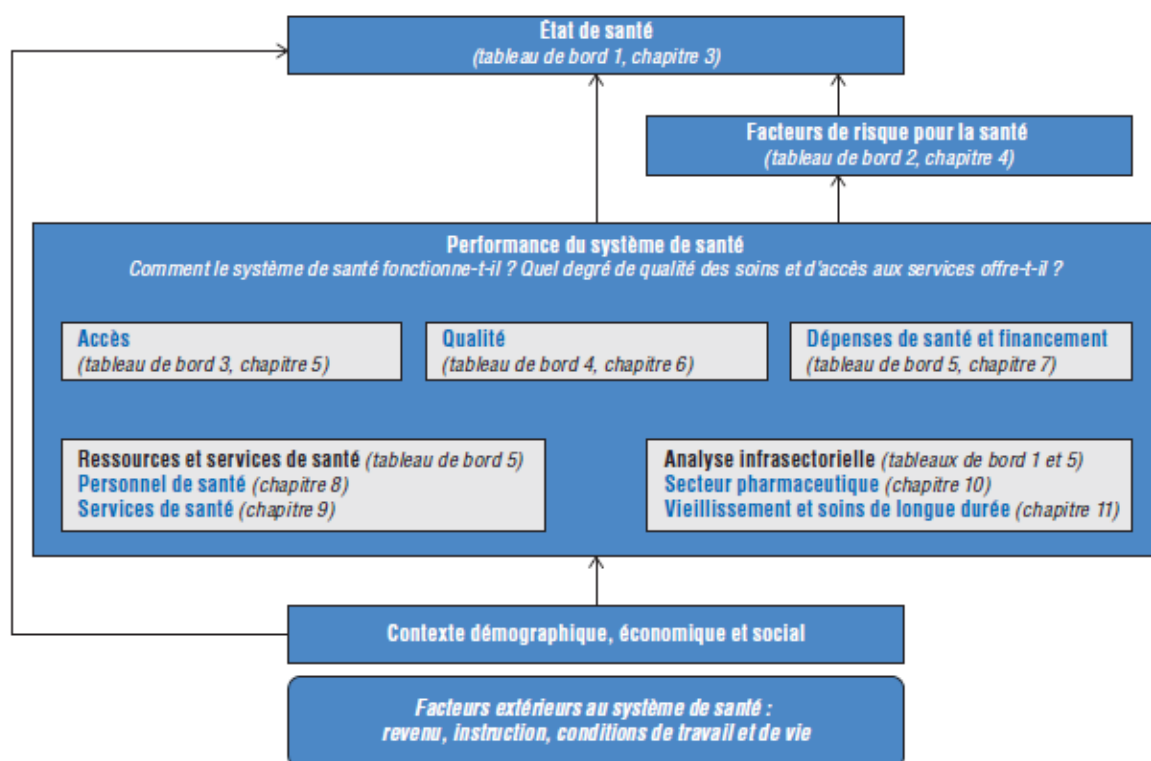
saisonniers de survenue des arrêts cardiaques (on peut également se référer aux pics de mortalité cardiovasculaire le lundi constatés par Witte et al. [70]).

Cette notion de vulnérabilité a cependant vocation à être prise en compte dans une acception plus étendue en matière d'arrêt cardiaque et dès lors que l'on considère qu'il y a communauté de facteurs de risque avec les maladies cardiovasculaires. Ainsi, à la suite de Deo et Albert, l'Agence Nationale de Santé Publique a souhaité accorder une place particulière à la notion de vulnérabilité, notamment en intégrant des indicateurs de désavantage social dans son programme de surveillance des maladies cardio-vasculaires, et a établi sa propre classification des facteurs de risque. Une première étude a d'ailleurs déjà été publiée portant sur le lien entre désavantage social et risque cardio-vasculaire [71].

Les récents travaux de l'OCDE permettent d'inscrire la vulnérabilité dans un cadre conceptuel plus élargi, bien qu'il ne soit pas spécifiquement dédié aux maladies cardiovasculaires et aux arrêts cardiaques. L'OCDE se fondant notamment sur les travaux de Marmot et Wilkinson distingue en effet trois grandes catégories de déterminants de santé [72] [75] (**Figure 15**) :

- Des déterminants de santé liés au système de santé : accès aux soins, qualité et résultats des soins, ressources dédiées à la santé (dépenses, nombre de professionnels de santé et capacités hospitalières)
- Des déterminants non médicaux liés à la santé : consommations de tabac et d'alcool, obésité (en lien avec la nutrition et l'activité physique), pollution atmosphérique
- Des déterminants d'ordre socio-économique, s'inscrivant dans un contexte démographique, économique et social : revenu, niveau d'instruction, conditions de travail et de vie.

Figure 15 : Facteurs de risque et déterminants de santé (Source : OCDE - 2017)



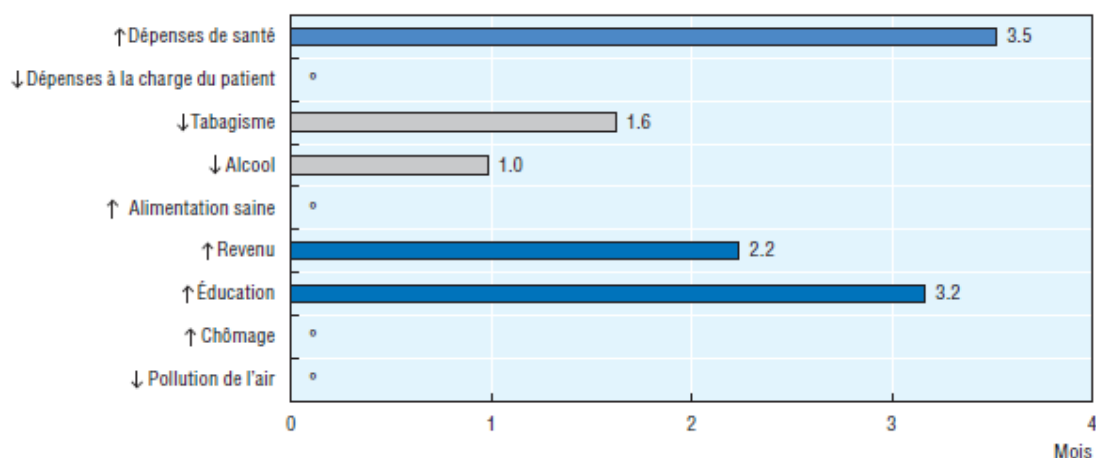
Il ressort des travaux de l'OCDE que les déterminants socio-économiques ont eu un impact majeur sur l'espérance de vie au cours des dernières décennies, en tout cas supérieur à celui des facteurs de risques non médicaux liés à la santé [75]. Les résultats de ces travaux conduisent à constater qu'une amélioration de la couverture de l'enseignement primaire ou du revenu de 10 % génère respectivement 3,2 et 2,2 mois d'espérance de vie là où une diminution de 10 % du tabagisme ou de la consommation d'alcool est à l'origine de respectivement 1,6 et 1 mois d'espérance de vie (**Figure 16**).

Dès 1990, dans leur méta-analyse, Mackenbach et al. avaient déjà souligné que le statut socioéconomique influait davantage sur la mortalité que les ressources en santé [73].

Figure 16 : Gains d'espérance de vie et déterminants sociaux (Source : OCDE – 2017)

Graphique 2.3. Allongement de l'espérance de vie associé à une variation de 10 % des principaux déterminants de la santé

Analyse fondée sur 35 pays de l'OCDE pour la période 1995-2015



Note : ° correspond à une influence quasi-nulle.

Cependant les facteurs de risque liés au mode de vie sont dépendants des facteurs socio-économiques :

- Tabagisme, obésité, insuffisance d'activité physique sont davantage liés à un faible niveau d'éducation [74-76],
- Précarité alimentaire, habitat insalubre, exposition à la pollution touchent davantage les populations à bas revenu (et appartenant à une minorité ethnique) [77-79]
- Le nombre d'années de vie perdues est plus importante pour les catégories socio-professionnelles les moins élevées : réduction de l'espérance de vie de 2,1 années entre 40 et 85 ans, correspondant en nombre d'années de vie perdues selon le facteur de risque à : 0,5 pour la consommation d'alcool, 0,7 pour l'obésité, 1,6 pour l'hypertension, 2,4 pour l'insuffisance d'activité physique, 3,9 pour le diabète, 4,8 pour le tabagisme [80]

Le statut socio-économique est donc susceptible de jouer un rôle majeur parmi les déterminants de santé, en particulier pour ce qui a trait aux maladies cardio-vasculaires et aux arrêts cardiaques.

e. Maladies cardiovasculaires et arrêts cardiaques : de la vulnérabilité aux facteurs de risques socio-économiques

L'étude du lien entre maladies cardiovasculaires a fait l'objet de nombreuses études, en particulier depuis les travaux de Marmot et al. à la fin des années 1970 [81] et ceux de Mackenbach et al. en 2000 [82]. Ce lien se trouve être régulièrement, et encore très récemment confirmé. Le fait que les deux principales causes de mortalité dans les pays à revenu moyen et élevé soient d'après l'OMS des maladies cardiovasculaires (cardiopathies ischémiques et AVC ; infections des voies respiratoires et maladies diarrhéiques dans les pays à revenu faible) n'y est certainement pas étranger. Plus rares sont les études consacrées au lien entre statut socio-économique et arrêt cardiaque.

i. Facteurs de risque socioéconomiques des maladies cardiovasculaires

L'importance du statut socioéconomique en matière de mortalité ou de risque cardiovasculaire est reconnue de longue date et régulièrement confirmée dans les pays occidentaux. Dans une récente étude menée par l'Agence Nationale de Santé Publique (ANSP) en 2016, Lecoffre et al. ont pu constater que pour les quatre principales causes de décès cardio-neuro-vasculaires (infarctus du myocarde, accident vasculaire cérébral, insuffisance cardiaque et embolie pulmonaire), la mortalité augmentait avec le désavantage social (mesuré à partir des quatre variables suivantes : revenu médian par ménage, pourcentage de bacheliers dans la population de plus de 15 ans, pourcentage d'ouvriers dans la population active et taux de chômage) [71].

Ramsay et al. avaient également mis en évidence en 2015 le lien entre désavantage social et mortalité cardiovasculaire chez les hommes âgés en Grande Bretagne [83].

Par ailleurs, à partir d'une approche différente, Rauch a évalué le risque de survenue d'un évènement cardiovasculaire récurrent (fatal ou non, en prenant en compte les infarctus du myocarde, les AVC et l'ensemble des décès ayant une origine cardiovasculaire) en fonction des niveaux de revenu et d'éducation et du statut marital. Ses résultats montrent que plus le revenu est élevé, plus le risque de survenue d'un évènement cardiovasculaire est faible, moins

fréquents sont les problèmes d'obésité, de diabète et d'insuffisance rénale, plus soutenues sont les participations aux programmes de réadaptation, de prévention secondaire et l'observance des traitements médicamenteux. La même tendance étant constatée pour les patients mariés et disposant d'un niveau d'éducation élevé [84].

ii. Statut socioéconomique et arrêt cardiaque

L'étude de Deo et Albert [41] fournit d'intéressantes illustrations sur l'importance des facteurs de risque démographiques et socioéconomiques et leur interdépendance en matière d'arrêt cardiaque. Deo et Albert identifient un ensemble de facteurs démographiques (âge, sexe et origine ethnique). Ils constatent notamment que si le risque de mort par arrêt cardiaque augmente avec l'âge, le taux de décès peut s'avérer être plus important pour les tranches d'âge les moins élevées, mais surtout que l'étiologie des arrêts cardiaques diffère sensiblement selon le sexe. Comme Deo et Albert le soulignent la proportion d'évènements survenus en l'absence d'anomalie structurale cardiaque est plus élevée parmi les femmes, mais il apparaît qu'elles sont bien moins sujettes que les hommes aux coronaropathies. Une origine génétique pourrait être avancée pour expliquer en partie cette différence. Mais selon eux des facteurs socio-économiques pourraient également entrer en ligne de compte et expliquer ce phénomène. Reprenant les résultats d'études portant sur le séquençage génétique de 113 victimes d'arrêts cardiaques [85, 86], Deo et Albert [41] observent en effet que :

- le séquençage de 5 gènes intervenant dans la survenue d'arythmies héréditaires n'a permis d'identifier aucune variation génétique isolée ou rare pour 53 victimes d'arrêts cardiaques de sexe masculin,
- en revanche, 6 variantes génétiques rares ont pu être identifiées sur un échantillon de 60 victimes de sexe féminin.

Ces résultats nous amènent à nous interroger sur la part et l'intégration des facteurs socio-démo-économiques dans la liste des facteurs de risque à prendre en considération. Le même raisonnement a été tenu par l'AHA concernant le facteur « origine ethnique » dans son rapport de 2018. Dans cette publication [2] on constate l'existence de taux de survie à un arrêt

cardiaque inférieurs pour les populations afro-américaines et hispaniques. Ces taux de survie à l'admission à l'hôpital seraient ainsi respectivement de 6 %, 8.6 % et 11.3 % pour les afro-américains, les hispaniques et les blancs, les écarts persistant pour ce qui est de la survie à 30 jours [87]. Deo et al. [88] ont par ailleurs été intégrés l'origine ethnique dans un modèle prédictif de la mort par arrêt cardiaque.

L'importance de ces facteurs de risque socio-économiques, déjà soulignée, mérite une attention particulière, et ce notamment dans leur dimension géographique. Plusieurs études insistent sur le fait que le risque cardiaque peut varier très fortement d'une région ou d'un pays à l'autre [38], ou encore peut être affecté par la variabilité des facteurs de risque selon les pays [37].

Cette approche géographique, combinée avec la prise en compte de facteurs de risque démographiques et socio-économiques, constitue une piste intéressante au regard des premiers résultats obtenus par certaines études.

Ainsi Anderson et al. [89] ont-ils pu constater que la proportion de personnes formées à la RCP aux USA (élément essentiel de la chaîne de survie) était sensiblement plus basse dans les territoires ruraux, mais surtout dans les territoires où le revenu médian (du ménage) était le plus faible et où la concentration de personnes d'origine afro-américaine et hispanique était la plus élevée. Ces résultats confortent en quelque sorte ceux obtenus par Reinier et al. en 2006 et 2011 [15, 90], selon lesquels les territoires les moins favorisés sur le plan socio-économique étaient également ceux où l'incidence des arrêts cardiaques extrahospitaliers était la plus élevée.

Ces deux études illustrent l'importance d'une approche par les inégalités sociales et territoriales, non seulement en termes de survie, mais plus encore d'incidence des arrêts cardiaques extrahospitaliers. De ce point de vue, il apparaît donc pertinent de s'attacher prioritairement à l'analyse d'inégalités sociales et territoriales du point de vue de l'incidence des arrêts cardiaques extrahospitaliers, et d'identifier quelles peuvent être les variables représentatives du statut socioéconomique.

Le nombre peu important de travaux consacrés à une approche des arrêts cardiaques en termes d'inégalités sociales et territoriales, les différences d'objectifs, de méthodologie et de résultats des études existantes font de cette question un enjeu à part entière de recherche. A l'origine, de cette réflexion, nous trouvons l'influence du lien étroit, et complexe, entre maladies cardiovasculaires et arrêts cardiaques.

Ce lien a déjà été évoqué plus haut et demeure un point de repère important. Parmi les premiers, Hallstrom et al. ont cherché à établir un lien entre arrêts cardiaques et statut socio-économique de leurs victimes [91]. Se basant sur les travaux fondateurs en matière de lutte contre les inégalités réalisés dans le cadre de la première cohorte de Whitehall par Marmot et al. [81] mais également sur ceux de Koskenvuo et al. et de Ruberman et al. [92, 93] sur les inégalités en matière de mortalité cardiovasculaire, Hallstrom et al. sont partis du constat que la survenue d'un arrêt cardiaque était souvent liée à une maladie coronarienne ou à un problème de fibrillation ventriculaire. Comme ces pathologies peuvent être mises en lien avec des facteurs de risque tels que le statut socio-économique ou l'origine ethnique, les auteurs ont émis l'hypothèse d'un lien entre le statut socio-économique et la survie à un arrêt cardiaque en cas de fibrillation ventriculaire.

Hallstrom et al. ne disposaient pas de données individuelles. Ils ont eu recours à des données disponibles au niveau des secteurs de recensement, en l'occurrence à des données fiscales, la fiscalité étant considérée par les auteurs comme représentatives du statut socio-économique. De fait Hallstrom et al. ont constaté que la probabilité de survivre à un arrêt cardiaque était d'autant plus importante que le statut socio-économique était élevé.

Hallstrom et al. ont à leur tour inspiré d'autres études, parmi lesquelles il convient de citer plus particulièrement les études de Clarke et al., Vaillancourt et al. et celle de Soo et al. [94-96] pour leurs apports respectifs tant sur le plan méthodologique que des résultats.

Clarke et al. [94], suivant la voie de Hallstrom et al., ont toutefois souhaité aller plus loin sur le plan méthodologique. Pour ces auteurs le statut socio-économique se trouve être représenté par deux indicateurs :

- La taxe foncière mesurée au niveau individuel
- Le revenu médian du ménage, donnée disponible au niveau d'une unité territoriale (de recensement), donc d'ordre collectif

Clarke et al. font donc de la donnée fiscale une donnée individuelle, ce qui est rendu possible par le fait que leurs travaux sont réalisés à partir d'une cohorte, mais s'interrogent également sur le lien entre le niveau de revenu et la survie à un arrêt cardiaque. Les résultats obtenus confirment le lien entre le niveau de fiscalisation et la survie. Mais ils n'ont pas pu démontrer l'existence d'un lien entre le revenu et la survie. Les auteurs précisent ne pas pouvoir donner d'explication sur ce dernier point et invitent à ne pas généraliser cette conclusion. Les conséquences de cette étude allaient être importantes dès lors qu'en matière de statut socio-économique, seul un facteur mesuré au niveau individuel pouvait être considéré comme prédictif de la survie d'un arrêt cardiaque selon Clarke et al. [94].

Vaillancourt et al. [96], dans une étude réalisée dans 20 communes canadiennes, s'inscrivent dans la lignée des auteurs précédents. Ils considèrent la valeur foncière de la propriété comme un indicateur représentatif du statut socio-économique et plus précisément du niveau d'éducation et de l'emploi. De plus, ils ont souhaité aller plus loin en ajoutant à la problématique de la survie celle de la réalisation d'une RCP par un témoin. Leurs résultats allaient quant à eux à l'encontre de ceux obtenus précédemment. Les auteurs constataient en effet que pour chaque augmentation de 100.000 dollars de valeur foncière, la probabilité de RCP par un témoin augmentait, mais que la probabilité de survie diminuait. Ce dernier constat allait donc bien à l'encontre de ceux de Hallstrom et al. et Clark et al.. Vaillancourt considère que les travaux de Hallstrom et Clark étaient rendus peu fiables compte tenu du faible nombre d'arrêts cardiaques inclus. Mais Vaillancourt s'est également interrogé sur la structure de son propre échantillon (caractérisé notamment par un faible taux de survie). Enfin, et bien que leur étude ne porte pas spécifiquement sur le lien entre l'incidence des arrêts cardiaques et le statut socio-économique, Vaillancourt et al. ont considéré qu'à un moindre revenu devait correspondre une plus forte incidence comme pour les maladies cardiovasculaires. A la suite de cette étude, Vaillancourt et al. ont proposé d'ajouter d'autres variables considérées comme

étant représentatives du statut socio-économique et plus particulièrement le statut marital ainsi que le nombre d'occupants des logements.

Quant à l'étude réalisée par Soo et al. en 2001, son objectif était double :

- tester l'hypothèse « fondatrice » du lien entre statut socio-économique et arrêt cardiaque en le comparant avec celui existant entre statut socio-économique et maladies cardio-vasculaires
- recourir à un indice synthétique, l'indice de Townsend [97], représentatif du statut socio-économique et calculé à partir des variables indicatrices suivantes : chômage, absence (de possession) de voiture, locataire, surpeuplement du logement

Soo et al. se sont interrogés non seulement sur la survie, mais ont également introduit une réflexion sur le lien entre incidence des arrêts cardiaques et statut socio-économique. Il ressort de cette étude qu'il existe bien un lien étroit entre statut socio-économique et mortalité cardio-vasculaire et un lien entre statut socio-économique et incidence des arrêts cardiaques (ces liens allant dans le même sens). Plus l'indice de Townsend est bas, plus l'incidence des arrêts cardiaques et la mortalité cardio-vasculaire sont élevées. Mais l'étude a établi l'absence de superposition géographique entre les cantons marqués par une sur/sous incidence des arrêts cardiaques et une sur/sous mortalité cardio-vasculaire. Ce résultat témoigne de l'importance d'une approche en termes d'analyse spatiale.

Sur la base de ces quatre études de référence, deux stratégies d'identification et de choix des facteurs de risques ont émergé. La littérature laisse apparaître un choix entre le recours à un indice de défaveur sociale ou à une sélection de variables indicatrices parmi lesquelles le revenu, le niveau d'éducation et l'origine ethnique jouent un rôle prépondérant :

- Le choix d'un indicateur synthétique de défaveur sociale tel que l'indice de Townsend [95, 97], l'indice de Carstairs [98-100], l'indice néo-zélandais NZDEP [230] ou encore un indice de défaveur sociale de type indice de développement humain [9, 101].
- Le choix de variables considérées comme représentatives du statut socio-économique (principalement les niveaux de revenu, d'éducation ainsi que l'origine ethnique). On

retrouve ces variables dans une vingtaine d'études recensées [10, 11, 13-17, 19, 35, 90, 91, 94, 96, 102-109, 191, 283].

Au final la liste des variables socio-économiques potentielles, proposées dans la littérature comme facteur(s) de risque, est composée par :

- le revenu
- la perception de minimas sociaux
- le pourcentage de personnes vivant au-dessous du seuil de pauvreté
- le niveau d'emploi
- le chômage
- le niveau d'éducation, la proportion de personnes de 18 à 64 ans sans qualification
- l'origine ethnique
- la maîtrise de la langue officielle
- la propriété du logement, la valeur des propriétés
- la possession d'une voiture
- l'état d'isolement
- la taille du ménage
- la monoparentalité
- la catégorie socio-professionnelle
- la taille et l'éventuelle sur-occupation du logement
- l'accès à une connexion internet au domicile

Enfin, il convient également de prendre en considération les arrêts cardiaques dont la cause n'est pas médicale (ou cardiaque). Et plus précisément si nous prenons comme référence la classification utilisée dans le cadre du registre français RéAC, les facteurs de risque socioéconomiques pouvant être mis en rapport avec les arrêts cardiaques d'origine traumatique. A ce sujet il convient de rappeler l'importance du suicide en tant que cause non médicale de l'arrêt cardiaque en France. Avec 11.400 décès en 2011, le taux de suicide s'élève en France à 17,9 /100 000 habitants, bien au-dessus de celui constaté en Europe (11,8/100

000). Sur 28 pays pris en compte, la France ne se trouve devancée que par les pays Baltes, la Finlande, la Pologne, la Hongrie et la Belgique. Plus fréquent chez les hommes, avec un taux de 27,7/100 000 habitants (8,1/100 000 pour les femmes), le suicide représente par ailleurs 16 % du nombre total des décès pour les 15-24 ans. Or il n'est pas d'égalité face au suicide selon l'Observatoire National du Suicide (ONS) qui constate d'importantes inégalités sociales et territoriales avec notamment (Observatoire National du Suicide, 2014) :

- pour ce qui est des inégalités territoriales : un taux de suicide supérieur à la moyenne nationale en Bretagne, Basse Normandie, Nord – Pas-de-Calais et Champagne - Ardennes, inférieur à la moyenne nationale en Midi-Pyrénées, Rhône-Alpes et Alsace
- en matière d'inégalités sociales : un risque relatif suicidaire beaucoup plus élevé pour certaines catégories socio-professionnelles, en l'occurrence les agriculteurs, les ouvriers et les employés ; une analyse sectorielle montrant que le secteur de la santé et de l'action sociale est le plus touché.

L'ONS a par ailleurs identifié un certain nombre de facteurs de risque dans le cadre d'une étude portant sur les tentatives de suicide. Ainsi en 2010 le fait d'avoir subi des violences physiques au cours des 12 derniers mois constituait le facteur de risque le plus important pour les femmes, un faible niveau de revenu le facteur le plus fortement associé pour les hommes ; les autres facteurs de risque étant l'isolement (fait de vivre seul), l'usage de substances psychoactives, la consommation d'alcool pour les hommes, de tabac pour les femmes. Constatant la prééminence de la dépression en matière de suicide (avec l'existence de plusieurs symptômes de dépression dans plus de 80 % des cas), d'une part, le lien étroit entre dépression et facteurs de risque socioéconomiques (tels que l'isolement, la précarité financière, l'endettement, le chômage, le milieu professionnel, le type d'emploi et les risques psychosociaux), d'autre part, l'ONS a décidé d'engager un programme de recherche portant sur l'impact de l'évolution des inégalités en matière de suicide. L'impact du chômage, de la précarité de l'emploi et de l'évolution des revenus devraient faire l'objet d'une attention particulière. En tout état de cause le statut économique constitue donc un enjeu d'étude et de recherche important quelle que soit l'origine – médicale ou non – des arrêts cardiaques.

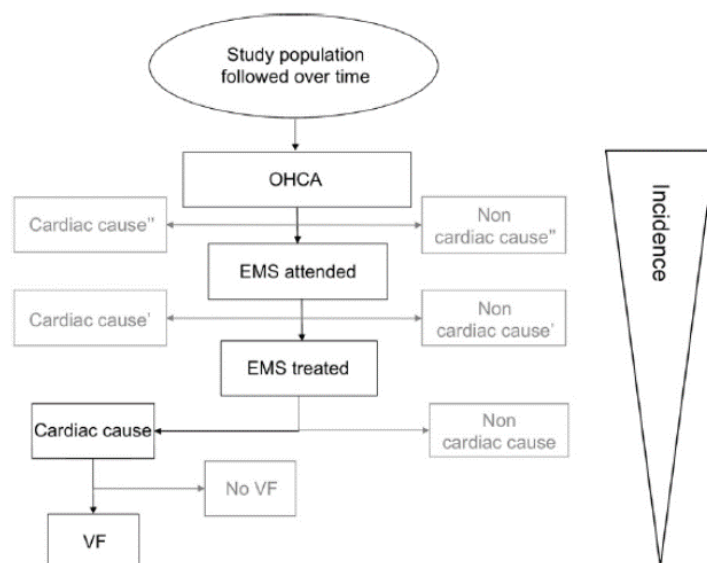
4. Epidémiologie des arrêts cardiaques

L'enjeu de santé publique que représente l'arrêt cardiaque, la mortalité élevée qui le caractérise conduisent à accorder une importance majeure à la connaissance non seulement de ses causes, mais également de ses caractéristiques notamment en termes d'incidence et de survie.

a. Incidence des arrêts cardiaques : comparaisons internationales

Le taux d'incidence correspond au « nombre d'individus ayant contracté une maladie pour 100 000 personnes exposées au risque de cette maladie ». Ce taux est calculé en général pour une année. Par convention le calcul de l'incidence de l'arrêt cardiaque prend en compte l'ensemble de la population, supposant ainsi que toutes les personnes sont des personnes à risque. Cependant Berdowski et al. [37], dans le cadre de leur méta-analyse portant sur un ensemble de pays d'Europe, d'Amérique du Nord, d'Asie et d'Australie font observer qu'il existe plusieurs modalités de calcul de l'incidence en matière d'arrêt cardiaque dans le cadre du modèle d'Utstein. Plusieurs populations de référence peuvent être considérées : l'ensemble des patients victimes d'un arrêt cardiaque ou les patients victimes d'un arrêt cardiaque et pour lesquels une équipe de soins se déplace ou encore ceux qui bénéficient de la mise en place d'une réanimation (**Figure 17**).

Figure 17 : Incidence et modèle d'Utstein (Source : Berdowski et al. – 2010)



L'étude de référence, réalisée par Berdowski et al. [37] en 2010, permet d'appréhender différents types et niveaux d'incidence dans le cadre d'une comparaison internationale portant sur 67 études dont 30 européennes, 24 nord-américaines, 7 asiatiques et 6 australiennes. Les résultats de cette méta-analyse sont donnés dans le tableau ci-dessous (**Figure 18**) qui permettent de constater que l'incidence globale des arrêts cardiaques au niveau international est de 83.7/100.000.

Figure 18 : Incidence des arrêts cardiaques au plan international

(Source : Berdowski et al. - 2010)

Table 2

Incidence estimates of out-of-hospital cardiac arrest, percentage of treated out-of-hospital cardiac arrest, of ventricular fibrillation and of survival for studies including adult and paediatric patients and studies including only adult patients.

	Adult and paediatric included		Adult-only included		P-value
	Mean	(SD)	Mean	(SD)	
Incidence EMS attended OHCA (n= 39)	83.7	(37.2)	95.9	(30.5)	0.25
Incidence EMS treated OHCA (n= 48)	34.7	(15.8)	62.3	(17.0)	<0.001
Incidence EMS treated OHCA, cardiac cause (n= 80)	40.8	(17.5)	54.6	(26.0)	0.004
Incidence EMS treated OHCA, VF (n= 73)	11.8	(5.7)	12.8	(10.6)	0.71
Percentage EMS treated OHCA (n= 39) ^a	63.7	(17.3)	68.9	(25.6)	0.39
Percentage VF (n= 68)	28.0	(10.8)	26.9	(19.4)	0.75
Percentage survival (n= 68)	7.1	(4.7)	5.6	(4.1)	0.19
Percentage VF survival (n= 55)	17.3	(8.5)	11.4	(6.0)	0.11

EMS indicates emergency medical services; OHCA indicates out-of-hospital cardiac arrest; CPR indicates cardiopulmonary resuscitation; VF indicates ventricular fibrillation. All incidence rates are per 100,000 person-years.

^a Numerical discrepancies between the upper and lower part of the table can be explained by the fact that these parts are based on different sets of studies. All estimates are weighed according to the population size.

On peut ainsi constater l'importance de la variabilité de cette incidence entre les ensembles géographiques étudiés :

- Asie : 65,4/100.000
- Europe : 87,4/100.000
- Amérique du Nord : 96,5/100.000
- Australie : 108,9/100.000

L'amplitude de la variation allant de 1 à 10 sur l'ensemble des 67 pays étudiés. Afin de compléter les résultats de cette étude nous allons examiner d'autres sources de données pour l'Amérique du Nord et l'Europe en particulier, après avoir évoqué ceux présentés pour l'Australie et pour l'Asie.

En Australie, les résultats de l'étude de Beck et al. [110] confirment en quelque sorte ceux de Berdoswki et al. avec un taux d'incidence global de 102,5/100.000 obtenu à partir de l'exploitation des données du registre AUS-ROC. Cela étant Beck et al. constatent de fortes

variations entre Etats australiens (de 51 à 107,7/100.000). De plus, des variations tout aussi importantes existent au sein d'un Etat donné : Straney et al. [111] ont pu observer en 2015 une variation de l'incidence de 38,5 à 115,5/100.000 à l'occasion d'une étude menée dans l'Etat de Victoria (où le taux d'incidence globale est de l'ordre de 96,6/100.000 d'après les données du registre de l'Australian Resuscitation Consortium (AUS-ROC)).

Les données disponibles pour l'Asie sont plus difficiles à appréhender si l'on se réfère notamment à l'étude de Ong et al. réalisée dans le cadre du registre Pan Asian Resuscitation Outcomes Study (PAROS) [112], ainsi qu'aux travaux de Kitamura et al. pour le Japon [113], Ahn et al. pour la Corée [99], ou Chiang et al. pour Taïwan [108]. En effet, il existe une forte hétérogénéité et des spécificités importantes aussi bien culturelles que géographiques, ou encore en matière de ressources en santé et d'organisation des soins parmi les pays participants (Japon, Corée, Taïwan, Singapour, Thaïlande, Malaisie, Emirats Arabes Unis et Dubaï). Les résultats laissent ainsi apparaître une très grande diversité de taux d'incidence : 90,4/100.000 pour le Japon, de 30 à 46/100.000 pour la Corée, ou de l'ordre de 140/100.000 à Taïpei.

En Amérique du Nord, l'AHA est à l'origine de la publication de statistiques chaque année dans son rapport annuel, à partir des données du ROC [1, 2]. Ces publications permettent de constater que :

- le niveau d'incidence aux Etats-Unis est de l'ordre respectivement de 110.8/100.000 avec une variabilité entre sites relativement faible selon les données issues du ROC en 2014 et 2015
- un accroissement sensible de l'incidence (des arrêts cardiaques pris en charge par les services d'urgence), avec une incidence variant de 47,1/100.000 en 2008 à 66/100.000 en 2015

Ces résultats concordent avec certains autres obtenus dans le cadre d'études non pilotées par la AHA.

Réa et al. évaluent l'incidence à 54,99/100.000 pour une population de référence d'arrêts cardiaques pris en charge par un service d'urgence [28], valeur très proche de celle

mentionnée par Berdoswki et al.[37]. Un constat similaire peut être réalisé avec un taux d'incidence de 56/100.000 dans l'étude de Nichol et al. [27]. Même si les résultats semblent converger, les études de Réa et al. et de Nichol et al. laissent apparaître une très forte dispersion entre sites : de 26.71 à 128.61/100.000 [28, 114], de 40.3 à 86.7 [27].

En Europe, la première étude de référence est celle de Atwood et al. [38]. Il s'agit d'une méta-analyse ne comportant pas de données françaises et centrée sur les arrêts cardiaques pris en charge par les services d'urgence avec pour résultat un taux d'incidence correspondant de 37,72/100.000 (proche de celui donné par Berdowski). Cette étude a montré l'existence d'une forte dispersion, le taux d'incidence variant de 5.45 à 119.46/100.000. Puis il a fallu attendre 2011 pour que Gräsner et al. initient leur première étude [115]. Elle impliquait un nombre limité de pays européens mais elle a conduit à mettre en évidence la difficulté de procéder à une comparaison des résultats obtenus. Puis en 2016, une étude d'envergure a été initiée par les mêmes auteurs [24, 116] dans le cadre du projet EuReCa ONE. Elle impliquait 27 pays dans le cadre d'un recueil de données réalisé en octobre 2014 et a permis de calculer un taux d'incidence global de 84/100.000 mais également un taux d'incidence des arrêts cardiaques ayant donné lieu à une RCP de 49/100.000. On constate là encore une proximité des résultats avec le taux global donné par Berdoswki pour l'Europe. Enfin une forte dispersion est également mise en évidence, avec un taux d'incidence de 28/100.000 pour l'Espagne et de 244/100.000 pour la République Tchèque (**Figure 19**) (une variation de 19 à 104 étant également constatée pour ce qui est du taux d'incidence des arrêts cardiaques ayant donné lieu à une RCP).

Figure 19 : L'incidence des arrêts cardiaques en Europe

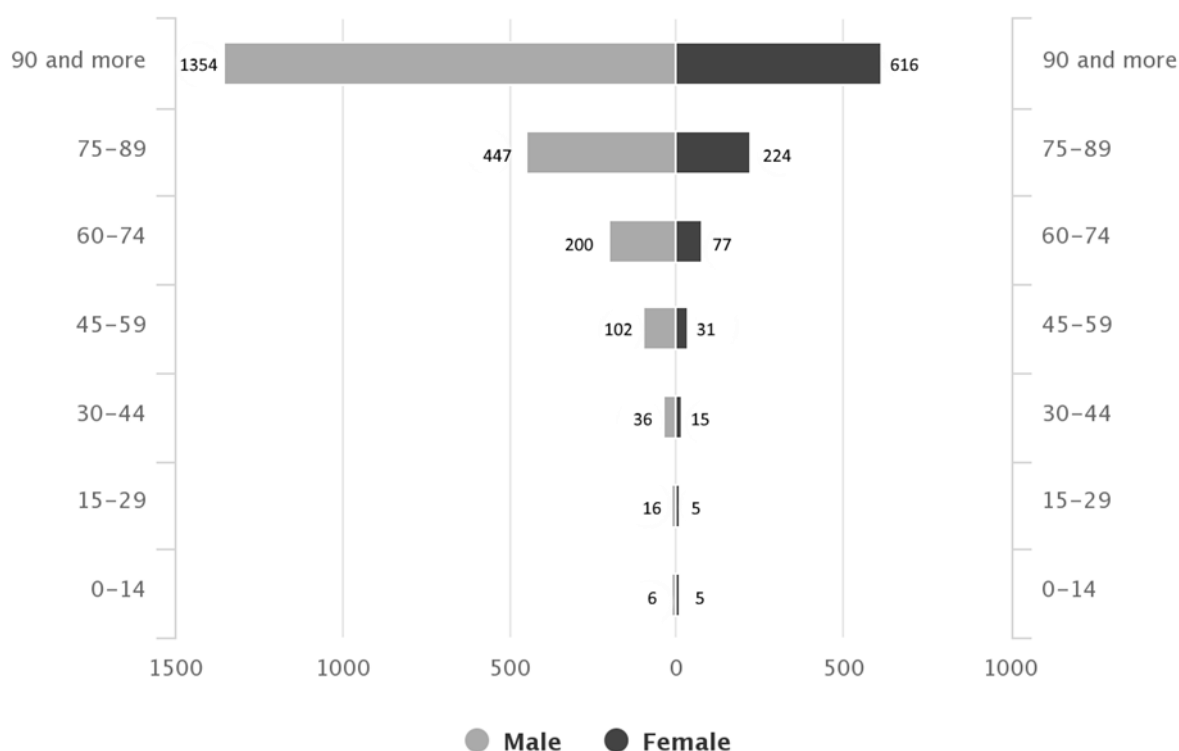
(Source : Gräsner et al. - 2016)

Code	Country	Total population (in thousands)	Population covered (in thousands)	Percentage covered	Regions	Cases with CA	CA per 100,000 per year	CPR attempted	CPR per 100,000 per year
A	Austria	8474	1538	18%	7	71	55	54	42
B	Belgium	11,200	1530	14%	6	105	^a	105	82
CRO	Croatia	4285	1893	44%	6	98	62	66	42
CYP	Cyprus	0.800	0.200	25%	1	6	36	4	24
CZ	Czech Rep.	10,520	4359	41%	7	886	244	379	104
DK	Denmark	5614	1726	31%	1	116	81	101	70
SF	Finland	5439	4445	82%	20	467	126	216	58
F	France	66,318	17,166	26%	44	855	60	743	52
D	Germany	80,620	13,416	17%	51	1369	122	738	66
GR	Greece	11,030	6144	56%	7	253	49	165	32
H	Hungary	9909	1288	13%	3	127	118	85	79
ICE	Iceland	0.328	0.328	100%	6	13	58	10	44
IRL	Ireland	4588	4588	100%	1	209	76	155	41
I	Italy	59,830	8015	13%	4	773	116	428	64
LUX	Luxemburg	0.549	0.549	100%	3	46	102	28	62
NL	Netherlands	16,800	4870	29%	3	250	62	190	47
N	Norway	5048	3931	78%	11	188	57	167	51
PL	Poland	38,530	2265	6%	1	275	146	133	70
P	Portugal	10,460	0.262	3%	1	35	160	16	73
RO	Romania	19,960	5344	27%	3	378	85	229	51
SRB	Serbia	7164	3200	45%	7	488	183	159	60
SK	Slovakia	5421	5421	100%	1	670	148	343	76
SLO	Slovenia	2050	0.660	32%	4	38	69	25	45
E	Spain	47,270	47,270	100%	17	1107	28	756	19
S	Sweden	9593	7482	78%	20	301	^a	301	48
CH	Switzerland	8081	0.346	4%	1	22	76	14	48
UK	United Kingdom	64,597	26,346	41%	12	1536	^a	1536	70
	Total	514,478	174,582	34%	248	10,682	-	7146	-

La France a participé à cette étude, mais l'incidence des arrêts cardiaques fait par ailleurs désormais l'objet d'un suivi récent mais régulier dans le cadre du registre national français RéAC.

En France, un taux d'incidence global de 60/100.000 est constaté dans le cadre du programme EuReCa ONE. La France se situe donc à un niveau en deçà à la fois des taux d'incidence moyens européen et nord-américain. Luc et al. [5] dans leur étude de 2018 (sur la base de données recueillies pour les années 2013 et 2014) confirment non seulement la validité du taux d'incidence globale précité, mais également le différentiel important existant entre sexes masculin et féminin. Ainsi le taux d'incidence global des arrêts cardiaques en France est de 61,5/100.000 mais respectivement de 100,3/100.000 et 52,7/100.000 pour les hommes et pour les femmes (l'écart constaté est moindre avec respectivement de 69,3 et 39,8 pour les hommes et les femmes dont l'étiologie relève d'une cause médicale). Enfin, Luc et al. mettent également en évidence le lien étroit entre avancée en âge, pour les deux sexes, et l'augmentation du taux d'incidence (**Figure 20**).

Figure 20 : Evolution du taux d'incidence des arrêts cardiaques extrahospitaliers en France selon l'âge et le sexe (Source : Luc et al. - 2018)



Les disparités territoriales en matière d'incidence n'ont pas fait l'objet de publications à l'échelle de la France. Mais ce type d'étude compte au nombre des objets d'études privilégiés par RéAC. En témoigne la publication de résultats relatifs à l'incidence des arrêts cardiaques en région parisienne [20] en lien avec la présente thèse de doctorat. Enfin, ces résultats issus de l'analyse des données de RéAC nous invitent à nous interroger plus largement sur certaines caractéristiques des arrêts cardiaques, notamment les caractéristiques démographiques et relatives aux conditions de survenue des arrêts cardiaques.

b. Caractéristiques des populations

Au-delà de l'étiologie, les caractéristiques, notamment démographiques, des arrêts cardiaques, ont donné lieu à d'importantes et nombreuses études au plan international. Dans une première méta-analyse Eisenberg et al [117] - portant sur l'ensemble des études publiées entre 1967 et 1988 et concernant les USA, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, le Canada, la Grande-Bretagne, l'Islande, la Suède et Israël - ont mis en évidence un âge moyen

relativement élevé (65 ans environ, avec une certaine variabilité selon les pays) ainsi qu'une prépondérance du sexe masculin (plus de 70 % dans la plupart des pays précités) en matière de survenue de l'arrêt cardiaque.

Une autre méta-analyse, réalisée par Bougouin et al. [118] et dont les résultats ont été publiés en 2015, est venue confirmer ce constat pour les USA, l'Europe (Autriche, Danemark, Ecosse et Suède), l'Asie et l'Australie, avec quelques nuances toutefois. L'âge moyen de survenue d'un arrêt cardiaque est généralement supérieur à 65 ans (à l'exception de l'Autriche) et plus élevé pour les femmes (ceci pouvant être dû aux caractéristiques structurelles du vieillissement dans nombre de pays d'Asie notamment). Ces dernières représentent par ailleurs une proportion moindre des victimes d'arrêt cardiaque : moins de 40 %, et généralement un tiers environ (à l'exception du Japon où deux études indiquent respectivement 38 et 42 % pour le sexe féminin) (**Figure 21**).

Figure 21 : Caractéristiques des arrêts cardiaques au plan international

(Source : Bougouin et al. - 2015)

Table 1
Studies included in the meta-analysis and baseline characteristics according to gender.

Authors	Study location	Period of inclusion	Population n, %	Women n, %	Age (years)		SCA at home (%)		Bystander-witnessed (%)		Bystander CPR (%)		Initial shockable rhythm (%)	
					M	W	M	W	M	W	M	W	M	W
Adielsson et al. ³⁰	Sweden	1990–2009	6950	1343 (19)	69	71	53	60	100	100	56	51	100	100
Ahn et al. ³¹	South Korea	2008	13,922	5158 (37)	63.7	72.4	72	83	47	45	78	71	5	3
Akahane et al. ³²	Japan	2005–2007	276,590	104,620 (38)	67.9	72.7	–	–	42	37	33	38	10	5
Arrich et al. ³³	Austria	1991–2004	774	205 (27)	60	62	–	–	100	100	37	29	78	64
Bray et al. ³⁴	Australia	2003–2010	10,453	3108 (30)	69	74	68	76	63	57	52	48	45	26
Cline et al. ³⁵	USA	1997–1999	388	138 (36)	64	69.3	75	75	58	44	52	51	54	33
Johnson et al. ²³	USA	2005–2009	19,398	7653 (39)	–	–	83	93	50	45	34	33	29	17
Kim et al. ²⁰	USA	1990–1998	10,879	3810 (35)	66	71	70	75	54	48	47	45	43	25
Kitamura et al. ¹⁹	Japan	1998–2007	26,940	11,179 (42)	72	78.7	70	75	41	34	28	34	13	6
Mahapatra et al. ³⁶	USA	1990–2001	200	37 (19)	64	65	–	–	82	86	57	46	100	100
Pell et al. ²¹	Scotland	1988–1997	22,161	6724 (30)	–	–	55	67	76	73	–	–	–	–
Teodorescu et al. ²²	USA	2002–2007	1296	431 (33)	63.2	68.1	61	69	68	66	28	24	55	38
Wissenberg et al. ²⁴	Denmark	2001–2010	19,372	6318 (33)	–	–	71	81	53	49	33	26	33	17
Mean across studies					65.9	70.4	67	77	47	40	36	39	17	8

Abbreviations: CPR, cardiopulmonary resuscitation; M, men; W, women; data are reported with % (mean for age).

Mais cette méta-analyse fait ressortir d'autres caractéristiques importantes concernant notamment la localisation et le rythme initial des arrêts cardiaques. Pour ce qui est de la localisation, le domicile prédomine, en particulier pour le sexe féminin : à l'exception de la Suède et de l'Ecosse, l'arrêt cardiaque survient à domicile dans 70 à 90 % des cas (60 à 80 % pour les hommes si l'on excepte les deux pays précités). Quant au rythme initial, il apparaît être choquable dans une proportion très différente selon les pays, voire les études au sein

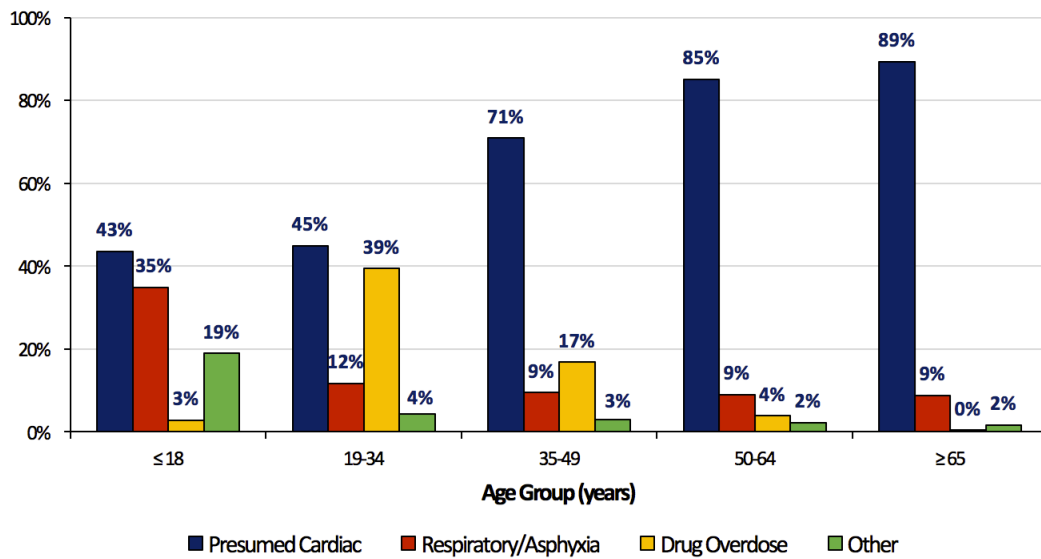
d'un même pays (aux USA en particulier), mais il est en général inférieur pour le sexe féminin et parfois de très loin (avec un pourcentage deux fois moins élevé au Japon et au Danemark). Cependant d'autres données issues d'études complémentaires nous permettent de préciser ce panorama.

i. Caractéristiques des arrêts cardiaques en Amérique du Nord

Des données très récentes et issues des registres nord-américains, ROC [54] et CARES [1] permettent de dresser le constat suivant :

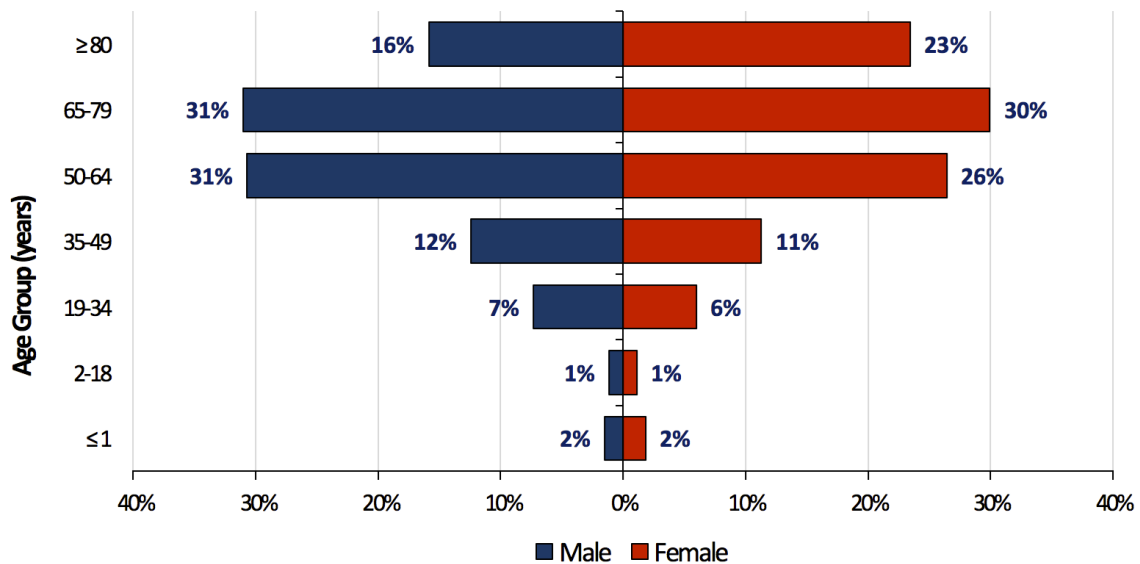
- l'âge moyen de survenue d'un arrêt cardiaque est de 62,1 ans aux USA et de 66,6 ans au Canada (pour les arrêts pris en charge par un service d'urgence, l'âge moyen étant respectivement de 65,6 et 67,6 ans pour ceux qui ne sont pas pris en charge par un tel service) d'après les données du ROC [54] ; l'âge moyen étant de 62 ans pour les USA selon les données du registre CARES (avec un âge médian de 64 ans),
- 97,2 % des arrêts cardiaques touchent des adultes (personnes de 18 ans et plus), avec une origine cardiaque dans environ 90 % des cas (87,2% selon CARES, 92,2 % selon le ROC), l'étiologie étant sensiblement différente chez les moins de 35 ans avec davantage de causes non cardiaques (**Figure 22**). Nous pouvons ainsi observer l'importance des arrêts cardiaques dus à une cause respiratoire chez les moins de 18 ans.

Figure 22 : Etiologie des arrêts cardiaques selon l'âge (Source : CARES – 2017)



- l'arrêt cardiaque survient davantage chez les hommes (62 % selon les données du ROC, 61 % selon celles du registre CARES), mais à un âge un peu plus élevé pour les femmes (âge médian de 66 ans) (Figure 23).

Figure 23 : Distribution des arrêts cardiaques extrahospitaliers selon l'âge (Source : CARES – 2017)



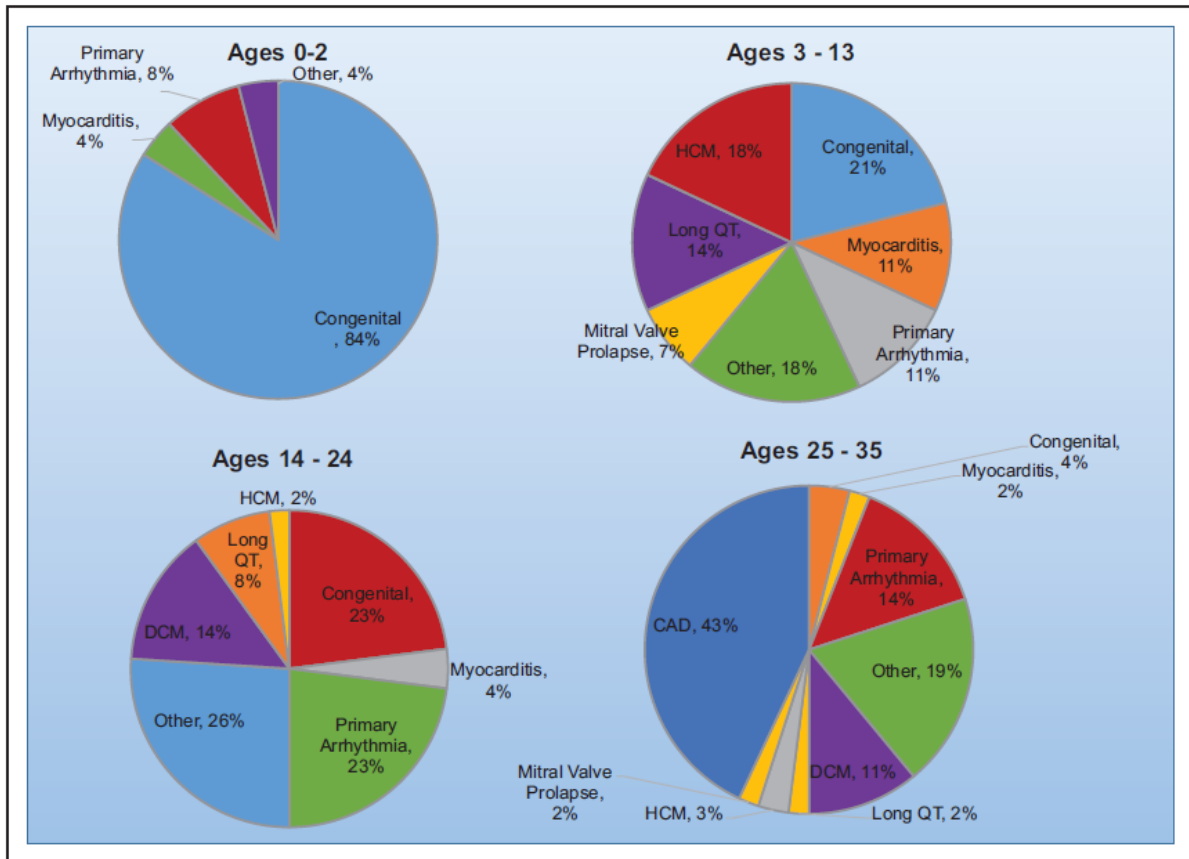
- l'arrêt cardiaque survient principalement à domicile : dans 70 % des cas selon CARES, 73,6 % selon le ROC,

- sans témoin dans 50 % des cas, en présence d'un témoin dans 36 % des cas, sinon dans 12 % des cas en présence d'un service d'urgence (ROC et CARES)
- le rythme initial n'est pas choquable dans 80 % des cas, avec une forte prédominance de l'asystolie (de l'ordre de 50 % dans les deux registres).

Ces résultats obtenus à partir du ROC et de CARES diffèrent donc quelque peu de ceux issus des études prises en compte dans la méta-analyse de Bougouin et al. [118]. Ceci témoigne de l'intérêt et de l'importance de la tenue de registres, de la qualité de leurs données, et d'un suivi temporel. Pour autant la réalisation d'études ponctuelles, fondées sur des cohortes par exemple [119], est une importante source de données complémentaires. De telles études peuvent ainsi aboutir à l'obtention de résultats reflétant des spécificités territoriales et populationnelles avec par exemple : une moindre proportion d'hommes à Chicago [109] ou en Arizona [120] ; un pourcentage plus élevé de rythme choquable notamment dans le King County et en Arizona [107, 120, 121] ; plus [120] ou moins [121] de survenue d'arrêts cardiaques à domicile, ce taux de survenue à domicile étant particulièrement élevé à Toronto (de l'ordre de 80 %) pour ce qui est du Canada [122]. Certaines de ces études nous renseignent plus particulièrement sur les causes des arrêts cardiaques selon l'âge dans la population des moins de 35 ans de l'Etat de Washington (King County) [2, 123]. Il en ressort que les caractéristiques des arrêts cardiaques sont différentes, à l'exception de la localisation, pour les moins de 35 ans avec notamment une proportion d'hommes plus élevée (70 %), de rythme initial choquable moindre (52,6 %), à mettre en lien avec des causes différentes selon les classes d'âge (**Figure 24**).

On peut ainsi constater que les principales causes d'arrêt cardiaque chez les moins de 35 ans sont : les anomalies congénitales dans 84 % des cas entre 0 et 2 ans (et 21 % des cas entre 3 et 13 ans), les arythmies dans 25,5 % des cas entre 14 et 24 ans et les maladies coronariennes dans 42,9 % des cas entre 25 et 35 ans.

Figure 24 : Causes des arrêts cardiaques par groupe d'âge chez les enfants, adolescents et jeunes adultes de l'Etat de Washington
(Sources : Meyer et al. - 2012 ; Benjamin et al.- 2018)



ii. Caractéristiques des arrêts cardiaques en Asie et au Moyen-Orient : un panorama nuancé

L'étude réalisée par Ong et al. dans le cadre du PAROS [112] montre une très forte hétérogénéité selon les pays participants avec un âge moyen allant de 49,7 à 71,7 ans et une proportion d'hommes de 57,9 à 82,7 %. Indépendamment de la spécificité très marquée de Dubaï et des Emirats Arabes Unis (EAU), cette hétérogénéité se retrouve au sein de l'ensemble constitué par les six pays d'Asie du PAROS (Figure 25).

Figure 25 : Caractéristiques des arrêts cardiaques en Asie et au Moyen-Orient (Source : Ong et al. – PAROS – 2015)

Table 2
Patient demographics, out-of-hospital cardiac arrest characteristics and outcomes for all cases.

Characteristics	Japan (n=51,377)	Korea (n=7990)	Malaysia (n=389)	Singapore (n=3023)	Thailand (n=573)	Taiwan (n=3023)	UAE (n=405)
Age							
Mean (SD)	71.7 (18.4)	63.5 (19.0)	57.0 (17.0)	63.5 (18.2)	55.7 (22.1)	70.5 (18.6)	49.7 (18.3)
Median (IQR)	76.0 (63.0, 85.0)	66.5 (52.0, 78.0)	59.0 (47.0, 70.0)	65.0 (53.0, 77.0)	57.0 (40.0, 74.0)	75.0 (59.0, 85.0)	50.0 (38.0, 63.0)
Gender (%)							
Male	29,760 (57.9)	5243 (65.6)	276 (71.0)	1988 (65.7)	367 (64.0)	1936 (64.1)	335 (82.7)
Past medical history (%)							
Heart disease	2958 (28.1) ^a	837 (21.5)	88 (22.6)	1090 (36.0)	100 (17.5)	751 (26.5)	53 (13.1)
Location type (n, %)							
Home residence	8409 (63.0)	5057 (64.9)	278 (71.5)	2127 (70.4)	354 (61.8)	2201 (73.1)	220 (54.3)
Healthcare facility	50 (0.4)	137 (1.8)	11 (2.8)	110 (3.6)	11 (1.9)	Not available	7 (1.7)
Public/commercial building	964 (7.2)	449 (5.8)	44 (11.3)	236 (7.8)	30 (5.2)	70 (2.3)	52 (12.8)
Nursing home	1555 (11.7)	286 (3.7)	6 (1.5)	111 (3.7)	7 (1.2)	240 (8.0)	Not available
Street/highway	809 (6.1)	465 (6.0)	26 (6.7)	155 (5.1)	86 (15.0)	238 (7.9)	71 (17.5)
Industrial place	Not available	95 (1.2)	1 (0.3)	63 (2.1)	5 (0.9)	78 (2.6)	18 (4.4)
Transport center	Not available	101 (1.3)	3 (0.8)	37 (1.2)	2 (0.3)	4 (0.1)	Not available
Place of recreation	Not available	187 (2.4)	2 (0.5)	57 (1.9)	6 (1.0)	54 (1.8)	24 (5.9)
In EMS ^b /private ambulance	852 (6.4)	382 (4.9)	9 (2.3)	69 (2.3)	33 (5.8)	Not available	Not available
Other	700 (5.2)	629 (8.1)	9 (2.3)	58 (1.9)	39 (6.8)	125 (4.2)	13 (3.2)
Arrest witnessed by (n, %)							
Not witnessed	30,532 (59.4)	3158 (46.7)	176 (45.2)	1302 (43.1)	151 (26.4)	1939 (67.9)	205 (50.6)
Bystander	17,221 (33.5)	3144 (46.5)	183 (47.0)	1482 (49.0)	373 (65.1)	630 (22.1)	186 (45.9)
EMS	3624 (7.1)	459 (6.8)	30 (7.7)	239 (7.9)	49 (8.6)	288 (10.1)	14 (3.5)
First arrest rhythm (n, %)^c							
VT ^d /VF ^e /unknown shockable	3831 (7.5)	1233 (15.4)	9 (4.1)	554 (18.7)	19 (7.1)	296 (9.8)	80 (19.8)
Unknown unshockable	13,889 (27.0)	251 (3.1)	82 (37.1)	24 (0.8)	2 (0.7)	23 (0.8)	6 (1.5)
Asystole	26,005 (50.6)	4487 (56.2)	54 (24.4)	1585 (53.3)	105 (39.2)	1716 (56.8)	282 (69.6)
Pulseless electrical activity	7601 (14.8)	1132 (14.2)	4 (1.8)	805 (27.1)	24 (9.0)	561 (18.6)	37 (9.1)
Unknown	51 (0.1)	887 (11.1)	72 (32.6)	5 (0.2)	118 (44.0)	427 (14.1)	0 (0)
Prehospital intervention (n, %)							
Bystander CPR ^{f,g}	19,176 (40.2)	2854 (40.9)	81 (22.6)	677 (24.3)	83 (15.8)	845 (31.4)	41 (10.5)
Prehospital defibrillation ^f	5260 (10.2)	1833 (22.9)	9 (2.6)	697 (23.4)	32 (9.2)	357 (11.8)	145 (35.8)
Bystander defibrillation ^{f,g}	313 (0.6)	22 (0.3)	Not available	29 (1.1)	1 (0.3)	Not available	3 (0.8)
Prehospital adrenaline ^h	4346 (8.5)	Not available	44 (12.7)	1414 (47.4)	135 (23.6)	552 (18.3)	4 (1.0)
Prehospital advanced airway (n, %)ⁱ							
Oral/nasal endotracheal tube	4129 (8.0)	153 (1.9)	22 (6.4)	18 (0.6)	132 (38.0)	402 (13.2)	5 (1.2)
Combitube	0	2 (0.02)	0	0	0	0	0
Laryngeal mask airway	4004 (7.8)	470 (5.9)	36 (10.4)	2368 (79.3)	2 (0.6)	535 (17.7)	20 (4.9)
King airway	6478 (12.6)	183 (2.3)	0	0	0	0	0
Other	4450 (8.7)	381 (4.8)	20 (5.8)	1 (0.01)	2 (0.6)	0	5 (1.2)
Post-resuscitation care (n, %)							
Hypothermia therapy	Not available	617 (7.7)	1 (0.3)	29 (1.0)	2 (0.3)	Not available	1 (0.2)
Etiology of cardiac arrest (n, %)^h							
Trauma	7495 (14.6)	718 (9.3)	20 (5.9)	99 (3.3)	77 (22.2)	228 (7.8)	13 (3.2)
Presumed cardiac etiology	29,928 (58.3)	5605 (72.7)	285 (84.1)	2251 (74.5)	189 (54.5)	2384 (81.1)	362 (89.4)
Respiratory	2293 (4.5)	65 (0.8)	15 (4.4)	240 (7.9)	47 (13.5)	192 (6.5)	4 (1.0)
Drowning	308 (0.6)	91 (1.2)	3 (0.9)	22 (0.7)	5 (1.4)	14 (0.5)	11 (2.7)
Other	11,352 (22.1)	1230 (16.0)	16 (4.7)	411 (13.6)	29 (8.4)	120 (4.1)	15 (3.7)
Outcomes (n, %)							
Survived to admission	3644/13,339 (27.3) ^a	1593 (20.4)	31 (8.0)	514 (17.0)	159 (27.7)	179 (5.9)	32 (7.9)
Survived to discharge	2677 (5.2)	681 (8.5)	2 (0.5)	76 (2.5)	24 (4.2)	139 (4.6)	12 (3.0)
Post arrest CPC ^{1/2}	1436 (2.8)	236 (3.0)	Not available	50 (1.7)	9 (1.6)	87 (2.9)	11 (2.7)

Comme pour l'Amérique du Nord, d'autres études nous fournissent des données complémentaires à des fins d'enrichissement et de comparaison.

Pour Singapour, les résultats de Lai et al. [124] sont similaires à ceux de Ong et al. [112], avec un âge moyen de 65 ans, une proportion d'hommes de 65,7 % et une part importante de survenue à domicile (65,7 %). S'agissant de l'étiologie, Lai et al. nous offrent toutefois une perspective différente, intégrant une approche par pathologie qui permet de souligner parmi les causes d'arrêt cardiaque l'importance de l'hypertension (47,1 %) et du diabète (28,7 %) au-delà des seules maladies cardiaques (35 %).

La prépondérance de la proportion du sexe masculin (65,6 %) est confirmée en Corée par Lee et al. [100]. Mais leurs résultats indiquent un âge médian (69 ans) ainsi que des pourcentages de survenue à domicile (90,7 %) et de rythmes non choquables (92,3 %) bien plus élevés que ceux de Ong et al.

Quant au Japon, nous relevons également un âge élevé de survenue de l'arrêt cardiaque dans les études de Kitamura et al. [55] (72,3 ans en moyenne) et Hasegawa et al. [125] (de 76 à 79 ans selon les régions). Kitamura et al. mettent par ailleurs en évidence une augmentation significative de l'incidence de l'arrêt cardiaque en fonction de l'âge jusqu'à 80 ans. Cela étant le Japon présente certaines spécificités avec une proportion d'hommes un peu inférieure (de l'ordre de 60 % également pour Kitamura et al. et Hasegawa et al.) par rapport aux autres pays, mais surtout une plus faible étiologie cardiaque. Sur ce dernier point, nous constatons cependant de fortes divergences selon les études consacrées aux arrêts cardiaques au Japon, avec une étiologie cardiaque dans 56,1 % des cas pour Ong et al. [112], de 30 à 40 % des cas seulement selon les régions pour Hasegawa et al. [125], mais de 72,2 % des cas pour Iwami et al. [126].

Enfin, il apparaît délicat de procéder à des comparaisons au regard des données disponibles pour ce qui est du Moyen-Orient. On peut observer toutefois la proportion très importante du sexe masculin à Dubaï et aux EAU (plus de 80 %) et surtout l'âge moyen (et médian) particulièrement bas de survenue d'un arrêt cardiaque. Une comparaison avec Israël permet de constater une spécificité de Dubaï et des EAU au plan international mais également à

l'échelle du Moyen-Orient. L'âge moyen est en effet en Israël de 68 ans selon Eisenberg et al. [117] et de 73,8 ans selon Ginsberg et al. [127], avec toutefois une proportion d'hommes très élevée, supérieure à 70 % et même proche de 80 % dans l'étude de Ginsberg et al. [127].

iii. Caractéristiques de l'arrêt cardiaque en Europe : une proximité avec l'Amérique du Nord

L'étude de Gräsner et al. [24] réalisée dans le cadre d'EuReCA ONE constitue là encore une référence importante. Les résultats de cette étude montrent une forte proximité de caractéristiques de l'arrêt cardiaque entre l'Europe et l'Amérique du Nord, avec pour l'ensemble des participants à EuReCA ONE un âge moyen de 66,5 ans, une proportion d'hommes de 66,3 %, une survenue à domicile à hauteur de 70 %, une origine médicale (incluant les causes cardiaques) de 91,4 %, et une proportion de rythmes non choquables de près de 80 % (Figure 26).

Figure 26 : Caractéristiques des arrêts cardiaques en Europe

(Source : EuReCA ONE – Gräsner et al. – 2016)

Table 2

Selected summary findings from all countries. Results are presented as overall mean value or percentage of all cases, and median with range of the individual country values. Calculations are based on all cases where CPR was started by EMS or bystander.

	No. of countries	No. of cases	Overall average	Median of country values	Range of country values
Cases with CPR attempted	27	7146	264.7	159	4–1536
Mean age (years)	27	6826	66.5	66.0	58.4–75.6
Male gender (%)	27	7004	66.3	65.7	50.0–90.0
Medical/cardiac cause ^a (%)	27	7146 ^a	91.4	90.1	78.1–100
Traumatic cause (%)	27	7146 ^a	4.1	3.7	0–16.5
Location: residence (%)	27	7052	69.4	67.1	46.4–79.9
Telephone CPR (%)	21	3439	29.9	30.4	0–100
Collapse witnessed (%)	27	6815	66.1	67.5	37.4–93.5
Bystander CPR (%)	27	6619	47.4	50.0	6.3–78.0
Shockable rhythm (%)	26	6533	22.2	23.6	4.4–50.0
ROSC (%)	27	6963	28.6	30.6	9.1–50.0

^a Missing or unknown values were considered as medical/cardiac.

Une différence doit toutefois être observée pour ce qui est de la présence d'un témoin en cas d'arrêt cardiaque : si un service d'urgence est présent dans 12 % des cas dans les deux ensembles géographiques, la présence d'un témoin est bien plus importante en Europe (54,3 %) qu'en Amérique du Nord (36 %).

Cela étant il existe d'importantes disparités entre pays européen notamment du point de vue des caractéristiques démographiques, d'autres études pouvant apporter un éclairage complémentaire :

- en ce qui concerne l'âge : l'étude de Bougouin et al. [118] indique un âge moyen inférieur en Autriche (respectivement 60 et 62 ans pour les sexes masculin et féminin), mais une étude de Kuisma et al. [52] montre qu'il est plus bas encore en Finlande, avec un âge moyen de 43 ans. En revanche la Suède figure bien parmi les pays où l'âge moyen est le plus élevé, les résultats de l'étude d'Axelsson et al. [128] étant concordants avec ceux de l'analyse de Bougouin, avec un âge moyen de plus de 70 ans, supérieur à celui constaté par Stromsoe et al. [129]. Les résultats des autres études disponibles s'établissent au voisinage de la moyenne européenne précitée tirée de l'étude de Gräsner et al., avec un âge moyen compris entre 64 et 68 ans pour les Pays-Bas, la République Tchèque, l'Irlande et la France. [4, 5, 129-132].
- pour ce qui a trait au sexe : le Danemark mis à part, avec 67 % d'hommes [133], Bougouin et al. mentionnent une proportion d'hommes bien supérieure à la moyenne d'EuReCA ONE (66,3 % avec une médiane de 65,7 %) pour l'Ecosse (70 %) [134] et l'Autriche (73 %) [135]. D'autres études telles que celles de Fothergill et al. indiquent un taux de l'ordre de 80 % au Royaume-Uni [136], alors que des pays comme la Suède ou la France se situent à un niveau inférieur à la moyenne européenne : 62 % d'hommes selon Axelsson et al. [128] en Suède, 63,2 % selon la dernière étude française de Luc et al. [5].

Ceci nous conduit à examiner les caractéristiques des arrêts cardiaques en France par comparaison avec les ensembles géographiques évoqués précédemment.

iv. Caractéristiques des arrêts cardiaques en France : les données de RéAC

Deux études en particulier, de Hubert et al. [4] et Luc et al. [5], nous permettent d'appréhender les caractéristiques des arrêts cardiaques en France (**Figure 27**).

Figure 27 : Caractéristiques des arrêts cardiaques en France d'après les données de

RéAC (Source : Luc et al. – 2018)

Age	
• Median (years)	68
• Q1 – Q3 (years)	53 - 82
Gender	
• Male, n (%)	4308 (63.2)
• Female, n (%)	2510 (36.8)
Cardiac Arrest Location	
• Home, n (%)	4126 (75)
• Public place, n (%)	658 (12)
• Work place, n (%)	83 (2)
• Other, n (%)	598 (11)
Witness status	
• Bystander, n (%)	3338 (49)
• MMT or First Aid Professional, n (%)	559 (8)
• Unwitnessed CA, n (%)	2921 (43)
Cardiac arrest aetiology	
• Medical, n (%)	5988 (87.8)
• Traumatic, n (%)	830 (12.2)
Presumed medical cause	
• Cardiac, n (%)	2526 (42)
• Respiratory, n (%)	768 (13)
• Other, n (%)	2694 (45)
Diabetes history, n (%)	755 (17)
Timings, Median [Q1;Q3] min	
• No-flow	7 [1-13]
• MMT response time	18 [12:25]
Initial Rhythm at MMT arrival	
• Asystole, n (%)	5555 (80.3)
• Pulseless VF/VT, n (%)	408 (5.9)
• Pulseless electrical activity, n (%)	415 (6.0)
• Spontaneous activity, n (%)	540 (7.8)

Les données issues de la dernière étude de Luc et al. (**Figure 27**) indiquent un âge moyen de 68 ans, l'âge moyen étant de 65 ans d'après l'étude de Hubert et al., proche de l'âge moyen de l'étude EuReCA ONE (66,5 ans). La part des arrêts cardiaques survenue à domicile est supérieure en France (cinq points de plus qu'en Amérique du Nord et que la moyenne européenne). La proportion d'hommes se situe en revanche à un niveau intermédiaire en France, entre les moyennes européenne et nord-américaine avec 63,2 % d'hommes (65,4

dans l'étude de Hubert et al.). Cette proportion évolue toutefois avec l'âge comme l'ont montré Segal et al. [137] dans le cadre de RéAC : de 67 % pour la classe d'âge des 65-69 ans, elle passe à 50 % pour les 85-89 ans et à 36 % pour les plus de 95 ans. L'incidence des arrêts cardiaques augmente, de façon différenciée selon le sexe, avec l'âge comme en témoigne l'étude de Luc et al. [5].

L'incidence des arrêts cardiaques est faible pour les moins de 14 ans, une situation comparable à celle des Etats-Unis. Ces résultats viennent confirmer le fait que l'arrêt cardiaque est bien moins fréquent chez l'enfant, de 10 à 15 fois moins selon Labenne et Paut [138], lesquels identifient comme cause principale de l'arrêt cardiaque une origine respiratoire (ce que nous avons pu également constater plus haut dans le cadre du registre CARES pour les USA). Mais d'autres auteurs insistent sur les autres causes d'arrêt cardiaque, les accidents domestiques et les blessures par exemple [139].

Hubert et al. [2] avaient par ailleurs déjà exploré le lien entre âge et arrêt cardiaque dans le cadre de RéAC, notamment pour les arrêts cardiaques traumatiques, qui touchent davantage les hommes jeunes (76,3 % d'hommes, pour un âge moyen de 49 ans). L'étiologie des arrêts cardiaques traumatiques conduit à mettre en évidence les noyades ainsi que les (tentatives de) suicides, comme nous l'avons déjà évoqué plus haut [56, 58, 140, 141]. Cela étant, une autre cause d'arrêt cardiaque traumatique entretient un lien complexe avec l'âge. Les accidents de la route ont été à l'origine de 3684 décès en France en 2017 selon les données de l'Observatoire Interministériel de la Sécurité Routière (OISS, 2018). Ils constituent une cause d'arrêts cardiaques traumatiques qui peut atteindre une proportion très élevée dans certains pays comme l'Australie où plus de 55 % des arrêts cardiaques traumatiques sont dus à un accident de la route [142]. Or les données de l'OISS montrent que si le nombre de jeunes victimes de ces accidents demeure important en France (22 % ont moins de 24 ans, principalement victimes d'accidents de deux roues), les plus de 65 ans représentent la part la plus importante des victimes (25 % de plus de 65 ans, principalement victimes d'accidents automobiles). Les données d'incidence sont éclairantes à cet égard : avec un ratio de 71 morts/million d'habitants les 15-17 ans étaient les victimes les plus nombreuses en 2010 ; ce

ratio est encore de 42 morts/million d'habitants moins d'une décennie plus tard, mais se situe désormais en deçà de la moyenne tous âges confondus (53 morts/million d'habitants) et mérite d'être comparé au ratio de 88 morts/million d'habitants constaté pour les 75 ans et plus. A l'âge viennent s'ajouter d'autres facteurs de risques comme la consommation d'alcool et de stupéfiants (dont les conséquences sont particulièrement destructrices chez les 25-34 ans, pour lesquels ils sont causes de décès dans respectivement 27 % et 15 % des cas), mais plus encore les facteurs socio-économiques comme le montrent différentes études. En France Grossetête [143] a mis en évidence le lien entre statut socio-économique et risque de décès : en 2007, 22,1 % des tués dans un accident de la route étaient des ouvriers et 2,9 % des cadres supérieurs et membres des professions libérales, alors que ces catégories socio-professionnelles représentaient respectivement 12 % et 8,4 % de la population française. Les résultats d'une étude plus récente réalisée aux USA vont dans le même sens. Se référant à des travaux relatifs au lien entre accidents de la route, d'une part, revenu, niveau d'éducation, qualification de l'emploi exercé, d'autre part, Harper et al. [144] concluent à l'existence d'un écart considérable entre les taux d'incidence des accidents de la route pour les non diplômés (25,71/100.000) et les diplômés de l'enseignement supérieur (9,4/100.000), le taux d'incidence globale étant de 16,84/100.000. Ce constat est d'ailleurs partagé par l'OMS qui souligne dans son dernier rapport sur la question que 90 % des décès ont lieu dans les pays à revenu faible, mais surtout que même dans les pays à revenu élevé les personnes les plus vulnérables sur le plan socio-économique ont davantage de risque d'être impliquées dans un accident de la route.

Du point de vue de l'étiologie, l'importance des causes médicales atteint en France un niveau comparable à celui de la moyenne européenne et à la situation constatée en Amérique du Nord. Mais il y a en revanche une différence notable pour ce qui est de la proportion des arrêts cardiaques non choquables (et de l'asystolie en particulier) : avec un pourcentage de rythme non choquable de près de 90 %, la France se situe bien au-delà des moyennes européenne et nord-américaine. L'asystolie est particulièrement importante en France (plus de 80 % des rythmes initiaux constatés à l'arrivée des services d'urgence dans l'étude de Luc et al., soit 7

points de plus que dans l'étude de Hubert et al.). Les études réalisées dans le cadre de RéAC ont par ailleurs permis de constater un lien étroit entre âge et rythme choquable. Segal et al. [137] ont ainsi pu montrer que l'asystolie augmentait avec l'âge chez les plus de 65 ans (de 77,4 % des cas pour les 65-69 ans à 87,9 % pour les plus de 95 ans) alors que la fibrillation ventriculaire et la tachycardie ventriculaire diminuaient (de 11,1 % des cas chez les 65-69 ans à 1,9 % chez les 95 ans et plus).

La richesse des données de RéAC, les comparaisons avec celles provenant d'autres registres en particulier témoignent de la complexité d'une approche des caractéristiques des arrêts cardiaques et de leurs interactions. L'enjeu démographique est important, âge et sexe demeurent donc des objets de recherche en matière d'arrêt cardiaque, dans le cadre d'une approche qui n'est pas uniquement médicale.

La littérature met en évidence les spécificités du sexe féminin en matière d'étiologie cardiaque. Comme cela a été évoqué précédemment, les femmes sont moins sujettes aux coronaropathies, et la proportion d'arrêts cardiaques survenus en l'absence d'anomalie structurale est plus élevée pour le sexe féminin [41]. La prévalence de certaines pathologies est plus importante chez les femmes (pour les maladies rhumatismales par exemple) mais elle est surtout moindre pour l'infarctus du myocarde, l'angine de poitrine et les maladies rénales [145]. Ces éléments sont généralement considérés comme autant de facteurs contribuant à expliquer le différentiel de taux de survie entre hommes et femmes. Différentiel d'autant plus remarquable que le rythme initial est moins fréquemment choquable chez les femmes et qu'elles bénéficient moins souvent de la présence d'un témoin. Dans leur méta-analyse Bougouin et al. [118] ont ainsi identifié trois catégories de facteurs ayant un impact positif sur la survie pour le sexe féminin :

- un facteur hormonal, et en particulier le rôle protecteur des oestrogènes en matière cardiovasculaire, les taux de survie étant plus élevés pour les femmes en âge de procréer [55, 118, 146] ; toutefois certaines études remettent en cause le fait que les femmes en âge de procréer bénéficient de meilleures chances de survie [147]

- une réponse du système nerveux central différente selon le sexe en cas d'ischémie ou d'hypoxie, avec une influence du nerf vague et un effet anti-arythmique plus importante chez les femmes [118, 145]
- une plus forte prévalence de maladies cardiaques non structurales (en particulier non-ischémiques) [41, 118]

Un facteur génétique a également été identifié comme l'une des causes possibles de cette différence, mais avec un pouvoir explicatif limité ainsi que nous l'avons vu précédemment [85, 86].

D'autres facteurs se trouvent - ou devraient - être mobilisés pour expliquer le différentiel de survie entre sexes :

- des facteurs socio-économiques, selon la proposition de Deo et Albert [41]
- des facteurs « environnementaux », identifiés par Bougouin et al. [118] comme un ensemble de facteurs liés aux modes de vie et comportements, considérant qu'ils sont davantage favorables à la santé en ce qui concerne les femmes mais dont nous avons vu qu'ils pouvaient eux-mêmes être conditionnés par des facteurs socio-économiques
- des facteurs liés aux caractéristiques des arrêts cardiaques et aux conditions de leur prise en charge

Sur ce dernier point les résultats d'une étude internationale associant plusieurs pays européens (Danemark, Suède, Norvège, Pays-Bas, Suisse, Italie, Luxembourg, Royaume-Uni) et l'Australie concluent au fait que le différentiel de survie entre hommes et femmes ne serait pas d'origine physiologique mais lié à une différence concernant des facteurs pré-hospitaliers d'une part, les traitements hospitaliers mis en œuvre, d'autre part. Ainsi il n'y aurait pas de différences en termes de chances de survie entre hommes et femmes si l'on tient compte du fait que les arrêts cardiaques surviennent davantage au domicile pour les femmes (donc plus souvent en l'absence de témoin), que ces dernières ne bénéficient pas des mêmes traitements hospitaliers (avec moins d'angiographies coronariennes/d'interventions

coronariennes percutanées pour les femmes) sans que les auteurs de l'étude aient pu en identifier les raisons [147].

L'importance du lieu de survenue des arrêts cardiaques mérite donc une attention particulière et les lieux publics méritent d'être différenciés. Peu d'arrêts cardiaques surviennent sur le lieu de travail (2 % en France [5]), les sites touristiques, les aéroports (moins de 0,5 % aux USA d'après les données de CARES [148]), les gares, mais ces lieux représentent un enjeu important en termes de connaissance des conditions de la mise en œuvre de la chaîne de survie [12, 14, 149, 150] et du point de vue des facteurs de risque socio-économiques [9].

c. Survie et devenir des patients

L'arrêt cardiaque est un enjeu majeur de santé publique en tant que l'une des causes principales de mortalité. Mais un indicateur complémentaire, le taux de survie, témoigne de la hauteur de cet enjeu. Le taux de survie est en effet particulièrement faible si on le compare au taux de survie des cancers. Pour ce qui est des cancers, autres grandes causes de mortalité en France, nous constatons en effet que le taux de survie à un an, variable selon la nature du cancer, est supérieur à 40 % (à l'exception du cancer du pancréas dont le taux de survie est de l'ordre de 30 %), un dépistage précoce de certains cancers pouvant améliorer considérablement la survie (dépisté à un stade précoce le cancer du sein est associé à une survie à 5 ans de 99 % d'après les données de l'Institut National du Cancer (INCA))¹.

Or le taux de survie à 30 jours des arrêts cardiaques est de l'ordre de 5 % en France [4, 5].

i. Lien entre incidence et survie

Du point de vue de l'épidémiologie des arrêts cardiaques, appréhender l'incidence est crucial dès lors que la connaissance de l'incidence et des populations victimes d'un arrêt cardiaque permet d'adapter les interventions en termes de prévention et de prise en charge. La connaissance en matière d'incidence contribue donc à l'amélioration de la chaîne de survie.

Toutefois les problématiques de l'incidence et de la survie ne se confondent pas dans la mesure où aucun lien statistique n'a pu être confirmé entre elles, du moins en Europe et aux

¹ Institut National du Cancer. Savoir, c'est pouvoir agir. Rapport d'activité 2017. INCA. 2018.

USA. Plusieurs auteurs se sont intéressés à cette relation afin d'identifier des facteurs communs à l'incidence et à la survie.

Dans le cadre d'une étude rétrospective portant sur la littérature publiée sur le sujet entre 1970 et 1989 Becker et al. [151], ont testé l'hypothèse d'une relation statistique entre incidence et survie. Leurs travaux ont permis de conclure à l'existence d'un lien, les taux d'incidence évoluant en sens inverse des taux de survie. Selon les auteurs cette relation était justifiée pour deux raisons :

- Une augmentation de l'incidence des arrêts cardiaques reflétait la présence d'une population soumise à davantage de facteurs de risques (en particulier à d'importantes comorbidités). Les facteurs de risque de développement d'une maladie cardiaque étant de nature à augmenter l'incidence des arrêts cardiaques, la probabilité de survivre à un arrêt cardiaque devait être réduite. Il ne s'agissait cependant que d'une supposition, sans possibilité de vérification à l'époque de la publication en l'absence des données nécessaires (rappelons que le modèle d'Utstein n'intègre les comorbidités comme variables supplémentaires que depuis sa dernière évolution).
- La sous-déclaration des arrêts cardiaques (donc une moindre incidence) ne pouvait que contribuer à augmenter artificiellement le taux de survie (le taux de survie étant calculé à partir du ratio entre le nombre de survivants et le nombre d'arrêts cardiaques).

Cela étant Becker et al. [151] admettaient également l'hypothèse d'un artefact lié aux différentes modalités de recueil de données et méthodes employées pour réaliser l'étude.

D'autres études ont suivi qui n'ont pas permis de confirmer ce lien pour l'Europe et les Etats-Unis :

- Les travaux de Rea et al. [114] ont abouti au constat d'une absence de relation aux Etats-Unis entre la survie et l'incidence pour ce qui est des arrêts cardiaques avec fibrillation ventriculaire, ainsi qu'une relation faible et statistiquement non significative pour les arrêts « tous rythmes initiaux confondus ».
- Pas plus de relation en Europe pour Atwood et al. [38] et ce pour l'ensemble des arrêts cardiaques, avec ou sans fibrillation ventriculaire. Atwood et al. considèrent donc

qu'une partie de la variabilité de la survie entre les pays doit être portée au compte d'une différence dans la mise en œuvre de la chaîne de survie, alors que la variabilité de l'incidence dépendrait des conditions de mobilisation des services d'urgence.

Enfin, Berdowski et al. [37] ont pu mettre en évidence la spécificité de l'Asie dans leur comparaison internationale, tout en confirmant l'absence de relation en Europe et en Amérique du Nord. L'incidence est en effet plus basse en Asie comparativement à l'Europe, à l'Amérique du Nord et à l'Australie, et les taux de survie y sont aussi plus faibles. L'étude de Ong et al. [112] menée dans le cadre de PAROS confirme ce dernier point même si les auteurs soulignent l'absence de fiabilité des données pour la Malaisie, la Thaïlande et les Emirats Arabes Unis. Cependant le Japon, pays prépondérant dans cet ensemble géographique (plus encore dans l'étude de Berdowski et al. qui ne prend en compte que des données relatives au Japon, à Singapour et à Taïwan) présente de fortes spécificités du point de l'incidence de certaines pathologies à l'origine d'arrêts cardiaques. Berdowski et al. constatent ainsi que 16 % des arrêts cardiaques non traumatiques survenus au Japon sont dus à des hémorragies sous-arachnoïdiennes. La littérature confirme la très forte incidence de cette pathologie au Japon avec un taux d'incidence de 22,7/100.000 alors qu'il est de 9.1/100.000 au niveau mondial [152]. Or les patients atteints de cette pathologie présentent moins de probabilité de fibrillation ventriculaire ou de ROSC. L'Asie présente également le pourcentage le plus élevé d'arrêts cardiaques pris en charge par un service d'urgence, corrélé avec une moindre survie. Les pays asiatiques engagent souvent une RCP alors que le patient est mort, ils comptent moins de fibrillations ventriculaires et cela contribue à l'abaissement de leurs taux de survie. Incidence et survie ne peuvent être confondues ni appréhendées par un lien statistique (sauf pour l'Asie), ce qui rend nécessaire d'aborder l'épidémiologie des arrêts cardiaques sous l'angle de ces deux dimensions.

ii. Comparaison internationale des taux de survie

Il existe différents indicateurs en matière de survie, les plus fréquemment utilisés dans la littérature étant les taux de survie à l'admission à l'hôpital, à la sortie de l'hôpital, à 30 jours, avec comme variante la présence ou non d'une fibrillation ventriculaire ou la mise en œuvre

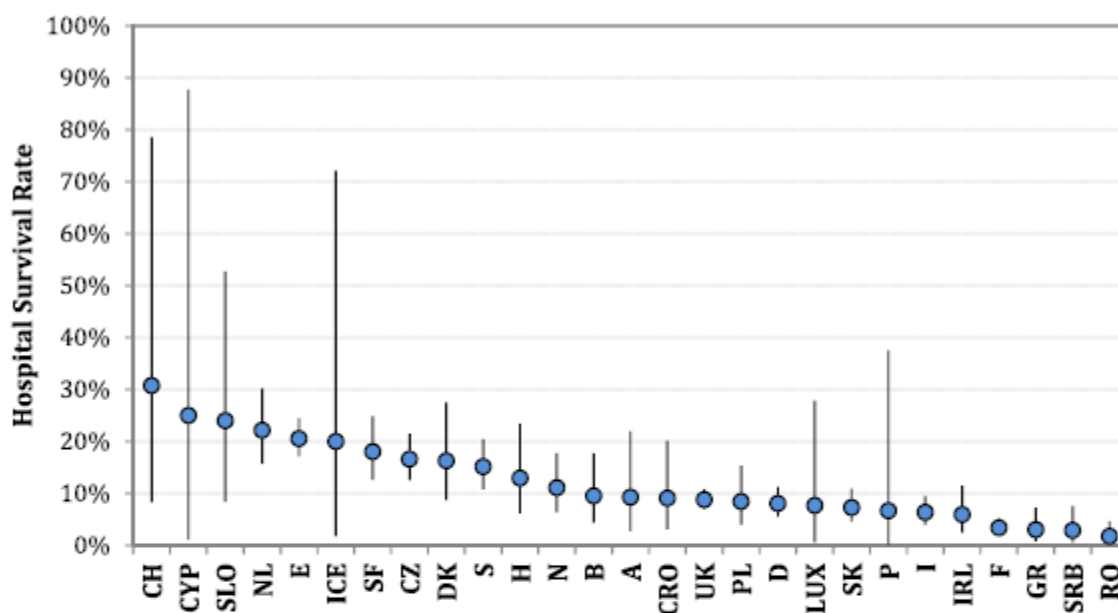
d'une RCP. D'après l'étude de Berdowski et al. [37], les taux de survie à la sortie de l'hôpital sont respectivement pour l'ensemble des arrêts cardiaques et pour ceux présentant une fibrillation ventriculaire de :

- 7,6 % pour l'Europe ; 15,7 % en cas de fibrillation ventriculaire
- 6,8 % et 15,5 % pour l'Amérique du Nord
- 3,3 % et 13,6 % pour l'Asie
- 9,7 % et 14,2 % pour l'Australie

Il en ressort une grande proximité des taux de survie entre l'Amérique du Nord et l'Europe. Cette proximité existe également pour ce qui est du rythme initial de l'arrêt cardiaque, avec respectivement 33 % et 31,6 % de fibrillation ventriculaire pour l'Amérique du Nord et l'Europe. Ce pourcentage est de 9,1 % pour l'Asie et de 37 % pour l'Australie. A pourcentage comparable le taux de survie devrait l'être également pour des conditions de mise en œuvre équivalentes de la chaîne de survie. L'Australie semble donc différer de ce point de vue des ensembles nord-américains et européens.

La situation de la France n'apparaît pas favorable en termes de survie au regard des comparaisons internationales. La France figure parmi les pays dont le taux de survie est le plus faible (**Figure 28**).

Figure 28 : Taux de survie en Europe – EuReCA ONE (Source : Gräsner et al. – 2016)



Les données les plus récentes tirées du registre RéAC indiquent un taux de survie à 30 jours faible de 5 %, mais la France se situe au niveau de la moyenne européenne pour ce qui est du taux de survie aux arrêts cardiaques ayant donné lieu à une RCP : 10,4 % en France [5], pour une moyenne européenne de 10,7 % selon Atwood et al. [38] et 10,3 % selon Gräsner et al [24].

Cela étant la variabilité des taux de survie est extrêmement forte, entre pays et même entre sites au sein d'un même pays :

- Aux Etats-Unis, Rea et al. [114] constatent que les taux de survie à la sortie de l'hôpital varient de 1,8 % à 21,8 % selon le site pris en compte (pour un taux de survie global de 8,4 %, et de 7,7 % en cas d'étiologie cardiaque), et de 3,3 % à 40,5 % en cas de fibrillation ventriculaire (pour une moyenne de 17,7 %)
- En Europe les résultats de l'étude de Atwood et al. [38] indiquent un taux survie moyen de 10,7% mais allant de 3,6 % pour les sites suédois participants à l'étude à 30,7 % pour le site néerlandais de Rotterdam. Pour Gräsner et al. [24] le principal indicateur de comparaison pris en compte au niveau européen est le taux de survie après RCP, et ce taux de survie après RCP varie de moins de 5 % à plus de 30 %, sachant que le pourcentage de RCP apparaît lui-même très variable d'un pays à l'autre (de

24/100.000 à Chypre à 104/100.000 pour la République Tchèque ; 52/100.000 pour la France).

La variabilité constatée entre sites n'est d'ailleurs pas sans impacter les résultats des études portant sur la survie. Selon les sites retenus, les résultats issus des méta-analyses comme ceux des registres peuvent être sensiblement différents. Les résultats des méta-analyses de Berdowski et al. et de Rea et al. présentés ci-dessus en témoignent. Mais ces résultats diffèrent également pour ce qui est des deux registres nord-américains ROC et CARES (Figure 29).

Figure 29 : La survie aux arrêts cardiaques en Amérique du Nord – ROC et CARES

(Source : Benjamin et al. – 2018)

Table 16-3. Trends in Layperson Response and Outcomes for EMS-Treated OHCA¹³

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Survival to hospital discharge, %											
ROC	10.2	10.1	11.9	10.3	11.1	11.3	12.4	11.9	12.7	12.4	...
CARES	...	...	...	...	...	10.5	10	10.6	10.8	10.6	10.8
Survival if first rhythm shockable, %											
ROC	25.9	29	33.6	27.8	30.1	30.9	34.1	32.7	33.5	30.2	...
CARES	...	...	...	...	...	...	...	...	29.3	29.1	29.5
First rhythm shockable, %											
ROC	23.7	21.7	21.9	20.9	20.8	21.4	21.7	20.2	20.8	21.3	...
CARES	...	...	...	...	...	23.2	23.1	23.2	20.4	20.1	19.8
Layperson-initiated CPR, %											
ROC	36.5	37.9	37.4	39.1	38.6	38.6	42.8	43	44.5	43.6	...
CARES	...	...	...	...	...	38	37.8	40.4	40.4	40.6	40.7
Layperson use of AED, %											
ROC	3.2	3.3	3.9	4.5	4	3.9	5.1	6	6.6	6.7	...
CARES	...	...	...	...	...	4.4	4	4.6	4.9	5.4	5.7
AED shock by layperson, %											
ROC	2	1.6	1.8	1.8	2	1.8	2	2.2	2.2	2.3	...
CARES	...	...	...	...	...	1.7	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7

AED indicates automated external defibrillator; CARES, Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival; EMS, emergency medical services, OHCA, out-of-hospital cardiac arrest; and ROC, Resuscitation Outcomes Consortium.

Source: Data reported by ROC and CARES.

Cette variabilité, plus sensible que pour l'incidence, nous amène à considérer les facteurs prédictifs de la survie et les conditions de son amélioration.

iii. Facteurs prédictifs de la survie

Il existe une littérature importante sur ce sujet. Ainsi les recommandations diffusées par l'ERC intègrent-elles les résultats d'études visant à une reconnaissance précoce de l'arrêt cardiaque, avant l'effondrement [17, 153, 154], à la mise en œuvre d'une RCP par un témoin [155-157], ou encore à engager au plus tôt une défibrillation [158, 159].

Dumas et al. [160] identifient trois catégories de facteurs prédictifs de la survie :

- L'âge,
- Les circonstances de survenue de l'arrêt cardiaque, qu'il s'agisse du lieu de l'arrêt cardiaque, de la présence et de l'intervention d'un témoin, du délai d'intervention des secours, du rythme choquable initial, ce dernier représentant un élément crucial de la survie,
- Le temps, le délai d'arrivée des secours étant inversement corrélé avec le taux de survie [161].

Dumas et al. [160] soulignent le fait que tous ces facteurs sont « intimement liés à la chaîne de survie » et qu'ils sont « intrinsèques au patient par ses caractéristiques démographiques, liés aux circonstances de survenue de l'ACR, participatifs dans la réactivité du témoin et des secours lors de l'évènement et interventionnels dans la prise en charge au décours », enfin qu'il convient de tenir compte des nombreuses interactions entre lesdits facteurs.

L'étiologie doit également être prise en considération, de même que les facteurs socio-économiques comme le soulignent plusieurs études auxquelles nous avons fait référence précédemment.

- **L'âge en tant que facteur prédictif de la survie**

Au plan international Berdowski et al. [37] insistent dans leur étude sur la nécessité de considérer l'âge en tant que facteur prédictif de la survie, précisant que le taux de survie à la sortie de l'hôpital s'élevait à 7,1/100.000 en population globale, mais à 5,8/100.000 pour la seule population adulte.

Ce résultat doit toutefois être relativisé au regard d'autres publications. Ainsi récemment, en 2018, Benjamin et al. [2] ont montré d'après des données tirées du registre CARES que les taux de survie à la sortie de l'hôpital différaient très peu entre adultes (10,8/100.000) et enfants (10,7/100.000). D'autres éléments doivent toutefois être pris en compte afin de pouvoir apprécier la survie chez l'enfant et notamment l'origine traumatique ou non de l'arrêt cardiaque, sachant par ailleurs que l'enfance ne constitue pas une classe homogène comme le montrent les données de survie issues du registre CARES (**Figure 30**).

Figure 30 : Taux de survie des arrêts cardiaques extrahospitaliers non traumatiques survenus chez les moins de 18 ans (Source : Registre CARES – 2016)

Age Groups (n)	Survival to Hospital Admission	Survival to Hospital Discharge	Survival With Good Neurological Function (CPC 1 or 2)	In-Hospital Mortality*
<1 y (991)	18.5	6.4	4.8	65.4
1–12 y (397)	33.2	14.4	10.1	56.6
13–18 y (306)	43.8	19.9	16.7	54.6

Values are percentages. CARES indicates Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival; CPC, Cerebral Performance Category; EMS, emergency medical services; and OHCA, out-of-hospital cardiac arrest.

*Percentage of patients admitted to hospital who die before hospital discharge.

L'âge apparaît également comme un facteur prédictif extrêmement important pour les plus âgés, ce que confirment notamment les résultats d'une étude réalisée en France à partir des données du registre RéAC. Sachant que l'âge médian de survenue d'un arrêt cardiaque est de 68 ans, Segal et al. [137] constatent dans le cadre d'une étude portant sur près de 20.000 enregistrements d'arrêts cardiaques concernant des personnes âgées de plus de 65 ans (avec un âge médian de 79 ans), que la survie diminue avec l'âge à raison de 3 % tous les 5 ans. Cela étant, les auteurs de l'étude mettent en avant un certain nombre d'éléments particuliers tels que l'appréciation qui peut être faite par les professionnels de santé du caractère « futile » ou non d'une réanimation sur des patients (très âgés), sujet débattu depuis plusieurs

décennies sur plusieurs continents [162-166]. Identifiant les principaux facteurs influençant sur les taux de survie chez les plus âgés (no flow, délai entre la survenue de l'arrêt cardiaque et la première RCP ; low flow, délai entre la première RCP et le retour à une activité circulatoire spontanée ; rythme cardiaque initial), les auteurs de l'étude ont non seulement pu observer un délai plus long d'intervention des équipes de secours, alors que cette intervention devrait être plus rapide dès lors que beaucoup des patients résident au sein d'établissements accueillant des personnes âgées. Mais ils supposent que cela pourrait signifier que le temps de mobilisation et d'intervention desdites équipes est plus long dès lors qu'il est question de soins urgents pour un patient âgé. Ils ont enfin pu constater que plus le patient était âgé, moins les efforts de réanimation étaient longs et intensifs [137].

- **Les maillons de la chaîne de survie**

Deux méta-analyses publiées en 2009 et 2010 [17, 167] donnent une vision globale des facteurs pronostiques en lien avec la chaîne de survie.

- A partir d'une méta-analyse réalisée à partir de 79 études portant sur plus de 140.000 arrêts cardiaques (sur une période de plus de 30 ans), Sasson et al. [17] identifient 5 facteurs clés de la survie à un arrêt cardiaque (le taux global de survie à l'admission et à la sortie de l'hôpital étant respectivement de 23.8 % et 7.6 %) :
 - Présence d'un témoin (taux de survie à la sortie de l'hôpital de 6.4 à 13.5 %)
 - Présence d'une équipe de secours (taux de survie à la sortie de l'hôpital de 4.9% à 18.2%)
 - Réalisation d'une RCP (taux de survie à la sortie de l'hôpital de 3.9% à 16.1%)
 - Fibrillation ventriculaire/Tachycardie (taux de survie à la sortie de l'hôpital de 14.8% à 23 %), le taux de survie étant plus élevé lorsqu'un défibrillateur est disponible à proximité du lieu de survenue de l'arrêt cardiaque
 - Retour à une activité circulatoire spontanée (taux de survie à la sortie de l'hôpital de 15.5 % à 33.6%).

Affirmant ne pouvoir étudier l'effet simultané de ces 5 facteurs compte tenu des données disponibles, Sasson et al. [17] insistent toutefois sur la nécessité d'une

approche combinée : un patient sur 4 (à 7) présentant une fibrillation ventriculaire survivant à la sortie de l'hôpital, contre 1 sur 21 (à 500) en cas d'asystolie, l'effet d'une RCP par un témoin et d'une défibrillation précoce est d'autant plus décisif que la réalisation immédiate d'une RCP permet de prévenir la dégradation du rythme cardiaque.

Sachant que seulement 53 % des arrêts cardiaques surviennent en présence d'un témoin, et qu'un tiers donnent lieu à une RCP par le témoin, les auteurs soulignent l'importance de la réalisation d'une RCP par un témoin, du rythme choquable ainsi que de la valeur prédictive d'un retour à une activité circulatoire spontanée.

En conséquence ils proposent une stratégie fondée sur une augmentation du taux de RCP précoce, des défibrillations mais également sur l'enjeu de favoriser le retour à une activité circulatoire spontanée avant de transporter le patient.

Cependant, il semble que ces facteurs prédictifs et leurs interactions n'aient qu'une portée relative, même si leur impact est essentiel et ne saurait être remis en cause, en termes de survie.

A cet égard, le modèle d'Utstein, et les registres fondés sur ce modèle, permettent d'évaluer lesdits facteurs, de comparer les résultats obtenus en matière de survie et d'en expliquer les différences éventuelles.

- Rea et al. [167] se sont engagés dans cette voie, réalisant une étude à partir de données relatives aux arrêts cardiaques non-traumatiques de 7 sites nord-américains collectées dans le cadre du ROC. Cette étude porte sur l'ensemble des arrêts cardiaques pris en charge par des équipes de secours, un sous-échantillon ayant toutefois été constitué à partir des arrêts cardiaques avec témoin, d'origine présumée cardiaque, avec fibrillation ventriculaire ou tachycardie, ce sous-échantillon étant caractéristique de ce que peut représenter la chaîne de survie dans sa globalité.

Le taux de survie de 7.8 %, caractérisé par une forte variabilité selon les sites (intervalle allant de 4.6% à 14.7%), atteignait 22.1 % pour le sous-échantillon précité (avec un

intervalle de 12.5% à 41 %), ce sous-échantillon représentant 15 % de l'ensemble de la population totale étudiée mais 40 % des cas de survie.

Mais outre ces résultats confirmant la forte variabilité des taux de survie généralement constatée dans les études consacrées à cette question et sur laquelle nous reviendrons, Rea et al. [167] observent que les données collectées dans le cadre des registres de type Utstein ne permettent d'expliquer que partiellement cette variabilité, en l'occurrence :

- 72 % de la variabilité des taux de survie pour l'ensemble des arrêts cardiaques,
- 40 % pour le sous-échantillon (arrêts cardiaques avec témoin et fibrillation ventriculaire).

Quant à la comparaison entre sites, les données étudiées tirées du recueil de type Utstein ne permettent d'expliquer respectivement que 43.6 % et 22.6 % de la variabilité des taux de survie.

D'où la proposition de Rea et al. [167] de revisiter certains facteurs : une RCP devant par exemple être considérée également du point de vue du délai, des conditions de sa réalisation, mais également de son lien avec une éventuelle défibrillation, la qualité de cette RCP et celle de la formation des intervenants potentiels constituant des éléments clés pour expliquer la variabilité des taux de survie, et surtout améliorer cette dernière. De même pour ce qui est de la pratique (nombre d'arrêts pris en charge), de la formation et de l'expérience des professionnels de santé, et plus généralement des membres des équipes de secours et des équipes hospitalières.

Sans que soient remis en cause les rôles fondamentaux de la chaîne de survie et d'un recueil de données de type Utstein en matière d'amélioration de la survie, d'une part, de l'évolution des recommandations de prise en charge, d'autre part, Rea et al. [167] appelaient à engager des recherches permettant d'explorer d'autres voies.

- **Éléments relatifs au patient : comorbidités et facteurs socioéconomiques**

L'importance d'éléments relatifs aux patients telles les comorbidités a été soulignée par plusieurs auteurs [61, 168, 169], rappelant que les comorbidités ont vocation à être recueillies

dans le cadre proposé au titre de la dernière évolution en date du modèle d'Utstein [8]. A cet égard il convient de rappeler l'influence des pathologies chroniques sur la survie en cas de survenue d'un arrêt cardiaque, notamment en termes d'adaptation des traitements y compris dans le cadre de la prise en charge hospitalière [170, 171]. Ainsi, dans le cadre du suivi d'une cohorte de près de 1500 patients de plus de 18 ans ayant subi un arrêt cardiaque non traumatique (avec fibrillation ventriculaire) entre 2007 et 2013, Dumas et al. [61] ont pu montrer l'importance du lien entre comorbidités et survie : les patients souffrant d'insuffisance cardiaque congestive, de maladie coronaire, de diabète insulino-dépendant, d'AVC, de maladie respiratoire ou de cancer ont une probabilité moindre de survie que les autres patients. Mais surtout ils ont pu mettre en évidence le fait que données tirées des registres de modèle d'Utstein et comorbidités, cumulées, ne permettaient d'expliquer ensemble que la moitié environ de la variabilité de la survie au sein de la cohorte étudiée.

Une meilleure appréhension des causes des arrêts cardiaques revêt donc une importance particulière, mais la recherche d'autres déterminants que médicaux mérite d'être envisagée dès lors qu'il est question d'une approche par le patient. Et notamment les facteurs et déterminants que certains auteurs ont pu qualifier de « psychosociaux » à l'issue d'une méta-analyse réalisée sur la base de près d'une cinquantaine d'études au plan international [168].

Le lien entre facteurs socioéconomiques et survie a été mis en évidence dans plusieurs études et cela même en lien avec la chaîne de survie. Les résultats obtenus récemment par Luc et al. [5] montrent que le taux de survie à 30 jours en France est de 4.9 % tous types d'arrêts confondus (5.4 % pour les arrêts cardiaques ayant une cause médicale, 1.7 pour les arrêts d'origine traumatique). Cependant lorsque les patients bénéficient d'une prise en charge par un témoin, le taux de survie passe à 9 % (respectivement 9.5 % et 3.7 % pour les arrêts cardiaques d'origine médicale et traumatique) et s'élève même à 10.4 % en cas d'intervention immédiate lors de la survenue de l'arrêt cardiaque. En revanche, lorsque les seules équipes de secours interviennent, le taux de survie décroît à un niveau bien inférieur de 4.3 % (respectivement 4.7 % et 1.7 % selon la cause de l'arrêt cardiaque), sachant par ailleurs qu'une prise en charge médicalisée par les équipes de secours n'a lieu que respectivement dans 38.8

% et 46.7 % des cas selon l'origine de l'arrêt cardiaque. La réalisation, immédiate, d'une RCP par un témoin constitue donc un facteur prédictif majeur de la survie. Or les résultats de plusieurs études internationales montrent qu'il existe un lien entre mise en œuvre d'une RCP par un témoin et statut socioéconomique : il apparaît en effet que la probabilité de bénéficier d'une RCP par un témoin augmente avec le niveau de revenu et le niveau d'éducation constatés dans le territoire de survenue de l'arrêt cardiaque, mais qu'elle est également liée négativement au pourcentage d'habitants afro-américains aux Etats-Unis [10, 11, 16, 19, 105, 108].

- **Le temps comme facteur prédictif de la survie**

La réalisation immédiate d'une RCP par un témoin est comme nous l'avons vu un facteur d'amélioration de la survie. Plus généralement le temps est un élément clé de l'efficacité de la chaîne de survie puisque le taux de survie est inversement corrélé avec le délai d'intervention des secours [161], la survie décroissant de manière linéaire et étant divisée par deux (de 13,5 à 6,3 %) dans un délai de 12 minutes à partir de l'intervention des secours d'après les données issues du registre CARES [160].

Le facteur temps fait donc l'objet d'une attention particulière au sein des recommandations internationales. Ainsi la GRA [172] fait elle appel à la notion d'évolution naturelle de l'arrêt cardiaque, estimant à 10 minutes le délai menant de la mort clinique à la mort biologique, ne laissant aucune chance de survie au patient, soit une « perte de chance » de 10 % par minute, situation qu'une RCP ou une défibrillation peut modifier.

De là il est possible de fixer des repères en matière de performance des interventions conditionnant la survie, et d'apprécier la performance des équipes de secours dans le cadre de la chaîne de survie comme l'indique le tableau ci-dessous élaboré par la GRA [172], l'hypothèse d'un taux de survie de 75 % à étant toutefois conditionnée par la mise à disposition de défibrillateurs automatiques à domicile (**Figure 31**).

Figure 31 : Temps de prise en charge des arrêts cardiaques et survie

(Source : GRA – 2018)

System factors influencing survival from out-of-hospital cardiac arrest

EMS System Performance (in minutes from cardiac arrest)	Current situation			Future Aspiration
	Poor	Average	Best	
Dispatch activated	2	2	1	1
Ambulance underway	3	3	2	2
Bystander/Telephone-CPR	no	4	2.5	2
Bystander defibrillation	no	no	no	2.5
EMS at scene	7	7	6	6
EMS at patient site	8.5	8.5	7.5	7.5
EMS CPR started	8.5	8.5	-	-
EMS HP-CPR started	no	no	7.5	as needed
EMS defibrillation	10	10	9	as needed
Survival (from VF/VT)	10%	25%	50%	75%

- **Quelle amélioration de la survie ?**

Les résultats des études disponibles sur ce sujet permettent de déceler une évolution positive, et d'identifier certains des facteurs qui en sont à l'origine, du moins si l'on se situe à un niveau local ou régional. L'évolution semble être moins probante dès lors que l'on se place au niveau d'un pays, et une certaine variabilité des résultats peut être constatée au niveau international. Des progrès significatifs ... Tel est le constat réalisé par la GRA [172] dans son rapport annuel, constat qu'il convient toutefois de nuancer.

- **Des progrès significatifs en Scandinavie**

Des études réalisées récemment au Danemark [133] et en Suède [129] témoignent d'une progression très significative des taux de survie dans ces deux pays. Wissemberg et al. [133] mentionnent une augmentation du taux de survie à 30 jours de 3.8 % à 12.7 % entre 2001 et 2014 et attribuent cette progression à une amélioration de la chaîne de survie, et plus précisément à une croissance sensible des RCP réalisées par un témoin (de 19 % à 65 % entre 2001 et 2014). Kragholm et al. [173] confirment cette évolution au Danemark dans une étude portant sur la période 2001-2012.

Les résultats de plusieurs études suédoises et norvégienne confirment cette évolution positive du taux de survie sur plus d'une (voire deux) décennie(s). Si la cause de l'arrêt cardiaque est parfois évoquée, l'accent est davantage mis sur la chaîne de survie en tant qu'ensemble de facteurs susceptibles d'être à l'origine d'une amélioration de la survie. Les résultats peuvent toutefois varier en ce qui concerne le pouvoir explicatif des différents facteurs, avec selon les études :

- Une explication de l'amélioration de la survie par la performance des services de secours et la réalisation d'une RCP par un témoin, la première ayant plus d'importance que la seconde [128,174] : Hollenberg et al. [174] constatent ainsi une progression du taux de survie à 30 jours de 12.7 à 22.3 % pour les arrêts cardiaques avec rythme choquable entre 1992 et 2005 (de 1.2 à 2.3 % en l'absence de rythme choquable) ; Axelsson et al. [128] constatant sur la période 1992-2009 que le taux de survie à 30 jours atteignait 16 % en cas d'intervention d'une équipe d'urgence, moins de 10 % en cas d'arrêt cardiaque avec réalisation d'une RCP par un témoin, mais 3.5 % sans RCP,
- Une identification de la progression à une meilleure performance des équipes de secours en termes de temps d'intervention [168],
- D'autres auteurs insistent plus particulièrement sur l'importance de la réalisation d'une RCP précoce [155, 175],
- Enfin, deux études en particulier, l'une suédoise [129], l'autre norvégienne [176], attribuent l'amélioration des taux de survie à celle de l'ensemble des composantes de la chaîne de survie. Ainsi Stromsoe et al. [129] constatent-ils une amélioration du taux de survie à 30 jours de 4.8 à 10.7 % sur la période 1992-2011, avec toutefois un écart de 1 à 7 selon les régions, écart qu'ils attribuent à un délai d'intervention plus court des équipes d'urgences et à une plus forte concentration d'ambulances dans les régions où le taux de survie est le plus élevé.

Il existe donc une convergence de résultats entre ces études, et une tendance confirmée à l'augmentation du taux de survie sur une période de plus d'une décennie (voire deux décennies) dans un ensemble de pays culturellement homogènes, et cela même s'il existe une certaine variabilité entre régions.

○ **Un constat d'amélioration en Asie**

Les études concernant le Japon semblent confirmer également une amélioration significative de la survie.

La GRA fait ainsi référence dans son rapport pour 2018 à une augmentation du taux de survie des arrêts cardiaques avec témoin de 3.3 à 7.2 % entre 2005 et 2014, augmentation attribuée à une progression des RCP et à l'utilisation des défibrillateurs automatiques externes. Des travaux publiés par Iwami et al. [177] et Kitamura et al. [178] témoignent également de cette amélioration :

- avec un taux de survie passant de 6 à 16 % de 1998 à 2006 pour les arrêts cardiaques avec fibrillation ventriculaire, grâce à une meilleure performance à toutes les étapes de la chaîne de survie selon Iwami et al.
- et une progression marquée de 3.1 à 6.4 % de la survie pour les arrêts cardiaques survenus en présence de témoins et non suivis de séquelles neurologiques d'après Kitamura et al.

D'autres Etats asiatiques connaissent une évolution similaire, Singapour par exemple, avec un doublement du taux de survie à 30 jours en une décennie : ce taux serait en effet passé de 1.6 à 3.2 % entre les deux périodes 2001-2004 et 2010-2012 pour l'ensemble des arrêts cardiaques (de 2.5 à 11 % pour les arrêts cardiaques avec témoin, rythme choquable, d'origine cardiaque présumée, ayant fait l'objet d'une réanimation). Les facteurs identifiés comme étant à l'origine de cette progression sont : la diffusion des pratiques de défibrillation par un témoin et de l'hypothermie thérapeutique post arrêt cardiaque, mais également une plus grande efficacité des équipes de secours (temps d'intervention inférieur à 8 minutes), voire davantage de moyens dédiés (augmentation du nombre d'ambulances de 50 %), certains présentant une certaine originalité, avec en

l'occurrence des personnels paramédicaux équipés de motocyclettes permettant une intervention rapide [124].

Faisant référence à une amélioration des taux de survie au Japon, au Danemark et en Arizona pour les USA, à porter au crédit d'une meilleure performance des équipes de secours, Lai et al. [124] soulignent le fait que les taux de survie n'ont en fait pas progressé en Europe et aux USA au cours des dernières décennies. Cette affirmation mérite toutefois d'être nuancée.

- **Une évolution contrastée aux USA**

Lai et al. [124] évoquent une amélioration des taux de survie en Arizona, faisant de fait référence aux travaux de Spaite et al. [179], lesquels ont constaté une augmentation du taux de survie de 8.9 à 14.4 % entre 2007 et 2010. Constat similaire pour Daya et al. [54], pour la période 2006-2010, mais pour l'ensemble des Etats-Unis (tout du moins 10 sites adhérant au ROC, représentant 139 équipes d'urgences) : le taux de survie à la sortie de l'hôpital aurait progressé de 8.2 à 10.4 % pour les arrêts cardiaques pris en charge par des équipes d'urgences, et même de 21.4 à 30.3 % pour les arrêts cardiaques avec fibrillation ventriculaire (ou tachycardie) survenus en présence d'un témoin. Evoquant toutefois une forte variation entre les sites, les auteurs de l'étude estimaient à 6.500 le nombre de morts prématurées en 2010, citant parmi les facteurs d'amélioration les campagnes grand public en faveur des gestes qui sauvent, une meilleure performance des équipes de secours, ou l'apport des registres en matière de connaissance et donc d'amélioration de la chaîne de survie et ce tout en invitant à engager des recherches permettant d'identifier les facteurs associés à cette amélioration. La progression des taux de survie n'est toutefois pas aussi probante si l'on considère les études portant sur une période plus longue. Dans son rapport pour 2018, la GRA fait ainsi référence à un triplement en 20 ans du taux de survie à la sortie de l'hôpital - de 5.3 à 16.6 % - à New York, évolution portée au crédit de la diffusion de bonnes pratiques et de techniques d'amélioration des RCP. Cela étant les données publiées par l'AHA [2] ne peuvent que susciter le scepticisme au regard des évolutions du taux de survie : faible progression, de 10.2 à 12.4 % à la sortie de l'hôpital, sur la période 2006-2015 si l'on considère les données du ROC

(l'évolution étant plus sensible en cas de rythme choquable), absence de progression au regard des données de CARES sur la période 2011-2016 (**Figure 32**). Il paraît donc difficile de tirer quelque conclusion que ce soit des données nord-américaines, et il en est également de même pour ce qui est de la situation en France au regard des rares et récentes études disponibles.

Figure 32 : Evolution des taux de survie aux USA 2006-2016 (Source : AHA - 2018)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Survival to hospital discharge, %											
ROC	10.2	10.1	11.9	10.3	11.1	11.3	12.4	11.9	12.7	12.4	...
CARES	...	...	...	...	...	10.5	10	10.6	10.8	10.6	10.8
Survival if first rhythm shockable, %											
ROC	25.9	29	33.6	27.8	30.1	30.9	34.1	32.7	33.5	30.2	...
CARES	...	...	...	...	...	...	...	...	29.3	29.1	29.5
First rhythm shockable, %											
ROC	23.7	21.7	21.9	20.9	20.8	21.4	21.7	20.2	20.8	21.3	...
CARES	...	...	...	...	...	23.2	23.1	23.2	20.4	20.1	19.8
Layperson-initiated CPR, %											
ROC	36.5	37.9	37.4	39.1	38.6	38.6	42.8	43	44.5	43.6	...
CARES	...	...	...	...	...	38	37.8	40.4	40.4	40.6	40.7
Layperson use of AED, %											
ROC	3.2	3.3	3.9	4.5	4	3.9	5.1	6	6.6	6.7	...
CARES	...	...	...	...	...	4.4	4	4.6	4.9	5.4	5.7
AED shock by layperson, %											
ROC	2	1.6	1.8	1.8	2	1.8	2	2.2	2.2	2.3	...
CARES	...	...	...	...	...	1.7	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7

AED indicates automated external defibrillator; CARES, Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival; EMS, emergency medical services, OHCA, out-of-hospital cardiac arrest; and ROC, Resuscitation Outcomes Consortium.

Source: Data reported by ROC and CARES.

○ **Evolution de la survie en France d'après les données issues de RéAC**

Deux études ont été publiées à ce jour à partir des données du registre RéAC :

- en 2014, d'après les données enregistrées depuis la création de RéAC (en 2011), Hubert et al. ont pu constater que les taux de survie à l'admission à l'hôpital et à 30 jours étaient respectivement de 17.2 et 4.6 % (84 % des survivants à 30 jours ne présentant pas de séquelles neurologiques), avec un taux de survie supérieur pour les arrêts cardiaques dont la cause était médicale (ce taux étant de 5 % à

l'admission à l'hôpital et de 1.4 % à 30 jours pour les arrêts d'origine traumatique) [4]

- en 2018, sur la base de données de 2013 et 2014 issues de RéAC, le taux de survie à 30 jours était de 4.9 % tous types d'arrêts confondus (5.4 % pour les arrêts cardiaques ayant une cause médicale, 1.7 pour les arrêts d'origine traumatique) [5]. Toutefois Luc et al. , établissant une comparaison avec des travaux nord-américains [27], soulignent l'importance de la prise en charge médicalisée par les équipes d'urgences, et plus particulièrement celle de leur rapidité d'intervention. Or le délai d'intervention (temps médian) est bien moins élevé dans l'étude de Nichol et al. [27] - 7 minutes - que dans les deux études françaises précitées, avec respectivement 20 minutes dans l'étude de Hubert et al. , et 18 minutes dans l'étude de Luc et al.

Il n'est donc pas possible, au regard de ce qui précède et en l'état actuel des connaissances, de conclure à une amélioration de la survie en France, et a fortiori d'en identifier les facteurs.

- **Un constat au plan international : une absence d'amélioration des taux de survie depuis 30 ans mais...**

Telle est la conclusion d'une méta-analyse réalisée par Sasson et al. [17], à partir de 79 études portant sur 26 pays, dont l'objet était de déterminer les tendances en matière de survie sur une période de trois décennies. Ces travaux ont permis de constater que le taux de survie s'établissait au voisinage de 7.6 % sur une période de 3 décennies (dans un intervalle de 6.7 à 8.4 %).

Sasson et al. soulignent que « cette absence de progrès, en dépit d'énormes efforts en dépenses de recherche, de l'introduction de nouveaux médicaments et dispositifs médicaux et d'une révision périodique de recommandations fondées scientifiquement, peut être attribuée, au déclin de l'incidence des arrêts cardiaques avec fibrillation ventriculaire venant compenser l'amélioration de la survie, au vieillissement, à un allongement des temps

d'intervention des équipes de secours lié à une croissance démographique et à une urbanisation croissante ».

Le constat est donc nuancé du fait d'une « compensation » possible, au moins partielle, de l'amélioration des taux de survie par l'augmentation de l'incidence de certains types d'arrêts cardiaques. Notons à cet égard que les données publiées par l'AHA dans son rapport 2018 [2] montrent pour les USA une augmentation du taux de survie des arrêts cardiaques avec rythme choquable alors même que la part de ces derniers diminue sur une décennie.

Par ailleurs, Sasson et al. [17] insistent sur la difficulté d'évaluer simultanément les effets des facteurs précités (et leurs effets combinés), les données individuelles du patient n'étant pas renseignées systématiquement, rendant ainsi impossible l'évaluation des caractéristiques du patient et pouvant amener une confusion potentielle entre facteurs influençant la survie. Ils invitent par ailleurs à évaluer à l'avenir l'impact des nouvelles techniques de réanimation cardiaque et cérébrale, mais aussi à privilégier certaines actions en fonction de la situation « locale » en matière de survie : ainsi les efforts visant par exemple à diffuser les pratiques de RCP par un témoin sont susceptibles d'avoir d'autant plus d'impact que le taux de survie est faible.

La variabilité des taux de survie constitue à cet égard un élément « dynamique » de cette dernière, en lien avec le recueil et l'exploitation des informations relatives aux arrêts cardiaques.

Le constat d'une forte variabilité de la survie (mais également de l'incidence des arrêts cardiaques comme nous le verrons) est très généralement partagé, et souvent présenté comme la résultante d'une différence de pratiques en matière de prise en charge, voire de performance des équipes de secours.

Malgré (ou grâce à ?) Utstein, de fortes variations persistent d'un lieu à l'autre. Et une évolution homogène ne peut donc être assurée en matière de survie, compte tenu du caractère local de ses déterminants.

Certains auteurs ont pu proposer diverses hypothèses quant à l'origine de la forte variabilité des taux de survie aux USA (de 5 à 19 % selon les Etats d'après les données de CARES) : la

mise en place de programmes spécifiques de prises en charge dans certaines régions ou localités, mais également l'influence des caractéristiques initiales des arrêts cardiaques [160]. Evoquant cette variabilité, les membres de la Task Force on Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology proposaient ainsi une approche différenciée de la survie. Selon eux les résultats de la diffusion de la RCP par un témoin ne seraient pas tant influencés par les efforts réalisés pour mettre en œuvre cette réanimation, mais par les conditions prévalant antérieurement à la RCP. Ceci pour indiquer que la survie en matière d'arrêt cardiaque ne pouvait résulter que d'une interaction entre des facteurs de « prédestination » (ou « fate factors », tels que l'âge, les pathologies sous-jacentes, ...) et des facteurs de « programmation » (ou « programme factors », tels que le délai entre une intervention précoce et la défibrillation par exemple) [60].

Ces facteurs de « prédestination » méritent, en tant que déterminants, une attention particulière. Ils conduisent en effet à procéder à un examen attentif des causes et facteurs de risque des arrêts cardiaques, et donc à une approche privilégiant l'observation de l'incidence et de sa variabilité. Susceptible de contribuer à une adaptation et à une amélioration des prises en charge, cette approche permet de se placer au-delà d'une perspective d'amélioration de la survie par celle, néanmoins indispensable, de la chaîne de survie.

d. Les coûts de l'arrêt cardiaque

Des taux de survie faibles, un devenir associé à de fréquentes et importantes séquelles neurologiques, l'arrêt cardiaque est à l'origine d'une abondante littérature portant sur la « futilité » de la réanimation.

Les recommandations internationales abordent cette question, dans sa dimension à la fois éthique et médicale. Mais elle a également fait l'objet d'investigations – peu nombreuses – portant sur le coût de l'arrêt cardiaque.

i. Futilité médicale de la réanimation cardiopulmonaire

L'European Resuscitation Council (ERC) définit la « futilité médicale » dans la section de ses recommandations (sur lesquelles nous reviendrons dans la suite de ce travail) consacrée à l'éthique en réanimation et aux décisions de fin de vie : « une réanimation est considérée

comme futile lorsque les chances de survivre dans de bonnes conditions sont minimales », « la décision de ne pas pratiquer la réanimation ne nécessit(ant) pas le consentement du patient ou de ses proches ».

L'ERC précise par ailleurs qu'une décision de ne pas entreprendre ou d'arrêter une RCP est d'autant plus difficile à prendre en cas d'arrêt cardiaque extrahospitalier que les volontés, les valeurs, les comorbidités et l'état de santé du patient ne sont pas connus. Toutefois l'ERC émet un certain nombre de recommandations quant aux conditions de cette prise de décision. Plus précisément, dans la section 18 de ses recommandations dédiées aux soins post-réanimation, l'ERC donne par exemple l'algorithme décrivant la stratégie applicable aux patients comateux permettant de minimiser le risque d'un diagnostic faussement positif. Il est en effet constaté que parmi les patients admis en soins intensifs à la suite d'un arrêt cardiaque extrahospitalier, deux tiers décèdent des suites de lésions neurologiques, la plupart de ces décès étant dus à un arrêt des thérapeutiques actives de maintien des fonctions vitales décidées après le pronostic d'une issue neurologique défavorable.

Mais la futilité peut également être considérée d'un autre point de vue, relatif, qui a trait à l'évaluation de la pertinence des interventions dans le cadre d'une démarche de type coût-efficacité ou coût-utilité.

ii. Survie et coût des arrêts cardiaques : efficacité et utilité des interventions

Peu fréquentes, des évaluations médico-économiques ont été réalisées par un certain nombre d'équipes [127, 180-182].

L'évaluation médico-économique est fondée sur trois méthodes : coût-efficacité, coût-utilité et coût-bénéfice. Les études consacrées aux arrêts cardiaques que nous allons évoquer ici sont fondées sur les deux premières approches. Quant à l'analyse coût-bénéfice, dont le résultat est exprimé en termes monétaires et qui permet d'« évaluer l'allocation des ressources collectives et d'apprécier la valeur sociale d'une dépense publique », il convient de souligner

que la Haute Autorité de Santé (HAS) ne la recommande pas comme analyse de référence dans le domaine de la santé².

Pour ce qui est des méthodes de référence, la HAS précise que l'analyse est de type :

- Coût-efficacité, si la durée de vie est le critère de résultat à privilégier,
- Coût-utilité si la qualité de vie liée à la santé est identifiée comme une conséquence importante des interventions étudiées, le critère de résultat à privilégier étant la durée de vie ajustée sur la qualité de vie (QALY).

Au début des années 1990, Valenzuela et al. ont ainsi procédé à une comparaison du coût par année de vie gagnée entre différentes interventions, constatant que le coût d'une année de vie gagnée pour un arrêt cardiaque ayant donné lieu à une réanimation cardio-pulmonaire par les services de secours (8.886 dollars) était de loin inférieur aux coûts constatés pour une transplantation cardiaque (27.204 dollars), de foie (43.989 dollars) ou une chimiothérapie pour une leucémie non lymphocytaire (64.000 dollars). Dans le temps écoulé depuis cette publication, les innovations et modes de prise en charge ont cependant évolué pour l'ensemble de ces interventions, et ne permettent pas de conclure à une permanence des conclusions de Valenzuela et al. [182]. Par exemple, leur étude porte sur des interventions de services de secours qui ne permettaient pas de procéder à une défibrillation électrique. Enfin leur étude prenait en compte non pas la totalité des coûts d'un arrêt cardiaque mais les seuls coûts de la prise en charge pré-hospitalière.

Graf et al. [180] ont centré leur étude sur le coût de la prise en charge en service de réanimation après un arrêt cardiaque (extra ou intra-hospitalier) ayant donné lieu à une RCP en Allemagne. Considérant que la prise en charge des arrêts cardiaques en réanimation mobilisait d'importantes ressources financières et pouvait être considérée par certains comme « futile », les auteurs ont calculé les coûts d'une année de vie gagnée et d'un QALY pour un échantillon de survivants à un horizon de 5 ans. Prenant en considération les coûts postérieurs à l'hospitalisation initiale pour l'ensemble des survivants, Graf et al. ont également procédé à

² Haute Autorité de Santé (HAS). Guide méthodologique. Choix méthodologiques pour l'évaluation économique. Octobre 2011.

un calcul spécifique pour un sous-échantillon de patients souffrant d'importantes séquelles neurologiques (score de Glasgow inférieur à 6). Les résultats obtenus par Graf et al. sont les suivants :

- Un coût global (hospitalisation initiale et prise en charge post-hospitalière) s'élevant respectivement à 49.952 euros pour les survivants à la sortie de l'hôpital et à 68.116 euros pour les survivants à 5 ans,
- Un coût par année de vie gagnée de l'ordre de 10.000 euros ; de 11.500 euros si l'on prend compte les survivants dont le score de Glasgow est inférieur à 6,
- Un coût par QALY de 13.085 euros.

Dans une précédente étude, Graf et un autre collectif d'auteurs [183] avaient procédé également aux calculs des coûts d'une année de vie gagnée et d'un QALY pour des survivants à 5 ans ayant été hospitalisés pour un trouble cardiovasculaire ou pulmonaire. Le coût pour une année de vie gagnée était de 19.330 euros et celui d'un QALY de 21.922 euros. Ce coût d'un QALY est à rapprocher des 16.000 £ calculés par Petrie et al. [184] pour des patients sans séquelles neurologiques lourdes dans une étude réalisée au Royaume Uni.

Graf et al. pouvaient donc conclure, dans leur étude de 2008 [180] que la prise en charge en réanimation et post-réanimation, pour des survivants à 5 ans, y compris ceux souffrant de troubles neurologiques sévères, était non seulement coût-efficace mais également coût-utile. Cela étant, Graf et al. mettaient également l'accent sur l'importance du coût de l'hospitalisation en réanimation (deux fois plus élevée pour un arrêt cardiaque que pour une autre pathologie en moyenne), lequel représentait 84 % du coût de l'hospitalisation initiale.

Naess et al. [181] avaient abouti à des conclusions similaires estimant pour la Norvège le coût d'une année de vie gagnée à 6.632 euros dans le cadre d'une étude rétrospective et d'une comparaison avec d'autres prises en charge. Cela étant, à la différence de Graf et al. , Naess et al. déclarent avoir renoncé à procéder au calcul du coût d'un QALY considérant que la mesure de la qualité de vie relevait davantage d'une problématique « philosophique que scientifique ». Contestant la méthode qui sera mise en œuvre en 2008 par Graf et al. , Naess et al. considèrent que la qualité de vie revêt différentes dimensions et peut être évaluée sur

différents plans, psychologique, physique, cognitif, voire social, et que des chercheurs « en bonne santé » ne sont pas à même d'évaluer la qualité de vie de patients. A l'appui de leur position, Naess et al. constatent que des études antérieures ont montré qu'il n'existait pas de corrélation entre la qualité de vie perçue par les patients survivants à un arrêt cardiaque et les évaluations réalisées par le personnel soignant [185, 186].

Par ailleurs, dans le cadre d'un récent projet (« ECHOUTCOME »), la Commission Européenne recommande de ne plus utiliser les QALYs. A la suite d'une étude internationale réalisée en Grande Bretagne, Belgique, France et Italie, il ressort en effet que les résultats obtenus à partir d'une même base de données peuvent varier dès lors que les quatre conditions pour mettre en œuvre une approche par les QALYS ne sont pas réunies : la qualité de vie doit en effet pouvoir être mesurée en intervalles constants, les années de vie et la qualité de vie doivent être indépendants, les sujets doivent être neutres par rapport au risque, la propension à sacrifier des années de vie doit être constante avec le temps [187].

Ginsberg et al. [127] sont allés plus loin sur le plan de l'objectif et de la méthode en considérant l'arrêt cardiaque dans sa globalité. Ils ont ainsi pris en compte l'ensemble des coûts liés aux prises en charge pré-hospitalière, à l'hospitalisation et aux soins post-hospitalisation afin d'évaluer le coût d'une année de vie en bonne santé perdue (DALY). A cet égard, Ginsberg et al. constatent dans le cadre de leur étude que près de 90 % des années de vie en bonne santé perdues le sont pour des personnes n'ayant pas ou peu de séquelles neurologiques (Cerebral Performance Categories 1 et 2). Employant la méthode de comparaison préconisée par l'OMS³, le coût d'une année de vie en bonne santé perdue étant de 28.864 dollars pour un PIB par habitant de 33.261 dollars, Ginberg et al. concluent à un résultat très positif en termes de coût-utilité de la prise en charge des arrêts cardiaques en Israël.

D'autres auteurs se sont également intéressés au coût de l'arrêt cardiaque sans pour autant inscrire leurs travaux dans le cadre d'une évaluation médico-économique.

³ Sachs JD, Ahluwalia IJ, Amoako KY, Aninat E, Cohen D, Diabre Z, Doryan E, Feachem RGA, Fogel R, Jamison D, Kato T, Lustig N, Mills A, Moe T, Singh M, Panitchpakdi S, Tyson L, Varmus H. *Macroeconomics and Health: Investing in Health for Economic Development*, WHO, 2001 : 31-33

iii. Le (les) coût(s) de l'arrêt cardiaque

Outre celles qui ont déjà été mentionnées nous disposons de plusieurs études sur le coût des arrêts cardiaques, en particulier celles de Petrie et al. , Berdowski et al. , Fukuda et al. , Lurie et al. , Weng et al. [184, 188-191]. D'autres peuvent également être consultées mais elles datent des années 1980 et 1990 [182, 192-197], et ne portent pour un certain nombre d'entre elles que sur des problématiques spécifiques (arrêts cardiaques pédiatriques par exemple [198, 199]). Les principaux résultats de ces études permettent d'évaluer le « coût global » d'un arrêt cardiaque à :

- 40.642 euros en Norvège [181]
- 49.952 euros pour les survivants à la sortie de l'hôpital et 68.116 euros pour les survivants à 5 ans (hospitalisation initiale et prise en charge post-hospitalière) en Allemagne [180]
- de 29.500 à 34.500 euros aux Pays-Bas selon Berdowski pour les patients ayant survécu à un arrêt cardiaque et bénéficié d'une défibrillation (coût à la sortie de l'hôpital), de 2.500 à 3.700 euros pour ceux qui n'ont pas survécu [188]
- de 28.000 à 31.000 dollars au Japon, coût estimé à la sortie de l'hôpital ; le coût d'un arrêt cardiaque étant de 434 à 4.869 dollars pour les patients décédés à l'hôpital [189]
- 50.000 £ à la sortie de l'hôpital en moyenne (survivants et non survivants) au Royaume-Uni, et 65.000 £ pour les survivants ne présentant pas ou peu de séquelles neurologiques (81.000 £ à un an de survie pour cette dernière catégorie CPC 1 et 2) [184]
- 174.120 dollars pour les survivants atteints de séquelles neurologiques, contre 7.275 dollars pour les personnes qui sont exemptes de telles séquelles en Israël [127]
- 38.000 dollars à la sortie de l'hôpital, moins de 10.000 dollars pour les patients décédés pour ce qui est des USA [190]
- 32.000 dollars (coût à un an de la sortie de l'hôpital) à Taïwan [191]

Il ne s'agit là que de résultats donnés ici à titre indicatif, le faible nombre d'études et les fortes disparités méthodologiques et en matière de prise en charge interdisant toute comparaison. Cependant un certain nombre d'éléments importants ressortent de ces études qui méritent d'être soulignés :

- **La nécessité de prendre en compte l'ensemble des coûts liés à un arrêt cardiaque dans ses trois phases pré-hospitalière, hospitalière et (pendant une certaine durée) de suivi post-hospitalier.**

Les dépenses pré-hospitalières ne représentent pas l'élément de coût le plus élevé (de l'ordre de 1.000 dollars aux USA par exemple, montant comparable en Israël, moins de 1.000 euros aux Pays Bas) [127, 188, 190] **(Figure 33)**, mais elles sont déterminantes. Leur non prise en compte constitue une limite importante, et des informations telles que la présence d'un témoin, sa formation, l'intervention des services d'urgence, l'étiologie de l'arrêt cardiaque ou le rythme initial (choquable ou non) sont d'autant plus précieuses qu'elles ont une influence décisive sur le pronostic et la prise en charge, et donc le coût de l'arrêt cardiaque. Les éléments recueillis dans le cadre de registres de style Utstein sont donc essentiels [189].

Les dépenses à prendre en considération dans le cadre du suivi post-hospitalier constituent également un point important. La réadaptation cardiaque, les soins infirmiers, les autres soins à domicile, l'assistance respiratoire, sont des éléments à prendre en compte, ainsi que le coût des séjours en établissements spécialisés en cas de séquelles neurologiques [127]. Les dépenses de soins de ville dans leur ensemble devraient être également prises en compte [181], de même que certains coûts tels que les journées d'absence au travail [127].

Figure 33 : Coûts directs d'un arrêt cardiaque (Source : Lurie et al. - 2017)

Direct costs of care for an OHCA patient who survives to discharge

Type of care	# of patients	Direct cost per patient	Direct cost per taxpayer ¹
Prehospital	52,500	\$1,063	\$17
In-hospital		\$37,000	

¹ CALCULATED BY MULTIPLYING COST PER PATIENT (\$38,063) BY THE NUMBER OF OHCA SURVIVORS (52,500), DIVIDED BY THE NUMBER OF TAX PAYERS (120,000,000)

Direct costs of care for an OHCA patient who dies before discharge

Type of care	# of patients	Direct cost per patient	Direct cost per taxpayer ¹
Prehospital	297,500	\$1,063	\$24
In-hospital		\$8,700	

¹ CALCULATED BY MULTIPLYING COST PER PATIENT (\$9,763) BY THE NUMBER OF OHCA PATIENTS WHO DIE (297,500), DIVIDED BY THE NUMBER OF TAX PAYERS (120,000,000)

- **L'importance des coûts hospitaliers et plus particulièrement du séjour en service de réanimation et des traitements spécifiques dispensés.**

La plupart des auteurs soulignent l'importance des coûts générés par l'hospitalisation initiale, les coûts de réanimation en particulier, avec pour principal déterminant la durée de séjour : 70 % du coût de l'hospitalisation selon Petrie et al. [184] ; 50 % du coût de la prise en charge hospitalière et post-hospitalière selon Naes et al. [181], 17.000 euros en Allemagne selon Graf et al. [180] (pour un coût de l'ordre de 50.000 euros à la sortie de l'hôpital). Graf et al. insistent par ailleurs sur la forte dispersion du coût de la réanimation (de 1.708 à 181.500 euros) (**Figure 34**).

Figure 34 : Coût d'un séjour de réanimation à la suite d'un arrêt cardiaque

(Source : Graf et al. – 2008)

Intensive care unit (ICU) costs incurred for all 354 patients separated into total ICU costs per patient and daily ICU costs per patient			
	Mean	Range	95% confidence interval
Total ICU costs per patient	17,832 €	1,708 to 181,500 €	15,280 to 20,390 €
Daily ICU costs per patient	2,693 €	656 to 5,856 €	2,555 to 2,832 €

L'importance des traitements spécifiques dispensés lors du séjour hospitalier initial ressort également des différentes études parmi celles qui intègrent cette problématique.

Petrie et al. [184] observent ainsi qu'au Royaume-Uni la pose de défibrillateurs cardiaques représente la majeure partie du coût de l'hospitalisation non liée à la réanimation (soit près de 30 % du coût hospitalier). Berdowski et al. [188] montrent pour leur part que la pose de défibrillateurs cardiaques peut représenter plus de la moitié du coût de la prise en charge pré-hospitalière et hospitalière d'un arrêt cardiaque (Figure 35).

Figure 35 : Coût de l'arrêt cardiaque et pose de défibrillateur

(Source : Berdowski et al. – 2010)

Costs until hospital discharge by AED use for survivors and non-survivors.

AED use	Survivors			Non-survivors		
	Onsite	Dispatched	None	Onsite	Dispatched	None
	N= 58	N= 60	N= 228	N= 78	N= 305	N= 1397
Pre-hospital care	960 (905-1023)	952 (913-998)	919 (895-948)	596 (545-648)	577 (556-599)	583 (573-593)
In-hospital care	9233 (7351-11,280)*	14,194 (11,656-17,254)	13,693 (12,226-15,166)	2240 (1058-3811)	1346 (961-1800)	1505 (1264-1750)
Intensive care unit days	3674 (2306-5415)*	7040 (4990-9757)	7482 (6327-8657)	2081 (994-3488)	1272 (931-1669)	1436 (1205-1667)
Coronary care unit days	1610 (1178-2122)	1495 (1154-1859)	1479 (1251-1719)	67 (15-148)	19 (6-35)	29 (19-41)
Cardiology ward days	3809 (2995-4673)	4745 (3754-5965)	4311 (3861-4857)	66 (0-207)	41 (4-96)	28 (17-43)
Other ward days	140 (35-297)*	914 (319-1834)	420 (249-619)	26 (0-81)	13 (0-32)	11 (5-20)
Diagnostics and interventions	19,383 (15,443-22,871)	19,388 (15,639-23,668)	17,160 (15,050-19,250)	851 (312-1485)	504 (311-727)	381 (295-473)
Cardioverter-defibrillator implantation	17,151 (15,882-17,525)	13,324 (9020-17,957)	16,671 (15,886-17,169)	-	-	-
Total costs	29,575 (24,695-34,183)	34,533 (29,832-39,487)	31,772 (29,217-34,385)	3686 (2127-5667)	2425 (1864-3047)	2468 (2183-2765)

All values are presented in mean (95% confidence interval). The confidence interval was assessed by bootstrapping. All costs are in Euros and can be converted to 2008 US dollars by multiplying by 0.8786, based on most recent Organization for Economic Co-operation and Development purchasing power parity and corrected for inflation.¹⁴

* P < 0.05 against the two other AED groups.

Fukuda et al. [189] mettent également en lumière le coût des traitements dispensés dans le cadre des soins post-réanimation, et notamment le coût du recours à l'angiographie, à l'oxygénation par membrane extracorporelle et de l'utilisation de ballonnets intra-aortiques. Ils relèvent d'ailleurs que le moindre coût de prise en charge des 80 ans et plus est essentiellement dû au fait que les personnes âgées se voient dispensés moins de ces traitements spécifiques au Japon (Figure 36).

Figure 36 : Coût des arrêts cardiaques selon l'âge (Source : Fukuda et al. – 2013)

Length of stay and costs.										
	n	(%)	LOS, median [25-75 percentile]	Total costs (\$), median [25-75 percentile]	Itemized costs (\$), median					
					Medication	Surgery and procedures	Examinations	Nursing care	Others	
All patients	21,705			1857 [1475-2849]	27	1311	230	214	65	
Group A	1394	(6.4)	1	434 [332-642]	0	0	6	343	6	
Group B	14,973	(69.0)	1	1735 [1230-1971]	20	189	148	1300	52	
Group C	3680	(17.0)	3 [2-9]	4869 [3240-13,393]	376	747	422	2961	69	
Group D	785	(3.6)	23 [9-41]	28,097 [9466-66,559]	1115	4005	1671	9982	4607	
Group E	873	(4.0)	32 [15-60]	31,161 [15,393-51,071]	1942	4056	1535	15,572	4696	
Age <80 years	13,634			1922 [1583-3485]	31	245	240	1429	65	
Group A	1048	(7.7)	1	468 [339-660]	0	0	11	347	34	
Group B	8974	(65.8)	1	1774 [1413-2019]	21	197	150	1302	63	
Group C	2313	(17.0)	3 [2-10]	6011 [3456-16,464]	467	938	446	3033	71	
Group D	634	(4.7)	24 [13-44]	35,240 [13,537-73,303]	1391	6890	1909	10,965	5021	
Group E	665	(4.9)	34 [16-60]	34,180 [17,206-55,509]	2264	4739	1640	16,674	4891	
Age ≥80 years	8071			1764 [1194-2222]	23	202	186	1303	63	
Group A	363	(4.3)	1	414 [327-639]	0	0	6	342	0	
Group B	5999	(74.3)	1	1669 [995-1905]	18	181	142	1288	51	
Group C	1367	(16.9)	3 [2-8]	3936 [2969-8825]	280	531	388	2647	67	
Group D	151	(1.9)	13 [2-33]	10,325 [2656-27,550]	327	374	803	4858	2077	
Group E	208	(2.6)	29 [14-57]	22,802 [11,023-38,794]	1182	2021	1224	12,810	4141	

Group A: not resuscitated, dead; Group B: resuscitated, dead on admission day; Group C: resuscitated, dead ≥2days after admission; Group D: alive, discharged to home; Group E: alive, discharged to other than home. LOS, length of stay.

- **Un élément majeur : le coût des séquelles neurologiques**

Graf et al. [180] ont procédé à une estimation du coût de la prise en charge post-hospitalière sur 20 ans à partir d'un sous-échantillon de patients dont le score de Glasgow est inférieur à 6, aboutissant à un montant très important (**Figure 37**).

Figure 37 : Arrêt cardiaque et coût des séquelles neurologiques

(Source : Graf et al. – 2008)

Calculated ICU and hospital costs and estimated post-hospital costs incurred for the seven patients with a Glasgow Coma Scale score below 6 points

	Mean	SD	Median (interquartile range)
Daily ICU costs per patient	2,285 €	638 €	2,012 € (1,887 €/2,934 €)
Total hospital costs per patient	35,910 €	37,579 €	18,297 € (14,648 €/33,253 €)
Post-hospital costs per patient	132,565 €	59,878 €	122,945 € (91,094 €/186,888 €)
Nursing home costs per patient	654,480 €	362,880 €	534,600 € (405,000 €/988,200 €)

Costs are based on a projected mean of 20 life years gained per patient (median 16.5 years [12.5/30.5]) and a cumulative survival of 141.3 years. ICU, intensive care unit; SD, standard deviation.

Ginsberg et al. [127] considèrent par ailleurs que l'un des principaux résultats de leur étude réside dans la constatation du poids représenté par le coût des patients survivants à un arrêt cardiaque avec d'importantes séquelles neurologiques. Les soins post-hospitaliers dispensés aux survivants souffrant de telles séquelles (CPC 3 et 4) représentent en effet plus de la moitié du coût de l'arrêt cardiaque en Israël (**Figure 38**). Les auteurs s'interrogent d'ailleurs sur la soutenabilité de dépenses qui représentent à elles seules l'équivalent de 43 % des 84 millions de dollars consacrés

par Israël à l'innovation technologique et médicamenteuse, soulignant l'importance des recommandations internationales en matière de décision de fin de vie.

Figure 38 : Séquelles neurologiques et coût des soins post-hospitaliers

(Source : Ginsberg et al. – 2015)

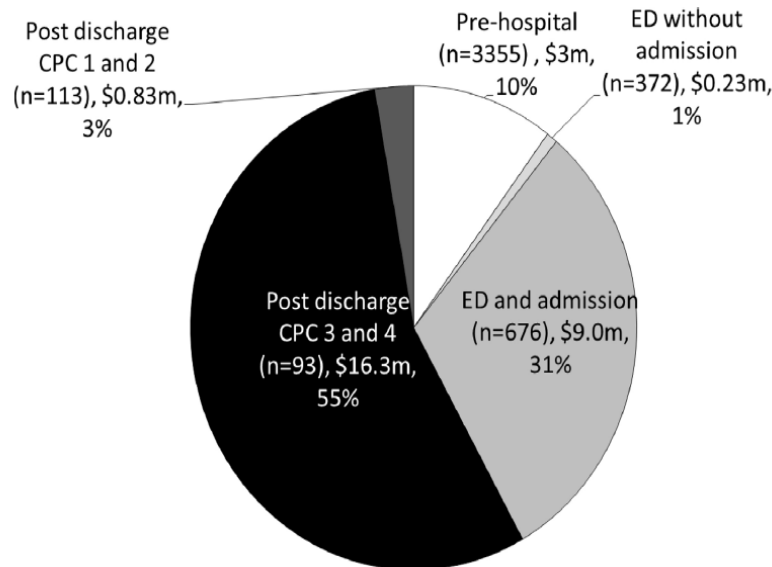


Fig. 2. Distribution of treatment costs by type of care. Legend: CPC: cerebral performance category; ED: emergency department.

- **Comorbidités et facteurs socio-économiques : des éléments majeurs à prendre en compte**

Introduisant une démarche novatrice, Weng et al. [191] ont émis l'hypothèse que les comorbidités et le statut socio-économique pouvaient être des déterminants importants du coût des arrêts cardiaques. A partir du suivi d'une cohorte de 2.256 patients entre 2006 et 2012 à Taïwan, Weng et al. ont procédé à une évaluation du taux de survie à un an ainsi qu'à celle du coût annuel correspondant. Cette évaluation a toutefois été réalisée en introduisant un certain nombre d'informations relatives (**Figure 39**) :

- aux comorbidités et donc à l'histoire du patient, en se basant sur le score de Charlson : diabète, hypertension artérielle, syndrome coronarien aigu, crise cardiaque, AVC, BPCO (bronchopneumopathie obstructive), cirrhose du foie, insuffisance rénale,
- au statut socio-économique du patient : lieu de résidence, statut marital, niveau d'éducation.

Les résultats de l'étude de Weng et al. permettent de constater que la BPCO influe fortement en tant que comorbidité non pas sur la survie mais sur le coût de l'arrêt cardiaque.

Il en est de même pour le statut socio-économique du moins pour le lieu de résidence et la situation de veuvage. Si Weng et al. constatent une absence de différence en termes de survie pour ce qui est du lieu de résidence, il n'en va pas de même du point de vue du coût, plus élevé dans les communes (rurales ou périphériques) que dans la métropole, constat difficilement explicable selon les auteurs. Par ailleurs ils soulignent l'importance du statut marital, le veuvage constituant un important facteur d'augmentation des coûts. A cet égard Weng et al. font référence à l'étude néerlandaise de Rolden [200] dont les résultats témoignaient de l'importance des soins informels et du rôle des aidants (en particulier celui joué par les époux/épouses). Les résultats de cette étude néerlandaise (basée sur une cohorte de 61.500 personnes de plus de 65 ans) indiquaient en effet que les dépenses de santé mensuelles avaient augmenté de 48 % dans les 42 mois suivant le décès du conjoint. Avec une augmentation plus sensible pour les hommes, d'une part, pour les statuts sociaux les moins élevés, d'autre part.

Figure 39 : Arrêt cardiaque et survie – Facteurs associés au coût

(Source : Weng et al. - 2018)

	Sex-age adjusted model (USD)					P	
	β	95% CI					
Place of residence (vs Municipalities)	-23,604	(	-36,664	to	-10,543	)	<0.001
Marriage (vs divorced) City or County							
Single	3,420	(	-29,284	to	36,124	)	0.838
Married	13,234	(	-8,076	to	34,545	)	0.224
Widowhood	25,588	(	141	to	51,036	)	0.049
Education level (vs others)							
Junior high school graduated and/or higher education	3,283	(	-10,248	to	16,814	)	0.634
Comorbidities, N(%)							
Diabetes mellitus	-11,343	(	-22,864	to	177	)	0.054
Hypertension	6,671	(	-6,502	to	19,844	)	0.321
ACS	-3,779	(	-15,719	to	8,161	)	0.535
Heart failure	8,491	(	-4,823	to	21,805	)	0.211
CVA	-4,989	(	-18,140	to	8,162	)	0.457
COPD	14,438	(	1,944	to	26,933	)	0.024
Renal failure	-2,746	(	-20,836	to	15,344	)	0.766
Malignancy	-531	(	-14,652	to	13,589	)	0.941
Procedure at ED							
Cardioversion, N (%)	-236	(	-13,473	to	13,002	)	0.972
Percutaneous coronary intervention (PCI)	-6,181	(	-19,292	to	6,931	)	0.356
Intra-aortic balloon pumping (IABP)	-4,794	(	-26,489	to	16,901	)	0.665
Pacemaker implant	-7,953	(	-28,085	to	12,179	)	0.439
Open heart surgery**	9,155	(	-15,799	to	34,109	)	0.472
Blood transfusion	3,761	(	-8,394	to	15,916	)	0.544
Status at ED							
Healthcare costs till discharge	0.0126	(	-0.0007	to	0.0259	)	0.063
Length of stay till discharge	238	(	-45	to	520	)	0.099

Abbreviations: CI, confidence interval; ACS, Acute coronary syndrome; CVA cardiovascular accident; COPD, chronic obstructive pulmonary disease; ED, emergency department
**Open heart surgery including coronary artery bypass graft, aorta surgery, and other open heart surgery

Pour ce qui est des facteurs socio-économiques Graf et al. [180] avaient également souligné leur importance du point de vue d'une évaluation en termes de coût-utilité en faisant observer qu'il était difficile de calculer des QALY dès lors que la perception de la qualité de vie dépend du statut socio-économique. Les catégories moins favorisées ont en effet une moins bonne perception de leur état de santé, ce qui est confirmé par les enquêtes réalisées en France dont les résultats montrent que l'état de santé perçu est marqué par de fortes inégalités sociales. Les ouvriers et employés témoignent ainsi d'une perception bien plus dégradée de leur état de santé, les employés en particulier déclarant souffrir 1,5 fois plus que la moyenne de symptômes dépressifs⁴.

⁴ Pisarik J, Rochereau T, Célant N. Irdes. État de santé des Français et facteurs de risque Premiers résultats de l'Enquête santé européenne-Enquête santé et protection sociale 2014. Questions d'économie de la santé. 2017 ; 223.

Toutefois nous ne disposons pas d'évaluation médico-économique, ni de résultats d'études consacrés au coût des arrêts cardiaques en France.

iv. Le coût de l'arrêt cardiaque en France

A défaut de résultats d'études existantes, nous disposons d'éléments et de sources d'informations qui permettraient d'entreprendre une démarche d'évaluation - au moins partielle - du coût des arrêts cardiaques, grâce notamment au PMSI et à l'étude nationale de coût MCO. La méthodologie d'une telle étude mériterait toutefois d'être fixée à partir d'un cadre structurant issu des recommandations internationales et d'un registre de style Utstein tel que RéAC.

- **Les arrêts cardiaques dans le PMSI (Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information)**

Deux approches peuvent être envisagées : l'une par les racines de GHM, l'autre par les diagnostics principaux :

- La classification des Groupes Homogènes de Malades (GHM) identifie quatre GHM relatifs aux séjours (allant d'un niveau de sévérité croissant de 1 à 4, qui dépend essentiellement de la durée de séjour) à partir de la racine GHM 05M14 « arrêt cardiaque », racine GHM relevant de la Catégorie Majeure de Diagnostic (CMD) n°5 « affections de l'appareil circulatoire »⁵

Racine : 05M14 Arrêt cardiaque

05M141 Arrêt cardiaque, niveau 1

05M142 Arrêt cardiaque, niveau 2

05M143 Arrêt cardiaque, niveau 3

05M144 Arrêt cardiaque, niveau 4

A ces GHM se trouve par ailleurs être associée, parmi les listes de diagnostics relatives à la CMD 05, la liste D-0509 « arrêt cardiaque », reprenant la classification CIM 10⁶ :

⁵ ATIH, Manuel des Groupes Homogènes de Malades, Version 2018 de la classification

⁶ ATIH, Manuel des Groupes Homogènes de Malades, Version 2018 de la classification

Liste D-0509 : Arrêt cardiaque

I46.0 ARRET CARD. REANIME AVEC SUCCES

I46.1 MORT CARD. SUBITE, DECRITE AINSI

I46.9 ARRET CARD., SAI

R96.0 MORT INSTANTANEE

R96.1 DECES < 24 HEURES APRES LE DEBUT DES SYMPT., SANS AUTRE EXPLICATION

Une exploitation des données statistiques du PMSI disponibles sur le site de l'ATIH (<https://www.atih.sante.fr/>) montre que sur plus de 28.8 millions de séjours hospitaliers produits en 2017 (source : données du PMSI MCO), les GHM relatifs aux arrêts cardiaques ne représentent que 2.752 séjours en 2017, avec un pourcentage de décès supérieur à 50 %.

Les statistiques relatives à ces GHM indiquent par ailleurs une forte dispersion en matière de durée de séjour – de 0 à 214 jours, la durée médiane étant de 5 jours - ainsi qu'une concentration des séjours dans les GHM de niveau 1 et 4, qui représentent chacun plus de 30 % des séjours pour arrêt cardiaque. La racine GHM 05M14 se caractérise par ailleurs davantage par le nombre d'actes non classants (nombre moyen = 10.33) que par le nombre d'actes classants (nombre moyen = 0.46). Enfin, deux diagnostics associés représentent chacun plus de 3 % de l'ensemble des diagnostics associés : le coma et l'hypertension artérielle.

- L'approche par le diagnostic principal de la CIM 10 nous permet de constater que l'activité hospitalière liée aux arrêts cardiaques va au-delà de celle – plus apparente – des GHM relatifs aux arrêts cardiaques.

Ainsi on dénombre :

- 5.590 séjours relatifs à un arrêt cardiaque réanimé avec succès, auxquels correspondent 2.281 séjours pour les 4 GHM « arrêts cardiaques », mais également 964 séjours pour d' « autres affections

de la CMD 05 avec décès – séjours de moins de 2 jours »
(GHM 05M22E)

- 3.586 séjours relatifs à un arrêt cardiaque «sans autre explication», dont 2.714 séjours au titre du GHM 05M22E, et seulement 413 séjours pour les GHM relatifs aux arrêts cardiaques
- 338 séjours relatifs à une mort cardiaque subite, dont 261 au titre du GHM 05M22E et 36 séjours pour « arrêt cardiaque »

Soit un total de 9.514 séjours dont 3.939 séjours au titre des séjours de moins de 2 jours avec décès pour une affection relative à la CMD 05 (GHM 05M22E), et 2.730 séjours correspondant aux 4 niveaux de sévérité des GHM « arrêt cardiaque ». Et près de 10.000 séjours si l'on tient compte également des séjours correspondant aux diagnostics principaux R 960 et 961.

Une méthodologie de calcul de l'arrêt cardiaque devrait donc prendre également en compte le coût lié aux diagnostics principaux, en particulier celui des séjours de moins de 2 jours avec décès. Ceci correspond d'ailleurs à l'un des cinq groupes identifiés par Fukuda et al. [189] dans leurs calculs de coûts. Par ailleurs, le « chaînage » du PMSI permettrait de reconstituer l'ensemble du parcours hospitalier d'un patient et donc d'obtenir le coût d'une prise en charge en soins de suite et de réadaptation. Les bases de données de l'Assurance Maladie (SNIIRAM) permettraient quant à elles d'identifier les consommations de soins dans les secteurs ambulatoire et médico-social, mais également les comorbidités. Il est donc envisageable d'identifier le coût des arrêts cardiaques dans le cadre du Système National des Données de Santé. Mais nous pouvons d'ores et déjà appréhender partiellement le coût d'un arrêt cardiaque grâce aux données de l'étude nationale de coûts MCO.

- **Les arrêts cardiaques dans l'étude nationale de coûts MCO**

Les coûts relevés pour les GHM de la racine 05M14 dans l'étude nationale de coût MCO (données 2015 ; référentiel des établissements ex-DGF) s'élèvent à :

05M141 Arrêt cardiaque, niveau 1 : 2.692 euros

05M142 Arrêt cardiaque, niveau 2 : 6.402 euros

05M143 Arrêt cardiaque, niveau 3 : 11.437 euros

05M144 Arrêt cardiaque, niveau 4 : 19.561 euros

Quant au coût du GHM 5M22E, il s'élevait à 1.503 euros.

Pour l'ensemble de ces GHM, on peut constater que la prise en charge en réanimation (ou en surveillance continue, ou en soins intensifs) représente le poste de dépenses le plus élevé. Les seules dépenses de réanimation s'élèvent ainsi de 720 euros pour le GHM 05M141 à 9.692 euros pour le GHM 05M144.

Par ailleurs, le référentiel nous donne pour chacun de ces GHM le coût de l'intervention du SMUR terrestre, mais également les coûts d'autres GHM relatifs aux traitements et interventions spécifiques (telle la pose d'un défibrillateur cardiaque avec un coût pouvant s'élever de 15.700 à 31.176 euros selon le niveau de sévérité).

Une approche par les coûts constatés dans le cadre de l'étude nationale de coût devrait toutefois être complétée par une estimation des dépenses pour l'Assurance Maladie fondée sur la prise en compte des tarifs et volumes d'activité.

- **Coûts, registres et chaîne de survie**

Les données fournies par le PMSI et d'autres bases de données institutionnelles demeurent toutefois partielles, et la réalisation d'une étude du coût de l'arrêt cardiaque nécessiterait d'être fondée sur une approche méthodologique correspondant aux spécificités de la prise en charge d'un arrêt cardiaque pris dans sa globalité.

De ce point de vue, la « chaîne de survie » constitue un cadre méthodologique structurant. Une évaluation du coût des arrêts cardiaques fondée sur l'examen des pratiques et leur évolution permettrait tout à la fois une reconnaissance de l'importance des recommandations internationales dans leur application, mais également d'engager une dynamique de réflexion sur une allocation des ressources optimisées au sein et à chaque étape de la chaîne de survie.

En ce qui concerne la phase pré-hospitalière, le caractère structurant d'un registre de style Utstein comme RéAC est également essentiel et doit être souligné. Il constitue en effet un cadre permettant d'appréhender toutes les étapes, complexes, de la phase pré-hospitalière et de tenir compte de la diversité des arrêts cardiaques et de leur devenir, hospitalier et post-hospitalier. Une étude du coût de l'arrêt cardiaque ne peut qu'être réductrice si elle ne prend pas en compte l'étiologie, les antécédents du patient, le contexte de survenue, le caractère choquant ou non de l'arrêt cardiaque, de même que la présence d'un témoin et les conditions d'intervention du SMUR. Toutes données que l'on trouve dans le registre RéAC et de nature à structurer une étude de coût pertinente aux regards des pratiques et réalités médicales.

5. « Chaîne de survie » et recommandations en matière de réanimation cardio-pulmonaire (RCP)

La « chaîne de survie » a été conceptualisée par Mary Newman à la fin des années 1980 [201, 202] puis reprise par l'AHA et par l'ILCOR au cours des années 1990 [6, 203-205]. Très tôt déjà, certains travaux, dont ceux de Eisenberg et al. [206], avaient en effet permis de mettre en évidence l'importance de la rapidité d'une intervention du point de vue de la réanimation cardio-pulmonaire et de la survie à un arrêt cardiaque. Eisenberg et al. avaient en effet constaté que si une réanimation cardio-pulmonaire était mise en œuvre dans les 4 minutes suivant un arrêt cardiaque et des soins post-réanimation dispensés dans un délai de 8 minutes, 43 % des patients survivaient, alors que tout retard dans l'une ou l'autre intervention compromettait la survie du patient.

La « chaîne de survie » est définie comme « un ensemble d'enchaînement à mettre en œuvre immédiatement après la survenue d'un arrêt cardiaque. En effet après un arrêt cardiaque, chaque minute compte, et la mise en place le plus tôt possible de cette suite de gestes le plus rapidement possible permet d'augmenter au maximum les chances de survie de la victime » (<http://registreac.org/>). Cette chaîne de survie est représentée sous la forme de 4 maillons correspondant à différentes étapes (**Figure 40**).

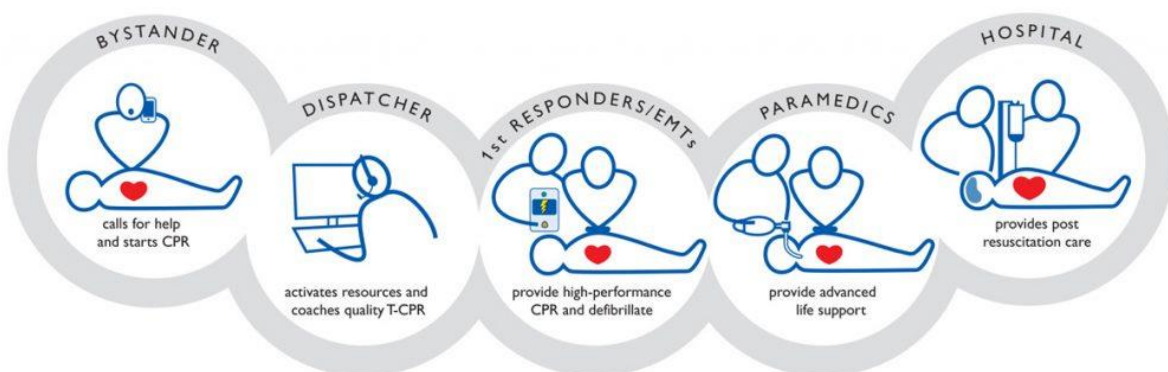
Figure 40 : La « chaîne de survie » (Source : RéAC)



La chaîne de survie en sa forme actuelle est le produit d'évolutions successives intervenues depuis l'émergence du concept initial. L'European Resuscitation Council (ERC) a ainsi procédé à une modification du quatrième et dernier maillon au début des années 2000 en ajoutant les soins post-réanimation à la RCP avancée précoce [207].

Cette chaîne de survie peut également être représentée sous la forme de 5 maillons, dont les 4 premiers constituent alors la phase de prise en charge pré-hospitalière. Cette présentation est privilégiée notamment par la Global Resuscitation Alliance [172] (Figure 41).

Figure 41 : La chaîne de survie en 5 maillons



Le cinquième maillon résulte d'un ajout en 2010 des soins post-arrêt cardiaque par l'AHA, que cette association avait intégrés à ses recommandations [208]. Ces soins ont pour objectif d'optimiser le système de perfusion, de rétablir l'homéostasie métabolique et de soutenir le fonctionnement des principaux organes afin d'augmenter la probabilité de survie sans séquelle neurologique.

Des guides et recommandations sont publiés et mis à jour régulièrement depuis 1973, date à laquelle l'AHA a publié les premiers référentiels en matière de RCP et de prise en charge

urgente des arrêts cardiaques. Les recommandations édictées sont parfois fondées sur la seule expérience clinique et non pas systématiquement sur la base de preuves scientifiques. Toutefois avec la création de l'ERC, en 1989, puis de l'ILCOR en 1992, la démarche visant à émettre des recommandations internationales fondées scientifiquement s'est faite de plus en plus prégnante [60].

Ces recommandations font l'objet d'une large diffusion par l'AHA (<https://eccguidelines.heart.org/index.php/circulation/cpr-ecc-guidelines-2/>) et par l'ERC (<https://cprguidelines.eu/guidelines-translations>) et ont vocation à être actualisées tous les cinq ans.

Elles sont reprises en France par différentes sociétés savantes, notamment par la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation (www.sfar.org) ou la Société Française de Médecine d'Urgence (www.sfm.org).

La dernière version de ces recommandations a été publiée en 2015 [209] sous la forme de 15 chapitres/publications élaborés par des groupes d'experts. Trois de ces chapitres ont fait l'objet d'une mise à jour en 2017 (« Executive Summary », « Adult Basic Life Support and Cardiopulmonary Resuscitation Quality », « Pediatric Basic Life Support and Cardiopulmonary Resuscitation Quality »)

Les guidelines publiés par l'ERC et intégrés dans les référentiels de la SFAR sont fondés sur la chaîne de survie à 4 maillons qualifiés de « vitaux » et s'appliquant aussi bien aux victimes d'arrêt cardiaque primaire que d'une asphyxie (<https://cprguidelines.eu/guidelines-translations>). Le contenu de ces 4 maillons est détaillé ci-après, dans une présentation simplifiée.

a. Premier maillon : reconnaissance de l'arrêt cardiaque et alerte des secours

Le fait qu'une personne s'effondre et perde conscience doit faire suspecter la survenue d'un arrêt cardiaque. Il est toutefois nécessaire de l'identifier au plus vite afin d'alerter les secours, mais également d'engager immédiatement une RCP qui pourra être mise en œuvre par un témoin.

L'absence de réaction aux stimulations et sollicitations, l'absence de respiration ou une respiration anormale (bruyante et haletante en cas de respiration agonique, dans 40 % des cas d'arrêt cardiaque), ou encore des convulsions sont des signes de reconnaissance d'un arrêt cardiaque. Alors que la prise de pouls ne constitue pas un moyen de reconnaissance suffisant. Au regard de ces signes de reconnaissance (le temps d'identification d'une respiration anormale ou d'une absence de respiration ne doit pas dépasser 10 secondes), une simple suspicion doit conduire à alerter immédiatement les secours et à engager une RCP précoce (par exemple même si le patient a des antécédents épileptiques connus en cas de convulsions).

La reconnaissance de l'arrêt cardiaque peut être le fait d'un témoin appelant et/ou de l'opérateur téléphonique des services de secours (appel d'urgence au numéro 112 au niveau européen, 15 (services d'urgences) ou 18 (sapeurs-pompiers) en France). Ces derniers doivent être contactés, si possible, par une autre personne sollicitée par le témoin à cet effet.

b. Deuxième maillon : RCP précoce (massage cardiaque)

L'arrêt cardiaque identifié, le témoin va engager une RCP précoce par compressions thoraciques (massage cardiaque), le cas échéant avec l'aide à distance de l'opérateur téléphonique des services de secours. Dans le même temps le témoin doit solliciter, si cela est possible, une autre personne présente en vue d'apporter un défibrillateur cardiaque.

Le massage cardiaque est pratiqué par application des deux mains (superposées) au centre du thorax. Il consiste à opérer des compressions permettant d'enfoncer le sternum de 5 à 6 cm et de relâcher alternativement la pression exercée, avec une fréquence de 100 à 120 compressions par minute.

Un témoin formé peut combiner le massage cardiaque avec des insufflations (bouche à bouche). Dans ce cas il est recommandé de procéder à une double insufflation toutes les 30 compressions thoraciques, en veillant à ne pas interrompre ces dernières plus de 10 secondes. Cette séquence 30 compressions-deux insufflations a vocation à être renouvelée, au moins dans l'attente du défibrillateur automatique externe.

Une RCP précoce permet d'augmenter considérablement les chances de survie.

Ainsi en France, d'après les données de RéAC, le taux de survie à 30 jours est de 4,9 %, mais il est de 10,4 % lorsqu'une RCP a été mise en œuvre immédiatement à la suite d'un arrêt cardiaque [5].

c. Troisième maillon : défibrillation précoce

Utilisé par un témoin formé ou non, le défibrillateur externe automatisé (DEA) va permettre d'entreprendre une défibrillation sans attendre l'arrivée des secours, et sans que soit mis fin à la RCP par compressions thoraciques. Ces DEA sont implantés pour l'essentiel dans des lieux publics et font l'objet de très nombreux programmes d'accès au plan international. Ils peuvent être facilement géolocalisés, en France notamment grâce à de nombreux sites internet.

Une fois activé et les électrodes placées sur le torse nu de la victime de l'arrêt cardiaque, le DEA va permettre d'analyser le rythme cardiaque et délivrer des « chocs » dès lors que le rythme est « choquable ». Les compressions thoraciques doivent être interrompues toutes les deux minutes afin d'analyser le rythme cardiaque.

d. Quatrième maillon : RCP avancée précoce et soins post-réanimation

La RCP avancée est nécessaire en cas d'échec d'une première réanimation, et dès lors que n'intervient pas une décision d'interruption de réanimation (en cas d'absence de retour à une activité cardiaque spontanée (RACS), d'absence de délivrance de chocs, les services de secours n'ayant pas été témoins de l'arrêt cardiaque).

Une assistance respiratoire et l'administration de médicaments peuvent être associées la RCP. La ventilation peut être mise en œuvre – par un personnel médical formé et expérimenté – sous la forme d'une intubation trachéale (l'ERC précisant qu'aucune étude randomisée ne confirme l'effet d'une intubation sur la survie) ; des supra-glottiques comme des masques laryngés peuvent être utilisés par des personnels non formés.

L'ERC insiste sur le caractère secondaire de l'administration de médicaments par rapport à la RCP et à la défibrillation, précisant que l'administration d'adrénaline peut contribuer à un RACS mais, tout comme l'amiodarone, n'aurait pas d'impact en termes de survie à la sortie de l'hôpital.

La RCP avancée est présentée sous la forme d'un algorithme (identifié en tant qu'« algorithme ALS » dans les recommandations de l'ERC (**Figure 42**). Les conditions de sa mise en œuvre dépendent notamment du caractère choquable ou non de l'arrêt cardiaque et elle n'intervient que dans le cas d'une absence de réaction ou de retour à un rythme cardiaque normal. Si tel est le cas, la RCP est poursuivie, et le rythme cardiaque évalué au moyen du défibrillateur. Deux cas de figure peuvent alors se présenter :

- Le rythme est choquable (fibrillation ou tachycardie ventriculaires).

Un cycle choc/RCP est mis en œuvre comme indiqué dans l'algorithme.

Il est procédé à une injection d'adrénaline (1 mg) toutes les 3/5 minutes, complétée – à compter du 3^{ème} choc et en l'absence de (suspicion de) reprise de l'activité cardiaque spontanée (RACS) – par l'administration de 300 mg d'amiodarone ; ces injections sont réalisées par voie intraveineuse ou intra-osseuse.

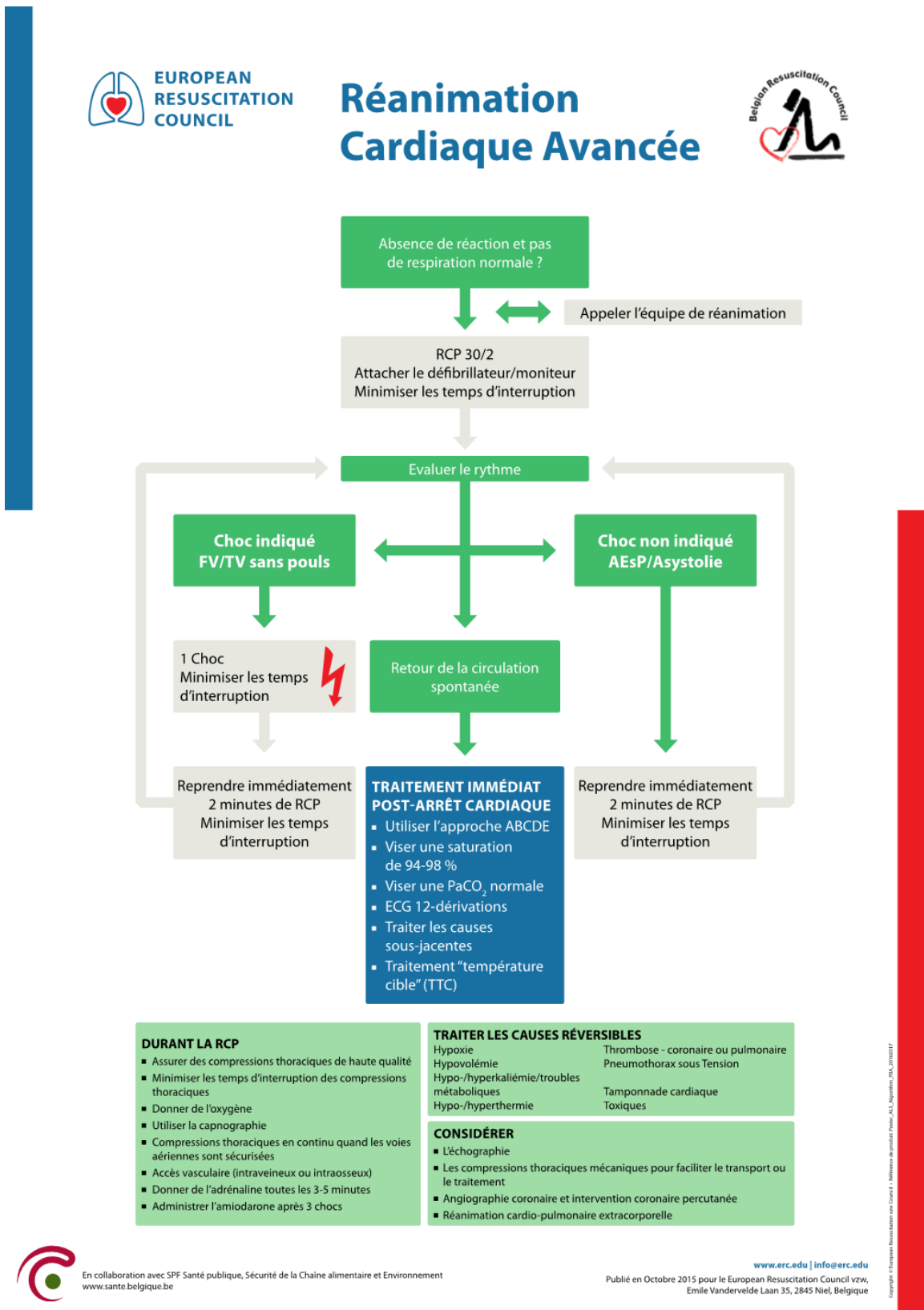
- Le rythme n'est pas choquable (asystolie ou activité électrique sans pouls).

Une RCP est mise en œuvre.

En l'absence de RACS, l'administration de 1 mg d'adrénaline est recommandée.

Dans le cas d'une présence de signes de vie pendant la RCP, il est procédé à une vérification du rythme cardiaque et à une prise de pouls : la RCP est poursuivie en cas de suspicion de RACS, également en l'absence de RACS mais associée à l'injection de 1 mg d'adrénaline.

Figure 42 : Réanimation Cardiaque Avancée (Source : Belgian Resuscitation Council)



Enfin intervient la phase de soins post-réanimation de l'arrêt cardiaque, le RACS n'étant que la première étape de récupération à la suite de cet arrêt. Une attention particulière est donnée à la recherche de la (les) cause(s) de l'arrêt cardiaque ainsi qu'à l'évaluation de la gravité du syndrome post-arrêt cardiaque afin de mettre en œuvre un traitement qui va notamment conditionner le devenir du patient sur le plan neurologique. Le syndrome post-arrêt cardiaque inclut de possibles lésions cérébrales ainsi que la présence d'un dysfonctionnement myocardique au cours des deux ou trois jours suivant l'arrêt cardiaque. En termes de survie, il est constaté que la majorité des décès intervenant dans les trois premiers jours est due à une défaillance cardio-vasculaire, la cause du décès provenant ensuite principalement de lésions cérébrales. Les recommandations portent notamment sur des soins de post-réanimation tels que la réalisation :

- d'une échocardiographie
- d'un examen des gaz du sang et/ou d'une oxymétrie du pouls afin de s'assurer du maintien de la saturation du sang artériel en oxygène à hauteur de 94-98 %
- d'un contrôle de la température afin de lutter contre une éventuelle hyperthermie
- en urgence, d'une Intervention Coronarienne Percutanée (ICP) (une angiographie) en cas d'arrêt dont l'origine peut être considérée comme cardiaque avec un sus-décalage du segment ST constaté sur l'ECG ; cette ICP a également vocation à être réalisée – sans urgence – pour les patients sans sus-décalage et dont l'arrêt cardiaque peut être lié à une origine coronarienne
- d'une tomodensitométrie, après une angiographie, afin de diagnostiquer une cause non cardiaque dans le cas où une origine respiratoire ou neurologique peut être identifiée précocement
- d'une perfusion cérébrale et d'un contrôle de la glycémie afin d'optimiser la récupération neurologique
- de la pose d'un défibrillateur automatique implantable pour certains patients ischémiques présentant une dysfonction ventriculaire gauche

Ces soins post-arrêt cardiaque sont également importants du point de vue de la survie et nous avons vu comment ils pouvaient être le cas échéant à l'origine d'un différentiel de taux de survie d'après les résultats des travaux de Winther-Jensen et al. [147].

Chapitre 2 : Nécessité et organisation d'un recueil d'information

Les recommandations en matière de réanimation et de prise en charges des arrêts cardiaques s'inscrivent dans une perspective d'amélioration des taux de survie par les actions, interventions et traitements mis en œuvre dans le cadre de la chaîne de survie. Une évolution des pratiques fondée sur leur évaluation suppose toutefois de disposer des données nécessaires.

Le recueil d'informations constitue donc un enjeu à la fois méthodologique et stratégique en termes de connaissances épidémiologiques et de comparaison des pratiques. Un cadre stable et standardisé a ainsi été élaboré au plan international, à l'origine du développement des registres dans nombre de pays, dont la France.

1. D'une définition consensuelle à un cadre commun de recueil de données, l'enjeu du modèle d'Utstein

Comme on a pu le voir précédemment, un nombre important d'éléments intervient dans les différentes définitions de l'arrêt cardiaque. On y trouve notamment les symptômes, les causes, les conditions de prise en charge, mais également les conséquences en termes de survie des arrêts cardiaques. Dans certains cas, la présence d'un témoin et sa qualité (simple témoin, secouriste professionnel ou encore médecin) peut s'avérer être déterminante pour qualifier l'arrêt cardiaque.

Des références à l'âge, voire même au temps d'intervention, ont pu au fil des années rendre plus complexe encore la qualification de l'arrêt cardiaque.

C'est dans ce contexte qu'en 1990, une Task Force internationale s'est constituée lors d'un congrès tenu en Norvège à l'abbaye d'Utstein. Cette réunion fondatrice est à l'origine des premières recommandations connue sous l'appellation de style d'Utstein, recommandations destinées à standardiser et uniformiser les définitions et le langage employés en matière d'arrêt cardiaque et de réanimation [210]. Ces recommandations approuvées par l'American Heart Association, l'European Resuscitation Council, la Stroke Foundation of Canada, l'Australian Resuscitation Council, ont fait l'objet d'une première publication en 1991 sous l'égide de RO Cummins et al. [6].

Ce travail a permis d'aboutir à une définition commune de l'arrêt cardiaque : « arrêt de l'activité mécanique cardiaque, confirmée par une absence de pouls détectable, une absence de réaction, et une apnée (ou une respiration agonale) ». Les rapporteurs précisant que cette définition excluait toute référence au temps, ou au caractère de « soudaineté ».

Cette définition sera à l'origine de celle donnée par Jacobs et al. [7] sous l'égide de l'ILCOR en 2004 et connaîtra une évolution dans le cadre de la mise à jour régulière du style d'Utstein, la dernière version datant de 2015. Cette dernière version a fait l'objet d'une publication en 2015 [8] dans laquelle on peut ainsi lire la définition actuelle de l'arrêt cardiaque : « Cardiac arrest is defined by the absence of signs of circulation irrespective of whether the assessment was made by EMS or bystander ».

Le travail réalisé par l'ILCOR va cependant bien au-delà de la seule définition de l'arrêt cardiaque et de l'élaboration consensuelle de recommandations en matière de réanimation. Il a également pour objectif d'organiser et uniformiser le recueil d'informations relatives aux arrêts cardiaques. La sélection, la catégorisation (en données essentielles ou supplémentaires), la définition de ces informations, et leur évolution, comme celle de la définition de l'arrêt cardiaque, sont clairement affirmée comme étant un enjeu majeur par la Task Force d'Utstein [8]. Le modèle de recueil de données dans le cadre de registres de style Utstein connaît donc des évolutions au même titre que les recommandations en matière de réanimation et la définition de l'arrêt cardiaque. Ainsi après avoir privilégié le recueil de données portant sur arrêts cardiaques d'origine présumée cardiaque, survenus en l'absence d'un service de secours et dont le rythme initial correspondait à une fibrillation ventriculaire (correspondant au référentiel de 1991), le style d'Utstein a évolué lors de sa révision de 2004 vers une collecte d'informations élargie à l'ensemble des arrêts cardiaques pris en charge par les services de secours médicalisés, quel que soit le rythme initial et que la survenue ait eu lieu ou non en présence d'un témoin.

Ce style de recueil de données, pour consensuel qu'il soit, peut toutefois donner lieu à certains ajustements, liés notamment à certaines caractéristiques populationnelles (âge) ou à la cause de l'arrêt cardiaque. Par exemple, la spécificité de l'arrêt cardiaque chez l'enfant a conduit

certain auteurs [138], compte tenu de la difficulté à constater une cessation de l'activité du cœur par la palpation des pouls, à considérer également comme un arrêt cardiaque une situation nécessitant « un massage cardiaque externe d'une durée supérieure à une minute ». Dans ce cadre, l'American Heart Association [2] recommande de procéder à des collectes et analyses de données différenciées pour les nourrissons et les enfants de celles relatives aux adultes. D'autres évolutions ont été proposées avec le développement de guides de recueils spécifiques dans le domaine de la pédiatrie [211], ou encore de celui des arrêts cardiaques consécutifs à une noyade [8].

Une démarche de recueil standardisé dans le cadre de registres de style d'Utstein est donc essentielle à bien des égards et constitue un enjeu majeur. Le travail initié dès le début des années 1990 dans le cadre d'Utstein visait à une harmonisation des définitions utilisées dans le domaine de l'arrêt cardiaque et de la réanimation afin de mieux comprendre l'épidémiologie des arrêts cardiaques, faciliter les comparaisons internationales mais permettre également un benchmark au sein d'un pays ou d'une entité géographique donnée, contribuer au développement de la recherche clinique et réduire les écarts en matière de connaissance [8]. La définition d'un cadre commun (voire partagé) pour un recueil de données et le développement de registres devaient ainsi permettre d'améliorer la survie en rendant possible une évaluation des facteurs de risques mais également des interventions et traitements mis en œuvre dans le cadre de la prise en charge des arrêts cardiaques. En l'absence de données pertinentes et adaptées cette évaluation n'était en effet pas possible, et la Task Force de l'ILCOR a donc élaboré et publié des recommandations en faveur d'un recueil de données standardisé. Recommandations en matière de réanimation et recommandations pour le recueil de données relatives aux arrêts cardiaques sont donc étroitement liées : l'évolution de la science et des pratiques en réanimation est à l'origine de celle des recueils de données, mais ceux-ci permettent à leur tour de faire évoluer les recommandations en matière de réanimation. L'enjeu du style d'Utstein est donc de permettre et favoriser le benchmark à tous niveaux (international, national et local) et d'évaluer les pratiques et traitement, ce grâce à des registres

qui sont à la fois des outils d'amélioration de la qualité de la prise en charge et de la survie mais aussi des bases de données pour la recherche [7, 212].

2. Forme du style d'Utstein : les recommandations en matière de contenu des registres

Ayant suscité l'adhésion des professionnels dès le début des années 1990, le style d'Utstein a évolué dans le cadre de la vingtaine de conférences de consensus qui ont eu lieu depuis, sans compter les milliers d'articles faisant référence à ce modèle (lequel apparaît dans environ 9.000 publications, sachant qu'il ressort dans le titre ou le résumé de près de 500 d'entre elles) [172].

Deux évolutions majeures du style d'Utstein ont fait l'objet de publications en 2004 et 2015.

La dernière révision des recommandations intervenue en 2015 a conduit à la publication d'un modèle actualisé d'organisation de la collecte des données relatives aux arrêts cardiaques extrahospitaliers selon une répartition en cinq grands domaines [213] **(Figure 43)** :

- Caractéristiques de la population et du système de prise en charge de l'urgence extrahospitalière
- La régulation médicale et le déploiement des moyens de secours
- Le patient
- Le processus de réanimation
- Le devenir du patient

Figure 43 : Le modèle de recueil de données du style Utstein

(Source : Perkins et al. - 2015)

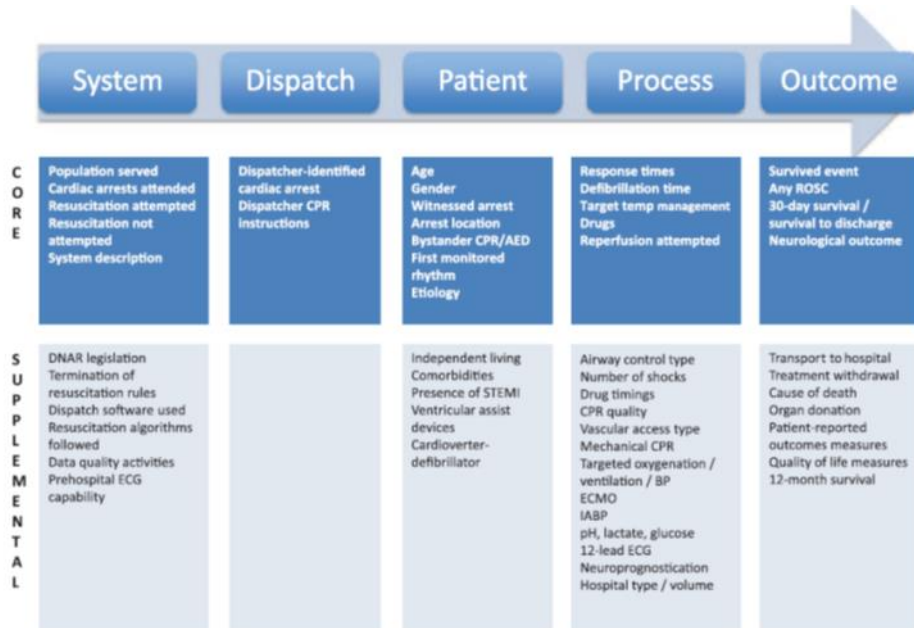


Figure 1. Data element domains. Core and supplemental elements are shown for each of the 5 domains. AED indicates automated external defibrillator; BP, blood pressure; CPR, cardiopulmonary resuscitation; DNAR, do not attempt resuscitation; ECMO, extracorporeal membrane oxygenation; IABP, intra-aortic balloon pump; ROSC, return of spontaneous circulation; STEMI, ST-segment-elevation myocardial infarction; and temp, temperature.

Deux catégories de données sont identifiées pour chacun de ces cinq grands domaines :

- Les données dites « de base » dans le sens où elles devraient faire l'objet d'un recueil systématique – et a minima - dans tous les registres compte tenu de leur importance
- Les données dites « supplémentaires », lesquelles ne revêtant pas un caractère aussi essentiel que les précédentes, présentent toutefois un intérêt certain du point de vue de la recherche

L'un des enjeux des travaux réalisés dans le cadre de l'actualisation du style d'Utstein est de faire évoluer son contenu après avoir évalué l'intérêt présenté par les données recueillies au regard des objectifs tout en prenant en compte les problèmes posés par leur collecte.

L'ensemble des variables intégrées dans les recommandations de 2015 est donné en annexe 1.

Deux constats peuvent être posés à l'issue d'une comparaison des versions successives du style d'Utstein de 1991, 2004 et 2015 :

- en premier lieu, l'importance accordée aux éléments relatifs à la description de la population desservie et à la réponse apportée à ses besoins par le système de soins (intervention des services d'urgence et prise en charge hospitalière) dans un contexte territorial, qui laisse toutefois apparaître une révision à la baisse des objectifs initiaux
- Une évolution sensible en matière d'identification et d'appréhension des causes des arrêts cardiaques

Cela étant les recommandations de 2015 mettent davantage l'accent sur la description du système de prise en charge que sur celle de la population desservie. De nouvelles variables relatives à la description du système de prise en charge ont ainsi vocation à être intégrées dans les registres avec :

- Parmi les données de base : le nombre et la catégorie des services d'urgences, le niveau de qualification des intervenants, le nombre d'appels des services d'urgences hors transferts entre établissements, la population desservie appréciée à partir des données de recensement, le territoire desservi (en km²) par les services d'urgences
- Pour ce qui est des variables « supplémentaires », des informations relatives aux soins post-réanimation et à l'organisation hospitalière : type d'établissement hospitalier (spécialisé ou non dans la prise en charge des arrêts cardiaques) vers lequel le patient a été transféré initialement, nombre d'arrêts cardiaques extrahospitaliers pris en charge annuellement par l'établissement.

L'ajout de ces informations dans les registres correspond bien à l'objectif de l'ILCOR de contribuer à l'amélioration de la description du système de prises en charge des arrêts cardiaques extrahospitaliers. Mais l'approche systémique préconisée par l'ILCOR était également fondée sur une amélioration de la description de la population desservie, et de ce point de vue les recommandations les plus récentes se trouvent être en net retrait au regard des préconisations publiées en 1991 [6], ce qui peut être considéré comme l'une des limites du style d'Utstein.

3. Les limites du style d'Utstein

Deux types de limites peuvent être identifiés : des limites liées aux conditions du déploiement et du respect des recommandations auxquelles viennent s'ajouter des limites relatives au contenu du style d'Utstein.

a. Les limites liées aux conditions du déploiement et au respect des recommandations

Nous avons déjà évoqué les difficultés rencontrées lors de la comparaison d'études internationales, notamment pour ce qui a trait à l'épidémiologie des arrêts cardiaques : risque de confusion entre mort cardiaque subite et arrêt cardiaque, prise en compte tardive de l'évolution de l'étiologie des arrêts cardiaques (la notion d'origine cardiaque/non cardiaque perdurant au détriment de l'origine médicale/non médicale dans certains registres), définitions et modes de calculs de l'incidence ou encore choix des indicateurs de survie. Ainsi malgré la diffusion du style d'Utstein, l'objectif d'une harmonisation au plan international demeure un enjeu. L'hypothèse pourrait être posée que les différences ne se manifestent pas tant au niveau du recueil des données que de l'exploitation qui en est faite. Or l'examen de la littérature montre que le style d'Utstein est encore appliqué de façon hétérogène, ce qui rend parfois difficile l'exercice de comparaison, que ce soit au niveau international [214] ou au sein même d'un ensemble comme le ROC Epistry Cardiac Arrest [167]. Nishiyama et al. [214] ont procédé à une description et une comparaison des variations de structures entre les registres existants au plan international, en faisant l'hypothèse qu'il n'y aurait pas de différence entre les variables collectées et même renseignées. Ils ont pu constater à partir des données de 12 sites américains, européens, asiatiques et océaniques (sur 28 sollicités, 4 n'ayant pas répondu et 5 ayant refusé de participer à l'étude) qu'un nombre important de données n'étaient pas exploitables : l'un des registres ne disposait pas de données au-delà de 2005, cinq autres de données en matière de survie, la plupart des sites ne pouvant par ailleurs fournir de données sur l'ensemble de la période de l'étude.

Les principales limites constatées par différents auteurs résident ainsi dans :

- Une trop grande fréquence de données manquantes [167] ; à titre d'illustration Nishiyama et al. [214] ont constaté que les registres étudiés ne collectaient que les deux tiers des variables de base recommandées en 2004, et que les variables relatives à un indicateur temporel n'étaient renseignées que dans 43 % des cas. On comprend donc mieux le souci manifesté par la Task Force de l'ILCOR à l'occasion de la révision de 2015 du style d'Utstein de préserver un équilibre entre le souhait d'étendre la collecte des données et la prise en compte des difficultés pratiques de collecte et de validation des données. Cependant l'assurance qualité et la formation des intervenants de terrain et producteurs de données n'apparaît pas suffisamment développée selon certains auteurs. Par ailleurs, l'absence de complétude des recueils de données, la non détection de cas par exemple, pourrait conduire à une sous-estimation de l'incidence des arrêts cardiaques. Nishiyama et al. ont ainsi observé qu'un contrôle qualité réalisé par les membres du ROC avait abouti à une majoration de l'incidence à hauteur de 20 % [214, 215].
- une grande latitude d'appréciation subjective pour certaines variables, qui vient s'ajouter à l'hétérogénéité des pratiques : dans un format antérieur à la version de 2015 du style d'Utstein, format encore utilisé par certains registres, la cause de l'arrêt cardiaque était différenciée selon son origine (présumée) cardiaque ou non. Or cette différenciation présente un caractère subjectif sachant que l'identification des causes de décès peut être source d'erreurs importantes. La proportion d'erreurs pourrait atteindre près de 30 % des cas d'après les résultats d'une étude portant sur une exploitation des certificats de décès en Australie [216]. Les travaux réalisés en Autriche par Kırkçıyan et al. [53] ont par ailleurs montré que la proportion des arrêts cardiaques d'origine cardiaque pouvait être surestimée (identification erronée dans 11 % des cas), l'erreur provenant principalement du fait que l'origine cardiaque d'un arrêt est parfois prononcée à tort (cas des patients atteints d'embolie pulmonaire, de rupture d'anévrisme aortique ou d'hémorragie cérébrale par exemple). La nouvelle version du

style d'Utstein de 2015 devrait permettre à terme de limiter un tel biais, sans l'écarter totalement : parmi les définitions relatives à la pathogénèse de l'arrêt cardiaque il est en effet précisé que sont considérés comme ayant une origine médicale les arrêts cardiaques dans la cause est présumée cardiaque, ceux dont la cause est médicale sans être cardiaque, ainsi que l'ensemble des arrêts cardiaques dont la cause est inconnue.

b. Les limites liées au contenu du style d'Utstein

La pertinence des variables retenues dans le style d'Utstein doit être considérée notamment à la lumière de l'objectif d'amélioration de la survie. Selon Réa et al. , bien que les données relatives aux variables contenues dans le modèle permettent de prédire correctement la survie en général et au sein d'un même site, il n'en est pas de même – ou dans une bien plus modeste part – dès lors qu'il s'agit d'expliquer les différences de taux de survie entre sites. L'amélioration de la prise en charge des arrêts cardiaques nécessiterait donc d'intégrer d'autres variables dans le style d'Utstein [167]. Certains auteurs proposent ainsi d'intégrer dans le style d'Utstein des informations relatives :

- à l'état de santé chronique des patients, dès lors qu'il peut conditionner le succès d'une réanimation et détermine la physiologie sous-jacente des arrêts cardiaques [167].
- au statut socio-économique, afin d'examiner le lien entre ce statut, d'une part, et l'incidence, l'accès aux soins, les conditions de prise en charge, d'autre part. Morrison et alii ont ainsi proposé de faire du ROC une plateforme intégrant des données socio-économiques, de façon à pouvoir déterminer si des disparités socio-économiques n'influencent pas les traitements ou l'issue d'un arrêt cardiaque [215].

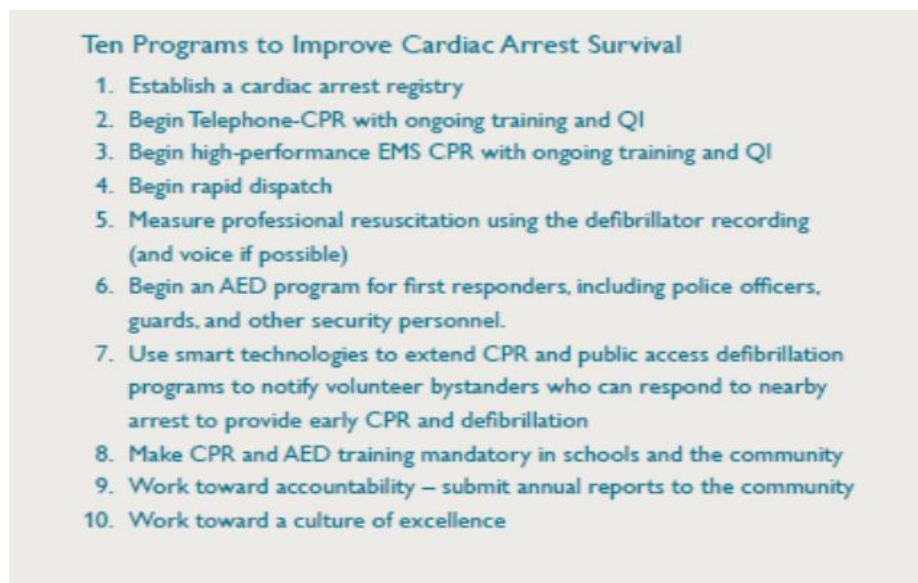
L'introduction des comorbidités sous la forme d'une variable supplémentaire dans le style d'Utstein est de nature à répondre au premier point, en soulignant que cette information n'est donc toutefois pas considérée comme essentielle. En revanche le style d'Utstein n'intègre pas à ce jour d'informations relatives au statut socio-économique, alors que dès 1991 les initiateurs des recommandations avaient souligné l'intérêt de les intégrer dans un recueil de données relatif aux arrêts cardiaques [6].

Enfin, sur un plan général, Gräsner et al. [210] regrettaient dans une étude récente que malgré l'existence de recueils de données bien organisés au niveau régional et national, il demeurait difficile de comparer des données d'incidence et de survie, par manque de moyens, mais aussi du fait d'une insuffisante uniformisation des définitions et du format de recueil de données. Cependant, en dépit de toutes ces limites, l'élaboration et l'actualisation de recommandations dans le cadre du style d'Utstein constituent un réel succès du point de vue du développement des registres dédiés aux arrêts cardiaques au plan international, favorisant ainsi la connaissance et la recherche dans une logique d'amélioration continue des pratiques et de la survie.

Ces objectifs sont désormais très largement partagés au plan international [8], certains auteurs soulignant notamment l'apport considérable de connaissance en matière de pathophysiologie obtenu grâce aux registres [215], lesquels figurent au premier rang du programme d'actions de la Global Resuscitation Alliance (GRA) (<http://www.globalresuscitationalliance.org/>). Cette Alliance internationale, réunissant l'American Heart Association (AHA), la Fondation Laerdal ainsi que la Resuscitation Academy de Seattle s'est donnée pour objectif d'améliorer de 50 % la survie à un arrêt cardiaque à travers le Monde, et promeut à cet effet un plan d'action en 10 programmes (**Figure 44**).

Figure 44 : Plan d'action de la Global Resuscitation Alliance

(Source : rapport "Acting on the Call" - 2018)



Comme on peut le constater, la création d'un registre des arrêts cardiaques figure au premier rang de ce plan d'actions, en tant qu'outil de référence et de comparaison pour les services d'urgences. Dans son dernier rapport, la GRA, et plus précisément la Seattle's Resuscitation Academy considère que la nécessité de mesurer et de s'inscrire dans un processus d'amélioration continue constitue le fondement du besoin de registres des arrêts cardiaques (« measure, improve, measure, improve - lies at the heart of the need for a registry »), allant jusqu'à qualifier lesdits registres d'« essence de la mesure », plus particulièrement en ce qui concerne la survie et les conditions de cette dernière [172]. En tant qu'Alliance Globale à vocation internationale, la GRA insiste par ailleurs sur l'enjeu des comparaisons internationales, et souligne l'enjeu et l'intérêt du développement du modèle d'Utstein au plan international.

4. Le développement des registres : le succès international du style d'Utstein

En 2004 Jacobs et al. [7], dans le cadre d'une révision du style d'Utstein, faisaient le constat d'un faible développement des registres, et ce plus d'une décennie après les premières recommandations.

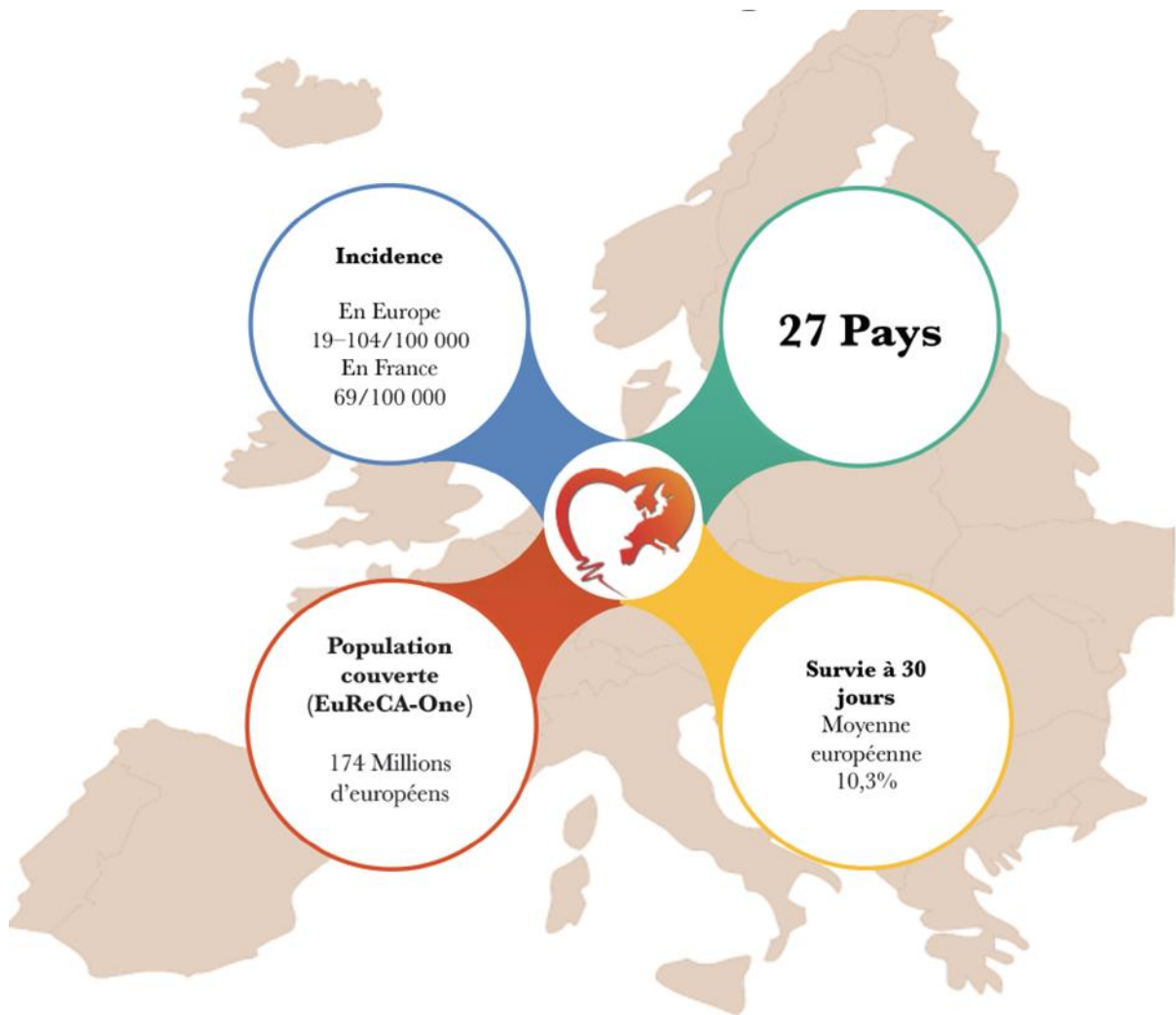
La situation a toutefois considérablement évolué depuis ce constat avec la création de nombreux registres d'arrêts cardiaques [8] ayant adopté le style d'Utstein en Amérique du

Nord, en Asie et au Moyen-Orient (et notamment au Japon), en Océanie, ainsi qu'en Europe, et plus particulièrement en France.

Cette évolution est d'autant plus importante que les registres en question ont été créés sur une base nationale mais évoluent dans un cadre supranational, et même international si l'on considère leur adhésion au style d'Utstein :

- En Amérique du Nord les registres CARES (Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival) et ROC (Resuscitation Outcome Consortium), créés en 2004, ont la particularité d'entretenir une collaboration étroite avec le registre PAROS pour le premier, de constituer un registre nord-américain regroupant des sites participants aux USA et au Canada pour le second.
- En Asie, le Pan-Asian Resuscitation Outcomes Study (PAROS), créé en 2010, regroupe comme nous l'avons vu précédemment un ensemble de pays d'Asie mais également les Emirats Arabes Unis et Dubaï.
- En Océanie, le AUS-ROC (Australian Resuscitation Outcomes Consortium), créé en 2012, associe l'Australie et la Nouvelle-Zélande.
- En Europe, le projet EuReCa (European Registry of Cardiac Arrest), lancé en 2007 à l'initiative de l'European Resuscitation Council, fédère depuis 2014 les registres nationaux de 27 pays (**Figure 45**) grâce à EuReCa ONE (dont le registre national français des arrêts cardiaques RéAC créé en 2011) et désormais 29 pays depuis 2018 dans le cadre de EuReCa TWO (<https://www.eureca-one.eu/>).

Figure 45 : Le registre européen des arrêts cardiaques – EuReCa



Porté par l'ERC, le projet EuReCa doit également son succès à une prise de conscience au niveau du Parlement européen de l'enjeu de santé publique que représentent les arrêts cardiaques. Dans une déclaration formulée en 2012 à l'occasion de la mise en place d'une « semaine de sensibilisation à l'arrêt cardiaque », le Parlement Européen appelait en effet la Commission et le Conseil à prendre des dispositions juridiques permettant de faciliter la défibrillation et la RCP par des personnes ne disposant pas de qualification médicale, mais également à favoriser le recueil de données afin de contribuer à l'évaluation et à l'amélioration des programmes d'actions.

Le cadre offert par EuReCa engage les registres participants à respecter le style d'Utstein dans le cadre d'un protocole fixant la liste des variables devant être obligatoirement être

renseignées [116, 217] (la nature des informations recueillies dans le cadre d'EuReCa est donnée en annexe 2).

Des comparaisons internationales ont déjà pu être réalisées à l'issue de la collecte d'informations réalisée dans le cadre d'EuReCa ONE [24]. Ces premiers travaux ont notamment permis d'étendre et d'adapter le recueil de données dans une seconde phase dont l'objet est de collecter l'ensemble des données relatives aux arrêts cardiaques survenus entre le 1er octobre et le 31 décembre 2017 avec pour objectifs de mieux appréhender les conditions de réanimation ainsi que l'organisation et les conditions d'intervention des SMUR (EuReCa-TWO ; <https://www.eureca-two.eu/>).

Le style d'Utstein, allié à la volonté des promoteurs des registres, constitue donc un atout considérable dès lors qu'il permet de surmonter les nombreux obstacles qui peuvent entraver la diffusion et l'implémentation d'un registre international. Gräsner et al rappellent en effet la complexité de la démarche avec notamment la difficulté [210] :

- d'identifier des sources de données très diverses selon les pays, et d'en organiser la collecte en lien avec les différents acteurs (services d'urgences, professionnels de santé exerçant en ville, hôpitaux, police, ...)
- d'organiser l'intégration de différents niveaux de collecte et d'exploitation des données (local, régional, national, international) au sein d'un registre centralisé
- de régler des questions juridiques, de propriété des données mais également de sécurité, de confidentialité, de qualité, d'exhaustivité, de ressources, d'organisation, de financement.

Le déploiement d'EuReCa s'inscrit par ailleurs dans un contexte marqué par la volonté de la Communauté Européenne de favoriser le développement des réseaux, des bases de données et des (plateformes de) registres, notamment dans le champ des maladies rares et dans le cadre de son troisième programme pour la santé 2014-2020 [218]. Ce développement des registres et bases de données en santé rejoint une préoccupation et priorité française, même s'il n'existe pas à ce jour dans notre pays de base de données sur l'arrêt cardiaque portée sur un plan institutionnel par les autorités sanitaires.

5. La situation en France : une absence de bases de données institutionnelles sur l'arrêt cardiaque

Paradoxalement, une politique volontariste de développement des registres n'a pas conduit les autorités sanitaires à porter sur un plan institutionnel la création d'un registre des arrêts cardiaques. Des bases de données non spécifiques aux arrêts cardiaques permettent bien de recueillir un certain nombre d'informations sur ce qui constitue un enjeu majeur de santé publique mais outre le fait qu'elles sont rares, elles ne sont pas conformes au style d'Utstein et ne répondent pas aux besoins des professionnels de santé en termes de connaissance épidémiologique et d'amélioration continue de la qualité de la prise en charge. D'où la création d'un registre sur la base d'une initiative privée, avec le soutien de sociétés savantes (SFMU et SFAR), de l'Union Européenne, de la Région Hauts de France, de l'université de Lille 2, des Hospices Civils de Lyon, de la Fédération Française de Cardiologie, de la Fondation Cœur et Artères et de la MGEN.

a. Les registres en France : un cadre juridique complexe destiné à favoriser le développement et la diversité

La notion de registre apparaît sous différentes formes et acceptions dans le code de la santé publique, et répond à des objectifs très différents. Deux catégories de registres peuvent être identifiées :

- la première catégorie regroupe les registres liés à certaines activités ou produits, ainsi qu'aux droits de la personne. Ces registres ont pour trait commun d'avoir non seulement un caractère obligatoire, mais aussi de contribuer à la sécurité et aux droits des usagers du système de santé

Les objectifs de ces registres peuvent être des enjeux de qualité et de sécurité des prises en charge, l'inscription dans le cadre d'un dispositif de vigilance, la spécificité de certaines activités (ou produits), le respect des droits des patients, le lien entre professionnels de santé, voire entre ceux-ci et les autorités sanitaires. Ils s'inscrivent dans une logique de traçabilité autant que de recherche de la connaissance. On relève ainsi pour cette catégorie des registres :

- tenus par l'Agence de Biomédecine dans le domaine de la greffe et du don d'organes (articles R 1418-1 et R 1418-1-1 du code de la santé publique (CSP))
 - relatifs aux produits de santé (médicaments et dispositifs médicaux) et tenus notamment par des établissements, des professionnels de santé, des exploitants de dispositifs, voire par ou en lien avec l'ANSM. Il s'agit notamment des registres relatifs à l'approvisionnement et à la délivrance de médicaments dérivés du sang (articles R 5121-191 et 192 du CSP) ; des registres relatifs aux médicaments susceptibles de présenter un risque pour la santé et aux médicaments stupéfiants (articles R 5132-9, 10, 35 et 36 du CSP) ; des registres de matériovigilance (article L 5212-2-1 du CSP) ; des registres d'opérations de maintenance et de contrôle qualité des dispositifs médicaux (article R 5212-28 du CSP) ; des registres d'importation et d'exportation de produits de santé (articles R 1245-10 et R 1245-34 du CSP)
 - relatifs aux droits des patients : registre relatif aux directives anticipées de fin de vie (articles L 1111-11 et R 1111-19 du CSP) ; registres relatifs à la dispensation de soins psychiatriques sans consentement (article L 3222-5-1 du CSP) ; registre des événements indésirables survenus dans le cadre de recherches impliquant la personne humaine (article 1123-12 du CSP)
 - relatifs aux activités d'assistance médicale à la procréation (articles L 2142-2 et 4)
- la seconde catégorie de registres renvoie à un objectif de recherche en épidémiologie et en santé publique, et s'inscrit ainsi dans le cadre des missions — notamment — de l'Agence Nationale de Santé Publique (ANSP). Ces registres relèvent en effet de la compétence de l'ANSP (conjointement avec l'Institut national du cancer pour ce qui est du pilotage et du financement des registres des pathologies cancéreuses) (article R 1413-1 du CSP) laquelle a notamment pour

mission d'identifier, analyser et diffuser les « informations, données et connaissances sur l'état de santé des populations et sur les risques sanitaires les menaçant, leurs causes et leurs évolutions ».

Il existe en France une volonté exprimée de longue date de développer les registres d'épidémiologie et de santé publique (ou « registres de morbidité»). Ces registres bénéficient d'un dispositif juridique spécifique de reconnaissance et de financement par l'ANSP, l'INCA et l'INSERM.

Un cadre juridique spécifique leur a ainsi été dédié dès 1986 avec la création d'un Comité National des Registres (CNR) (arrêté du 10 février 1986) constitué auprès des ministres en charge de la recherche et de la santé. Comme le souligne Chérié-Challine [219] des initiatives avaient été prises dès les années 1970 en matière de création de registres, initiatives ayant permis à des « registres français de morbidité (de se mettre) en place dans trois domaines : le cancer (1975), les malformations congénitales (1973) et les cardiopathies ischémiques (1984) ». Un premier bilan avait ensuite été dressé conjointement par la Direction Générale de la Santé (DGS) et l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM) — lesquels avaient proposé, avant même la publication de l'arrêté de 1986, de développer les registres de morbidité et de faire évoluer le traitement de l'information en santé [220]. De ce bilan avaient été tirés les enseignements suivants [221, 222] :

- les registres existants ne couvraient que très partiellement le champ des pathologies, et ne s'étendaient géographiquement qu'à quelques départements, n'offrant qu'une couverture géographique limitée,
- et il paraissait par ailleurs difficilement envisageable de les généraliser en l'état.

La préférence devait donc être donnée à un recueil de données exhaustives pour un sous-ensemble de la population plutôt qu'à un recueil de données non homogènes pour l'ensemble du pays, « seul un registre (pouvant) permettre d'analyser de manière exhaustive (s'il est bien tenu) une pathologie donnée ».

Quatre axes de recherche - autant d'objectifs pour les registres - avaient également été identifiés : l'information et la surveillance, la recherche clinique, les recherches étiologiques et

l'évaluation en santé. La bonne tenue d'un registre devait ainsi permettre de mesurer au mieux la fréquence, l'incidence d'une pathologie et de rechercher ses facteurs de risque, mais également d'évaluer l'impact d'une technique thérapeutique ou d'actions de prévention.

Le dispositif juridique relatif aux registres a par la suite sensiblement évolué dans le cadre de la loi n° 94-548 du 1er juillet 1994 « relative au traitement de données nominatives ayant pour fin la recherche dans le domaine de la santé et modifiant la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés ». Cette loi a en effet contribué à l'évolution du CNR et à la reconnaissance des registres, en portant non seulement création d'un « comité consultatif sur le traitement de l'information en matière de recherche dans le domaine de la santé » (décret n° 95-682 du 9 mai 1995), mais également par le renforcement du CNR dans son rôle stratégique et sa mission d'expertise. Les registres se trouvent ainsi bénéficier d'une nouvelle définition réglementaire et se voient appliquer une procédure de qualification [219] en vertu des dispositions de l'arrêté du 6 novembre 1995 :

- un registre est défini comme « *un recueil continu et exhaustif de données nominatives intéressant un ou plusieurs événements de santé dans une population géographiquement définie, à des fins de recherche et de santé publique, par une équipe ayant les compétences appropriées* » Cette définition, demeurée inchangée, est celle retenue par l'ANSP (<http://invs.santepubliquefrance.fr>), et par l'INSERM, précisant toutefois que le registre est constitué à des fins de recherche épidémiologique et de santé publique.
- « *Devient registre qualifié (...) le registre justifiant d'un avis favorable du Comité national des registres ou du Comité spécialisé pour les registres de maladies rares, d'un avis favorable du Comité consultatif sur le traitement de l'information en matière de recherche dans le domaine de la santé et de l'autorisation de la Commission nationale de l'informatique et des libertés* ». Cette qualification — octroyée pour une durée de quatre ans (pour les registres existants, trois pour les registres en cours de création), renouvelable — est d'autant plus importante qu'elle a valeur de labellisation,

d'une part, qu'elle seule rend éligible un registre à un financement public national, d'autre part.

Cependant, dans un souci de simplification administrative, et à la suite des travaux du Comité Interministériel pour la Modernisation de l'Action Publique, un décret a été publié en 2013 (décret n° 2013-420 du 23 mai 2013) qui procédait à la suppression de 64 commissions administratives à caractère consultatif dont le CNR. Au CNR ont toutefois succédé deux nouvelles instances :

- le Comité d'Evaluation des Registres (CER), en charge de l'évaluation des registres, mais également de la formulation de recommandations sur le fonctionnement et les activités de recherche et de surveillance des registres évalués,
- le Comité Stratégique des Registres (CSR), réunissant la DGS, la DGOS, la Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation (DGRl) ainsi que les directeurs de l'INSERM, de l'ANSP et de l'INCA (le financement des registres dépendant d'une politique de coordination entre l'INSERM, l'ANSP et l'INCA). Ces trois institutions publient ainsi chaque année un « appel à lettre d'intention », dans le cadre d'une procédure permettant aux promoteurs d'un registre n'ayant pas encore bénéficié d'une évaluation de solliciter cette dernière. En cas d'acceptation par le CER, le registre peut alors faire l'objet d'une évaluation débouchant le cas échéant sur l'octroi d'un financement. Missions d'intérêt général (MIG), Fonds d'Intervention Régional (FIR), financements octroyés par l'INCA aux registres consacrés aux cancers, crédits accordés par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), financements associatifs... les sources de financement des registres apparaissent extrêmement diversifiées et ne donnent pas lieu à ce jour à une publication permettant de les reconstituer.

Ce dispositif juridique complexe - y compris dans son évolution - ayant été conçu dans la perspective d'un développement des registres, il importe de pouvoir apprécier la réalité de ce développement.

b. Etat des lieux des registres en France : un développement axé sur les cancers et les maladies rares, l'absence de registre des arrêts cardiaques qualifié

L'état des lieux des registres ne peut être établi à partir de l'origine de leur financement. L'« open data » mis en place par le SGMAP sur la plateforme de données publiques « data.gouv.fr » (<https://www.data.gouv.fr/>) ne permet pas non plus à ce jour de disposer de cet état des lieux (sauf pour ce qui a trait au réseau FRANCIM des registres de cancers). Des listes de registres ont cependant fait l'objet d'une publication par l'INSERM et AVIESAN :

- L'INSERM a publié en 2016 la liste des registres qualifiés par le CNR au 1^{er} janvier 2013 : « *En 2016, il existait en France 62 registres de morbidité répartis comme suit : 18 registres de cancer généraux, 13 registres de cancer spécialisés, 6 registres de maladies cardio ou neuro-vasculaires, 6 registres de malformations congénitales, 7 registres portant sur des pathologies diverses, 12 registres de maladies rares* ». Aucun registre consacré aux arrêts cardiaques ne figure parmi ces registres qualifiés.
- Une liste plus large et actualisée des registres figure dans le catalogue des bases de données de santé tenue par AVIESAN (<https://epidemiologie-france.aviesan.fr/>). Dans ce recensement qui s'étend au-delà des seuls registres qualifiés ou évalués, AVIESAN dénombre ainsi 11 % de registres de morbidité parmi les bases de données de santé et identifie 83 registres en 2018 (53 ayant fait l'objet d'une évaluation ou qualification).

Une fiche descriptive est associée à chacun de ces registres, précisant notamment s'il a été (est) qualifié ou non par le CNR, ainsi que sa (ses) source(s) de financement. En matière d'arrêt cardiaque, AVIESAN ne recense que deux bases de données, dont un registre :

- RéAC, le registre national des arrêts cardiaques, non qualifié, placé sous la responsabilité des Professeurs Hervé Hubert et Pierre-Yves Gueugniaud
- CARTAGENE — Cohorte de patients victimes d'un arrêt cardiaque extrahospitalier d'origine présumée cardiaque, sous la responsabilité du Professeur Xavier Jouven.

Ce recensement n'est toutefois pas exclusif, des données relatives aux arrêts cardiaques pouvant en effet être trouvées dans d'autres bases de données.

6. L'arrêt cardiaque dans les bases de données de santé en France

L'INSERM identifie quatre sources de bases de données de recherche en santé :

- Le portail Épidémiologie-France
- L'EGB et le SNIIRAM, en tant que bases de données médicales nationales de l'Assurance Maladie
- CépiDc, pour ce qui a trait aux causes médicales de décès
- Le Système National des Données de Santé (SNDS), en cours de constitution, fondé sur un regroupement de données (SNIIRAM, PMSI, CépiDc, données médico-sociales des MDPH et de la CNSA, données en provenance des assureurs complémentaires)

Parmi ces bases, CépiDc et le PMSI peuvent être identifiés en tant que sources de données en matière d'arrêt cardiaque. Mais leur intérêt du point de vue de la connaissance et de l'amélioration de la prise en charge des arrêts cardiaques apparaît toutefois des plus limité.

a. Les arrêts cardiaques dans CépiDc (Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès)

Les « missions essentielles du CépiDc sont la production annuelle de la statistique des causes médicales de décès en France (540 000 décès par an), la diffusion des données et les études et recherches sur les causes médicales de décès » (www.cepidc.inserm.fr).

Une exploitation de cette base de données (constituée de plus de 20 millions d'enregistrements depuis sa création) laisse apparaître pour 2015 un nombre de 4.979 décès dus à un arrêt cardiaque (CIM 10 – I 46) sur un total d'environ 591.000 décès (respectivement 4.925 et 4.663 en 2013 et 2014), ces décès étant répartis comme suit :

- (I46.0) Arrêt cardiaque réanimé avec succès = 396 décès
- (I46.1) Mort cardiaque subite, décrite ainsi = 113 décès
- (I46.9) Arrêt cardiaque, sans précision = 4.470 décès

Les limites des données de CépiDc apparaissent à la lecture de tels résultats alors que l'incidence des arrêts cardiaques s'élève à près de 50.000 cas par an. Mais surtout cette base de données ne s'inscrivant pas dans le cadre d'un recueil d'informations compatible avec le style d'Utstein, les données de CépiDc se révèlent être inexploitable par et pour les professionnels de l'urgence et de la santé publique concernés par l'arrêt cardiaque.

Cette situation n'est d'ailleurs pas propre à la France, Gräsner et al. [210] ayant souligné au niveau européen le caractère inapproprié et les limites d'un recours aux données issues des certificats de décès en matière d'études portant sur les arrêts cardiaques.

b. Les arrêts cardiaques dans le PMSI (Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information)

Nous avons vu plus haut que la classification des Groupes Homogènes de Malades (GHM) permet d'identifier quatre GHM à partir de la racine GHM 05M14 « arrêt cardiaque ». Cette approche est néanmoins extrêmement limitée. Une grande partie de l'activité liée à l'arrêt cardiaque se trouve en effet occultée si on ne prend pas en compte les diagnostics principaux et associés ayant présidé au codage, et le PMSI ne permet pas d'appréhender la réalité de l'arrêt cardiaque extrahospitalier.

Le chaînage pourrait offrir des perspectives intéressantes en matière de trajectoire hospitalière des patients (y c entre prises en charge de court séjour et de soins de suite et de réadaptation). Avec une limite liée au fait qu'en matière de données pré/extrahospitalières il n'est pas de lien établi entre les formes de recueils d'informations que sont le PMSI et le style d'Utstein.

De fait, et à l'exception du registre RéAC, il n'existe pas en France de base de données institutionnelle dédiée aux arrêts cardiaques, les perspectives de recours aux informations contenues dans d'autres bases étant très limitées à ce jour.

La création du registre RéAC par ses deux promoteurs que sont la Société Française de Médecine d'Urgence et l'Université de Lille est donc d'autant plus justifiée qu'il est et demeure l'unique source de connaissance pour les professionnels de l'urgence et de la santé publique en matière d'arrêts cardiaques.

Chapitre 3 : Un registre pour quoi faire ?

La connaissance épidémiologique, ainsi que l'amélioration des pratiques professionnelles et de la chaîne de survie sont au cœur des objectifs de RéAC. Le registre français des arrêts cardiaques, première et unique base de données épidémiologiques en matière d'arrêts cardiaques constitue un solide support d'études. Toutefois suivant le style d'Utstein, il ne comprend pas à ce jour, comme les autres registres, de données socio-économiques alors que la littérature laisse à penser que le statut socio-économique doit être rangé au nombre des facteurs de risque à prendre en considération.

1. Développer les études afin d'améliorer la connaissance et la prise en charge des arrêts cardiaques

Présidant à la création du registre national des arrêts cardiaques RéAC en 2011, les Professeurs Geugniaud et Hubert fondaient et justifiaient leur action sur le double constat d'un « manque de données épidémiologiques nationales sur l'arrêt cardiaque et (une) mortalité dramatiquement élevée » [40].

Une carence en matière de connaissance épidémiologique des arrêts cardiaques (extra et intra-hospitaliers) en France, une très grande hétérogénéité des prises en charge appelaient la mise en place d'un registre. Forts du retour d'expérience des registres étrangers et sous l'impulsion des professionnels de la médecine d'urgence, les fondateurs de RéAC ont d'emblée mis l'accent sur les enjeux d'un recueil d'informations qui permettrait :

- d'évaluer et d'améliorer la qualité de prise en charge des arrêts cardiaques ainsi que les stratégies thérapeutiques mises en œuvre,
- de connaître l'impact des pratiques pour améliorer les chances de survie,
- d'adapter les programmes de formation (y compris à destination du grand public) pour répondre aux difficultés d'ordre pédagogique dans la définition des méthodes, des objectifs et des critères d'évaluation des formations dispensées [40].

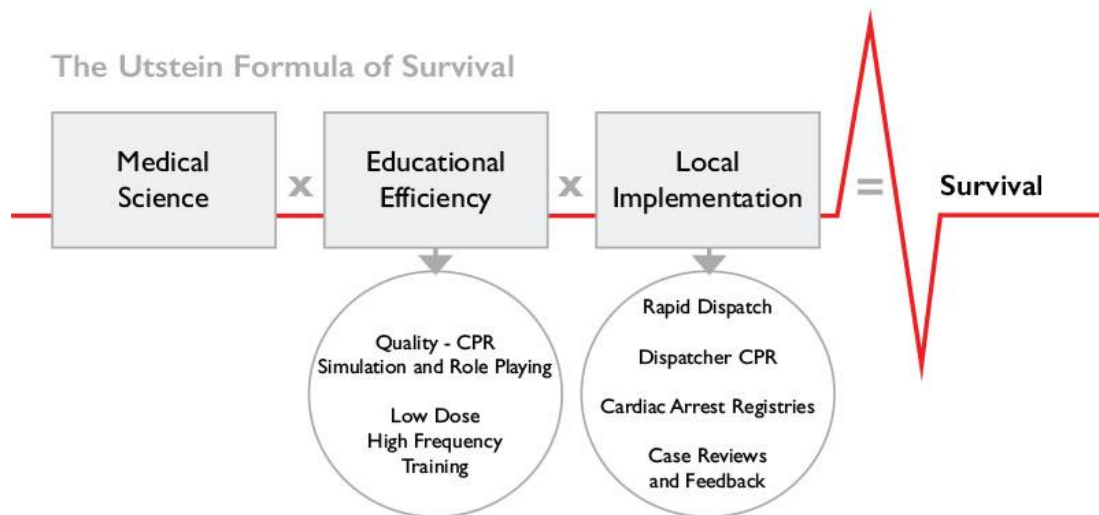
L'épidémiologie scientifique (notamment en termes de surveillance épidémiologique), l'Evaluation des Pratiques Professionnelles (EPP), la coopération entre les acteurs (« la survie à un arrêt cardiaque dépend (ant) de plusieurs interventions essentielles décrites dans la

chaîne de survie »), l'évaluation et l'amélioration de la qualité de la prise en charge des patients, se trouvent ainsi placées au cœur des objectifs fixés par ses fondateurs au registre national français [40].

Suivant la conception du style d'Utstein, les promoteurs de RéAC se sont inscrits dès l'origine dans une perspective d'amélioration de la survie fondée sur les trois piliers que sont la science médicale, l'efficacité des programmes de formation, une forte implémentation locale (**Figure 46**).

Figure 46 : Survie – La formule d'Utstein

(Source : Global Resuscitation Alliance – 2018)

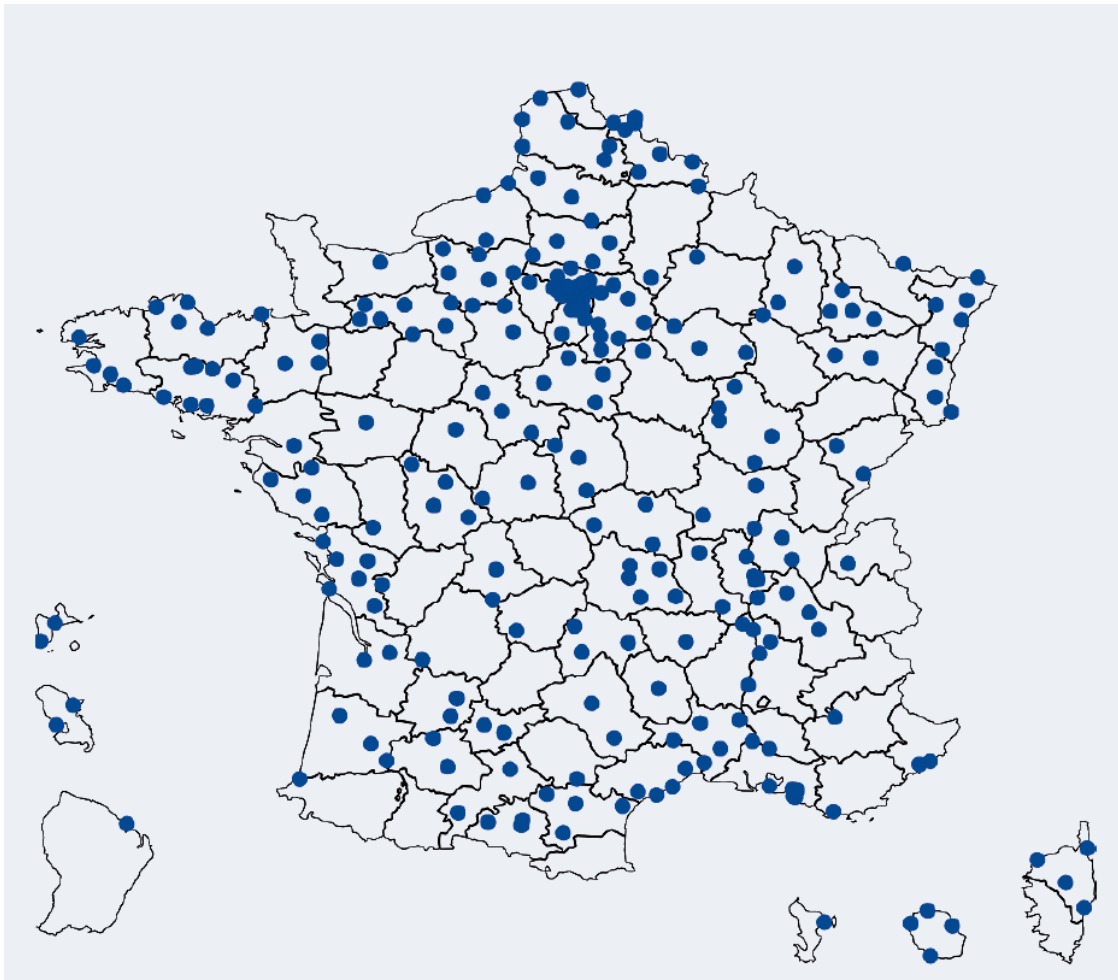


Sept ans après sa création, sous l'égide du Président de son Conseil d'Administration (le Professeur Hervé Hubert) et du Président de son Conseil Scientifique (le Professeur Jean-Yves Gueugniaud), RéAC est devenu le plus important registre des arrêts cardiaques en Europe (environ 100.000 arrêts cardiaques recensés) et participe activement aux travaux de l'European Registry Cardiac Arrest (EuReCA) en tant que membre fondateur de cette fédération européenne.

Son déploiement au plan national a pu être réalisé grâce à la participation volontaire des SAMU et SMUR garantissant un recueil exhaustif des arrêts cardiaques pris en charge sur l'ensemble du territoire français (métropole et DOM-TOM). Au premier semestre 2018, on

dénombrait 94 SAMU et 286 SMUR participants, soit plus de 90 % des centres d'urgence français, témoignant de l'importance de l'implémentation locale de RéAC (**Figure 47**).

Figure 47 : Répartition géographique des SAMU et SMUR participant au registre RéAC (Source : RéAC)



Initialement consacré aux arrêts cardiaques extrahospitaliers, RéAC développe depuis 2017 une expérimentation en vue d'étendre son domaine d'action aux arrêts cardiaques intra-hospitaliers, conformément aux recommandations de 2004 de l'ILCOR [1, 8].

Notre travail de thèse portera uniquement sur les arrêts cardiaques extrahospitaliers, en tant que fondement des registres - et de RéAC - depuis leur origine. Les deux catégories d'arrêts cardiaques présentent en effet des caractéristiques très différentes par nature, à la fois du point de vue de la pathogenèse et du système de prise en charge, ce qui justifie d'ailleurs une collecte différenciée dans le cadre des registres lorsqu'ils recueillent les données épidémiologiques relatifs aux arrêts cardiaques intra-hospitaliers [1].

a. Le recueil de données relatives aux arrêts cardiaques extrahospitaliers dans RéAC

Le recueil de données est organisé à partir d'une fiche d'observation médicale de l'arrêt cardiaque et le cas échéant d'une fiche de suivi du patient hospitalisé post-arrêt cardiaque (à J + 30) (Annexe 3). SAMU, SMUR et services d'hospitalisation sont donc impliqués dans ce recueil des données qui est structuré en 6 rubriques principales :

- Les caractéristiques du patient
- Les délais de prise en charge
- L'anamnèse et les premiers gestes réalisés (témoin ou secours professionnalisés)
- La prise en charge médicale
- Le devenir immédiat et le transport
- L'admission hospitalière

Pour ce qui est du suivi à J+30, le recueil porte sur :

- La cause de l'arrêt cardiaque
- L'évaluation de la performance cérébrale à la sortie ou avant le décès
- Le constat d'une hypothermie ou non au cours des premières 24 heures
- La pose ou non d'un défibrillateur implantable
- La destination du patient s'il est vivant à la sortie du service de réanimation, ou en cas de décès, le contexte de ce dernier
- L'existence ou non d'un protocole de réanimation

Afin de simplifier l'utilisation de cette base de données et augmenter l'adhésion des professionnels, RéAC intègre des outils d'analyse statistique entièrement automatisés permettant une exploitation simplifiée de ces données. Enfin RéAC a pour ambition de devenir un support essentiel à l'étude et aux recherches sur la thématique de l'arrêt cardiaque, conformément à l'objectif annoncé dès sa création par ses fondateurs d'ériger ce registre en « banque française de données épidémiologiques ».

b. Le programme d'études de RéAC

De nombreuses études ont d'ores et déjà été publiées à partir des données de RéAC. Les résultats de certaines d'entre elles ont fait l'objet d'une présentation pour ce qui a trait à l'épidémiologie des arrêts cardiaques dans les paragraphes précédents [4, 5, 20, 40, 56, 57, 137, 223-225]. Le programme d'études de RéAC vise à une amélioration de la connaissance des arrêts cardiaques extra et intra-hospitaliers à toutes les étapes de la chaîne de survie, mais également à mieux appréhender les facteurs prédictifs des arrêts cardiaques et leur incidence. En ce sens il a vocation à être le support d'autres types d'études, notamment d'évaluations et d'essais cliniques. Ces derniers ne peuvent en effet être considérés à eux seuls comme des instruments d'amélioration continue de la qualité des prises en charge [212] ni de management d'une problématique de santé publique comme peuvent l'être des registres offrant une stabilité dans le temps et une perspective longitudinale [226]. En fait de support, RéAC offre également la possibilité d'une extension en tant que recueil de données, et ce dans le strict respect du style d'Utstein. Cela étant à la stratégie d'intégration de nouvelles données (variables) vient s'ajouter l'option d'un enrichissement à partir de données provenant d'autres recueils d'informations ou enquêtes. A cet égard l'exploitation des données du PMSI peut offrir des possibilités intéressantes notamment d'un point de vue de prise en charge intra-hospitalière, de même qu'une proposition d'adaptation de l'enquête de coûts « soins critiques – urgences » réalisée par l'ATIH pourrait permettre de mieux appréhender l'activité des SMUR en matière de prise en charge des arrêts cardiaques.

Les travaux réalisés à partir des données des registres n'en sont encore qu'à leur début mais constituent d'ores et déjà un progrès notable en matière de connaissance des arrêts cardiaques. A l'occasion de la dernière actualisation du style d'Utstein, Perkins et al. ont mis en évidence la diversité des publications réalisées à ce jour constatant qu'elles portaient pour un tiers d'entre elles sur l'épidémiologie des arrêts cardiaques, pour un autre tiers sur la chaîne de survie, pour le dernier tiers sur des questions méthodologiques et l'amélioration continue de la qualité. Force est de constater qu'au regard des moyens mis en œuvre les progrès en matière de survie demeurent relativement faibles et la mortalité très élevée. Les processus

d'actualisation du style d'Utstein ont bien été l'occasion de rappeler régulièrement que l'objectif de la tenue d'un registre des arrêts cardiaques est d'améliorer la survie tout en limitant les conséquences neurologiques. La dernière révision a mis l'accent sur la nécessité – notamment - d'améliorer certains facteurs de prise en charge par les services d'urgence, de développer la mise à disposition de défibrillateurs, d'accorder une importance particulière aux soins post-réanimation, ..., mais également de porter une attention particulière aux données et tendances épidémiologiques [8]. Dans le cadre de la révision précédente, Jacobs et al. [7] avaient également insisté sur la nécessité d'ouvrir la réflexion en matière de facteurs de risques. Parmi ces derniers figurent les facteurs socio-économiques, auxquels nous allons accorder une attention particulière. Or les registres des arrêts cardiaques n'intègrent pas ce type de données à ce jour.

2. Une limite des registres : l'absence de données socio-économiques

Comme nous l'avons exposé plus haut, la littérature – même si les publications sont peu nombreuses en la matière – souligne l'importance des facteurs socio-économiques dans l'épidémiologie des arrêts cardiaques, considérant à tout le moins qu'il s'agit d'un domaine d'investigation à privilégier.

Dès 1991 et les premières recommandations relatives au style d'Utstein, la Task Force de l'ILCOR préconisait d'introduire dans le recueil d'informations des variables « supplémentaires » dont certaines relatives au statut socio-économique telles que le niveau d'éducation ou de pauvreté [6] (**Figure 48**).

Figure 48 : Les variables « supplémentaires » dans les recommandations du modèle d'Utstein de 1991 au titre de la description de la population

(Source : Cummins et al. - 1991)

- Genre : pourcentages d'hommes et de femmes dans la population totale
- Niveau d'éducation : niveau moyen d'éducation ou pourcentage de personnes total population poursuivant leurs études au-delà de l'âge limite en matière d'instruction obligatoire, ou les deux
- Statut socio-économique : pourcentage de personnes vivant en deçà du seuil de pauvreté (la définition du seuil de pauvreté devant être précisée)
- Age : par tranche d'âge, l'âge moyen en tant que donnée s'avérant être peu utile ; le pourcentage de la population devant être indiqué pour chacune des tranches d'âge suivantes : 0-12 mois, 1-4 ans, 5-14 ans, 15-24 ans, 25-34 ans, 35-44 ans, 45-54 ans, 55-64 ans, 65-74 ans, 75-84 ans, et plus de 85 ans
- Nombre total de décès par an au sein de la population considérée
- Pourcentage de décès attribuables à une pathologie ischémique ou coronarienne (codes 410-414 de la Classification Internationale des Maladies)
- Nombre de décès toutes causes confondues pour 100.000 habitants
- Nombre de décès pour 100.000 habitants et pour les codes 410-414 respectivement pour les femmes et les hommes de 55 à 64 ans
- Nombre total de personnes qui dans le territoire couvert par le système d'urgence (American Heart Association ou Croix Rouge) ont bénéficié d'une formation complète à la RCP au cours de l'année passée, et au cours des cinq dernières années
- Pourcentage d'arrêts cardiaques pour lesquels les témoins ont engagé une RCP

Dans le cadre d'une approche « systémique » l'accent était donc mis d'emblée sur la nécessité d'accorder sur le plan de la connaissance épidémiologique une importance particulière à la description de la population desservie dans le style d'Utstein [6]. D'autres auteurs tels Morrison

et al. [215] ont plus tard renouvelé cette proposition en préconisant d'intégrer des données socio-économiques au sein des registres nord-américains.

Force est de constater que les recommandations les plus récentes sont en net retrait au regard de ces préconisations, et qu'aucun des registres évoqués plus haut – y compris RéAC – ne recueille d'informations de nature socio-économique à ce jour. Ceci ne doit toutefois pas pour autant être interprété comme une manifestation de désintérêt, mais résulte de la réalisation d'un arbitrage collectif entre enrichissement souhaitable du recueil d'informations et capacité à gérer la complexité de dernier. A défaut de pouvoir disposer à ce jour de données socio-économiques individuelles dans le cadre d'un registre, une approche collective - qualifiée d'« écologique » - demeure envisageable grâce aux données statistiques disponibles au niveau territorial.

Il s'agit d'ailleurs de la seule approche envisageable dès lors que les autres bases institutionnelles existantes et dont nous avons vu les limites – CépiDc et le PMSI – ne contiennent pas de données socio-économiques exploitables :

- CépiDc ne contient pas de données socio-économiques à l'exception d'une information sur la profession du défunt contenue dans l'acte de décès. Or le Haut Conseil de la Santé Publique souligne dans l'un de ses rapports consacré aux inégalités sociales que « la PCS (profession et catégorie socio-professionnelle) déclarée aujourd'hui sur le bulletin d'état civil de décès est très peu exploitée pour plusieurs raisons : elle fournit peu d'information sur la dernière profession des inactifs (dont les retraités), n'a pas d'homogénéité avec la déclaration faite au recensement (biais numérateur / dénominateur), est susceptible d'être influencée par la maladie ayant mené au décès » [227],
- Pour ce qui est du PMSI, nous constatons l'absence de données socio-économiques en dépit de l'existence de la CMD 23 « facteurs influant sur l'état de santé et autres motifs de recours aux services de santé ». Une analyse des statistiques relatives à cette CMD 23 ne permet en effet pas d'identifier l'arrêt cardiaque parmi les diagnostics associés. Seuls les « décès sans témoin » (code R 98 de la CIM 10) et les « autres

causes de mortalité non identifiées » (code R 99 de la CIM 10) figurent au nombre des « diagnostics d'entrée » de la CMD 23. Cependant comme cela est souligné dans le volume 2 du Manuel des GHM⁷, la CMD 23 comprend la plupart des codes Z du chapitre XXI de la CIM « facteurs influant sur l'état de santé et motifs de recours aux services de santé » mais peu de codes des autres chapitres, et en l'occurrence aucun de ceux relatifs à l'arrêt cardiaque et figurant au chapitre IX de cette classification. Ces codes (diagnostics d'entrée dans la CMD 23) constituent autant d'informations sur les conditions auxquelles le patient hospitalisé se trouve être exposé notamment en matière de facteurs environnementaux et de risques professionnels, mais aussi sur sa situation en matière d'emploi (chômage, risques psychosociaux par exemple), de niveau d'éducation ou de logement. Toutefois, il s'agit là d'éléments de diagnostics d'entrée dans un CMD particulière, conçue pour décrire des activités « soit à la limite du champ MCO, soit à la limite de l'hospitalisation », et le PMSI, de ce point de vue, ne peut être considéré comme un outil permettant de se livrer à un examen du lien entre des facteurs (socio-économiques notamment) influant sur l'état de santé des patients hospitalisés et l'activité hospitalière.

L'importance du statut socio-économique est très largement reconnue en matière de mortalité cardio-vasculaire. Une littérature bien moins abondante laisse à penser qu'il en est de même en matière d'incidence et de survie pour ce qui a trait aux arrêts cardiaques. Les membres de la Task Force de l'ILCOR dès 1991, les auteurs de travaux que nous avons pu évoquer dans cette première partie, ont préconisé, voire investigué un domaine de recherche visant à considérer les arrêts cardiaques sous l'angle des inégalités sociales et territoriales.

C'est cette voie que nous allons emprunter en examinant le lien entre incidence des arrêts cardiaques et facteurs de risques de nature socio-économique. Le lien entre incidence et survie est complexe, comme nous l'avons vu. Nous faisons ici le choix de privilégier l'incidence, sans que cela soit au détriment de la survie. Cette approche nous permettra

⁷ Ministère de la Santé, Manuel des GHM, Volume 1, 2018.

d'identifier d'éventuelles inégalités qui ne seraient pas dues à une différence de moyens mis en œuvre ou à l'efficacité des services de secours. Suivant Gräsner et al. [210] au sujet des comparaisons et variations entre pays et régions d'Europe, l'épidémiologie des arrêts cardiaques ne saurait être exclusivement une épidémiologie de la « convergence ». Une convergence des pratiques est souhaitable et s'inscrit dans une démarche d'amélioration de la survie. Mais l'épidémiologie des arrêts cardiaques s'inscrit également dans une dynamique complexe caractérisée par la dispersion et la variation en matière d'incidence. Une approche par les inégalités semble donc adaptée à ce qui relève davantage et a priori d'une épidémiologie de la « dispersion ». Par ailleurs appréhender l'incidence dans cette perspective peut conduire à l'obtention d'une stratification pertinente des risques (laquelle peut alors contribuer à l'amélioration de la chaîne de survie par la prise en compte de caractéristiques populationnelles) ainsi qu'à l'élaboration de plans de prévention adaptés [25].

**Partie 2 : Impact du statut socio-économique sur l'incidence de
l'arrêt cardiaque : une analyse spatiale sur la région Ile-de-France**

Le lien entre l'incidence des arrêts cardiaques et les facteurs de risques socio-économiques constitue le thème de l'étude qui a été réalisée dans la présente thèse de doctorat et va être exposée dans cette seconde partie. Au regard d'inégalités qui peuvent être à la fois sociales et territoriales cette étude a été menée dans le cadre d'une analyse spatiale et plus précisément au moyen de l'implémentation de statistiques de scan.

Nous avons évoqué dans la première partie l'existence au plan international d'un certain nombre d'études portant sur le lien entre incidence des arrêts cardiaques et statut socio-économique. Parmi elles très peu ont donné lieu à la mise en œuvre de méthodes d'analyse spatiale. Onze études ont pu être identifiées comme s'inscrivant dans le cadre d'une approche territoriale [9-19]. Leurs auteurs n'ont eu recours aux techniques d'analyse spatiale que pour 8 d'entre elles [10, 11, 13, 14, 16-19], dont deux seulement ont donné lieu à la mise en œuvre de statistiques de scan [16, 19].

Dès lors qu'il n'existe à ce jour aucune étude appliquée à l'incidence des arrêts cardiaques fondée sur l'utilisation de ces statistiques en France, nous proposons de réaliser ici une analyse spatiale consistant à :

- dans un premier temps : évaluer la distribution spatiale de l'incidence des arrêts cardiaques à partir d'une approche Bayésienne (la plupart des études, parmi les huit évoquées ci-dessus, ayant emprunté cette voie)
- dans un deuxième temps : identifier des clusters (agrégats) de sous/sur incidence à partir de statistiques de scan
- dans un troisième temps : examiner les caractéristiques des groupes d'unités géographiques étudiées (en l'occurrence des groupes de communes) selon le niveau de l'incidence des arrêts cardiaques et au regard d'un certain nombre d'indicateurs socio-économiques.

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

L'objet de ce chapitre est d'exposer, après avoir évoqué l'organisation et la participation des structures d'aide médicale urgente, les conditions du choix des territoires (et unités géographiques) étudiés, d'une part, celles de la sélection des données issues de RéAC et d'un ensemble d'indicateurs socio-économiques, d'autre part. Les différentes méthodes d'analyse spatiale sont ensuite exposées afin de justifier le choix de celles qui ont été retenues dans le cadre de l'analyse statistique.

Cette étude bénéficie du statut de registre à visée d'évaluation médicale ne requérant pas le consentement du patient, la mise en place du Registre électronique des Arrêts Cardiaques ayant été approuvée par le Comité Consultatif sur le Traitement de l'Information en matière de Recherche dans le domaine de la Santé (CCTIRS) et la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL, Autorisation numéro 910946).

1. La collecte des données relatives aux patients au sein de RéAC : organisation et participation des acteurs de l'aide médicale urgente

Les données relatives aux arrêts cardiaques sont issues du recueil d'information de style Utstein organisé dans le cadre du registre national français des arrêts cardiaques RéAC.

Ce registre est fondé sur la participation de « centres d'urgences » identifiés géographiquement : établissements de santé, Services d'Aide Médicale Urgente (SAMU) et Structures Mobiles d'Urgence et de Réanimation (SMUR). L'ensemble de ces centres d'urgence participent à l'organisation de l'aide médicale urgente et de l'urgence pré-hospitalière en France.

a. L'aide médicale urgente en France : une organisation à plusieurs niveaux

« L'aide médicale urgente a pour objet, en relation notamment avec les dispositifs communaux et départementaux d'organisation des secours, de faire assurer aux malades, blessés et parturientes, en quelque endroit qu'ils se trouvent, les soins d'urgence appropriés à leur état » article L 6311-1 du CSP).

Sur la base de cette définition, et par le biais des établissements de santé autorisés à ce titre (article L 6311-2 du CSP), les SAMU et les SMUR participent à l'organisation de l'aide médicale urgente :

- Les SAMU ont pour « mission de répondre par des moyens exclusivement médicaux aux situations d'urgence » et peuvent joindre « leurs moyens à ceux qui sont mis en œuvre par les services d'incendie et de secours » si la situation d'urgence le nécessite (article R 6311-1 du CSP)

A cet effet, les SAMU (article R 6311-2 du CSP) :

1° Assurent une écoute médicale permanente.

2° Déterminent et déclenchent, dans le délai le plus rapide, la réponse la mieux adaptée à la nature des appels.

3° S'assurent de la disponibilité des moyens d'hospitalisation publics ou privés adaptés à l'état du patient, compte tenu du respect du libre choix, et font préparer son accueil.

4° Organisent, le cas échéant, le transport dans un établissement public ou privé en faisant appel à un service public ou à une entreprise privée de transports sanitaires.

5° Veillent à l'admission du patient.

- Les SMUR ont quant à eux pour missions (article R 6123-15 du CSP) :

1° D'assurer, en permanence, en tous lieux et prioritairement hors de l'établissement de santé auquel ils sont rattachés, la prise en charge d'un patient dont l'état requiert de façon urgente une prise en charge médicale et de réanimation, et, le cas échéant, et après régulation par le SAMU, le transport de ce patient vers un établissement de santé.

2° D'assurer le transfert entre deux établissements de santé d'un patient nécessitant une prise en charge médicale pendant le trajet.

Pour l'exercice de ses missions, l'équipe d'intervention de la structure mobile d'urgence et de réanimation comprend un médecin. Un SMUR autorisé doit en effet respecter un certain nombre de conditions techniques de fonctionnement (cf. notamment les articles D 6124-12, 13, 14 et 16 du code de la santé publique), parmi lesquelles des conditions relatives à la

composition de l'équipe d'intervention. Cette équipe « comprend au moins un médecin, un infirmier et un conducteur ou pilote », et « le médecin régulateur de la structure d'aide médicale urgente adapte, le cas échéant en tenant compte des indications données par le médecin présent auprès du patient, la composition de l'équipe d'intervention aux besoins du patient », l'équipe d'intervention pouvant être limitée à deux personnes, dont le médecin, en cas de transfert inter-hospitalier. Enfin, l'implantation des SMUR doit permettre d'assurer la couverture de l'ensemble du territoire concerné par le schéma d'organisation des soins d'une région (article R 6123-14 du CSP).

Les SAMU déclenchent et coordonnent les interventions des SMUR et des antennes des SMUR, l'équipe mobile du SMUR (ou de l'antenne) devant « informer à tout moment le SAMU du déroulement de l'intervention en cours » (article R 6123-16 du CSP). Les modalités de coopération entre les SAMU et SMUR font notamment l'objet d'une convention dans le cadre de réseaux de prise en charge des urgences (articles R 6123-26 à 32 du CSP).

Il convient également de souligner le rôle joué par les médecins correspondants du SAMU dans les territoires où le temps d'accès à une prise en charge en urgence est supérieur à 30 minutes, ces médecins intervenant dans l'attente du SMUR sur demande de la régulation médicale.

Les missions et actions des SAMU et SMUR s'inscrivent par ailleurs dans un modèle organisationnel à deux niveaux associant d'autres dispositifs de secours (comme cela est mentionné dans la définition juridique de l'aide médicale urgente) : un premier niveau d'intervention des services d'incendie et de secours (ainsi que de la brigade des sapeurs-pompier de Paris en Ile-de-France), un second niveau d'intervention de l'aide médicale urgente [228].

Ce modèle a fait l'objet d'un référentiel commun d'organisation des secours à personne et de l'aide médicale urgente. Ce référentiel a été élaboré à l'initiative d'un comité quadripartite composé de représentants des structures de médecine d'urgence, des services d'incendie et de secours, de la direction de la défense et de la sécurité civile (DDSC) et de la direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins (DHOS). Réalisé en 2008, initialement publié en

avril 2009, ce référentiel a été actualisé par arrêté ministériel du 5 juin 2015. Cet arrêté du 5 juin 2015 marque une étape importante du point de vue de la prise en charge des arrêts cardiaques. La nouvelle doctrine en matière d'organisation des secours et soins urgents accorde en effet une place particulière aux arrêts cardiaques à la suite d'une évaluation de la version précédente du référentiel réalisée par l'Inspection générale des affaires sociales (IGAS) et l'Inspection Générale de l'Administration (IGA)⁸

L'arrêté du 5 juin 2015 portant modification de l'annexe I et de l'annexe VI du référentiel commun d'organisation du secours à personne et de l'aide médicale urgente du 25 juin 2008 prévoit ainsi que l'arrêt cardiaque et la mort subite :

- relèvent désormais des « situations cliniques particulières » inscrites au nombre des « motifs de départ réflexe des moyens des services d'incendie et de secours (SIS) » (de même pour les « circonstances particulières », entre autres, que sont la noyade, la pendaison, l'électrisation et le foudroiement)
- sont insérés dans la « liste des situations cliniques pouvant faire l'objet de l'initiation d'un protocole infirmier de soins d'urgence (PISU) par un infirmier sapeur-pompier, jusqu'à l'intervention d'un médecin ».

Sur ce dernier point la circulaire interministérielle DGOS/R2/DGSCGC no 2015-190 du 5 juin 2015 précise d'ailleurs :

- qu' « un infirmier peut, avant l'intervention d'un médecin et sous certaines conditions, initier des protocoles infirmiers de soins d'urgence (PISU) en raison du bénéfice attendu pour le patient d'une réponse urgente et formalisée jusqu'à l'intervention d'un médecin (art. R. 4311-14 alinéa premier du code de la santé publique) », sans que cela s'inscrive dans le cadre d'une démarche dite de « coopération entre professionnels de santé » ayant pour objet « d'opérer entre eux des transferts

⁸ Benevise F, Delaporte S, Becq-Giraudon M. Evaluation de l'application du référentiel d'organisation du secours à personne et de l'aide médicale urgente. Rapport Définitif. Inspection Générale des Affaires Sociales – Inspection Générale de l'Administration. IGAS, RAPPORT N° 2013-182R/ IGA N°14063-13128-01. Juin 2014

d'activités ou d'actes de soins » ou ayant pour objet « de réorganiser leurs modes d'intervention auprès du patient » (art. L. 4011-1 du code de la santé publique)

- que de tels actes doivent être distingués de ceux réalisables par un infirmier sapeur-pompier sur prescription préalable d'un médecin régulateur du SAMU, actes qui peuvent entrer dans le cadre de la télémédecine et qui, mettant en rapport ce médecin régulateur et l'infirmier sapeur-pompier, ont vocation « à être validés en amont conjointement par le chef de service du SAMU et le médecin-chef du SIS et être conformes aux recommandations des sociétés savantes concernées, notamment celles émises par la Société française de médecine d'urgence (SFMU) ».

b. La médecine d'urgence en (Ile de) France

Dans la dernière livraison de son panorama des établissements de santé⁹, la DREES recensait en 2016 (données France entière) :

- 719 structures d'urgences (641 établissements de santé disposant d'une autorisation à ce titre) qui ont réalisé une activité de 21 millions de passages (en hausse de + 3,5 % par rapport à 2015 ; le nombre de passages était de 10.1 millions en 1996)
- 103 SAMU en charge de la régulation médicale, du déclenchement et de la coordination des interventions des SMUR
- 399 SMUR qui assurent la prise en charge et les transports

Pour ce qui est de l'Ile de France, on recense (données issues du Projet Régional de Santé 2018-2022) :

- 122 établissements (sites) autorisés (16 à Paris, 17 dans le département 77, 15 dans le 78 et le 91, 16 dans le 92, 17 dans le 93, 13 dans le 94 et le 95)
- 8 SAMU (1 par département)
- 41 SMUR (6 à Paris, 8 dans le 77, 5 dans le 78, 6 dans le 91, 3 dans le 92, 5 dans le 93, 2 dans le 94, 6 dans le 95)

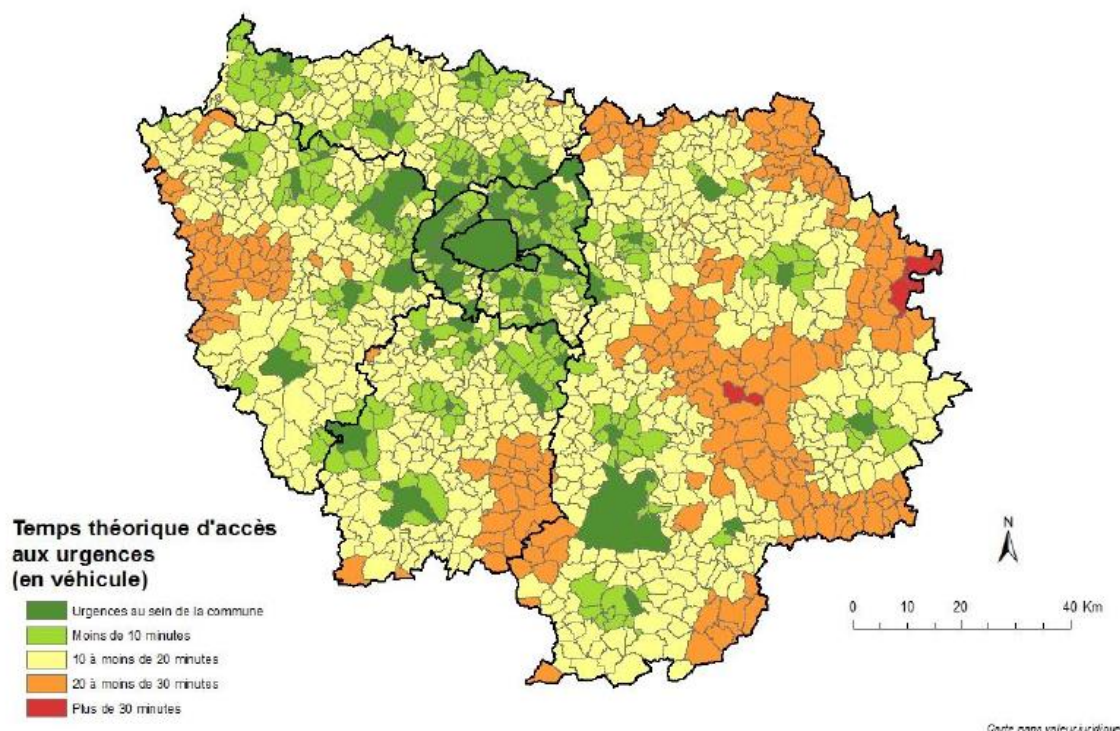
⁹ Panorama des établissements de santé, DREES, 2018.

L'Ile-de-France fait partie des régions bénéficiant d'une bonne couverture régionale avec un temps d'accès inférieur à 30 minutes pour l'ensemble de la région. Pour ce qui est des départements de la « Petite Couronne » en particulier, objets de la présente étude, ce temps d'accès est inférieur à 20 minutes, et même à 10 minutes pour une grande majorité des communes concernées (**Figure 49**).

Quant à l'accessibilité à un SMUR, le temps d'intervention s'inscrit dans un délai de 20 minutes pour 80 % de la population de la région (Projet Régional de Santé 2013-2017).

Figure 49 : Temps d'accès aux urgences en Ile-de-France

(Sources : BDTOP0 Ile-de-France, INSEE et ARSIF)



Les structures d'urgences d'Ile-de-France représentent en termes d'activité environ 4 millions de passages et 100.000 interventions SMUR.

c. La participation au recueil d'informations dans le cadre de RéAC

A ce jour 94 SAMU (sur 103) participent au recueil d'informations au plan national dans le cadre de RéAC. A ces centres d'urgences qui, outre leur mission de régulation, assurent également le déclenchement et la coordination des SMUR, il convient d'ajouter 286 SMUR participants.

En tant que registre, RéAC organise le recueil d'informations à partir d'un questionnaire intégrant les variables de base mais également des variables supplémentaires préconisées par les recommandations internationales relatives au style d'Utstein [8]. Par ailleurs, un second questionnaire, complémentaire, est renseigné par les services participants dans le cadre du suivi à 30 jours des patients ayant survécu à un arrêt cardiaque après leur admission dans un établissement hospitalier. Les données sont saisies par le médecin de l'équipe du SMUR, le cas échéant avec l'assistance d'un(e) infirmier(e), d'un(e) secrétaire ou d'un(e) attaché(e) de recherche clinique [4] (Annexe 3). Un dispositif de contrôle de la qualité des données est mis en œuvre en temps réel lors de leur saisie en ligne afin de détecter d'éventuelles erreurs, incohérences ou informations aberrantes. Une série de tests est également réalisée hors connexion au registre afin de détecter d'autres types d'erreurs pouvant nécessiter l'engagement d'une procédure de vérification par l'équipe du SMUR. Enfin des enregistrements sélectionnés aléatoirement sont analysés par un attaché de recherche clinique afin d'identifier des incohérences ou erreurs de nature à faire évoluer les tests automatisés dans le cadre d'une amélioration du contrôle qualité.

Au regard de l'objet de la présente étude, il convient de préciser que RéAC inclut les données relatives à l'ensemble des arrêts cardiaques extrahospitaliers, et ce quels que soient leur étiologie ou l'âge des patients, dès lors que ces arrêts cardiaques ont été constatés par un service d'urgence.

Grâce à la participation des SAMU et SMUR, le registre RéAC a pu recueillir les données relatives à près de 100.000 arrêts cardiaques extrahospitaliers depuis le début de son déploiement au plan national en 2012.

2. Constitution de la base de données : la sélection des variables

Le territoire francilien a été retenu comme cadre de la présente étude au regard de ses spécificités, et plus particulièrement de l'existence de fortes inégalités sociales et territoriales en Ile de France, région considérée comme très « inégalitaire ».

Trois départements ont été sélectionnés en particulier, constituant la « Petite Couronne » : les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis ainsi que le Val-de-Marne. Composantes essentielles

(avec la Ville de Paris et quelques communes limitrophes) d'une grande Métropole, ces trois départements constituent un terrain d'étude privilégié, par leur diversité, leur densité de population mais également au regard de la qualité et de l'exhaustivité du recueil de données en matière d'arrêt cardiaque.

Le choix de la région Ile-de-France nous permet par ailleurs de disposer de données relatives à un indice régional de défaveur sociale (« deprivation index »), auquel nous ajouterons un certain nombre d'indicateurs socio-économiques dans le cadre de l'analyse statistique.

a. Le choix de la région Ile de France

i. Spécificités franciliennes

La région Ile-de-France présente certaines caractéristiques qui en font une région spécifique au-delà de sa qualité de région « capitale ».

Elle représente en effet :

- 18 % de la population française (12.1 millions d'habitants pour un total de 67.2 millions d'habitants « France entière » au 1^{er} janvier 2018) vivant sur 2 % du territoire national (la densité de population étant 8 fois supérieure à la moyenne nationale), avec une croissance démographique concentrée sur une portion de ce territoire (50 % de la croissance démographique régionale concentrée dans un rayon de 20 kilomètres autour de Paris entre 1991 et 2010, soit essentiellement sur l'ensemble Paris-Petite Couronne)
- Plus de 30 % du PIB national
- 40 % des capacités de recherche
- La première destination touristique dans notre pays qui est lui-même la première destination mondiale en ce domaine

Les contours de la région Ile-de-France n'ont pas été modifiés par la récente réforme territoriale. En application de la loi n°2015-29 du 16 janvier 2015 relative à la délimitation des régions, et depuis le 1^{er} janvier 2016, l'Ile-de-France compte parmi les 13 régions métropolitaines (au lieu de 22 précédemment) auxquelles viennent s'ajouter les cinq régions (ou collectivités uniques) ultramarines composant le paysage administratif français.

Une mise en perspective historique permet de présenter cette évolution comme l'aboutissement d'un long processus et témoigne de la reconnaissance de l'importance de la région Ile-de-France sur le plan socio-économique. Ainsi en 1961, la CEE avait été à l'origine d'une délimitation géographique, fondée sur trois critères : l'influence des principales agglomérations, les migrations interrégionales, le regroupement de régions existant préalablement dans chaque pays (21 en France dites de « programme »). A défaut de pouvoir délimiter les nouvelles régions sur la base des données et techniques statistiques disponibles, neuf « grandes régions socio-économiques » avaient alors été identifiées pour la France, dont « Paris » pour désigner la région Ile de France. Le Commissariat Général au plan, dans le même temps, avait pour sa part défini un découpage en trois régions, dont la « région parisienne ». Quelques années plus tard, dans le cadre du VIème Plan, l'INSEE mettait en place un découpage en huit « Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire » (ZEAT), dont une pour la région parisienne, découpage faisant référence à la notion de « métropole d'équilibre »¹⁰.

Sur le plan du découpage géographique en vigueur la France compte 101 départements (95 en France métropolitaine), dont 8 en région Ile-de-France (**Figure 50**) :

- Paris (près de 2.2 millions d'habitants au 1^{er} janvier 2018)
- trois départements composant la « petite couronne » : départements des Hauts de Seine (92), de Seine-Saint-Denis (93) et du Val de Marne (94) (soit près de 4.7 millions d'habitants pour cet ensemble au 1^{er} janvier 2018)
- quatre départements composant la « grande couronne » : départements de Seine-et-Marne (77), des Yvelines (78), de l'Essonne (91) et du Val d'Oise (95)

¹⁰ INSEE. Les huit zones d'études et d'aménagement du territoire. Economie et Statistique. 1969 ; 5(1) : 45-8.

Figure 50 : La Région Ile-de-France et ses huit départements (Source : IAURIF)



L'Ile-de-France est par ailleurs caractérisée par de fortes inégalités sur le plan sanitaire, environnemental et social.

ii. Un bon état de santé mais de fortes inégalités

L'Observatoire Régional de la Santé d'Ile-de-France souligne le fait qu'en dépit d'un « état de santé globalement bon (...) au regard de grands indicateurs comme la mortalité ou l'espérance de vie » par rapport aux autres régions de France, l'Ile-de-France doit faire face à une problématique d'inégalités de santé ainsi qu'à des enjeux de santé publique spécifiques¹¹.

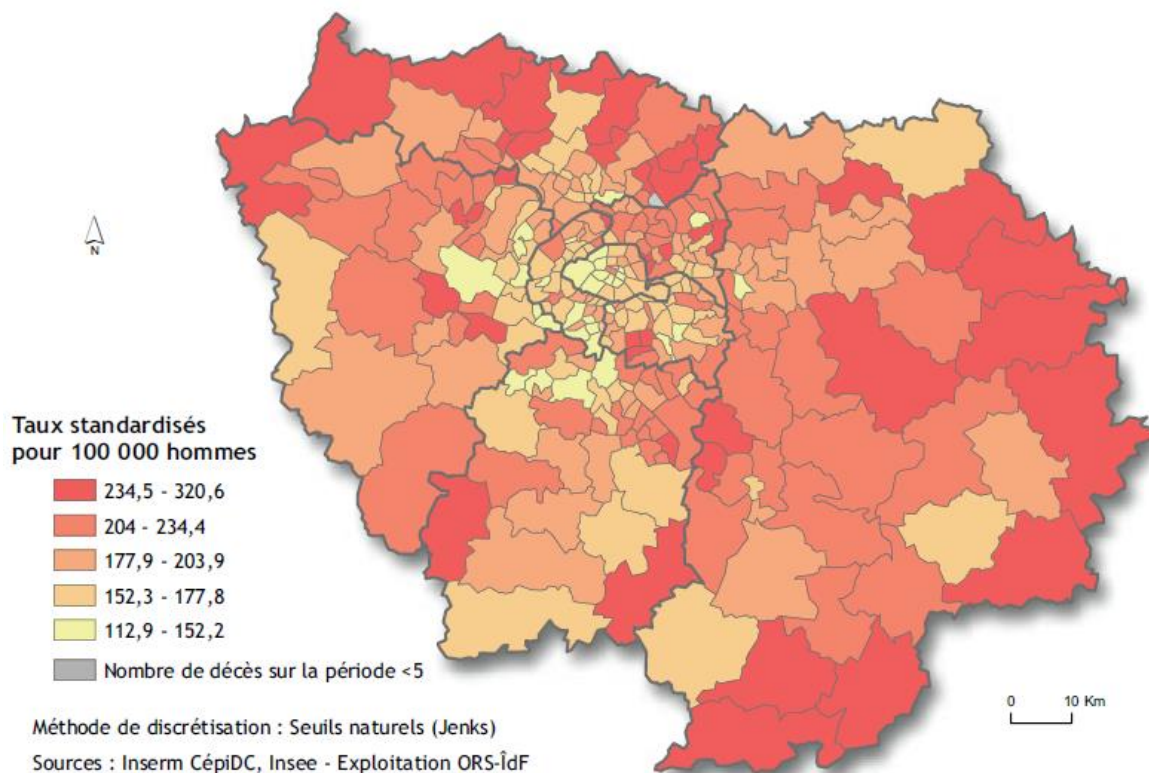
Les deux premières causes de mortalité au plan national, les cancers et les maladies cardiovasculaires, sont également les premières causes de mortalité au plan régional. En ce qui concerne les maladies cardiovasculaires, les taux de mortalité standardisés s'élèvent en moyenne à 183.6/100.000 pour les hommes et 116.4 pour les femmes. Avec de fortes disparités territoriales pour les deux sexes. Pour les hommes le taux de mortalité s'élève ainsi

¹¹ ORS. Repères sur la santé en Ile de France. 2015.

à 159.3/100.000 à Paris, mais à 172.4 dans les Hauts-de-Seine et 180.3 dans le Val-de-Marne, mais il atteint 200.2/100.000 en Seine-Saint-Denis et même 210.9 en Seine-et-Marne. Cela étant l'ORS insiste sur des « disparités infra-départementales très marquées » comme on peut le constater (**Figure 51**).

Figure 51 : Maladies cardio-vasculaires - Disparités infra-départementales en Ile-de-France (Source : ORS – 2015)

Taux standardisés de mortalité pour maladies cardio-vasculaires chez les hommes sur la période 2007-2010 par pseudo-canton et département



En termes d'enjeux de santé publique le VIH, la tuberculose, les hépatites ainsi que les addictions sont sur-représentés en région Ile de France où la prévalence du diabète, supérieure à la moyenne nationale, présente également de fortes disparités. Ainsi le taux de prévalence du diabète est de l'ordre de 7 % en Seine-Saint-Denis, pour un taux régional inférieur à 5 % (en 2012 ; 3.6 % en 2006).

La population francilienne subit également des « expositions environnementales multiples », qu'il s'agisse comme le souligne l'ORS des pollutions atmosphérique, liée au bruit, des sols, de l'air intérieur. Certaines pathologies liées à l'insalubrité, à mettre en lien avec un habitat dégradé et des taux de sur-occupation de loin supérieurs à la moyenne nationale, sont particulièrement représentées (tuberculose, saturnisme, intoxication au monoxyde de carbone, pathologies respiratoires) et peuvent être mises en lien avec de fortes inégalités sociales¹². Par ailleurs, Gueymard et Laruelle¹³ ont montré qu'il existe un lien étroit entre inégalités sociales et environnementales. Ainsi, à partir d'une analyse spatiale ayant permis d'identifier plus de 800 « points noirs environnementaux » (définis par le cumul d'au moins trois nuisances ou pollutions parmi les 5 suivantes : air, bruit, sol, eau, liée à l'activité industrielle) concentrés sur moins de 2 % du territoire francilien et 13 % de la population, Gueymard et Laruelle constatent une surreprésentation des bas revenus dans plus de la moitié de ces territoires (et dans 75 % « points noirs » cumulant quatre à 5 pollutions)

iii. Des inégalités sociales complexes à appréhender

Sur le plan socio-économique, et plus précisément des inégalités sociales et territoriales la situation peut paraître complexe voire contradictoire au premier abord :

- dans son rapport annuel de 2012 consacré aux inégalités sociales de santé, le Haut Conseil pour l'Avenir de l'Assurance Maladie, reprenant les résultats d'une étude de Rey et al.¹⁴, constatait que l'Ile-de-France était (avec la région Rhône-Alpes) la région la moins socialement défavorisée.

Rey et al. avaient en effet publié en 2011 les résultats d'une étude fondée sur l'utilisation d'un indice de « désavantage social » aux niveaux régional et cantonal (**Figure 52**). Cet indice, le FDEP 99, est défini comme étant la première composante d'une analyse en composantes principales réalisée à partir des quatre variables suivantes au niveau communal (une

¹² ORS. Repères sur la santé en Ile de France. 2015.

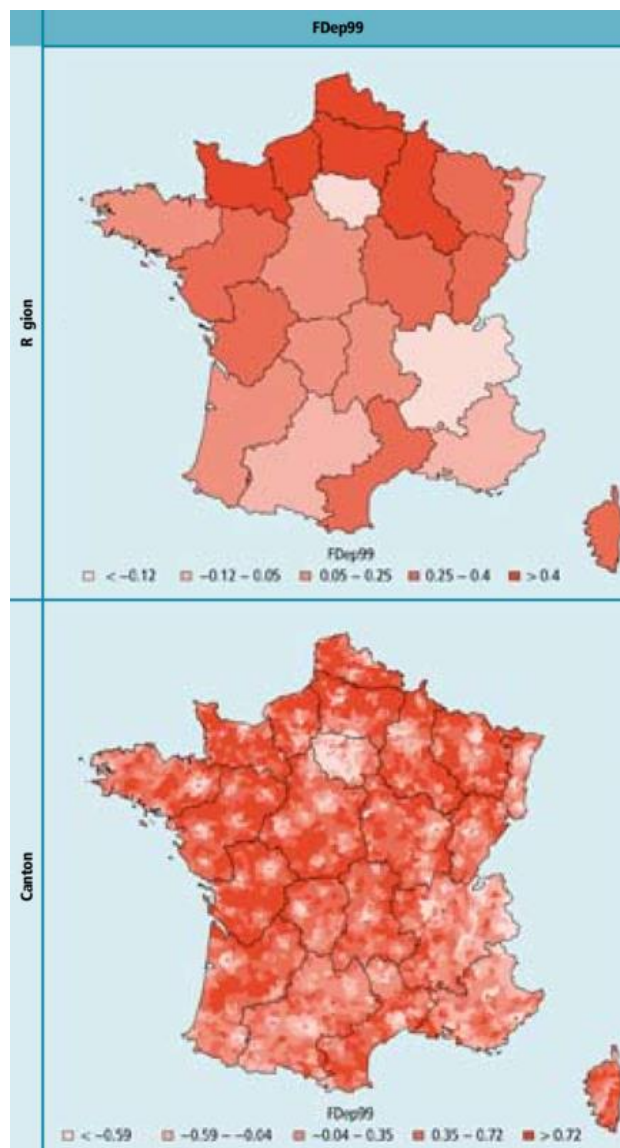
¹³ Gueymard S, Laruelle N. Inégalités environnementales et sociales sont étroitement liées en Ile de France. Institut d'Aménagement Urbain. Juin 2017.

¹⁴ Rey G, Rican S, Jouglu E. Mesure des inégalités de mortalité par cause de décès. Approche écologique à l'aide d'un indice de désavantage social. INVS. Bulletin épidémiologique hebdomadaire. 2011 ; 8-9

agrégation étant ensuite réalisée au niveau cantonal et régional) : le revenu médian par ménage, le pourcentage de bacheliers dans la population de plus de 15 ans, le pourcentage d'ouvriers dans la population active et le taux de chômage.

Figure 52 : Inégalités sociales de santé – Distribution spatiale de l'indice FDEP99

(Source : Rey et al. - 2011)



Cependant Bellidant et Martinez, dans une étude réalisée par l'INSEE en 2015¹⁵ constatent que si le revenu médian est le plus élevé de métropole en Ile-de-France, cette « région est également celle qui concentre les plus fortes disparités de niveaux de vie (...), ces inégalités

¹⁵ Bellidant J, Martinez C. Des disparités de niveaux de vie fortes à Paris et dans les Hauts-de-Seine. INSEE Flash Ile de France. 2015 ; 5.

se concentr(ant) au cœur de la région », autrement dit à Paris et en Petite Couronne, « en Grande Couronne, les disparités de revenus (étant) atténuées et les taux de pauvreté (...) plus faibles » (**Figure 53**).

Figure 53 : Disparités de niveaux de vie en Ile de France

(Source : Bellidanty et Martinez - 2015)

	Nombre de ménage fiscaux en 2012	Niveau de vie annuel			Rapport interdécile	Intensité de pauvreté (en %)	Taux de pauvreté (en %)
		Médiane (en euros)	1 ^{er} décile (en euros)	9 ^e décile (en euros)			
Paris	1 043 100	25 700	9 400	63 700	6,7	27,4	16,1
Hauts-de-Seine	670 300	25 500	11 100	55 400	5,0	23,6	11,8
Seine-Saint-Denis	560 400	16 600	8 000	32 200	4,0	24,7	26,9
Val-de-Marne	537 300	21 400	10 100	42 400	4,2	23,3	15,3
Seine-et-Marne	513 500	21 700	11 500	37 300	3,3	20,7	11,1
Yvelines	552 100	25 100	12 400	48 600	3,9	21,3	8,9
Essonne	477 900	22 600	11 100	40 600	3,7	22,5	12,0
Val-d'Oise	435 000	20 500	9 800	37 700	3,8	23,3	16,2
Ile-de-France	4 789 600	22 200	10 100	46 100	4,6	24,0	15,0
France métropolitaine	26 562 700	19 800	10 500	37 200	3,5	21,0	14,3
<i>France métropolitaine (ERFS 2012) (*)</i>	/	19 700	10 600	37 400	3,5	20,5	13,9

(*) Pour les indicateurs d'inégalité des niveaux de vie et de pauvreté en France métropolitaine, l'enquête sur les revenus fiscaux et sociaux (ERFS) reste la source de référence ; * / signifie que les informations ne sont pas disponibles à partir de l'ERFS 2012.

Sources : Insee-DGFiP-Cnaf-Cnav-CCMSA, Fichier localisé social et fiscal 2012 et ERFS 2012

Bellidanty et Martinez soulignent par ailleurs dans leur étude qu'avec un rapport inter-décile de près de 5, la région Ile-de-France précède de loin la deuxième région la plus inégalitaire, soit la région Rhône-Alpes.

Les conclusions de Bellidanty et al. sont également confortées par une analyse de la pauvreté. Ils constatent en effet que « 15 % des ménages franciliens disposent de moins de 990 euros par mois par UC contre 14 % au niveau national » mais que l'intensité de la pauvreté est « la plus élevée de France métropolitaine (...) la moitié des ménages pauvres franciliens vivant ainsi avec moins de 750 euros par mois par UC (unité de consommation) ».

Région la moins ou la plus défavorisée selon les critères pris en compte, Le Bras¹⁶ nous donne un important éclairage complémentaire :

- Le Bras offre la vision d'un paysage plus nuancé à partir d'un « indice général d'inégalité ». Cet indice synthétique est le fruit de la prise en compte de cinq « grands types d'inégalités » :
 - Educative (proportion de jeunes sans diplômes)

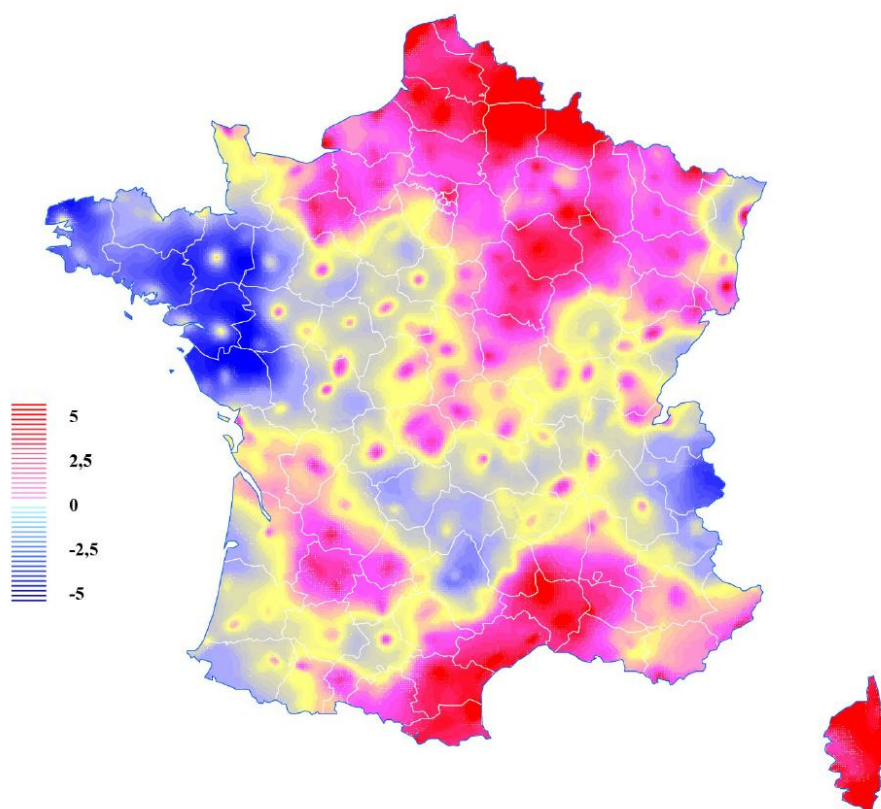
¹⁶ Le Bras H. L'inégalité et les inégalités. Institut Montparnasse. MGEN. Juin 2014.

- Au travail (proportion de jeunes chômeurs)
- Familiale (proportion de familles monoparentales)
- Pauvreté (revenu à partir duquel on trouve les 10 % des ménages les plus pauvres)
- Revenu (rapport inter-quintile)

Considérant que ces inégalités se renforcent les unes des autres, Le Bras procède à leur sommation après avoir réduit leur distribution à une distribution type suivant une loi de Gauss (centrée et réduite). Or les résultats obtenus par Le Bras témoignent du fait que l'Ile-de-France est bien une région marquée par les inégalités sociales (**Figure 54**).

Figure 54 : Inégalités sociales en France – L'indice général d'inégalité

(Source : Le Bras – 2014)



Cela étant, l'attention particulière accordée par Le Bras aux zones urbaines montre que la situation francilienne est particulièrement contrastée (**Figure 55**).

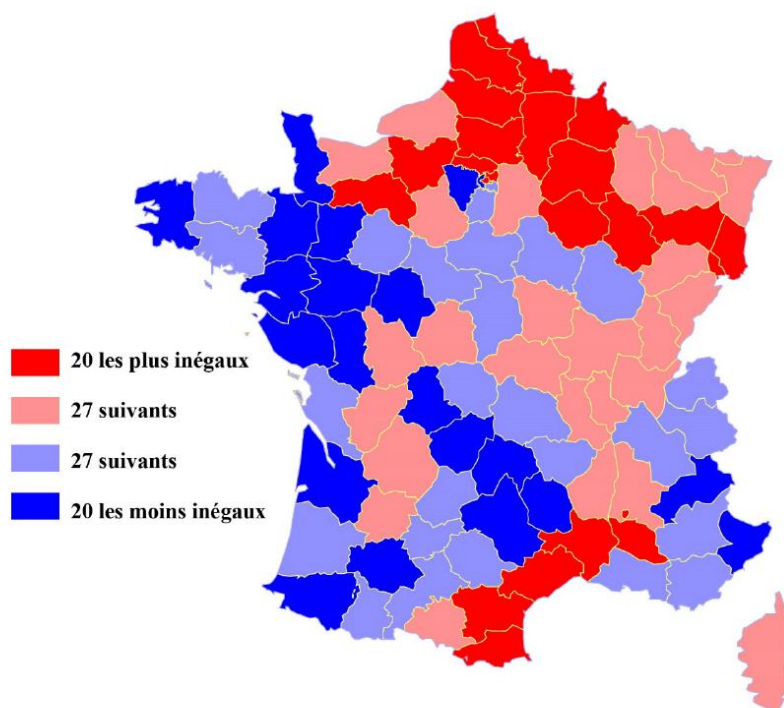
Mesurés en particulier sur la zone de forte concentration urbaine que constitue l'ensemble Paris – Petite Couronne, les résultats du calcul de l'indice général d'inégalité de Le Bras montrent que :

- Paris et la Seine-Saint-Denis figurent parmi les territoires les plus inégalitaires
- Les Hauts-de-Seine parmi les territoires les moins inégalitaires
- Le Val-de-Marne occupant une position intermédiaire

Enfin, Le Bras constate dans le cadre de ses travaux de recherche que « deux structures de l'inégalité se superposent (...) l'une métropolitaine et l'autre régionale », soulignant notamment de fortes différences entre cantons selon la proximité ou non d'une grande agglomération.

Figure 55 : Indice général d'inégalité en zones urbaines (cantons)

(Source : Le Bras – 2014)



Ces résultats contrastés témoignent de l'enjeu que peut représenter le choix des variables permettant d'apprécier l'existence et le niveau des inégalités sociales. Ainsi dans l'indice retenu par le Bras les variables sont-elles toutes positives en termes de relation avec les inégalités ce qui n'est pas le cas pour l'indice de défaveur sociale retenu par Rey et al..

Quant à l'étude de Bellindanty et Martinez, il convient de souligner l'importance de la place occupée par le revenu (dans toutes les réflexions et études portant sur les inégalités), sachant que l'analyse de l'INSEE ne porte pas sur cette seule variable mais également sur la pauvreté. De fait il existe un point de convergence selon lequel l'Ile-de-France constitue bien un territoire privilégié pour l'étude des inégalités sociales et territoriales, et plus particulièrement l'ensemble constitué par Paris et la Petite couronne.

b. Le choix de la « Petite Couronne » (Départements 92,93 et 94)

Au-delà de ce qui a pu être évoqué dans le paragraphe précédent, ce choix peut être justifié par plusieurs raisons, les unes relatives à la constitution d'une Métropole du Grand Paris ayant vocation à être impliquée dans le domaine des conditions de vie et de la santé, les autres à l'analyse des arrêts cardiaques.

Pour ce qui a trait à la Métropole du Grand Paris :

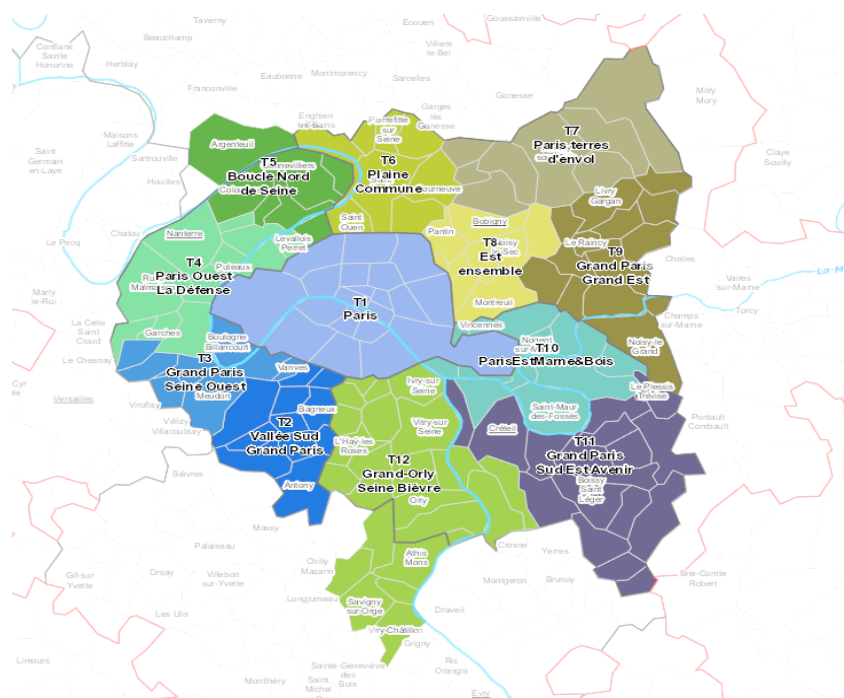
- La loi n°2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (dite « loi MAPTAM ») prévoit la création, à compter du 1er janvier 2016, d'« un établissement public de coopération intercommunale à fiscalité propre à statut particulier dénommé la métropole du Grand Paris » regroupant (article L 5219-1-I du code général des collectivités territoriales) :
 - la commune de Paris
 - l'ensemble des communes des départements des Hauts-de-Seine, de la Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne
 - les communes des autres départements de la région d'Ile-de-France appartenant au 31 décembre 2014 à un établissement public de coopération intercommunale comprenant au moins une commune des départements des Hauts-de-Seine, de la Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne et dont le conseil municipal a délibéré favorablement avant le 30 septembre 2014
 - toute commune en continuité avec une commune au moins répondant aux conditions fixées ci-dessus.

Organisée en territoires d'un seul tenant et sans enclave d'au moins 300.000 habitants, la Métropole du Grand Paris a notamment pour objectifs d'améliorer le cadre de vie de ses habitants et de réduire les inégalités entre les territoires qui la composent.

- La loi n°2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République (dite « loi NOTRe ») est venue conforter cette démarche avec la création d'établissements publics territoriaux (EPT), établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) constitués «d'un seul tenant et sans enclave, d'au moins 300.000 habitants, ces établissements regroup(ant) l'ensemble des communes membres de la métropole du Grand Paris, à l'exception de la commune de Paris (article L 5219-2 du code général des collectivités territoriales).

La région Ile-de-France compte à ce jour 12 EPT (créés par un ensemble de décrets du 11 décembre 2015) depuis le 1er janvier 2016 et regroupant Paris, les 123 communes des départements 92, 93 et 94, auxquelles viennent s'adjoindre 7 communes limitrophes de l'Essonne et du Val-d'Oise ; soit un ensemble de 131 communes représentant 7.2 millions d'habitants, le quart du PIB national et constituant le premier pôle d'emploi en Europe avec 4.1 d'emplois (**Figure 56**).

Figure 56 : Carte des EPT – Métropole du Grand Paris



Les différents volets de la réforme territoriale (loi MAPTAM, délimitation des régions, loi NOTRe, loi n°2010-597 du 3 juin 2010 créant la Société du Grand Paris) ne doivent cependant pas être considérés du point de vue des seules évolutions de l'organisation administrative et de la gouvernance territoriale. Le domaine de compétence de la Métropole du Grand Paris, et donc celui des EPT, s'étend en effet aux déterminants de santé compte tenu du fait que l'aménagement du territoire n'est pas sans impact sur la santé.

Comme le rappellent Barton et Tsourou¹⁷, « l'idée que la santé et l'urbanisme sont liés n'est pas nouvelle », avec le lien établi notamment entre épidémies et urbanisme au 19ème siècle, puis entre logement et santé au 20ème, mais le concept d'urbanisme favorable à la santé connaît un renouveau depuis quelques décennies.

Fondée notamment sur les travaux de Lalonde (à partir de l'étude de quatre types de facteurs : biologiques, environnementaux, conditions de vie, organisation du système de soins)¹⁸ mais aussi sur le modèle proposé par G Dahlgren et M Whitehead¹⁹, l'approche de H Barton et C Tsourou consiste à établir un lien entre les principaux domaines de la politique d'urbanisme et les déterminantes de la santé correspondants (**Figure 57**).

¹⁷ Barton H, Tsourou C. Urbanisme et Santé. Un guide de l'OMS pour un urbanisme centré sur les habitants. Association Internationale pour la Promotion de la Santé et du Développement Durable – Organisation Mondiale de la Santé. 2004.

¹⁸ Lalonde M. A new perspective on the health of Canadians. A Working Document. Minister of National Wealth and Welfare. Ottawa. 1974.

¹⁹ Dahlgren G, Whitehead M. Policies and strategies to promote social equity in health. Institute for Futures Studies. Stockholm. 1991. Revised 2007.

Figure 57 : Politiques d'urbanisme et déterminants de santé

(Source : Barton et Tsourou – 2004)

Niveaux (voir figure 1.2)	Facteurs déterminants de la santé	POLITIQUE D'URBANISME / DOMAINES CONCERNÉS								
		Régénération en matière de construction	Politique du logement	Développement communautaire	Services sociaux et périscolaires	Espaces verts	Transport	Energie, eau et drainage	Schéma urbain	Réhabilitation urbaine
1	Modes de vie personnels		★	★	★	★★	★★		★	★
2	Cohésion sociale		★	★	★	★	★		★★	★
3	Logement	★★	★★					★★	★	★
3	Travail	★		★★			★		★	★
3	Accès		★★	★	★★	★	★★		★★	★
3	Alimentation		★			★			★	
3	Sécurité	★	★				★★		★	★
3	Justice sociale	★	★★	★	★★	★	★★	★	★★	★
4	Qualité de l'air et esthétique		★	★★		★	★★	★	★	★
4	Eau et salubrité/ hygiène	★★		★		★		★★		
4	Sol et déchets solides	★		★		★				★★
4	Climat général	★★	★	★★	★	★	★★	★★	★★	★

D'après Barton et al. (17)
 L'urbanisme se définit en termes d'aménagement des sols, des constructions et des villes. Ce tableau ne met donc pas en lumière la réglementation qui en découle concernant les niveaux de pollution et aux autres facteurs. Il ne met pas non plus l'accent sur les services sociaux, d'éducation et de santé en soi mais bien plus sur leur accessibilité.
 * influences majeures sur la santé
 ** influences critiques ou fondamentales sur la santé

L'Organisation Mondiale de la Santé, et son Bureau Régional pour l'Europe en particulier, a souligné dans un rapport « Santé 2020 »²⁰ la nécessité d'intégrer dans les politiques urbaines une action en faveur de la santé et du bien-être et plus particulièrement de :

- Comprendre et prendre en compte les spécificités urbaines et la répartition des déterminants sociaux et environnementaux de la santé
- Lutter contre les conditions qui augmentent le risque d'exposition et la sensibilité des personnes aux maladies transmissibles et non transmissibles
- Faire face à l'évolution du paysage démographique et social des villes, notamment le vieillissement de la population et la migration
- Intégrer les questions de santé urbaine dans les politiques, stratégies et plans nationaux en matière de santé
- Reconnaître l'importance du rôle des autorités locales dans la promotion de la santé et l'équité en santé dans toutes les politiques locales et l'importance de l'engagement pan-sociétal

²⁰ OMS. Santé 2020. Cadre Politique et Stratégie. Bureau Régional de l'Europe. Copenhague. 2012.

L'OMS Europe dispose d'ailleurs d'un réseau des Villes-Santé depuis 1987, un réseau français ayant été créé en 1990.

Dans cette perspective et face à l'augmentation de l'incidence des maladies cardiovasculaires et du diabète, de nombreuses institutions ont émis des recommandations en matière de santé urbaine. Tel est le cas par exemple en Grande-Bretagne, avec le rapport « Building Health, creating and enhancing places for healthy, active lives » auquel a contribué notamment le National Heart Forum²¹, ou encore en Australie avec un guide coproduit par la Heart Foundation²² (« Healthy Spaces and Places, a national guide to designing places for healthy living »). Environnement, habitat, transports, activité physique sont notamment évoqués dans ces documents dès lors qu'ils constituent des déterminants de santé. Il en est de même dans le cadre d'un guide « agir pour un urbanisme favorable à la santé » plus récemment publié par Roué-Le Gall et al. pour le compte de l'EHESP et de la DGS²³.

Enfin, le choix de la Petite Couronne est également justifié du point de vue d'une analyse des arrêts cardiaques :

- L'appréciation du lien entre l'incidence des arrêts cardiaques et les inégalités sociales et territoriales peut être rendue difficile à Paris au regard des spécificités de cette Ville-Département. Marijon et al. [12] mais également Dahan et al. [9] ont ainsi pu souligner dans leurs études l'importance du tourisme dans une capitale qui occupe une place de choix parmi les destinations au niveau mondial, mais également la position occupée par cette cité en tant que nœud de communication.
- Les contrôles « qualité » réalisés dans le cadre de RéAC permettent de constater un meilleur taux d'exhaustivité des données pour les départements 92,93 et 94 que pour

²¹ National Heart Forum, Living Streets, Commission for Architecture and the Built Environment. Building Health, creating and enhancing places for healthy, active lives. National Heart Forum. 2007.

²² Heart Foundation, Planning Institute, Australian Local Government Association. Healthy Spaces and Places. A national guide to designing places for healthy living. Australian Government Department of Health and Ageing. Planning Institute of Australia. 2009.

²³ Roué-Le Gall A, Le Gall J, Potelon JL, Cuzin Y. Agir pour un urbanisme favorable à la santé. EHESP-DGS, 2014.

Paris. Le recueil des arrêts cardiaques dans ces départements remplit par ailleurs une condition d'homogénéité nécessaire à la réalisation d'une analyse spatiale [229].

- La densité de population et le degré d'urbanisation des départements de Petite Couronne permettent d'éviter (ou du moins de limiter très fortement) le risque de biais lié à une hétérogénéité spatiale entre territoires urbains et ruraux dans le cadre des méthodes d'analyse mises en œuvre.

c. Données et variables issues de RéAC

L'étude porte sur l'ensemble des arrêts cardiaques extrahospitaliers survenus dans les départements 92, 93 et 94 entre août 2013 et août 2015.

Aucun critère d'exclusion n'a été mis en œuvre dès lors, comme nous avons pu le voir, qu'il peut exister un lien entre le statut socio-économique et l'incidence des arrêts cardiaques, que ces derniers aient une origine médicale ou non. Avec une exception toutefois pour les arrêts cardiaques survenus dans les aéroports d'Orly et Charles de Gaulle, dès lors que nous ne disposons pas de données individuelles relatives au statut socio-économique.

Une base de données a été constituée à partir de 3.414 arrêts cardiaques extrahospitaliers ayant fait l'objet d'une évaluation par les équipes de 8 SMUR participants, que ces arrêts cardiaques aient donné lieu ou non à une réanimation spécialisée par le SMUR.

Outre les 3 SAMU des départements concernés, ont contribué à cette étude dans le cadre du registre RéAC les équipes des SMUR de :

- Beaujon et Garches pour le département des Hauts de Seine (92) (1.032 arrêts cardiaques)
- Aulnay-sous-Bois, Bobigny, Montfermeil, St Denis et l'aéroport Charles de Gaulle pour le département de Seine St Denis (93) (1.438 arrêts cardiaques)
- Créteil (CHU Henri Mondor), Villeneuve St Georges et l'aéroport d'Orly pour le département du Val de Marne (94) (944 arrêts cardiaques)

Des variables issues du recueil d'informations réalisé dans le cadre de RéAC (Annexe 3) ont été sélectionnées afin de pouvoir disposer de données individuelles relatives aux patients et aux types de prise en charge pour chaque arrêt cardiaque (**Figure 58**).

Figure 58 : Données individuelles issues de RéAC

<p><u>Données relatives aux patients</u></p> <ul style="list-style-type: none">○ Sexe○ Age○ Etiologie de l'arrêt cardiaque (médical/non médical)○ Lieu de l'arrêt cardiaque (adresse d'intervention) <p><u>Typologie de prise en charge</u></p> <ul style="list-style-type: none">○ Présence d'un témoin○ RCP par un témoin○ RCP par les services de premiers secours○ Défibrillation (utilisation d'un défibrillateur automatique externe) avant l'arrivée du SMUR○ Durée du no flow (en minutes)○ Rythme initial à l'arrivée de l'équipe SMUR<ul style="list-style-type: none">▪ Asystole▪ Rythme sans pouls▪ Fibrillation ventriculaire/Tachycardie ventriculaire sans pouls▪ Activité spontanée○ Réanimation spécialisée (SMUR)○ Délai d'intervention SMUR (en minutes)○ RACS○ Survie à l'admission à l'hôpital (vivant)○ Survie à 30 jours (vivant)○ Etat neurologique en cas de survie à 30 jours (CPC 1-2)
--

La localisation du lieu de survenue de l'arrêt cardiaque a fait l'objet d'une attention particulière au regard de l'étude spatiale mise en œuvre. Outre la commune de survenue de l'arrêt cardiaque, il a été procédé à l'identification et au codage de l'IRIS (d'habitat) correspondant à

l'adresse d'intervention du SMUR (**Figure 59**), les arrêts cardiaques ayant été regroupés par commune.

Par ailleurs, il a été procédé à un regroupement des cas par classes d'âge de 5 ans.

Figure 59 : Les îlots regroupés pour l'information statistique (IRIS)

(Source : INSEE - 2016)

Selon la définition donnée par l'INSEE l'IRIS constitue « la brique de base en matière de diffusion de données infra-communales.

Chaque commune d'au moins 10.000 habitants (et une grande partie des communes de 5.000 à 10.000 habitants) est découpée en IRIS respectant des critères géographiques et démographiques stables dans le temps. Les communes n'ayant pas fait l'objet d'un découpage sont assimilées à un IRIS.

Il existe trois types d'IRIS :

- Les IRIS d'habitat (de 1.800 à 5.000 habitants), homogènes quant au type d'habitat et dont les limites s'appuient sur de grandes coupures du tissu urbain (voies principales, voies ferrées, cours d'eau, ...)
- Les IRIS d'activité : ils regroupent plus de 1.000 salariés et comptent au moins deux fois plus de salariés que d'habitants
- Les IRIS « divers » correspondant à des zones spécifiques peu habitées et d'une superficie importante (parcs de loisirs, forêts, zones portuaires, ...)

A ces données individuelles viennent s'ajouter des données socio-économiques agrégées au niveau du territoire correspondant au lieu de survenue de l'arrêt cardiaque.

d. Les données socio-économiques

Nous avons vu dans le cadre de la première partie de cette thèse que les auteurs des études relatives au lien entre arrêts cardiaques et facteurs socio-économiques recouraient pour caractériser ces derniers, soit à un indice de défaveur sociale, soit à une sélection de variables dont nous avons établi une liste.

Pour ce qui est de la présente étude, nous avons fait le choix d'un indice de défaveur sociale complété par une sélection de variables représentatives en matière d'inégalités sociales et territoriales de santé.

i. Le choix d'un indice de défaveur sociale : l'IDH-2 (indice de développement humain)

Peu d'études relatives aux arrêts cardiaques font référence à un indice de défaveur sociale. Ong et al. [14] soulignent cependant que des indicateurs socio-économiques pris séparément peuvent ne pas être suffisamment sensibles pour permettre d'apprécier la relation entre statut socio-économique et arrêt cardiaque. Ils concluent donc leurs travaux en insistant sur la nécessité de développer l'utilisation d'indices de défaveur sociale.

Dans la littérature relative aux arrêts cardiaques nous pouvons identifier le recours aux indices suivants :

- l'indice de Carstairs pour Ahn et al. et Lee et al. [99, 100]
- l'indice de Townsend pour Soo et al. [95]
- l'indice NZDEP pour Fake et al. [230]

Ces indices font partie des nombreux indices de défaveur sociale conçus et utilisés à l'étranger, parmi lesquels nous pouvons citer notamment :

- L'indice de Carstairs (chômage, pas de véhicule, classe sociale basse, sur-occupation du logement) [98]
- L'indice de Jarman (retraités vivant seuls, jeunes de moins de 5 ans, chômage, absence de voiture locataire, immigrants récents, familles monoparentales, classe sociale basse, sur-occupation du logement) [231]
- L'indice de Townsend (chômage, absence de voiture, locataire, sur-occupation du logement) [97]
- L'Index of Multiple Deprivation (IMD) (regroupant 37 indicateurs relevant de 7 domaines : revenu, emploi, santé, éducation, accès aux services, environnement

résidentiel, criminalité), index évolutif qui a donné lieu à plusieurs versions à ce jour au Royaume-Uni depuis 1999²⁴

- L'indice de Pampalon et Raymond (15 ans et plus sans diplôme, emploi/population, revenu moyen, personnes seules ou séparées-divorcées, familles monoparentales) [232]
- Le NZDEP (bénéficiaires de minima sociaux, revenu, chômage, possession d'une voiture, personnes de moins de 65 disposant d'une connexion internet au domicile, personnes de 18 à 64 ans sans qualification, sur-occupation du logement, propriétaire du logement, monoparentalité²⁵

Comme cela est mentionné dans la première partie nous avons également identifié en matière de recours à un indice synthétique les études relatives aux arrêts cardiaques réalisées par Vaillancourt et al. au Canada [96] et Dahan et al. à Paris [9] sachant que :

- Vaillancourt et al. ont recours à un indicateur qu'ils qualifient de « proxy » pour apprécier une situation socio-économique individuelle pour un ensemble d'arrêts cardiaques survenus à domicile. Ce « proxy » correspond en l'occurrence à la valeur de la propriété foncière calculée à partir d'indicateurs qui en France sont comparables aux éléments permettant de déterminer nos taxes foncières et d'habitation
- Dahan et al. ont en fait élaboré une typologie des territoires de la Ville de Paris (regroupements d'IRIS) à partir de quatre variables très proches de celles de l'indice français de défavorisation FDEP (revenu médian du ménage, pourcentage d'ouvriers dans la population active, taux de chômage, pourcentage d'adultes diplômés de l'enseignement supérieur) ; l'ensemble des territoires parisiens est ainsi réparti entre les deux catégories de statut socio-économique « élevé » ou « bas ».

²⁴ Noble M, Penhale B, Smith G, Wright G, Firth D, Payne C, Owen T, Preller K. Measuring Multiple Deprivation at the Local Level. University of Oxford. Department of Applied Social Studies and Social Research. Oxford. 1999
Dibben C, Atherton I, Cox M, Watson V, Ryan M, Sutton M. Investigating the impact of changing the weights that underpin the Index of Multiple Deprivation 2004. Communities and Local Government. May 2007
Noble M, McLennan D, Wilkinson K, Whitworth A, Barnes H. The English Indices of Deprivation 2007. Communities and Local Government. Mars 2008

²⁵ Atkinson J, Salmond C, Crampton P. NZDep2013 Index of Deprivation. Department of Public Health, University of Otago, Wellington. May 2014

Ces deux dernières études nous paraissent très intéressantes du point de vue de la démarche d'approximation ou de construction d'un indice synthétique mais nous avons néanmoins fait le choix ici de suivre les recommandations du Haut Conseil pour la Santé Publique (HCSP). Le HCSP souligne en effet l'intérêt de documenter les inégalités sociales de santé en l'absence de données socio-économiques individuelles par le recours aux indices de défaveur sociale, proposant notamment de les utiliser en lien avec les registres des cancers. Toutefois le HCSP recommande pour le cas où « on ne dispose pas de variable individuelle de situation sociale, (d') utiliser l'un des indicateurs de défavorisation élaborés et validés en français » (proposition n°5 du rapport du HCSP de 2013)²⁶.

A cet égard, plusieurs indices ont été développés et sont utilisés en France parmi lesquels :

- Le FDEP, que nous avons déjà mentionné, développé par Rey et al.[233], dont les travaux font suite à ceux de Challier et al. [234] et Lasbeur et al. [235]. Disponible à l'échelle communale, cet indice utilisé notamment par la CNAMTS et l'ANSP dans leurs travaux est obtenu à partir d'une analyse en composantes principales sur 4 indicateurs (ouvriers/population active, pourcentage de bacheliers chez les 15 ans et plus, revenu médian/foyer, pourcentage de chômeurs/population active) [71]
- L'EDI, indice écologique européen développé par Pornet et al.²⁷ obtenu par régression logistique sur un ensemble de 11 composantes (sur-occupation, pas de chauffage, non propriétaire, pas de voiture, chômeur, nationalité étrangère, faible niveau d'étude, famille monoparentale, ouvrier non qualifié ou agricole)
- L'indice général d'inégalité de Le Bras, mentionné plus haut

²⁶ Lang T, Cases C, Chauvin P, Jouglu E, Jusot F, Laporte A, Lombrail P, Menvielle G. Indicateurs de suivi de l'évolution des inégalités sociales de santé dans les systèmes d'information en santé. Haut Conseil de la Santé Publique. Rapport. Juin 2013

²⁷ Pornet C, Delpierr C, Dejardin O, Grosclaude P, Launay L, Guittet L, Lang T, Launoy G. « construction d'un indice écologique de défavorisation à vocation européenne : the french edi » I. Journées de méthodologie statistique. Insee. 2012

- Lang et al.²⁸, dans le rapport du HCSP de 2013, identifient un indice « Métropoles » développé initialement à Strasbourg, puis à Lille, Lyon et Marseille [236]. Cet indice a été réalisé à partir d'une analyse en composantes principales portant sur 48 variables dont une vingtaine a été sélectionnée, sachant que 15 composent l'indice commun aux trois dernières villes (ménages avec une voiture, ménages avec deux voitures ou plus, individus avec un emploi non stable, 15 ans et plus ayant un niveau d'études égal au Bac, 15 ans et plus ayant un niveau d'études secondaire inférieur (BEP, CAP, BEPC), 15 ans et plus sans diplôme, non propriétaires, individus avec un emploi stable, familles monoparentales, revenu médian par unité de consommation, résidences principales avec plus d'une personne par pièce, étrangers dans la population totale, nombre moyen de personnes par pièce, immigrants depuis le dernier recensement dans la population totale, travailleurs à leur compte dans la population active)

Dans le cadre de la présente étude nous avons sélectionné l'IDH-2, qui constitue une déclinaison par la Région Ile-de-France de l'Indice de Développement Humain (IDH) développé au début des années 1990 dans le cadre du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) à la suite des travaux de d'Amartya Sen²⁹ et de Mahbub ul Haq³⁰. Fondé à l'origine sur la prise en compte de trois dimensions du développement humain, l'IDH (espérance de vie à la naissance, durée moyenne et durée attendue de la scolarisation, revenu national brut par habitant) fait l'objet d'une publication dans le rapport annuel sur le développement humain du PNUD sous la forme d'un classement par pays³¹.

Pour ce qui est de la région Ile de France, l'IDH-2 est un indice composite intégrant les trois dimensions de santé, d'éducation et de revenu [101] (**Figure 60**).

²⁸ Lang T, Cases C, Chauvin P, Jouglu E, Jusot F, Laporte A, Lombrail P, Menvielle G. Indicateurs de suivi de l'évolution des inégalités sociales de santé dans les systèmes d'information en santé. Haut Conseil de la Santé Publique. Rapport. Juin 2013

²⁹ Sen AK. Public Action and the Quality of Life in Developing Countries. Oxford Bulletin of Economics and Statistics. 1981 ; 43(4):287-319

Sen AK. Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation. Oxford: Clarendon Press. 1981

Sen AK. Commodities and Capabilities. Amsterdam: North-Holland. 1985

³⁰ Mahbub ul Haq, Reflections on Human Development, 1995, New York, Oxford University Press

Mahbub ul Haq et al. Human Development Report. PNUD. 1990

³¹ Jahan S et al. Rapport annuel sur le développement humain 2016. PNUD. 2017

Figure 60 : IDH-2, un indicateur à trois dimensions : santé, éducation et revenu

(Source : Nascimento et Pépin – 2010)

Mode calculatoire et indicateurs utilisés dans l'IDH-2

Dimensions du développement humain	Indicateurs choisis	Valeur plancher	Valeur plafond	Mode calculatoire des indices (entre 0 et 1)
Santé	Espérance de vie à la naissance	65 ans	90 ans	Indice santé = (valeur- 65) / (90- 25)
Éducation	% pop. > 15 ans sortie du système scolaire et diplômée	70 %	100 %	Indice éducation = (Valeur- 70) / (100-70)
Revenu	Revenu imposable médian des ménages par unité de consommation	5 000 €	40 000 €	Indice revenus = [log (valeur) - log (5000)] / [log (40.000) - log (5000)]

La valeur de l'IDH est la moyenne des indices obtenus pour chacune des trois dimensions : **IDH-2 = (indice santé + indice éducation+ indice revenus) / 3.**

Dès lors que nous ne disposons pas de données socio-économiques individuelles à mettre en relation avec les arrêts cardiaques, nous avons donc intégré à la base de données de l'étude les quatre variables suivantes :

- IDH2SANT2 : variable-indice « santé » = indice compris entre 0 et 1 calculé à partir de l'espérance de vie à la naissance
- IDH2ED : variable-indice « éducation » = indice compris entre 0 et 1 calculé à partir du pourcentage de la population des 15 ans et plus sortie du système scolaire avec un diplôme
- IDH2REV : variable-indice « revenu » = indice compris entre 0 et 1 calculé à partir du revenu imposable médian par unité de consommation
- IDH2GL : indice global = IDH2 = moyenne des 3 indices précédents

Trois séries de données (1999, 2006 et 2013) correspondantes sont disponibles à l'échelle de la commune en open data sur le site data.gouv.fr. Nous avons en l'occurrence sélectionné la série des données IDH-2 de 2013 (indice calculé par l'Institut d'Aménagement Urbain d'Ile-de-France à partir de données INSEE 2011).

ii. La sélection de variables complémentaires représentatives des inégalités sociales et territoriales

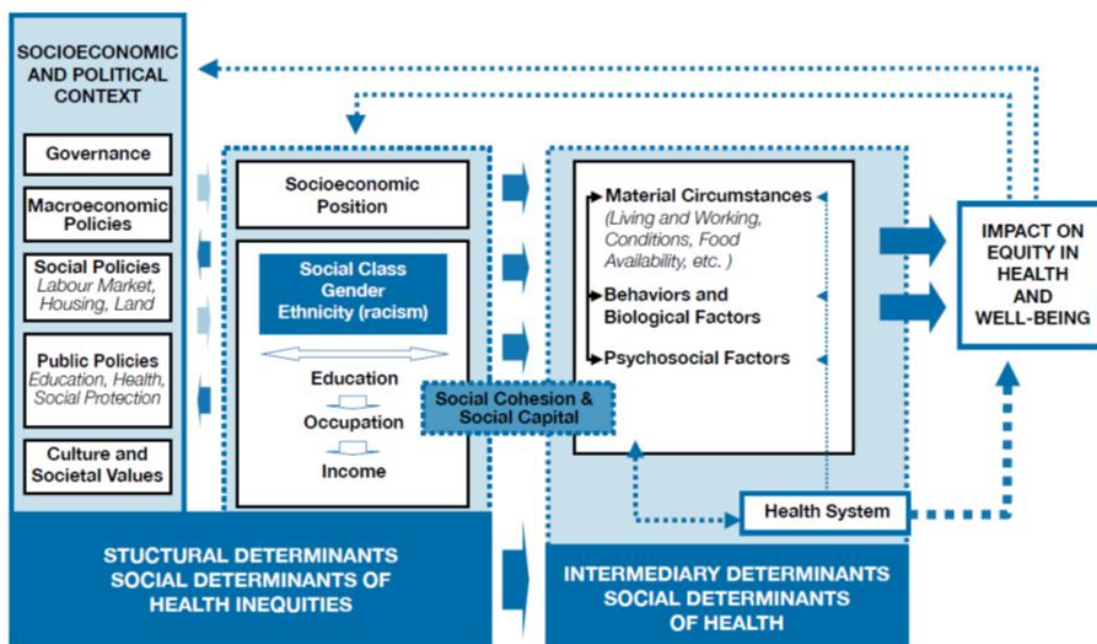
La littérature relative aux inégalités sociales et territoriales étant particulièrement abondante, nous avons fait le choix d'établir une liste de variables complémentaires sur la base des études et recommandations suivantes :

- Au plan international, outre la littérature relative aux arrêts cardiaques qui nous a permis d'identifier d'autres variables que celles retenues dans les différents indices de défaveur sociale, nous avons pris en compte les travaux de l'OCDE et de l'OMS :
 - les travaux de l'OCDE ont déjà été évoqués dans la première partie de cette étude. James et al. [75] ont ainsi pu établir que le revenu, le niveau d'instruction ainsi que les conditions de travail et de vie avaient un impact considérable sur l'espérance de vie en tant que facteurs de risques socio-économiques extérieurs au système de santé,
 - mais la Commission sur les déterminants sociaux de la santé mise en place par l'OMS en 2005 a également permis d'aboutir à la définition d'un cadre conceptuel qui nous éclaire quant aux variables à prendre en compte. Ainsi que le soulignent Solar et Irwin³² dans l'un des rapports de cette commission : « The most important structural stratifiers and their proxy indicators include: Income, Education, Occupation, Social Class, Gender, Race/ethnicity » **(Figure 61)**

³² Solar O, Irwin A. A conceptual framework for action on the social determinants of health. Social Determinants of Health Discussion Paper 2 (Policy and Practice). 2010

Figure 61 : Les Déterminants sociaux de la santé – Cadre conceptuel de l'OMS

(Source : Solar et Irwin – 2010)



- Au plan national, d'importantes recommandations ont été émises par le HCSP, la DREES et l'INSEE :
 - Dans son rapport de 2013 déjà cité, le HCSP insiste dans ses recommandations sur ce qu'il qualifie de « triade essentielle » : « classiquement, le statut socioéconomique d'un individu est interrogé – au minimum – par une triade « éducation, revenus, situation professionnelle ». Le lien entre santé et position socio-économique, en utilisant ces trois mesures, reste un des résultats les plus cohérents et constants de la littérature épidémiologique. L'analyse par sexe est aujourd'hui essentielle, tant les inégalités sociales de santé affectent différemment, dans nombre de domaines, les hommes et les femmes. Les classes d'âge doivent être adaptées au cycle de vie des personnes, qui peut être différent d'un groupe social à l'autre et qui peut changer, globalement, avec les transformations et les évolutions sociétales (entrée dans la vie active, âge de la retraite, proportion et qualité de vie des personnes âgées...). Etre capable d'identifier les populations immigrées

et issues de l'immigration sera également un enjeu important, pour faire la part, dans les inégalités sociales observées, des origines socioéconomiques (liées aux conditions de vie), culturelles, en lien avec des phénomènes de discrimination (liés au patronyme, au lieu de résidence, à la couleur de peau, ...) ou encore des conditions de migration elles-mêmes³³. Sur ce dernier point, également souligné, une perspective est donc dressée par le HCSP sachant que n'étant pas autorisées, nous ne pouvons disposer à ce jour de statistiques permettant une identification ethnique des victimes d'arrêt cardiaque

- En charge de la publication régulière d'un « état de santé de la population en France » depuis la loi du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique, dont une partie est consacrée aux déterminants sociaux et territoriaux de la santé, la DREES a ainsi établi une liste de ces déterminants parmi lesquels nous trouvons : le type d'occupation (CSP en France), le taux de chômage, le niveau d'étude, le pourcentage de la population « à risque de pauvreté » (défini par Eurostat comme le pourcentage de la population disposant d'un revenu inférieur à 60 % de la valeur médiane nationale). A cette liste la DREES ajoute par ailleurs des indicateurs d'accès aux soins (taux de couverture de la CMUc, proportion de personnes dépourvues de couverture maladie complémentaire, taux de renoncement aux soins pour raisons financières), précisant que ces indicateurs « peuvent à la fois être marqueurs de situations sociales mais aussi constituer un sous-groupe spécifique de déterminants d'accès aux soins parmi les déterminants de santé »³⁴
- Enfin, il convient de faire référence aux travaux de l'INSEE relatifs aux inégalités sociales, qui ont conduit à établir une liste d'« indicateurs de base et

³³ Lang T, Cases C, Chauvin P, Jouglu E, Jusot F, Laporte A, Lombrail P, Menvielle G. Indicateurs de suivi de l'évolution des inégalités sociales de santé dans les systèmes d'information en santé. Haut Conseil de la Santé Publique. Rapport. Juin 2013

³⁴DREES. Indicateurs de suivi de l'état de santé de la population. Rapport final. Sources et Méthodes n°44. Mai 2014 et DREES. L'état de santé de la population en France. Rapport 2017.

(d') indicateurs privilégiés par le CNISS » dont l'utilisation est toujours en vigueur³⁵

Tout en limitant le nombre de variables, notamment au regard des interactions pouvant exister entre elles, le choix a été fait de prendre en compte un certain nombre d'indicateurs en sus de l'IDH-2.

Sélectionnés à partir des travaux et recommandations précités, ces indicateurs ont trait à l'emploi, la pauvreté, la CSP, au logement, aux caractéristiques du ménage ainsi qu'à l'environnement économique.

Les données utilisées sont issues de la base de données détaillées de l'INSEE. Ces données à l'échelle de la commune correspondent aux variables suivantes :

Logement

Variable INSEE P12_RP_LOCHLMV : nombre de résidences principales HLM louées vides en 2012

OCCUPlagt : nombre d'occupants par logement (résidence principale), calculé à partir du ratio variable INSEE P12_NPER_RP (nombre d'occupants des résidences principales en 2012)/Variable INSEE P12 RP (nombre de résidences principales en 2012)

Variable INSEE P12_RP_ACHT1 : nombre de résidences principales construites avant 1946 ; indicateur permettant d'apprécier l'ancienneté (vétusté) des logements

Niveau d'éducation

Variable INSEE P12_NSCOL15P_DIPL0 : nombre de personnes non scolarisées de 15 ans ou plus ne disposant d'aucun diplôme

Caractéristiques du ménage – Catégorie socio-professionnelle

Variable INSEE C12_MENFAMMONO : nombre de ménages dont la famille principale est une famille monoparentale en 2012

Variable INSEE C12_MEN_CS5 : nombre de ménages dont la personne de référence est employé(e) en 2012

³⁵ INSEE. France. Portrait Social. Indicateurs d'inégalités sociales. 2007

Variable INSEE C12_MEN_CS6 : nombre de ménages dont la personne de référence est ouvrier(e) en 2012

Variable INSEE C12_MENHSEUL : nombre de ménages composés d'un homme seul en 2012

Variable INSEE C12_MENFSEUL : nombre de ménages composés d'une femme seule en 2012

Revenu - Pauvreté

Variable INSEE MED12 : médiane du revenu disponible par UC (en euros)

Variable INSEE PPSOC12 : part des prestations sociales dans le revenu

Variable INSEE TP6012 : taux de pauvreté

Chômage

Taux de chômage calculé à partir de la variable INSEE DEFMRET11 (nombre global de chômeurs, Demandes d'Emplois en Fin de Mois (DEFM) au 31/12/2011)

Taux de chômage de longue durée calculé à partir de la variable INSEE DEFMRELD11 (nombre global de chômeurs de longue durée, DEFM au 31/12/2011)

Environnement économique - Equipement des territoires

Variable INSEE ETOTT13 : nombre d'établissements actifs en 2013

Variable CREAENT : nombre de créations d'entreprises entre 2009 et 2014, variable créée à partir des données démo-entreprises-2014 de l'INSEE.

La prise en compte de ces variables dans l'analyse permet d'apprécier l'éventuelle influence du tissu économique local. Les données correspondantes sont issues du dispositif Connaissance Locale de l'Appareil Productif (CLAP). Comme le précise l'INSEE : « le dispositif CLAP est conçu pour fournir des statistiques sur le tissu économique local. Il produit des statistiques localisées au lieu de travail jusqu'au niveau communal (voire infra-communal), sur l'emploi salarié et les rémunérations pour les différentes activités des secteurs marchand et non marchand. Les données de CLAP relatives à une année concernent les entreprises et les établissements ayant eu au moins un jour d'activité économique dans l'année d'exercice considérée, qu'ils soient employeurs ou non. Le CLAP couvre l'ensemble des activités de l'économie marchande et non marchande. Sont exclus du champ : les établissements

appartenant aux entreprises de catégorie juridique "7150" (Défense), les emplois domestiques (emplois dont l'employeur est un ménage) ».

3. Plan d'analyse statistique

Une analyse descriptive a été réalisée ainsi qu'une analyse spatiale. Pour ce qui est des statistiques descriptives, les variables quantitatives sont décrites par la médiane, les premier et troisième quartiles (Q1, Q3) compte tenu de distributions asymétriques. L'analyse spatiale (réalisée en trois étapes) a nécessité de procéder à des choix méthodologiques qui sont exposés dans la présente section.

a. La classification des méthodes d'analyse spatiale

Le développement des méthodes d'analyse spatiale au cours de ces dernières années est étroitement lié à celui de la géographie de la santé et de l'épidémiologie géographique, domaine dans lequel les facteurs socio-économiques occupent une place importante.

Picheral [237] définit ainsi la géographie de la santé comme « l'analyse spatiale des disparités de santé des populations, des comportements sanitaires et des facteurs de l'environnement (physique, biologique, social, économique et culturel) qui concourent à expliquer (les) inégalités », Tonnelier et Vigneron [238] insistant sur la « nouvelle dimension spatiale ou plutôt « socio-spatiale » de la santé.

Ce développement s'est accompagné de celui des outils (méthodes) d'analyse spatiale. Il a également donné lieu à des classifications de ces méthodes avec par exemple celles de :

- Rezaeian et al. [239], lesquels proposent ainsi de classer les méthodes d'analyse spatiale selon les trois catégories suivantes :
 - « disease mapping » (représentation cartographique des maladies)
 - « disease clustering »
 - analyses écologiques

- ou celles de l'ANSP³⁶ d'après les travaux de Eliott et al. [240] et Waller et Gotway [241] :
 - détection de clusters et « global clustering »
 - « disease mapping »
 - études de corrélation écologique

De fait ces classifications sont similaires, même si une nuance doit être établie pour ce qui est de la dimension « écologique » entre la catégorie d'analyse et les techniques qui lui sont liées au regard des définitions données par l'ANSP :

- Nous entrons bien ici dans le cadre des études (analyses) écologiques, définies par l'ANSP comme « n'ayant pas pour but l'étude des risques au niveau individuel mais l'étude des effets de groupe expliquant une partie de la variation entre les unités géographiques de l'incidence de la pathologie étudiée », l'ANSP précisant par ailleurs qu'« il s'agit d'études descriptives qui peuvent permettre de générer des hypothèses étiologiques individuelles »
- Mais nous n'aurons pas recours dans ce travail aux « études de corrélation géographiques, également dénommées régressions écologiques ». L'ANSP souligne en effet que si les modèles sont les mêmes que ceux utilisés pour la représentation cartographique, « les objectifs de la représentation cartographique et de la régression spatiale sont différents et la stratégie de modélisation doit refléter cette différence » [242]

Compte tenu de cette différence d'objectifs nous n'utiliserons pas de méthodes de régression écologique visant à estimer la relation entre incidence des arrêts cardiaques et facteurs socioéconomiques.

En revanche, nous aurons recours dans le cadre de cette étude à la représentation cartographique - dont l'objectif est de prédire des risques relatifs par unité

³⁶ Gorla, S., Stempfelet, M. et de Crouy-Chanel, P. Introduction aux statistiques spatiales et aux systèmes d'information géographique en santé environnement application aux études écologiques ; Institut National de Veille Sanitaire. Département Santé Environnement. Mars 2011

géographique – ainsi qu’aux méthodes de « disease clustering » et plus précisément de détection des clusters.

b. Première étape de l’analyse spatiale : représentation cartographique et SIR

Le calcul des SIR (Standardized Incidence Ratio) a été réalisé en vue de décrire la répartition spatiale de l’incidence. Toutefois ces SIR ont été lissés afin de prendre en considération l’instabilité résultant de fréquences faibles et d’un effet d’autocorrélation spatiale. Le lissage des SIR a été opéré en utilisant le modèle hiérarchique à trois niveaux de Besag et al. [243]

i. Calcul des SIR

La représentation cartographique (« disease mapping ») constitue la première étape de l’analyse spatiale, permettant une description de la distribution spatiale de l’incidence, et donc de visualiser des communes à risque élevé [229, 239, 244, 245].

Deux types de représentations cartographiques peuvent être envisagés :

- Une cartographie des SIR

Le SIR est défini comme un rapport entre un nombre de cas observés et un nombre de cas attendus sous l’hypothèse d’une incidence de référence. Il est donc procédé au calcul d’une incidence standardisée (sur l’âge dans le cadre de la présente étude) pour chaque commune selon la formule suivante [241] :

$$SIR_j = \frac{O_j}{E_j} \quad \text{où} \quad E_j = \sum_{i=1}^n N_{ij} T_i$$

Avec :

i : indice de classe d’âge

n : nombre de classes d’âge

j : unité géographique

O_j : nombre total de cas observés (tous âges confondus) dans l’unité géographique j

E_j : nombre total de cas attendus dans l’unité géographique j

N_{ij} : effectif de la population correspondant à la classe d'âge i dans l'unité géographique j

T_i : taux spécifique d'incidence de la population de référence pour la classe d'âge i

- Une cartographie fondée sur la signification statistique (cartographie des P values) : il s'agit alors d'obtenir une représentation de la différence (en termes de significativité) entre l'incidence au niveau de la commune et l'incidence appréciée globalement [229, 239].

Cela étant cette dernière cartographie présente l'inconvénient de produire une représentation faussée, accordant notamment une plus grande importance aux territoires où la population étudiée est la plus forte. Des P values faibles peuvent ainsi être constatées dans ce type de territoires, considérées alors comme statistiquement significatives sans pour cela que ces résultats aient une réelle signification sur le plan de l'analyse de l'incidence [229]

Pour cette raison et comme cela est généralement le cas en matière de représentation cartographique, nous ferons donc le choix de cartographier les SIR.

Ce choix n'est cependant pas sans inconvénient, la visualisation des SIR pouvant conduire à une perception erronée de la réalité.

Les SIR correspondant à l'estimateur du maximum de vraisemblance du RR (risque relatif), les fluctuations aléatoires du nombre d'arrêts cardiaques ont vocation à être modélisées par une loi de Poisson. Or pour un nombre de cas peu élevé ou de (trop) petites unités géographiques, il existe un risque de surestimation de l'incidence du fait de l'absence de prise en compte de l'autocorrélation spatiale. Le risque est en effet de considérer des communes voisines comme étant indépendantes du point de vue de l'incidence des arrêts cardiaques, alors que ce voisinage peut laisser à penser qu'elles sont concernées par les mêmes facteurs de risque. Des techniques de lissage sont donc mises en œuvre afin de pallier cet inconvénient lié à l'instabilité des SIR au regard des unités géographiques de faible population, de l'hétérogénéité spatiale globale et de l'autocorrélation spatiale [229, 246-248].

ii. Lissage des SIR

Il existe plusieurs techniques de lissage, l'approche Bayésienne étant la plus fréquente. Un examen de la littérature relative aux arrêts cardiaques confirme ce constat, avec plus particulièrement un recours aux estimateurs empiriques pour Sasson et al., Semple et al., Nassel et al. [13, 16-18], Ong et al. faisant quant à eux référence au modèle de Besag-York-Mollie [14]. Seuls Lerner et al. [11] utilisent un modèle de régression non paramétrique (« Kernel regression »).

Le choix de la technique mise en œuvre dans le cadre de cette étude est fondé sur les travaux et recommandations du « Disease Mapping Collaborative Group », de l'Agence Nationale de Santé Publique (ANSP), et de l'équipe de recherche E2694 de la Faculté de Médecine de Lille (et plus précisément des travaux du Docteur Michaël Genin) :

- L'équipe de recherche internationale « Disease Mapping Collaborative Group » est à l'origine de recommandations fondées sur une comparaison de quatre ensembles de techniques de lissage : modèles de régression non-paramétrique, estimateurs linéaires Bayésiens (méthode de Marshall), estimateurs Bayésiens empiriques (modèle de Poisson-Gamma), modèle Bayésien de « Besag-York-Mollie » (BYM). Les conclusions des membres de ce groupe plaident en faveur d'un recours à ce dernier modèle. Ils soulignent en effet les moindres performances des méthodes de lissage non paramétriques (notamment de la régression de type Kernel, très peu performante en présence d'autocorrélation), et, au contraire les excellentes performances des modèles Poisson-Gamma et BYM, ce dernier s'avérant être le plus robuste [249]
- La comparaison établie par l'ANSP entre modèles spatiaux (BYM, modèle multi-varié gaussien) et non spatiaux (modèle Poisson-Gamma avec estimation bayésienne empirique, ou avec estimation complètement bayésienne ; modèle Poisson-Log-normal avec effet aléatoire) aboutit à la conclusion selon laquelle « le modèle BYM a l'avantage de modéliser simultanément l'hétérogénéité globale et l'hétérogénéité locale des effets aléatoires »

- Enfin, les travaux de Michaël Genin, dans le cadre de l'équipe E2694 de l'Université de Lille, confirment l'intérêt de l'utilisation du modèle BYM « qui fournit un lissage des SIR prenant en compte leur instabilité vis-à-vis des unités spatiales de faible population, l'hétérogénéité spatiale globale et l'autocorrélation spatiale » [246]

Il ressort de ces différents travaux et recommandations que l'approche Bayésienne du lissage des SIR est la plus fréquemment utilisée. A cet égard, l'ANSP rappelle dans son « Introduction aux statistiques spatiales et aux systèmes d'information géographique en santé environnement » la spécificité de l'approche Bayésienne :

« L'objectif est de lisser les différences de précision des estimations initiales, les SMR, en partageant l'information qu'apportent les différentes unités géographiques. Les SMR peuvent être lissés en utilisant des modèles hiérarchiques qui prennent en compte les données de toutes les unités géographiques pour obtenir des estimations plus stables dans chaque unité géographique. Dans l'approche classiquement utilisée, les observations de chacune des unités géographiques sont considérées comme une réalisation d'une variable aléatoire ayant une distribution de Poisson dont le paramètre, correspondant au RR, est considérée comme fixe et inconnu. Dans l'approche bayésienne, on suppose que ce paramètre est lui-même une variable aléatoire distribuant les risques entre les différentes unités, cette distribution étant appelée distribution a priori. L'estimation du RR est alors le résultat de la combinaison de l'information supposée a priori et l'information apportée par les observations »

Le choix du modèle BYM a donc été réalisé dans le cadre de la présente étude, ce modèle hiérarchique Bayésien pouvant être présenté sous la forme d'un modèle à trois niveaux :

- A un premier niveau (celui de la variabilité locale), le nombre d'arrêts cardiaques observés dans la ième commune O_i est supposé suivre une distribution de Poisson,

$$O_i \sim P(\theta_i e_i)$$

avec une moyenne $\theta_i e_i$, où θ_i représente le Risque Relatif (RR) associé à la commune i et e_i le nombre attendu d'arrêts cardiaques, considéré comme constant et calculé par une méthode de standardisation indirecte (cette méthode va en effet permettre, dans le cas de faibles effectifs, de comparer le nombre de cas attendus d'arrêts cardiaques - en appliquant le taux d'incidence global - au nombre d'arrêts cardiaques effectivement observés),

- A un deuxième niveau (variabilité entre unités territoriales), le logarithme de θ_i est modélisé a priori sous la forme de la somme de deux effets aléatoires indépendants U_i et V_i :

$$\log \theta_i = \beta_0 + U_i + V_i,$$

Où :

- U_i , représente l'hétérogénéité spatiale non structurée
- V_i , décrit la corrélation entre communes voisines (partageant une frontière commune)
- β_0 correspond au niveau global du RR sur l'ensemble de la région (départements étudiés)

L'effet aléatoire (composante d'hétérogénéité) U_i suit une distribution normale de moyenne égale à 0 et de variance σ_U^2 :

$$U_i \sim N(0, \sigma_U^2)$$

L'effet aléatoire V_i est modélisé selon le modèle conditionnel autorégressif (CAR) suivant :

$$(V_i/V_j = v_j, i \neq j) \sim N\left(\frac{\sum_{j \neq i} w_{ij} v_j}{\sum_{j \neq i} w_{ij}}, \frac{\sigma_V^2}{\sum_{j \neq i} w_{ij}}\right),$$

Où $w_{ij} = 1$ si les municipalités i et j sont adjacentes, égal à 0 sinon

Ce deuxième niveau permet ainsi d'introduire la dépendance spatiale, les effets aléatoires pouvant être considérés comme des variables latentes « capturant » les effets de facteurs de risques inconnus ou non mesurés, et structurés ou non structurés spatialement.

- A un troisième niveau, les variances des deux effets aléatoires σ_U^2 et σ_V^2 suivent une distribution gamma non informative a priori, comme suggéré par Bernadinelli et al. [250]

Dans le cadre de cette étude, il a été procédé à l'ajustement du modèle à l'aide du logiciel WinBUGS. Ce logiciel est dédié aux analyses Bayésiennes fondées sur l'utilisation de la Méthode de Monte Carlo pour Chaînes de Markov (MCMC). En termes de spécifications, le paramétrage de l'analyse a été réalisé sur la base de 100.000 itérations et un nombre de 20.000 échantillons initiaux.

Pour ce qui est de l'interprétation des résultats, un SIR lissé est considéré comme significatif dès lors que l'intervalle de confiance ne contient pas la valeur « 1 ».

c. Deuxième étape de l'analyse spatiale : détection des clusters et recours aux statistiques de scan

Le modèle BYM permet d'appréhender la distribution spatiale de l'incidence mais pas d'identifier des clusters de sur/sous incidence significatifs [251]. Il convient donc d'identifier d'autres méthodes permettant d'obtenir ce résultat, et notamment les méthodes de détection de clusters.

L'ANSP définit « un cluster ou agrégat (...) comme une concentration de cas anormalement élevée, supérieure à celle attendue, dans un groupe de personnes, une zone géographique ou une période de temps », précisant que « de nombreuses méthodes ont été développées pour tester une tendance à l'agrégation dans le cas d'une pathologie ».

i. Les différentes méthodes de détection de clusters

Deux types d'approches ont cours : une approche globale consistant en une analyse globale de la distribution spatiale et temporelle d'une pathologie, une analyse spécifique s'attachant à la localisation d'un cluster et à sa significativité [239].

Les méthodes d'analyse spatiale relative à l'identification de clusters font généralement l'objet d'un classement en trois catégories [246] :

- Les tests globaux ou généraux ont pour objectif d'évaluer une tendance à l'agrégation de l'incidence au sein de l'entité géographique considérée dans sa globalité sans hypothèse a priori sur la localisation des clusters et sans s'attacher à cette dernière

Parmi les principaux tests figurent les statistiques de Tango, de Moran (Moran's I) ainsi que le test de Potthoff-Whittinghill et la R-statistique de Besag et Newell. La statistique de Tango apparaît comme le test le plus performant au regard du comparatif établie par Huang et al. [242, 243, 251-255].

- Les tests focalisés ou de concentration sont utilisés dans le cas où l'on dispose d'une information a priori sur une concentration possible de l'incidence en un lieu donné [243, 252, 256-258]. Relèvent notamment de cette catégorie de tests (parmi une centaine recensée par Kullforff en 2002) les tests de Stone et du score du risque linéaire, les plus courants, auxquels vient s'adjoindre l'utilisation de modèles log-linéaires (avec estimation des paramètres par maximisation de la vraisemblance ou par les méthodes MCMC). Dans leur étude comparative Chirpaz et al. [258] recommandent plus particulièrement le recours aux méthodes MCMC. Parmi les études relatives à l'incidence des arrêts cardiaques, seuls Nassel et al. [13] ont recours à un test de concentration, en l'occurrence la statistique de concentration G_i^* de Getis et Ord [259]. Cette statistique, qui ne figure pas dans le comparatif de Chirpaz et al., suppose toutefois que la concentration de l'incidence au sein d'un territoire soit indépendante de la concentration dans les territoires voisins ([260])
- Les tests de détection permettent de localiser des clusters potentiels et de tester leur significativité [251, 261-268]. Pour ce qui est des tests de détection dans le domaine de l'incidence des arrêts cardiaques, plusieurs auteurs ont eu recours à la méthode LISA (Local Moran's I) [13, 16, 18]. Seuls Root et al. [19] ainsi que – de nouveau – Sasson et al. [16] utilisent les statistiques de scan.

Les tests focalisés ou de concentration ne correspondent pas aux méthodes susceptibles d'être mises en œuvre dans le cadre de cette étude, au regard notamment de la condition de disposer d'une information a priori relative à un point-source.

L'utilisation de tests globaux ne relève pas non plus de notre démarche dès lors qu'ils ne permettent pas de localiser les clusters et d'apprécier leur significativité.

En revanche les tests de détection de clusters répondent bien aux objectifs de cette étude.

Le choix d'une méthode a notamment été opéré à partir des sources d'informations suivantes :

- Le comparatif établi par Huang et al. [251]
- Les travaux de Christophe Demattéi³⁷ et Michaël Genin [246]
- L'étude de la littérature et plus particulièrement des publications relatives à l'incidence des arrêts cardiaques [13, 16, 18, 19] (sur environ 3.500 références identifiées dans le domaine de la recherche médicale).

Parmi les très nombreuses méthodes de détection de clusters, Huang et al. [251] établissent une distinction entre l'utilisation de statistiques de scan, d'une part, la méthode LISA (Local Indicators of Spatial Association ou Local Moran's I) [251, 269].

Trois études relatives à l'incidence des arrêts cardiaques ont eu recours à la méthode LISA [13,16,18]. Fondée sur le test de « global clustering » de la statistique de Moran's I, la méthode LISA consiste à considérer comme des clusters les lieux pour lesquels les résultats de la statistique précitée s'avèrent être atypique. Cependant nous ne retiendrons pas cette méthode au regard des limites et observations soulevées par les différents auteurs :

- Sasson et al. [16] évoquent la difficulté à interpréter les résultats obtenus aux frontières des unités géographiques (les tests statistiques ne sont pas robustes pour ceux des territoires ayant moins de frontières communes avec d'autres). Par ailleurs, une comparaison réalisée dans le cadre de la même étude avec l'utilisation de statistiques de scan a permis d'identifier cinq clusters regroupant 74 territoires à forte incidence contre seulement 27 avec la méthode LISA
- Semple et al. [18] s'interrogent sur l'efficience et la pertinence de la méthode LISA pour les territoires à faible incidence, par ailleurs ils mettent en garde contre une utilisation de LISA sans ajustement à partir de certains logiciels, le risque d'erreur de détection de l'autocorrélation étant particulièrement élevé et recommandent en cas d'utilisation de LISA de recourir aux techniques d'ajustement de Bonferroni et Sidak

³⁷ Demattei C. Détection d'agrégats temporels et spatiaux, Ph.D. Thesis Université Montpellier 1 UFR de médecine, Montpellier; 2006.

- Cette observation de Semple et al. est à mettre en lien avec celle de Huang et al. relative au peu de performance de la statistique de Moran's I en tant que test global. Il apparaît en effet que ce test n'est performant que dans le cas d'une incidence élevée sur un territoire à forte densité de population, alors qu'il est difficile d'identifier une tendance au clustering quand le RR est élevé et la population faible. De fait la statistique de Moran's I semble davantage refléter la variation de l'effectif de la population que du RR et ce test n'apparaît pas plus performant quand le nombre de cas est rapporté à la population [270, 271]

Il a donc été procédé à un choix parmi les méthodes de statistiques de scan.

ii. Les différentes méthodes de statistiques de scan

La détection des clusters à partir de statistiques de scan est réalisée selon le principe d'un « balayage spatial » des territoires étudiés en vue de détecter des lieux géographiques de sur ou sous-incidence et ce sans hypothèse a priori. Ces lieux sont identifiés par des techniques de balayage au moyen d'une fenêtre dont la forme peut être prédéfinie ou non selon la méthode employée.

Il existe plusieurs méthodes de statistiques de scan, mais elles s'inscrivent dans un cadre général et ont fait l'objet de travaux de classification.

Pour ce qui est du cadre général, Kulldorff a proposé un cadre général constitué des éléments caractéristiques de chaque méthode (test), des travaux de classification permettant d'identifier la méthode appropriée aux contraintes de l'étude (données agrégées ou individuelles, forme de la fenêtre de balayage et possibilité de détecter des clusters de forme irrégulière, ...). Les classifications auxquelles nous faisons référence identifient deux catégories de méthodes de statistiques de scan : paramétriques et non paramétriques [246].

Comme rappelle Michaël Genin, les statistiques de scan bidimensionnelles ont initialement été définies au moyen d'une fenêtre de forme rectangulaire et de taille fixe, limitant fortement la possibilité de détecter des clusters dès lors que les données ne correspondaient pas à cette « forme ». Puis sont apparues les méthodes paramétriques ayant recours à d'autres types de

fenêtre (circulaire, elliptiques par exemple) ainsi que des méthodes non paramétriques (cas des fenêtres de forme irrégulière) [246] :

- Méthodes de statistiques de scan paramétriques

Parmi ces méthodes figurent celles issues des travaux de Kulldorff et Nagarwalla [261, 263] relatifs aux statistiques de scan avec forme de fenêtre circulaire, puis elliptique (cas discret) [272]. Ces méthodes sont utilisables avec des données ponctuelles, sachant que la forme des agrégats (clusters) potentiels est prédéfinie.

Deux modèles peuvent être retenus dans le cadre de ces méthodes, les modèles de Bernoulli et de Poisson, le premier étant adapté aux situations pour lesquelles les cas témoins sont appariés sur les cas, le second étant préconisé lorsque le nombre de cas est négligeable face à la taille de la population de fond.

- Méthodes de statistiques de scan non paramétriques

Ces méthodes sont applicables à la recherche de clusters de forme irrégulière (avec la possibilité de la définir arbitrairement). On compte parmi elles principalement les méthodes ULS (Upper Level Set) de Patil et Taillie [273], MST (Minimum Spanning Tree) de Assunção et al. [274], SA (Simulated Annealing) de Duczmal et Assunção [275], FFS (Flexibility Shaped Spatial) de Tango et Takahashi [266], ainsi que la méthode Demattéi³⁸ et celle de Kelsall et Diggle [276]. Il convient également d'ajouter la méthode CEPP (Cluster Evaluation Permutation Procedure) de Turnbull et al. [268], qui présente au regard des autres méthodes la double caractéristique de recourir à une fenêtre de forme circulaire, d'une part, de ne pas nécessiter de fixer préalablement l'aire de la fenêtre de scan en fonction d'une taille de territoire ou de population, d'autre part.

iii. Le choix de la méthode

Une comparaison des différentes méthodes évoquées plus haut amène à faire le choix d'une méthode de statistiques de scan paramétrique.

³⁸ Demattei C. Détection d'agrégats temporels et spatiaux, Ph.D. Thesis Université Montpellier 1 UFR de médecine, Montpellier; 2006.

Il s'avère en effet que les méthodes non paramétriques présentent un certain nombre de limites telles que notamment :

- Une contrainte quant à la largeur a minima de la fenêtre pour ce qui est de la méthode CEPP
- Une faible performance de la méthode ULS pour une étude portant sur des territoires de taille relativement importants sur lesquels surviennent peu de cas
- La contrainte d'avoir à identifier au préalable non seulement les cas survenus mais également les « cas contrôle » conduit à renoncer à l'emploi des méthodes SA [275] et de Kelsall et Diggle [276]

Sachant qu'en règle générale les méthodes ayant recours à des formes de fenêtres irrégulières imposent une limitation du nombre de clusters susceptibles d'être détectés.

Il ressort par ailleurs d'une comparaison de ces méthodes réalisée par Huang et al., que les méthodes paramétriques à fenêtres circulaire et elliptique (dans le cadre d'une utilisation du logiciel SaTScan) sont les plus performantes. Avec une différence toutefois entre ces deux méthodes : la forme circulaire témoigne en effet d'une meilleure sensibilité (capacité à détecter les « vrais » clusters, mesurée par le nombre d'unités détectées dans les clusters significatifs qui sont dans de vrais clusters rapporté au nombre total d'unités dans les vrais clusters), alors que la forme elliptique présente l'avantage de générer moins de « faux-positifs » (nombre d'unités dans les clusters significatifs qui sont dans de vrais clusters rapporté au nombre d'unités dans les clusters détectés).

Nous privilégions ici le choix d'une meilleure capacité à localiser les clusters, donc la méthode paramétrique avec fenêtre de forme circulaire, sachant qu'en termes de limites ce choix sera d'autant plus pertinent que les clusters détectés ont bien une forme circulaire.

Pour ce qui est du modèle, nous aurons recours au modèle de Poisson plutôt qu'au modèle de Bernouilli dès lors que le nombre d'arrêts cardiaques est peu élevé au regard de l'effectif total de la population des trois départements franciliens sélectionnés. Par ailleurs le modèle de Poisson s'applique dès lors que nous sommes en présence de données latticielles [277] dans le cadre de cette étude (**Figure 62**).

Figure 62 : Données latticielles (Source : Genin et al. – 2016)

Les méthodes de statistiques de scan spatiales s'appliquent à tout type de données spatiales :

- les données ponctuelles, qui sont caractérisées par la position aléatoire de chaque événement dans l'espace étudié
- les données géostatistiques qui sont définies comme un ensemble de sites fixés dans un espace étudié et au sein desquels une mesure considérée aléatoire est observée (ex : mesure de pollution par capteurs dans une région)
- les données latticielles qui sont caractérisées par des données agrégées à une échelle spatiale telle que la commune, le canton ou encore le département.

Un ensemble de données latticielles est modélisé par un réseau discret non orienté structuré par un graphe de voisinage muni d'une matrice d'adjacence. Chaque sommet du graphe correspond au barycentre de l'unité spatiale associée.

iv. Application des statistiques de scan

Les deux étapes de l'application des statistiques de scan, la détection et l'inférence, vont être présentées ainsi que la spécification du modèle utilisé, en l'occurrence un modèle de Poisson issu des travaux de Kulldorff. Fondée sur un test du rapport de vraisemblance, la méthode de Kulldorff permet de localiser et de tester des clusters sans biais de pré-sélection [261].

- Spécification du modèle [246, 261, 277]

Le territoire étudié est modélisé par un processus aléatoire

$$X = \{X_d, d \in D\} .$$

Ce processus aléatoire est indexé par un ensemble spatial discret fixé $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\} \subset \mathbb{R}^2$.

Chaque site $d_i, 1 \leq i \leq n$ correspond au barycentre d'une commune et X_{d_i} correspond au nombre d'arrêts cardiaques observés au sein de la commune.

Les variables aléatoires X_{d_i} sont modélisées par une loi de Poisson de paramètre $p\mu(d_i)$ où p correspond à la probabilité d'apparition de l'événement sur l'ensemble du territoire étudié et $\mu(d_i)$ est la population sous-jacente observée à la localisation d_i .

Quel que soit $A \subset D$, on peut définir $\mu(A) = \sum_{d_i \in A} \mu(d_i)$ et $X_A = \sum_{d_i \in A} X_{d_i}$, X_A étant distribuée selon une loi de Poisson de paramètre $p\mu(A)$.

L'application de la méthode consiste à tester l'hypothèse nulle H_0 d'absence de cluster stipulant que dans l'ensemble de l'aire étudiée $X_{d_i} \sim P(p\mu(d_i)), \forall i$ contre une hypothèse alternative H_1 supposant l'existence d'au moins une zone $Z \subset D$ dans laquelle la probabilité d'apparition d'un événement est plus élevée que dans le reste du territoire étudié

$$X_{d_i} \sim P(p\mu(d_i)), d_i \in Z \text{ et } X_{d_i} \sim P(q\mu(d_i)), d_i \in Z^c$$

Avec

$$\begin{cases} H_0 : p = q, X_A \sim P(p\mu(A)), \forall A \subset D \\ H_1 : p > q, X_A \sim P(p\mu(A \cap Z) + q(A \cap Z^c)), \forall A \subset D. \end{cases}$$

Une fenêtre de forme circulaire Z balaie le territoire étudié afin d'identifier des clusters éligibles.

A chacun de ces clusters Z est associé le rapport de vraisemblance suivant :

$$L(Z) = \frac{\sup_{\{p>q\}} L(Z, p, q)}{\sup_p L(p)},$$

où $L(Z, p, q)$ et $L(p)$ correspondent respectivement aux fonctions de vraisemblance sous H_1 et H_0 .

Le cluster éligible maximisant ce rapport de vraisemblance est appelé *Most Likely Cluster* (MLC) et noté \tilde{Z} .

Son rapport de vraisemblance constitue la statistique de test λ utilisée pour tester H_0 contre H_1 :

$$\lambda = \sup_{\{Z \in \tilde{Z}\}} L(Z) = L(\tilde{Z}).$$

Le test basé sur la statistique de rapport de vraisemblance λ permet de tester la significativité du MLC.

Une procédure de Monte-Carlo est utilisée dès lors que la distribution de λ sous H_0 n'a pas de forme analytique.

R jeux de données sont alors générés sous l'hypothèse H_0 . La statistique de test λ est calculée pour chacun de ces jeux de données.

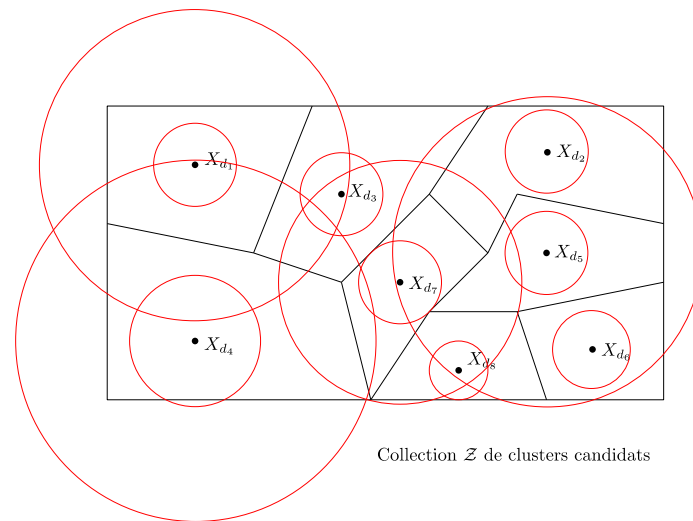
L'estimateur de maximum de vraisemblance de la probabilité critique associée au MLC, P_{MLC} est alors défini comme le rapport entre le nombre de statistiques de tests simulées $\lambda_i, 1 \leq i \leq R$ supérieures à la valeur observée la statistique de test sur données réelles λ et le nombre de simulations plus un :

$$P_{MLC} = \frac{\#\{\lambda_i > \lambda\}}{R + 1}$$

- Phase de détection

Pendant cette phase une fenêtre de forme circulaire de taille variable (désignée par Z dans le modèle spécifié) balaie les territoires retenus dans le cadre de l'étude, utilisant comme centres les centroïdes des communes (**Figure 63**). Une statistique basée sur le rapport de vraisemblance et les nombres de cas observés et attendus est calculée pour chaque fenêtre. A chaque étape du balayage, le rayon de la fenêtre circulaire varie de 0 à 1 au maximum. Le balayage conduit à ne jamais englober plus de 50 % du total des cas (arrêts cardiaques) observés dans une fenêtre, (sinon un cluster regroupant plus de 50 % des cas témoignerait d'une insuffisance de cas hors ce cluster). Cette étape produit un grand nombre (fini) de fenêtres, la fenêtre maximisant la fonction de vraisemblance peut alors être définie comme le cluster le plus probable (Most Likely Cluster ou MLC, cluster ayant la probabilité la plus faible d'avoir été détecté par hasard).

Figure 63 : Processus de balayage de l'espace étudié par une fenêtre de balayage lors de la phase de détection (Source : Genin et al. – 2016)



Pour ce qui est de la phase d'inférence, l'hypothèse nulle correspond à l'absence de clusters en considérant que le risque d'arrêt cardiaque est constant pour l'ensemble des communes. Pour tester cette hypothèse nulle nous utilisons un rapport de vraisemblance LLR. Le numérateur du LLR est la valeur de la fonction de vraisemblance associée au cluster le plus probable, et le dénominateur est la valeur de la fonction de vraisemblance correspondant à l'hypothèse nulle. La distribution du LLR est inconnue, nous utilisons donc en termes de méthodes 99.000 itérations aléatoires dans le cadre d'une simulation de Monte Carlo sous l'hypothèse nulle d'obtenir une P value. Une itération consiste à générer un échantillon aléatoire suivant une distribution de Poisson sous l'hypothèse nulle (absence de clusters). Les calculs ont été réalisés à partir du logiciel SaTScan [278]. Un cluster est significatif quand sa P value (probabilité critique unilatérale) associée est inférieure à 0.05. Les clusters secondaires, qui ont une fonction de vraisemblance LLR élevée et ne se superposent pas avec le cluster le plus probable ont également été pris en compte. Leur significativité a été évaluée en calculant la P value ajustée sur le cluster le plus probable selon la méthode de Zhang [279]. Un RR a été associé à chaque cluster. Cette mesure peut être interprétée comme le risque d'observer un arrêt cardiaque dans le cluster souligné comparée à l'ensemble du territoire excluant les clusters identifiés.

Dans le cadre de cette étude, les clusters ont été ajustés au moyen d'une standardisation indirecte sur l'âge, dont on sait qu'il est un facteur de confusion en matière d'incidence de l'arrêt cardiaque [1, 4, 27]. La densité de la population a également été prise en compte. Il convient également de souligner que l'ANSP recommande dans le cadre de l'application de cette méthode d'introduire le cas échéant « un score socio-économique dans la recherche d'éventuels clusters ».

d. Troisième étape de l'analyse spatiale : la comparaison des groupes de communes

Les municipalités ont été réparties dans 3 groupes : communes incluses dans les clusters avec une incidence élevée, celles contenues dans les clusters à incidence faible, et communes ne relevant pas d'un cluster.

Dès lors que les caractéristiques socio-économiques au sein des trois groupes ne suivent pas une distribution normale, un test de Kruskal-Wallis a été utilisé afin de pouvoir les comparer. Le test non-paramétrique de Dunn avec la correction de Bonferroni a également été utilisé pour les comparaisons « post-hoc » entre les 3 groupes.

Les analyses statistiques comparatives ont été réalisées sur SAS software version 9.3. Toutes les analyses statistiques ont été considérées comme significatives au seuil de 5 %.

Chapitre 2 : Résultats

1. Analyse statistique – Principales caractéristiques

L'analyse statistique permet d'identifier un certain nombre de caractéristiques démographiques (âge, proportion d'hommes victimes d'un arrêt cardiaque), relatives au lieu de survenue de l'arrêt cardiaque ou à des facteurs de survie liés à la chaîne de survie comme on peut le constater à la lecture du tableau suivant (**Tableau 1**).

L'âge médian de survenue d'un arrêt cardiaque est de 70 ans pour l'ensemble des 3 départements de la « Petite Couronne » ; inférieur en Seine-Saint-Denis (68 ans), il est supérieur dans les Hauts-de-Seine et le Val de Marne (avec un âge médian respectivement de 73 et 72 ans).

Nous observons une certaine homogénéité entre départements de la « Petite Couronne » en ce qui concerne :

- Le lieu de survenue des arrêts cardiaques, en l'occurrence le domicile dans près de 70 % des cas en moyenne
- L'étiologie des arrêts cardiaques, avec une origine médicale dans 90 % des cas
- L'utilisation d'un défibrillateur automatique externe par les secours (témoins ou secours professionnels) avant l'arrivée du SMUR dans 82.5 % des cas en moyenne
- Le rythme initial à l'arrivée du SMUR, non choquable (asystolie et activité électrique sans pouls) dans 85.4 % des cas en moyenne (les parts relatives de l'asystolie et de l'activité électrique sans pouls étant toutefois variables d'un département à l'autre)
- Le délai d'intervention du SMUR, de 20 minutes en moyenne

Tableau 1 : Principales caractéristiques la population étudiée (arrêts cardiaques survenus dans les départements 92,93 et 94)

	Population générale N=3414	Données manquantes, <i>n</i>	Hauts-de-Seine N=1032	Données manquantes, <i>n</i>	Seine-Saint-Denis N=1439	Données manquantes, <i>n</i>	Val-de-Marne N=943	Données manquantes, <i>n</i>	p
Sexe (masculin)	61.0%	0	58.1%	0	63.7%	0	60.0%	0	0.017
Age (année)*	70[54–83]	0	73[56–84]	0	68[52–81]	0	72[56–84]	0	< 10 ⁻³
Etiologie (médicale)	90.0%	0	88.6%	0	90.6%	0	90.8%	0	0.165
Lieu de l'AC (domicile)	70.2%	11	70.5%	7	71.0%	3	68.6%	1	0.441
Présence d'un témoin	69.3%	0	67.8%	0	69.6%	0	70.6%	0	0.392
RCPB témoin	42.0%	0	41.6%	0	38.8%	0	47.4%	0	< 10 ⁻³
RCPB secours professionnels	84.5%	0	86.6%	0	82.1%	0	86.0%	0	0.003
Pose d'un DEA avant l'arrivée du SMUR	82.5%	348	84.3%	112	80.9%	123	82.9%	113	0.094
Durée de No-flow (min)#	5[0–13]	760	6[0–13]	412	6[0–13]	261	4[0–13]	87	0.302
Rythme cardiaque à l'arrivée du SMUR		0		0		0		0	< 10 ⁻³
• Asystolie	79.1%		79.8%		81.0%		75.4%		
• Rythme sans pouls	6.3%		4.8%		5.3%		9.3%		
• FV/TV	5.1%		6.1%		5.1%		4.4%		
• Activité spontanée	9.5%		9.3%		8.6%		10.9%		
RCPS	62.4%	0	56.5%	0	64.4%	0	65.7%	0	< 10 ⁻³
Délai d'intervention SMUR (min)	20[13–27]	28	18[13–26]	14	20[13–27]	3	20[14–29]	11	< 10 ⁻³
RACS	23.4%	0	21.9%	0	22.7%	0	26.3%	0	0.046
Statut Vital à l'admission à hôpital (vivant)	21.8%	0	20.8%	0	21.5%	0	23.1%	0	0.454
Statut Vital à J+30 (vivant)	5.5%	0	6.1%	0	4.9%	0	5.7%	0	0.379
CPC 1-2 à J+30 ou à la sortie de l'hôpital (parmi les survivants)	89.0%	0	91.8%	0	82.6%	0	94.2%	0	0.090

RCPB : Réanimation cardiopulmonaire de base ; RCPS : Réanimation cardiopulmonaire spécialisée ; DEA : Défibrillateur entièrement automatisé ; CPC : Cerebral Performance Category ; FV/TV : fibrillation ventriculaire/tachycardie ventriculaire

* médiane[Q1–Q3]; # délai entre l'arrêt cardiaque et les premiers gestes de réanimation

Cela étant nous observons également certaines différences pour ce qui est :

- De la proportion d'hommes victimes d'un arrêt cardiaque, de 61 % en moyenne mais de 58.1 % en Seine-Saint-Denis et de 63.7 % dans les Hauts-de-Seine
- De la réalisation d'une RCP par un témoin, de 42 % en moyenne, mais qui varie de 38.8 % en Seine-Saint-Denis à 47.4 % dans le Val-de-Marne
- De la durée du no-flow de 5 minutes en moyenne, mais de 4 minutes dans le Val-de-Marne contre 6 minutes dans les deux autres départements
- Du taux de retour à une activité circulatoire spontanée, de 9.5 %, mais respectivement de 8.6 % en Seine-Saint-Denis et 10.9 % dans le Val-de-Marne
- De la mise en œuvre d'une réanimation spécialisée : 62.4 % en moyenne mais 56.5 % dans les Hauts-de-Seine et 65.7 % dans le Val-de-Marne
- De taux de survie à l'admission et à 30 jours, qui s'élèvent respectivement à 21.8 % et 5.5 % pour l'ensemble des 3 départements, le taux de survie à l'admission étant le plus élevé dans le Val de Marne (23.1 %), le taux de survie à 30 jours étant le plus élevé dans les Hauts de Seine (6.1 %)
- De séquelles neurologiques à 30 jours , avec une absence ou de faibles séquelles neurologiques dans 89 % pour l'ensemble des 3 départements étudiés, la situation étant très contrastée entre les 3 départements, avec un taux de 82.6 % en Seine-Saint-Denis alors qu'il s'élève à 94.2 % dans le Val-de-Marne.

En synthèse et pour chacun des départements de la « Petite Couronne » :

- nous observons un taux de survie (à l'admission) plus élevé dans le Val-de-Marne. Il en est de même pour ce qui est du retour à une activité circulatoire spontanée ainsi que pour les pourcentages de RCP et de réanimation spécialisée, alors que la durée de no-flow y est moindre. En revanche le département 94 ne se différencie pas des deux autres départements du point de vue de l'étiologie des arrêts cardiaques et du délai d'intervention du SMUR.

- le taux de survie à l'admission est le plus faible de la « Petite Couronne » dans les Hauts-de-Seine. Il en est de même pour la mise en œuvre d'une réanimation spécialisée alors que le pourcentage de RCP se situe dans la moyenne des 3 départements. Cela étant le département 92 est également celui où les retours à une activité circulatoire spontanée sont les moins nombreux.
- le département 93 est caractérisé par les taux de réanimation (RCP et ACLS) et de défibrillation externe les plus faibles, cela alors que le pourcentage de survenue d'un arrêt cardiaque en présence d'un témoin est comparable à celui des autres départements. Une autre caractéristique de ce département réside dans les résultats en termes de taux de survie à 30 jours et d'issue sur le plan neurologique, le taux de survie à 30 jours étant sensiblement inférieur à celui des autres départements, et l'issue neurologique bien moins favorable.

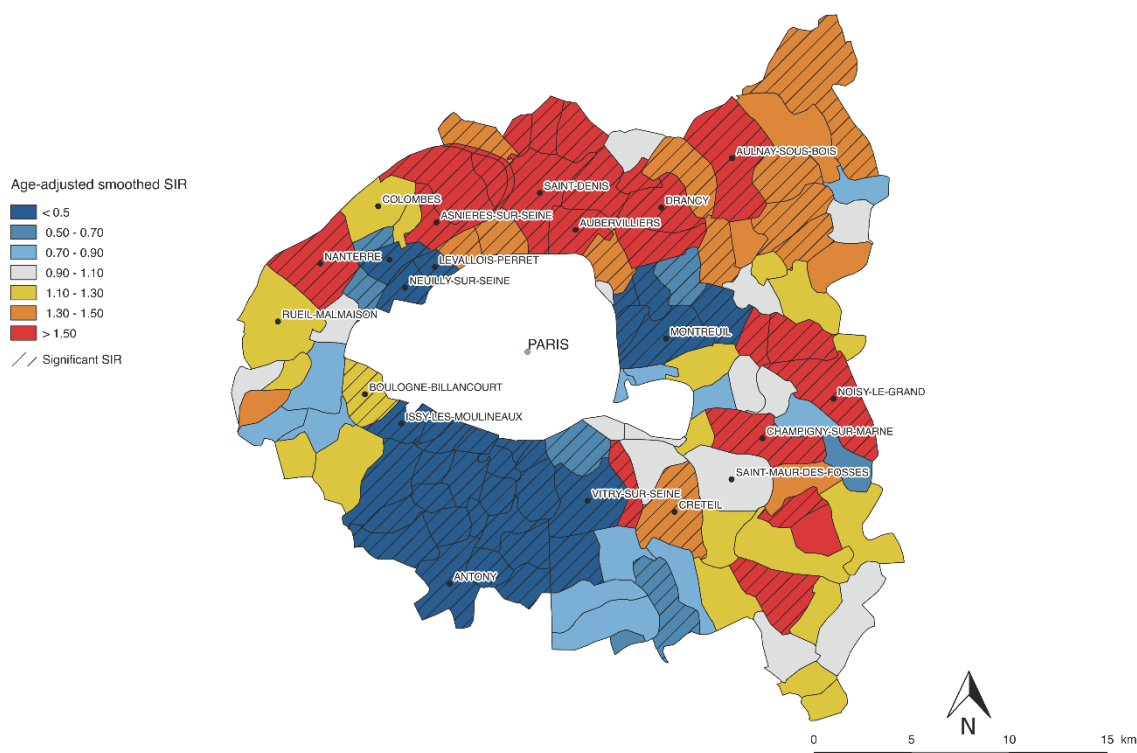
2. Incidence des arrêts cardiaques en Ile-de-France

Le taux d'incidence annuel (standardisé selon l'âge) constaté pour la « Petite Couronne » francilienne est de 76.5/100.000 habitants.

L'incidence n'est toutefois pas répartie de façon homogène au sein des territoires de ces trois départements comme en témoigne la représentation graphique des ratios standardisés d'incidence (smoothed SIR ou SIR lissés) (**Figure 64**).

La répartition spatiale de l'incidence des arrêts cardiaques dans les départements de « Petite Couronne » montre en effet une concentration de l'incidence en Seine-Saint-Denis, à l'est du Val-de-Marne, et dans le nord des Hauts-de-Seine en particulier.

Figure 64 : Ratios standardisés d'incidence lissés – Départements de la « Petite Couronne » (« age-adjusted smoothed SIR »)



L'application d'un modèle Bayésien hiérarchique montre de fortes variations des SIR lissés entre les 123 communes des départements 92,93 et 94. Ces ratios vont en effet de 0,15 à 2,51. Parmi les 123 SIR lissés, 33 ont une valeur supérieure à 1, correspondant à un risque élevé significatif alors que 37 ont une valeur inférieure à 1 et correspondent à un risque significativement faible.

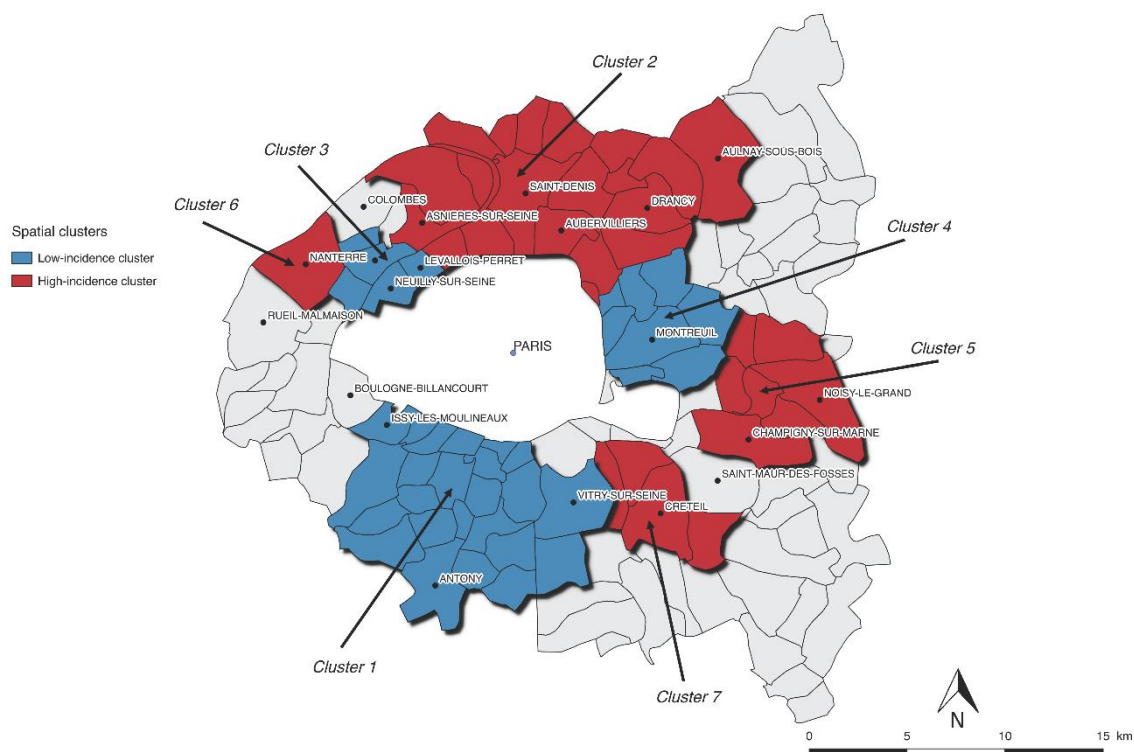
3. Analyse spatiale

i. Détection des clusters de sur-incidence et de sous-incidence

L'application des statistiques de scan nous permet d'identifier deux catégories de clusters significatifs : des clusters d'incidence faible, des clusters d'incidence élevée.

Une représentation graphique des clusters significatifs de sous et de sur-incidence (**Figure 65**) nous permet d'apprécier l'intérêt de l'utilisation des méthodes de statistiques de scan par rapport à celle des SIR lissés en matière d'incidence des arrêts cardiaques.

Figure 65 : Incidence des arrêts cardiaques – Représentation des clusters identifiés dans les départements de « Petite Couronne »



La comparaison des deux représentations graphiques (Clusters et SIR lissés) montre ainsi qu'il n'existe notamment pas de cluster significatif de sous ou sur-incidence au nord-est de la Seine-Saint-Denis, du sud du Val-de-Marne, ou encore sur le territoire de la commune de Boulogne-Billancourt dans les Hauts-de-Seine. Or il convient de constater que des SIR lissés significatifs sont indiqués pour ces territoires dans la représentation spatiale de l'incidence des arrêts cardiaques réalisée à partir de cette méthode bayésienne.

La description des caractéristiques des clusters significatifs (localisation géographique, rayon, population, arrêts cardiaques observés et attendus, risque relatif et p-value) est donnée dans le tableau suivant (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Caractéristiques des clusters significatifs de sous et sur-incidence des arrêts cardiaques dans les départements de la “Petite Couronne” francilienne

ID ^a	Taux d'incidence ^b	Radius (km) ^c	Population	Observés	Attendus	Risque Relatif	p
1	20.7	6.2	829,724	182	671.23	0.23	0.000 1
2	128.7	8.7	969,597	1079	641.18	2	0.000 1
3	26.3	2.8	286,415	82	238.59	0.33	0.000 1
4	43.2	3.1	371,836	158	279.8	0.54	0.000 1
5	112.1	3.2	271,177	296	201.93	1.51	0.000 1
6	134.4	2.1	90,722	107	60.87	1.78	0.000 4
7	155.1	2.7	204,867	217	155.12	1.43	0.001 4

^a ID, localisation géographique du clusters dans la Figure 65

^b Incidence pour 100,000 habitants

^c Radius, distance en km entre le centre du cluster et ses limites

Grâce aux statistiques de scan nous pouvons identifier 7 clusters significatifs en termes d'incidence des arrêts cardiaques parmi lesquels :

- **3 clusters de faible incidence**

Pour ces clusters le risque relatif varie de 0.23 à 0,54. Ils concentrent 422 arrêts cardiaques pour 1.487.975 habitants.

Le taux d'incidence moyen constaté pour ces clusters est de 30/100.000.

- **4 clusters de forte incidence**

Le risque relatif varie de 1.43 à 2 pour ces clusters. Ils regroupent 1.536.363 habitants, pour un nombre de 1.699 arrêts cardiaques survenus au cours de la période étudiée (un seul de ces clusters, le cluster 2, regroupant à lui seul 1.079 arrêts cardiaques).

Le taux d'incidence moyen constaté pour ces 4 clusters s'élève à 132/100.000.

Parmi les clusters de faible incidence, le cluster 1 est celui pour lequel le risque relatif est le plus bas (RR = 0.23)

Ce cluster est composé des communes suivantes :

- Communes des Hauts-de-Seine du cluster 1 : Bourg-la-Reine, Sceaux, Bagneux, Fontenay-aux-Roses, Chatillon, Antony, Montrouge, Chatenay-Malabry, Malakoff, Le Plessis-Robinson, Clamart, Vanves, Issy-les-Moulineaux
- Communes du Val de Marne du cluster 1 : L'Haÿ-les-Roses, Cachan, Fresnes, Chevilly-Larue, Arcueil, Villejuif, Gentilly, Le Kremlin-Bicêtre, Rungis, Thiais, Vitry-sur-Seine

Les autres clusters de sous-incidence comprennent :

- **Pour le cluster 3** (RR= 0.33) les communes suivantes du département des Hauts-de-Seine : Neuilly-Sur-Seine, Levallois-Perret, Courbevoie, Puteaux, La Garenne-Colombes
- **Pour le cluster 4** (RR = 0.54) les communes suivantes des départements 93 et 94 :
 - Pour le département de Seine-Saint-Denis les communes de Montreuil, Bagnolet, Rosny-Sous-Bois, Romainville, Les Lilas, Noisy-le-Sec
 - Pour le département du Val-de-Marne les communes de Fontenay-Sous-Bois et Vincennes

Parmi les clusters de forte incidence, le risque relatif est le plus élevé (RR = 2) dans le cluster 2, composé des communes suivantes réparties entre les départements des départements des Hauts-de-Seine et de Seine-Saint-Denis :

- Communes des Hauts-de-Seine du cluster 2 : Villeneuve-La-Garenne, Gennevilliers, Clichy, Asnières-Sur-Seine
- Communes de Seine-Saint-Denis du cluster 2 : Stains, Pierrefitte-Sur-Seine, Villetaneuse, Dugny, La Courneuve, Saint-Denis, L'île-Saint-Denis, Le Bourget, Aubervilliers, Epinay-Sur-Seine, Le Blanc-Mesnil, Drancy, Pantin, Saint-Ouen, Bobigny, Aulnay-Sous-Bois, Le Pré-Saint-Gervais

Le cluster 6 composé de la seule commune de Nanterre vient juste après avec un risque relatif de 1.78.

Les autres clusters de sur-incidence comprennent :

- **le cluster 5** (RR=1.51) regroupant les communes suivantes des départements 93 et 94
 - Pour le département de Seine-Saint-Denis : les communes de Neuilly-Sur-Marne, Noisy-Le-Grand, Neuilly-Plaisance
 - Pour les communes du Val-de-Marne : les communes de Bry-Sur-Marne, Le Perreux-Sur-Marne, Villiers-Sur-Marne, Champigny-sur-Marne
- **le cluster 7** (RR=1.43) composé des communes suivantes du Val de Marne : Créteil, Maisons-Alfort, Alfortville, Bonneuil-Sur-Marne

Des communes des trois départements de « Petite Couronne » apparaissent dans les clusters de sous et sur-incidence identifiés grâce aux statistiques de scan, sachant que parmi les 123 communes de ces départements, 37 relèvent d'un cluster de sous-incidence, 33 d'un cluster de sur-incidence.

Toutefois le risque de survenue d'un arrêt cardiaque apparaît particulièrement élevé sur l'ensemble des territoires constitué par les communes de l'ouest de la Seine-Saint-Denis et du nord des Hauts-de-Seine ainsi que sur le territoire de la commune de Nanterre.

ii. Comparaison des caractéristiques socio-économiques des groupes de communes en fonction de l'incidence.

Nous avons vu que parmi les 123 communes des 3 départements de « Petite Couronne », 37 appartenaient à un cluster de faible incidence, 33 à un secteur de forte incidence, 53 communes ne relevant donc d'aucun cluster et nous les identifierons ici comme les communes pour lesquelles l'incidence est considérée comme « normale ».

Les résultats obtenus pour ce qui est des caractéristiques de chacun de ces 3 groupes de communes sont donnés dans le tableau suivant (**Tableau 3**).

**Tableau 3 : Comparaison des 3 groupes de communes d'incidence faible, élevée et normale
selon leurs caractéristiques socioéconomiques**

Caractéristiques des municipalités	Municipalités avec une incidence normale d'AC (n=53)			Municipalités avec une incidence faible d'AC (n=37)			Municipalités avec une incidence élevée d'AC (n=33)			p ^a	Différences N: normale incidence L: faible incidence H: haute incidence		
	N	Med	[Q1;Q3]	N	Med	[Q1;Q3]	N	Med	[Q1;Q3]		H vs N	L vs N	H vs L
Indice de développement humain 2 (HDI2)^c													
Composante santé	53	0.639	[0.587; 0.69]	37	0.634	[0.599; 0.688]	33	0.543	[0.521; 0.579]	<.0001	*	-	*
Composante éducationnelle	53	0.644	[0.442; 0.761]	37	0.641	[0.551; 0.756]	33	0.339	[0.153; 0.463]	<.0001	*	-	*
Composante de revenu	53	0.691	[0.562; 0.75]	37	0.634	[0.575; 0.734]	33	0.442	[0.366; 0.526]	<.0001	*	-	*
Indice global	53	0.666	[0.522; 0.72]	37	0.63	[0.592; 0.727]	33	0.418	[0.349; 0.52]	<.0001	*	-	*
Logement													
% d'HLM comme résidence principale	53	0.076	[0.032; 0.103]	37	0.121	[0.097; 0.137]	33	0.145	[0.11; 0.187]	<.0001	*	*	-
Nombre d'habitant par logement	53	2.464	[2.319; 2.656]	37	2.261	[2.149; 2.382]	33	2.514	[2.328; 2.772]	<.0001	-	*	*
% de logement ancien (avant 1946)	53	0.164	[0.103; 0.266]	37	0.192	[0.124; 0.255]	33	0.17	[0.12; 0.247]	0.7374			
Education													
% de personne de 15 et + sans diplôme de l'enseignement supérieur	53	0.096	[0.074; 0.148]	37	0.102	[0.069; 0.132]	33	0.194	[0.14; 0.226]	<.0001	*	-	*
Équipement du territoires													
Nombre d'établissements en activité	53	1706	[763; 2802]	37	2507	[1807; 4704]	33	3179	[1647; 5317]	0.0007	*	*	-
Nombre de création d'entreprise entre 2009 et 2014	53	19624	[9,403; 31,875]	37	28134	[23,431; 46,824]	33	42549	[23,248; 56,637]	0.0002	*	*	-
Défaveur sociale (% de ménage)													
Monoparental	53	0.105	[0.091; 0.122]	37	0.115	[0.096; 0.128]	33	0.141	[0.117; 0.153]	<.0001	*	-	*
Personne de référence = employé	53	0.054	[0.044; 0.064]	37	0.06	[0.056; 0.071]	33	0.075	[0.069; 0.082]	<.0001	*	*	*
Personne de référence = ouvrier	53	0.046	[0.029; 0.069]	37	0.039	[0.029; 0.058]	33	0.076	[0.057; 0.084]	<.0001	*	-	*
Homme seul	53	0.128	[0.102; 0.144]	37	0.151	[0.139; 0.178]	33	0.138	[0.126; 0.166]	<.0001	*	*	-
Femme seule	53	0.179	[0.138; 0.21]	37	0.214	[0.196; 0.235]	33	0.172	[0.153; 0.205]	<.0001	-	*	*
Niveau de revenu et pauvreté													
Revenu médian	53	25286	[20,275; 28,317]	37	22438	[20,474; 27,886]	33	16,575	[15,292; 18,858]	<.0001	*	-	*
Part des minima sociaux dans le revenu	52	3.15	[2.2; 5.45]	37	4.2	[2.5; 5.2]	33	8.5	[6.5; 12]	<.0001	*	-	*
Taux de pauvreté	52	9.75	[6.2; 17.65]	37	12.1	[8.1; 17]	33	25.1	[19.3; 32.3]	<.0001	*	-	*
Chômage													
Taux de chômage	53	0.053	[0.04; 0.062]	37	0.056	[0.05; 0.069]	33	0.081	[0.066; 0.091]	<.0001	*	-	*
% de chômeur de longue durée	53	0.361	[0.335; 0.391]	37	0.383	[0.368; 0.401]	33	0.393	[0.362; 0.405]	0.0086	*	*	-

^a P-value of the Kruskal-Wallis test; ^b Post Hoc Dunn's test with the Bonferroni correction; ^c HDI2: échelle de 0 à 1, 1 zones les plus développées and 0 les moins développées; *: différence significatif; -:pas de différence significative
Abréviations : Med: médiane; [Q1;Q3]: premier et troisième quartiles

En termes de résultats obtenus, nous pouvons distinguer :

- Un certain nombre de variables socioéconomiques caractéristiques du groupe de communes à forte incidence par rapport aux deux autres groupes de communes à incidence faible et normale, ces deux derniers groupes étant peu différenciés du point de vue de ces variables

Le groupe des communes à forte incidence d'arrêts cardiaques est ainsi caractérisé par un IDH2 plus faible (0.418 [0.349 ; 0.52]) que celui des deux autres groupes de communes à faible incidence (0.63 [0.592 ; 0.727]) ou incidence normale (0.66 [0.522 ; 0.72]). Ce constat vaut également pour chacune des composantes de l'IDH-2 considérée isolément, qu'il s'agisse du niveau (médian) de revenu, de l'espérance de vie à la naissance ou du niveau d'éducation. Le niveau d'éducation (par ailleurs mesuré par une autre variable dans le cadre de cette étude) ressort d'ailleurs comme étant le facteur de risque socio-économique ayant le pouvoir explicatif le plus important en termes de sur-incidence des arrêts cardiaques.

Mais d'autres variables permettent également de différencier le groupe de communes à forte incidence :

- La monoparentalité, le fait que la personne de référence soit un employé ou un ouvrier sont des facteurs de sur-incidence, mais pas de différenciation entre les groupes de commune à incidence faible et normale.
- Outre le revenu, le taux de pauvreté et la part des minima sociaux dans le revenu constituent des facteurs de sur-incidence, mais il convient de souligner que nous pouvons également constater que le taux de pauvreté ou la part des minima sociaux sont plus élevés dans le groupe des communes à incidence élevé que dans celui à incidence « normale » ; il en va de même pour ce qui est de la proportion d'habitat social.
- Le niveau de chômage peut également être considéré comme un facteur de sur-incidence, à la différence du chômage de longue durée (non significatif).

Nous constatons d'autre part que certaines variables socioéconomiques caractérisent cette fois le groupe des communes à faible incidence. Il en est ainsi des ménages composés d'une personne seule. Les communes à faible incidence comptent une proportion plus importante de foyer constitués d'un homme ou d'une femme seule ; par ailleurs le taux d'occupation des logements (nombre d'habitants par logement) y est moindre (cela étant, bien que significative cette variable reste toutefois difficile à interpréter). Les groupes de communes à incidence forte ou normale n'apparaissent que très peu différenciés de ce point de vue.

Enfin il ressort de cette étude que ni l'activité économique sur le territoire de la commune, ni l'ancienneté du logement occupé, ne sont significatives au regard de l'incidence des arrêts cardiaques.

Chapitre 3 : Discussion

La région Ile-de-France présente d'importantes spécificités en matière d'inégalités sociales et territoriales. Les résultats de cette étude montrent qu'il en est de même du point de vue des caractéristiques et de l'incidence des arrêts cardiaques dans les 3 départements de la « Petite Couronne » représentant 123 communes de la région Ile de France. En effet l'analyse sur deux ans des rapports standardisés d'incidence lissés (SIR lissés) dans les territoires de la « petite couronne » parisienne révèle l'existence d'une forte hétérogénéité de l'incidence des arrêts cardiaques. On constate pour une vingtaine de communes des rapports standardisés d'incidence lissés supérieurs à 1.5 et inférieurs à 0.5 pour 25 communes. L'utilisation des statistiques de scan nous a permis d'identifier 7 clusters significatifs, dont 4 sur-incidence et 3 de sous incidence. Ces résultats confirment ceux des études existantes qui montrent une hétérogénéité spatiale de l'incidence de l'arrêt cardiaque [13, 14, 16, 18, 19, 27, 95, 280]. Ces études avaient déjà mis en évidence l'existence de zones à haut risque. Néanmoins elles reposent sur des approches méthodologiques différentes, et pour seulement deux d'entre elles sur le recours aux statistiques de scan.

1. Caractéristiques des arrêts cardiaques extrahospitaliers : les spécificités franciliennes

Une comparaison avec les études réalisées au plan national dans le cadre de RéAC par Hubert et al. [4] et Luc et al. [5], d'une part, l'éclairage donné par l'étude de Dahan et al. [9] pour la ville de Paris, d'autre part, nous permettent de constater que la problématique des arrêts cardiaques présente un certain nombre de spécificités en Ile de France, spécificités que l'on retrouve d'ailleurs entre les 3 départements étudiés et à un niveau infra départemental.

- Sur le plan des caractéristiques démographiques, la « Petite Couronne » francilienne se différencie peu du niveau national avec un âge médian de 70 ans (69 ans au plan national, pour un âge moyen de 68 ans) [4, 5] et une proportion d'hommes de 63 % (61 % au plan national). La population victime d'arrêts cardiaques est toutefois un peu plus âgée dans les départements des Hauts de Seine (73 ans) et du Val de Marne (72

ans), et davantage féminisée dans les Hauts-de-Seine (58.1 % d'hommes). Bien que la proportion d'hommes y soit un peu plus élevée (69.1 %), les caractéristiques de la Ville de Paris [9] demeurent proches de celles de la « Petite Couronne » et des données nationales au regard des caractéristiques démographiques, avec un âge moyen de survenue d'arrêt cardiaque de 68 ans.

- Le lieu de survenue de l'arrêt cardiaque est dans 70 % des cas le domicile, avec des résultats homogènes pour les trois départements mais inférieurs de 5 points à ce qui est constaté au niveau national. Avec deux tiers d'arrêts cardiaques survenant à domicile, le positionnement de Paris est donc plus atypique que celui de la « Petite Couronne ». Cela étant s'il existe davantage de sites touristiques et de nœuds de communication dans Paris intra-muros [12], la densité de population et la mobilité quotidienne des populations franciliennes permettent d'appréhender une spécificité de la « Petite Couronne » qui ne la démarque toutefois pas sensiblement de la situation nationale.
- La présence d'un témoin (dans 70 % des cas, 49 % au plan national [5], 75 % à Paris [9]) et la réalisation d'une RCP (dans 42 % des cas, contre 32.5 des cas dans l'étude nationale de Hubert et al. [4]) - deux facteurs essentiels de survie - sont bien plus fréquentes en « Petite Couronne ». Une disparité peut toutefois être constatée entre les départements puisque ce taux d'intervention n'est que de 38.8 % en Seine-Saint-Denis et de 47.4 % dans le Val-de-Marne, alors que la fréquence de la présence d'un témoin est comparable dans les trois départements.
- Les arrêts cardiaques survenus en « Petite Couronne » ne se différencient pas du point de vue des départements étudiés par rapport aux données nationales pour ce qui est de leurs causes. En effet 90 % ont une origine médicale (et plus précisément une cause cardiaque dans plus de 40 % des cas).
- L'utilisation d'un défibrillateur externe avant l'arrivée du SMUR par les équipes de secours (sapeurs-pompiers) et/ou le témoin est assez homogène entre les trois

départements (dans 82.5 % des cas en moyenne), mais elle ne doit pas dissimuler la très faible utilisation de ces appareils par le grand public d'ailleurs soulignée dans le cadre des études nationales (3.5 % selon Hubert et al.) [4].

- Le temps, facteur essentiel de survie, nous fait considérer les résultats de la « Petite Couronne » avec une attention particulière : si le délai moyen d'intervention des SMUR est comparable en « Petite Couronne » (20 minutes) à la moyenne nationale (18 minutes), la durée du no-flow est inférieure dans les trois départements étudiés (6 minutes en moyenne, et même 4 dans le Val-de-Marne, contre 11 minutes dans l'étude de Hubert et al. et 7 minutes dans l'étude plus récente de Luc et al.) [4,5].
- Le rythme cardiaque initial à l'arrivée du SMUR n'est pas choquable (asystolie et activité électrique sans pouls) dans 85.4 % des cas, résultat proche des 86.3 % de l'étude nationale de Luc et al. , mais bien plus élevé que celui de l'étude de Dahan et al. pour Paris (57.4 %). Cependant on constate un retour à une activité cardiaque spontanée à l'arrivée du SMUR dans 9.5 % des cas, avec une fréquence un peu plus élevée dans le Val de Marne (10.9 %). Ce retour à une activité cardiaque spontanée est en tout cas bien plus fréquent en « Petite Couronne » qu'au niveau national avec un taux respectivement de 6.5 % et 7.8 % dans les études de Hubert et al. et Luc et al. [4, 5].
- Cependant il existe une différence bien plus marquée entre les départements étudiés lorsque l'on considère le taux de retour à une activité circulatoire spontanée (ROSC), de 23.4 % en moyenne, les taux des départements 92 et 93 étant inférieurs mais celui du département 94 atteignant 26.3 %.
- Une réanimation spécialisée (ACLS) est mise en œuvre dans 62.4 % des cas (65.3 % pour Hubert et al. et 60.2 % pour Luc et al. au plan national), mais bien plus fréquemment en Seine-Saint-Denis et dans le Val-de-Marne que dans les Hauts-de-Seine où ce taux n'est que de 56.5 %.

- Enfin les taux de survie à l'admission à l'hôpital et à 30 jours s'élèvent respectivement à 21.8 % et 5.5 % pour l'ensemble des 3 départements, le taux de survie à l'admission étant le plus élevé dans le Val de Marne (23.1 %), et le taux de survie à 30 jours étant le plus élevé dans les Hauts de Seine (6.1 %). Ces taux de survie sont supérieurs à ceux constatés au plan national : le taux de survie à l'admission n'est en effet que de 17.2 % dans l'étude de Hubert et al. ; et pour ce qui est du taux de survie à 30 jours, il s'élève respectivement à 4.6 et 4.9 % dans les études de Hubert et al. et Luc et al. . La ville de Paris se caractérise par un résultat bien plus élevé en matière de survie à l'admission avec un taux de 29.7 % si l'on considère l'étude de Dahan et al. . L'issue neurologique d'un arrêt cardiaque à 30 jours est également plus favorable en « Petite Couronne » francilienne qu'au plan national avec une absence ou de faibles séquelles neurologiques dans 89 % des cas pour l'ensemble des 3 départements étudiés, soit 5 points de plus qu'au plan national. Cela étant la situation est très contrastée entre les 3 départements, avec un taux de 82.6 % en Seine Saint Denis alors qu'il s'élève à 94.2 % dans le Val de Marne.

Du point de vue de la comparaison des résultats obtenus pour la « Petite Couronne » au regard de ceux des études nationales, il apparaît donc que les conditions de la survie sont meilleures en Ile-de-France avec des taux de survie plus élevés et de moindres séquelles sur le plan neurologique.

Les spécificités constatées pour la « Petite Couronne » se situent moins au niveau des caractéristiques démographiques, de l'étiologie, du rythme cardiaque initial, du délai d'intervention du SMUR ou encore de la mise en œuvre d'une réanimation spécialisée que d'autres facteurs.

En l'occurrence, dans les trois départements étudiés, les arrêts cardiaques surviennent plus souvent en présence d'un témoin et donnent davantage lieu à la mise en œuvre d'une RCP par ce témoin. Mais d'autres éléments doivent être pris en compte tel qu'un retour à une activité circulatoire spontanée plus fréquente en Ile-de-France, et des arrêts cardiaques

survenant plus souvent dans un lieu public. Cependant, alors que le taux de survenue dans un lieu public est de l'ordre de 30 %, et donc comparable à celui de Paris, les résultats de l'étude de Marijon et al. [12] indiquent un taux de survie à l'admission de 50.6 % pour la capitale.

Des disparités peuvent donc être constatées entre départements en matière de conditions de mise en œuvre de la chaîne de survie, sachant que nous avons également accordé une attention particulière aux caractéristiques relatives aux patients dans le cadre de cette étude.

2. L'incidence des arrêts cardiaques en « Petite Couronne » francilienne

Une importante spécificité de la « Petite Couronne » francilienne réside dans un taux d'incidence annuel (standardisé selon l'âge) des arrêts cardiaques élevé. Il est en effet de 76.5/100.000 habitants, et se situe donc à un niveau bien supérieur (à caractéristiques démographiques comparables) au taux d'incidence constaté au plan national par Luc et al. , soit 61.5/100.000 (respectivement 80.7 et 43.7/100.000 pour les hommes et les femmes) [5]. Nous avons pu appréhender la répartition spatiale de l'incidence grâce à une analyse des rapports standardisés d'incidence lissés (SIR lissés) pour des arrêts cardiaques survenus dans la « Petite Couronne » francilienne et ce à partir de données recueillies entre 2013 et 2015 dans le cadre du registre RéAC. Les résultats de cette analyse laissent apparaître l'existence d'une hétérogénéité en matière d'incidence des arrêts cardiaques entre départements de « Petite Couronne » et au sein même de chacun de ces derniers. Sur les 123 communes étudiées, 33 peuvent être considérées comme étant à risque significativement élevé de survenue d'un arrêt cardiaque, 37 à risque faible.

D'autres auteurs, utilisant le plus souvent d'autres méthodes, ont confirmé l'intérêt d'une approche territoriale des disparités en matière d'incidence des arrêts cardiaques [9-19].

L'étude de la répartition spatiale des arrêts cardiaques soulève toutefois un problème de méthode. Une représentation graphique ne peut que conduire à un biais dans l'appréciation de cette répartition spatiale. Le recours à une technique de lissage des ratios standardisés d'incidence (SIR) permet de limiter ce biais, mais ne permet pas d'identifier des regroupements (clusters) significatifs témoignant d'une sur ou d'une sous-incidence sur un territoire donné. Nous avons donc fait le choix de combiner l'utilisation de techniques de lissage des SIR et de détection de clusters. Nos résultats sont donc fondés sur le recours aux méthodes d'analyse bayésienne et de statistiques de scan, ces dernières n'ayant été utilisées que dans le cadre de rares études au plan international pour ce qui a trait aux arrêts cardiaques [16, 19].

Sept clusters significatifs ont ainsi pu être identifiés regroupant 70 communes, dont 3 clusters de sous-incidence et 4 de sur-incidence. Deux clusters de sur-incidence en particulier

présentent un risque relatif élevé de survenue d'un arrêt cardiaque, avec des niveaux de risque relatif atteignant respectivement 2 pour un ensemble de 17 communes de Seine-Saint-Denis et 4 communes des Hauts-de-Seine (situées au nord de ce département), et 1,78 pour la ville de Nanterre. L'application des méthodes de statistiques de scan permet par ailleurs de constater que l'identification de SIR lissés au nord-est de la Seine-Saint-Denis, dans le sud du Val-de-Marne, ou encore sur le territoire de la commune de Boulogne-Billancourt dans les Hauts-de-Seine, ne conduit pas à celle de clusters significatifs sur ces territoires où l'incidence doit donc être considérée comme normale. En ce sens les statistiques de scan constituent un outil précieux en matière d'analyse spatiale, analyse complétée par l'étude des caractéristiques socioéconomiques des groupes de communes considérées du point de vue de leur positionnement en termes d'incidence (faible, normale ou forte).

3. Le lien entre l'incidence et les facteurs socio-économiques

Une revue de la littérature dédiée aux arrêts cardiaques a permis d'identifier au plan international une trentaine d'études relatives au lien entre statut socioéconomique, d'une part, incidence, survie, taux de RCP, d'autre part. Autant de sources de comparaison que nous allons évoquer dans cette discussion.

Nombreuses sont celles qui parmi ces études témoignent de l'existence d'un lien fort entre incidence des arrêts cardiaques et statut socioéconomique. L'incidence des arrêts cardiaques serait ainsi d'autant plus importante sur un territoire donné que les niveaux de revenu et d'éducation sont faibles, et que les taux de pauvreté et pourcentage de représentants de minorités (afro-américains aux Etats-Unis par exemple) sont élevés [11, 15-19, 90, 95, 104, 230].

Revenu, éducation, taux de pauvreté et origine ethnique constituent donc des facteurs socioéconomiques (et démographique) très importants dans une perspective d'étude de l'incidence des arrêts cardiaques. Utilisés dans le cadre de notre analyse spatiale les trois premiers facteurs ressortent comme autant de caractéristiques importantes dans le sens où l'on observe que les groupes de communes où l'incidence des arrêts cardiaques est forte sont

caractérisés par des niveaux de revenu et d'éducation moins élevés et par un taux de pauvreté plus important que dans les autres groupes de communes (où l'incidence est faible ou considérée comme normale).

Certains auteurs soulignent une possible corrélation entre les niveaux de revenu et d'éducation, au niveau même de la construction de l'IDH-2, indice composite auquel nous avons eu recours dans le cadre de notre analyse [101], certains allant jusqu'à faire le choix de ne retenir que l'une de ces deux variables, en l'occurrence le niveau d'éducation [146]. Cette question, identifiée au sujet des variables et indices employés dans le cadre d'études portant sur les inégalités sociales et territoriales, a été abordée ici d'une autre façon.

Nous avons en effet procédé à un choix, en l'occurrence celui de retenir un indice de défaveur sociale (l'IDH-2) reconnu et utilisé en Ile-de-France, mais aussi plus largement dans de nombreuses régions de France et directement issu d'un indicateur proposé par l'ONU. Mais nous avons également choisi d'évaluer le lien pouvant exister entre chacune de ses composantes (espérance de vie à la naissance, niveaux d'éducation et de revenu) et l'incidence des arrêts cardiaques.

Par ailleurs nous avons pris en compte d'autres variables, que l'on peut qualifier de variables complémentaires. De cette analyse, il ressort que les niveaux de revenu et d'éducation, mais aussi l'IDH-2 dans son ensemble, constituent bien des caractéristiques importantes à mettre en lien avec l'incidence des arrêts cardiaques. De même que le taux de pauvreté, la part des minimas sociaux et le taux de chômage pour ce qui est des variables complémentaires que nous avons retenues, ou encore la monoparentalité. A cet égard, la composition du ménage apparaît comme un élément à souligner dans notre analyse. L'importance de la prise en compte de la composition du ménage et du statut marital a été soulignée dans certaines études [94], le fait de vivre seul pouvant apparaître comme un facteur de risque [14]. Tel est le cas en particulier pour les familles monoparentales, qui ne disposent généralement que de faibles revenus, la situation de ces familles ne devant toutefois pas être confondue avec le fait de

vivre seul, caractéristique dans notre analyse d'une faible incidence, et à mettre en lien avec le nombre de célibataires bénéficiant de revenus plus élevés en Ile de France.

Cela étant l'éducation et la pauvreté occupent une place de premier plan, au regard de ce dont elles témoignent mais également du point de vue de l'enjeu qu'elles constituent. Nous avons vu que les gains d'espérance de vie les plus élevés étaient liés à la scolarisation [75], mais il existe par ailleurs un lien fort entre grande pauvreté et réussite scolaire (Rapport de l'IGEN, mai 2015, Jean-Paul Delahaye). La lutte contre les inégalités sociales et territoriales passe donc en premier lieu par l'éducation. Pour ce qui est du lien avec l'incidence des arrêts cardiaques, cela passe en particulier par une action en faveur de la prévention des risques, en prenant en compte la diversité des causes des arrêts cardiaques (médicales ou traumatiques), mais également par une amélioration des conditions de mise en œuvre de la chaîne de survie.

Le lien entre statut socio-économique et taux de RCP pratiquée par un témoin a été mis en évidence dans le cadre de plusieurs études, qu'il ait été considéré conjointement avec la question de l'incidence ou donné lieu à un examen spécifique [16, 19, 95, 99, 104, 108, 230]. Il en ressort pour une très grande majorité de ces études un lien fort entre statut socioéconomique et taux de RCP, de faibles taux de RCP pouvant en particulier être constatés sur des territoires où l'incidence est élevée et qui se trouvent être défavorisés sur un plan socio-économique. Là encore nous retrouvons le revenu et le niveau d'éducation (parfois pris en compte dans le cadre de l'utilisation d'un indice de défaveur sociale), ou la pauvreté, comme principales caractéristiques à mettre en lien avec le taux de RCP par un témoin [9, 10, 19, 96, 99, 100, 104, 107, 108]. Certains auteurs mentionnent également l'importance de l'origine ethnique [10, 89, 106]. Seuls Fake et al. [230] et Iwashyna et al. [109] ne mettent pas en évidence de lien significatifs entre RCP et statut socioéconomique.

Il convient à cet égard de rappeler l'importance de la réalisation d'une RCP par un témoin en termes de survie, les chances de survie pouvant plus que doubler en cas de mise en œuvre immédiate d'une RCP comme cela a pu être montré dans le cadre de RéAC [5].

Dès lors l'analyse spatiale peut contribuer à l'amélioration de la survie en permettant de cibler de façon prioritaire les territoires sur lesquels une forte incidence a pu être identifiée, et ce afin de réaliser des actions de formation à la RCP ou adapter les programmes d'implantation de défibrillateurs automatiques externe en tenant compte des caractéristiques socioéconomiques de leurs habitants [17, 35, 95, 100, 105]. Le niveau d'éducation apparaît là encore de première importance, plus que le revenu, du point de vue des actions susceptibles d'être mises en œuvre. Un niveau d'éducation peu élevé rend d'autant plus nécessaire la mise en place de programmes de formation et d'éducation adaptés. Mais certains auteurs soulignent le fait que de nombreux professionnels (des services de santé, de police,...) en prise directe avec la population peuvent jouer un rôle essentiel dans la prise en charge des arrêts cardiaques, ces professionnels bénéficiant pour un très grand nombre d'entre eux d'un niveau d'éducation (niveau de diplômes et/ou de qualification) leur permettant un accès simplifié aux programmes de prévention. Dès lors des programmes de formation à la mise en œuvre d'une RCP ou d'une défibrillation devraient être prioritairement destinés à ces professionnels dans les territoires à forte incidence [13, 95, 105].

4. Limites de l'étude

Nous pouvons identifier un certain nombre de limites à notre étude, limites relatives aux données mais également aux méthodes utilisées.

a. Limites relatives aux données

Ne disposant pas de données individuelles pour ce qui est des facteurs socioéconomiques, nous avons agrégé des données individuelles relatives aux arrêts cardiaques avec des données populationnelles caractérisant le statut socioéconomique des 123 communes. Il existe ainsi un biais écologique, qui recouvre de fait plusieurs biais : de spécification, de modification des effets, de confusion comme l'ont souligné certains auteurs [14, 281]. Dès lors une interprétation des résultats obtenus ne permet pas de supposer qu'une relation mise en évidence au niveau d'une commune puisse être transposée au niveau individuel. Nos conclusions n'ont donc de portée et ne doivent être interprétées qu'au niveau de la commune

et non pas de l'individu. La question de la pertinence et des moyens de pouvoir disposer de données individuelles mérite à cet égard d'être posée. Le développement d'un recueil de données socioéconomiques dans le cadre des registres de style Utstein avait été envisagé dès les recommandations de 1991 [6]. Cette solution nécessiterait toutefois d'alourdir les conditions du recueil de données relatives aux arrêts cardiaques et conduirait à soulever un certain nombre d'interrogations, voire d'obstacles, d'ordre à la fois éthique, juridique et technique. Une autre voie pourrait consister en la mise en place d'une cohorte longitudinale en lien avec le registre RéAC. Enfin des perspectives pourraient être offertes en termes d'appariement avec d'autres bases de données dans le cadre du Système National des Données de Santé.

Nous avons procédé à une standardisation par l'âge dès lors que l'âge est l'un des facteurs prédictifs les plus importants de l'arrêt cardiaque [282]. Une étude spécifique mériterait toutefois d'être réalisée pour tenir compte d'un gradient socioéconomique selon l'âge, sachant que plusieurs études montrent que le risque d'arrêt cardiaque augmente avec l'âge en particulier pour les plus de 65 ans [14, 103, 137].

Nous n'avons pas ajusté les données selon le sexe. Les données relatives à l'étiologie des arrêts cardiaques pourraient plaider en ce sens dans le cadre de la réalisation d'études complémentaires [41, 118, 145].

Nous avons pris en compte l'ensemble des arrêts cardiaques extrahospitaliers, qu'ils soient survenus au domicile (y compris de substitution) ou dans un lieu public ; chacun des arrêts cardiaques est donc identifié par le lieu d'intervention du SMUR. Certains auteurs préconisent de différencier les arrêts cardiaques selon le lieu de survenue, d'autres non, en matière de prise en compte du statut socioéconomique. Sasson et al. [16] ont ainsi proposé de procéder à l'identification de l'heure de survenue des arrêts cardiaques afin de pouvoir les différencier. Marijon et al. [12] et Dahan et al. [9] ont suivi cette préconisation dans leurs études. Ong et al. [14] ont pour leur part souligné dans un premier temps l'intérêt de prendre comme référence l'adresse de résidence du patient plutôt que le lieu d'intervention, afin de tenir compte du fait

que des arrêts cardiaques pouvaient survenir au cours de déplacements (sur le lieu de travail par exemple) des personnes qui en étaient victimes. Mais Ong et al. ont finalement considéré qu'il était plus pertinent de retenir le lieu de survenue de l'arrêt cardiaque, dès lors que la majorité d'entre eux survenait à domicile, et qu'il était préférable de prendre en compte l'environnement socio-économique du point de vue de la présence d'un témoin et de la mise en œuvre d'une RCP. Par ailleurs Sasson et al. [16] ont pu constater à l'issue de leur analyse spatiale que les clusters significatifs identifiés étaient localisés dans des zones résidentielles plutôt que d'activité économique. Des constats de cette nature ont d'ailleurs conduit certains auteurs à proposer par exemple de positionner davantage de défibrillateurs automatiques externes dans des zones résidentielles [103].

Nous n'avons pas eu recours à des données relatives à l'origine ethnique. Le recueil de données de cette nature n'est en effet pas autorisé en France. Mais le serait-il que nous pourrions nous interroger quant à la pertinence d'intégrer ce type de données dans une analyse spatiale. La plupart des études nord-américaines consacrées au lien entre le statut socioéconomique et l'incidence (ou la survie) des arrêts cardiaques prennent en compte l'origine ethnique. Elles concluent généralement au fait que, par exemple, l'incidence est plus élevée sur les territoires où la proportion d'afro-américains est plus forte. Ong et al. [14] font le même constat au sujet des indiens et malais à Singapour. Le phénomène observé apparaît en réalité plus complexe, et ce type d'analyse pourrait être biaisé. Ainsi Sayegh et al. [283] soulignent n'avoir pas identifié de lien de cette nature, mais indiquent avoir conduit leur étude dans un territoire plutôt favorisé économiquement et où la représentation de minorités était faible. Owen et al. [105], dans leur étude sur la formation à l'utilisation des défibrillateurs externes, constatent que blancs et afro-américains témoignent d'un bon niveau d'information, à la différence des latinos-américains, et ce pour une raison tenant à des questions d'adaptation des programmes de formation (problème de la langue notamment). Dans le cadre d'analyses spatiales, Nassel et al. [13], d'une part, Sasson et al. [16] d'autre part, constatent que l'introduction d'une variable relative à l'origine ethnique aurait conduit à ne pas identifier

certains territoires principalement peuplés de blancs à faibles revenus. Root et al. [19] montrent également dans leur étude fondée sur l'utilisation de statistiques de scan que le fait d'être afro-américain diminue la probabilité de bénéficier d'une RCP à Houston, mais pas dans tous les clusters identifiés à Austin. De fait l'origine ethnique peut être un facteur confondant au regard d'autres problématiques, de revenu, de pauvreté, voire d'accès aux soins. Chu et al. [102] ont ainsi pu constater que les afro-américains bénéficiaient moins souvent d'une réanimation spécialisée. Enfin, les résultats de l'étude menée en Suède par Jonsson [104] montrent que le fait d'être migrant n'est pas significatif.

b. Limites relatives aux méthodes

Nous avons eu recours à un modèle Bayésien dans le cadre de notre analyse spatiale, tout comme d'autres auteurs d'études internationales [13, 14, 16, 18]. Cela étant l'utilisation d'un modèle de ce type n'est pas exempte de limites que nous avons déjà pu évoquer. Ils ne permettent en effet pas d'identifier des clusters significatifs de sur et sous-incidence. Toutefois le modèle BYM que nous avons utilisé permet de disposer d'une première représentation spatiale. Par ailleurs nous n'avons pas fait le choix (opéré par d'autres auteurs [13, 16, 18]) d'une méthode de « Global Clustering », méthode pertinente pour détecter une tendance à l'agrégation mais pas pour localiser des clusters significatifs. Nous avons donc retenu, poursuivant ce dernier objectif, une méthode de statistiques de scan. Cela étant, comme le soulignent Huang et al. [251], la localisation d'un cluster significatif n'implique pas systématiquement une tendance significative à l'agrégation. Les méthodes de « Global Clustering » et de statistiques de scan doivent donc être davantage considérées comme complémentaires. Chirpaz et al. [258] mettent par ailleurs en évidence que « les tests d'analyse des clusters sur données agrégées ne peuvent être considérés que comme des méthodes épidémiologiques de dépistage et ont donc vocation à être complétées par des études plus ciblées afin de confirmer (ou infirmer) les hypothèses qu'elles vont permettre de dégager ». D'où l'intérêt de combiner des stratégies fondées sur un recours à un ensemble de plusieurs tests. A cet égard la démarche de triangularisation mise en œuvre par Nassel et al. [13] mais aussi par Sasson et al. [16] (utilisation par ces derniers d'un modèle Bayésien empirique, de la méthode LISA et des statistiques de scan) mérite d'être recommandée. La présente étude nécessiterait donc d'être complétée ou adaptée lors d'une prochaine étape d'exploitation des données de RéAC par l'adjonction d'un test de « global clustering ».

Pour ce qui est des statistiques de scan, nous avons retenu la méthode développée par Kulldorff et fondée sur le recours à une fenêtre de balayage de forme circulaire. Or cette forme est d'autant plus adaptée que la distribution de données présente cette même forme, mais s'avère être moins pertinente si tel n'est pas le cas [251, 261].

L'utilisation des statistiques de scan est ici fondée sur une analyse spatiale et non pas spatio-temporelle. Une prochaine étape pourrait consister à utiliser un modèle spatio-temporel dans le cadre de l'exploitation des données de RéAC afin de vérifier le degré de stabilité (ou non) dans le temps des clusters identifiés.

Conclusion

Cette étude a montré l'existence d'une hétérogénéité spatiale de l'incidence des arrêts cardiaques dans la « Petite Couronne » francilienne. Les résultats obtenus ont permis par ailleurs de mettre en évidence des territoires contrastés d'un point de vue socioéconomique. Le risque relatif particulièrement élevé de survenue d'un arrêt cardiaque dans certaines communes doit conduire à l'élaboration de programmes de prévention ciblés et adaptés aux populations de ces territoires. A cet égard il convient de rappeler que les recommandations internationales portées par l'European Resuscitation Council soulignent l'importance de la prise en compte de symptômes tels que les syncopes, douleurs thoraciques et palpitations en tant que signaux d'alerte à porter à la connaissance des professionnels de santé, ce afin de développer les prises en charge préventives. Mais ces recommandations mettent également l'accent sur l'importance du dépistage chez les sportifs ou pour les membres d'une même famille en cas de troubles héréditaires.

Les territoires et populations ciblés devraient par ailleurs pouvoir bénéficier prioritairement de la mise en place de plateformes organisant des dispositifs de surveillance fondés sur des algorithmes prédictifs tel celui élaboré dans le cadre du Stanford ML Group (« Cardiologist-Level Arrhythmia Detection with Convolutional Neural Networks »).

Une meilleure connaissance de l'épidémiologie des arrêts cardiaques devrait également permettre, grâce à l'analyse spatiale, d'améliorer les pratiques de l'ensemble des intervenants de la chaîne de survie, notamment par l'adaptation et le développement de programmes d'éducation et de formation prioritairement dans les communes où le risque d'arrêt cardiaque est le plus fort, et ce en vue d'y favoriser les RCP immédiates et l'utilisation des DEA.

L'étiologie des arrêts cardiaques renvoie aux facteurs de risque communs à nombre de maladies cardiovasculaires. La réalisation d'analyses spatiales conjointes sur un ensemble de pathologies (par exemple l'infarctus du myocarde) mériterait d'être développée dans une logique de recherche de complémentarités et d'un meilleur ciblage.

Mais l'identification d'un lien fort entre statut socioéconomique et incidence des arrêts cardiaques, de même que l'origine non médicale d'une partie importante de ces derniers, devrait également orienter la réflexion (et l'action) vers une meilleure appréhension des mécanismes de formation et de réduction des inégalités sociales et territoriales. L'éducation se révèle être au centre de la problématique socioéconomique, concernant autant l'individu que son environnement. Enfin, les facteurs de risques peuvent être cumulatifs et il importe par le moyen d'études complémentaires d'identifier ceux que nous n'aurions pas pris en compte dans le cadre de notre analyse. Les travaux de l'Association des Régions de France ont contribué à la promotion d'indicateurs de développement humain, d'empreinte écologique mais également à celle d'un indicateur de santé social, et le recours à ces indicateurs est désormais préconisé par la loi n° 2015-411 du 13 avril 2015. L'observatoire épidémiologique que constitue un registre a vocation à prendre en compte ces différentes dimensions, et notamment les effets combinés des inégalités sociales et environnementales en matière d'incidence des arrêts cardiaques et de survie.

Liste des figures

Figure 1 : OCDE : Tableau de bord de l'état de santé – Indicateurs de l'OCDE - 2017	15
Figure 2 : Taux de survie à la sortie de l'hôpital des différents pays européens (identifiés par leur(s) initiale(s)) participant à l'étude EuReCa (Source : Gräsner et al. – 2016)	18
Figure 3 : Causes de l'arrêt cardiaque (Source : Perkins et al. - 2015)	23
Figure 4 : Différence entre arrêt cardiaque et crise cardiaque (Source : American Heart Association)	25
Figure 5 : Tracé d'une fibrillation ventriculaire	27
Figure 6 : Tracé d'une tachycardie ventriculaire sans pouls	28
Figure 7 : Tracé d'une asystolie sur un ECG	28
Figure 8 : Tracé d'un RSP sur un ECG	28
Figure 9 : Arrêt cardiaque – Typologie employée par l'AHA en 2017 (Benjamin et al. - 2017)	30
Figure 10 : Identification des causes des arrêts cardiaques dans le registre CARES (Source : CARES - 2018)	31
Figure 11 : Comorbidités et survie – Classification de Dumas et alii (2017)	35
Figure 12 : Facteurs de risque des arrêts cardiaques (Source : Société Européenne de Cardiologie - Rapport de la Task Force (2001))	38
Figure 13 : Modélisation des facteurs de risque et de leurs interactions (Source : Meneton et al. – 2016)	39
Figure 14 : Facteurs de risques de risques communs selon Déo et Albert (2012)	40
Figure 15 : Facteurs de risque et déterminants de santé (Source : OCDE - 2017)	42
Figure 16 : Gains d'espérance de vie et déterminants sociaux (Source : OCDE – 2017)	43
Figure 17 : Incidence et modèle d'Utstein (Source : Berdowski et al. – 2010)	52
Figure 18 : Incidence des arrêts cardiaques au plan international (Source : Berdowski et al. - 2010)	53
Figure 19 : L'incidence des arrêts cardiaques en Europe (Source : Gräsner et al.- 2016)	56
Figure 20 : Evolution du taux d'incidence des arrêts cardiaques extrahospitaliers selon l'âge et répartition par sexe (Source : Luc et al. - 2018)	57
Figure 21 : Caractéristiques des arrêts cardiaques au plan international (Source : Bougouin et al. - 2015)	58
Figure 22 : Etiologie des arrêts cardiaques selon l'âge (Source : CARES – 2017)	60
Figure 23 : Distribution des arrêts cardiaques extrahospitaliers selon l'âge (Source : CARES – 2017)	60
Figure 24 : Causes des arrêts cardiaques par groupe d'âge chez les enfants, adolescents et jeunes adultes de l'Etat de Washington (Source : Meyer et al. - 2012 ; Benjamin et al. - 2018)	62
Figure 25 : Caractéristiques des arrêts cardiaques en Asie et au Moyen-Orient (Source : Ong et al. – PAROS – 2015)	63
Figure 26 : Caractéristiques des arrêts cardiaques en Europe (Source : EuReCA ONE – Gräsner et al. – 2016)	65

<i>Figure 27 : Caractéristiques des arrêts cardiaques en France d'après les données de RéAC (Source : Luc et al. – 2018)</i>	67
<i>Figure 28 : Taux de survie en Europe – EuReCA ONE (Source : Gräsner et al. – 2016)</i>	76
<i>Figure 29 : La survie aux arrêts cardiaques en Amérique du Nord – ROC et CARES (Source : Benjamin et al. – 2018)</i>	77
<i>Figure 30 : Taux de survie des arrêts cardiaques extrahospitaliers non traumatiques survenus chez les moins de 18 ans (Source : Registre CARES – 2016)</i>	79
<i>Figure 31 : Temps de prise en charge des arrêts cardiaques et survie (Source : GRA – 2018)</i>	85
<i>Figure 32 : Evolution des taux de survie aux USA 2006-2016 (Source : AHA - 2018)</i>	89
<i>Figure 33 : Coûts directs d'un arrêt cardiaque (Source : Lurie et al. - 2017)</i>	99
<i>Figure 34 : Coût d'un séjour de réanimation à la suite d'un arrêt cardiaque (Source : Graf et al. – 2008)</i>	100
<i>Figure 35 : Coût de l'arrêt cardiaque et pose de défibrillateur (Source : Berdowski et al. – 2010)</i>	100
<i>Figure 36 : Coût des arrêts cardiaques selon l'âge (Source : Fukuda et al. – 2013)</i>	101
<i>Figure 37 : Arrêt cardiaque et coût des séquelles neurologiques (Source : Graf et al. – 2008)</i>	101
<i>Figure 38 : Séquelles neurologiques et coût des soins post-hospitaliers (Source : Ginsberg et al. – 2015)</i>	102
<i>Figure 39 : Arrêt cardiaque et survie – Facteurs associés au coût (Sources : Weng et al. - 2018)</i>	104
<i>Figure 40 : La « chaîne de survie » (Source : RéAC)</i>	110
<i>Figure 41 : La chaîne de survie en 5 maillons</i>	110
<i>Figure 42 : Réanimation Cardiaque Avancée (Source : Belgian Resuscitation Council)</i>	115
<i>Figure 43 : Le modèle de recueil de données du style Utstein (Source : Perkins et al., 2015)</i>	122
<i>Figure 44 : Plan d'action de la Global Resuscitation Alliance (Source : rapport « Acting on the Call » - 2018)</i>	128
<i>Figure 45 : Le registre européen des arrêts cardiaques – EuReCa</i>	130
<i>Figure 46 : Survie – La formule d'Utstein (Source : Global Resuscitation Alliance – 2018)</i>	141
<i>Figure 47 : Répartition géographiques des SAMU et SMUR participant au registre RéAC (Source : RéAC)</i>	142
<i>Figure 48 : Les variables « supplémentaires » dans les recommandations du modèle d'Utstein de 1991 au titre de la description de la population (Source : Cummins et al. - 1991)</i>	146
<i>Figure 49 : Temps d'accès aux urgences en Ile-de-France (Sources : BDTOP0 Ile-de-France, INSEE et ARSIF)</i>	157
<i>Figure 50 : La Région Ile-de-France et ses huit départements (Source : IAURIF)</i>	161
<i>Figure 51 : Maladies cardio-vasculaires - Disparités infra-départementales en Ile-de-France (Source : ORS – 2015)</i>	162
<i>Figure 52 : Inégalités sociales de santé – Distribution spatiale de l'indice FDEP99 (Source : Rey et al. - 2011)</i>	164
<i>Figure 53 : Disparités de niveaux de vie en Ile de France (Source : Bellidanty et Martinez - 2015)</i>	165
<i>Figure 54 : Inégalités sociales en France – L'indice général d'inégalité (Source : Le Bras – 2014)</i>	166
<i>Figure 55 : Indice général d'inégalité en zones urbaines (cantons) (Source : Le Bras – 2014)</i>	167

<i>Figure 56 : Carte des EPT – Métropole du Grand Paris</i>	169
<i>Figure 57 : Politiques d’urbanisme et déterminants de santé (Source : Barton et Tsourou – 2004)</i>	171
<i>Figure 58 : Données individuelles issues de RéAC</i>	174
<i>Figure 59 : Les îlots regroupés pour l’information statistique (IRIS) (Source : INSEE - 2016)</i>	175
<i>Figure 60 : IDH-2, un indicateur à trois dimensions : santé, éducation et revenu (Source : Nascimento et Pépin – 2010)</i>	180
<i>Figure 61 : Les Déterminants sociaux de la santé – Cadre conceptuel de l’OMS (Source : Solar et Irwin – 2010)</i>	182
<i>Figure 62 : Données latticielles (Source : Genin et al. – 2016)</i>	199
<i>Figure 63 : Processus de balayage de l’espace étudié par une fenêtre de balayage lors de la phase de détection (Source : Genin et al. – 2016)</i>	202
<i>Figure 64 : Ratios standardisés d’incidence lissés – Départements de la « Petite Couronne » (« age-adjusted smoothed SIR »)</i>	208
<i>Figure 65 : Incidence des arrêts cardiaques – Représentation des clusters identifiés dans les départements de « Petite Couronne »</i>	209

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Principales caractéristiques la population étudiée (arrêts cardiaques survenus dans les départements 92,93 et 94)</i>	205
<i>Tableau 2 : Caractéristiques des clusters significatifs de sous et sur-incidence des arrêts cardiaques dans les départements de la "Petite Couronne" francilienne</i>	210
<i>Tableau 3 : Comparaison des 3 groupes de communes d'incidence faible, élevée et normale selon leurs caractéristiques socioéconomiques</i>	213

Bibliographie

1. Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, Cushman M, Das SR, Deo R, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2017 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation* 2017;**135**:e146-e603.
2. Benjamin EJ, Virani SS, Callaway CW, Chamberlain AM, Chang AR, Cheng S, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2018 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation* 2018;**137**:e67-e492.
3. Stecker EC, Reinier K, Marijon E, Narayanan K, Teodorescu C, Uy-Evanado A, et al. Public health burden of sudden cardiac death in the United States. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2014;**7**:212-7.
4. Hubert H, Tazarourte K, Wiel E, Zitouni D, Vilhelm C, Escutnaire J, et al. Rationale, methodology, implementation, and first results of the French out-of-hospital cardiac arrest registry. *Prehosp Emerg Care* 2014;**18**:511-9.
5. Luc G, Baert V, Escutnaire J, Genin M, Vilhelm C, Di Pompeo C, et al. Epidemiology of out-of-hospital cardiac arrest: A French national incidence and mid-term survival rate study. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2018.
6. Cummins RO, Chamberlain DA, Abramson NS, Allen M, Baskett PJ, Becker L, et al. Recommended guidelines for uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: the Utstein Style. A statement for health professionals from a task force of the American Heart Association, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, and the Australian Resuscitation Council. *Circulation* 1991;**84**:960-75.
7. Jacobs I, Nadkarni V, Bahr J, Berg RA, Billi JE, Bossaert L, et al. Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: update and simplification of the Utstein templates for resuscitation registries: a statement for healthcare professionals from a task force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian Resuscitation Council, New Zealand Resuscitation Council, Heart and Stroke Foundation of Canada, InterAmerican Heart Foundation, Resuscitation Councils of Southern Africa). *Circulation* 2004;**110**:3385-97.
8. Perkins GD, Jacobs IG, Nadkarni VM, Berg RA, Bhanji F, Biarent D, et al. Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: update of the Utstein Resuscitation Registry Templates for Out-of-Hospital Cardiac Arrest: a statement for healthcare professionals from a task force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke Foundation of Canada, InterAmerican Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa, Resuscitation Council of Asia); and the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee and the Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation. *Circulation* 2015;**132**:1286-300.

9. Dahan B, Jabre P, Karam N, Misslin R, Tafflet M, Bougouin W, et al. Impact of neighbourhood socio-economic status on bystander cardiopulmonary resuscitation in Paris. *Resuscitation* 2017;**110**:107-13.
10. Fosbol EL, Dupre ME, Strauss B, Swanson DR, Myers B, McNally BF, et al. Association of neighborhood characteristics with incidence of out-of-hospital cardiac arrest and rates of bystander-initiated CPR: implications for community-based education intervention. *Resuscitation* 2014;**85**:1512-7.
11. Lerner EB, Fairbanks RJ, Shah MN. Identification of out-of-hospital cardiac arrest clusters using a geographic information system. *Acad Emerg Med* 2005;**12**:81-4.
12. Marijon E, Bougouin W, Tafflet M, Karam N, Jost D, Lamhaut L, et al. Population movement and sudden cardiac arrest location. *Circulation* 2015;**131**:1546-54.
13. Nassel AF, Root ED, Haukoos JS, McVane K, Colwell C, Robinson J, et al. Multiple cluster analysis for the identification of high-risk census tracts for out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) in Denver, Colorado. *Resuscitation* 2014;**85**:1667-73.
14. Ong ME, Earnest A, Shahidah N, Ng WM, Foo C, Nott DJ. Spatial variation and geographic-demographic determinants of out-of-hospital cardiac arrests in the city-state of Singapore. *Ann Emerg Med* 2011;**58**:343-51.
15. Reinier K, Thomas E, Andrusiek DL, Aufderheide TP, Brooks SC, Callaway CW, et al. Socioeconomic status and incidence of sudden cardiac arrest. *CMAJ* 2011;**183**:1705-12.
16. Sasson C, Cudnik MT, Nassel A, Semple H, Magid DJ, Sayre M, et al. Identifying high-risk geographic areas for cardiac arrest using three methods for cluster analysis. *Acad Emerg Med* 2012;**19**:139-46.
17. Sasson C, Rogers MA, Dahl J, Kellermann AL. Predictors of survival from out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 2010;**3**:63-81.
18. Semple HM, Cudnik MT, Sayre M, Keseg D, Warden CR, Sasson C, et al. Identification of high-risk communities for unattended out-of-hospital cardiac arrests using GIS. *J Community Health* 2013;**38**:277-84.
19. Root ED, Gonzales L, Persse DE, Hinchey PR, McNally B, Sasson C. A tale of two cities: the role of neighborhood socioeconomic status in spatial clustering of bystander CPR in Austin and Houston. *Resuscitation* 2013;**84**:752-9.
20. Castra L, Genin M, Escutnaire J, Baert V, Agostinucci JM, Revaux F, et al. Socioeconomic status and incidence of cardiac arrest: a spatial approach to social and territorial disparities. *Eur J Emerg Med* 2018.
21. DALYs GBD, Collaborators H. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 315 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE), 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* 2016;**388**:1603-58.
22. Organization WH. Global Health Estimates 2015: Deaths by cause, age and sex, by country and by region, 2000-2015. Geneva 2016:http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/en/.
23. Nicolas G, Lecomte D. La mort subite d'origine cardiaque. Epidémiologie. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine* 1999;**183**:1573-80.

24. Gräsner JT, Lefering R, Koster RW, Masterson S, Bottiger BW, Herlitz J, et al. EuReCa ONE-27 Nations, ONE Europe, ONE Registry: A prospective one month analysis of out-of-hospital cardiac arrest outcomes in 27 countries in Europe. *Resuscitation* 2016;**105**:188-95.
25. Kong MH, Fonarow GC, Peterson ED, Curtis AB, Hernandez AF, Sanders GD, et al. Systematic review of the incidence of sudden cardiac death in the United States. *J Am Coll Cardiol* 2011;**57**:794-801.
26. Rosamond W, Flegal K, Furie K, Go A, Greenlund K, Haase N, et al. Heart disease and stroke statistics--2008 update: a report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. *Circulation* 2008;**117**:e25-146.
27. Nichol G, Thomas E, Callaway CW, Hedges J, Powell JL, Aufderheide TP, et al. Regional variation in out-of-hospital cardiac arrest incidence and outcome. *JAMA* 2008;**300**:1423-31.
28. Rea TD, Eisenberg MS, Sinibaldi G, White RD. Incidence of EMS-treated out-of-hospital cardiac arrest in the United States. *Resuscitation* 2004;**63**:17-24.
29. Cobb LA, Fahrenbruch CE, Olsufka M, Copass MK. Changing incidence of out-of-hospital ventricular fibrillation, 1980-2000. *JAMA* 2002;**288**:3008-13.
30. Chugh SS, Jui J, Gunson K, Stecker EC, John BT, Thompson B, et al. Current burden of sudden cardiac death: multiple source surveillance versus retrospective death certificate-based review in a large U.S. community. *J Am Coll Cardiol* 2004;**44**:1268-75.
31. Chugh SS, Reinier K, Teodorescu C, Evanado A, Kehr E, Al Samara M, et al. Epidemiology of sudden cardiac death: clinical and research implications. *Prog Cardiovasc Dis* 2008;**51**:213-28.
32. Zipes DP. Sudden cardiac death. Future approaches. *Circulation* 1992;**85**:1160-6.
33. Zipes DP, Wellens HJ. Sudden cardiac death. *Circulation* 1998;**98**:2334-51.
34. Zheng ZJ, Croft JB, Giles WH, Mensah GA. Sudden cardiac death in the United States, 1989 to 1998. *Circulation* 2001;**104**:2158-63.
35. Girotra S, van Diepen S, Nallamothu BK, Carrel M, Vellano K, Anderson ML, et al. Regional Variation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest Survival in the United States. *Circulation* 2016;**133**:2159-68.
36. Rea TD, Eisenberg MS, Becker LJ, Murray JA, Hearne T. Temporal trends in sudden cardiac arrest: a 25-year emergency medical services perspective. *Circulation* 2003;**107**:2780-5.
37. Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, Koster RW. Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: Systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation* 2010;**81**:1479-87.
38. Atwood C, Eisenberg MS, Herlitz J, Rea TD. Incidence of EMS-treated out-of-hospital cardiac arrest in Europe. *Resuscitation* 2005;**67**:75-80.
39. Herlitz J, Bahr J, Fischer M, Kuisma M, Lexow K, Thorgeirsson G. Resuscitation in Europe: a tale of five European regions. *Resuscitation* 1999;**41**:121-31.
40. Gueugniaud PY, Bertrand C, Savary D, Hubert H. L'arrêt cardiaque en France: pourquoi un registre national ? *La Presse Médicale* 2011;**40**:634-8.
41. Deo R, Albert CM. Epidemiology and genetics of sudden cardiac death. *Circulation* 2012;**125**:620-37.

42. Fishman GI, Chugh SS, Dimarco JP, Albert CM, Anderson ME, Bonow RO, et al. Sudden cardiac death prediction and prevention: report from a National Heart, Lung, and Blood Institute and Heart Rhythm Society Workshop. *Circulation* 2010;**122**:2335-48.
43. Levraut J, Giunti C, Grimaud D. Réponse cellulaire à l'acidose métabolique. *Réanimation Urgences* 1999;**8**:451-9.
44. Hittinger L, Lopes ME. Arrêt Cardio-circulatoire.
45. Mongardon N, Bouglé A, Geri G, Daviaud F, Morichau-Beauchant T, Tissier R, et al. Syndrome post-arrêt cardiaque : aspects physiopathologiques, cliniques et thérapeutiques. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 2013;**32**:779-86.
46. Nolan JP, Neumar RW, Adrie C, Aibiki M, Berg RA, Bottiger BW, et al. Post-cardiac arrest syndrome: epidemiology, pathophysiology, treatment, and prognostication. A Scientific Statement from the International Liaison Committee on Resuscitation; the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee; the Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia; the Council on Cardiopulmonary, Perioperative, and Critical Care; the Council on Clinical Cardiology; the Council on Stroke. *Resuscitation* 2008;**79**:350-79.
47. Aboyans V, Bernard Y, Bonnet JL, Elbaz M, Ernande L, Ferrari E, et al. Cardiologie. *Collège national des enseignants en cardiologie* 2013. Elsevier-Masson.
48. Mann D, Zipes D, Libby P, Bonow R. Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine, Single Volume 10th Edition. 2014. Elsevier Saunders.
49. Rubart M, Zipes DP. Mechanisms of sudden cardiac death. *J Clin Invest* 2005;**115**:2305-15.
50. Bossaert L, Handley A, Marsden A, Arntz R, Chamberlain D, Ekstrom L, et al. European Resuscitation Council guidelines for the use of automated external defibrillators by EMS providers and first responders: A statement from the Early Defibrillation Task Force, with contributions from the Working Groups on Basic and Advanced Life Support, and approved by the Executive Committee. *Resuscitation* 1998;**37**:91-4.
51. Lown B, Verrier RL. Neural activity and ventricular fibrillation. *N Engl J Med* 1976;**294**:1165-70.
52. Kuisma M, Alaspaa A. Out-of-hospital cardiac arrests of non-cardiac origin. Epidemiology and outcome. *Eur Heart J* 1997;**18**:1122-8.
53. Kurkciyan I, Meron G, Behringer W, Sterz F, Berzlanovich A, Domanovits H, et al. Accuracy and impact of presumed cause in patients with cardiac arrest. *Circulation* 1998;**98**:766-71.
54. Daya. M, Schmicker. R, May. S, Morrison L. Current burden of cardiac arrest in the United States. *Report from the Resuscitation Outcomes Consortium* 2015.
55. Kitamura T, Morita S, Kiyohara K, Nishiyama C, Kajino K, Sakai T, et al. Trends in survival among elderly patients with out-of-hospital cardiac arrest: a prospective, population-based observation from 1999 to 2011 in Osaka. *Resuscitation* 2014;**85**:1432-8.
56. Hubert H, Escutnaire J, Michelet P, Babykina E, El Khoury C, Tazarourte K, et al. Can we identify termination of resuscitation criteria in cardiac arrest due to drowning: results from the French national out-of-hospital cardiac arrest registry. *J Eval Clin Pract* 2016;**22**:924-31.
57. Escutnaire J, Babykina E, Tazarourte K, Jacob L, Hubert H, Doukhan M, et al. Cardiac arrest by hanging: Who are the survivors? *Resuscitation* 2015;**96**:99.

58. Dyson K, Morgans A, Bray J, Matthews B, Smith K. Drowning related out-of-hospital cardiac arrests: characteristics and outcomes. *Resuscitation* 2013;**84**:1114-8.
59. Deasy C, Bray J, Smith K, Bernard S, Cameron P, Committee VS. Hanging-associated out-of-hospital cardiac arrests in Melbourne, Australia. *Emerg Med J* 2013;**30**:38-42.
60. Priori SG, Aliot E, Blomstrom-Lundqvist C, Bossaert L, Breithardt G, Brugada P, et al. Task Force on Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2001;**22**:1374-450.
61. Dumas F, Blackwood J, White L, Fahrenbruch C, Jouven X, Cariou A, et al. The relationship between chronic health conditions and outcome following out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Resuscitation* 2017;**120**:71-6.
62. Bennett MT, Sanatani S, Chakrabarti S, Deyell MW, Krahn AD. Assessment of genetic causes of cardiac arrest. *Can J Cardiol* 2013;**29**:100-10.
63. Manfredini R, Portaluppi F, Grandi E, Fersini C, Gallerani M. Out-of-hospital sudden death referring to an emergency department. *J Clin Epidemiol* 1996;**49**:865-8.
64. Myerburg RJ. Sudden cardiac death: exploring the limits of our knowledge. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2001;**12**:369-81.
65. Noseworthy PA, Newton-Cheh C. Genetic determinants of sudden cardiac death. *Circulation* 2008;**118**:1854-63.
66. Zipes DP. Epidemiology and mechanisms of sudden cardiac death. *Can J Cardiol* 2005;**21 Suppl A**:37A-40A.
67. Meneton P, Lemogne C, Herquelot E, Bonenfant S, Larson MG, Vasan RS, et al. A Global View of the Relationships between the Main Behavioural and Clinical Cardiovascular Risk Factors in the GAZEL Prospective Cohort. *PLoS One* 2016;**11**:e0162386.
68. Kannel WB, Vasan RS. Adverse consequences of the 50% misconception. *Am J Cardiol* 2009;**103**:426-7.
69. Lloyd-Jones DM, Nam BH, D'Agostino RB, Sr., Levy D, Murabito JM, Wang TJ, et al. Parental cardiovascular disease as a risk factor for cardiovascular disease in middle-aged adults: a prospective study of parents and offspring. *JAMA* 2004;**291**:2204-11.
70. Witte DR, Grobbee DE, Bots ML, Hoes AW. Excess cardiac mortality on Monday: the importance of gender, age and hospitalisation. *Eur J Epidemiol* 2005;**20**:395-9.
71. Lecoffre C, Decool E, Olié V. Mortalité cardio-neuro-vasculaire et désavantage social en France en 2011. *Bull Epidémiol Hebd* 2016;**20-21**:352-8.
72. Marmot. M, Wilkinson. RG. Social determinants of health. *Oxford University Press* 2006.
73. Mackenbach JP, Bouvier-Colle MH, Jouglu E. "Avoidable" mortality and health services: a review of aggregate data studies. *J Epidemiol Community Health* 1990;**44**:106-11.
74. Cutler DM, Lleras-Muney A. Understanding differences in health behaviors by education. *J Health Econ* 2010;**29**:1-28.
75. James. C, Devaux. M, Sassi. F. Inclusive growth and health. *OECD Health Working Papers n° 103* 2017.
76. Mackenbach JP, Stirbu I, Roskam AJ, Schaap MM, Menvielle G, Leinsalu M, et al. Socioeconomic inequalities in health in 22 European countries. *N Engl J Med* 2008;**358**:2468-81.

77. Deguen S, Zmirou-Navier D. Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality--A European review. *Eur J Public Health* 2010;**20**:27-35.
78. Gibson M, Petticrew M, Bamba C, Sowden AJ, Wright KE, Whitehead M. Housing and health inequalities: a synthesis of systematic reviews of interventions aimed at different pathways linking housing and health. *Health Place* 2011;**17**:175-84.
79. Leventhal T, Dupere V. Moving to Opportunity: does long-term exposure to 'low-poverty' neighborhoods make a difference for adolescents? *Soc Sci Med* 2011;**73**:737-43.
80. Stringhini S, Carmeli C, Jokela M, Avendano M, Muennig P, Guida F, et al. Socioeconomic status and the 25 x 25 risk factors as determinants of premature mortality: a multicohort study and meta-analysis of 1.7 million men and women. *Lancet* 2017;**389**:1229-37.
81. Marmot MG, Rose G, Shipley M, Hamilton PJ. Employment grade and coronary heart disease in British civil servants. *J Epidemiol Community Health* 1978;**32**:244-9.
82. Mackenbach JP, Cavelaars AE, Kunst AE, Groenhouf F. Socioeconomic inequalities in cardiovascular disease mortality; an international study. *Eur Heart J* 2000;**21**:1141-51.
83. Ramsay SE, Morris RW, Whincup PH, Subramanian SV, Papacosta AO, Lennon LT, et al. The influence of neighbourhood-level socioeconomic deprivation on cardiovascular disease mortality in older age: longitudinal multilevel analyses from a cohort of older British men. *J Epidemiol Community Health* 2015;**69**:1224-31.
84. Rauch B. Socioeconomic status: A powerful but still neglected modulator of cardiovascular risk. *Eur J Prev Cardiol* 2018;**25**:981-4.
85. Albert CM, Nam EG, Rimm EB, Jin HW, Hajjar RJ, Hunter DJ, et al. Cardiac sodium channel gene variants and sudden cardiac death in women. *Circulation* 2008;**117**:16-23.
86. Stecker EC, Sono M, Wallace E, Gunson K, Jui J, Chugh SS. Allelic variants of SCN5A and risk of sudden cardiac arrest in patients with coronary artery disease. *Heart Rhythm* 2006;**3**:697-700.
87. Galea S, Blaney S, Nandi A, Silverman R, Vlahov D, Foltin G, et al. Explaining racial disparities in incidence of and survival from out-of-hospital cardiac arrest. *Am J Epidemiol* 2007;**166**:534-43.
88. Deo R, Norby FL, Katz R, Sotoodehnia N, Adabag S, DeFilippi CR, et al. Development and Validation of a Sudden Cardiac Death Prediction Model for the General Population. *Circulation* 2016;**134**:806-16.
89. Anderson ML, Cox M, Al-Khatib SM, Nichol G, Thomas KL, Chan PS, et al. Rates of cardiopulmonary resuscitation training in the United States. *JAMA Intern Med* 2014;**174**:194-201.
90. Reinier K, Stecker EC, Vickers C, Gunson K, Jui J, Chugh SS. Incidence of sudden cardiac arrest is higher in areas of low socioeconomic status: a prospective two year study in a large United States community. *Resuscitation* 2006;**70**:186-92.
91. Hallstrom A, Boutin P, Cobb L, Johnson E. Socioeconomic status and prediction of ventricular fibrillation survival. *Am J Public Health* 1993;**83**:245-8.
92. Koskenvuo M, Kaprio J, Kesaniemi A, Sarna S. Differences in mortality from ischemic heart disease by marital status and social class. *J Chronic Dis* 1980;**33**:95-106.
93. Ruberman W, Weinblatt E, Goldberg JD, Chaudhary BS. Psychosocial influences on mortality after myocardial infarction. *N Engl J Med* 1984;**311**:552-9.

94. Clarke SO, Schellenbaum GD, Rea TD. Socioeconomic status and survival from out-of-hospital cardiac arrest. *Acad Emerg Med* 2005;**12**:941-7.
95. Soo L, Huff N, Gray D, Hampton JR. Geographical distribution of cardiac arrest in Nottinghamshire. *Resuscitation* 2001;**48**:137-47.
96. Vaillancourt C, Lui A, De Maio VJ, Wells GA, Stiell IG. Socioeconomic status influences bystander CPR and survival rates for out-of-hospital cardiac arrest victims. *Resuscitation* 2008;**79**:417-23.
97. Townsend P. Deprivation. *J Soc Policy* 1987;**16**:125-46.
98. Carstairs V. Small area analysis and health service research. *Community Med* 1981;**3**:131-9.
99. Ahn KO, Shin SD, Hwang SS, Oh J, Kawachi I, Kim YT, et al. Association between deprivation status at community level and outcomes from out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide observational study. *Resuscitation* 2011;**82**:270-6.
100. Lee SY, Song KJ, Shin SD, Ro YS, Hong KJ, Kim YT, et al. A disparity in outcomes of out-of-hospital cardiac arrest by community socioeconomic status: A ten-year observational study. *Resuscitation* 2018;**126**:130-6.
101. Nascimento I. L'IDH 2 : un outil d'évaluation du développement humain en Ile de France. *Note rapide IAUIDF* 2014;**656**.
102. Chu K, Swor R, Jackson R, Domeier R, Sadler E, Basse E, et al. Race and survival after out-of-hospital cardiac arrest in a suburban community. *Ann Emerg Med* 1998;**31**:478-82.
103. Folke F, Lippert FK, Nielsen SL, Gislason GH, Hansen ML, Schramm TK, et al. Location of cardiac arrest in a city center: strategic placement of automated external defibrillators in public locations. *Circulation* 2009;**120**:510-7.
104. Jonsson M. Socioeconomic status and out-of-hospital cardiac arrest. A quantitative analysis of the relationship between socioeconomic status, incidence, and survival from out-of-hospital cardiac arrest. *Sociologiska Institutionen kandidatuppsats i sociologi* 2013.
105. Owen DD, McGovern SK, Murray A, Leary M, Del Rios M, Merchant RM, et al. Association of race and socioeconomic status with automatic external defibrillator training prevalence in the United States. *Resuscitation* 2018;**127**:100-4.
106. Wells DM, White LL, Fahrenbruch CE, Rea TD. Socioeconomic status and survival from ventricular fibrillation out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Epidemiol* 2016;**26**:418-23 e1.
107. Mitchell MJ, Stubbs BA, Eisenberg MS. Socioeconomic status is associated with provision of bystander cardiopulmonary resuscitation. *Prehosp Emerg Care* 2009;**13**:478-86.
108. Chiang WC, Ko PC, Chang AM, Chen WT, Liu SS, Huang YS, et al. Bystander-initiated CPR in an Asian metropolitan: does the socioeconomic status matter? *Resuscitation* 2014;**85**:53-8.
109. Iwashyna TJ, Christakis NA, Becker LB. Neighborhoods matter: a population-based study of provision of cardiopulmonary resuscitation. *Ann Emerg Med* 1999;**34**:459-68.
110. Beck B, Bray J, Cameron P, Smith K, Walker T, Grantham H, et al. Regional variation in the characteristics, incidence and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest in Australia and New Zealand: Results from the Aus-ROC Epistry. *Resuscitation* 2018;**126**:49-57.

111. Straney LD, Bray JE, Beck B, Finn J, Bernard S, Dyson K, et al. Regions of High Out-Of-Hospital Cardiac Arrest Incidence and Low Bystander CPR Rates in Victoria, Australia. *PLoS One* 2015;**10**:e0139776.
112. Ong ME, Shin SD, De Souza NN, Tanaka H, Nishiuchi T, Song KJ, et al. Outcomes for out-of-hospital cardiac arrests across 7 countries in Asia: The Pan Asian Resuscitation Outcomes Study (PAROS). *Resuscitation* 2015;**96**:100-8.
113. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nitta M, Nagao K, Nonogi H, et al. Nationwide improvements in survival from out-of-hospital cardiac arrest in Japan. *Circulation* 2012;**126**:2834-43.
114. Rea TD, Pearce RM, Raghunathan TE, Lemaitre RN, Sotodehnia N, Jouven X, et al. Incidence of out-of-hospital cardiac arrest. *Am J Cardiol* 2004;**93**:1455-60.
115. Grasner JT, Herlitz J, Koster RW, Rosell-Ortiz F, Stamatakis L, Bossaert L. Quality management in resuscitation--towards a European cardiac arrest registry (EuReCa). *Resuscitation* 2011;**82**:989-94.
116. Grasner JT, Bottiger BW, Bossaert L, European Registry of Cardiac Arrest ONESC, EuReCa ONESMT. EuReCa ONE - ONE month - ONE Europe - ONE goal. *Resuscitation* 2014;**85**:1307-8.
117. Eisenberg MS, Horwood BT, Cummins RO, Reynolds-Haertle R, Hearne TR. Cardiac arrest and resuscitation: a tale of 29 cities. *Ann Emerg Med* 1990;**19**:179-86.
118. Bougouin W, Mustafic H, Marijon E, Murad MH, Dumas F, Barbouttis A, et al. Gender and survival after sudden cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 2015;**94**:55-60.
119. Andersen LW, Bivens MJ, Giberson T, Giberson B, Mottley JL, Gautam S, et al. The relationship between age and outcome in out-of-hospital cardiac arrest patients. *Resuscitation* 2015;**94**:49-54.
120. Moon S, Vadeboncoeur TF, Kortuem W, Kisakye M, Karamooz M, White B, et al. Analysis of out-of-hospital cardiac arrest location and public access defibrillator placement in Metropolitan Phoenix, Arizona. *Resuscitation* 2015;**89**:43-9.
121. McMullan J, Gerecht R, Bonomo J, Robb R, McNally B, Donnelly J, et al. Airway management and out-of-hospital cardiac arrest outcome in the CARES registry. *Resuscitation* 2014;**85**:617-22.
122. Siddiq AA, Brooks SC, Chan TC. Modeling the impact of public access defibrillator range on public location cardiac arrest coverage. *Resuscitation* 2013;**84**:904-9.
123. Meyer L, Stubbs B, Fahrenbruch C, Maeda C, Harmon K, Eisenberg M, et al. Incidence, causes, and survival trends from cardiovascular-related sudden cardiac arrest in children and young adults 0 to 35 years of age: a 30-year review. *Circulation* 2012;**126**:1363-72.
124. Lai H, Choong CV, Fook-Chong S, Ng YY, Finkelstein EA, Haaland B, et al. Interventional strategies associated with improvements in survival for out-of-hospital cardiac arrests in Singapore over 10 years. *Resuscitation* 2015;**89**:155-61.
125. Hasegawa K, Tsugawa Y, Camargo CA, Jr., Hiraide A, Brown DF. Regional variability in survival outcomes of out-of-hospital cardiac arrest: the All-Japan Utstein Registry. *Resuscitation* 2013;**84**:1099-107.
126. Iwami T, Hiraide A, Nakanishi N, Hayashi Y, Nishiuchi T, Uejima T, et al. Outcome and characteristics of out-of-hospital cardiac arrest according to location of arrest: A report from a large-scale, population-based study in Osaka, Japan. *Resuscitation* 2006;**69**:221-8.

127. Ginsberg GM, Kark JD, Einav S. Cost-utility analysis of treating out of hospital cardiac arrests in Jerusalem. *Resuscitation* 2015;**86**:54-61.
128. Axelsson C, Claesson A, Engdahl J, Herlitz J, Hollenberg J, Lindqvist J, et al. Outcome after out-of-hospital cardiac arrest witnessed by EMS: changes over time and factors of importance for outcome in Sweden. *Resuscitation* 2012;**83**:1253-8.
129. Stromsoe A, Svensson L, Axelsson AB, Claesson A, Goransson KE, Nordberg P, et al. Improved outcome in Sweden after out-of-hospital cardiac arrest and possible association with improvements in every link in the chain of survival. *Eur Heart J* 2015;**36**:863-71.
130. Masterson S, Wright P, O'Donnell C, Vellinga A, Murphy AW, Hennelly D, et al. Urban and rural differences in out-of-hospital cardiac arrest in Ireland. *Resuscitation* 2015;**91**:42-7.
131. Pleskot M, Babu A, Kajzr J, Kvasnicka J, Stritecky J, Cermakova E, et al. Characteristics and short-term survival of individuals with out-of-hospital cardiac arrests in the East Bohemian region. *Resuscitation* 2006;**68**:209-20.
132. Waalewijn RA, de Vos R, Koster RW. Out-of-hospital cardiac arrests in Amsterdam and its surrounding areas: results from the Amsterdam resuscitation study (ARREST) in 'Utstein' style. *Resuscitation* 1998;**38**:157-67.
133. Wissenberg M, Hansen CM, Folke F, Lippert FK, Weeke P, Karlsson L, et al. Survival after out-of-hospital cardiac arrest in relation to sex: a nationwide registry-based study. *Resuscitation* 2014;**85**:1212-8.
134. Pell JP, Sirel J, Marsden AK, Cobbe SM. Sex differences in outcome following community-based cardiopulmonary arrest. *Eur Heart J* 2000;**21**:239-44.
135. Arrich J, Sterz F, Fleischhackl R, Uray T, Losert H, Kliegel A, et al. Gender modifies the influence of age on outcome after successfully resuscitated cardiac arrest: a retrospective cohort study. *Medicine (Baltimore)* 2006;**85**:288-94.
136. Fothergill RT, Watson LR, Chamberlain D, Virdi GK, Moore FP, Whitbread M. Increases in survival from out-of-hospital cardiac arrest: a five year study. *Resuscitation* 2013;**84**:1089-92.
137. Segal N, di Pompeo C, Escutnaire J, Wiel E, Dumont C, Castra L, et al. Evolution of Survival in Cardiac Arrest with Age in Elderly Patients: Is Resuscitation a Dead End? *J Emerg Med* 2018;**54**:295-301.
138. Labenne M, Paut O. Arrêt cardiaque chez l'enfant : définition, épidémiologie, prise en charge et pronostic. *Le Praticien en anesthésie réanimation* 2014;**26**:154-72.
139. Deasy C, Bray J, Smith K, Hall D, Morrison C, Bernard SA, et al. Paediatric traumatic out-of-hospital cardiac arrests in Melbourne, Australia. *Resuscitation* 2012;**83**:471-5.
140. Davies D, Lang M, Watts R. Paediatric hanging and strangulation injuries: A 10-year retrospective description of clinical factors and outcomes. *Paediatr Child Health* 2011;**16**:e78-81.
141. Wee JH, Park KN, Oh SH, Youn CS, Kim HJ, Choi SP. Outcome analysis of cardiac arrest due to hanging injury. *Am J Emerg Med* 2012;**30**:690-4.
142. Beck B, Tohira H, Bray JE, Straney L, Brown E, Inoue M, et al. Trends in traumatic out-of-hospital cardiac arrest in Perth, Western Australia from 1997 to 2014. *Resuscitation* 2016;**98**:79-84.

143. Grossetête M. Accidents de la route et inégalités sociales. *Les morts, les médias et l'État, Bellecombe-en-Bauges, Éditions du Croquant, Coll « Champ social »* 2012.
144. Harper S, Charters TJ, Strumpf EC. Trends in Socioeconomic Inequalities in Motor Vehicle Accident Deaths in the United States, 1995-2010. *Am J Epidemiol* 2015;**182**:606-14.
145. Herlitz J, Rundqvist S, Bang A, Aune S, Lundstrom G, Ekstrom L, et al. Is there a difference between women and men in characteristics and outcome after in hospital cardiac arrest? *Resuscitation* 2001;**49**:15-23.
146. Johnson MA, Haukoos JS, Larabee TM, Daugherty S, Chan PS, McNally B, et al. Females of childbearing age have a survival benefit after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2013;**84**:639-44.
147. Winther-Jensen M, Kjaergaard J, Wanscher M, Nielsen N, Wetterslev J, Cronberg T, et al. No difference in mortality between men and women after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2015;**96**:78-84.
148. McNally B, Robb R, Mehta M, Vellano K, Valderrama AL, Yoon PW, et al. Out-of-hospital cardiac arrest surveillance --- Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival (CARES), United States, October 1, 2005--December 31, 2010. *MMWR Surveill Summ* 2011;**60**:1-19.
149. Descatha A, Frederic M, Devere C, Dolveck F, Goddet S, Baer M, et al. Details of the initial management of cardiac arrest occurring in the workplace in a French urban area. *Resuscitation* 2005;**65**:301-7.
150. Lijovic M, Bernard S, Nehme Z, Walker T, Smith K, Victorian Ambulance Cardiac Arrest Registry Steering C. Public access defibrillation-results from the Victorian Ambulance Cardiac Arrest Registry. *Resuscitation* 2014;**85**:1739-44.
151. Becker LB, Han BH, Meyer PM, Wright FA, Rhodes KV, Smith DW, et al. Racial differences in the incidence of cardiac arrest and subsequent survival. The CPR Chicago Project. *N Engl J Med* 1993;**329**:600-6.
152. de Rooij NK, Linn FH, van der Plas JA, Algra A, Rinkel GJ. Incidence of subarachnoid haemorrhage: a systematic review with emphasis on region, age, gender and time trends. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2007;**78**:1365-72.
153. Nehme Z, Andrew E, Bernard S, Smith K. Comparison of out-of-hospital cardiac arrest occurring before and after paramedic arrival: epidemiology, survival to hospital discharge and 12-month functional recovery. *Resuscitation* 2015;**89**:50-7.
154. Takei Y, Nishi T, Kamikura T, Tanaka Y, Wato Y, Kubo M, et al. Do early emergency calls before patient collapse improve survival after out-of-hospital cardiac arrests? *Resuscitation* 2015;**88**:20-7.
155. Hasselqvist-Ax I, Riva G, Herlitz J, Rosenqvist M, Hollenberg J, Nordberg P, et al. Early cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 2015;**372**:2307-15.
156. Holmberg M, Holmberg S, Herlitz J. Factors modifying the effect of bystander cardiopulmonary resuscitation on survival in out-of-hospital cardiac arrest patients in Sweden. *Eur Heart J* 2001;**22**:511-9.

157. Wissenberg M, Lippert FK, Folke F, Weeke P, Hansen CM, Christensen EF, et al. Association of national initiatives to improve cardiac arrest management with rates of bystander intervention and patient survival after out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2013;**310**:1377-84.
158. Berdowski J, Blom MT, Bardai A, Tan HL, Tijssen JG, Koster RW. Impact of onsite or dispatched automated external defibrillator use on survival after out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 2011;**124**:2225-32.
159. Blom MT, Beesems SG, Homma PC, Zijlstra JA, Hulleman M, van Hoeijen DA, et al. Improved survival after out-of-hospital cardiac arrest and use of automated external defibrillators. *Circulation* 2014;**130**:1868-75.
160. Dumas F, Bougouin W, Geri G, Cariou A. Epidémiologie de l'arrêt cardio-respiratoire : données France-Etats-Unis. *La Presse Médicale* 2016;**45**:832-8.
161. Gold LS, Eisenberg MS. A comprehensive investigation of cardiac arrest before and after arrival of emergency medical services. *Resuscitation* 2010;**81**:769-72.
162. Deasy C, Bray JE, Smith K, Harriss LR, Bernard SA, Davidson PM, et al. Resuscitation of out-of-hospital cardiac arrests in residential aged care facilities in Melbourne, Australia. *Resuscitation* 2012;**83**:58-62.
163. Hazzard WR. Should the elderly be resuscitated following out-of-hospital cardiac arrest? Why not? *The American journal of medicine* 1989;**86**:143-4.
164. Mohler MJ, Wendel CS, Mosier J, Itty A, Fain M, Clark L, et al. Cardiocerebral Resuscitation Improves Out-of-Hospital Survival in Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society* 2011;**59**:822-6.
165. Murphy DJ, Murray AM, Robinson BE, Champion EW. Outcomes of cardiopulmonary resuscitation in the elderly. *Ann Intern Med* 1989;**111**:199-205.
166. Podrid PJ. Resuscitation in the elderly: A blessing or a curse? *Annals of Internal Medicine* 1989;**111**:193-5.
167. Rea TD, Cook AJ, Stiell IG, Powell J, Bigham B, Callaway CW, et al. Predicting survival after out-of-hospital cardiac arrest: role of the Utstein data elements. *Ann Emerg Med* 2010;**55**:249-57.
168. Fredriksson M, Herlitz J, Nichol G. Variation in outcome in studies of out-of-hospital cardiac arrest: a review of studies conforming to the Utstein guidelines. *Am J Emerg Med* 2003;**21**:276-81.
169. Hallstrom AP, Cobb LA, Yu BH. Influence of comorbidity on the outcome of patients treated for out-of-hospital ventricular fibrillation. *Circulation* 1996;**93**:2019-22.
170. Carew HT, Zhang W, Rea TD. Chronic health conditions and survival after out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Heart* 2007;**93**:728-31.
171. Weisfeldt ML, Becker LB. Resuscitation after cardiac arrest: a 3-phase time-sensitive model. *Jama* 2002;**288**:3035-8.
172. Global Resuscitation Alliance (GRA). Improving Survival from Out-of-Hospital Cardiac Arrest. Acting on the Call. 2018 Update from the Global Resuscitation Alliance. Including 27 Case Reports. 2018.

173. Kragholm K, Wissenberg M, Mortensen RN, Hansen SM, Malta Hansen C, Thorsteinsson K, et al. Bystander Efforts and 1-Year Outcomes in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *N Engl J Med* 2017;**376**:1737-47.
174. Hollenberg J, Herlitz J, Lindqvist J, Riva G, Bohm K, Rosenqvist M, et al. Improved survival after out-of-hospital cardiac arrest is associated with an increase in proportion of emergency crew--witnessed cases and bystander cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 2008;**118**:389-96.
175. Adielsson A, Hollenberg J, Karlsson T, Lindqvist J, Lundin S, Silfverstolpe J, et al. Increase in survival and bystander CPR in out-of-hospital shockable arrhythmia: bystander CPR and female gender are predictors of improved outcome. Experiences from Sweden in an 18-year perspective. *Heart* 2011;**97**:1391-6.
176. Lindner TW, Soreide E, Nilsen OB, Torunn MW, Lossius HM. Good outcome in every fourth resuscitation attempt is achievable--an Utstein template report from the Stavanger region. *Resuscitation* 2011;**82**:1508-13.
177. Iwami T, Nichol G, Hiraide A, Hayashi Y, Nishiuchi T, Kajino K, et al. Continuous improvements in "chain of survival" increased survival after out-of-hospital cardiac arrests: a large-scale population-based study. *Circulation* 2009;**119**:728-34.
178. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nagao K, Tanaka H, Hiraide A, et al. Nationwide public-access defibrillation in Japan. *N Engl J Med* 2010;**362**:994-1004.
179. Spaite DW, Bobrow BJ, Stolz U, Berg RA, Sanders AB, Kern KB, et al. Statewide regionalization of postarrest care for out-of-hospital cardiac arrest: association with survival and neurologic outcome. *Ann Emerg Med* 2014;**64**:496-506 e1.
180. Graf J, Muhlhoff C, Doig GS, Reinartz S, Bode K, Dujardin R, et al. Health care costs, long-term survival, and quality of life following intensive care unit admission after cardiac arrest. *Crit Care* 2008;**12**:R92.
181. Naess AC, Steen PA. Long term survival and costs per life year gained after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2004;**60**:57-64.
182. Valenzuela TD, Criss EA, Spaite D, Meislin HW, Wright AL, Clark L. Cost-effectiveness analysis of paramedic emergency medical services in the treatment of prehospital cardiopulmonary arrest. *Ann Emerg Med* 1990;**19**:1407-11.
183. Graf J, Wagner J, Graf C, Koch KC, Janssens U. Five-year survival, quality of life, and individual costs of 303 consecutive medical intensive care patients--a cost-utility analysis. *Crit Care Med* 2005;**33**:547-55.
184. Petrie J, Easton S, Naik V, Lockie C, Brett SJ, Stumpfle R. Hospital costs of out-of-hospital cardiac arrest patients treated in intensive care; a single centre evaluation using the national tariff-based system. *BMJ Open* 2015;**5**:e005797.
185. de Vos R, de Haes HC, Koster RW, de Haan RJ. Quality of survival after cardiopulmonary resuscitation. *Arch Intern Med* 1999;**159**:249-54.
186. Hsu JW, Madsen CD, Callahan ML. Quality-of-life and formal functional testing of survivors of out-of-hospital cardiac arrest correlates poorly with traditional neurologic outcome scales. *Ann Emerg Med* 1996;**28**:597-605.

187. Holmes D. Report triggers quibbles over QALYs, a staple of health metrics. *Nat Med* 2013;**19**:248.
188. Berdowski J, Kuiper MJ, Dijkgraaf MG, Tijssen JG, Koster RW. Survival and health care costs until hospital discharge of patients treated with onsite, dispatched or without automated external defibrillator. *Resuscitation* 2010;**81**:962-7.
189. Fukuda T, Yasunaga H, Horiguchi H, Ohe K, Fushimi K, Matsubara T, et al. Health care costs related to out-of-hospital cardiopulmonary arrest in Japan. *Resuscitation* 2013;**84**:964-9.
190. Lurie K, Levy M, Swor R, Moore J. The Cost of Prehospital Cardiac Arrest. *Journal of Emergency Medical Services* Dec 20, 2017.
191. Weng YM, Ng CJ, Seak CJ, Chien CY, Chen KF, Lin JR, et al. One-year survival rate and healthcare costs after cardiac arrest in Taiwan, 2006-2012. *PLoS One* 2018;**13**:e0196687.
192. Gray WA, Capone RJ, Most AS. Unsuccessful Emergency Medical Resuscitation — Are Continued Efforts in the Emergency Department Justified? *New England Journal of Medicine* 1991;**325**:1393-8.
193. Jakobsson J, Nyquist O, Rehnqvist N, Norberg KA. Cost of a saved life following out-of-hospital cardiac arrest resuscitated by specially trained ambulance personnel. *Acta Anaesthesiol Scand* 1987;**31**:426-9.
194. Lee KH, Angus DC, Abramson NS. Cardiopulmonary resuscitation: what cost to cheat death? *Crit Care Med* 1996;**24**:2046-52.
195. Rosemurgy AS, Norris PA, Olson SM, Hurst JM, Albrink MH. Prehospital traumatic cardiac arrest: the cost of futility. *J Trauma* 1993;**35**:468-73; discussion 73-4.
196. Suchard JR, Fenton FR, Powers RD. Medicare expenditures on unsuccessful out-of-hospital resuscitations. *J Emerg Med* 1999;**17**:801-5.
197. Vrtis MC. Cost/benefit analysis of cardiopulmonary resuscitation: a comprehensive study--Part II. *Nurs Manage* 1992;**23**:44-6, 50-1.
198. Ronco R, King W, Donley DK, Tilden SJ. Outcome and cost at a children's hospital following resuscitation for out-of-hospital cardiopulmonary arrest. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1995;**149**:210-4.
199. Sheikh A, Brogan T. Outcome and cost of open- and closed-chest cardiopulmonary resuscitation in pediatric cardiac arrests. *Pediatrics* 1994;**93**:392-8.
200. Rolden HJ, van Bodegom D, Westendorp RG. Changes in health care expenditure after the loss of a spouse: data on 6,487 older widows and widowers in the Netherlands. *PLoS One* 2014;**9**:e115478.
201. Newman M. Chain of Survival concept takes hold. *J Emerg Med Services* 1989;**14**:11-3.
202. Newman M. The Chain of Survival: Converting a Nation. *Currents in Emergency Cardiac Care* 1990;**1**:3.
203. Cummins RO. The "chain of survival" concept: how it can save lives. *Heart Dis Stroke* 1992;**1**:43-5.
204. Cummins RO, Ornato JP, Thies WH, Pepe PE. Improving survival from sudden cardiac arrest: the "chain of survival" concept. A statement for health professionals from the Advanced Cardiac Life Support Subcommittee and the Emergency Cardiac Care Committee, American Heart Association. *Circulation* 1991;**83**:1832-47.

205. Kloeck W, Cummins R, Chamberlain D, Bossaert L, Callanan V, Carli P, et al. The Universal ALS algorithm. An advisory statement by the Advanced Life Support Working Group of the International Liaison Committee on Resuscitation. *Resuscitation* 1997;**34**:109-11.
206. Eisenberg MS, Bergner L, Hallstrom A. Cardiac resuscitation in the community. Importance of rapid provision and implications for program planning. *JAMA* 1979;**241**:1905-7.
207. Nolan J, European Resuscitation C. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 1. Introduction. *Resuscitation* 2005;**67 Suppl 1**:S3-6.
208. Peberdy MA, Callaway CW, Neumar RW, Geocadin RG, Zimmerman JL, Donnino M, et al. Part 9: post-cardiac arrest care: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2010;**122**:S768-86.
209. Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL, Greif R, Maconochie IK, Nikolaou NI, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 1. Executive summary. *Resuscitation* 2015;**95**:1-80.
210. Grasner JT, Bossaert L. Epidemiology and management of cardiac arrest: what registries are revealing. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2013;**27**:293-306.
211. Zaritsky A, Nadkarni V, Hazinski MF, Foltin G, Quan L, Wright J, et al. Recommended guidelines for uniform reporting of pediatric advanced life support: the Pediatric Utstein Style. A statement for healthcare professionals from a task force of the American Academy of Pediatrics, the American Heart Association, and the European Resuscitation Council. *Resuscitation* 1995;**30**:95-115.
212. McNally B. The importance of cardiac arrest registries. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 2014;**22**:A3-A.
213. Perkins GD, Jacobs IG, Nadkarni VM, Berg RA, Bhanji F, Biarent D, et al. Cardiac Arrest and Cardiopulmonary Resuscitation Outcome Reports: Update of the Utstein Resuscitation Registry Templates for Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Statement for Healthcare Professionals From a Task Force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke Foundation of Canada, InterAmerican Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa, Resuscitation Council of Asia); and the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee and the Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation. *Resuscitation* 2015;**96**:328-40.
214. Nishiyama C, Brown SP, May S, Iwami T, Koster RW, Beesems SG, et al. Apples to apples or apples to oranges? International variation in reporting of process and outcome of care for out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2014;**85**:1599-609.
215. Morrison LJ, Nichol G, Rea TD, Christenson J, Callaway CW, Stephens S, et al. Rationale, development and implementation of the Resuscitation Outcomes Consortium Epistry-Cardiac Arrest. *Resuscitation* 2008;**78**:161-9.
216. Nashelsky MB, Lawrence CH. Accuracy of cause of death determination without forensic autopsy examination. *Am J Forensic Med Pathol* 2003;**24**:313-9.
217. Wnent J, Masterson S, Grasner JT, Bottiger BW, Herlitz J, Koster RW, et al. EuReCa ONE - 27 Nations, ONE Europe, ONE Registry: a prospective observational analysis over one month in 27

- resuscitation registries in Europe - the EuReCa ONE study protocol. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2015;**23**:7.
218. European Parliament and the European Council. Establishment of a third Programme for the Union's action in the field of health (2014-2020) and repealing Decision No 1350/2007/EC. *Regulation (EU)* 2014;**282**.
219. Chérié-Challine L. La situation des registres en France en 1997. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire* 1997;**17**:71-4.
220. Ducimetière P. Les registres de morbidité en France : pourquoi et comment ? . *Actes du Colloque "Registres et politiques de santé publique"* 2012.
221. Ducimetiere P, Montaville B, Schaffer P, Spira N. Recherche et politiques de santé : l'apport des registres de morbidité. *Analyses et Prospective* 1992:228.
222. Ducimetiere P, Montaville B, Schaffer P, Spira N. Recherche et politiques de santé: l'apport des registres de morbidité. *Population* 1993;**48**:508-9.
223. Escutnaire J, Hubert H, Dubien PY, Gueugniaud PY. Patients With Out-of-Hospital Cardiac Arrest With No Chance of Survival and Consideration for Organ Donation. *Ann Intern Med* 2017;**166**:608.
224. Escutnaire J, Vilhelm C, Baert V, Gueugniaud PY, Helft G, Hubert H. RéAC : un registre au service des praticiens, au bénéfice des patients. *La Lettre du Cardiologue* 2017;**510**:16-21.
225. Wiel E, Di Pompeo C, Segal N, Luc G, Marc JB, Vanderstraeten C, et al. Age discrimination in out-of-hospital cardiac arrest care: a case-control study. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2017:1474515117746329.
226. Sanders AB. Cardiac arrest and the limitations of clinical trials. *N Engl J Med* 2011;**365**:850-1.
227. HCSP. Indicateurs de suivi de l'évolution des inégalités sociales de santé dans les systèmes d'information en santé. *Rapport du Haut Comité de Santé Publique* 2013.
228. Adnet F, Lapostolle F. International EMS systems: France. *Resuscitation* 2004;**63**:7-9.
229. Olsen SF, Martuzzi M, Elliott P. Cluster analysis and disease mapping--why, when, and how? A step by step guide. *BMJ* 1996;**313**:863-6.
230. Fake AL, Swain AH, Larsen PD. Survival from out-of-hospital cardiac arrest in Wellington in relation to socioeconomic status and arrest location. *N Z Med J* 2013;**126**:28-37.
231. Jarman B. Identification of underprivileged areas. *Br Med J (Clin Res Ed)* 1983;**286**:1705-9.
232. Pampalon R, Raymond G. A deprivation index for health and welfare planning in Quebec. *Chronic Dis Can* 2000;**21**:104-13.
233. Rey G, Jouglu E, Fouillet A, Hemon D. Ecological association between a deprivation index and mortality in France over the period 1997 - 2001: variations with spatial scale, degree of urbanicity, age, gender and cause of death. *BMC Public Health* 2009;**9**:33.
234. Challier B, Viel JF. [Relevance and validity of a new French composite index to measure poverty on a geographical level]. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2001;**49**:41-50.
235. Lasbeur L, Kaminski M, Ancel P-Y, du Mazaubrun C, Zeitlin J. Analysis of Social Inequalities in Perinatal Health Using Census Data. The Risk of Very Preterm Birth in the Paris Region. *Population* 2006;**61**:503-.

236. Havard S, Deguen S, Bodin J, Louis K, Laurent O, Bard D. A small-area index of socioeconomic deprivation to capture health inequalities in France. *Soc Sci Med* 2008;**67**:2007-16.
237. Picheral H. Les concepts de la géographie humaine. Paris: Masson; 1984.
238. Tonnelier F, Vigneron E. Géographie de la santé en France. Paris: PUF; 1999.
239. Rezaeian M, Dunn G, St Leger S, Appleby L. Geographical epidemiology, spatial analysis and geographical information systems: a multidisciplinary glossary. *J Epidemiol Community Health* 2007;**61**:98-102.
240. Elliott P, Cuzick J, English D, Stern R. Geographical and environmental epidemiology : methods for small-area studies.: Oxford: Oxford University Press; 1992.
241. Waller L, Gotway C. Applied Spatial Statistics for Public Health Data Applied Spatial Statistics for Public Health Data. New Jersey: Wiley; 2004.
242. Wakefield J, Kelsall J, Morris S. Clustering, cluster detection, and spatial variation in risk. *Spatial epidemiology : methods and applications*: Oxford University Press; 2000 p. 128-52.
243. Besag J, Newell J. The Detection of Clusters in Rare Diseases. *Journal of the Royal Statistical Society Series A (Statistics in Society)* 1991;**154**:143-55.
244. Earnest A, Morgan G, Mengersen K, Ryan L, Summerhayes R, Beard J. Evaluating the effect of neighbourhood weight matrices on smoothing properties of Conditional Autoregressive (CAR) models. *Int J Health Geogr* 2007;**6**:54.
245. Occelli F, Deram A, Genin M, Noel C, Cuny D, Glowacki F, et al. Mapping end-stage renal disease (ESRD): spatial variations on small area level in northern France, and association with deprivation. *PLoS One* 2014;**9**:e110132.
246. Genin M, Duhamel A, Preda C, Fumery M, Savoye G, Peyrin-Biroulet L, et al. Space-time clusters of Crohn's disease in northern France. *Journal of Public Health* 2013;**21**:497-504.
247. Guihenneuc-Jouyaux C. [Statistical modelization of geographic variations: a major challenge in epidemiology and statistics]. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2002;**50**:409-12.
248. Wakefield J. Disease mapping and spatial regression with count data. *Biostatistics (Oxford, England)* 2007;**8**:158-83.
249. Lawson AB, Biggeri AB, Boehning D, Lesaffre E, Viel JF, Clark A, et al. Disease mapping models: an empirical evaluation. Disease Mapping Collaborative Group. *Stat Med* 2000;**19**:2217-41.
250. Bernardinelli L, Clayton D, Montomoli C. Bayesian estimates of disease maps: how important are priors? *Stat Med* 1995;**14**:2411-31.
251. Huang L, Pickle LW, Das B. Evaluating spatial methods for investigating global clustering and cluster detection of cancer cases. *Stat Med* 2008;**27**:5111-42.
252. Cuzick J, Edwards R. Spatial Clustering for Inhomogeneous Populations. *Journal of the Royal Statistical Society Series B (Methodological)* 1990;**52**:73-104.
253. Tango T. A class of tests for detecting 'general' and 'focused' clustering of rare diseases. *Stat Med* 1995;**14**:2323-34.
254. Tango T. A test for spatial disease clustering adjusted for multiple testing. *Stat Med* 2000;**19**:191-204.

255. Whittemore AS, Friend N, Brown JBW, Holly EA. A test to detect clusters of disease. *Biometrika* 1987;**74**:631-5.
256. Allard D, Fraley C. Nonparametric Maximum Likelihood Estimation of Features in Spatial Point Processes Using Voronoi Tessellation. *Journal of the American Statistical Association* 1997;**92**:1485-93.
257. Diggle P, Morris S, Morton-Jones T. Case-control isotonic regression for investigation of elevation in risk around a point source. *Stat Med* 1999;**18**:1605-13.
258. Chirpaz E, Colonna M, Viel JF. [Cluster analysis in geographical epidemiology: the use of several statistical methods and comparison of their results]. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2004;**52**:139-49.
259. Ord JK, Getis A. Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis* 1995;**27**:286-306.
260. Pumain D, Saint-Julien T. L'analyse spatiale, localisation dans l'espace. Paris: Armand Colin; 2008
261. Kulldorff M. A spatial scan statistic. *Communications in Statistics - Theory and Methods* 1997;**26**:1481-96.
262. Kulldorff M. An isotonic spatial scan statistic for geographical disease surveillance. *Journal of the National Institute of Public Health* 1999;**48**:94-101.
263. Kulldorff M, Nagarwalla N. Spatial disease clusters: detection and inference. *Stat Med* 1995;**14**:799-810.
264. Takahashi K, Kulldorff M, Tango T, Yih K. A flexibly shaped space-time scan statistic for disease outbreak detection and monitoring. *Int J Health Geogr* 2008;**7**:14.
265. Takahashi K, Tango T. An extended power of cluster detection tests. *Stat Med* 2006;**25**:841-52.
266. Tango T, Takahashi K. A flexibly shaped spatial scan statistic for detecting clusters. *Int J Health Geogr* 2005;**4**:11.
267. Tango T, Takahashi K, Kohriyama K. A space-time scan statistic for detecting emerging outbreaks. *Biometrics* 2011;**67**:106-15.
268. Turnbull BW, Iwano EJ, Burnett WS, Howe HL, Clark LC. Monitoring for clusters of disease: application to leukemia incidence in upstate new york. *American Journal of Epidemiology* 1990;**132**:136-43.
269. Anselin L. Local Indicators of Spatial Association—ISA2010.
270. Kulldorff M, Tango T, Park PJ. Power comparisons for disease clustering tests. *Comput Stat Data Anal* 2003;**42**:665-84.
271. Song C, Kulldorff M. Power evaluation of disease clustering tests. *Int J Health Geogr* 2003;**2**:9.
272. Kulldorff M, Huang L, Pickle L, Duczmal L. An elliptic spatial scan statistic. *Stat Med* 2006;**25**:3929-43.
273. Patil G, Taillie C. Upper Level Set Scan Statistic for Detecting Arbitrarily Shaped Hotspots 2004.
274. Assunção RM, Neves MC, Câmara G, Da Costa Freitas C. Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees. *International Journal of Geographical Information Science* 2006;**20**:797-811.

275. Duczmal L, Assunção R. A simulated annealing strategy for the detection of arbitrarily shaped spatial clusters. *Computational Statistics & Data Analysis* 2004;**45**:269-86.
276. Kelsall JE, Diggle PJ. Kernel Estimation of Relative Risk. *Bernoulli* 1995;**1**:3-16.
277. Genin M, Occelli F, Castra L. Méthodologie des statistiques de scan spatiales et application à l'épidémiologie spatiale des arrêts cardiaques. GISEH. Cassablanca Maroc2016.
278. Kulldorff M. SaTScanTM: Software for the spatial and space-time scan statistics, version 9.4.1. Information Management Services. USA: Harvard editor; 2015.
279. Zhang Z, Assunção R, Kulldorff M. Spatial Scan Statistics Adjusted for Multiple Clusters. *Journal of Probability and Statistics* 2010;**2010**:11.
280. Ong ME, Wah W, Hsu LY, Ng YY, Leong BS, Goh ES, et al. Geographic factors are associated with increased risk for out-of hospital cardiac arrests and provision of bystander cardio-pulmonary resuscitation in Singapore. *Resuscitation* 2014;**85**:1153-60.
281. Greenland S, Morgenstern H. Ecological bias, confounding, and effect modification. *Int J Epidemiol* 1989;**18**:269-74.
282. Preston SH, Heuveline P, Guillot M. Demography : measuring and modeling population processes. Malden, MA: Blackwell Publishers; 2001.
283. Sayegh AJ, Swor R, Chu KH, Jackson R, Gitlin J, Domeier RM, et al. Does race or socioeconomic status predict adverse outcome after out of hospital cardiac arrest: a multi-center study. *Resuscitation* 1999;**40**:141-6.

Annexes

Annexe 1 : Variables du modèle d'Utstein

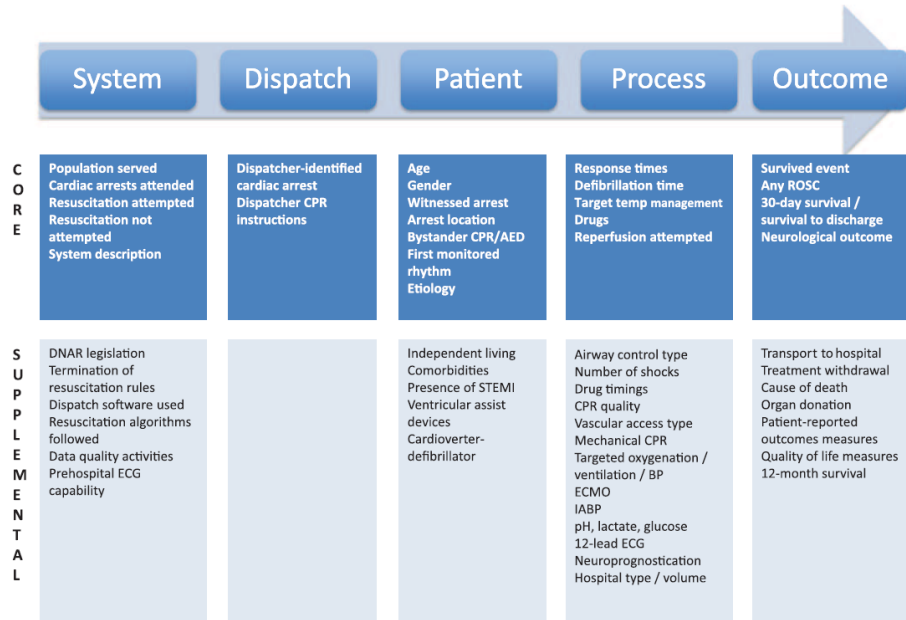


Figure 1. Data element domains. Core and supplemental elements are shown for each of the 5 domains. AED indicates automated external defibrillator; BP, blood pressure; CPR, cardiopulmonary resuscitation; DNAR, do not attempt resuscitation; ECMO, extracorporeal membrane oxygenation; IABP, intra-aortic balloon pump; ROSC, return of spontaneous circulation; STEMI, ST-segment-elevation myocardial infarction; and temp, temperature.

Annexe 2 : Variables recueillies dans le cadre d'EuReCa

Data-sheet	VARIABLES	Utstein (C=core, O=optional)	Fieldname	Fieldtype	Fieldcoding/content	Remarks	Utstein definition
	Country of cardiac arrest	C	ReaLand	Text			
	Region of cardiac arrest	C	ReaRegion	Text			
	Population served by EMS	C	ReaPop	numeric		number as exact as possible	
A1	Cardiac arrest confirmed	C	ReaConf	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown	Confirmation by EMS on arrival; "unknown" may be chosen, e.g. in case of bystander-CPR with ROSC prior to EMS-arrival	Cardiac arrest is the cessation of cardiac mechanical activity as confirmed by the absence of signs of circulation. If an EMS provider or physician did not witness the cardiac arrest, he/she may be uncertain as to whether a cardiac arrest actually occurred
A2	CPR attempted	C	CPRdone	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown	any CPR attempted by EMS or bystander, irrespective of continued or not	Cardiopulmonary resuscitation is an attempt to restore spontaneous circulation by performing chest compressions with or without ventilations, for the EuReCa ONE study it also includes the use of an AED without compressions.
A3	CPR not attempted by EMS	C	NoCPR	numeric	00 not recorded 01 died earlier 02 DNAR 03 wish family 04 wish doctor 05 succesful ICD shock 06 signs of life 99 unknown	Reason for no attempt as decided by EMS; this field has to be left blank if CPR is attempted by EMS	EMS personnel may not attempt resuscitation when a do- not-attempt-resuscitation (DNAR) order exists, a resuscitation attempt is considered futile, or resuscitation is not required (e.g., the patient has signs of circulation).

	PatID	C	PatID	String	Unique number for each submitting region		May be a combination of digits and characters. Used so that the contry of origin can trace the patient if there are any questions.
B1	Patient age	C	PatAge	numeric			Age in years at moment of cardiac arrest
B2	Patient gender/sex	C	PaGender	numeric	00 not recorded 01 male 02 female 99 unknown		Sex (male or female) may be an important risk factor for cardiac arrest and resuscitation interventions.
B3	Year of cardiac arrest	C	ReaYr	numeric	YYYY	Year of receipt of dispatch call	
B3	Month of cardiac arrest	C	ReaMo	numeric	MM	Month of receipt of dispatch call	
B3	Day of cardiac arrest	C	ReaDay	numeric	DD	Day of receipt of dispatch call	
B4	time of call received at medical dispatch	C	TimeCallReceived	Time	hh:mm:ss	Time of receipt of call at medical dispatch	
B5	Time on scene	C	timeSceneYear	numeric	YYYY	Year of time on scene	
B5	Time on scene	C	timeSceneMo	numeric	MM	Month of time on scene	
B5	Time on scene	C	timeSceneDay	numeric	DD	Day of time on scene	
B5	Time on scene		timeScene	Time	hh:mm:ss	Time of stopping the car on scene	The time and date of stopping the ambulance car or the helicopter etc.

C1	aetiology of cardiac arrest	C	ReaCause	numeric	00 not recorded 01 cardiac 02 trauma 03 submersion 04 respiratory 11 other non-cardiac 99 unknown (presumed cardiac)		An arrest is presumed to be of cardiac aetiology unless it is known or likely to have been caused by trauma, submersion, drug overdose, asphyxia, exsanguination, or any other non-cardiac cause as best determined by rescuers
C2	aetiology of cardiac arrest (Utstein 2014)	O	ReaC2014	numeric	00 not recorded 01 medical 02 traumatic 03 drowning 05 drug overdose 13 electrocution 14 asphyxial (external cause) 99 unknown		Medical: This includes cases where the cause of the cardiac arrest is presumed to be cardiac, other medical (e.g. anaphylaxis, asthma, GI bleed) and where there is no obvious cause of the cardiac arrest; Traumatic: Cardiac arrest directly caused by blunt, penetrating or burn injury; Drug overdose: Evidence that the cardiac arrest was caused by deliberate or accidental overdose of prescribed medications, recreational drugs, and ethanol; Drowning: Victim is found submersed in water without an alternative causation; Asphyxial: External causes of asphyxia such as foreign body airway obstruction, hanging, strangulation
C3	place of cardiac arrest OHCA	C	ReaLocat	numeric	00 not recorded 01 residence 02 long-term care 03 work/office 05 street 06 public building 11 sports facility 98 other 99 unknown		Location of arrest is the specific location where the event occurred or the patient was found. Knowledge of where cardiac arrests occur may help a community to determine how it can optimize its resources to reduce response intervals. A basic list of predefined locations will facilitate comparisons. Local factors may make creation of subcategories useful. For example: Place of residence: e.g., home, apartment, back yard of a home.
C4	EMS-witnessed cardiac arrest in helicopter	O	LocatHeli	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown		
C5	cardiac arrest in school building	O	LocatSchool	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown		
	b. PROCESS VARIABLES						
D1	dispatch: telephone CPR	C	TeleCPR	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown	Info from dispatch centre: is CPR offered? NOT if actually done	
D2	collapse witnessed	C	ReaWitnes	numeric	00 not recorded 01 yes, bystander 02 no 03 EMS 99 unknown		A witnessed cardiac arrest is one that is seen or heard by another person or an arrest that is monitored

D3	bystander CPR	C	BystanCPR	numeric	00 not recorded 01 no CPR 02 any bystander w/o additional information 03 full CPR 04 CCO CPR 99 unknown	For the EuReCa ONE study "any bystander-CPR" has been added compared to Utstein definition. Participants should preferably specify between "full CPR" and "CCO CPR"	Bystander CPR is cardiopulmonary resuscitation performed by a person who is not responding as part of an organized emergency response system to a cardiac arrest. Physicians, nurses, and paramedics may be described as performing bystander CPR if they are not part of the emergency response system involved in the victim's resuscitation
D4	Who started CPR	O	PersCPRstart	numeric	00 not recorded 01 bystander 02 person sent to help 03 EMS 99 unknown	Who started the resuscitation. Was it a person there by chance or was it a person sent to help by the dispatch center for example via App or as a community response	
D5	Gender of bystander	O	Gbystnader	numeric	00 not recorded 01 male 02 female 99 unknown	Gender of the person on scene by chance who started CPR	
D6	Age of bystander	O	AgeBystander	numeric	XXX years	Estimated age of the person on scene by chance who started CPR	

E1	First recorded rhythm	C	IniRythm	numeric	00 not recorded 01 shockable 02 not shockable 99 unknown	From EMS defib. If AED first: from memory or "shockable" if AED shock given.	The first monitored rhythm is the first cardiac rhythm present when the monitor or defibrillator is attached to the patient after a cardiac arrest. If the AED does not have a rhythm display, it may be possible to determine the first monitored rhythm from a data storage card, hard drive, or other device used by the AED to record data. If the AED has no data recording device, the first monitored rhythm should be classified simply as shockable or nonshockable. This data point can be updated at a later time if the AED has data download capability.
E2	AED connected before EMS arrival with or without shocks	C	AEDConn	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown		
E3	AED shocks before arrival EMS	C	AEDShock	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown	Can be from AED memory or verbal report and EMS info	When a bystander attempts defibrillation, e.g. public access or lay rescuer defibrillation, it is recorded as a defibrillation attempt before EMS arrival. AEDs are increasingly being made available for access by the general public. In patients with an ICD, a shockable rhythm is likely to have triggered at least one shock by the device before the arrival of EMS personnel. This can be confirmed by analyzing the ICD memory. After extensive discussion, the task force agreed that defibrillation attempts by ICDs are important but difficult for EMS to track. Thus, ICD documentation is optional.

E4	Year of first defibrillation shock	C	Def1Yr	numeric	YYYY	Year of first defibrillation; has to be left blank if no shock	
E4	Month of first defibrillation shock	C	Def1Mo	numeric	MM	Month of first defibrillation; has to be left blank if no shock	
E4	Day of first defibrillation shock	C	Def1Day	numeric	DD	Day of first defibrillation; has to be left blank if no shock	
E5	Time of first defibrillation shock	C	Def1Time	Time	hh:mm:ss	Time of first defibrillation; must be corrected for clock drift; has to be left blank if no shock	
E6	First shock from AED or EMS	C	DefiOrig	numeric	00 not recorded 01 AED 03 EMS 99 unknown	Device from which the first rhythm was derived; has to be left blank if no shock	

	c. OUTCOME VARIABLES						
F1	any ROSC	C	ROSC	numeric	00 not recorded 01 no ROSC 02 ROSC 99 unknown	Any ROSC of a duration >30 seconds with no chest compressions given.	Signs of return of spontaneous circulation include breathing (more than an occasional gasp), coughing, or movement. For healthcare personnel, signs of ROSC may also include evidence of a palpable pulse or a measurable blood pressure. For the purposes of the Utstein registry template, "successful resuscitation," or ROSC, is defined for all rhythms as the restoration of a spontaneous perfusing rhythm that results in more than an occasional gasp, fleeting palpated pulse, or arterial waveform. Assisted circulation (e.g., extracorporeal support such as extracorporeal membrane oxygenation or biventricular assist device) should not be considered ROSC until "patient-generated" (i.e., spontaneous) circulation is established. Previous reports focused on outcomes from ventricular fibrillation have variably defined "successful defibrillation" as the termination of fibrillation to any rhythm (including asystole) and the termination of fibrillation to an organized electrical rhythm at 5 s after defibrillation (including pulseless electrical activity, PEA). Neither of these definitions of "successful defibrillation" would qualify as ROSC unless accompanied by evidence of restoration of circulation. By consensus, the term "any ROSC" is intended to represent a brief

							(approximately >30 s) restoration of spontaneous circulation that provides evidence of more than an occasional gasp, occasional fleeting palpable pulse, or arterial waveform. The time that ROSC is achieved is a core data element.
F2	Died on scene	C	DeadSc	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no	Patient dies on scene	Patients who were not transported to hospital and died on scene after CPR had been attempted
F3	Status of arrival @hosp	C	HospArri	numeric	00 not recorded 01 dead 02 transfer with ROSC 03 transfer with ongoing CPR 04 alive, no hospital transport 99 unknown	Admission defined as handover from EMS to emergency department or hospital system with ongoing additional treatment in the next step of care	
F4	date of hospital discharge (Year)	C	DischYr	numeric	YYYY	Year of hospital discharge	The date of discharge or death is the date on which the patient was discharged from the acute hospital or was certified dead.
F4	date of hospital discharge (Month)	C	DischMo	numeric	MM	Month of hospital discharge	
F4	date of hospital discharge (Day)	C	DischDay	numeric	DD	Day of hospital discharge	
F5	survival to discharge	C/O	HospDisc	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown	Either survival to discharge or 30 day survival must be included; Note: interhospital transfer to same or higher level should not be considered discharge. If death in hospital: same as date of discharge	hospital discharge is the point at which the patient is discharged from the hospital acute care unit regardless of neurological status, outcome, or destination. Ideally this should indicate survival to discharge from acute hospital care, including a possible rehabilitation period in a local hospital before longterm care, home care, or death.
F6	30 day survival	C/O	surv30d	numeric	00 not recorded 01 yes 02 no 99 unknown	Either survival to discharge or 30 day survival must be included	

3.5 Défibrillation avant l'arrivée du SMUR

Présence DEA/DSA Oui Non

Par témoin / Grand Public	Par premier intervenant
Util. DEA/DSA <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	Util. DEA/DSA <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Choc(s) délivrés <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Nb choc(s) |__|	Choc(s) délivrés <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Nb choc(s) |__|

Position des électrodes correcte Oui Non Formation témoin: Non <3H >3H Pb technique Oui Non

4. Prise en charge SMUR

Rythme initial: Asystolie Rythme sans pouls Fibrillation Ventriculaire / TV sans pouls Activité spontanée

Réanimation SMUR Oui Non Gaspis Oui Non Rigidité cadavérique Oui Non

Observation clinique :

Personne à prévenir :

Nom : Prénom : N°Tel : |__| |__| |__| |__| |__| |__|

MCE Oui Non MCE automatique Oui Non RCP réalisée devant la famille Oui Non

Nombre de CEE : |__| |__|

Type de chocs : Biphase Monophasique

Energie du 1^{er} choc : <100 J 100-149 J 150-199 J 200-300 J >300 J

Energie du dernier choc : <100 J 100-149 J 150-199 J 200-300 J >300 J

4.1 Ventilation

IOT+BAVU IOT+VAC (volume assisté contrôlé) ICO/Boussignac Masque Autre

Heure d'IOT : |__| |__| h |__| |__| min Intubation impossible Oui Non Inhalation Oui Non

Valeur maxi EtCO₂ pendant RCP : |__| |__| mmHg

4.2 Injection / Perfusion

IV Périphérique Intra-osseuse IV centrale Endotrachéale

Heure 1^{ère} injection d'adrénaline (SMUR) : |__| |__| h |__| |__| min

Nombre d'injections d'adrénaline : |__| |__|

Dose totale d'adrénaline : |__| |__| mg OU |__| |__| |__| |__| µg

Nombre d'injections d'amiodarone : |__| |__|

Dose totale d'amiodarone : |__| |__| |__| mg

Fibrinolytique, si oui lequel : dose : Aspirine Bicarbonates Atropine

Autres : Protocole scientifique SMUR (recherche clinique) : si oui lequel :

Hypothermie induite Oui Non

Expansion volémique : Oui Non

Amines au PSE Oui Non

Transfusion PSL Oui Non

Cristalloïdes, volume total : |__| |__| |__| |__| ml

Adrénaline

PGR : |__| |__| |__|

Colloïdes, volume total : |__| |__| |__| |__| ml

Noradrénaline

Hémocue : |__| |__| |__| g/dL

Autre :

4.3 Si hémorragie

Packing Compression Garrot

Hémostase chirurgicale

Hémostase efficace

4.4 Abords du thorax

Décompression Thoracostomie / Drainage unilatéral

Thoracostomie / Drainage bilatéral

Thoracotomie de sauvetage

4.5 RACS (pouls perçu > 1min) : Oui NonDextro : | | g/L ou | | mmol/LTempérature : | | °C

Avant le transport									
Heure hh : mm	:	:	:	:	:	:	:	:	:
FC (bpm)									
PAS/PAD (mmHg)	/	/	/	/	/	/	/	/	/
SPO2 (%)									
EtCO2 (mmHg)									
<i>Paramètre libre</i>									
<i>Paramètre libre</i>									

4.6 Décès : Oui Non Certificat de décès Information donnée à la famille Obstacle médico-légalDirectives anticipées d'abstention de RCP : Oui Non**4.7 Etat neurologique avant transport**CGS | Sédation Oui NonPupilles : symétriques Oui Nonréactives Oui Non**5. Transport**Patient transporté Oui NonSi oui, transport terrestre transport aérien**5.1 Transport à cœur arrêté (sous MCE) Oui Non** MCE manuel MCE automatique**5.2 Etat hémodynamique : Stable Oui Non**Remplissage Oui NonTransfusion Oui Non

Pendant le transport									
Heure hh : mm	:	:	:	:	:	:	:	:	:
FC (bpm)									
PAS/PAD (mmHg)	/	/	/	/	/	/	/	/	/
SPO2 (%)									
EtCO2 (mmHg)									
<i>Paramètre libre</i>									
<i>Paramètre libre</i>									

6. Admission RACS Décédé MCE manuel MCE AutomatiqueAmines au PSE Oui NonEtat neurologique : CGS | Sédation Oui NonPupilles : symétriques Oui Nonréactives Oui Non**6.1 Paramètres à l'arrivée**PAS/PAD | | | mmHg **OU** Non prenableEtCO2 mmHg SpO2 | | %Température | | °CHb | | g/dLDextro | | g/L ou | | mmol/L**6.2 Prise en charge immédiate (si traumatique ou chirurgicale)** Ponction/ Exsufflation Embolisation Thoracostomie / Drainage Chirurgie hémostase Thoracotomie Autre :

CENTRE RECEVEUR :

NOM DU SERVICE RECEVEUR :

MEDECIN RECEVEUR :

Heure d'arrivée dans le service receveur : h min SAUV (salle d'accueil des urgences vitales) Bloc Radiologie Réa Cardio Réa Autre USIC SSPI/SC (salle de soins post-interventionnelle / soins continus) Coronarographie ECMO Filière DDACSite officiel : <http://www.registreac.org> - commande de formulaires : contact@regitreac.org

Typologie des arrêts cardiaques au regard des inégalités sociales et territoriales de santé en Ile-de-France : application au registre national des arrêts cardiaques (RéAC)

Introduction :

L'arrêt cardiaque (AC) est considéré comme un problème majeur de santé publique. Prévenir les arrêts cardiaques, les décès consécutifs et optimiser leur prise en charge sont les objectifs partagés à la fois par les professionnels de l'urgence et les décideurs des politiques de santé publique. A l'heure de la territorialisation prenant en compte les besoins des populations, très peu d'études ont été consacrées aux variations d'incidence induites par la localisation géographique des arrêts cardiaques et les caractéristiques socio-économiques des patients. L'objectif de cette thèse est d'identifier, à partir des données du registre national des arrêts cardiaques RéAC, dans les trois départements de la petite couronne d'Ile-de-France, des clusters de communes présentant une incidence élevée ou faible en matière d'arrêt cardiaque, puis de les caractériser à partir des facteurs socio-économiques qui peuvent leur être associés.

Matériel et Méthodes :

Nous avons étudié les données d'arrêt cardiaque des trois départements d'Ile-de-France composant la petite couronne francilienne. Nous avons ainsi travaillé sur un ensemble de 123 communes. Les données relatives aux arrêts cardiaques ont été extraites du registre français des arrêts cardiaques RéAC. Des données socioéconomiques ont été collectées pour chacune de ces communes auprès de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE). En termes de méthodes, nous avons eu recours à une double approche sur le plan statistique, combinant des méthodes bayésiennes afin d'étudier les variations géographiques d'incidence des arrêts cardiaques et des statistiques de scan en vue d'identifier des clusters de communes selon le niveau d'incidence des arrêts cardiaques. Enfin, nous avons caractérisé et comparé ces clusters de communes selon des facteurs socioéconomiques.

Résultats :

Nous avons inclus 3.414 arrêts cardiaques sur une période de deux ans, entre août 2013 et août 2015. De fortes variations géographiques - significatives - ont été observées parmi 123 municipalités : 34 présentaient un risque d'incidence élevé et 37 présentaient un risque faible. Les statistiques de scan ont permis d'identifier 7 clusters significatifs sur le plan de l'incidence des arrêts cardiaques, dont 3 clusters à faible incidence (le risque relatif variait de 0,23 à 0,54) et 4 clusters à forte incidence (avec un risque relatif de 1,43 à 2). Les clusters de municipalités ayant une incidence élevée d'AC se caractérisent par un statut socioéconomique inférieur à celui des autres (clusters d'incidence d'arrêt cardiaque faible ou normale). L'analyse a montré des relations statistiquement significatives entre les facteurs de défaveur sociale et une incidence élevée.

Discussion :

L'analyse des taux d'incidence standardisés et lissés dans la zone de la petite couronne parisienne révèle l'existence d'une forte hétérogénéité en termes d'incidence des arrêts cardiaques. L'utilisation des statistiques de scan nous a permis d'identifier 7 clusters significatifs, dont 4 de sur-incidence et 3 de sous-incidence. Ces résultats, les premiers en France sur cette thématique, confirment ceux déjà existants dans la littérature internationale montrant une hétérogénéité spatiale de l'incidence de l'arrêt cardiaque et l'importance de certains facteurs socio-économiques. Enfin, le recours aux statistiques de scan, différente des méthodes généralement utilisées, permet de mettre en évidence l'existence de zones à haut risque d'arrêt cardiaque.

Conclusion :

Cette étude révèle de fortes variations géographiques en matière d'incidence des arrêts cardiaques, ainsi qu'une relation statistiquement significative entre la sur-incidence et les variables de défaveur sociale. Ces résultats peuvent servir de base de réflexion dans une perspective de ciblage et de personnalisation des actions de prévention et de formation - s'inscrivant notamment dans le cadre d'une amélioration de la chaîne de survie - en fonction des caractéristiques des populations ciblées.

Mots-clefs : arrêt cardiaque ; défaveur sociale ; inégalités sociales et territoriales ; registre ; épidémiologie ; analyse spatiale ; modèles bayésiens ; statistiques de scan