



HAL
open science

Construction d'une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités d'accueil en situation sanitaire exceptionnelle pour chaque établissement de santé du territoire, puis des points de ruptures par secteur de soins : l'indicateur MassCare

Antoine Aubrion

► To cite this version:

Antoine Aubrion. Construction d'une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités d'accueil en situation sanitaire exceptionnelle pour chaque établissement de santé du territoire, puis des points de ruptures par secteur de soins : l'indicateur MassCare. Médecine humaine et pathologie. Normandie Université, 2023. Français. NNT : 2023NORMC421 . tel-04617190

HAL Id: tel-04617190

<https://theses.hal.science/tel-04617190v1>

Submitted on 19 Jun 2024

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.



Normandie Université



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité RECHERCHE CLINIQUE, INNOVATION TECHNOLOGIQUE, SANTE PUBLIQUE

Préparée au sein de l'Université de Caen Normandie

Construction d'une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités d'accueil en situation sanitaire exceptionnelle pour chaque établissement de santé du territoire, puis des points de ruptures par secteur de soins. L'indicateur MassCare.

Présentée et soutenue par
ANTOINE AUBRION

**Thèse soutenue le 08/12/2023
devant le jury composé de**

MME ANNE-LAURE FERLAL-PIERSSENS	Professeur des universités PraticienHosp, Sorbonne Université	Rapporteur du jury
M. JACQUES LEVRAUT	Professeur des universités PraticienHosp, Université côte d'Azur	Rapporteur du jury
M. RICHARD MACREZ	Professeur des universités PraticienHosp, Université de Caen Normandie	Membre du jury
M. PAUL-GEORGES REUTER	Professeur des universités PraticienHosp, Université Rennes 2	Membre du jury
M. JEAN-LUC HANOZ	Professeur des universités PraticienHosp, Université de Caen Normandie	Président du jury
MME LYDIA GUITTET	Professeur des universités PraticienHosp, Université de Caen Normandie	Directeur de thèse

Thèse dirigée par LYDIA GUITTET (Unité de recherche interdisciplinaire pour la prévention et le traitement des cancers)



Normandie de Biologie Intégrative,
Santé, Environnement



Titre de la thèse

Construction d'une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités d'accueil en situation sanitaire exceptionnelle pour chaque établissement de santé du territoire, puis des points de ruptures par secteur de soins. L'indicateur MassCare.

Note : Les références, tables et figures repris dans les résumés en français sont indexés par rapport à leur citation dans l'article original, afin d'éviter un référencement emboîté.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	III
RESUME DU PROJET DE THESE	IV
RESUME DU TRAVAIL DE THESE	V
REMERCIEMENTS.....	VI
AFFILIATIONS.....	VIII
FINANCEMENTS	VIII
VALORISATION SCIENTIFIQUE	IX
○ PUBLICATIONS EN LIEN AVEC LE TRAVAIL DOCTORAL :	IX
○ COMMUNICATIONS ORALE EN LIEN AVEC LE TRAVAIL DOCTORAL:.....	X
REPONSES A DES APPELS A PROJETS EN LIEN AVEC LE TRAVAIL DOCTORAL.....	X
ENCADREMENTS D'ETUDIANTS EN LIEN AVEC LE TRAVAIL DOCTORAL	X
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	XI
LISTE DES ABREVIATIONS.....	XIV
MANUSCRIT DE THESE	XVIII
INTRODUCTION GENERALE	2
PLAN.....	7
CHAPITRE 1 : EVALUATION DES CAPACITES D'AFFLUX MASSIF DE VICTIMES DE CHAQUE ETABLISSEMENT	8
○ RESUME GENERAL AMAVI: METHODOLOGIE D'EVALUATION DES CAPACITES AMAVI (ORSAN 2023)	11
○ ARTICLE 1: DEFINING HOSPITAL SURGE CAPACITIES AND REGIONAL BREAKPOINTS FOR MASS CRITICAL CASUALTIES: THE NATIONAL MASSCARE INDICATOR.....	30
○ ARTICLE 2: MODELING HOSPITAL SURGICAL CAPACITY IN MASS CASUALTY INCIDENTS: A NATIONAL METRIC OF THE MASSCARE INDEX	59
CHAPITRE 2 : EVALUATION DES CAPACITES D'EVACUATION D'UN ETABLISSEMENT DE SANTE.....	77
○ ARTICLE 7 : MEDICAL EVACUATION PLANNING FOR CRITICAL CARE UNITS IN A HOSPITAL AT IMMINENT RISK: A MULTIMODAL ASSESSMENT OF PATIENT TRIAGE AND REQUIRED RESOURCES, FOR OPTIMAL STRATEGY AND REAL-TIME USE FOR EACH HOSPITAL.	79
DISCUSSION GENERALE.....	117
CONCLUSION GENERALE	120
PARTIE 2 : MISES EN APPLICATIONS (ANNEXES)	122
CHAPITRE 3 : STRUCTURATION ET EVALUATION DU DISPOSITIF DE REPONSE ORSAN AMAVI	123
○ ARTICLE 4: MASS CASUALTY INCIDENTS: A SYSTEMATIC REVIEW OVER 30 YEARS IN EUROPE.....	125
○ DOCUMENT: ACCOMPAGNEMENT DE L'EVALUATION DES CAPACITES AMAVI POUR 11 ARS	145
○ ARTICLE 5: DISTRIBUTION OF MASS CASUALTY INCIDENT VICTIMS : TRAINING AT 9 MASS GATHERINGS OR RURAL SITES ACCORDING TO SURGE CAPACITY OF HOSPITALS AND MEDICAL TRANSFER TEAMS.	152
CHAPITRE 4 : EVALUATION DES CAPACITES DE MOBILISATION DES REANIMATIONS EN SITUATION DE RISQUE EMERGENT BIOLOGIQUE, SELON L'ACTIVITE CHIRURGICALE PROGRAMMEE DES ETABLISSEMENTS	169
○ ARTICLE 6 : MAINTAINING ELECTIVE SURGERY CAPACITY WHILE FREEING UP RESUSCITATION CAPACITY: THE CHALLENGE OF COVID-19 EPIDEMIC RESUMPTION,.....	171
CHAPITRE 5 : CARTOGRAPHIE DE LA CRISE POUR LE DIRECTEUR MEDICAL DE CRISE D'UN ETABLISSEMENT DE SANTE (DMC).....	177
○ ARTICLE 8 : DIRECTEUR MEDICAL DE CRISE : CARTOGRAPHIE DE LA CRISE POUR PERMETTRE LE SUIVI ET LA CARACTERISATION DE LA SITUATION	179
REFERENCES DES INTRODUCTION ET DISCUSSION.....	188
ANNEXES	193

Résumé du projet de thèse

Partout dans le monde, les populations sont confrontées à un large éventail de risques associés aux urgences et aux catastrophes sanitaires. Environ 190 millions de personnes sont directement touchées chaque année par des situations d'urgence dues à des risques naturels et technologiques. Le bureau de l'ONU pour la réduction des risques de catastrophes (UNDRR) estime que le monde pourrait chaque année faire face à 1,5 catastrophes majeures chaque jour dès 2023. La préparation des grands rassemblements (GR) est également une problématique spécifique qui nécessite une démarche de planification dédiée. Les services de santé sont généralement conçus pour répondre aux priorités et aux demandes de routine et ont une capacité limitée à se développer. Les GR peuvent mettre à rude épreuve ces systèmes et nécessiter ainsi de planifier le renforcement des services existants et éventuellement l'introduction de méthodes nouvelles.

L'OMS définit des lignes directrices concernant la mise en place de systèmes de réponse organisés, pour la gestion de nombreuses victimes, et le renforcement des capacités du système de santé. La planification doit porter sur l'identification des ressources, l'analyse des risques, et la correspondance des deux pour chaque secteur. Une attention toute particulière doit être allouée au dimensionnement du renforcement des capacités du secteur touché (projection de renforts humains, matériels, organisationnels).

En France, le Ministère de la Santé a défini une stratégie nationale d'organisation de la réponse sanitaire (ORSAN), déclinée en cinq plans et sept dispositions transversales selon la nature du risque : afflux massif de victimes (AMAVI), contamination nucléaire, radiologique ou chimique (NRC), risque émergent biologique (REB), épidémies saisonnières et risque climatique (EPI-CLIM) et urgences médico-psychologique (UMP). Les établissements de santé sont classés en trois niveaux d'expertises : les centres de seconde ligne (avec plateau chirurgical mais sans service d'urgence), les centres de première ligne (services d'urgence et plateau chirurgical disponibles 24h/24), y compris les centres experts (services hautement spécialisés). Cette stratégie est organisée autour des 17 Agences Régionales de Santé qui doivent décliner cette stratégie sur leur territoire et définir les capacités de prise en charge attendues et requises.

En absence de méthode de référence, l'évaluation des capacités de prise en charge en situation exceptionnelle reste difficile à établir pour les Agences Régionales de Santé (ARS) comme pour les établissements de santé (ES). Leurs évaluations empiriques amènent à des résultats très inhomogènes, jugés discordants par les référents médicaux sur un territoire régional comme en national. Elle est pourtant essentielle pour permettre de construire une stratégie de répartition de ces victimes sur différents établissements, en fonction de leur compétence, leurs moyens matériels et humains spécifiques. Elle est nécessaire pour évaluer le point de rupture régional correspondant au plafond de prises en charges du secteur, et préparer les grands événements.

L'objectif principal de ce travail est de proposer une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités d'accueil en situation exceptionnelle pour chaque établissement de santé du territoire, puis des points de rupture par secteur de soins d'après les six étapes de planification de l'OMS.

L'élaboration de cette méthode nécessite six phases avec chacune un objectif secondaire :

- **Construction de la méthode** en groupes de travail d'experts métiers (2019-2020)
- **Quantifier les ressources**
 - **Calcul** du repère capacitair maximal de chaque établissement d'après les données SAE (2020)
 - **Recueil** de la part disponible par enquête des ES, coordonnées sur 253 ES de 5 ARS à différents jours et horaires (2021)
- **Analyse des risques** : revue de littérature des situations exceptionnelles en Europe depuis 30 ans
- **Evaluer la correspondance** : test des points de rupture pour différents sites SSE
 - o avec chaque ARS, calcul des capacités de réponse pour les 10 sites prioritaires de sa région (2022)
 - o avec les SAMU, entraînements de répartition de 200 victimes sur leur territoire (2023)
 - o avec les Etablissements de santé : Quelle cartographie de la crise pour les directeurs médicaux de crise

Enfin ce travail est décliné sur trois risques ORSAN différents : l'afflux massif de victimes, le risque émergent biologique, et l'évacuation d'un établissement de santé.

Résumé du travail de thèse

Construction d'une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités d'accueil en situation sanitaire exceptionnelle pour chaque établissement de santé du territoire, puis des points de ruptures par secteur de soins. L'indicateur MassCare

Contexte : Ce travail propose une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités de soins de masse en situation exceptionnelle (MassCare), d'après les six étapes de construction proposées par l'OMS, et la stratégie nationale d'organisation de la réponse sanitaire (ORSAN).

- Construction de la méthode en groupes de travail d'experts métiers (2019)

MassCare était basé sur des recommandations nationales, des groupes de travail d'experts et des bases de données administratives nationales. Résultats : En situation d'afflux massif de victimes (AMAVI), MassCare correspond au nombre de patients pouvant être traités immédiatement et simultanément par chaque unité de soins primaires, selon l'échelle de triage de l'OTAN. Les experts ont distingué 3 déterminants : (A) unité de soins primaires ; (B) patient adulte ou enfant, (C) heures de travail ou non. Pour chacun, le MassCare maximum (Tmax) peut être estimé à l'aide des bases de données administratives nationales de chaque hôpital. Ensuite, plusieurs enquêtes auprès de panels hospitaliers sont menées pour déterminer les parts d'établissements disponibles, β_1 au temps 0 (T0) et β_2 au temps +3h (T3) : $T_0\text{-MassCare-A}_x\text{B}_x\text{C}_x = \beta_1 * T_{\text{max-MassCare-A}_x\text{B}_x\text{C}_x}$. Ainsi, les capacités structurelles à T0 et T3 sont estimées pour chaque hôpital avec la moyenne β observée dans le panel. Pour les patients chirurgicaux critiques, l'indicateur MassCare est dérivé du minimum de chirurgiens, anesthésistes ou infirmières anesthésistes et de salles d'opération. Pour les urgences, la capacité d'accueil de MassCare est de 2 patients graves par médecin et 2 infirmières. Les capacités accessibles à une heure de transport du lieu de crise définissent District-MassCare.

- Quantifier les ressources : Calcul du repère capacitaire maximal de chaque établissement : d'après les données SAE : exemple pour les patients chirurgicaux critiques (2020)

Sur les 875 hôpitaux inclus, 15,8 % avaient des données manquantes sur les variables de personnels ou matériels empêchant le calcul de l'indicateur Tmax-MassCare sans imputation. La capacité calculée pour les hôpitaux restants serait mieux prédite en supposant qu'en situation AMAVI un patient pourrait être admis pour 1441 procédures annuelles ($R^2 = 0,87$, modèle de régression linéaire univariée). La capacité maximale Tmax-MassCare* obtenue par l'hôpital était de 12,7 patients par hôpital expert, de 5,8 par hôpital de première ligne et de 5,8 par hôpital de deuxième ligne. Cette capacité chirurgicale maximale était de 81,5 patients /Mhab. en métropole et 47,6 en outre-mer.

- Déclinaison à d'autres risques ORSAN

Une déclinaison de ce travail proposait une méthode de simulation automatisée dédiée à guider les experts dans l'élaboration d'un plan d'évacuation sélective hospitalière. Une adaptation pragmatique des 13 principes des lignes directrices internationales par un groupe de travail local d'experts opérationnels a conduit à la mise en œuvre d'un modèle de simulation assistée par ordinateur, puis testée sur un site à risque. Le groupe d'experts classait chaque patient à transférer selon 3 priorités (P1 à P3), 3 catégories d'âge (adulte, pédiatrique, néonatal), les équipements et équipes de transfert spécifiques nécessaires et le type d'unité d'accueil en milieu hospitalier. Dix profils spécifiques concernant les conditions de transport ou les hôpitaux de destination étaient à considérer. Le modèle pouvait être utilisé soit pour évaluer le nombre minimal de moyens d'évacuation nécessaires pour procéder à l'évacuation en quelques heures de tous les patients nécessitant une évacuation (sortie), soit le nombre de patients dans les meilleurs délais compte tenu du nombre de moyens d'évacuation disponibles. (contrainte). Le modèle peut être adapté avec des contraintes supplémentaires ou des stratégies d'optimisation telles que les conditions de circulation, les convois, les unités de proximité éphémères et les renforts.

Discussion : MassCare est une métrique des capacités de réponse en SSE proposée par des groupes de travail d'experts afin de quantifier la réponse des hôpitaux à une situation de crise et guider les gestionnaires dans les phases de préparation. Chaque modalité nécessite un travail complémentaire spécifique qui permettra d'évaluer le niveau de réponse attendu par établissement et par secteur. Une analyse des SSE passées sur le territoire européen permettra de définir le niveau moyen de contrainte à y opposer, pour identifier les points de ruptures pour différents sites prioritaires, et permettre d'ajuster les entraînements opérationnels.

Conclusion : MassCare est intégrée dans le guide national d'organisation de la réponse sanitaire. Ce travail est décliné sur plusieurs risques ORSAN différents. Une fois cette démarche déployée, elle aboutit à la construction d'un outil opérationnel **de planification** de la réponse, et **de gestion de crise** réelle, intégrant les 12 principes directeurs de l'OMS. D'autres travaux sont nécessaires pour approfondir ce travail et l'élargir à d'autres risques ORSAN.

Key words : Disaster preparedness, Mass casualty incidents, surge capacity, disaster metrics, disaster management, triage,

Remerciements

Au Professeur Jean-Luc HANOUIZ, j'adresse mes sincères remerciements pour votre expertise et pour l'honneur que vous me faites de présider mon jury de thèse de sciences.

Aux Professeurs Anne Laure FERAI-PIERSSENS et Jacques LEVRAUT, je souhaite vous remercier particulièrement d'avoir accepté de participer à ce jury et de mener le travail de rapporteur de ce travail.

Au Professeur Paul-Georges REUTER, un grand merci d'avoir accepté de participer au conseil de suivi de ce travail ces trois dernières années ; et de rejoindre ce jury de soutenance.

Au Professeur Richard MACREZ, Richard je te remercie beaucoup pour ta confiance, de m'avoir confié l'encadrement de la maquette de formation en simulation de nos jeunes urgentistes, et de m'avoir permis de mener à bien tous ces autres projets. Merci de m'avoir conforté sur cette voie de l'enseignement et de l'universitaire en médecine d'urgence.

Au professeur Lydia GUITTET, un grand merci de m'avoir proposé de poursuivre ce travail de lien entre les données statistiques et l'appui opérationnel qu'elles peuvent apporter, en y apportant la méthode et la rigueur de traitement nécessaires.

Un grand merci au docteur Jean Marc Philippe, pour l'attention qu'il a portée à ce projet depuis plusieurs années.

Je tiens également à remercier l'ensemble des référents et experts métiers qui ont participé à la construction de ce travail, à sa mise en œuvre dans leur ARS, leur SAMU, leur établissement de santé. Un immense merci également à l'équipe des référents zonaux, Magali, Sami, Claude, à l'équipe d'enseignement de l'EHESP, Christophe Van Der Linde, Marie GED, pour votre expertise et votre pédagogie qui ont été essentiels à la construction et la poursuite du projet.

Un grand merci à Lauriane qui m'a accompagné tout au long de la phase de mise en application opérationnelle de ce projet. Ton enthousiasme et ton aide ont été essentiels.

Enfin un immense merci à mes proches, mon épouse, mes enfants, leur présence et leur compréhension ayant beaucoup, beaucoup contribué à la construction de ce travail.

"Prevention and preparedness is the heart of public health. Risk management is our bread and butter."

Dr Margaret Chan,
WHO Director-General,
30 October 2012

Affiliations

1. Normandie Univ, UNICAEN, CHU de Caen Normandie, Emergency Medical Service
2. Inserm ANTICIPE 1086, 14000 CAEN, France.

Financements

Financement en rapport avec le développement de l'application informatique :

Bourse au projet innovant Innov'Eclair CHU CAEN 2019	9 000€	Module 1
Appel à projet ARS Normandie 2020	52 000€ (dont 0.1 ETP)	Module 2
Appel à projet ARS Normandie 2022	40 000 €	Module 3
Financement DGS octobre 2023	57 000€	Module 4
Financement DGS octobre 2023	70 000€ (0.5 ETP 2023&2024)	Mission

Valorisation scientifique

○ **Publications en lien avec le travail doctoral :**

Article publié :

Article 6 REB : A Aubrion, A Alves, J P Helye, E Roupie, L Guittet, Maintaining elective surgery capacity while freeing up resuscitation capacity: the challenge of COVID-19 epidemic resumption, *British Journal of Surgery*, Volume 108, Issue 4, April 2021, Pages e156–e157, <https://doi.org/10.1093/bjs/znab006>

Ouvrages et référentiels :

- **Contribution au référentiel national ORSAN 2023 (DGS)**, Méthode d'évaluation des capacités AMAVI et des points de rupture par territoire, afin de définir les objectifs à atteindre pour chaque établissement de santé (18 pages) AUBRION A, HARDEL L, ROUPIE E.

- **Contribution au référentiel national Plan de gestion des tensions hospitalières et des situations sanitaires exceptionnelles 2023 (DGS)** : Méthode d'évaluation de la stratégie d'évacuation d'un hôpital en péril. AUBRION A, HARDEL L.

- **Contribution au Vademecum du Directeur Médical de Crise 2024 (en relecture)** : Cartographie de la crise pour permettre le suivi et la caractérisation de la situation. AUBRION A.

Articles en cours de review :

Article 1 : AMAVI méthode de l'indicateur: soumis au International Emergency Nursing rang D (IF 1.8): soumis 16/08 , in review au 8/10

Defining hospital surge capacities and regional breakpoints for mass critical casualties: the national MassCare indicator. AUBRION A, EID Y, LEFEBVRE-SCELLES A, LAQUIEVRE A, VILLEDIEU F, REICHLING A, CORBIN C, MACREZ R, MORELLO R, GUITTET L

Article 2 : AMAVI Tmax modélisation : - soumis BMC Emerg Med rang D (IF 2.48) le 11/05/23 ; need revision le 12/09, échanges éditeur

accepté en communication congrès national Urgence 2022 ; Paris 07/06/2022

Modeling hospital surgical capacity in mass casualty incidents: a national metric of the MassCare index. AUBRION A, NADIN L, HARDEL L, LEFEBVRE-SCELLES A, MACREZ R, MORELLO R, GUITTET L

Article 4 : AMAVI Review retex SSE européens : en soumission au BJS (Rang A, IF5.6), under review au 12/09

Mass casualty incidents: a systematic review since 30 years in Europe. Lauriane HARDEL, Richard MACREZ, Lydia GUITTET, Antoine AUBRION

accepté en communication congrès national Urgence 2023 ; Paris 8/06/23

Article 7 : EVASAN Evacuation d'un hôpital : – soumis au IJDRR (rang B, IF 4.84)

Retour de review du IJDRR, resoumis début juillet, en examen AUBRION A, HARDEL L, SAUNEUF B, LEFEBVRE A, JULLIARD B, AGUDZE E, DELOMAS T, MACREZ R, GUITTET L.

Articles en cours d'écriture et finalisation

Article 3: AMAVI Enquête T0

accepté en communication congrès national Urgence 2023 ; Paris 8/06/23

Méthode d'évaluation nationale de la capacité d'accueil chirurgicale de chaque établissement en situation exceptionnelle : un relevé coordonné sur 4 ARS

Article 5 : AMAVI Retex appliqués dans les SAMU: finalisation pour soumission au DMPHP (IF 5.56, rang B), en relecture anglais au 12/09

Mass casualty distribution: determining and training territorial capacities for major event preparedness

○ **Communications orale en lien avec le travail doctoral:**

Modeling hospital surgical capacity in mass casualty incidents: a national metric of the MassCare index (Article 2) - Congrès Urgence 2022

Méthode d'évaluation nationale de la capacité d'accueil chirurgicale de chaque établissement en situation exceptionnelle : un relevé coordonné sur 4 ARS (Article 3) - Congrès Urgence 2023

Mass casualty incidents: a systematic review since 30 years in Europe. (Article 4) - Congrès Urgence 2023

Réponses à des appels à projets en lien avec le travail doctoral

Appel à projet PREPS DGOS 2019 (accepté en sélection 1 puis rejeté en commission)

EVALUATION ORGANISATIONNELLE DES CAPACITES D'ACCUEIL TERRITORIALES " DAMAGE CONTROL " POUR UNE STRATEGIE ADAPTEE VISANT A FACILITER LA PRISE EN CHARGE DES VICTIMES D'ATTENTAT EN NOMBRE. SSEVAC

Appel à projet PREPS DGOS 2020 (accepté en sélection 1 puis rejeté en commission)

MODELISATION NATIONALE DES CAPACITES D'ACCUEIL DES TRAUMATISES GRAVES EN SITUATION ORSAN-AMAVI : ETABLIR UNE STRATEGIE ADAPTEE VISANT A FACILITER LA PRISE EN CHARGE DES VICTIMES D'ACCIDENT COLLECTIF OU ATTENTAT - SSEVAC

Encadrements d'étudiants en lien avec le travail doctoral

Charlotte VEZIE, Mémoire de MASTER 2 parcours AMOS EHESP, Zone de Défense et de Sécurité OUEST : Enquête sur les outils de la gestion du flux des victimes dans le cadre d'une situation sanitaire exceptionnelle nombreuses victimes.

Lauriane HARDEL, thèse de doctorat en médecine, Méthode de planification de la réponse au système de santé en situation sanitaire exceptionnelle.

Liste des tableaux et figures

Résumé général AMAVI

Méthodologie d'évaluation des capacités ORSAN AMAVI

Figure 1: Modalités de la capacité AMAVI « MassCare »	13
Figure 2: Conclusions du groupe de travail ARS après 4 tours d'échange Delphi:	14
Figure 3: Enquête nationale capacité AMAVI T0 sur 253 établissements, 4 ARS, 5 jours, 4 horaires (2022)	17
Figure 4: Estimation des capacités AMAVI T0 d'après le taux de ressources disponibles observé	18
Figure 5: Points de rupture T0 par site prioritaire (ARS Auvergne-Rhône-Alpes), places et moyens accessibles à 1h	19
Figure 6: Exemple d'interface de suivi « Tableau de bord », pour la planification et l'aide à la gestion de crise selon les ressources de chaque territoire	20
Figure 7: Exemple d'affichage « Tableau de bord » de suivi pour un établissement et son directeur médical de crise	21
Tableau 1 : Types d'événements AMAVI en Europe occidentale et orientale.	22
Tableau 2 : Inventaire des événements AMAVI en Europe occidentale.	23
Tableau 3 : Plan ORSAN AMAVI : Objectifs à atteindre pour un établissement	26
Tableau 4 : Plan ORSAN AMAVI : Tableau capacitaire type	28

Article 1

Defining hospital surge capacities and regional breakpoints for mass critical casualties : the national MassCare indicator

Figure 1 : Modalities of MassCare capacity : MassCare-AXBX'CX''	49
Figure 2 : Evaluation of mass care according to crisis delay, (For each MassCare modality)	50
Figure 3 : Estimation of MassCare capacity, according to capability	51
Figure 4 : Use of hospital and district MassCare capacity	52
Figure 5 : Exemple of District MassCare capacity, according to capability MassCare-A1B1C1 (for surgery, adult, on working hours)	53
Table 1 : Calculation of Tmax-MassCare	54
Table 2 : Example of hospital MassCare capacity profile calculation	55
Figure S1 : Supplementary material 1: Steps in the development of the MassCare capacity assessment method by the working group.	56
Figure S2 (Supplementary material) : Health administration areas in France, with 13 Regional Agencies (RHA), grouped into 7 Zonal Defense Areas (ZDA), and 6 overseas territories	57
Table S1 : Characteristics of the working group	58

Article 2

Modeling hospital surgical capacity in mass casualty incidents: a national metric of the MassCare index

Table 1: Characteristics of health facilities by MCI hospital classification and distribution of missing data	73
Table 2: Uni- and multivariate linear regression modeling of the MassCareR1 capacity	74
Table 3: MassCare-XXX capacities obtained by modeling on the total annual surgical activity (BLOCS_C10) of each facility (unstratified), then total MassCareR3 by stratified modeling on MCI HOSPITAL class.	75

Article 7

Medical evacuation planning for critical care units in a hospital at imminent risk: A multimodal assessment of patient triage and required resources, for optimal strategy and real-time use for each hospital.

Table 1. Benchmarks for CHEST recommendations	101
Table 2. Conditions of transport during evacuation according to patient profile	102
Table 3. Computer-assisted simulation of the Cherbourg Public Hospital evacuation:	103
Figure 1 : Geographical location of the Cherbourg Public Hospital in Cotentin Peninsula (Normandy), considered in the evacuation simulation	104
Figure 2: Permanent patient allocation algorithm, for simulation or real event decision making aids.	105
Figure 3 : Computer-assisted simulation of coupled evacuation of 20 “P1”, 29 “P2” and 1 “P3” patients from the Cherbourg Hospital using convoys (A- Patient view; B- Ambulance view)	106
Table S1. Patients to be transferred from Cherbourg hospitals and available destinations according to transfer time	108
Table S2: Estimate of resources needed to evacuate all ICU patients from a hospital at risk, for the entire administrative region	109
Figure S1. Impact of the 3 flood vulnerability scenarios on medical evacuation times to other facilities	110
Figure S2: Capture at 16:10 of the distribution of patients awaiting evacuation P1 (UA), P2 (UR), travelling, or arrived.	110
Figure S3 : Live monitoring screen of 4 indicators : 1. remaining patients 2. means of transfer, 3. Surrounding hospital capacity and 4. reinforcements needed to ensure evacuation	111
Figure S4: Operational console for monitoring the evacuation of a hospital.	112
Figure S5: Operational console with Criteria adaptable by the crisis managers (options)	113
Figure S6 : Distribution algorithm for the 50 patients of the Cherbourg hospital, as soon as the alert is received.	114

Article 4

Mass casualty incidents: A systematic review over 30 years in Europe

Figure 1 The PRISMA flow diagram. Abbreviations : GTD Global Terrorism Database, BEATT Bureau d’Etude des Accidents de Transport	139
Table 1 : Geopolitical conflicts in Europe since 1991.	140
Table 2 : Data selection method. Abbreviations : GTD Global Terrorism Database, BEATT Bureau d’Etude des Accidents de Transport Terrestre (Bureau of Transport Accident Studies), BARPI Bureau d’Analyse des Risques de Pollution et Industriels (office of analysis of pollution and industrial risks).	141
Table 3 : Inventory of MCIs in Western Europe. Information on the date, place and type of event, and the number of victims with the number of deaths on site, victims transferred to a hospital and seriously injured. Abbreviation AE Absolut Emergency.	142
Table 4 : Inventory of MCIs in Eastern Europe. Information on the date, place and type of event, and the number of victims with the number of deaths on site, victims transferred to a hospital and seriously injured. Abbreviation AE Absolut Emergency.	143
Table 5 : Averages and medians based on the MCI census, by typology. Abbreviations : AE Absolut Emergency).	143
Supplementary Figure 1 : NATO standard scale	144

Document :***Accompagnement de l'évaluation des capacités AMAVI pour 11 ARS***

Tableau 1- Capacitaire AMAVI à T0 pour chaque établissement	146
Tableau 2- Points de rupture T0 par site prudentiel : Places et moyens accessibles à T0, à 1h autour de chaque site (10 à 20 sites testés par ARS)	148
Tableau 3- Moyens à engager pour un événement moyen de 25 UA selon le site prudentiel et le type d'événement	149
Tableau 4- Impact attendu d'un événement de 25 UA d'après les ressources du secteur, selon le site prudentiel	150
Tableau 5: Comparaison des différentes stratégies d'évacuation en situation AMAVI	151
Tableau 6: Mobilisation des ressources rares hors PSM	151

Article 5***Distribution of mass casualty incident victims : training at 10 mass gatherings or rural sites according to surge capacity of hospitals and medical transfer teams.***

Figure 1 : Map with each training site for mass casualty incident : mass gatherings (A) or rural sites (B)	158
Figure 2 : available surge capacity of hospitals around each site tested	159
Figure 3 : Distribution delays for 21 absolute emergency (AE) victims in mass gatherings sites (A) or in rural sites (B).	160
Figure 4 : Departure and arrival of the 21 absolute emergency victims (AE), in mass gatherings (A) or rural sites (B).	161
Figure 5: Example of the distribution times of 21 absolute emergency victims on the Vendevre site (14).	162
Figure S1 : Live monitoring screen of 4 indicators (on left):	164
Figure S2. SSEVAC "dashboard" interface for crisis management planning and assistance: display of victims, resources and places in progress, at the end of the exercise in Lyon (Décines Charpieu stadium).	165

Article 6***Maintaining elective surgery capacity while freeing up resuscitation capacity: the challenge of COVID-19 epidemic resumption***

Table 1 Top 20 most frequent diagnosis-related groups in ICUs for non-emergency ward admission inpatient surgical stays (proxy for elective surgery) according to hospital type.	174
--	-----

Article 8***Directeur Médical de Crise : Cartographie de la crise pour permettre le suivi et la caractérisation de la situation***

Figure 8 : (Figure originale) Principes de construction d'une cartographie de crise du DMC	181
Figure 9: Description du tableau de bord du Directeur Médical de Crise : suivi des flux entrants, internes et sortants selon le niveau de mobilisation de l'établissement : niveau 1 : tensions, niveau 2 : SSE.	182
Figure 10: Cartographie des missions de la CCH en 6 étapes alphabétiques et chronologiques, sur un axe horizontal.	183
Figure 11: Tableau de bord du DMC en cas de suivi rapproché des tensions, puis activation du plan de mobilisation interne (niveau 1)	184
Figure 12: Tableau de bord du DMC en cas de mise en œuvre du plan de réponse aux situations exceptionnelles (niveau 2)	184
Figure 13: Tableaux effaçables de la cellule de crise hospitalière. Ils permettent d'organiser la CCH sous le pilotage du directeur d'établissement, autour des 6 missions de gestion de crise, en identifiant pour chacune un responsable et son plan d'action	185

Liste des abréviations

AMAVI :	Risque d'afflux massif de victimes – l'un des cinq plans du plan d'Organisation de la réponse sanitaire (ORSAN)
ARS :	Agence régionale de santé
CHU :	Centre hospitalier universitaire
EPI-CLIM :	Risque d'épidémie ou climatique : l'un des cinq plans du plan ORSAN
DREES :	Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques
ES :	Etablissement de santé
ETP	Equivalent temps plein
IADE :	Infirmier anesthésiste diplômé d'état
IBODE :	Infirmier de bloc opératoire diplômé d'état
MCI :	Mass casualty incident
NRC :	Risque nucléaire, radiologique, chimique – l'un des cinq plans du plan ORSAN
OMS :	Organisation mondiale de la santé
ONU :	Organisation des nations unies
ORSAN :	Organisation de la réponse sanitaire
OTAN :	Organisation du traité de l'atlantique nord
PMSI :	Programme de médicalisation des systèmes d'information
SAE :	Statistique annuelle des établissements
SSE :	Situation sanitaire exceptionnelle
UMP :	Urgences médico-psychologiques – l'un des cinq plans du plan ORSAN

Construction d'une méthode opérationnelle
d'évaluation des capacités d'accueil en situation
sanitaire exceptionnelle pour chaque
établissement de santé du territoire, puis des
points de ruptures par secteur de soins.
L'indicateur MassCare

Dr Antoine AUBRON

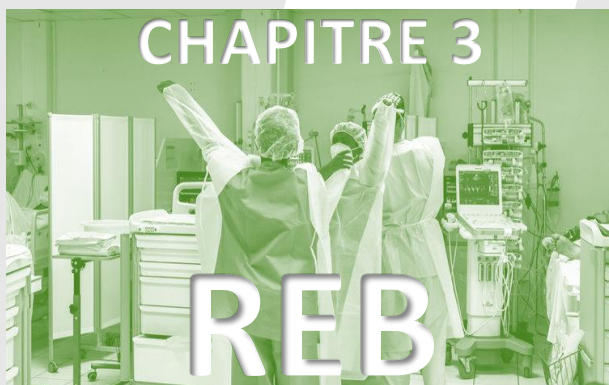
Praticien hospitalier CHU de CAEN



Evaluation des capacités d'afflux
massif de victimes de chaque
établissement (AMAVI)



Evaluation des capacités
d'évacuation sanitaire d'un
établissement de santé
(EVASAN)



Evaluation des capacités de mobilisation des réanimations en situation de risque émergent biologique (REB), selon l'activité chirurgicale programmée des établissements



Cartographie de la crise pour permettre le suivi et la caractérisation de la situation pour le directeur médical de crise (DMC) d'un établissement de santé

MANUSCRIT DE THESE

Introduction générale

Partout dans le monde, les populations sont confrontées à un large éventail de risques associés aux urgences et aux catastrophes sanitaires. À l'échelle mondiale, les événements dangereux les plus courants sont les accidents de transport, les inondations, les cyclones ou tempêtes, les épidémies, les accidents industriels et les tremblements de terre (1). Certaines situations d'urgences et catastrophes sont importantes et deviennent des crises nationales ou même mondiales (cyclones, sécheresse, conflits armés, épidémies majeures). Cependant, des urgences plus localisées peuvent également être dévastatrices, tant dans la phase aiguë qu'à plus long terme (2). De plus, ces impacts affectent souvent de manière disproportionnée les populations vulnérables (personnes à faibles revenus, âgées, handicapées, enfants, minorités ethniques) (3-5). Des développements tels que le changement climatique, l'urbanisation non planifiée, la croissance démographique, la migration et la fragilité des États augmentent la fréquence, la gravité et les impacts de nombreux types d'urgences à travers le monde (2).

Environ 190 millions de personnes sont directement touchées chaque année par des situations d'urgence dues à des risques naturels et technologiques, avec plus de 77 000 décès (6). 172 millions de personnes supplémentaires sont touchées par des conflits (7). De 2012 à 2019, l'OMS a enregistré plus de 2000 épidémies dans 168 pays, y compris celles dues à des maladies infectieuses nouvelles ou réémergentes (8-9). La période 2020-2021 a été marquée par la pandémie de Covid-19 ayant causé 6.92 millions de décès dans le monde (10). La surmortalité due à la pandémie de Covid-19 est estimée à 18.2 millions de morts dans 191 pays (11). Au-delà des conséquences sanitaires, la pandémie a confirmé l'impact global que peut engendrer une crise initialement limitée, entraînant un bouleversement prolongé des organisations économiques, sociétales, politiques. Le bureau de l'ONU pour la réduction des risques de catastrophes (UNDRR) estime que le monde pourrait chaque année faire face à 1,5 catastrophes majeures chaque jour dès 2023 (12). La préparation des grands rassemblements (GR) est également une problématique spécifique qui nécessite une démarche de planification dédiée (13). Les GR se caractérisent par la concentration de personnes sur un site, pour un but et un temps défini. Les services de santé sont généralement conçus pour répondre aux priorités et aux demandes de routine et ont une capacité limitée à se développer. Les GR peuvent mettre à rude épreuve ces systèmes et nécessiter ainsi de planifier le renforcement des services existants et éventuellement l'introduction de méthodes nouvelles (14).

Dès 1981, l'organisation mondiale de la santé (OMS) a adopté une résolution déclarant que « malgré l'importance incontestable des secours dans les situations d'urgence, les mesures préventives et la préparation sont d'une importance fondamentale ». En 2007, l'OMS adopte une résolution pour définir des orientations pour la création et le renforcement des systèmes de gestion des pertes massives. En 2015 l'organisation des nations unies (ONU) adopte le cadre de Sendai sur la réduction des risques de catastrophe 2015-2030, concomitamment de l'accord de Paris sur le climat (15-17).

Le cadre de Sendai définit un renversement de la façon dont le monde traite les catastrophes, en passant d'une logique de réponse immédiate « après coup » à une stratégie de planification continue. Les 187 états signataires choisissent d'appréhender les risques et de planifier leur réponse avant que ne se manifestent des chocs importants (18). Le cadre de Sendai définit quatre domaines prioritaires : 1. la compréhension des risques, 2. le renforcement de la gouvernance, 3. l'investissement dans la prévention et la réduction des risques, 4. l'amélioration des connaissances et des compétences de préparation, d'intervention, de réhabilitation (figure annexe 1 : cadre de Sendai 2015-2030).

Le cadre de Sendai comprend plus de 30 références à des questions de santé et souligne l'importance d'améliorer les preuves scientifiques afin de faire progresser la gestion des urgences sanitaires et des risques de catastrophe (19). Cette stratégie vise à accroître la préparation des communautés et du secteur de la santé, définit les enjeux prioritaires et fournit le cadre de ces travaux. La gestion des urgences sanitaires et des risques de catastrophe (Health-EDRM) est devenue un domaine global de politique et d'étude englobant la médecine d'urgence et de catastrophe, la réponse humanitaire, la résilience des systèmes de santé (20-22).

L'OMS définit des lignes directrices concernant la mise en place de systèmes de réponse organisés, pour la gestion de nombreuses victimes, et le renforcement des capacités du système de santé : « De nombreuses vies pourraient être sauvées si les communautés touchées étaient mieux préparées, avec un système de réponse organisé, évolutif, et déjà en place » (23). La planification doit porter une attention toute particulière à définir le renforcement des capacités du secteur touché (projection de renforts humains, matériels, organisationnels) (24-25).

Pour l'OMS cette démarche de planification se construit par étapes successives (23) :

1. Quantifier les ressources. Le ministère de la Santé doit effectuer une analyse complète des ressources de santé pertinentes dans le pays. L'analyse doit évaluer les ressources disponibles et cartographier à la fois la quantité et le niveau d'expertise (des installations, du personnel et des équipements).

2. Analyser et évaluer les risques spécifiques du pays. Le document de l'OMS fournit une analyse détaillée de ce processus (26).

3. Évaluer la correspondance entre l'analyse des risques encourus, les ressources disponibles, et la norme de soins acceptable (27). Une analyse des « fragilités » peut être effectuée pour (a) décider comment améliorer ces ressources aux normes requises et (b) calculer les ressources supplémentaires nécessaires à projeter pour répondre à un incident faisant de nombreuses victimes, le cas échéant. Il fournira au ministère de la Santé les informations dont il a besoin pour fixer les priorités et coordonner la redistribution des ressources pour une préparation optimale.

4. Définir les indicateurs de suivi. Au stade de la planification, le ministère de la Santé devrait évaluer quels types d'informations seront nécessaires pour soutenir le bon fonctionnement du plan national de gestion des pertes massives. Une attention particulière devrait être accordée aux fonctions de suivi, de surveillance et d'alerte précoce.

5. Veille et mise à jour continue de la planification. Une unité au sein du ministère devrait être désignée avec la responsabilité de collecter et de maintenir ces informations sur une base continue (mise à jour des ressources disponibles, leçons tirées des incidents survenant dans d'autres pays).

6. Assurer la diffusion et disponibilité de ces informations à la fois dans le cadre de la préparation et en cas d'incident faisant de nombreuses victimes, aux gestionnaires comme aux acteurs de terrain.

Pour l'OMS les outils de gestion de crise doivent intégrer un certain nombre de principes directeurs:

1. Définir clairement les rôles et responsabilités de chacun ;

2. S'adapter à différentes échelles d'incidents et d'offres de soins du secteur.

3. Prendre en compte l'évolutivité de la situation pour adapter le niveau de réponse. Ils doivent permettre d'étendre la réponse du niveau local au régional, puis au national de manière fluide.

4. S'appuyer sur les situations passées. (Rapports officiels d'autres pays; rapports de l'OMS, données scientifiques et épidémiologiques).

5. Favoriser la communication et la coordination par des systèmes de communication interopérables, normalisés, connus et compris par les gestionnaires comme par les acteurs de terrain (acteurs publics ou privés, à l'échelle locale ou nationale). Le problème le plus souvent cité dans la gestion des catastrophes est la difficulté de communication, la prise de décision et les soins étant affectées par le retard ou la perte d'informations essentielles (28).

6. Intégrer les technologies modernes, par exemple les systèmes de **localisation** géospatiale peuvent collecter et fournir des données essentielles pour des décisions telles que l'établissement de camps temporaires, les **délais** d'acheminement des matériels, des victimes, ou des renforts prévisibles. Il est important que les systèmes de surveillance recueillent en continu les données sur le nombre de **victimes** et leurs blessures car la plupart de la morbidité et de la mortalité dans les incidents faisant de nombreuses victimes peuvent provenir des effets cumulatifs, ou d'événements à plus petite échelle dans des secteurs isolés. La surveillance continue de la consommation des **ressources** est importante afin de maintenir la qualité des soins et d'anticiper leur **renfort**.

Cependant la gestion des incidents impliquants un grand nombre de blessés ne concerne pas uniquement les cas de traumatismes, bien que les blessures constituent une part importante de la charge de travail dans de nombreux incidents. La planification doit intégrer ces risques spécifiques en détaillant les particularités pour la prise en charge des victimes et les ressources spécifiques et la stratégie générale qui leur est propre (risque infectieux émergent, contamination radiologique, nucléaire, chimique, grands brûlés, évacuation, etc). Elle doit également prendre en compte la possibilité de risques croisés (ex. polytraumatisme et contamination nucléaire).

En France, le Ministère de la Santé a défini une stratégie nationale d'organisation de la réponse sanitaire (ORSAN), déclinée en cinq plans et sept dispositions transversales selon la nature du risque : afflux massif de victimes (AMAVI), contamination nucléaire, radiologique ou chimique (NRC), risque émergent biologique (REB), épidémies saisonnières et risque climatique (EPI-CLIM) et urgences médico-psychologique (UMP) (29-30). Les établissements de santé sont classés en trois niveaux d'expertises : les centres de seconde ligne (SL) (avec plateau chirurgical mais sans service d'urgence), les centres de première ligne (PL) (services d'urgence et plateau chirurgical disponibles 24h/24), y compris les centres experts (Exp) (services hautement spécialisés pour les patients nécessitant une prise en charge complète avec des centres de traumatologie, des unités de soins intensifs, des chirurgies cardiothoraciques, des neurochirurgies, des chirurgies et réanimations pédiatriques et des unités de brûlés). Cette stratégie est organisée autour des 17 Agences Régionales de Santé qui doivent décliner cette stratégie sur leur territoire et définir les capacités de prise en charge attendues et requises.

Cependant, ces évaluations a priori sont difficiles, manquent de preuves scientifiques et n'ont pas de méthodes de quantification universellement acceptées (31-33). Les évaluations empiriques utilisent des approximations liées soit au nombre total de lits d'hôpitaux (34-35), ou la quantité de personnel ou d'équipement (36-38). Mais ces évaluations peuvent être trompeuses si elles ne déduisent pas la part de ressources indisponible (absentéisme, repos, lits ou personnels mobilisés pour les patients

courants, etc)(39-40). Les modèles de simulation peuvent remettre en question la validité de la capacité de soins de masse immédiats, et estimer le maximum de prises en charges du secteur (les points de rupture territoriaux), pour adapter les objectifs de ressources aux bassins de population. (41-42) Des experts ont proposé une référence soit d'une capacité de pointe des hôpitaux territoriaux de 50 à 500 patients par million d'habitants au-dessus de la capacité quotidienne en lits (43), soit d'une augmentation de 300 % de la capacité habituelle des unités de soins intensifs des hôpitaux (44). Mais peu d'études ont testé les capacités réellement accessibles autour d'un site en fonction des délais d'acheminement (34-35). La détermination empirique du nombre de victimes varie selon le type de catastrophe (39,45). Néanmoins, la standardisation de l'évaluation des capacités de surtension permettrait une planification plus efficace, en particulier lorsqu'une situation de crise nécessite une intervention interétatique ou internationale.

En absence de méthode de référence, l'évaluation des capacités de prise en charge en situation exceptionnelle reste difficile à établir pour les Agences Régionales de Santé (ARS) comme pour les établissements de santé (ES). Leurs évaluations empiriques amènent à des résultats souvent jugés discordants par les référents du territoire. Elle est pourtant essentielle pour permettre de construire une stratégie de répartition de ces victimes sur différents établissements, en fonction de leur compétence, leurs moyens matériels et humains spécifiques. Elle est nécessaire pour évaluer le point de rupture régional et préparer les grands événements.

L'objectif principal de ce travail est de proposer une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités d'accueil en situation exceptionnelle pour chaque établissement de santé du territoire, puis des points de ruptures par secteur de soins d'après les six étapes de planification de l'OMS.

L'élaboration de cette méthode nécessite six phases avec chacune un objectif secondaire :

- **Construction de la méthode** en groupes de travail d'experts métiers (2019-2020)
- **Quantifier les ressources**
 - **Calcul du repère capacitaire maximal** de chaque établissement d'après les données SAE (2020)
 - **Recueil de la part disponible** par enquête des ES, coordonnées sur 253 ES de 4 ARS à différents jours et horaires (2021-2022)
- **Analyse des risques** : revue de littérature des situations exceptionnelles en Europe depuis 30 ans
- **Evaluer la correspondance** : test des points de rupture pour différents sites SSE
 - o **avec chaque ARS**, calcul des capacités de réponse pour les 10 sites prioritaires de sa région (2022)
 - o **avec les SAMU**, entraînements de répartition de 200 victimes sur leur territoire (2023)

Une fois cette démarche déployée, elle aboutit à la construction d'un outil opérationnel de **planification** de la réponse, et de **gestion de crise** réelle, intégrant les 12 principes directeurs de l'OMS (23). Enfin ce travail est décliné sur trois risques ORSAN différents : l'afflux massif de victimes (articles 1-5), l'évacuation d'un établissement de santé (article 7), et le risque émergent biologique (article 6).

La première partie de la thèse porte sur l'évaluation des capacités d'accueil d'un afflux massif de victimes pour chaque établissement de santé. La description intégrée dans le guide national ORSAN 2023 est présentée en préambule comme illustration des six étapes OMS de la démarche de planification AMAVI. Les travaux concernant les deux premières étapes sont ensuite présentés en détail (Article 1 : construction de la méthode et Article 2 : Calcul du repère capacitaire maximum, tous deux en review).

La seconde partie du manuscrit de thèse présente le travail de planification concernant un second risque ORSAN : l'évacuation d'un établissement de santé à risque de submersion (article 7, en review).

Le document présente ensuite en annexe et la mise en application opérationnelle de ces travaux d'après les étapes OMS suivantes. (article 4 et 8 soumis, article 5 en finalisation, article 6 publié).

Plan

MANUSCRIT DE THESE

Introduction générale

Chapitre 1 : Evaluation des capacités d'afflux massif de victimes de chaque établissement

Résumé intégré au plan ORSAN 2023 – Méthode d'évaluation des capacités AMAVI (*résumé des articles 1 à 5*)

- **Construction de la méthode en groupes de travail d'experts métiers (2019)**
 - o *Article 1: Defining hospital surge capacities and regional breakpoints for mass critical casualties: the national MassCare indicator*
- **Quantifier les ressources**
 - **Calcul du repère capacitaire maximal de chaque établissement (2020)**
 - o *Article 2: Modeling hospital surgical capacity in mass casualty incidents: a national metric of the MassCare index*

Chapitre 2 : Evaluation des capacités d'évacuation d'un établissement de santé

- o *Article 7 : Medical evacuation planning for critical care units in a hospital at imminent risk: A multimodal assessment of patient triage and required resources, for optimal strategy and real-time use for each hospital.*

Discussion générale

Conclusion

MISES EN APPLICATIONS

Chapitre 3 : Structuration et évaluation du dispositif ORSAN AMAVI

- **Analyse des risques :**
 - o *Article 4 : Mass casualty incidents: a systematic review since 30 years in Europe*
- **Evaluer la correspondance : test des points de ruptures pour différents sites SSE**
 - o **avec chaque ARS, calcul des capacités de réponse pour les 10 sites prioritaires de sa région (2022)**
 - Document : *Accompagnement des ARS dans l'évaluation des capacités AMAVI et points de rupture de leur territoire.*
 - o **avec les SAMU, entraînements de répartition de 200 victimes sur leur territoire (2023)**
 - Article 5 : *Distribution of mass casualty incident victims : training at 9 mass gatherings or rural sites according to surge capacity of hospitals and medical transfer teams*

Chapitre 4 : Evaluation des capacités de mobilisation des réanimations en situation de risque émergent biologique, selon l'activité chirurgicale programmée des établissements

- o *Article 6 : Maintaining elective surgery capacity while freeing up resuscitation capacity: the challenge of COVID-19 epidemic resumption*

Chapitre 5 : Cartographie de la crise pour le directeur médical de crise d'un établissement de santé

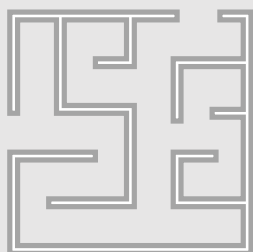
- o *Article 8: Guide du Directeur Médical de Crise : Cartographie de la crise pour permettre le suivi et la caractérisation de la situation*

Références

Annexes

Chapitre 1 : Evaluation des capacités d'afflux massif de victimes de chaque établissement





○ **Résumé général AMAVI: Méthodologie d'évaluation des capacités AMAVI (ORSAN 2023)**

Statut : Ce résumé est intégré au plan national ORSAN 2023

Auteurs : A.AUBRION*, L.HARDEL*, E.ROUPIE*

*CHU CAEN Normandie

Méthodologie d'évaluation des capacités AMAVI

La proposition ci-dessous de méthodologie d'évaluation du capacitaire AM AVI a été élaborée par les équipes du CHU de Caen¹ en lien avec l'ARS Normandie et un recueil sur 300 établissements. Elle fournit un référentiel pour l'évaluation des capacités de prise en charge AMAVI des établissements de santé.

Le processus d'élaboration d'une modélisation nationale du capacitaire AMAVI de chaque établissement se décompose en sept étapes successives, communes au plan d'élaboration du plan de gestion des SSE. Cette démarche a impliqué dans sa construction l'ensemble des professionnels concernés par ces situations : professionnels de spécialités, référents d'établissements de santé, de SAMU, d'ARS, de SAMU et ARS zonaux, et de référents nationaux.

Elle concerne les capacitaires AMAVI en soins aigus (prise en charge chirurgicales au bloc opératoire, prise en charge aux urgences), et en hospitalisation (en soins critiques ou MCO). Elle comprend deux étapes d'évaluation capacitaire : la capacité maximale à partir des ressources et activités de chaque établissement recensé annuellement par la DREES, et la capacité disponible à partir de relevés coordonnées sur des panels d'établissements.

Cette démarche permet d'aider ARS et établissements sur la construction de leurs objectifs planchers à T0 et à atteindre à T+3h selon son rang de mobilisation ORSAN en première, deuxième ou troisième ligne. Pour la planification, elle permet d'évaluer les points de rupture pour chaque filière de soins. En cas d'événement réel, l'envoi d'une enquête flash aux ES permet d'intégrer les capacités réelles du jour.

Établir ces repères permet d'évaluer l'impact sur les vecteurs de transport nécessaires ou le taux de recours aux établissements du secteur. Elle permet de planifier des stratégies de seconde intention pour les filières identifiées comme difficiles (AMAVI traumatisés pédiatriques, AMAVI grands brûlés, etc.). Cette approche permet de tester l'impact de différentes stratégies de gestion de crise, pour la planification ou l'utilisation en situation réelle.

IDENTIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES CAPACITES DE REPONSE DES OPERATEURS DE SOINS			
Capacité ressource (Tmax)			
Elle constitue la référence pour les capacités théoriques maximales (Tmax) pour chaque établissement. Elle définit le nombre théorique de patients pouvant être pris en charge si toutes ses ressources matérielles et humaines étaient présentes et disponibles. Elle est donc fixe et représente 100% des capacités de réponse de l'établissement. Elle est évaluée selon les ressources propres de l'établissement renseignées dans l'enquête annuelle de la DREES (Statistique Annuelle des Établissements – SAE)			
Capacité structurelle immédiate (T0)			
Le nombre de patients (blessés graves ou légers) pouvant être immédiatement pris en charge dans un établissement de santé à T0 d'une urgence collective constitue sa « capacité structurelle T0 ». Celle-ci dépend à la fois des ressources humaines et matérielles disponibles de l'établissement, et de l'activité en cours. Dans la mesure où ces capacités de prise en charge peuvent être variables en fonction du jour ou de l'heure de survenue, il convient de définir a minima par établissement de santé un « objectif plancher » de prise en charge à T0.			
Capacité structurelle de montée en puissance (T3)			
Après déclenchement du PTHSSE et montée en puissance, l'établissement de santé va atteindre à T+2h voire T+3h sa capacité de prise en charge correspondant à l'effet à obtenir. Ces capacités de prise en charge étant variables en fonction du jour et de l'heure de survenue (ex : déprogrammation d'actes chirurgicaux), il convient de définir a minima des « objectifs à atteindre » de prise en charge à T+1h, T+2h/+3h correspondant à la capacité de montée en puissance quel que soit le jour et l'heure de survenue de l'événement.			
Définition des objectifs « plancher » pour T0 et « à atteindre » pour T3h par établissement de santé			
L'estimation de la variabilité des indicateurs « capacité structurelle T0 et T3h » selon le jour et l'heure, et en fonction du type d'établissement, permet de fixer les objectifs plancher T0 et à atteindre T3h pour chacun d'eux.			
	Repères index (fixes)	Capacité Tmax (avec ressources totales)	Moyens mobilisables par le plan PTHSSE de l'établissement
	Indicateurs (variables)	Capacité structurelle T0 (Immédiate)	Capacité structurelle T+3h (après montée en puissance)
	Objectifs (planifiés)	Objectif plancher T0	Objectif à atteindre T+3h

¹ Dr Antoine Aubrion, Dr Lauriane Hardel, Pr Eric Roupie

ETAPE 1 : CONSTITUTION DE L'EQUIPE PROJET

Un panel de 30 référents ARS, SAMU, ARS zonale et SAMU zonal a été rencontré sur une période de trois mois afin de recueillir leurs méthodes et problématiques sur la constitution d'un capacitaire AMAVI territorial. Trois groupes de travail ont ensuite été constitués afin de construire un panel de référents d'établissements et de professionnels concernés par l'organisation de la réponse sanitaire de leur établissement en cas d'afflux de victimes, adultes et pédiatriques. Ces professionnels sont issus de centres experts, de première et deuxième ligne, d'établissements publics et privés. Les spécialités représentées étaient la médecine d'urgence, l'anesthésie réanimation, la chirurgie et l'encadrement de bloc opératoire, la pédiatrie, la réanimation pédiatrique, la pharmacie et stérilisation.

ETAPE 2 : PREPARATION DU PILOTAGE

Une enquête préliminaire auprès de l'ensemble des référents ARS et SAMU de la zone de défense et sécurité a identifié les difficultés d'évaluation et l'hétérogénéité des résultats. La construction d'une méthode homogène permettrait d'accompagner les établissements et de consolider les évaluations des points de ruptures par les ARS. **Le groupe de travail pluriprofessionnel** a travaillé selon la méthode Delphi structurant la consultation d'un groupe d'experts. Quatre tours d'analyses ont permis d'établir une méthode d'évaluation du capacitaire AMAVI.

En situation d'afflux massif de blessés, le parcours de soins des patients dépend de la gravité des blessures de ces blessures selon l'échelle de triage française, issue du service de soins des armées françaises [EU (critique), U1 (urgence absolue), U2 (urgence relative), U3 (minimale), UD (urgence dépassée)]. Cette échelle est très proche de celle utilisée par l'OTAN [T1 (immédiate), T2 (différée), T3 (minimale), T4 (expectative)] (Figure 1).

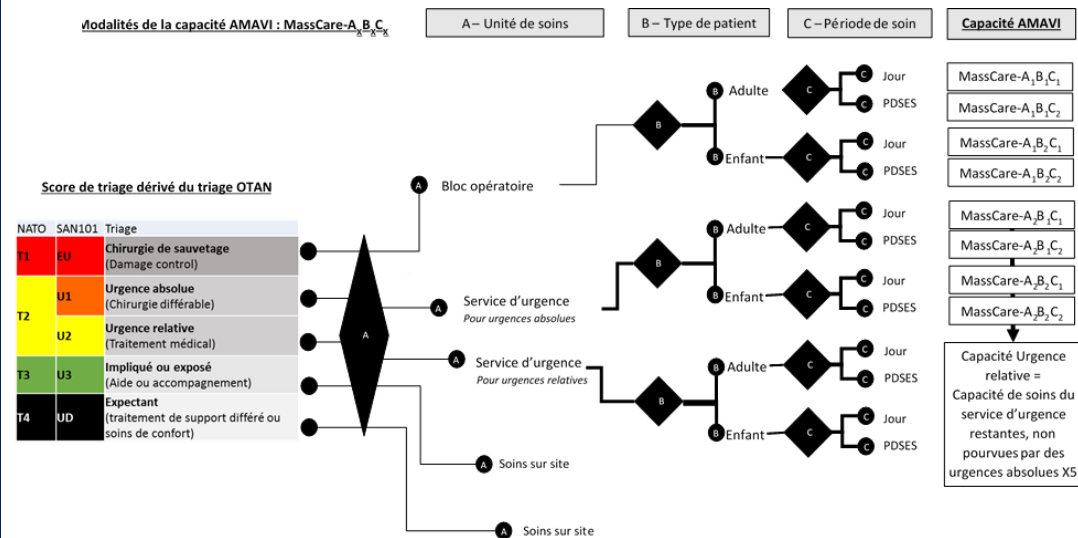
1. Les 3 modalités du capacitaire AMAVI (Figure 1)

Pour chaque type de victime les experts ont distingué 3 déterminants de la capacité AMAVI :

- A. Unité de prise en charge :**
 - Soins primaires (1. Bloc opératoire, 2. Urgences, 3. Soins sur site)
 - Hospitalisation (4. Réanimation, 5. Soins continus, 6. MCO)
- B. Type de patient** (1. Adulte, 2. Pédiatrique, 3. Néonatal)
- C. Période de soins** (1. heures ouvrables, 2. heures non ouvrables : nuit, week-end et fériés).

Ainsi, pour chaque hôpital, la capacité AMAVI est symbolisée par l'indice MassCare-A_xB_xC_x selon chaque modalité. Par exemple, MassCare-A₁B₂C₂ représente la capacité d'accueil AMAVI au bloc opératoire (A₁) pour des victimes pédiatriques (B₂) pendant les heures de permanence des soins (nuit ou week-end, C₂) de l'établissement considéré.

Figure 1: Modalités de la capacité AMAVI « MassCare »



OTAN* : Organisation du Traité de l'Atlantique Nord

La capacité AMAVI de chaque établissement est détaillée en 3 modalités : A- Unité de soins ou hospitalisation, B-Type de patient, C-Période de soins

Ex: MassCare-A₁B₂C₂: Capacité d'accueil AMAVI au bloc opératoire (A₁) de victimes pédiatriques (B₂) en période de permanence des soins (C₂), pour un établissement

2. Les capacités dépendent des ressources matérielles et humaines des ES (figure 2)

Pour chaque modalité le nombre de patients admissibles est évalué selon les ressources minimales de prise en charge pour chaque patient:

- **Au bloc** : pour chaque patient au minimum 1 salle de bloc opératoire, 1 chirurgien, 1 anesthésiste ou infirmier anesthésiste, 1 infirmier de bloc opératoire
- **Aux urgences** : 1 médecin et 2 infirmiers pour 2 patients en urgence absolue, ou pour 5 patients en urgence relative sur les places restantes.
- **En hospitalisation** : chaque lit disponible est associé à son environnement humain et matériel nécessaire.

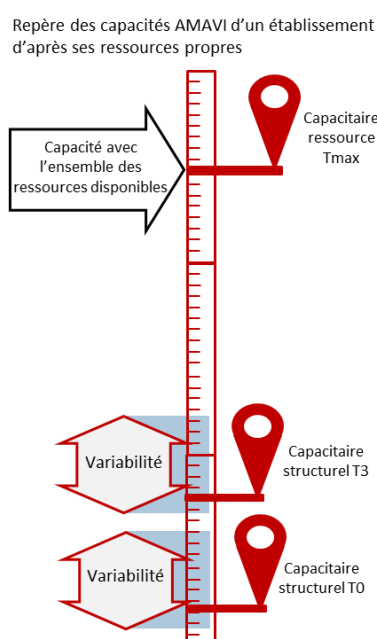
3. Évaluation selon le délai de crise (figure 2)

Pour chaque modalité de la capacité MassCare, le niveau de réponse de l'hôpital dépend de sa propre capacité en fonction du délai de crise (Figure 2) :

- **Capacité ressources** : Le niveau maximal de ressources pour chaque hôpital. Elle constitue la référence pour les capacités théoriques maximales (Tmax) si toutes ses ressources matérielles et humaines étaient présentes et disponibles. Elle est donc fixe et représente 100% des capacités de réponse de l'établissement. Elle est évaluée selon les ressources propres de l'établissement renseignées dans l'enquête annuelle de la DREES (Statistique Annuelle des Etablissements – SAE).

- **Capacité structurelle** : La capacité structurelle est la capacité réelle disponible immédiatement (T0), puis après la mise en place du plan de gestion de crise de l'établissement (T3). Elle correspond à un pourcentage de la capacité Tmax de l'établissement. Elle prend en compte la part des ressources humaines et matérielles disponibles selon les présences et l'activité en cours (T0), puis les renforts et les réorganisations d'activité (T3). Elle est évaluée par un relevé ponctuel des ressources disponibles auprès des établissements. De plus un recueil coordonné sur un panel d'établissements de plusieurs ARS sur une semaine permet de constituer une photographie précise des capacités disponibles et de leur variabilité (jours, heures). En période de permanence de soins des ES, le groupe de travail définit que les capacités de soins correspondent au nombre de lignes postées de garde ou d'astreinte dans chaque filière (absence d'activité programmée).

Figure 2: Conclusions du groupe de travail ARS après 4 tours d'échange Delphi:



ETAPE 3 : ORGANISATION DE LA REPONSE : CALCUL DES CAPACITES Tmax ET T0

Cette première étape d'évaluation des capacités AMAVI utilise la dernière version disponible de l'enquête annuelle obligatoire de la DREES (enquête SAE 2021 publiée par la DREES en septembre 2022).

1. Evaluation pour un établissement de santé

La mise en œuvre de la méthode est détaillée dans chacune des modalités définies, pour un établissement de santé. **Pour prendre un exemple**, le Centre Hospitalier Universitaire de Caen est défini d'après les objectifs fixés dans ORSAN comme établissement expert, par la présence d'un service d'urgence et plateau chirurgical 24/24, associé aux plateaux techniques spécifiques de neurochirurgie, chirurgie cardio thoracique, chirurgie pédiatrique, radio-embolisation. Le nombre de praticiens exerçant dans l'établissement, et les moyens matériels participant à l'activité sont référencés dans les données SAE de la DREES.

Concernant les ressources chirurgicales, l'établissement dénombre 42 ETP chirurgiens (ETP-équivalents temps plein), 34,9 ETP anesthésistes, 75,68 ETP infirmier anesthésiste, 52,03 ETP infirmier de bloc opératoire ; et 20 salles de bloc opératoire installées. Donc si l'ensemble des moyens humains et matériels de l'établissement étaient disponibles, le nombre maximum de prise en charge simultanées serait de :

$$T_{\max}\text{-MassCare}A_1B_1C_1 = \min(\text{chir} ; (\text{anes}+\text{iade}) ; \text{ibode} ; \text{bloc}) = \min(42 ; (34.9+75,68) ; 52 ; 20) = 20$$

L'établissement pourrait prendre en charge 20 patients simultanés avec pour chacun les ressources chirurgicales humaines et matérielles minimales. L'estimation des ressources réellement disponibles immédiatement (T0) puis après mise en place du plan de gestion de crise de l'établissement (T3) est testé à différents moments et rapporté à ce capacitaire maximum théorique.

Concernant les services d'urgences, le nombre de médecins et infirmiers postés est constant selon les jours ouvrés et renseigné dans la SAE en heures de présence hebdomadaires et lignes de garde. Les agents partagés avec l'activité SMUR ne sont pas comptabilisés comme présents, car seraient engagés en préhospitalier en cas de SSE importante. Cet établissement dispose aux urgences de 580h médecin et 1088 heures infirmières hebdomadaires, soit $580 \times 2/3/12/7 = 4.6$ médecin et $1088 \times 2/3/12/7 = 8.6$ infirmière postées en journée. Aucun n'a d'activité partagée avec le SMUR. Les capacités AMAVI sont de 2 UA pour 2 IDE et 1 médecin, soit $T_{\max} = \min(\text{med} ; \text{ide}/2) \times 2 = \min(4.6 ; 8,6/2) \times 2 = 8,6$ UA simultanées.

Concernant les capacités d'hospitalisations, le Tmax est directement évalué par les lits installés dans chaque catégorie d'unité (Réanimation, soins intensifs, soins continus, MCO) et chaque catégorie d'âge (adulte, pédiatrique, néonatalogie). Pour la planification, le T0 sera estimé directement d'après le taux d'occupation annuel de chaque type d'unité. Par exemple un établissement ayant 10 lits de réanimation avec un taux d'occupation annuel de 80%, le nombre de lits disponible immédiatement est en moyenne de $10 \times (1-0.8) = 2$ lits. En cas d'événement réel les capacités immédiates d'hospitalisation sont remontées via le ROR.

2. Évaluation pour un territoire ARS

La même règle est appliquée pour l'ensemble des établissements du territoire, classés par niveau d'expertise selon leur catégorie ORSAN.

a) Prise en compte des établissements à données manquantes

Un travail complémentaire a été réalisé concernant les capacités AMAVI au bloc opératoire, en raison de l'absence de personnels renseignés sur certains établissements malgré une activité opératoire annuelle importante. En effet pour ces établissements le calcul strict du minimum de ressource amènerait à écarter ces établissements de la répartition des victimes AMAVI (capacitaire calculé à 0).

Le travail statistique de modélisation en imputation multiple chaînée a montré que pour ces établissements la capacité AMAVI était prévisible à 86% à partir de l'activité chirurgicale annuelle de l'établissement, qui est une donnée fiable et sans donnée manquante, par 1 patient admissible pour 1460 actes annuels. (résultats reproductibles sur 3 années successives).

Ce travail permet de prendre en compte ces établissements à données manquantes dans l'évaluation des capacités AMAVI. Leur capacité AMAVI est alors évaluée à partir de leur activité chirurgicale réelle annuelle.

Exemple : pour le CHU de Caen, si le nombre de chirurgiens de l'établissement était manquant dans la SAE, malgré 25132 actes chirurgicaux annuels : La capacité de l'établissement n'est alors pas comptabilisée comme

nulle, mais évaluée à partir de l'activité annuelle en hospitalisation complète à $T_{max} - \text{MassCare} - A1B1C1 = 25132 / 1460 = 17.2$ patients simultanés si l'ensemble des ressources étaient disponibles.

b) Capacités de chirurgie pédiatrique : identifier les établissements de la stratégie de 2^e intention

La capacité AMAVI de chirurgie pédiatrique est définie par le nombre de chirurgiens pédiatriques, anesthésistes pédiatriques, infirmières de bloc et salles de bloc opératoires. Le référentiel ORSAN définit qu'en cas d'événement impliquant de nombreuses victimes pédiatriques un seuil de 30kg (voire 20kg) peut être défini pour orienter certaines victimes sur les établissements de première ligne. Dans les deux cas les capacités régionales sont restreintes (T0=6 patients sur 3 établissements) indiquant un point de rupture rapidement atteint en volume de victimes comme en distance de transferts.

Pour anticiper la réponse à un AMAVI de traumatisés graves pédiatriques, le groupe de travail propose d'identifier certains ES de première ligne plus à même de répondre à ces orientations le cas échéant.

En 1^{ere} intention :

- Les victimes chirurgicales pédiatriques **sont orientées vers les centres experts** disposant d'un plateau technique spécialisé en chirurgie pédiatrique

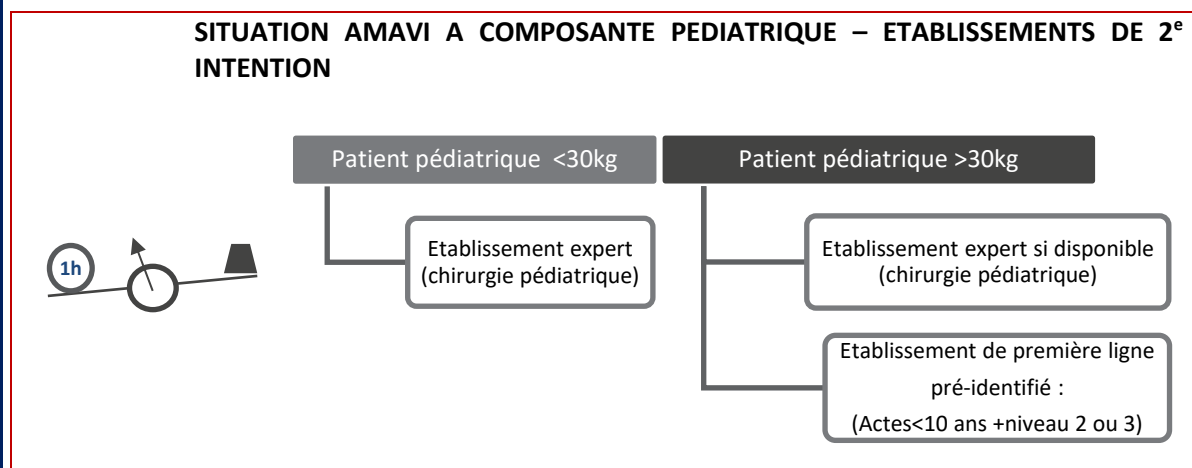
En 2^e intention, en cas de surcharge des centres de référence :

- L'orientation des victimes pédiatriques et >30kg s'appuie sur certains établissements de première ligne identifiés selon 2 conditions :
 - o **Ayant pratiqué des actes de chirurgie en hospitalisation complète sur des enfants de moins de 10 ans (seuil de 30kg), d'après l'activité renseignée dans le PMSI.**
 - o **Appartenant au réseau d'établissements disposants d'une autorisation de maternité de niveau 2 ou 3 (plateau technique chirurgical et pédiatre néonatalogiste 24h/24).**

Le premier critère identifie la **compétence en anesthésie générale d'enfants de moins de 30kg** sur l'établissement au vu de sa pratique courante. Le second critère identifie la présence d'un bloc chirurgical, chirurgien, anesthésiste, et pédiatre néonatalogiste disponibles sur place 24h/24. Ils renseignent la **présence permanente d'une capacité de chirurgie et de réanimation nourrisson spécialisée** (en praticien présent, en expérience, et en matériel). Chacun de ces établissements serait amené en seconde intention à prendre en charge 1 patient pédiatrique au sein de son plateau technique chirurgical adulte. Cette capacité serait déduite de la capacité AMAVI bloc adulte de la structure.

Sur notre territoire régional, cette stratégie permet de définir une stratégie de première intention pour 6 patients sur 3 établissements experts, et en stratégie de seconde intention 9 patients supplémentaires répartis sur 9 établissements de première ligne pré-identifiés. Elle complète les difficultés en volume de patient et assure un maillage territorial et des délais de transports plus resserrés. Elle permet de pré-identifier les établissements concernés et de l'intégrer à leurs objectifs de réponse AMAVI.

SITUATION AMAVI A COMPOSANTE PEDIATRIQUE – ETABLISSEMENTS DE 2^e INTENTION



c) Évaluation multirégionale de la capacité immédiatement disponible (T0) et après plan de gestion de crise (T3), rapportée aux ressources totales (Tmax) de chaque établissement

Afin de déterminer pour chaque établissement la part de ressources disponibles sous 30min par rapport à ses ressources totales, pour prendre en charge un afflux massif de victimes, une enquête « pilote » a été réalisée sur la région Normandie en juin 2021. Cette enquête « un jour donné » a observé que pour le bloc opératoire la capacité immédiate T0 relevée correspondait à 29.5% de la capacité Tmax disponible (moyenne sur 37 ES répondants). La capacité, après mise en place du plan de gestion de crise des établissements à T+3h était évaluée à 65,3% de leur propre capacité ressource Tmax.

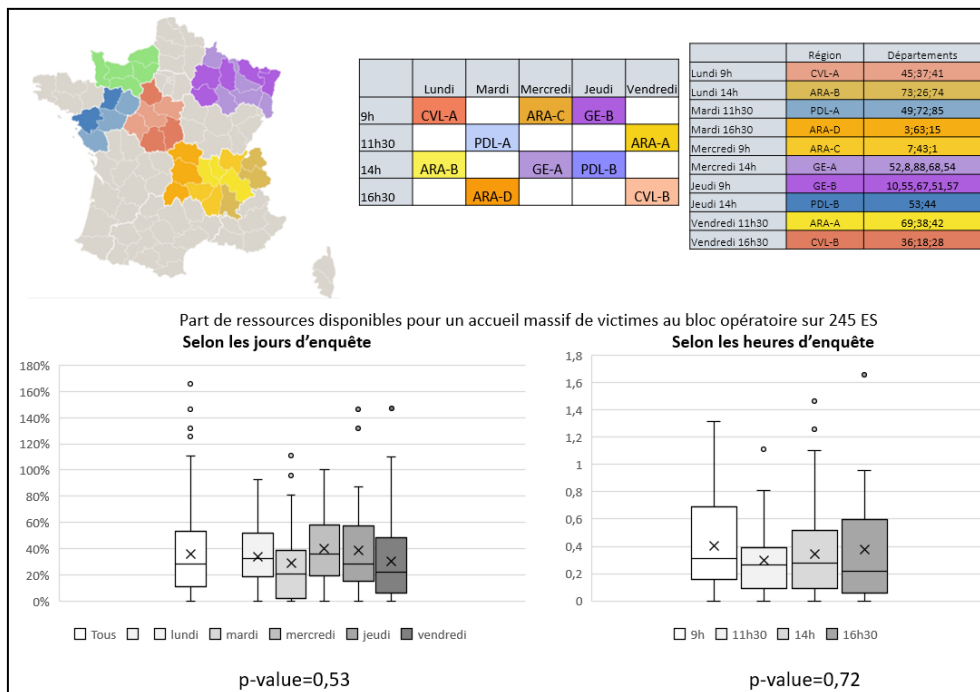
En juin 2022, une seconde enquête coordonnée sur 4 autres ARS était envoyée à 253 ES, répartis sur 5 jours et 4 horaires. Elle recueillait au moment de l'enquête les ressources mobilisables pour l'accueil au bloc opératoire et urgences sous 30 min. Sur 245 ES répondants, la capacité d'accueil AMAVI au bloc sous 30 min des ES représentait en moyenne 36% et médiane 28% de leur capacité maximale, et ne montrait pas de différence selon l'heure ou le jour de l'enquête (p=0.72 ; p=0.53 ; moy 1.5 patient).



Ce relevé coordonné permet d'estimer les capacités AMAVI au bloc opératoire à 1/3 des capacités disponibles immédiatement (T0), et 1/3 supplémentaire après mise en place de leur plan de gestion de crise (T3), par rapport aux ressources totales de chaque établissement (Tmax).

Reporter ce taux à l'ensemble des établissements permet de fixer un objectif de réponse homogène pour les établissements, et correspondant aux ressources propres à chacun.

Figure 3: Enquête nationale capacité AMAVI T0 sur 253 établissements, 4 ARS, 5 jours, 4 horaires (2022)




Pour la région Normandie, la capacité AMAVI T0 estimée correspond à 66 places immédiates de bloc opératoire en journée (22 en PDSSES) pour les victimes adultes ; 6 places en chirurgie pédiatrique, puis 9 en seconde intention (respectivement 3 et 9 en PDSSES).

Figure 4: Estimation des capacités AMAVI T0 d'après le taux de ressources disponibles observé : au bloc T0=28% Tmax ; résumé des capacités ARS Normandie (totaux par niveau d'expertise et par filière)

ORSAN (selon ressources)	CAPACITE DE SOINS AIGUS												CAPACITES D'HOSPITALISATION							
	EN JOURNEE (de 8h A 18h)				EN PERMANENCE DE SOINS (nuits, week-end et fériés)								EN JOURNEE OU PDS-ES							
	Bloc >30kg	Bloc <30kg 1ere intention	Bloc <30kg 2e intention	Urgences adultes UA	Urgences pédiatriques UA	Urgences adultes UR	Urgences pédiatriques UR	Bloc >30kg PDS	Bloc <30kg 1ere intention PDS	Bloc <30kg 2e intention PDS	Urgences adultes UA PDS	Urgences pédiatriques UA PDS	Urgences adultes UR PDS	Urgences pédiatriques UR PDS	REA Ad ou >16 ans	REA PED <16 ans	REA NEO <30j	USC Ad ou >16 ans.	USC PED <16 ans.	USC NEO <30j.
Experts	12	6	3	22	10	55	24	8	3	3	11	5	27	12	21	6	3	26	8	9
1ere L						12														
	16		6	42		7		14		6	24		63		12		2	36		10
2e L	38			6		16							8							
Total	66	6	9	70	10	3	24	22	3	9	35	5	91	12	33	6	5	62	8	19

3. Évaluation des capacités nationales

La même méthode d'évaluation a été appliquée pour l'ensemble des établissements du territoire, classés par niveau d'expertise selon leur catégorie ORSAN. Les capacités T0 renseignées sont donc des estimations d'après les ressources propres de l'établissement (Tmax théorique, selon données DREES), et leur part disponible sous 30 min (T0 observé, sur enquête de 300 ES). En cas d'événement réel, l'envoi d'une enquête flash aux ES permet d'intégrer les capacités réelles du jour.

- 
 - **Ces estimations donnent un repère pour aider ARS et ES** à définir ensemble un objectif de capacité AMAVI, par filière, en fonction des particularités propres au territoire.
 - **Chaque ARS peut ensuite intégrer ses objectifs T0 par établissement**, pour évaluer les points de rupture par filière pour différents sites (métropoles, grands événements, sites touristiques).
 - **Ces points de rupture du territoire peuvent ensuite être confrontés** à chacun des 64 événements survenus en Europe depuis 30 ans.

ETAPE 4 : STRUCTURATION DE LA REPONSE : CARTOGRAPHIE DES POINTS DE RUPTURE

1. Points de rupture statiques

La répartition des capacités d'accueil AMAVI sur le territoire a été étudiée en termes de délai d'accès à un établissement receveur, pour chaque zone du territoire national. La couverture en accès AMAVI est de 92% de la population adulte du territoire à <30min d'un bloc, et 99% d'un service d'urgences. Pour les victimes pédiatriques elle correspond à 41% de la population <11 ans (<30kg) en accès <30min à un bloc et 50% à un service d'urgences pédiatriques. La stratégie de 2^e intention permet un maillage plus fin du territoire avec un accès au bloc <30min pour 76% de la population de <11ans. Le transport hélicoptéré ramène ce taux à 88% d'accès bloc <30min pour la population de <11ans.

2. Points de rupture dynamiques

Pour la région Normandie, la capacité AMAVI T0 estimée correspond à 66 places immédiates de bloc opératoire en journée. **Cependant en fonction du lieu de l'événement, l'ensemble de ces places ne serait pas accessible** pour une prise en charge de patients graves dans des délais compatibles, et certaines orientations se feraient en dehors du périmètre régional. Le point de rupture dynamique dépend donc du site de l'événement, comme

étant le **nombre de places accessibles à moins d'une heure de transport routier et hélicoptéré, indépendamment des limites administratives régionales ou zonales.**

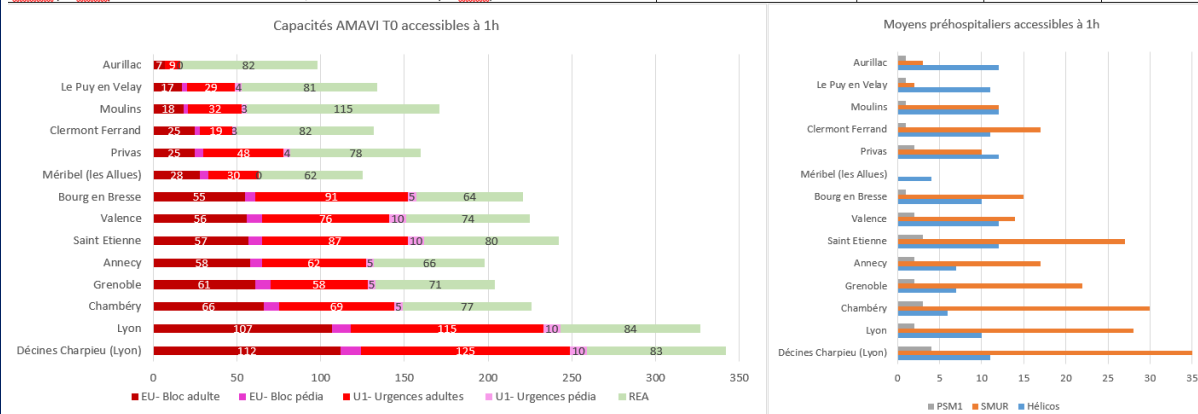
Au sein d'une région, ces points de rupture peuvent être évalués pour différents sites prioritaires : principales agglomérations et chefs-lieux, sites de grands rassemblements, sites touristiques. Cette évaluation dresse une cartographie des moyens de réponse accessibles en moins d'une heure pour chaque site :

- capacités AMAVI T0 au bloc et urgences accessibles à moins d'une heure du site
- moyens SMUR, hélicos, PSM disponibles sur site en moins d'une heure

Cette évaluation a été construite pour plusieurs régions à partir des estimations T0 de chaque établissement revues par les référents de secteur.

Figure 5: Points de rupture T0 par site prioritaire (ARS Auvergne-Rhône-Alpes), places et moyens accessibles à 1h

Evénements prudentiels Sites retenus	Coordonnées	Site spécifique	Dep	Jauge	Points de rupture T0 (capacités accessibles à <1h de transport du site) D'après les ressources des ES 2022 et les conditions de circulation réelles 2022								
					Bloc adulte T0	Bloc pédiat 1ere intention*	Bloc pédiat 2e intention*	Urgences adultes UA	Urgences pédiatriques UA	Ambulances disponibles	Hélicos disponibles	SMUR disponibles	PSM1 disponibles
Lyon	4.87574,45.748441	Zénith		6500 p	107	11	8	115	10		10	28	2
Décines Charpieu (Lyon)	4.981689,45.767909	Groupama Stadium		59 000 p	112	12	6	125	10		11	35	4
Saint Etienne	4.393509,45.425798	Stade Guichard		42 000 p	57	8	5	87	10		12	27	3
Bourg en Bresse	5.241985,46.206576				55	6	3	91	5		10	15	1
Moulins	3.327856,46.55907				18	3	2	32	3		12	12	1
Privas	4.59523,44.728051				25	5	5	48	4		12	10	2
Aurillac	2.435053,44.918771				7	0	4	9	0		12	3	1
Valence	4.923011,44.921313				56	9	8	76	10		12	14	2
Grenoble	5.724855,45.181362				61	9	7	58	5		7	22	2
Le Puy en Velay	3.899201,45.030881				17	3	4	29	4		11	2	1
Clermont Ferrand	3.107042,45.786671				25	3	1	19	3		11	17	1
Chambéry	5.909299,45.583223				66	9	12	69	5		6	30	3
Anncy	6.125316,45.901548				58	7	7	62	5		7	17	2
Méribel (les Allues)	6.556257,45.430737	(les Allues)			28	5	5	30	0		4	0	0



Interprétation : Pour un événement majeur survenant à Aurillac, les ES situés à moins d'une heure disposent des ressources pour un accueil à T0: Au bloc opératoire de 7 patients adultes ou 0 pédiatriques (Chir ped) ou 4 pédiatriques de 2e intention (ES de 1ere ligne identifiés). Aux urgences de 9 adultes, aux urgences pédiatriques de 0 enfants. Les ES situés à moins d'une heure disposent des ressources préhospitalières en moins d'une heure sur site: d'après la SAE: 12 hélicoptères, 3 SMUR, 1 PSM1 (à ajuster selon PZM). En cas d'événement réel, les capacités de soins aigus doivent être recueillies par une enquête immédiate, et les places d'hospitalisation remontées par le ROR

3. Suivi « Tableau de bord » pour la planification, et la gestion de crise selon les ressources de chaque territoire

Sur un événement SSE, le suivi dynamique des points de rupture pour chaque filière de soins s'exerce sur 9 dimensions :

1. Les victimes (notion de volume, puis de profils particuliers)
2. La cinétique (notion d'impact immédiat, puis d'impact prévisible)
3. Les moyens (disponibles, puis nécessaires)
4. Les transferts (notion de distances, puis de délais)
5. Les capacités d'accueil AMAVI par filière (en soins, puis en hospitalisation)
6. Les compétences et niveaux de recours (Expert, 1ere ligne, 2e ligne, 3e ligne)
7. La période de recours (jour, ou PDES)
8. Le lieu (un événement, ou multisites)
9. Les acteurs (de soins, puis gestionnaires)

Chacune de ces dimensions impacte les autres, soit comme une contrainte imposée (par l'événement ex : lieu, nombre de victimes), soit comme un facteur modulable (par la stratégie ex : nombre d'équipes)

mobilisées). **Un outil informatique prenant en compte ces paramètres permet de rechercher le point d'équilibre au fur et à mesure de la crise, pour améliorer l'efficacité de la réponse du système de santé.**

L'environnement de gestion SSE est constitué plusieurs outils métiers santé:

- Si-SAMU permettant la régulation médicale, et une interopérabilité entre SAMU.
- Si-VIC permettant d'établir la traçabilité des victimes et de leur parcours de soins.
- Le ROR assurant le recensement des lits d'aval

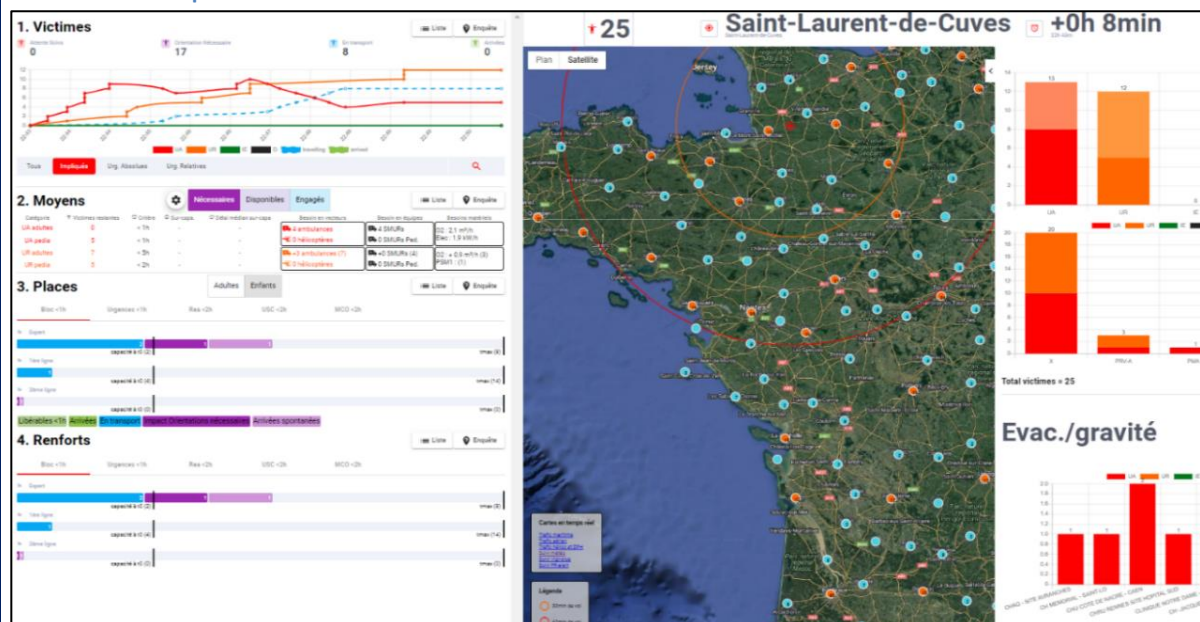
La construction d'un outil de suivi dynamique de ces points de rupture, articulé avec ces 3 outils, peut apporter des informations pour la planification comme pour la gestion de crise réelle (estimation des moyens de transfert nécessaires, anticipation de l'impact attendu sur les capacités d'accueil des établissements, prévision du volume d'arrivées spontanées, etc.).

Ce suivi des points de rupture s'appuie sur l'obtention de données fiables et structurées auprès des établissements de santé, par l'intermédiaire d'un répertoire opérationnel commun adapté aux dispositions spécifiques en SSE. On y recense dans chaque filière de soins les ressources définies comme essentielles, immédiatement disponibles (T0), libérables après la réorganisation de l'activité par le plan de crise de l'établissement (T3), ou maximale correspondant au plafond de ressources référencées sur l'établissement (Tmax).

L'utilisation d'un outil commun permet de suivre les points de rupture au-delà des frontières régionales, comme étant les capacités de recours situées dans un périmètre de 1h de transfert autour du lieu de l'événement. La mise en place d'un tableau de bord partagé entre les différents acteurs et les différents sites de prise en charge permet d'améliorer et fiabiliser le suivi et la gestion de crise. L'évaluation va s'appuyer sur les données « froides » disponibles (observations antérieures), puis progressivement s'ajuster avec des données « chaudes » (relevés immédiats) mis à jour en temps réel.

Ce suivi va permettre à la fois une phase de planification pour définir les points de rupture par filière, la mise en place d'une stratégie précoce en début d'événement, puis l'aide à la gestion de crise réelle en permettant un partage de données plus efficient. Utiliser le même outil de planification pour gérer un événement en temps réel serait un principe important pour améliorer la stratégie, la rapidité ainsi que l'efficacité de la réponse.

Figure 6: Exemple d'interface de suivi « Tableau de bord », pour la planification et l'aide à la gestion de crise selon les ressources de chaque territoire

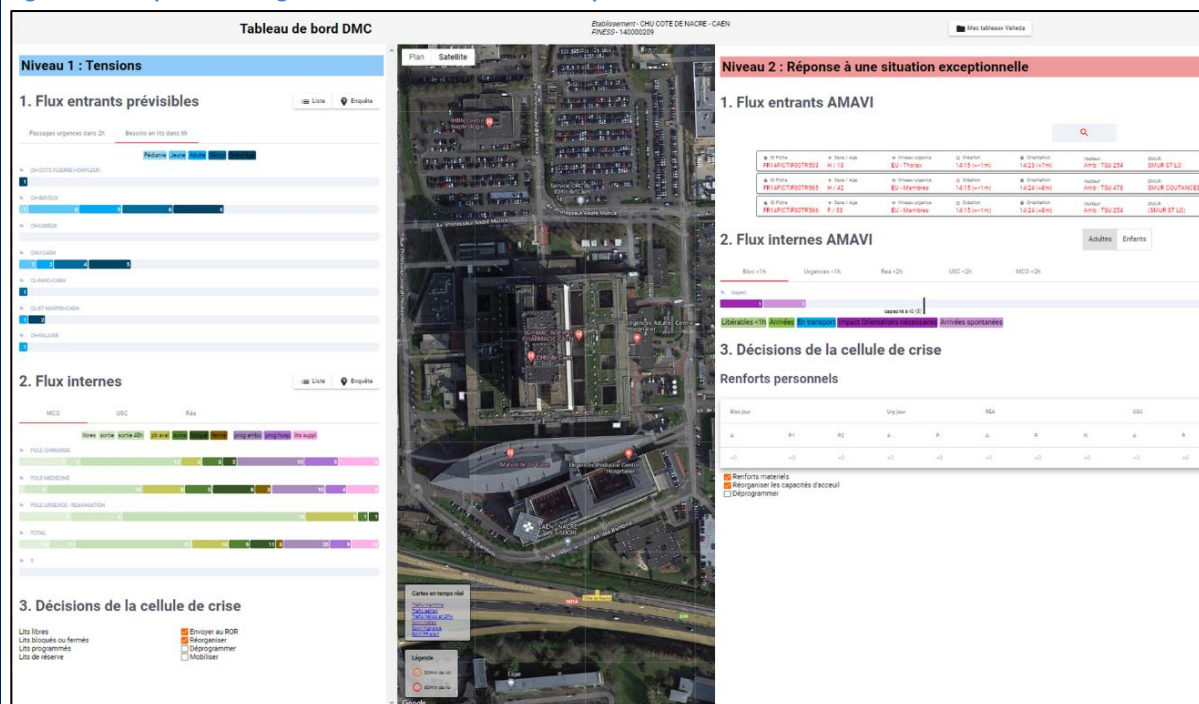


Légende : Le bandeau « flux » à gauche affiche en temps réel 4 indicateurs : Victimes, Moyens, Places, Renforts. Chacun de ces indicateurs est affiché en vue graphique ou cumulée, puis en liste détaillée, puis l'enquête pour mise à jour les données.

1-Victimes : graphe des flux victimes UA ou UR sur site, en transport, arrivées. Priorisation automatique des victimes par gravité, puis lésions, puis âge. **2- Moyens** : Evaluation en temps réel des vecteurs routier ou hélicoptés, équipes SMUR, consommation d'oxygène, électrique, et PSM nécessaires pour les victimes sur site (moyens nécessaires, disponibles, ou engagés). **3-Places** : Le graphique représente le cumul des capacités T0 accessibles en 1h de transport, par filière, par niveau d'expertise ORSAN, et les capacités T0 estimées, devenant réelles dès la réponse à l'enquête flash des ressources bloc-urgences. **Le graphique représente l'impact des victimes sur les capacités T0 du secteur** : 1/ dès le début d'événement : l'impact attendu de la prise en charge de toutes les victimes sur les capacités accessibles, et

l'impact prévisible des arrivées spontanées. 2/ au fur et à mesure des orientations le décompte des patients en transport, arrivés (en soins), place libérable <1h. **4-Renforts** : En cas de dépassement du point de rupture, l'outil affiche pour chaque ES, combien de places de soins sont à constituer en supplément pour les prochaines heures, pour prendre en charge les victimes excédentaires dans les délais (mesure des renforts à solliciter par filière, dès le début d'événement). **5- Bilan cumulé** par gravité, par site, par destination. **6- Enquête capacitaire** vers les ES selon leur accès <1h ou <2h du site, et selon leur niveau d'expertise. **Recensement des ressources immédiates (T0) et après plan de crise (T3) pour bloc, urgences. B- Profils spécifiques** : Terrain, SAMU, ARS, Etablissements de Santé.

Figure 7: Exemple d'affichage « Tableau de bord » de suivi pour un établissement et son directeur médical de crise



Légende : selon le niveau de mobilisation de l'établissement : Niveau 1 (bandeau à gauche): suivi des tensions et mobilisation interne, Niveau 2 (bandeau à droite): réponse à une situation sanitaire exceptionnelle. Chaque bandeau permet le suivi en temps réel des flux entrants (flux de régulation SAMU), flux internes (SI-bed manager), et principales décisions de la cellule de crise.

ETAPE 5: ELABORATION D'UN PLAN DE FORMATION

La formation des professionnels du secteur sanitaire (quel que soit leur mode d'exercice), publics et privés, constitue un élément important de la préparation de la réponse aux situations sanitaires exceptionnelles. Celle-ci associe formation initiale et développement personnel continu au travers de la formation aux gestes et soins d'urgence (AFGSU 1, 2 et spécialisée). La formation aux situations sanitaires exceptionnelles s'inscrit dans le programme de développement et de maintien des capacités de réponse. Elle est à ce titre coordonnée par l'ARS qui définit les objectifs de formation notamment de formateurs, en lien avec les opérateurs de soins dans le cadre d'un plan régional de formation aux situations sanitaires exceptionnelles.

ETAPE 6 : REALISATION D'EXERCICES - Panels tests de RETEX européens

Chaque situation entraînant l'afflux massif de patient est par définition exceptionnelle en fonction des typologies d'événement (accident ferroviaire, explosion), des profils de victimes (adultes ou pédiatriques), ou de son ampleur (nombre d'urgence absolues, ou d'impactés). L'offre de soin du territoire ne sera pas impactée de la même manière ce qui rend la planification difficile. L'impact de la SSE sur l'offre de soin hospitalière AMAVI est directement lié au nombre de transferts total et en urgence absolue. Au sein d'une région l'impact peut également être très différent en fonction du lieu de l'événement SSE.

La connaissance des capacités AMAVI par filière de chaque établissement de santé permet de tester l'impact d'une situation SSE en différents lieux du territoire. Ces tests de planification permettent d'évaluer en fonction du site de l'événement l'impact sur les délais de transfert, sur la mobilisation des équipes, et donc l'efficacité attendue des prises en charge (proportion d'UA avec accès <1h à un établissement de santé).

L'utilisation de panels de victimes issus des situations SSE réellement survenues permet d'évaluer la réponse attendue d'un territoire à une situation réaliste (même nombre de victimes, lésionnels, gravités, délais de présentation à la régulation). Elle permet de comparer la réponse d'un territoire à différentes situations (accident ferroviaire, brûlés multiples, etc.), ou de comparer la réponse de différents territoires à une même

situation (accident ferroviaire en métropole ou en territoire rural). Elle permet d'entraîner les professionnels des SAMU à la régulation de multiples victimes sur leur propre territoire.

Un travail de revue articles avec bilan victimaire des bases scientifiques (Pubmed), attentat (GTD), accidents de transport (BEA), et industriels (BARPI), a retenu 120 articles et rapports détaillant le bilan initial de 62 SSE survenues en Europe depuis 1995. **L'événement SSE moyen européen correspond à la prise en charge de 235 victimes dont 105 hospitalisations, dont 21 UA (9%).** L'événement médian correspond à 71 victimes dont 48 hospitalisations dont 13 UA (18%). L'analyse par type d'événement définissait sept panels moyens distincts : attaque balistique, explosif, véhicule-bélier, incendie, accident industriel ou transport, mouvements de foule.

	WESTERN EUROPE							EASTERN EUROPE						
	Total victims	Death on site		Hospital transfer		AE transfer		Total victims	Death on site		Hospital transfer		AE transfer	
SUMMATION	14071	121	9%	597	42%	1130	8%	2755	530	19%	1572	57%	365	13%
AVERAGE	235	20	8%	105	45%	21	9%	344	66	19%	197	57%	52	15%
MEDIAN	71	8	11%	48	68%	13	18%	170	24	14%	97	57%	22	13%
STANDART DEVIATION	425	33	8%	137	32%	26	6%	407	108	26%	231	57%	84	21%
AVERAGES :														
Ballistic	109	33	31%	70	64%	23	21%	987	216	22%	552	56%	136	14%
Explosion	425	42	10%	189	44%	41	10%	308	68	22%	142	46%	65	21%
Raim raids	155	24	16%	89	57%	22	14%	0	-	-	-	-	-	-
Rail accident	191	21	11%	120	63%	20	10%	60	8	13%	52	87%	9	15%
Industrial accident	634	13	2%	166	26%	17	3%	0	-	-	-	-	-	-
Fire incident	210	16	7%	71	34%	23	11%	0	-	-	-	-	-	-
Road accident	60	7	11%	29	48%	5	9%	0	-	-	-	-	-	-
Plane accident	135	9	7%	66	49%	31	23%	0	-	-	-	-	-	-

Tableau 1: Type d'événements AMAVI en Europe occidentale et orientale.

Ces panels SSE européen moyen et médian identifient deux repères à confronter aux points de rupture de chaque territoire. Les 62 panels individuels constituent un outil d'entraînement sur situations réelles transposable dans chaque territoire.



Ces différents éléments doivent permettre de définir le seuil de rupture capacitaire départemental et régional des différentes filières de prise en charge AMAVI, pour permettre en tant que de besoin d'anticiper le recours aux renforts zonaux, voire nationaux.

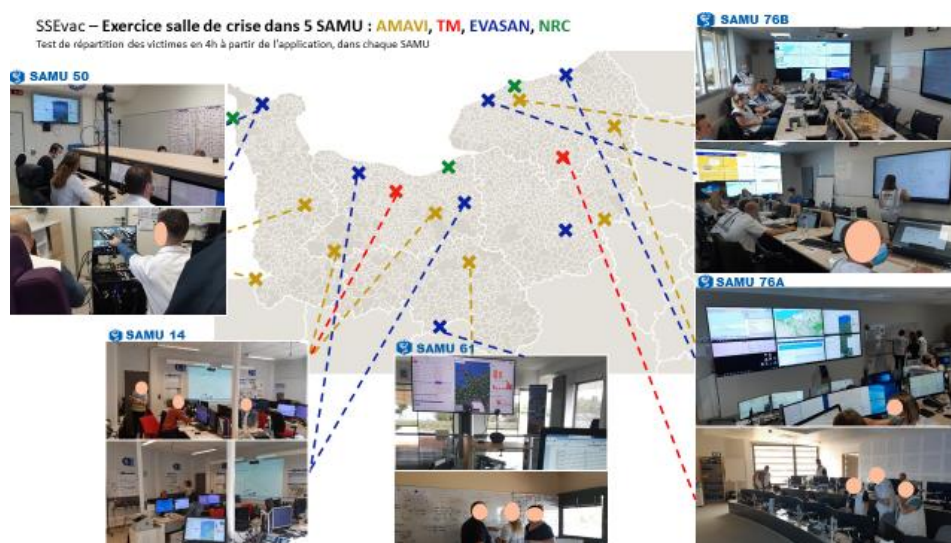
Location	Country	Year	Typology	Total victims	Death on site	Hospital transfer	AE transfer			
Vienna (18)	Austria	2020	Ballistic	27	4	15%	23	85%	7	26%
Chantermerle-Les-Blés (19)	France	2018	Bus accident and fire	31	3	10%	20	65%	8	26%
Millas (20)	France	2017	Bus and rail accident	40	4	10%	14	35%	5	13%
London (21)	United Kingdom	2017	Explosive	69	0	0%	29	42%	17	25%
Barcelona (22)	Spain	2017	Ram-raids	139	13	9%	49	35%	17	12%
London (23,24)	United Kingdom	2017	Building fire	293	70	24%	72	25%	11	4%
London (23)	United Kingdom	2017	Raim-raids and stabbing attack	56	8	14%	48	86%	21	38%
Manchester (25)	United Kingdom	2017	Explosive device	250	20	8%	160	64%	28	11%
London (23,26)	United Kingdom	2017	Raim-raids and stabbing attack	54	5	9%	48	89%	12	22%
Charolles (27)	France	2017	Bus accident and fire	32	4	13%	28	88%	3	9%
Croydon (28)	United Kingdom	2016	Rail accident	70	7	10%	63	90%	19	27%
Berlin (29)	Germany	2016	Raim-raids and stabbing attack	68	12	18%	56	82%	18	26%
Munich (30)	Germany	2016	Ballistic	44	9	20%	35	80%	10	23%
Nice (31-34)	France	2016	Raim-raids and stabbing attack	458	84	18%	243	53%	41	9%
Brussels (35)	Belgium	2016	Explosive device	231	28	12%	195	84%	38	16%
Rosenheim (36)	Germany	2016	Rail accident	91	10	11%	81	89%	19	21%
Strasbourg (37)	France	2015	Rail accident	53	11	21%	29	55%	21	40%
Paris (38-40)	France	2015	Explosive device and ballistic	495	129	26%	337	68%	124	25%
Puisseguin (41)	France	2015	Bus accident and fire	51	43	84%	8	16%	4	8%
Paris (42,43)	France	2015	Ballistic	23	12	52%	11	48%	3	13%
Denguin (44)	France	2014	Rail accident	120	0	0%	33	28%	4	3%
Saint Jacques de Compostelle (45)	Spain	2013	Rail accident	220	63	29%	157	71%	33	15%
Brétigny sur Orge (46)	France	2013	Rail accident	303	7	2%	32	11%	11	4%
Sausheim (47)	France	2012	Bus accident and fire	65	2	3%	42	65%	13	20%
Vidauban (48)	France	2012	Bus accident and fire	42	1	2%	32	76%	*	*
Amsterdam (49)	Netherlands	2012	Rail accident	250	1	0%	188	75%	23	9%
Quimper (50)	France	2012	Bus accident and fire	28	0	0%	28	100%	3	11%
Oslo- Utøya (51-53)	Norway	2011	Explosive device and ballistic	153	77	50%	75	49%	13	8%
Ajka (55,56)	Hungary	2010	Industrial accident and toxic sludge	790	10	1%	126	16%	12	2%
Duisburg (57,58)	Germany	2010	Explosion	560	21	4%	473	84%	8	1%
Barcelona (59)	Spain	2010	Rail accident	29	12	41%	17	59%	10	34%
Cumbria (60)	United Kingdom	2010	Ballistic	23	12	52%	11	48%	5	22%
Buizingen (61)	Belgium	2010	Rail accident	310	19	6%	171	55%	34	11%
Choisy-Le-Roi (62)	France	2009	Rail accident	37	0	0%	32	86%	2	5%
Burgos (22)	Spain	2009	Explosive car	120	0	0%	64	53%	*	*
London (63)	United Kingdom	2009	Building fire	57	3	5%	16	28%	3	5%
Viareggio (55)	Italy	2009	Rail explosion	75	25	33%	50	67%	30	40%
Amsterdam (64)	Netherlands	2009	Airplane accident	135	9	7%	66	49%	31	23%
Courselles-Chaussy (55)	France	2008	Car accident	143	1	1%	28	20%	3	2%
Lyon (55)	France	2008	Gaz explosion	40	1					
Paris (65)	France	2007	Rail accident	71	0	0%	45	63%	*	*
Uppsala (66)	Sweden	2007	Bus accident and fire	60	6	10%	54	90%	3	5%
London (67,68)	United Kingdom	2005	Explosive device	775	53	7%	404	52%	55	7%
Madrid (69)	Spain	2005	Explosive car	43	0	0%	24	56%	11	26%
Ghislenghien (55)	Belgium	2004	Gaz explosion	103	24	23%	50	49%	*	*
Glasgow (55)	United Kingdom	2004	Industrial accident and explosion	51	7	14%	44	86%	16	31%
Madrid (70-73)	Spain	2004	Explosive device	2062	177	9%	509	25%	83	4%
Saint-Nazaire (55)	France	2003	Industrial accident	45	16	36%	29	64%	6	13%
Coulombiers (55)	France	2002	Car accident	95	8	8%	33	35%	6	6%
Ougree (55)	Belgium	2002	Industrial accident and explosion	42	3	7%	39	93%	13	31%
Toulouse (74-76)	France	2001	Industrial accident and explosion	2242	30	1%	590	26%	39	2%
Volendam (55,77-79)	Netherlands	2001	Fire	348	4	1%	241	69%	112	32%
Madrid (80)	Spain	2000	Explosive	67	3	4%	64	96%	3	4%
Enschede (55,81)	Netherlands	2000	Firework explosion	974	18	2%	*	*	50	5%
Gothenburg (82,83)	Sweden	1998	Fire	375	61	16%	180	48%	24	6%
Omagh (84)	Ireland	1998	Explosive	363	27	7%	336	93%	9	2%
Dunblane (85)	Scotland	1996	Ballistic	33	16	48%	16	48%	6	18%
Rijeka (86)	Croatia	1995	Explosive	27	0	0%	11	41%	5	19%
Paris (87)	France	1995	Explosive	150	8	5%	117	78%	25	17%

Tableau 2: Inventaire des événements AMAVI en Europe occidentale. Informations sur la date, le lieu et le type d'événement, ainsi que le nombre de victimes avec le nombre de décès sur place, les victimes transférées à l'hôpital et les blessés graves. Abréviation AE Urgence Absolue.

La réalisation d'entraînements spécifiques de répartition de très nombreuses victimes en salles de crises SAMU – CRAPS permet d'entraîner les équipes sur la gestion du même événement dans leur territoire, et d'observer la réponse possible propre à chaque secteur en respectant les délais d'engagement, de transport, et les places disponibles du secteur.

Cet événement moyen des 310 victimes a été appliqué dans chaque SAMU normand, par un exercice de crise sur un site isolé de son territoire (nœud ferroviaire, festival, site touristique). Ces cinq tests en sites isolés (limites de secteurs) ont permis d'observer les délais attendus :

- **d'arrivée de l'ensemble des SMUR** nécessaires en temps de route réels (médian 64 min, max 128 min) ;
- **de départ possible des 21 patients UA** (médian 102 min, max 188min)
- **d'arrivée possible des 21 patients UA** dans un ES du secteur selon sa capacité AMAVI T0 (médian 200min max 309min)



ETAPE 7 : EVALUATION DU DISPOSITIF : Évaluations multirisques et dispositifs prudents

Le suivi des points de rupture s'appuie sur l'obtention de données fiables et structurées auprès des établissements de santé et leur recueil coordonné en exercice comme en cas d'événement réel (figure 7).

Ce suivi va permettre à la fois une phase de planification pour définir les points de rupture par filière, la mise en place d'une stratégie précoce en début d'événement, puis l'aide à la gestion de crise réelle. Utiliser le même outil de planification pour gérer un événement en temps réel est un principe important pour améliorer la stratégie et l'efficacité de la réponse.

Le dispositif ORSAN régional est évalué au regard des 9 modalités prises en compte : Les victimes (notion de volume, puis de profils particuliers), la cinétique (notion d'impact immédiat, puis d'impact prévisible), les moyens (disponibles, puis nécessaires), les transferts (notion de distances, puis de délais), les capacités d'accueil AMAVI par filière (en soins puis en hospitalisation), les compétences et niveaux de recours (Expert, 1^{ère} ligne, 2^e ligne), la période de recours (jour, ou PDSes), le lieu (un événement, ou multisites), les acteurs (de soins, puis gestionnaires).

A celles-ci s'ajoute différents choix stratégiques dont l'intérêt dépend de chaque territoire (orientations liées, organisation de convois, transfert d'équipes chirurgicales, etc). Le bénéfice de chacune de ces stratégies doit être évalué en planification en fonction de l'offre de soins AMAVI du territoire, des distances de transfert, et des différents risques SSE. Le bénéfice est évalué en terme d'intérêt individuel et collectif (délai de prise en charge des patients les plus graves), ou de moyens engagés (transports secondaires induits).

Exemple 1 : Réalisation d'orientations liées : orientation des victimes sur une place de soins (bloc ou urgences) uniquement si place d'hospitalisation disponible sur le même établissement (en soins critiques ou MCO). Cette stratégie limite le nombre de transferts secondaires médicalisés, au prix d'un transfert primaire plus long avant accès au bloc opératoire.

Exemple 2 : Organisation de convois sanitaires de 2 patients par équipe SMUR, 1 médicalisé et 1 paramédicalisé. Cette stratégie limite le nombre d'équipes mobilisées et accélère les évacuations médicalisées du site, mais contraint l'orientation sur un même établissement des 2 victimes.

Il doit également prendre en compte la survenue d'un même risque sur plusieurs sites, ou l'association de plusieurs risques sur un même événement :

Exemple 1 : Intempéries entraînant un péril structurel sur plusieurs établissements, avec évacuation de leurs patients vers d'autres structures

Exemple 2 : Incendie sur un établissement de santé entraînant la prise en charge de victimes traumatisées graves, grands brûlés, intoxiquées, et l'évacuation des autres patients non blessés mais en soins dans la structure.

Cette évaluation multirisques est particulièrement intéressante dans le cas de la rédaction des plans de gestion SSE de chaque établissement de santé, et pour la préparation des dispositifs prudents (festivals, événements sportifs, cérémonies officielles, etc.). Cette évaluation multirisques peut être réalisée en planification pour établir les points de rupture et plans de réponses dans une interface de suivi, et y intégrer la gestion de crise en cas d'événement réel.

Plan ORSAN AMAVI : Objectifs à atteindre pour un établissement				Capacité structurelle		Capacité ressource			
Plan ORSAN AMAVI : Objectifs à atteindre pour un établissement de première ligne			Délai de mise en œuvre (ressources mobilisables)	T0	T3	Tmax			
				sous 30 min (ressources présentes mobilisables)	sous 3 heures (ressources après renforts et déprogrammation)	ressources totales de l'établissement, repère théorique			
	Période	Filière de soins	Critères d'évaluation de la capacité dans cette filière de soins						
CAPACITE DE SOINS AIGUS	En journée (de 8h à 18h)	Bloc adulte	Le nombre de patients est déterminé par les ressources mobilisables, L'objectif à atteindre correspond à un tiers des ressources totales de l'établissement sous 30min, deux tiers à 3h, Ces seuils correspondent à la part observée disponible sur un relevé de 300 ES sur 5 ARS en 2022				Tmax = Minimum de (A,B,C,D) employés par l'ES, avec A: nombre total d'Anesthésistes ou IADE, B: nombre total de salles de bloc, C: nombre total de chirurgiens, D: nombre total d'Ibodes		
		Bloc pédiatrique	1ere intention	En 1ere intention : - Les victimes chirurgicales pédiatriques sont orientées vers les centres experts disposant d'un plateau technique spécialisé en chirurgie pédiatrique		50% du Tmax	80% du Tmax	Tmax = Minimum de (A,B,C,D) employés par l'ES, avec A: nombre total d'Anesthésistes ou IADE pédiatriques, B: nombre total de salles de bloc, C: nombre total de chirurgiens pédiatriques, D: nombre total d'Ibodes	
		Bloc pédiatrique	2e intention	En 2e intention, en cas de surcharge des centres de référence : - L'orientation des victimes pédiatriques et >30kg s'appuie sur certains établissements de première ligne identifiés selon 2 conditions : o Ayant pratiqué des actes de chirurgie en hospitalisation complète sur des enfants de moins de 10 ans (seuil de 30kg), d'après l'activité renseignée dans le PMSI. o Appartenant au réseau d'établissements disposants d'une autorisation de maternité de niveau 2 ou 3 (plateau technique chirurgical et pédiatre néonatalogiste 24h/24).		1 enfant >10 ans	1 enfant >10 ans	Si l'établissement remplit les 2 critères (Maternité 2-3 et chirurgie sur enfant) Tmax= 1 patient de 10 à 16 ans (>30 kg) , déduit des capacités adultes	
	En permanence de soins (de 18h à 8h, week ends et fériés)	Bloc adulte	Le nombre de patients est déterminé par les ressources mobilisables en période de permanence des soins (nuit, week end, fériés), L'objectif à atteindre correspond à l'ensemble des lignes d'astreinte ou garde postées référencées sur l'établissement (absence d'activité programmée).				100% du Tmax	100% du Tmax	Tmax = Minimum (A,B,C,D) de personnels d'astreinte ou garde: A: nombre total d'Anesthésistes ou IADE , B: nombre total de salles de bloc ouvrables en nuit ou week end , C: nombre total de chirurgiens d'astreinte ou garde, D: nombre total d'Ibodes d'astreinte ou garde
		Bloc pédiatrique	1ere intention	En 1ere intention : - Les victimes chirurgicales pédiatriques sont orientées vers les centres experts disposant d'un plateau technique spécialisé en chirurgie pédiatrique. L'objectif à atteindre correspond à l'ensemble des lignes d'astreinte ou garde postées référencées sur l'établissement pour la chirurgie pédiatrique.		100% du Tmax	100% du Tmax	Tmax = Minimum (A,B,C,D) de personnels d'astreinte ou garde: A: nombre total d'Anesthésistes ou IADE pédiatriques, B: nombre total de salles de bloc, ouvrables en nuit ou week end , C: nombre total de chirurgiens pédiatriques, D: nombre total d'Ibodes	
		Bloc pédiatrique	2e intention	En 2e intention, en cas de surcharge des centres de référence : - L'orientation des victimes pédiatriques et >30kg s'appuie sur certains établissements de première ligne identifiés selon 2 conditions (identiques à celles en journée)		1 patient	1 patient	Tmax= 1 patient de 10 à 16 ans (>30 kg) si conditions remplis par l'ES, déduit des capacités adultes	

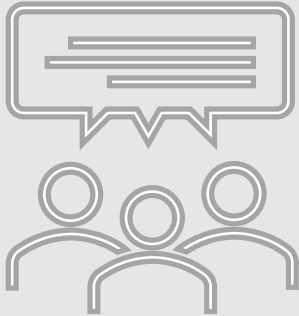
Plan ORSAN AMAVI : Objectifs à atteindre pour un établissement			Capacité structurelle		Capacité ressource	
Plan ORSAN AMAVI : Objectifs à atteindre pour un établissement de première ligne		Délai de mise en œuvre (ressources mobilisables)	T0	T3	Tmax	
			sous 30 min (ressources présentes mobilisables)	sous 3 heures (ressources après renforts et déprogrammation)	ressources totales de l'établissement, repère théorique	
En journée (de 8h à 18h)	Urgences adultes UA	Nombre de patients en urgence absolue, déterminé selon nombre de lignes postées de médecins et infirmiers	70% du Tmax	100% du Tmax	Selon personnels postés en journée aux urgences, (hors personnel partagé avec le SMUR) Tmax= 1 médecin et 2 infirmiers pour 2 patients UA	
	Urgences pédiatriques UA	Nombre de patients en urgence absolue, déterminé selon nombre de lignes postées de médecins et infirmiers	70% du Tmax	100% du Tmax	Selon personnels postés en journée aux urgences pédiatriques, (hors personnel partagé avec le SMUR) Tmax= 1 médecin et 2 infirmiers pour 2 patients UA	
	Urgences adultes UR	Nombre de patients en urgence relative, déterminé selon nombre de lignes postées de médecins et infirmiers	70% du Tmax	100% du Tmax	Selon personnels postés en journée aux urgences, (hors personnel partagé avec le SMUR) Tmax= 1 médecin et 2 infirmiers pour 5 patients UR	
	Urgences pédiatriques UR	Nombre de patients en urgence relative, déterminé selon nombre de lignes postées de médecins et infirmiers	70% du Tmax	100% du Tmax	Selon personnels postés en journée aux urgences pédiatriques, (hors personnel partagé avec le SMUR) Tmax= 1 médecin et 2 infirmiers pour 5 patients UR	
	En permanence de soins (de 18h à 8h, week ends et fériés)	Urgences adultes UA	Nombre de patients en urgence absolue, déterminé selon nombre de lignes postées de médecins et infirmiers	70% du Tmax	100% du Tmax	Selon personnels en garde ou postés en période PDS aux urgences, (hors personnel partagé avec le SMUR) Tmax= 1 médecin et 2 infirmiers pour 2 patients UR
		Urgences pédiatriques UA	Nombre de patients en urgence absolue, déterminé selon nombre de lignes postées de médecins et infirmiers	70% du Tmax	100% du Tmax	Selon personnels en garde ou postés en période PDS aux urgences pédiatriques, (hors personnel partagé avec le SMUR) Tmax= 1 médecin et 2 infirmiers pour 2 patients urgences absolues
		Urgences adultes UR	Nombre de patients en urgence relative, déterminé selon nombre de lignes postées de médecins et infirmiers	70% du Tmax	100% du Tmax	Tmax=1 médecin et 2 infirmiers pour 5 patients en UR
		Urgences pédiatriques UR	Nombre de patients en urgence relative, déterminé selon nombre de lignes postées de médecins et infirmiers	70% du Tmax	100% du Tmax	Tmax=1 médecin et 2 infirmiers pour 5 patients en UR
CAPACITES HOSPITALISATION	EN JOURNEE OU PDS-ES	REA Adulte ou >16 ans	Repère des lits accessibles à T0 selon le taux d'occupation annuel	5% du Tmax	7% du Tmax	Tmax = nombre de lits installés en réanimation adulte
		REA Pédiatrique <16 ans	Repère des lits accessibles à T0 selon le taux d'occupation annuel	18% du Tmax	30% du Tmax	Tmax = nombre de lits installés en réanimation pédiatrique
		REA Néonatale <30j	Repère des lits accessibles à T0 selon le taux d'occupation annuel	10% du Tmax	15% du Tmax	Tmax = nombre de lits installés en réanimation néonatale
		USC Adulte ou >16 ans.	Repère des lits accessibles à T0 selon le taux d'occupation annuel	30% du Tmax	50% du Tmax	Tmax = nombre de lits installés en unité de soins continus adultes
		USC Pédiatrique <16 ans.	Repère des lits accessibles à T0 selon le taux d'occupation annuel	10% du Tmax	15% du Tmax	Tmax = nombre de lits installés en unité de soins continus pédiatriques
		USC Néonatal <30j.	Repère des lits accessibles à T0 selon le taux d'occupation annuel	25% du Tmax	30% du Tmax	Tmax = nombre de lits installés en unité de soins continus néonataux

Plan ORSAN AMAVI : Enquête capacitaire type

<input type="checkbox"/> EXERCICE <input type="checkbox"/> EVENEMENT REEL		
Nom de l'établissement :	(contact tel /mail : _____)	<input type="checkbox"/> Relevé effectué le __/__/__ à __:__:__ par _____ (contact tel /mail : _____)
<input type="checkbox"/> Envoyé à l'établissement : le __/__/__ à __:__:__		<input type="checkbox"/> Reçu du retour ES : le __/__/__ à __:__:__
Capacité structurelle		
Capacités AMAVI au bloc opératoire	Sous 30 minutes <i>(T0 immédiate)</i>	Dans 3 heures <i>(T3 montée en puissance)</i>
Anesthésie (A)		
• Infirmiers anesthésistes (IADE)		
• Médecins anesthésistes-réanimateurs (MAR)		
• Médecins anesthésistes ou réanimateurs pédiatriques		
Bloc (B)		
• Salles de bloc disponibles		
Chirurgiens (C)		
• Orthopédistes		
• Viscéraux		
• Thoraciques		
• Neurochirurgiens		
• Pédiatriques		
• Autres spécialités		
Dispositif chirurgicaux (D)		
• Matériel stérilisé de bloc opératoire : boîtes disponibles pour blessures multiples		
Donc, capacité AMAVI au bloc (minimum de l'ensemble (A,B,C,D)) :	___ UA	___ UA
A part : Embolisation : Capacités radio-interventionnelles (praticiens, salles et équipements spécialisés disponibles)	___ UA	___ UA

Capacités AMAVI aux Urgences	Capacité structurelle	
	Sous 30 minutes (T0 immédiate)	Dans 3 heures (T3 montée en puissance)
Urgences adultes		
• Urgentistes présents		
• Infirmiers présents		
• Box monitorés/SAUV		
Donc, nombre de patients adultes en AMAVI (par trinôme médecin+2 IDE = prise en charge de 2 UA ou 5 UR) :	__ UA ou __ UR	__ UA ou __ UR
Urgences pédiatriques		
• Pédiatres urgentistes présents		
• Infirmiers présents		
• Box monitorés/SAUV		
Donc, nombre de patients adultes en AMAVI (par trinôme médecin+2 IDE = prise en charge de 2 UA ou 5 UR) :	__ UA ou __ UR	__ UA ou __ UR
Plateau technique imagerie et biologie		
• Radiologues présents		
• Manipulateurs d'électroradiologie présents		
• Biologistes présents		
• Techniciens de laboratoire présents		
Capacités AMAVI en lits d'hospitalisation		
	Sous 30 minutes (T0 immédiate)	Dans 3 heures (T3 montée en puissance)
MCO et soins critiques adultes		
• Hospitalisation conventionnelle en chirurgie		
• Hospitalisation conventionnelle en obstétrique		
• Hospitalisation conventionnelle en médecine		
• Soins critiques : réanimation		
• Soins critiques : unité soins intensifs		
MCO et soins critiques pédiatriques		
• Hospitalisation conventionnelle chirurgie		
• Hospitalisation conventionnelle médecine		
• Soins critiques : réanimation		
• Soins critiques : unité soins intensifs		

Construction de la méthode en groupes de travail d'experts métiers (2019-2020)



- **Article 1: Defining hospital surge capacities and regional breakpoints for mass critical casualties: the national MassCare indicator**

AUBRION A, EID Y, LEFEVRE-SCELLES A, LAQUIEVRE A, VILLEDIEU F, REICHLING A, CORBIN C, MACREZ R, MORELLO R, GUITTET L

Article en review

ARTICLE 1 : METHODE

Définir les capacités de pointe des hôpitaux et les points d'arrêt régionaux pour les blessés critiques : l'indicateur national MassCare

RESUME DE L'ARTICLE 1 – METHODE

**Les références, tables et figures repris dans le résumé ci-dessous sont indexés par rapport à leur citation dans l'article 1 – Méthode.*

INTRODUCTION

Les plans de gestion de crise sont conçus pour gérer les incidents soudains faisant un grand nombre de victimes. Le système de santé doit s'adapter rapidement à un changement de paradigme, en appliquant des protocoles de triage, en adaptant les soins et en coordonnant les ressources humaines et matérielles pour augmenter la capacité de soins aigus.(1,2)

Il est crucial d'évaluer de manière préventive la capacité d'accueil de nombreuses victimes dans chaque hôpital. Elle permet d'estimer le total de places accessibles par filière, définissant les seuils de ruptures régionaux. Cependant, ces évaluations a priori sont difficiles, manquent de preuves scientifiques et ne disposent pas de méthodes de quantification universellement acceptées (1,3,4). Les évaluations empiriques utilisent des valeurs de substitution liées au nombre de lits d'hôpitaux (5,6) au nombre de lits aux urgences(7,8). ou le nombre de personnel ou d'équipement.(4,6,9) Mais ces évaluations peuvent être trompeuses si elles ne déduisent pas les ressources utilisées pour les patients courants . (10-12) Les modèles de simulation peuvent remettre en question la validité de la capacité de pointe et estimer des points de rupture territoriaux.(13) Ces points de rupture correspondent au cumul du nombre de patients admissibles d'un secteur. (14)

Les experts ont proposé soit une capacité de pointe des hôpitaux territoriaux de 50 à 500 patients par million d'habitants au-dessus du nombre de lits habituellement disponibles 15, soit une augmentation de 300 % de la capacité habituelle des unités de soins intensifs des hôpitaux.16 Mais peu d'études ont testé la réalité de cette capacité territoriale, ni son seuil par million d'habitants.5,6 La détermination empirique du nombre de victimes varie selon le type de catastrophe.10,17 Néanmoins, la standardisation de l'évaluation des capacités de pointe permettrait une planification plus efficace, en particulier lorsqu'une situation de crise nécessite des interventions interétatiques ou des collaborations internationales.(1)

En France, le Ministère de la Santé a défini une stratégie nationale d'organisation de la réponse sanitaire (ORSAN), déclinée en cinq plans et sept dispositions transversales selon la nature du risque : afflux massif de victimes (AMAVI), contamination nucléaire, radiologique ou chimique (NRC), risque émergent biologique (REB), épidémies saisonnières et risque climatique (EPI-CLIM) et urgences médico-psychologique (UMP) (20-21). Les établissements de santé sont classés en trois niveaux d'expertises : les centres de seconde ligne (SL) (avec plateau chirurgical mais sans service d'urgence), les centres de première ligne (PL) (services d'urgence et plateau chirurgical disponibles 24h/24), y compris les centres experts (Exp) (services hautement spécialisés pour les patients nécessitant une prise en charge complète avec des centres de traumatologie, des unités de soins intensifs, des

chirurgies cardiothoraciques, des neurochirurgies, des chirurgies et réanimations pédiatriques et des unités de brûlés). Cette stratégie est organisée autour des 17 Agences Régionales de Santé qui doivent décliner cette stratégie sur leur territoire et définir les capacités de prise en charge attendues et requises (Figure Supplémentaire S1).

Notre objectif était de proposer une méthode d'évaluation de la capacité d'accueil massif de victimes (AMAVI) des hôpitaux, basée sur les recommandations de groupes d'experts régionaux. Cette mesure est destinée à guider la définition d'objectifs de réponse AMAVI réalistes pour chaque établissement.

MÉTHODES

Le plan national d'organisation de la réponse sanitaire (ORSAN 2019) a servi de guide tout au long du processus.(20,21) Il repose sur : d'une part, l'utilisation d'une échelle de triage valide pour améliorer l'allocation des ressources en fonction des besoins individuels et collectifs, comme la Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (OTAN) ou échelle du service de santé des armées françaises (22), deuxièmement : la gradation des centres de santé (Exp, PL et SL), troisièmement : la capacité évolutive des centres, comprenant 2 étapes : T0 (début de l'incident) et T3 (3 heures après le début), et quatrièmement : élaboration d'un plan de gestion des tensions hospitalières et SSE.

Ce travail a mobilisé trois niveaux d'expertises dans la réflexion sur les capacités de charge des hôpitaux: les responsables des agences régionales de santé (A), les intervenants opérationnels de terrain (B), les planificateurs nationaux de réponse aux crises (C). Des entretiens semi-structurés ont été réalisés auprès d'un panel de 30 référents des Agences Régionales de Santé (ARS), et SAMU de la zone Ouest afin de décrire les méthodes couramment utilisées pour estimer a priori la capacité de pointe des hôpitaux. Les problèmes concernant la capacité de pointe des hôpitaux et l'évaluation des capacités ont été collectés. Dans un second temps un groupe de travail régional d'experts a été mis en place avec l'ARS pour parvenir à un consensus sur les aspects clés de la prise en charge médicale des patients lors de SSE, permettant ainsi de définir une méthodologie commune pour évaluer la capacité de pointe. Tous les hôpitaux de la région ont été invités par l'ARS à participer au groupe de travail par l'intermédiaire de leurs référents spécialisés en médecine d'urgence, anesthésie, réanimation, soins intensifs, chirurgie, pharmacie et gestionnaires de la qualité et des risques. Les experts ont d'abord été invités, en groupes parallèles, à commenter une proposition de liste de critères pouvant avoir un impact sur le nombre de patients traités simultanément dans une situation d'afflux massif de patients dans un hôpital. Ensuite, une synthèse de cette rencontre en face-à-face a été réalisée et discutée avec tous les experts précités dans le but de débattre et d'obtenir un consensus. Trois réunions ont été nécessaires pour construire une méthode qui a obtenu l'approbation de tous les membres du groupe de travail. Les conclusions finales ont été soumises à des experts nationaux indépendants et aux planificateurs de crise du ministère de la Santé (C).

RÉSULTATS

L'enquête préliminaire qualitative

Les référents de la zone Ouest (2 d'ARS zonales, 4 d'ARS et 14 de SAMU) ont été interrogés sur la construction de leur plan régional AMAVI. Il apparaissait que chaque agence laissait les hôpitaux évaluer eux-mêmes leur capacité de charge, sans critères précis, et amenaient à des évaluations discordantes et imprécises. Les experts considéraient qu'une méthodologie de planification nationale rendrait les réponses hospitalières plus fiables et faciliterait les stratégies de soutien interrégionales.

Les conclusions du groupe de travail

Les participants comprenaient des professionnels experts impliqués dans l'organisation des réponses aux SSE d'établissements Exp (n = 17), PL (n=8) et SL (n=3) et des référents des ARS (n=1) et ARS zonales (n=2) (Table S1). Les spécialités représentées comprenaient la médecine d'urgence (n=9), l'anesthésie et soins intensifs (n=5), la chirurgie et la surveillance de bloc opératoire (n=6), la pharmacie et stérilisation (n=7) et gestion de la qualité et des risques (n=4). Trois cycles d'analyse ont été nécessaires au cours de l'année 2020 pour parvenir à un consensus et proposer une méthode standardisée pour estimer la capacité de pointe.

Après plusieurs tours de discussions, le groupe de travail a défini les ressources minimales pour la prise en charge aiguë de chaque patient en cas d'AMAVI (personnels et matériels) (Figure supplémentaire 2). La conclusion du groupe de travail a été d'évaluer la capacité de réponse attendue de chaque hôpital à partir de ses ressources propres : ses ressources totales (connues des bases de données administratives), puis de lui appliquer un pourcentage (la part de ces ressources libérable). Ce pourcentage β serait obtenu en interrogeant un panel d'hôpitaux dans plusieurs régions sur leurs ressources disponibles immédiatement. Elle prendrait la forme d'une enquête programmée à des heures et des jours différents. Le pourcentage observé et sa distribution permettraient de fixer un seuil, comme objectif uniforme de la capacité de réponse attendue de chaque hôpital. Il permettrait de construire les plans de crises de chaque hôpital, et estimer le cumul de places disponibles cumulé du secteur. En cas d'événement réel, une nouvelle enquête serait envoyée en parallèle pour corriger ces estimations par la capacité réelle du jour même.

Calcul de la capacité MassCare et du coefficient β

MassCare correspond au nombre de patients pouvant être traités immédiatement et simultanément par chaque unité de soins primaires, selon l'échelle de triage de l'OTAN (Figure 1). Les experts ont distingué 3 déterminants : (A) unité de soins primaires ; (B) patient adulte ou enfant, (C) heures ouvrées ou non. Par exemple, MassCare- $A_1B_2C_2$ représente la capacité d'accueil chirurgical (A_1) de l'hôpital pour les patients pédiatriques (B_2) pendant la nuit ou le week-end (C_2). Pour chacune des modalités, le MassCare maximum (Tmax) peut être estimé à l'aide des bases de données administratives nationales de chaque hôpital. Ensuite, plusieurs enquêtes auprès de panels hospitaliers seraient menées pour déterminer les parts d'établissements disponibles, β_1 au temps 0 (T0) et β_2 au temps +3h (T3) (Figure 2), tel que :

$$T0\text{-MassCare} = \beta_1 * Tmax\text{-MassCare}$$

$$T3\text{-MassCare} = \beta_2 * Tmax\text{-MassCare}$$

Pour les patients chirurgicaux critiques, l'indicateur MassCare est dérivé du minimum de chirurgiens (Surg), d'anesthésistes (Anes) ou d'infirmières anesthésistes (nursAnes), de blocs opératoires (OR) et d'infirmières du bloc opératoire (nursOR), tel que chacune des ressources doit être présente pour prendre en charge un patient (Table 1). Pour les urgences, la capacité d'accueil de MassCare est de 2 patients graves par équipe composée d'un médecin (ED-doc) et de 2 infirmières (ED-nurse).

$$Tmax\text{-MassCare pour la chirurgie} : Tmax_MassCare = \min[OR, Surg, (nurs_Anes + Anes), nurs_OR] \quad (E1)$$

$$Tmax\text{-MassCare pour l'urgence} : Tmax_MassCare = \min(ED\text{-doc}; EDnurse/2) \times 2 \quad (E2)$$

Ainsi, les capacités disponibles à T0 et T3 seraient estimées pour chaque hôpital avec la moyenne β observée dans le panel (Figure 3). Ce repère chiffré obtenu dans chaque modalité permettrait de construire les plans de crises de l'hôpital (Figure 4), et pour le gestionnaire d'estimer le cumul de places disponibles cumulé accessibles à une heure de transport du lieu de l'incident (Figure 5).

DISCUSSION

Cet article propose une définition opérationnelle d'un indicateur destiné à prévoir les capacités d'accueil de nombreuses victimes en soins aigus hospitaliers en situation AMAVI et à déterminer des points de rupture par secteur. Cet indicateur MassCare est basé sur l'inventaire des ressources (équipements et personnels) de l'hôpital. Il est différencié selon l'âge (adultes ou enfants), la classification OTAN des victimes, l'expertise des centres (hôpitaux experts, première ou deuxième ligne) et la période de soins (jours/heures ouvrables ou non), et peut être agrégé au niveau régional ou national. La capacité évaluée permet une utilisation pratique à des fins de planification ou dans la première phase de gestion de crise, en attendant les retours de l'interrogation parallèle des hôpitaux.

Le processus de définition de l'indicateur MassCare s'appuyait sur un groupe de travail d'experts impliquant tous les types de professionnels concernés par les SSE : des praticiens des hôpitaux locaux, experts au niveau national. Les experts participant aux réunions sur place venaient d'une seule région, mais étaient des référents sur la préparation et la gestion des situations exceptionnelles pour leur établissement, et pour certains au niveau national. La majorité d'entre eux possédait une expérience de gestion de crises réelles. Bien que d'autres évaluations nationales aient utilisé une démarche qualitative, elles n'ont pas abouti à une évaluation quantifiée concrète pour chaque hôpital et n'ont décrit ni un exemple spécifique de SSE ni l'organisation générale des soins.(23-26)

L'indicateur MassCare proposé évalue la capacité de soins aigus plutôt que le nombre de lits d'hôpitaux vacants annualisé.(5) De même, certaines évaluations quantifiées s'appuient sur des temps de gestion observés en soins courants, probablement différents de ceux en circonstances exceptionnelles (9,14) , ou nombre total de patients admis par l'établissement qui est faiblement corrélé à la capacité immédiate à prendre en charge les patients en cas de MCI.(27,28) Certains modèles utilisent des données difficiles à obtenir (heure de départ du site, heure d'arrivée à l'hôpital).(7-9) Ils permettent une évaluation a posteriori des performances plutôt qu'une aide à la décision en temps réel. Alternativement, les capacités de surtension et d'urgence lors d'incidents faisant de nombreuses victimes, basées sur des évaluations ponctuelles, sont difficiles à transposer et souffrent du manque de méthode d'évaluation standardisée (23), d'un taux de réponse non exhaustif et de données manquantes.

L'indicateur Mass-Care présente plusieurs avantages théoriques. Le principal prérequis étant l'accès à des données exhaustives de capacité hospitalière, celles-ci pourront être largement calculées et régulièrement mises à jour. Les données manquantes dans les évaluations ponctuelles nécessaires pour évaluer les indicateurs T0 et T3-MassCare n'empêchent pas l'estimation dans ces hôpitaux. À condition que la même méthode soit utilisée pour les zones frontalières, elle pourrait faciliter une répartition adéquate des patients entre les hôpitaux au-delà des frontières régionales ou nationales.

Cette étude présente également certaines limites. La validité des données sur la capacité hospitalière dépend de la périodicité de l'enregistrement, du délai de disponibilité des données et du rythme de changement du personnel hospitalier. L'évaluation ponctuelle pourrait être affectée par un biais de réponse ou une variation accidentelle de l'activité, mais l'impact pourrait être limité par la conduite d'essais coordonnés à grande échelle. Enfin, l'effet d'une modification de la norme de soins dans des circonstances exceptionnelles sur les ressources hospitalières n'est pas pris en compte.(29,30)

Cependant, notre indicateur utilise les ressources minimales pour toute intervention chirurgicale : au moins 1 chirurgien, 1 anesthésiste ou infirmière anesthésiste, 1 salle d'opération et 1 infirmière de bloc par patient. De même, aux urgences, 1 urgentiste et 2 infirmiers étaient prévus pour 2 patients graves, ce qui limite ce biais. La capacité MassCare fixe un indicateur pour chaque hôpital concernant ses capacités qui est lié à toutes ses installations. La disponibilité de données annuelles sur les ressources hospitalières devrait garantir la faisabilité technique du calcul de l'indicateur Tmax-MassCare. L'hypothèse d'un pourcentage des ressources disponibles, appliquée par service ou par type d'établissement, nécessite une enquête ponctuelle auprès des hôpitaux de plusieurs régions pour tester l'hypothèse. Si le taux n'est pas uniforme, un objectif de capacité minimale peut être défini. Il permet d'estimer la capacité de pointe de chaque hôpital.

CONCLUSION

Cette étude présente un nouvel indicateur de la capacité à gérer des conditions de santé exceptionnelles pour plusieurs patients dans chaque hôpital. La déclinaison complète de cet indicateur MassCare comprendra trois temps d'évaluation de capacité (Tmax, T0, T3), qui prennent en compte trois modalités : le type de patient (adulte ou pédiatrique), la période (de travail ou de soins permanents), et le type de soins (bloc opératoire, service d'urgences) selon l'échelle de tri OTAN. Chaque modalité nécessite un travail complémentaire spécifique qui permettra d'évaluer le niveau de réponse attendu par établissement et par secteur, puis d'établir une planification de la réponse AMAVI propre aux ressources de chaque territoire.

Article soumis n°1:

Defining hospital surge capacities and regional breakpoints for mass critical casualties: the national MassCare indicator
--

Dr AUBRION Antoine M.D., Normandie Univ, UNICAEN, Emergency medical service, SAMU14, Caen University Hospital, Normandy, France, Inserm ANTICIPE 1086, Caen, France

Dr EID Yassine M.D., Department of research, University Hospital of Caen, Normandy, France. Department of digestive surgery, University Hospital of Caen, Normandy, France. ANTICIPE" U1086 INSERM- Team « Ligue contre le Cancer », Centre François Baclesse, Caen, France.

Dr Antoine Lefevre-Scelles M.D., Department of Anaesthesiology, Intensive Care and Emergency Medical Services (SAMU 76), Rouen University Hospital, France Emergency Care Training Center (CESU-76A), Rouen, France

Dr LAQUIEVRE Antoine M.D., Normandie Univ, UNICAEN, Orthopedic Pediatric Surgery Department, Caen University Hospital, Normandy, Caen, France

Dr VILLEDIEU Florence M.D., Pediatric intensive care unit, Caen University Hospital, Normandy, Caen, France

Dr REICHLING Anais M.D., Pharmacy department, Saint Martin Caen clinic, Normandy, France

Dr CORBIN Céline M.D., Pharmacy department, sterilization unit, Robert Bisson public hospital, Lisieux, Normandy, France

Dr MACREZ Richard. MD, PhD Emergency medical service, SAMU14, Caen University Hospital, Normandy, France Inserm 1237 Physiopathology and Imaging of Neurological Disorders (PhIND), Team A; Centre Cyceron, Caen France

Dr MORELLO Remy M.D., Normandie Univ, UNICAEN, Department of Biostatistics, Caen University Hospital, Caen, France.

Pr GUITTET Lydia M.D., PhD, Normandie Univ, UNICAEN, CHU de Caen Normandie, Public Health Unit, Inserm ANTICIPE 1086, 14000 CAEN, France

ABSTRACT

Background: This study proposes a method for a national indicator of mass care capacities in crisis situations (MassCare).

Methods: MassCare was based on national recommendations, expert working groups, national administrative databases.

Results: MassCare corresponds to the number of patients who can be treated immediately and simultaneously by each primary care unit, according to the NATO triage scale. Experts distinguished 3 determinants: (A) primary care unit; (B) adult or child patient, (C) working or nonworking hours. For each, the maximum MassCare (Tmax) can be estimated using national administrative databases for each hospital. Then, several surveys of hospital panels are conducted to determine the available parts of facilities, β_1 at time 0 (T0) and β_2 at time +3h (T3):

$$T0\text{-MassCare-A}_x\text{B}_x\text{C}_x = \beta_1 * Tmax\text{-MassCare-A}_x\text{B}_x\text{C}_x$$

Thus, the structural capacities at T0 and T3 are estimated for each hospital with the average $\bar{\beta}$ observed in the panel. For critical surgical patients, the MassCare indicator is derived from the minimum of surgeons, anesthetists or nurse anesthetists, and operating rooms. For emergency department, the MassCare capacity is 2 serious patients per doctor and 2 nurses. The accessible capacities at one hour of transport from the crisis site define District-MassCare.

Conclusion: MassCare is a new metric method integrated in the National Crisis Guide.

Key words : *Disaster management; Disaster metrics; Multiple-casualty incident; Surge capacity ; Triage ; Emergency department ; Hospital preparedness*

INTRODUCTION

Disaster medical plans (DMPs) are designed to manage sudden mass casualty incidents (MCI) (terrorist attacks, industrial or transport accidents, environmental disasters). In these exceptional situations, the rescue teams sent to the scene should quickly dispatch patients to the surrounding hospitals according to their surge capacity. The health care system must quickly adapt to a paradigm shift, applying triage protocols, adaptation of care, and coordination of human and material resources to increase the acute care capacity while avoiding medical systems from being overwhelmed.^{1,2}

Preventively assessing the surge capacity for disasters in each hospital is crucial. It allows estimation of the regional breakpoints when medical systems are overwhelmed. However, these a priori evaluations are difficult, lack scientific evidence and have no universally accepted quantification methods.^{1,3,4} Empirical evaluations use proxies related to either the number of hospital beds,^{5,6} number of Emergency Department beds,^{7,8} or amount of staff or equipment.^{4,6,9} But these ratings can be misleading if they don't infer resources used for common patients.¹⁰⁻¹² Simulation models can challenge the validity of surge capacity and estimate territorial breakpoints.¹³⁻¹⁴ A benchmark of either a territorial hospital surge capacity of 50–500 patients per million inhabitants above the daily staffed bed capacity¹⁵ or a 300% increase in usual hospital ICU capacity has been proposed by experts.¹⁶ But few studies tested this territorial capacity per million inhabitants.^{5,6} Empirical determination of the number of casualties varies according to the type of disaster.^{10,17} Nevertheless, the standardization of the assessment of surge capacities would allow more efficient planning, particularly when a crisis situation requires interstate or international collaboration.¹

Similar to many countries, France has faced mass terrorist attacks, especially in Paris in 2015 (Bataclan attack) and Nice in 2016 (National Day celebration)^{18,19}. To prepare hospitals for these mass casualty situations, a national strategy is specified^{20,21}, organized with 13 Regional Health Agencies (RHAs), grouped into 7 Zonal Defense Areas (ZDAs) managed by Zonal Health Agencies (ZHAs), and 6 overseas territories (Supplementary material 2). MCI hospital responses are divided into 3 levels: second-line centers (SL) (surgical technical departments without EDs), first-line centers (FL) (EDs and 24-hour surgical technical departments), including expert centers (Exp) (highly specialized technical departments for patients requiring complete care (trauma centers, resuscitations, cardiothoracic surgeries, neurosurgeries, pediatric surgeries and resuscitations, serious burn units)).

Our objective was to propose a transposable model for hospital surge capacity quantification based on regional experts groups recommendations that was intended to guide the initial casualty orientation in the case of a MCI.

METHODS

The French national framework for response to MCI was used as a guide during the process.^{20,21} It is based on : first, the use of a valid triage scale to improve the allocation of resources according to individual and collective needs, such as the North Atlantic Treaty Organization (NATO) or French army health service scale,²² secondly: the gradation of health care centers (Exp, FL, and SL), thirdly: the scalable capacity of the centers, including 2 steps: T0 (onset of a serious event) and T3 (3 hours after the onset), and fourth: elaboration of a DMP.

This work involved three levels of expertise in thinking about hospital load capacities: regional health agency managers (A), field operational responders (B), national crisis response planners (C). This work has obtained the favorable opinion of referent ethics committee. The participating experts gave their approval to participate in these meetings. All methods were carried out in accordance with relevant guidelines.

A- Qualitative preliminary survey with regional health agency managers

Semistructured interviews were performed with a panel of 30 referents from RHAs or ZHAs and emergency medical services of the West ZDA to describe the methods routinely used to a priori estimate hospital surge capacity. Issues regarding hospital surge capacity and capability evaluation were collected. Each of these referents is the regional manager of the health agency in charge of assessing the crisis capabilities of hospitals.

B- Working group with fields operational responders

Regional expert working group was used to reach a consensus on the key aspects of the medical care of patients during exceptional health situations, enabling the definition of a common methodology to assess surge capacity. All hospitals in the region were invited by RHA to participate in the working group through their specialty referents in emergency medicine, anesthesia and critical care medicine, surgery, pharmacy, and quality and risk management.

The experts were first asked in parallel groups to comment on a proposed list of criteria that could impact the number of patients treated simultaneously in a situation involving a massive influx of patients into a hospital. Then, a synthesis of this face-to-face meeting was performed and discussed with all the aforementioned experts with the objective of debating and obtaining a consensus. Three meetings were necessary to build a method that obtained the approval of all members of the working group. The final conclusions were submitted to independent national experts and Ministry of Health crisis planners (C).

RESULTS

A-The qualitative preliminary survey

Referents from the West ZDA (2 ZHA, 4 RHAs and 14 emergency medical services) were questioned on the construction of their DMP. Each agency let the hospitals assess their load capacity by themselves without specific criteria. Methods differed in categorization of serious casualties, consideration of shifts periods, and distinction of pediatric capacities. They noted that an annual care capacity commitment was less reliable than a one-time survey. Only one RHA followed this survey with a real-time test to adjust the results. Assessment inconsistencies were found for all agencies, but only two corrected the figures before registering with either a central medical referent or directly with the hospital concerned. The professionals interviewed considered that the imprecision of the hospital surge capacity and the use of different survey methods weaken crisis planning and lead to a distorted regional breakpoint. They noted that although the number of existing hospital beds is known, the proportion of beds available or releasable is difficult to plan. Hence, they considered that a national planning methodology would make hospital responses more reliable and facilitate interregional support strategies.

B-The working group survey

The participants included expert professionals involved in the organization of responses to MCI from Exp (n=17), FL (8) and SL (3) and referents from RHAs (1) and ZHAs (2). The specialties represented included emergency medicine (7 for adults (Ad) and 2 for children (Ch)), anesthesia and critical care medicine (4 Ad, 1 Ch), surgery and operating room supervision (4 Ad, 2 Ch), pharmacy and sterilization (7), and quality and risk management (4) (Supplementary table S1). Three rounds of analysis were necessary during the year 2021 to achieve a consensus and propose a standardized method to estimate the surge capacity.

After several rounds of discussion, the working group defined the minimum resources for the acute care of each patient in the event of a massive influx (personnel and equipment)(Supplementary material 1). The working group's conclusion was to assess each hospital's expected response capacity from its own resources: its total resources (from administrative bases), then to apply a percentage to it (the share of releasable resource). This percentage β is obtained by surveying a panel of hospitals in several regions. It takes the form of a survey scheduled at different times and days. The percentage applied is different depending on the conditions (type of establishment, type of service, immediate delay or after several hours of reorganization). It allows a uniform estimate of the response capacity of each hospital to build crisis plans and simulate different situations by sector. In the event of a real event, this estimate serves as a basis for the orientation of the first victims. A new survey is sent in parallel to correct these estimates by the actual capacity of the same day. Thereafter, the MassCare capacity was used to represent the number of patients who can be treated immediately and simultaneously by each primary care unit. Its evaluation for all hospitals requires several steps.

- **Modalities of the MassCare capacity: MassCare-AxBxCx"**

The appropriate care department depends on the severity of the patient's injuries according to the NATO triage scale [T1 (immediate), T2 (delayed), T3 (minimal), T4 (expectant)], which is very similar to the scale used by the French military health service : EU (critical), U1 (absolute emergency), U2 (relative emergency), U3 (minimal), UD (expectant) (Figure 1).

Experts distinguished 3 determinants of MassCare capacity:

- A. Primary care unit ²(1. operating room, 2. ED for serious victims, 3. ED for relative victims, 4. on-site care)
- B. Type of patient (1. adult, 2. child)
- C. Period of care (1. Working hours, 2. Nonworking hours: night and weekend).

Thus, for each hospital, the primary MassCare capacity is symbolized by the MassCare- $A_x B_x C_x$ index. For example, MassCare- $A_1 B_2 C_2$ represents the hospital MassCare surgery capacity for pediatric patients during the night or weekend.

- **Evaluation of the MassCare indicator according to crisis delay**

For each MassCare modality, the hospital level of response depends on its own capacity according to the crisis delay (Figure 2):

- **Resource Capacity:** The maximum resource level for each hospital. This sets the benchmark for the maximum theoretical capacity (Tmax) if all of its material and human resources are available. Therefore, it is fixed and represents 100% of the establishment's response capacity.
- **Structural Capacity:** The structural capacity is the actual capacity available at a specific time. It **varies** according to the hour, day and season and corresponds to a percentage of the resource capacity. This variable takes into account the portion of human and material resources that are unavailable and the activity in progress at all times. Following the ORSAN doctrine, this structural capacity is specified at two times:
 - **Structural Capacity Time-0 (T0):** The immediately available benchmark, depending on the activity in progress in normal times, the staff present, and the material available.
 - **Structural Capacity Time +3h (T3):** The benchmark to be reached after three hours by remobilizing resources by applying the DMP.

For each MassCare modality, the assessment is carried out in 4 steps:

- **Step 1:** The maximum MassCare capacities (Tmax-MassCare- $A_x B_x C_x$), e.g., the aforementioned resource capacity, can be estimated using national administrative databases. The mandatory French Ministry Annual Survey of Hospitals (SAE survey) collects information for all hospitals on their capacities, equipment, staff, and activity. The PMSI hospital discharge database (Information Systems Medicalization Program) records the activity of French public hospitals to calculate their budgetary allocations. These two databases describe all of the resources and the care activity carried out in France each year.
- **Step 2:** Surveys of hospital panels from different areas record the resources available at Time 0 and Time +3h for different MCI categories (Exp, FL, SL) and at different hours of the day.
- **Step 3:** Data recorded in steps 1 and 2 are used to compute β coefficients for each hospital as the available part of the theoretical resource according to the following equations:

$$T0_MassCare_A_x B_x C_x = \beta_1 * Tmax_MassCare_A_x B_x C_x \quad (E1)$$

$$T3_MassCare_A_x B_x C_x = \beta_2 * Tmax_MassCare_A_x B_x C_x \quad (E2)$$

The real available capacity depends on the on-site personnel and the ongoing activity, both varying according throughout the day and the week. During the night, nearly 100% of the recorded assigned staff are considered available, corresponding to the beta factor of the institution's available resources at time T0 and T3 (no surgical program, no consultation, fewer medical procedures).

- **Step 4:** These hospitals' β coefficients are analyzed to derive common $\bar{\beta}$ values by hospital MCI category (Exp, FL, SL) for each treatment modality (adult, pediatric, day or night)

After the evaluation of a panel of hospitals, the observed beta factors are evaluated for each category, corresponding to the capability level (Exp, FL, SL) (Figure 3). The working group hypothesized that structural capacities (T0 or T3) can be approached a priori by a common percentage of the resource capacity, according to the MCI category of the hospital (Exp, FL, SL), with little error.

² "Primary location of care delivered

Estimation of hospital Tmax-MassCare capacities (Table 1)

- **Surgery capacities Tmax-MassCare-A₁**

The surgical MassCare capacity corresponds to the hospital's own capacities with regard to operating rooms (ORs), full-time equivalent surgeons (Surg), full-time equivalent anesthesiologists (Anes) or state-certified nurse anesthetists (nurs_Anes), and full-time equivalent OR nurse (nurs_OR). To estimate the maximum simultaneous care capacities, we consider one person present for each full-time employee during working hours and one for each on-call role at night and on weekends (-NW). This information is found in the SAE's administrative resource databases.

In a mass casualty incidents, each patient sent to the operating room requires the presence of these three minimum resources to be managed. In practice, these factors set the benchmark of the maximum theoretical capacity to manage several simultaneous patients for each hospital if all of its material and human resources are available.

The Tmax-MassCare for surgery (A₁) for adults (B₁) is given by:

In working hours (C₁): $Tmax_MassCare_A1B1C1 = \min[OR, Surg, (nurs_Anes + Anes), nurs_OR]$ (E3)

In nonworking hours (C₂): $Tmax_MassCare_A1B1C2 = \min[OR_{NW}, Surg_{NW}, (nurs - Anes_{NW} + Anes_{NW}), nurs_{OR_{NW}}]$ (E4)

For pediatric surgeries, capacity is assessed in the same manner based on pediatric surgeons (SurgP), pediatric anesthesiologists (AnesP), and operating rooms installed. The MassCare capacity in pediatric surgery is determined by the following equations:

The Tmax-MassCare for surgery (A₁) for children (B₂) is given by:

In working hours (C₁): $Tmax_MassCare_A1B2C1 = \min[OR, SurgP, AnesP, nurs_OR]$ (E5)

In nonworking hours (C₂): $Tmax_MassCare_A1B2C2 = \min[OR_{NW}, SurgP_{NW}, AnesP_{NW}, nurs_OR_{NW}]$ (E6)

- **Definition of ED capacities – Tmax-MassCare-A₂ and Tmax-MassCare-A₃**

In the case of multiple casualties, the ED receives patients classified as T2 on the NATO scale. These include two types of casualties:

- T2-serious casualties requiring extensive medical care or delayed surgery.
- T2-relative casualties' patients who need simple medical treatment.

According to the guidelines for prehospital management of many patients, one ED physician (ED-doc) and two ED nurses (ED-nurse) take care of 2 serious patients or 10 relative injuries. ED capacity is defined according to the number of doctors and nurses present. It excludes personnel involved in mobile emergency teams who would be sent to the disaster site. The T2-serious MassCare in the ED (A₂) for adults (B₁) is obtained by the following equation:

In working hours (C₁): $Tmax_MassCare_A2B1C1 = \min(ED\text{-}doc; EDnurse/2) \times 2$ (E7)

In nonworking hours (C₂): $Tmax_MassCare_A2B1C2 = \min(ED\text{-}doc_{NW}; EDnurse_{NW}/2) \times 2$ (E8)

T2-relative patients have a lower priority for evacuation than T2-serious patients. They will often be treated after serious patients. Care capacities that are not occupied by T2-serious patients will be used for the care of T2-relative patients. Each remaining team of one ED-doc and two EDnurses can care for 10 T2-relative victims. Thus, ED-MassCareA₃ corresponds to 5 times the remaining spaces of ED-MassCare-A₂. The T2-relative MassCare in the ED (A₃) for adults (B₁) is obtained by the following equation:

In working hours (C₁): $Tmax_MassCare_A3B1C1 = \text{left}(Tmax_MassCare_A2B1C1) \times 5$ (E9)

The pediatric ED-MassCare capacity was obtained using a similar equation in the same manner, including pediatricians in the ED or other departments and ED pediatric nurses.

The care of psychotrauma or minimal victims (A₄) involves mobilization of a temporary structure close to the disaster without specific hospital care resources.

- **Definition of hospitalization capacities**

The inventory of beds in the hospital integrates the personnel and equipment resources related to them. This inventory represents the maximum hospitalization capacity of the establishment for intensive care and conventional beds.

In addition, in the event of a crisis, the hospital reorganizes its activity by deprogramming some of the procedures to make some of the beds in the outpatient units available. The hospital identifies the number of rooms that can accommodate an additional bed, the equipment available, extra beds and reverse triage can be mobilized. The decision-maker knows the acute care capacities available, and then the admission beds are provided in an adapted service.

Estimation of district MassCare capacities by MCI hospital category

At this stage, the MassCare capacities are estimated for each hospital according to its resources and capability (MCI hospital category) (Table 2). They are defined for each type of patient ($A \times B_X$) and during different period of care (C_X). This hospital MassCare profile makes it possible to obtain an estimate of the District MassCare capacity at one hour of transport from the crisis site.

Thus, for each category of hospital, the maximum area capacities can be estimated by the sum of the resource capacities of each hospital. The structural capacities T0 and T3 are estimated with the average beta coefficient, $\bar{\beta}$, for this type of establishment according to the following equation:

$$\text{For several expert hospitals: } T0_MassCare_District_{Exp} = \bar{\beta}_{1_Exp} * \sum Exp Tmax_MassCare \quad (E10)$$

The accessible capacities at one hour of transport from the crisis site define the District-MassCare. This defines a breakpoint adjusted to the location and the course of the crisis.

Use of hospital and district MassCare capacity

Planning allowed us to predict the district response in 3 steps (Figure 4):

- **Step 1: Assessment of the district T0 and T3 MassCare capacity for each modality** by adding the capacities of the hospitals at less than one hour of transport time. For example, a railroad accident with mass casualties occurs in a small village. The District-MassCare depends on three hospitals nearby (H) that are accessible within one hour of the accident site: H1(FL) at 10 min, H2(Exp) at 33 min, and H3(FL) at 45 min (Figure 5). The calculation of Tmax for resource capacities is based on the administrative data of each facility, to which the average beta observed for the panel of facilities is applied to obtain the structural capacities T0 and T3. For this example, surgery T0District-Masscare, is estimated to be 13 surgical patients within a one-hour transport time frame.

- **Step 2: Adaptation of MassCare local strategies:**

The anticipated knowledge of the breakpoints for each district allows for the evaluation of the best adaptation strategy for each sector. It can be implemented by adapting resources, specific training, procedures for sending specialized teams, or assistance through telemedicine.

- **Step 3: Test new planned strategies to evaluate their effectiveness :**

Based on these benchmarks, different strategies can be compared through multiple simulations to find the most appropriate for each district (referral of patients to the nearest or most experienced surgical unit; multiple or secondary transfers, etc).

In real mass casualties situations, the MassCare indicator is used to improve the care of each patient (Figure 4):

- **Step 1:** First orientation of serious victims according to a priori expected capacity. For example, to send a T1 patient for neurosurgery, for each "H" expert institution:

$$T0 - MassCare_A_X B_X C_X = \bar{\beta}_{1_Exp} * Tmax_H \quad (E11)$$

- **Step 2:** A specific real-time survey is sent to nearby hospitals to determine their actual capacity according to the following: 1/ targeting ongoing or planned operative activity and the possibility of premature interruption or postponement, 2/ medical and paramedical staff already on-site or

quickly mobilizable after recall to reinforce human resources, and 3/ stock of essential equipment, including sterile material and respirators.

- **Step 3:** Actualization of the capacity according to on-site evaluations and cumulative orientation of patients according to responses of each hospital after a few hours.

DISCUSSION

This article proposes an operational definition of a national indicator (MassCare) designed to forecast surge hospital care capacities for massive influx of patients, and determine area breakpoints. This MassCare indicator is based on hospital's resources (equipment and staff) inventory. It is derived by age group (adults or infants), NATO classification of victims, hospital capability (expert, first or second line hospitals) and period of care (working days/hours or not), and may be aggregated at regional level or national level. Practical provisional use for either planning or acute real-time purpose are described.

The process of the MassCare indicator definition implied expert working group involving all types of professionals concerned with surge situations, from local hospital practitioners to national-level experts. Experts participating in the on-site meetings came from a single region. They had several experiences in real mass casualty incidents (numerous injuries during the largest student carnival in Europe, Lubrizol chemical industrial accident, fire at the "Cuba libre" nightclub, prevention measures during the D-Day commemorations), which are extremely rare. The proposals submitted to consensus emerged from a practice survey conducted in a large territory in collaboration with the interregional Health Authority. Although other national evaluations used a qualitative step, they have not led to a concrete quantified evaluation for each hospital and described either a specific MCI example or the general organization of care.²³⁻²⁶

The proposed MassCare indicator assess the capacity for acute care rather than the number of vacant hospital beds annualized, as in some studies.⁵ Likewise, some quantified evaluations are based on management times observed in routine care, which are probably different from those in exceptional circumstances^{9,14}, or total number of patients admitted by the ES which is poorly correlated with immediate capacity to manage patients in case of MCI.^{27,28} Some models use data that are difficult to obtain, such as the time of the initial out-of-hospital rescue, or survey all facilities at the time of the crisis.⁷⁻⁹ They allow an a posteriori performance evaluation rather than real-time decision support. Alternatively, surge and ED capacities in a mass casualty incidents based on one-off assessments are difficult to transpose, and suffers from lack of standardized evaluation method²³, not exhaustive response rate, and missing data.

The Mass-Care indicator has several theoretical advantages. The main prerequisite being access to exhaustive capacity hospital data, it could be widely calculated, and regularly updated. Missing data in one-off assessments needed to evaluate the T0 and T-MassCare indicators does not preclude the estimation in these hospitals. Provided the same method is used for border areas, it could facilitate adequate allocation of patients between hospitals beyond regional or national frontiers.

This study has also some limits. The validity of data on hospital capacity depends on the periodicity of recording, the data available delay, and the rate of change of hospital staff. The one-off assessment could be affected by response bias, or incidental variation in activity, but the impact could be limited by conducting large scale coordinated trial. Finally, the effect of modifying the standard of care in exceptional circumstances with regard to hospital resources is not considered.^{29,30} However, our indicator uses the minimum resources for any surgical procedure: at least 1 surgeon, 1 anesthesiologist or anesthesia nurse, and 1 operating room per surge intervention. Likewise, in the ED, 1 emergency physician and 2 nurses were planned for 2 serious patients, which limits this bias. The MassCare capacity sets an indicator for each hospital regarding its capacities that is linked to all of its facilities. The hypothesis of a percentage of available resources, applied by service or by type of establishment need a one-off survey of hospitals in several regions to test the hypothesis. If the rate is not uniform, a minimum capacity goal may be defined. It makes possible to approximate surge capacity for each hospital. The availability of annual data on hospital's resources should guarantee the technical feasibility of the calculation of the T_{max}-MassCare indicator. The distribution of β coefficients tested by coordinated survey approach is part of the Ministry of Health's National Crisis Guide 2022.

CONCLUSION

This study presents a new indicator of the capacity to manage exceptional health conditions for multiple patients for each hospital. The complete declination of this MassCare indicator variation will include three capacity assessment times (T_{max} , T_0 , T_3), which take into account three modalities: the type of patient (adult or pediatric), the period (working or permanent care), and the type of treatment load (operating room, emergency room, and hospitalization (intensive care and conventional)) according to NATO scale. Each modality will be the subject of specific work that will make it possible to assess the times or locations of potential overload, establish a stratified strategy specific to the resources of each territory and predefine secondary care pathways freeing up the capacities of expert and first-line hospitals.

REFERENCES ARTICLE 1 : METHODE

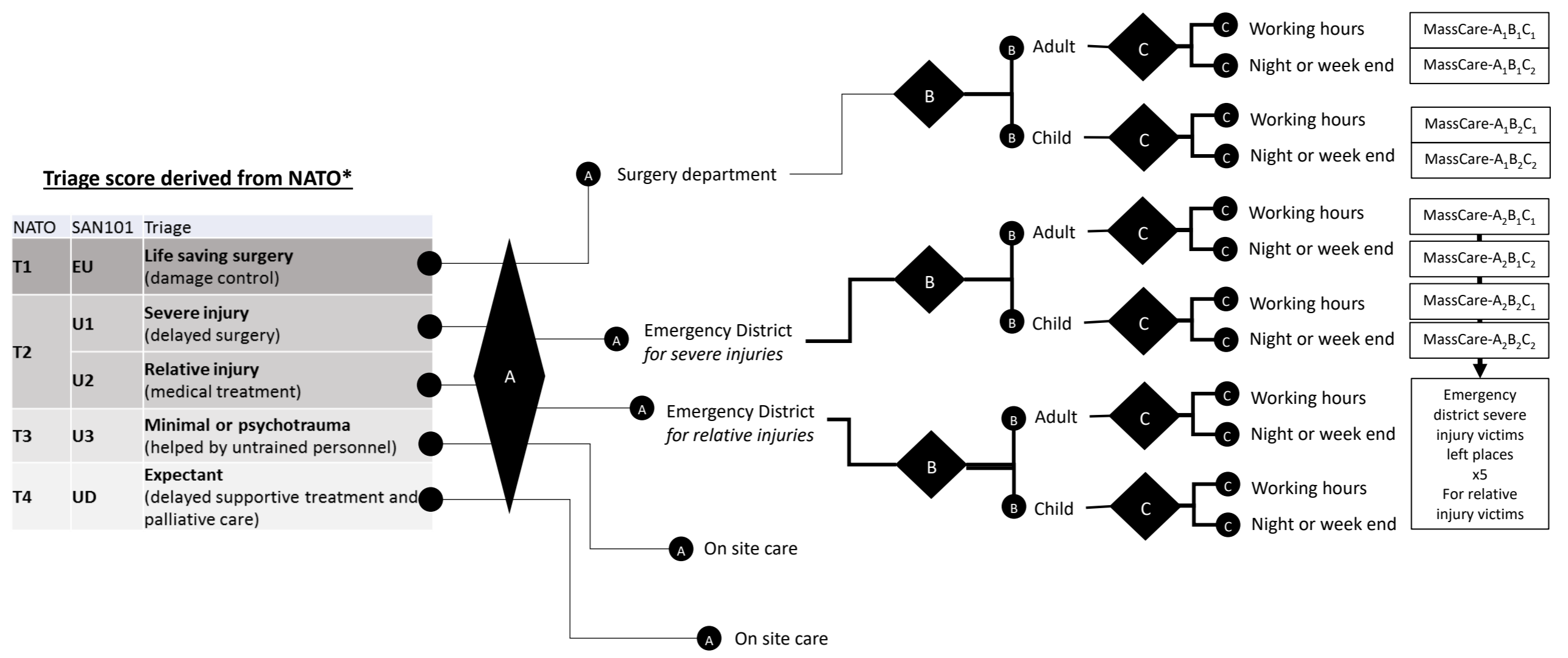
Defining hospital surge capacities and regional breakpoints for mass critical casualties: the national MassCare indicator

1. Hick JL, Einav S, Hanfling D, et al. Surge capacity principles: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement. *Chest*. 2014;146:e1S-e16S. doi:10.1378/chest.14-0733
2. Barbisch DF, Koenig KL. Understanding surge capacity: essential elements. *Acad Emerg Med*. 2006;13:1098-1102. doi:10.1197/j.aem.2006.06.041
3. Sheikhbardsiri H, Raeisi AR, Nekoei-Moghadam M, et al. Surge capacity of hospitals in emergencies and disasters with a preparedness approach: a systematic review. *Disaster Med Public Health Prep*. 2017;11:612-620. doi:10.1017/dmp.2016.178
4. Faccincani R, Della Corte F, Sesana G, et al. Hospital surge capacity during Expo 2015 in Milano, Italy. *Prehosp Disaster Med*. 2018;33:459-465. doi:10.1017/s1049023x18000742
5. DeLia D, Wood E. The dwindling supply of empty beds: implications for hospital surge capacity. *Health Aff (Millwood)*. 2008;27:1688-1694. doi:10.1377/hlthaff.27.6.1688
6. Traub M, Bradt DA, Joseph AP. The surge capacity for people in emergencies (SCOPE) study in Australasian hospitals. *Med J Aust*. 2007;186:394-398. doi:10.5694/j.1326-5377.2007.tb00971.x
7. Bayram JD, Zuabi S, Subbarao I. Disaster metrics: quantitative benchmarking of hospital surge capacity in trauma-related multiple casualty events. *Disaster Med Public Health Prep*. 2011;5:117-124. doi:10.1001/dmp.2010.19
8. Bayram JD, Zuabi S. Disaster metrics: quantification of acute medical disasters in trauma-related multiple casualty events through modeling of the Acute Medical Severity Index. *Prehosp Disaster Med*. 2012;27:130-135. doi:10.1017/s1049023x12000428
9. Takahashi A, Ishii N, Kawashima T, et al. Assessment of medical response capacity in the time of disaster: the estimated formula of Hospital Treatment Capacity (HTC), the maximum receivable number of patients in hospital. *Kobe J Med Sci*. 2007;53:189-198.
10. Levi L, Bregman D, Geva H, et al. Does number of beds reflect the surgical capability of hospitals in wartime and disaster? The use of a simulation technique at a national level. *Prehosp Disaster Med*. 1997;12:300-304. doi:10.1017/S1049023X00037845
11. DeLia D. Annual bed statistics give a misleading picture of hospital surge capacity. *Ann Emerg Med*. 2006;48:384-388, 388.e1-e2. doi:10.1016/j.annemergmed.2006.01.024
12. Kanter RK, Moran JR. Hospital emergency surge capacity: an empiric New York statewide study. *Ann Emerg Med*. 2007;50:314-319. doi:10.1016/j.annemergmed.2006.10.019
13. TariVerdi M, Miller-Hooks E, Kirsch T. Strategies for Improved Hospital Response to Mass Casualty Incidents. *Disaster Med Public Health Prep*. 2018 Dec;12(6):778-790. doi : 10.1017/dmp.2018.4. EPUB 2018 Mar 19. PMID : 29553040.
14. Basaglia, Alberto, et al. "A discrete-event simulation model of hospital patient flow following major earthquakes." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 71 (2022): 102825

15. U.S. Department of Health and Human Services, Health Resources and Services Administration, Healthcare Systems Bureau. *National bioterrorism hospital preparedness program*. 2005.
16. Rubinson L, Hick JL, Hanfling DG, et al. Definitive care for the critically ill during a disaster: a framework for optimizing critical care surge capacity: from a Task Force for Mass Critical Care summit meeting, January 26-27, 2007, Chicago, IL. *Chest*. 2008;133:18S-31S. doi:10.1378/chest.07-2690
17. De Boer J. Order in chaos: modelling medical management in disasters. *Eur J Emerg Med*. 1999;6:141-148. doi:10.1097/00063110-199906000-00011
18. Raux M, Carli P, Lapostolle F, et al. Analysis of the medical response to November 2015 Paris terrorist attacks: resource utilization according to the cause of injury. *Intensive Care Med*. 2019;45:1231-1240. doi:10.1007/s00134-019-05724-9
19. Carli P, Pons F, Levraut J, Millet B, Tourtier JP, Ludes B, Lafont A, Riou B. The French emergency medical services after the Paris and Nice terrorist attacks: what have we learnt? *Lancet*. 2017 Dec 16;390(10113):2735-2738. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31590-8. Epub 2017 Jul 25. PMID: 28754492.
20. Assistance in organizing the supply of care in exceptional health situations, Ministry of Social Affairs, Health and Women's Rights, General Directorate of Health (ORSAN - DGS), 2014, ISBN : 978-2-11-131001-8. Accessed June 26, 2021. https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/organisation_offre_de_soins_ok_bd.pdf
21. Guide to the management of hospital tensions and exceptional health situations within health establishments. Ministry of Solidarity and Health, General Directorate of Health (DGS). 2020; Accessed April 25, 2021. <http://solidarites-sante.gouv.fr/systeme-de-sante-et-medicosocial/securite-sanitaire/guide-gestion-tensions-hospitalieres-SSE>.
22. Sockeel P, De La Villeon B, Goudard Y, et al. Medical and surgical triage. *J Visc Surg*. 2017;154:S13-S17. doi:10.1016/j.jviscsurg.2017.07.006
23. Einav S, Hick JL, Hanfling D, et al. Surge capacity logistics: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement. *Chest*. 2014;146:e17S-43S. doi:10.1378/chest.14-0734
24. Kaji A, Koenig KL, Bey T. Surge capacity for healthcare systems: a conceptual framework. *Acad Emerg Med*. 2006;13:1157-1159. doi:10.1197/j.aem.2006.06.032
25. Bradt DA, Aitken P, FitzGerald G, et al. Emergency department surge capacity: recommendations of the Australasian Surge Strategy Working Group. *Acad Emerg Med*. 2009;16:1350-1358. doi:10.1111/j.1553-2712.2009.00501.x
26. Lee WH, Ghee C, Wu KH, et al. Barriers to surge capacity of an overcrowded emergency department for a serious foodborne disease outbreak. *Emerg Med J*. 2010;27:779-783. doi:10.1136/emj.2009.079475
27. Bayram JD, Zuabi S, McCord CM, et al. Disaster metrics: evaluation of de boer's disaster severity scale (DSS) applied to earthquakes. *Prehosp Disaster Med*. 2015;30:22-27. doi:10.1017/s1049023x14001393
28. Maurin O, Bignand M, Jost D, et al. Usefulness of a multiplying factor in predicting the final number of victims during a mass casualty incident. *Eur J Emerg Med*. 2017;24:377-381. doi:10.1097/mej.0000000000000366

29. Altered standards of care in mass casualty events. Agency for Healthcare Research and Quality. 2020; Accessed November 14, 2020 <https://archive.ahrq.gov/research/altstand/>.
30. Beekley AC, Martin MJ, Spinella PC, et al. Predicting resource needs for multiple and mass casualty events in combat: lessons learned from combat support hospital experience in Operation Iraqi Freedom. *J Trauma*. 2009;66:S129-S137. doi:10.1097/TA.0b013e31819d85e7

Figure 1 : Modalities of MassCare capacity : MassCare-A_xB_xC_x'



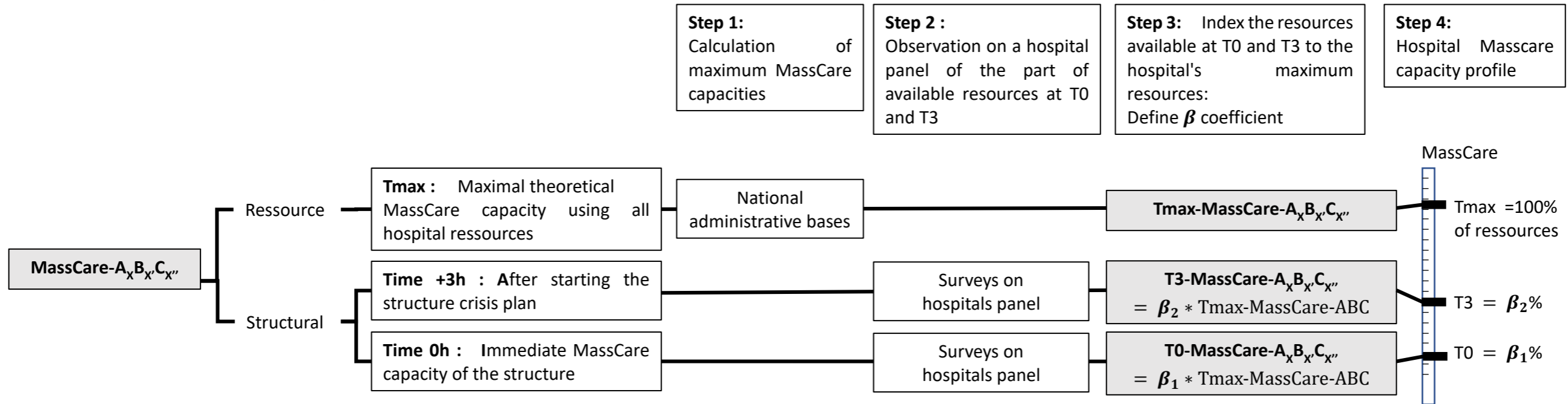
NATO* : North Atlantic Treaty Organization

The Masscare capacity for each hospital is detailed according to 3 modalities: A- Primary care unit, B-Type of patient, C-Period of care

Ex: MassCare-A₁B₂C₂: Hospital MassCare surgery capacity for child victims during the night or weekend.

Figure 7: Modalities of MassCare capacity : MassCare-AXBX'CX''

Figure 2 : Evaluation of mass care according to crisis delay,
(For each MassCare modality)



Example: for our university hospital:

Step 1: The national administrative databases inform that the institution has 16 operating rooms and employs 25 surgeons, 18 anesthetists, 45 nurse anesthetists. The maximum number of simultaneous patients in the OR is $Tmax = \min [OR, Surg, (Anes \text{ or } nurs-Anes)] = \min [16, 25, (18+ 45)] = 16$

Step 2: At the time of a point-in-time survey at this hospital, 6 ORs, 4 surgeons, 6 anesthesiologists, and 10 nurse anesthetists are available to manage multiple casualties. The maximum number of simultaneous patients in the OR is $T0 = \min [OR, Surg, (Anes \text{ or } nurs-Anes)] = \min [6, 4, (6+ 10)] = 4$. At T+3h, after activation of the crisis plan, the hospital estimates that it will have 2 additional operating rooms and 6 additional surgeons. $T3 = \min [OR, Surg, (Anes \text{ or } nurs-Anes)] = \min [8, 10, (6+ 10)] = 8$.

Step 3: The share of available resources at T0 is define by $\beta_1 = \frac{T0}{Tmax} = \frac{4}{16} = 25\%$; for T3 by $\beta_2 = \frac{T3}{Tmax} = \frac{8}{16} = 50\%$

Step 4 : In a mass casualty situation, the acute care capacity of this hospital is a maximum of 16 simultaneous patients in the OR, 25% in the first hour and 50% after the crisis plan.

Figure 3 : Estimation of MassCare capacity, according to capability

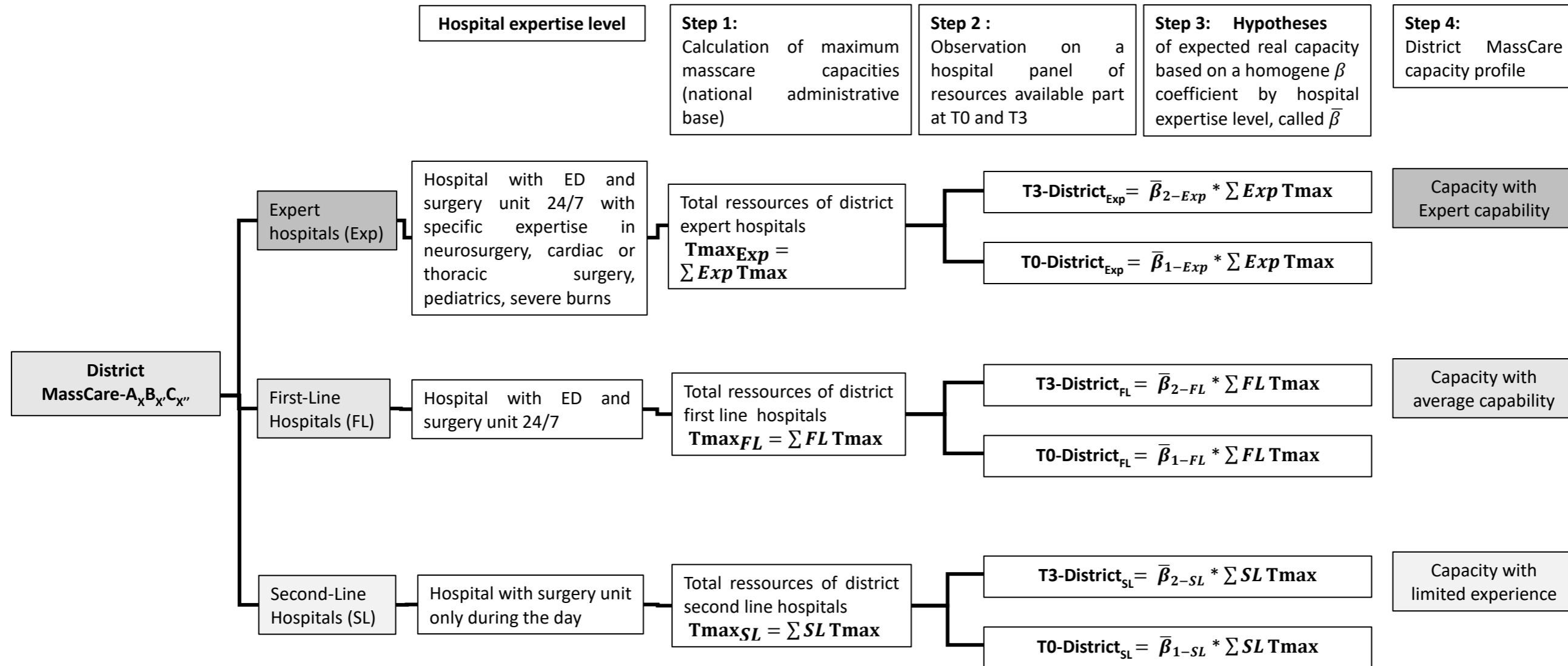


Figure 4 : Use of hospital and district MassCare capacity

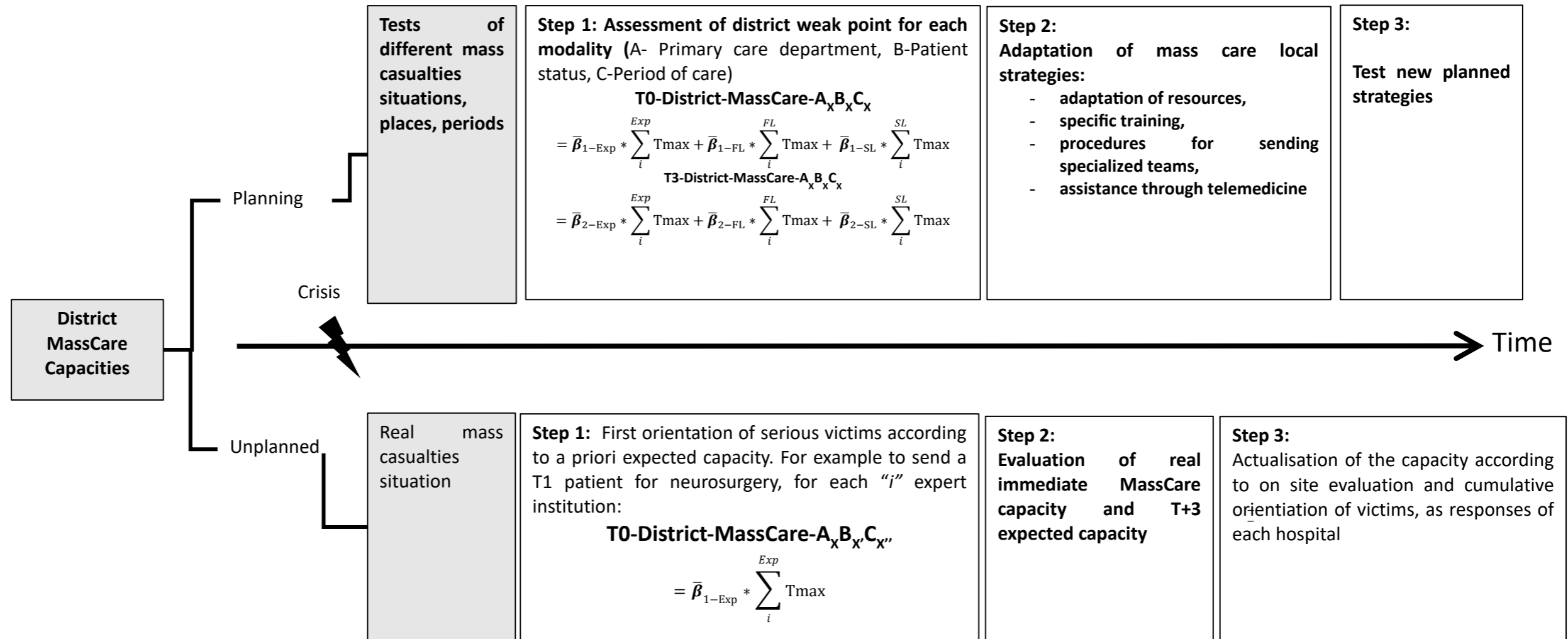


Figure 5 : Exemple of District MassCare capacity, according to capability

MassCare-A₁B₁C₁ (for surgery, adult, on working hours)

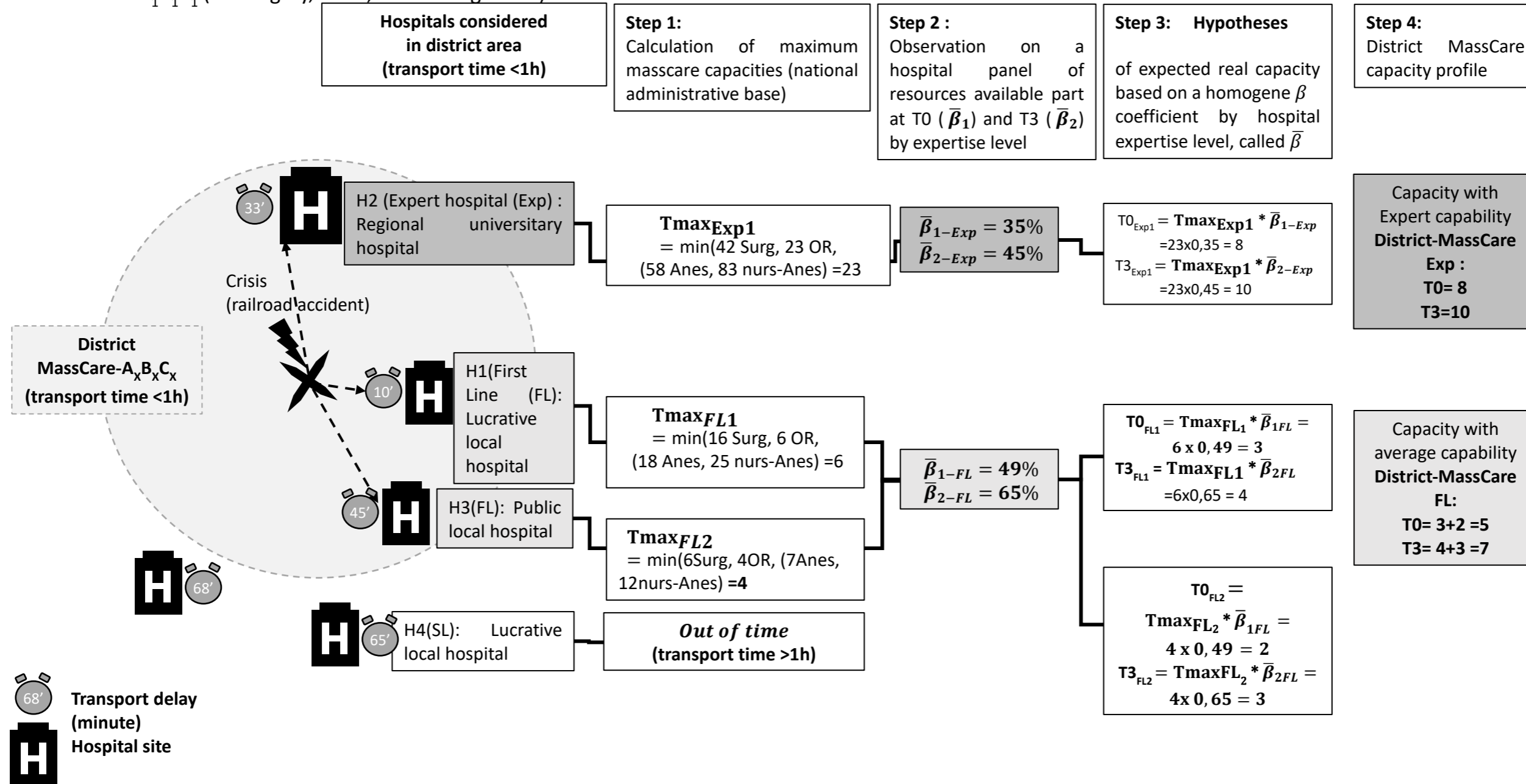


Table 1 : Calculation of Tmax-MassCare

NATO Triage	SAN101	Triage	A- Primary care unit	B- Victim status	C-Period	Tmax-Masscare	Hospital evaluation of Tmax- MassCare capacity
T1	EU « Extreme urgence »	Life saving surgery (damage control)	A1-Surgery department	B1- Adult	C1-Day time	A1B1C1	min [OR, Surg, (Anes or nurs-Anes)].
					C2- Night or week-end	A1B1C2	min [OR-NW, Surg-NW, (Anes-NW or nurs-Anes-NW)]
				B2- Child	C1-Day time	A1B2C1	min [OR, SurgP, AnesP].
					C2- Night or week-end	A1B2C2	min [OR-NW, SurgP-NW, AnesP-NW]
T2-severe	U1 « Urgence 1 »	Severe injury (delayed surgery)	A2-Emergency District for severe injuries	B1- Adult	1-Day time	A2B1C1	min (ED-doc ; EDnurse/2) x2
					C2- Night or week-end	A2B1C2	min (ED-doc-NW ; ED-nurse-NW/2) x2
				B2- Child	C1-Day time	A2B2C1	min [(ED-P-doc ; ED-P-nurse/2), pedP] x2
					C2- Night or week-end	A2B2C2	min (ED-Pdoc-NW ; ED-Pnurse-NW/2) x2
T2-relative	U2 « Urgence 2 »	Relative injury (medical treatment)	A3-Emergency District for relative injuries	B1- Adult	C1-Day time	A3B1C1	[[min (ED-doc ; EDnurse/2)]x2; left] x5
					C2- Night or week-end	A3B1C2	[min (ED-doc-NW ; ED-nurse-NW/2)x2;left] x5
				B2- Child	C1-Day time	A3B2C1	[min [(ED-P-doc ; ED-P-nurse/2), pedP] x2;left] x5
					C2- Night or week-end	A3B2C2	[min (ED-Pdoc-NW ; ED-Pnurse-NW/2) x2;left] x5
T3	U3 « Urgence 3 »	Minimal or psychotrauma (helped by untrained personnel)	A4- On site care	Does not depend on specific care resources			
T4	UD « urgence dépassée »	Expectant (delayed supportive treatment and palliative care)	A5- Not transported				

For each NATO triage category, MassCare capacity corresponds to the hospital's own capacities with regard to available personnel and equipment (OR: operating room, Surg: surgeon, Anes: anesthesiologist, nurs-Anes: anesthesia nurse, P:pediatric, NW: Night or week end (practitioner on call or present in no working hour), ED-doc: Emergency department doctor). To estimate the maximum simultaneous care capacities, we consider one person present for each full-time employee during working hours and one for each on-call role at night and on weekends (-NW). This information is found in national administrative resource databases.

For example, in a mass casualty incidents, each patient sent to the operating room requires the presence of these three minimum resources to be managed. In practice, these factors set the benchmark of the maximum theoretical capacity to manage several simultaneous patients for each hospital if all of its material and human resources are available.

The Tmax-MassCare for surgery (A₁) for adults (B₁) is given by:

$$\text{In working hours (C1): } T_{\max} - \text{MassCare} - A1B1C1 = \min[\text{OR, Surg, (nurs} - \text{Anes} + \text{Anes), nurs} - \text{OR}] \quad (\text{E3})$$

$$\text{In nonworking hours (C2): } T_{\max} - \text{MassCare} - A1B1C2 = \min[\text{OR}_{\text{NW}}, \text{Surg}_{\text{NW}}, (\text{nurs} - \text{Anes}_{\text{NW}} + \text{Anes}_{\text{NW}}), \text{nursOR}_{\text{NW}}] \quad (\text{E4})$$

Table 2 : Example of hospital MassCare capacity profile calculation

Data 1 : National health database : example data from an Expert hospital "i2" from the mandatory French Ministry Annual Survey of Hospitals (SAE survey)											
Facilities	OR	Surg	Surg-P	Anes	Anes-P	Nurs-Anes	ED-doc	ED-P-doc	ED-nurse	ED-P-nurse	
Working hours	23	42	3	58	2	83	6	2	8	4	
Non working hours (NW)	3	4	1	2	1	3	2	1	4	2	

Data 2 : resources available part at Time 0 (T0) and Time +3h (T3) observed on hospital panel specific test from health agencies for several hospitals												
Determinants	A1B1C1	A1B1C2	A1B2C1	A1B2C2	A2B1C1	A2B1C2	A2B2C1	A2B2C2	A3B1C1	A3B1C2	A3B2C1	A3B2C2
$\bar{\beta}_{1-Exp}$ T0	35%	100%	80%	100%	82%	91%	78%	86%	82%	91%	78%	86%
$\bar{\beta}_{2-Exp}$ T3 *	45%	100%	85%	100%	120%	100%	100%	100%	120%	100%	100%	100%

NATO Triage	SAN101	Triage	Tmax-Masscare	Hospital evaluation of Tmax- MassCare capacity	Step 1 :Calculation of Tmax according to hospital own facilities	Step 2: Beta coefficient observed on hospital panel	Step 3: Evaluation of hospital T0-MassCare capacity profile
T1	EU « Extrême urgence »	Life saving surgery (damage control)	A1B1C1	min [OR, Surg, (Anes or nurs-Anes)].	= min(23 OR, 42 Surg, (58 Anes, 83 Nurs – Anes)) = 23	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_1B_1C_1} = 35\%$	T0-MassCare _{A1B1C1} = 23 x 0,35 = 8
			A1B1C2	min [OR-NW, Surg-NW, (Anes-NW or nurs-Anes-NW)]	= min [3 OR-NW, 4 Surg-NW, (2 Anes-NW or 3 nurs-Anes-NW)]=3	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_1B_1C_2} = 100\%$	T0-MassCare _{A1B1C2} = 3 x 1 = 3
			A1B2C1	min [OR, SurgP, AnesP].	=min [23 OR, 3 SurgP, 2 AnesP]= 2	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_1B_2C_1} = 80\%$	T0-MassCare _{A1B2C1} = 2 x 0,8 = 2
			A1B2C2	min [OR-NW, SurgP-NW, AnesP-NW]	=min [3 OR-NW, 1 SurgP-NW, 1 AnesP-NW] =1	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_1B_2C_2} = 100\%$	T0-MassCare _{A1B2C2} = 1 x 1 = 1
T2-severe	U1 « Urgence 1 »	Severe injury (delayed surgery)	A2B1C1	min (ED-doc ; EDnurse/2) x2	= min (6 ED-doc ; 8 EDnurse/2) x2 = 8	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_2B_1C_1} = 82\%$	T0-MassCare _{A2B1C1} = 8 x 0,82= 7
			A2B1C2	min (ED-doc-NW ; ED-nurse-NW/2) x2	= min (2 ED-doc-NW ; 4 ED-nurse-NW/2) x2 = 4	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_2B_1C_2} = 91\%$	T0-MassCare _{A2B1C2} = 4 x0,91= 4
			A2B2C1	min [(ED-P-doc ; ED-P-nurse/2), pedP] x2	=min [(2 ED-P-doc ; 8 ED-P-nurse/2), 0 pedP] x2 = 4	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_2B_2C_1} = 78\%$	T0-MassCare _{A2B2C1} = 4 x 0,78 = 3
			A2B2C2	min (ED-Pdoc-NW ; ED-Pnurse-NW/2) x2	=min (1 ED-Pdoc-NW ; 4 ED-Pnurse-NW/2) x2 = 2	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_2B_2C_2} = 86\%$	T0-MassCare _{A1B2C2} = 2 x 0,86 = 2
T2-relative	U2 « Urgence 2 »	Relative injury (medical treatment)	A3B1C1	[[min (ED-doc ; EDnurse/2)]x2; left] x5	= min (6 ED-doc ; 8 EDnurse/2) x2; left] x5 = 40	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_2B_1C_1} = 82\%$	T0-MassCare _{A2B1C1} = 40 x0,82=33
			A3B1C2	[min (ED-doc-NW ; ED-nurse-NW/2)x2;left] x5	= min (2 ED-doc-NW ; 4 ED-nurse-NW/2) x2 ; left] x5 = 20	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_2B_1C_2} = 91\%$	T0-MassCare _{A2B1C2} = 20 x0,91= 18
			A3B2C1	[min [(ED-P-doc ; ED-P-nurse/2), pedP] x2;left] x5	=min [(2 ED-P-doc ; 8 ED-P-nurse/2), 0 pedP] x2; left] x5 = 20	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_2B_2C_1} = 78\%$	T0-MassCare _{A2B2C1} = 20 x 0,78 = 16
			A3B2C2	[min (ED-Pdoc-NW ; ED-Pnurse-NW/2) x2;left] x5	=min (1 ED-Pdoc-NW ; 4 ED-Pnurse-NW/2) x2; left] x5 = 10	$\bar{\beta}_{1-Exp-A_2B_2C_2} = 86\%$	T0-MassCare _{A1B2C2} = 10 x 0,86 = 9

Determinants of MassCare capacity:

- A. Primary care unit (1. operating room, 2. ED for severe victims, 3. ED for relative victims, 4. on-site care)
- B. Type of patient (1. adult, 2. child)
- C. Period of care (1. Working hours, 2. Nonworking hours: night and weekend).

For each hospital, the primary MassCare capacity is symbolized by the MassCare-AxBxCx index. For example, MassCare-A₁B₂C₂ represents the hospital MassCare surgery capacity for pediatric patients during the night or weekend.

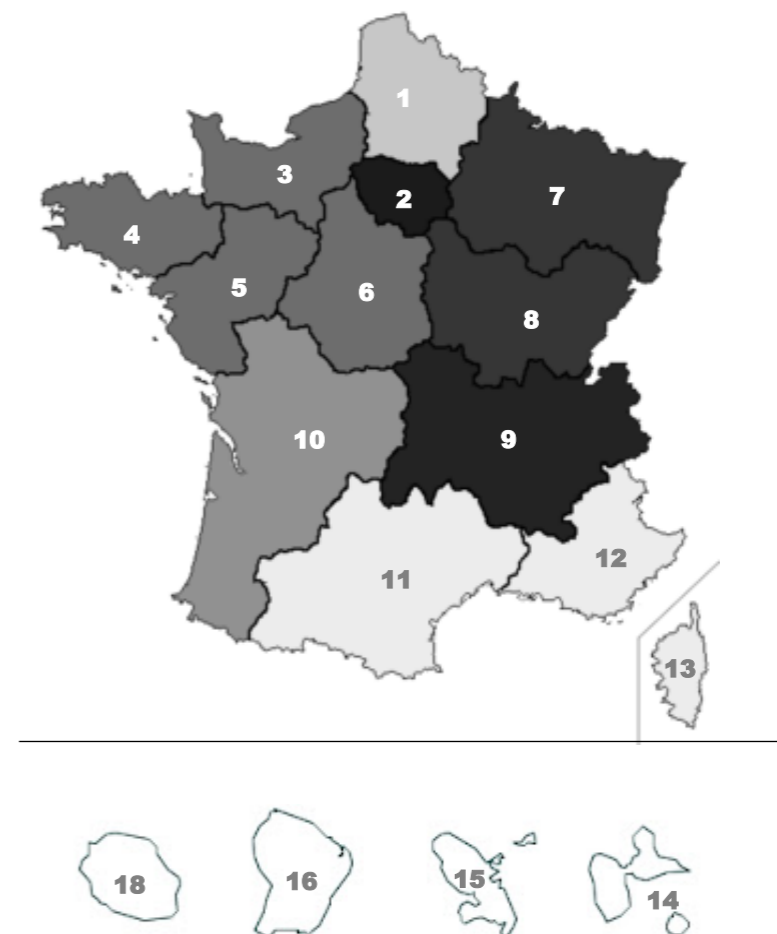
Capacity assessment for all hospitals is carried out by 3 steps:

- Step 1: maximum capacities (Tmax) for each, using national administrative databases for personnel and equipment.
 - Step 2: National surveys of hospital panels record the resources available at Time 0 (T0) and Time +3h (T3) and at different hours of the day. These data determine the mean percentage of expected resources available $\beta=(T0/Tmax)$
 - Step 3: For each hospital, real available capacity is determined by its own Tmax, and national β mean observed coefficient : For MassCare_{A1B1C1} : T0 = Tmax x β = min (23 OR, 42 Surg, (58 Anes, 83 Nurs-Anes)) x 0.35 = 8
- For this hospital, the total number of its personnel and materials, and the percentage of resources available from national surveys determine that its capacity would be 8 adult surgical victims

OR: operating room, Surg: surgeon, Anes: anesthesiologist, nurs-Anes: anesthesia nurse, P:pediatric, NW: Night or week end (practitioner on call or present in no working hour), ED-doc: Emergency department doctor

Figure S1 (Supplementary material) : Health administration areas in France, with 13 Regional Agencies (RHA), grouped into 7 Zonal Defense Areas (ZDA), and 6 overseas territories

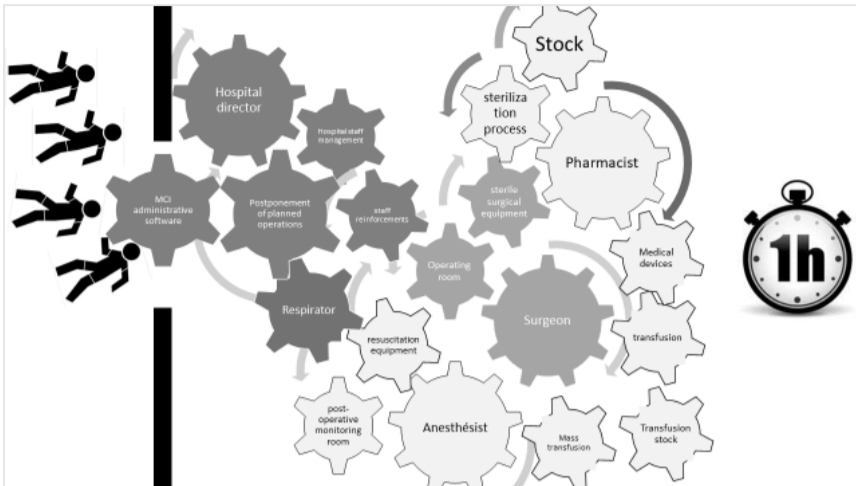
	Regional Health Agencies :	Zonal Defense Areas :	ZDA legend
In mainland France	1. North of France	Northern Defense zone	
	2. Paris region	Paris defense zone	
	3. Normandy	Western Defense Zone	
	4. Brittany		
	5. Loire river area		
	6. Center and and basin of Loire river	Eastern Defense Zone	
	7. Great East		
	8. Bourgogne and Franche-Comté	South-East Defense Zone	
	9. Auvergne-Rhône and Alpes		
	10. New-Aquitaine	South-Western Defense Zone	
	11. Occitania	South Defense Zone	
	12. Provence-Alpes and Côte d'Azur		
	13. Corsica		
In French overseas territories :	14. Guadeloupe	French West Indies Defense Zone	
	15. Martinique	Guyane defense zone	
	16. Guyana		
	17. Mayotte	Southern indian ocean defense zone	
	18. Reunion Island		
	19. Wallis and Futuna*	Specific security plans	
20. Saint Pierre and Miquelon*	Specific security plans		



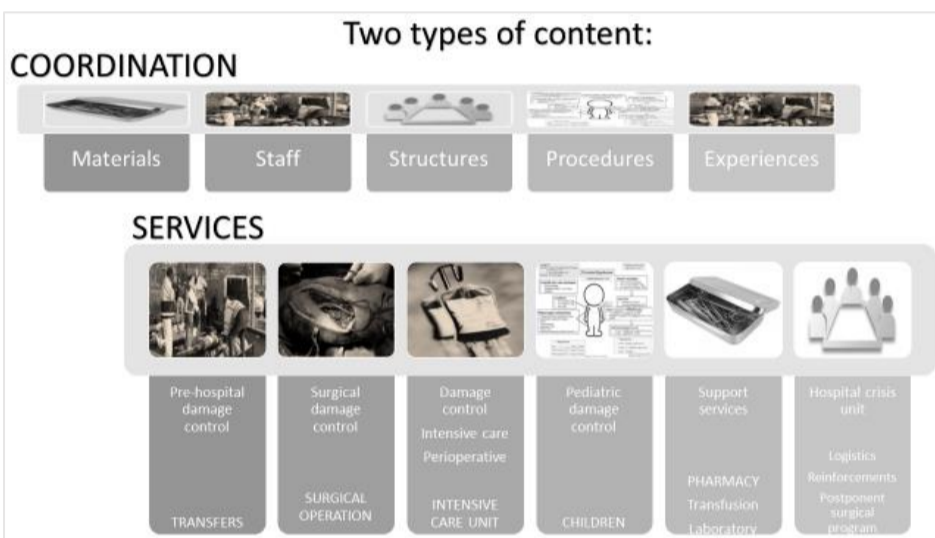
Legend: In metropolitan France, the health administration is managed by 13 regional agencies, grouped into 7 defense zones. For example, the regions of Occitania (11), Provence-Alpes-Côtes d'Azur (12) and Corsica (13) each have a regional health agency (RHA), administered by the southern zonal defense zone (ZDA). The French islands of the Pacific, South America and the Indian Ocean have their own health agencies. *"Wallis and Futuna" and "Saint Pierre and Miquelon" are specific territorial health administration

Figure S2 : Supplementary material 1: Steps in the development of the MassCare capacity assessment method by the working group.

Step 1: "Describe": hospital surge capacity decisive elements, for mass casualties incidents (parallel groups)



Step 2: "Structure" these criteria (parallel groups)



Step 3: "Detail" each element : useful or minimum per patient : restitution and face to face discussion

	MCI	Anesthesia	Surgery	Emergency department	Pediatrics	Pharmacy	Logistics	Secondary transfer
Material		Respirators Massive transfusion heater		Fast ultrasound in the operating room	Massive transfusion heater	surgical instruments Sterilization time Hemostasis drugs		Heliport transfer ambulance
Staff		Intensive care physicians nurse anesthesiologists Operating room nurses stretcher bearers	1 surgeon by patient	Emergency doctor and nurses	pediatric surgeons	Agents for sterilizing surgical instruments Transport the boxes directly to the operating room 1 referent present in the operating room	stretcher Administrative reception Logistics Biomedical Nursery for staff children	
Structure		Post-operative monitoring places Beds available in intensive care on-site transfusion, or emergency reserve	operating theaters available Proximity to other operational units		Pediatric respirators	Proximity outsourced or not hardware circuit		Heliport on the hospital site
Procedure		Pediatric resuscitation on site or remote expertise			Some specific surgical materials Direct contacts with laboratories	Specific sterilization procedure in short damage control procedure	Administrative reinforcement MCI administrative software Procedure for alerting professionals on site	Procedure
Experience		Pediatric anesthesia in routine activity Pediatric resuscitation on site or advice	routine pediatric surgery		Pediatric anesthesia in routine activity Pediatric resuscitation on site or advice		Regular exercises Specific training	

Step 4 : Conclusion (debating for consensus)

Conclusion : Method built in a working group :

We consider 3 modalities:

- o Primary care unit (1=operating theatre/2=emergency department),
- o Type of patient (1=adult/2=child),
- o Period of care (1=day or 2=non-working period) Example: A1B2C2= hospital surgery capacity for pediatric patients during the night or weekend

Capacities depend on hospital resources, with at least for each patient:

- o In the operating theatre: 1 surgeon + 1 anesthetist or 1 nurse anesthetist + 1 operating room nurse + 1 operating room
- o In emergency department: 1 doctor and 2 nurses for 2 severe patients
- o In emergency department : 1 doctor and 2 nurses for 10 non-severe patients, on the remaining places
- o In hospital: according to annual occupancy rate by type of unit/age (e.g. critical care units)

We define 2 benchmarks:

- o Resource Masscare capacity (Tmax) (National administrative data, available for all hospitals, every year)
- o Structural Masscare capacity (T0, T3) (Flash survey on a representative group of hospitals)

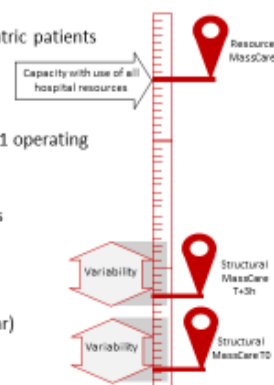


Table S1 (supplementary material) : Characteristics of the working group

	Members of the working group (N=31)		
	Overall	Adults' specialist	Children' specialist
Working structure			
Regional Health Agency (RHA)	1	na	na
Zonal Health Agency (ZHA)	2	na	na
Expert hospital ¹	17	na	na
First-line hospital ²	8	na	na
Second-line hospital ³	3	na	na
Medical specialties	31		
Emergency medicine	9	7	2
Anaesthesia and critical care	5	4	1
Surgery and operating room supervision	6	4	2
Pharmacy and sterilization	7	na	na
Quality and risk management	4	na	na

na : not applicable

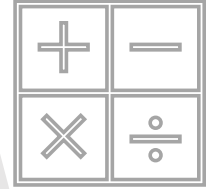
¹ Expert hospital: EDs, 24-hour surgical technical platforms, and highly specialized technical platforms for patients requiring complete care (trauma centers, resuscitations, cardiothoracic surgeries, neurosurgeries, pediatric surgeries and resuscitations, severe burn units)

² First-line hospital: EDs and 24-hour surgical technical platforms

³ Second-line hospital: surgical technical platforms without EDs

Quantifier les ressources

Calcul du repère capacitaire maximal de chaque établissement (2020)



- **Article 2: Modeling hospital surgical capacity in mass casualty incidents: a national metric of the MassCare index**

AUBRION A, NADIN L, HARDEL L, LEFEBVRE-SCELLES A, MACREZ R, MORELLO R, GUITTET L

Article en review

ARTICLE 2 : CALCUL DU TMAX

Modélisation de la capacité chirurgicale des hôpitaux lors d'incidents faisant de nombreuses victimes : une mesure nationale de l'indice MassCare.

**Les références, tables et figures repris dans le résumé ci-dessous sont indexés par rapport à leur citation dans l'article n°2*

RESUME DE L'ARTICLE 2 :

INTRODUCTION

L'évaluation a priori de la capacité de réponse immédiate d'un hôpital en cas d'afflux massif de victimes est cruciale pour établir le plan de préparation de l'établissement, et la meilleure stratégie de répartition sur un territoire. L'indicateur MassCare repose sur l'évaluation en deux temps : la capacité maximale des ressources de chaque hôpital renseignée annuellement (Tmax) (15), et l'évaluation de sa part réellement disponible (T0) lors d'enquêtes coordonnées auprès de panels d'hôpitaux (16). L'objectif de cette étude était d'appliquer la méthode en calculant la capacité chirurgicale Tmax de chaque hôpital en cas de situation sanitaire exceptionnelle (SSE) à partir des ressources totales en personnel et en matériel déclarées, puis en vérifiant son intérêt et sa cohérence par rapport au calcul des variables d'activités.

MÉTHODE

Les données étaient extraites de l'enquête des Statistiques Annuelles des Etablissements (SAE) de 2019, une enquête déclarative annuelle obligatoire de du ministère français de la Santé qui décrit l'activité médicale, le personnel et les infrastructures de tous les hôpitaux français, et le PMSI qui collige les données d'activité (coordonnée par la Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (DREES)).

Pour être inclus dans l'étude, les hôpitaux devaient disposer d'au moins un critères parmi : une salle d'opération chirurgicale, ou une au moins une catégorie parmi : chirurgien équivalent temps plein (Surg), nombre annuel d'interventions chirurgicales avec hospitalisations (BLOCS_A10), interventions chirurgicales ambulatoires annuelles (BLOCS_B10) et interventions chirurgicales totales annuelles (BLOCS_C10). Sur les 4 063 hôpitaux inclus dans l'enquête SAE, seuls les 1 013 hôpitaux déclarant au moins une salle d'opération ou ayant des séjours chirurgicaux supérieurs à 100 par an ont été pris en compte pour l'inclusion. Les hôpitaux hyperspécialisés pratiquant uniquement de la chirurgie ophtalmologique, obstétricale ou pédiatrique ont également été exclus (N = 22), ainsi que les hôpitaux non dédiés aux soins aigus.

Les hôpitaux ont été classés selon leur statut administratif et leur niveau d'expertise ORSAN (ORganisation de la réponse SANitaire). Les variables déclaratives suivantes étaient utilisées: le nombre de lits d'hôpitaux, de salles d'opération, de chirurgiens, d'anesthésistes et d'infirmières en anesthésie. Les données du PMSI ont été utilisées pour comptabiliser le nombre annuel d'interventions chirurgicales et le nombre annuel de séjours hospitaliers. Aucune donnée individuelle sur la santé n'a été collectée. Le projet a reçu l'accord du comité local d'éthique de la recherche en santé du CHU de Caen le 19 décembre 2019. Leurs caractéristiques ont été comparées par le test du chi deux. Le risque alpha était de 5%. L'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel SAS System™ 9.4.

Calcul de l'indicateur de capacité chirurgicale Tmax-MassCare à partir des données SAE

Cette capacité est notée $T_{max-MassCare-A_1-B_1-C_1}$, indiquant le nombre maximal théorique (T_{max}) de patients pris en charge simultanément au bloc opératoire (A_1) adultes (B_1) en semaine en horaire ouvré (C_1). Ainsi on évalue : $T_{max-MassCare-A_1-B_1-C_1} = \min [OR, Surg, (Anes + nurse-Anes)]$

où « OR » est le nombre de salles d'opération, « Surg » est le nombre de chirurgiens équivalents temps plein (ETP), « Anes » est le nombre d'anesthésiologistes ETP et « infirmières-Anes » est le nombre d'infirmières en anesthésie ETP. $T_{max-MassCare-A_1-B_1-C_1}$ est nommé $T_{max-MassCare}$ dans la suite du document.

Cet indicateur $T_{max-MassCare}$ peut théoriquement être calculé si aucune des 4 variables combinées dans l'équation ne manque. En 2019, 138 des 875 hôpitaux (15,8 %) inclus dans notre analyse manquaient de données pour au moins une de ces variables. Les données manquantes ont été considérées comme manquantes au hasard (MAR), et nous avons utilisé une méthode d'imputation multiple utilisant des équations chaînées (MICE) après avoir supprimé les valeurs aberrantes (par exemple, aucun chirurgien employé malgré la présence d'une activité en salle d'opération).(17) Les imputations ont été effectuées pour 40 ensembles et en imposant un minimum zéro sur les variables de ressources. Compte tenu des particularités structurelles des hôpitaux situés en Ile de France, l'imputation a été stratifiée selon leur appartenance à la région parisienne et s'est appuyée sur trois variables accessoires : le statut juridique, le classement ORSAN et la région d'appartenance de chaque hôpital, mais pas sur les données d'activité. $T_{max-MassCare}$ a ensuite été calculé dans les bases imputées, puis calculé pour tous les hôpitaux.

A noter que cette capacité $T_{max-MassCare-A_1-B_1-C_1}$ n'utilise pas de données d'activité mais dépend de données déclaratives sur le personnel et le matériel chirurgical, sujettes à des biais et des données manquantes. A l'inverse, la base de données PMSI est considérée comme plus fiable et sans donnée manquante. Un modèle de régression peut permettre d'évaluer la capacité attendue pour les établissements où certaines données de calcul du T_{max} seraient manquantes, et donner un repère de capacité de réponse attendue pour un certain niveau d'activité, de séjours, ou de lits installés.

Ainsi, une deuxième méthode a été utilisée pour prédire cette capacité $T_{max-MassCare}$ à partir des données d'activité ou du nombre de lits installés à l'aide de modèles de régression linéaire. Deux types de modèles ont été testés : non stratifiés, et stratifiés par type d'hôpital (public, privé à but lucratif ou privé à but non lucratif) ou par classification ORSAN (SL, PL, Exp). Les variables explicatives suivantes ont été testées dans des analyses univariées et multivariées : nombre d'interventions chirurgicales hospitalières, nombre d'interventions chirurgicales ambulatoires, nombre d'interventions nécessitant une anesthésie et nombre de lits (ou jours) dans les unités chirurgicales, les unités médicales et d'obstétrique. Le meilleur modèle a été sélectionné sur la base de la qualité de l'ajustement (R^2) et en appliquant le principe de parcimonie.

L'inverse du coefficient β (pente) de la régression linéaire à ordonnée à l'origine nul donne le rapport du nombre moyen d'actes annuels pour la prise en charge chirurgicale d'un patient en situation de MCI, en considérant que toutes les ressources sont disponibles (T_{max}). Par exemple, si le coefficient associé au nombre d'interventions chirurgicales hospitalisées est de 0,002, cela implique qu'en moyenne, chaque hôpital peut traiter 1/0,002 soit 1 patient pour 500 séjours chirurgicaux hospitaliers annuels. Autrement dit, un hôpital réalisant 5 000 interventions chirurgicales avec hospitalisation par an aurait les ressources nécessaires pour soigner 10 patients simultanément en cas d'AMAVI si toutes ses ressources propres sont disponibles. L'utilisation de l'équation de régression linéaire permet en suite de prédire une capacité d'accueil (notée $T_{max-MassCare}^*$) à partir des données d'activité de l'établissement.

Estimation de la capacité régionale $T_{max-MassCare}$ par catégorie ORSAN des hôpitaux

Le meilleur modèle de régression linéaire a été utilisé pour prédire la capacité Tmax-MassCare* de chaque hôpital, et ces capacités ont été regroupées par région et type d'hôpital ORSAN. Enfin, les capacités régionales Tmax-MassCare* par million d'habitants (/mHab.) ont été calculées à partir des données du recensement de 2021.

RÉSULTATS

Caractéristiques des hôpitaux

Après exclusion des hôpitaux hyperspécialisés ou à très faible activité chirurgicale, 875 sites géographiques d'hôpitaux français ayant une activité chirurgicale ont été inclus (Tableau 1), répartis en 384 publics (43,9%) ; 400 privés à but lucratif (45,7%) ; et 91 (10,4 %) institutions privées à but non lucratif. Il y avait 289 (33,0 %) hôpitaux publics de proximité et 95 (10,9 %) hôpitaux publics régionaux (CHRU). Selon la classification hospitalière des hôpitaux du MCI, 57 sites (6,5 %) étaient considérés comme des hôpitaux experts, 286 (32,7 %) étaient en première ligne et 532 (60,8 %) en deuxième ligne ($p < 0,001$). En moyenne, les hôpitaux comptaient 7,7 salles de chirurgie, 17,9 chirurgiens ETP, 8,7 anesthésistes ETP et 13,3 infirmières anesthésistes (annexe 1). Ces hôpitaux ont réalisé en moyenne 4 213,9 interventions chirurgicales par an en hospitalisation complète et 4 764,4 interventions ambulatoires. Les ressources et l'activité différaient selon la catégorie ORSAN ($p < 0,001$) (Tableau 1)

Construction de l'indicateur Tmax-MassCare pour chaque hôpital

Étape 1 : Imputation des variables de ressources et calcul de la capacité des ressources Tmax-MassCare

Notre ensemble de données contenait plus de 10 % de données manquantes pour trois des quatre variables de ressources (Annexe 2). Aucun des hôpitaux n'avait de données manquantes sur le nombre de salles d'opération, 121 (13,8 %) avaient des données manquantes sur les chirurgiens, 100 (11,4 %) sur les anesthésistes et 242 (27,7 %) sur les infirmières anesthésistes. Aucun des hôpitaux ne manquait de données sur les variables d'activité. Dans ce contexte, une analyse complète des cas aurait réduit le nombre d'hôpitaux dans l'ensemble de données de 15,8 %. Il n'y avait aucune donnée manquante sur les variables catégorisant les hôpitaux (statut juridique, catégorie d'hôpital MCI, région ARS). Les hôpitaux ayant une activité chirurgicale annuelle significative malgré l'une des ressources critiques identifiées comme nulles ont été considérés comme des valeurs aberrantes pour l'imputation. La majorité des variables étaient associées à des données manquantes, ce qui indique un processus de données manquantes au hasard (MAR). Leur répartition n'était pas monotone.

Étape 2 : Modélisation de la capacité des ressources à partir des données d'activités extraites du PMSI (Tableau 2)

À l'aide de modèles de régression linéaire non stratifiés, une association significative a été trouvée entre la capacité Tmax-MassCare (avec imputation) et chacune des variables annuelles d'activité chirurgicale. Le meilleur modèle univarié, basé sur la comparaison de la statistique d'adéquation R^2 , utilisait l'activité chirurgicale annuelle totale (BLOCS_C10) comme variable explicative, avec l'équation suivante : $Tmax-MassCare = 0,000694 * BLOCS_C10$ (donc $1/\beta$ correspondant à une capacité d'un patient pour 1441 interventions annuelles) (Tableau 2). La modélisation de la capacité Tmax-MassCare en fonction des variables de séjour chirurgical ou de lit a obtenu un ajustement de modèle similaire ($R^2 > 80$).

La régression univariée avec stratification par classe d'hôpital MCI explique la variabilité de la capacité par activité chirurgicale annuelle totale chez 88,9 % des experts ($\beta=0,000783$), 88,3 % des hôpitaux de première ligne ($\beta= 0,000722$) et 86,3 % des hôpitaux de deuxième ligne. ($\beta=0,000644$). La stratification selon le statut juridique l'explique à 88,9 % pour les hôpitaux publics ($\beta=0,000794$), à 86,9 % pour les hôpitaux privés à but lucratif ($\beta=0,000624$) et à 90,1 % pour les hôpitaux privés à but non lucratif ($\beta= 0,000735$).

L'analyse de régression linéaire multivariée n'a pas donné de meilleurs résultats. Les coefficients β et R^2 étaient proches même après stratification.

Étape 3 : Capacité modélisée Tmax-MassCare* pour chaque hôpital et territoire

Le modèle final choisi pour modéliser la capacité Tmax-MassCare* était la régression univariée par activité chirurgicale annuelle totale BLOCS_C10. Les coefficients de régression associés à la variable BLOCS_C10 dans ce modèle sont devenus les poids de la variable d'activité. La capacité Tmax-MassCare* de chaque hôpital a été évaluée pour un objectif de 1 patient pour 1441 actes annuels, qu'ils soient réalisés en hospitalisation complète ou en soins ambulatoires.

La capacité maximale de ressources Tmax-MassCare* obtenue par l'hôpital était de 12,7 patients par hôpital expert, de 5,8 par hôpital de première ligne et de 5,8 par hôpital de deuxième ligne.

La capacité maximale théorique d'accueil massif de victimes au bloc opératoire TmaxMassCare (si l'ensemble des ressources des établissements étaient présentes sur site et disponibles), est de 726 patients dans les hôpitaux experts [706-746], 1658 dans les hôpitaux de première ligne [1613-1704] et 3067 dans les hôpitaux de deuxième ligne [2983-3151]. Cette capacité est en moyenne par ARS de 411 patients en France métropolitaine (écart-type = 240 ; 59 en hôpitaux experts, 126 en hôpitaux de première ligne, 231 en hôpitaux de deuxième ligne). (Tableau 3). La capacité de prise en charge était en moyenne de 81,5 patients /Mhab. pour l'ARS en France métropolitaine et 47,6 patients /mHab. pour l'ARS d'outre-mer. La capacité maximale des ARS métropolitaines était de 97,1 patients /mHab. en Provence-Alpes Côte d'Azur IC 95 % [94,5-99,8] ; le minimum était de 67,4 patients /mHab. en Centre-Val de Loire IC 95% [65,6-69,2]. La capacité régionale maximale dans les DOM-TOM était de 57,8 patients /mHab. en Guadeloupe IC 95 % [56,2-59,3] et à La Réunion IC 95 % [56,2-59,4] ; le minimum était de 15,3 patients /mHab. à Mayotte IC 95 % [14,9-15,8].

Le même modèle de régression, cette fois stratifié sur la classification ORSAN des hôpitaux, donnait une différence de -1,1% en capacité nationale ; avec une augmentation de la capacité des hôpitaux experts (+12,8%) et de première ligne (+4,0%) et une diminution de la capacité des hôpitaux de deuxième ligne (-7,2%) (Tableau 3).

DISCUSSION

Nous avons proposé une méthode d'estimation des capacités d'accueil maximales d'un afflux de victimes chirurgicales (Tmax-MassCare) des hôpitaux basée sur l'activité chirurgicale annuelle, des données fiables et facilement disponibles, comme proxy si nécessaire des ressources chirurgicales parfois non renseignées. En résumé, un hôpital réalisant 7 205 interventions chirurgicales par an, quelle que soit leur nature (hospitalisation ou ambulatoire), aurait les ressources nécessaires pour prendre en charge simultanément 5 patients gravement traumatisés dans un MCI si toutes les ressources de l'établissement étaient disponibles.

Habituellement, les capacités de gestion AMAVI reposent sur des évaluations ad hoc difficiles à reproduire et ne s'appuient pas sur des méthodes d'évaluation standardisées.(13) Les données issues de l'expérience réelle sont rares et montrent que le nombre total de victimes admises par hôpital est faiblement corrélé à sa capacité immédiate en soins aigus.(18,19) Par conséquent, ces expériences peuvent difficilement être utilisées pour la construction de méthodes d'évaluation des capacités AMAVI.

La première étape de notre méthode s'appuie sur l'enquête SAE, une source de données officielle et nationale, qui souffre de données manquantes sur les ressources. Le recours à l'imputation multiple a permis d'éviter l'exclusion de 15,8 % des hôpitaux ayant au moins une de leurs ressources non renseignée, ce qui a augmenté la validité externe de nos résultats. Ces ressources manquantes pourraient être dues à des réponses incomplètes ou à des raisons organisationnelles, notamment l'absence de ressource correspondante dans l'hôpital (par exemple, infirmières anesthésistes), l'absence de ressource fixe (praticiens non titulaires, personnel temporaire) ou des ressources partagées entre les hôpitaux. La capacité MCI calculée à partir des ressources déclarées ou imputées a ensuite été modélisée en utilisant le nombre réel d'interventions (activité chirurgicale) tel que mesuré dans le PMSI. Les données PMSI sont enregistrées à des fins de paiement et sont donc plus fiables.

Cependant, notre méthode présente également certaines limites. L'évaluation des données annualisées ne rend pas compte des variations des activités hebdomadaires qui impactent les capacités d'accueil AMAVI. La capacité réelle de soins d'un hôpital varie à tout moment, ce qui rend difficile son évaluation directe par les hôpitaux et les autorités. MassCare fixe un indicateur de capacité spécifique à l'hôpital par rapport à ses ressources totales, considérant les ressources minimales pour toute intervention chirurgicale (au moins 1 chirurgien, 1 anesthésiste ou infirmière-anesthésiste, 1 salle d'opération par intervention). L'adaptation par modification de la norme de soins en cas de situation exceptionnelle peut impacter l'évaluation du nombre de patients éligibles aux ressources de l'hôpital.(19) L'évaluation des capacités devrait être testée par des relevés ponctuels, et évaluée par avis d'experts.

CONCLUSION

MassCare définit une référence des ressources de soins maximales d'un hôpital pour accueillir plusieurs victimes chirurgicales simultanées. Ce travail est la première étape de calcul de l'indicateur. Des travaux supplémentaires sont nécessaires pour évaluer les autres modalités combinées du Tmax-MassCare : A : (adulte ou enfant), B(au bloc ou aux urgences), C (période ouverte ou non). Ensuite la part de ressources disponibles immédiatement devra être évaluée pour chaque modalité par un recueil coordonné sur un panel d'établissements. Enfin un test de concordance sera nécessaire pour comparer la capacité estimée et observée, par avis d'experts ou recueil sur d'autres établissements.

Article soumis n°2:

Modeling hospital surgical capacity in mass casualty incidents: a national metric of the MassCare index.

ABSTRACT

Background: The a priori assessment of medical response capacity for disasters in each hospital is crucial to establish the maximum receivable number of patients and the best allocation strategy. The objective of this study was to calculate the maximal surgical capacity of each French hospital for adult victims of mass casualty incidents (MCI) during working hours (Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁).

Methods: Data were taken from the 2019 national SAE survey, which records the activity and resources of French hospitals. The Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁ indicator was calculated using resources for each hospital with sufficient data, as the minimum of its number of operating rooms, surgeons, and anaesthetists or anaesthesia nurses declared. Linear regression models were used to predict this Tmax-MassCare indicator using the hospital activity measured in the PMSI database, an exhaustive database used for payment purposes. Estimates of MCI surgical capacity per million inhabitants (p.m.h.) were further calculated by French region.

Results: Of the 875 hospitals included, 15.8% had missing data on resource variables precluding calculation of the Tmax-MassCare indicator without imputation. The capacity calculated for the remaining hospitals would be better predicted with the assumption that one patient in the MCI situation could be admitted for every 1441 annual procedures ($R^2=0,87$, univariate linear regression model). Using this approximation, the MCI surgical capacity was 81.5 patients p.m.h. in metropolitan France and 47.6 in overseas France.

Conclusion: The maximal MCI surgical capacity in adults can be estimated using the annual number of procedures as a proxy. Further studies are needed to provide estimators outside of working hours and for paediatric victims.

Keywords: Disaster management, Disaster metrics, Multiple-casualty incident, Surge capacity, Triage

BACKGROUND

Disaster medical plans (DMP) are designed to manage sudden mass casualty incidents (MCI). The a priori assessment of medical response capacity for disasters in each hospital is crucial to establish the maximum receivable number of patients and the best allocation strategy.¹ The standardization of the assessment of surge capacities would allow more efficient planning, particularly when a crisis situation requires interstate collaboration.²⁻⁴ However, these a priori evaluations are difficult, lack scientific evidence and have no universally accepted quantification methods.⁵⁻⁹ The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 underlines the social responsibility of academia and research entities to develop tools for practical application to help lessen the consequences of disasters.^{10,11} The WHO aims to create a new dynamic, multihazard, evidence-based preparedness metric that can gauge the preparedness capacity for each country or region.¹²

Similar to many countries, France has faced mass casualty incidents, such as the Bataclan attack at Paris in 2015, the National Day celebration at Nice in 2016, rail accidents, and climatic disasters. A national strategy for preparing for exceptional health situations is specified,^{13,14} organized with 13 Regional Health Agencies (RHAs). MCI hospital classification is divided into 3 levels: second-line centres (SL) (surgical technical platforms without EDs), first-line centres (FL) (EDs and 24-hour surgical technical platforms), including expert centres (Exp) (FL with highly specialized technical platforms for patients requiring complete care (trauma centres, resuscitations, cardiothoracic surgeries, neurosurgeries, paediatric surgeries and resuscitations, severe burn units)).

Our team developed a practical method to estimate the expected care capacity in the event of a mass influx of patients. The MassCare indicator is based on the maximum capacity evaluation from the resources of each hospital surveyed annually (T_{max})¹⁵ and the evaluation of the part actually available (T_0) during coordinated surveys on panels of hospitals.¹⁶ It can be used to help front-line rescue personnel make a choice based on the care resources available in the nearest hospital.

The objective of this study was to apply the method by calculating the T_{max} surgical capacity of each French hospital for MCI based on the declared staff and equipment whole resources and then checking its interest and consistency compared to computing activity variables.

METHODS

The MassCare indicator

The MassCare indicator is noted as T_x -MassCare-A₁-B₁-C₁, with T_x for Time since the MCI (T_{max} = maximum theoretical capacity if all of the hospital's material and human resources were available, T_0 = immediately available capacity at the time of MCI, and T_3 = available capacity three hours after MCI resulting from applying the DMP), A₁ for surgical capacity, B₁ for adults victims and C₁ for working hours).¹⁶ The study aimed to evaluate T_{max} -MassCare, which is the maximal theoretical surgical capacity for adults, during working hours.

Data

SAE survey

The data were extracted from the SAE survey of 2019, a mandatory annual declarative survey directed by the French Health Ministry (DREES) that described the medical activity, staff and infrastructures of all French hospitals.¹⁵ The data used concerned operating room activity, staff, and administrative data of the institutions. Data on surgical activity included in SAE statistics were derived from automated exports of the PMSI (Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information) database. The PMSI database records medical information on all hospital stays for payment purposes.

Selection of hospitals

To be included in the study, hospitals had to meet at least one of the following criteria: having at least one surgical operating room or a nonzero value for at least one of the following variables: surgeon full-time equivalents (Chir_j), annual inpatient surgical procedures (BLOCS_A10), annual outpatient surgical procedures (BLOCS_B10), and annual total surgical procedures (BLOCS_C10).

After the initial selection, the following hospitals were excluded: hospitals hyperspecialized in ophthalmology, gynaecology, obstetrics, with a third-line MCI hospital classification, or with very low surgical activity. The University Hospital of Pointe-à-Pitre-Abymes in Guadeloupe was also excluded since no data on human resources or surgical activity were available in the SAE for 2019.

Of the 4063 hospitals included in the SAE survey, only the 1013 hospitals declaring at least one operating room or with surgical stays greater than 100 per year were considered for inclusion. Hyperspecialized hospitals performing only ophthalmologic surgery, obstetrics or paediatric surgery were further excluded (N=22), along with hospitals not dedicated to acute care or without any surgical rooms (N=116).

Variables

Hospitals were categorized according to their administrative type (public hospitals including university hospitals, private for-profit, private not-profit) and to their DMP classification (expert, FL or SL hospitals) deduced by analysing their specific expertise (emergency department, neurosurgery, cardiac surgery, paediatric surgery, major burns). They were grouped by administrative regions, which correspond to the RHA involved in DMP, with the exception of La Reunion and Mayotte, which are grouped together in a single RHA (Indian Ocean RHA).

The following declarative variables were used in the analysis: the number of hospital beds (total distinguishing beds dedicated to surgery, medicine or obstetrics), the number of operating rooms, and the number of surgeons, anaesthesiologists, and anaesthesia nurses.

Furthermore, PMSI data were used to count the annual number of surgical procedures (overall and distinguishing outpatient and inpatient stays) and the annual number of hospital inpatient stays (overall and distinguishing surgical, medical or obstetrical stays).

No individual health data were collected. The project received approval from the local health research ethics committee of the University Hospital of Caen on December 19, 2019.

Statistical analysis

The hospital characteristics and the distribution of missing data were compared by the chi-square test. Quantitative variables are represented by quintiles. Percentages were compared using chi-square tests. Alpha risk was 5%. The statistical analysis was performed with SAS System™ 9.4 software.

Calculation of the T_{max} -MassCare-A₁-B₁-C₁ surgery capacity indicator using SAE data

Calculation of the resource capacity from the material and human resources. This calculated resource capacity is denoted as T_{max} -MassCare-A₁-B₁-C₁.

$$T_{max}\text{-MassCare-A}_1\text{-B}_1\text{-C}_1 = \min [\text{OR}, \text{Surg}, (\text{Anes} + \text{nurs-Anes})]$$

where "OR" is the number of operating rooms, "Surg" is the number of full-time equivalent (FTE) surgeons, "Anes" is the number of FTE anaesthesiologists, and "nurs-Anes" is the number of FTE anaesthesia nurses.

This T_{max} -MassCare-A₁-B₁-C₁ indicator can theoretically be calculated if none of the 4 variables combined in the equation is missing. In 2019, 138 of the 875 hospitals (15.8%) included in our analysis had missing data for at least one of these variables. Missing data (supplementary material) were considered missing at random (MAR), and we used a multiple imputation method using chained equations (MICE) after deleting the outliers (e.g., no surgeon employed despite the presence of operating room activity).¹⁷ Imputations were performed for 40 sets and by imposing a zero minimum on the resource variables. In view of the structural particularities of hospitals located in Paris, the imputation was stratified according to whether they belonged to the Paris region and was based on three accessory variables: legal status, DMP classification, and RHA for each hospital, but not on activity data. T_{max} -MassCare-A₁-B₁-C₁ was further calculated in the imputed bases and was then calculated for all hospitals.

Note that this T_{max} -MassCare-A₁-B₁-C₁ capacity does not use activity data but is dependent on declarative data on staff and surgical equipment, subject to bias and missing data. Conversely, the PMSI database is considered more reliable and complete, as it is used for payment purposes. Hence, a second method was used to predict this T_{max} -MassCare-A₁-B₁-C₁ capacity from PMSI activity data

or the number of beds (declared in SAE) using linear regression models. Models were unstratified and stratified by type of hospital (public, private for-profit, or private nonprofit) or DMP classification (SL, FL, Exp). The following explanatory variables were tested in univariate and multivariate analyses: number of inpatient surgical procedures, number of outpatient surgical procedures, number of procedures requiring anaesthesia, and number of beds (or days) in surgical units, medical units and obstetrics.

The best model was selected based on goodness of fit (R^2) and applying the principle of parsimony.

In univariate analysis, the inverse of the coefficient β (slope) of the linear regression with zero intercept gives the ratio of the average number of annual acts for the surgical management of a patient in an MCI situation, considering that all resources are available (T_{max}). For example, if the coefficient associated with the number of inpatient surgical procedures is 0.002, it implies that on average, each hospital can treat 1 patient for 500 inpatient surgical stays. In other words, a hospital performing 5,000 surgical procedures with hospitalization per year would have the resources to care for 10 simultaneous patients in the event of an MCI if all of its own resources are available. Using the equation of linear regression leads to a second calculation of the indicator, renamed $T_{max}\text{-MassCare-A}_1\text{-B}_1\text{-C}_1^*$ (*meaning predicted), based on activity data extracted from the PMSI database.

Estimation of regional $T_{max}\text{-MassCare}$ capacity by DMP category of hospitals

The best linear regression model was used to predict the $T_{max}\text{-MassCare-A}_1\text{-B}_1\text{-C}_1^*$ capacity of each hospital, and these capacities were aggregated by region and DMP hospital type. Finally, the regional $T_{max}\text{-MassCare-A}_1\text{-B}_1\text{-C}_1^*$ capacities per million inhabitants (p.m.h.) were calculated using census data from 2021.

RESULTS

Characteristics of hospitals

After exclusion of hospitals hyperspecialized in ophthalmology or women's surgery (gynaecology, obstetrics), with a third line MCI Hospital classification, or with a very low surgical activity, 875 geographic sites of French hospitals with surgical activity were included (Table 1), divided into 384 public (43.9%); 400 private for profit (45.7%); and 91 (10.4%) private nonprofit institutions. There were 289 (33.0%) public local hospitals and 95 (10.9%) public regional hospitals (CHRU). According to the MCI hospital classification of hospitals, 57 sites (6.5%) were considered expert hospitals, 286 (32.7%) were first-line, and 532 (60.8%) were second-line. Hospital legal status differed according to MCI hospital category ($p < 0.001$). The distribution of hospitals by ARS territory did not differ according to their MCI hospital category ($p = 0.349$). A total of 851 hospitals (97.3%) were located in metropolitan France compared to 24 (2.7%) in overseas territories; the distribution of these characteristics did not differ according to the MCI hospital category ($p = 0.478$). On average, the hospitals had 7.7 surgical rooms, 17.9 FTE surgeons, 8.7 FTE anaesthetists, and 13.3 nurse anaesthetists (Appendix 1). The distribution of each of these resources differed according to the MCI hospital category ($p < 0.001$) (Table 1). These hospitals performed an average of 4213.9 surgical procedures per year in full hospitalization and 4764.4 ambulatory procedures. The surgical activity of the hospitals differed according to their MCI hospital category ($p < 0.001$).

Construction of the $T_{max}\text{-MassCare-A}_1\text{-B}_1\text{-C}_1$ indicator for each hospital

Step 1: Imputation of resource variables and calculation of $T_{max}\text{-MassCare-A}_1\text{-B}_1\text{-C}_1$ resource capacity

Our dataset contained more than 10% missing data for three of the four resource variables (Appendix 2). None of the hospitals had missing data for the number of operating rooms, 121 (13.8%) had missing data for surgeons, 100 (11.4%) for anaesthetists, and 242 (27.7%) for nurse anaesthetists. None of the hospitals had missing data on the activity variables. In this context, a complete case analysis would have reduced the number of hospitals in the dataset by 15.8%. There were no missing data on the variables categorizing hospitals (legal status, MCI hospital category, ARS region). Hospitals with significant annual surgical activity despite one of the critical resources identified as zero were considered

outliers for imputation. The majority of variables were associated with missing data, pointing to a missing at random (MAR) process. Their distribution was nonmonotonic.

Step 2: Modelling of the resource capacity from activity data extracted from the PMSI (Table 2)

Using unstratified linear regression models, a significant association was found between the Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁ capacity (with imputation) and each of the annual surgical activity variables. The best univariate model, based on comparison of the R² goodness-of-fit statistic, used the total annual surgical activity (BLOCS_C10) as an explicative variable, with the following equation: Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁ = 0.000694 *BLOCS_C10 (thus 1/β corresponding to a capacity of one patient for 1441 annual procedures) (Table 2). Modelling Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁ capacity as a function of surgical stay or bed variables obtained a similar model fit (R²>80).

Univariate regression with stratification by MCI hospital class explained the variability in capacity by total annual surgical activity at 88.9% of experts (β=0.000783), 88.3% of first-line hospitals (β=0.000722), and 86.3% of second-line hospitals (β=0.000644). Stratification according to legal status explained it at 88.9% for public hospitals (β=0.000794), 86.9% for private for-profit hospitals (β=0.000624), and 90.1% for private nonprofit hospitals (β=0.000735).

The multivariate linear regression analysis did not yield better results. The β coefficients and R²s were close even after stratification.

Step 3: Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁ modelled capacity for each hospital and territory*

The final model chosen for modelling Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁* capacity was the univariate regression by total annual surgical activity BLOCS_C10. The regression coefficients associated with the variable BLOCS_C10 in this model became the weights for the activity variable. The Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁* capacity of each hospital was evaluated for a target of 1 patient per 1441 annual procedures, whether performed in full hospitalization or in ambulatory care.

The Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁* resource capacity obtained by the hospital was 12.7 patients per expert hospital, 5.8 per first-line hospital, and 5.8 per second-line hospital.

The national resource capacity is 726 patients in expert hospitals [706-746], 1658 in first-line hospitals [1613-1704], and 3067 in second-line hospitals [2983-3151]. The total national Tmax-MassCare-A₁-B₁-C₁* capacity corresponds to the management of 5348 patients in metropolitan France (95% CI [5202-5495]) and 104 in overseas territories (95% CI [101-107]). The average resource capacity per ARS is 411 patients in metropolitan France (sd=240; 59 in expert hospitals, 126 in first-line hospitals, 231 in second-line hospitals). The average capacity per overseas ARS is 21 patients (sd=18; 11 in expert hospitals, 6 in first-line hospitals, 15 in second-line hospitals) (Table 3).

The care capacity was on average 81.5 patients p.m.h. for the ARS in metropolitan France and 47.6 patients p.m.h. for the ARS in overseas France. The maximum capacity among metropolitan ARS was 97.1 patients p.m.h. in Provence-Alpes Côte d'Azur 95% CI [94.5-99.8]; the minimum was 67.4 patients p.m.h. in Centre-Val de Loire 95% CI [65.6-69.2]. The maximum regional capacity in the French overseas territories was 57.8 patients p.m.h. in Guadeloupe 95% CI [56.2-59.3] and La Réunion 95% CI [56.2-59.4]; the minimum was 15.3 patients p.m.h. in Mayotte 95% CI [14.9-15.8].

The same regression model, this time stratified on the MCI Hospital classification, gave a difference of -1.1% in the national capacity (5391 patients 95% CI [5132-5644]) and per million inhabitants (79.5 patients p.m.h. 95% CI [75.7-83.2]). There was an increase in capacity for expert (+12.8%) and first-line (+4.0%) hospitals and a decrease in capacity for second-line hospitals (-7.2%) (Table 3).

DISCUSSION

We proposed a method for estimating surgical management capacities for MCI (MassCare) of hospitals based on annual surgical activity, reliable and easily available data, as a proxy of surgical resources. Briefly, a hospital performing 7205 surgical procedures per year, regardless of their nature (in- or outpatient), would have the resources to simultaneously manage 5 severe trauma patients in an MCI if all of the institution's resources were available.

Usually, MCI management capabilities are based on ad hoc assessments that are difficult to replicate and do not rely on standardized evaluation methods.¹³ Data from actual experience are scarce and show that the total number of victims admitted per hospital is poorly correlated with its immediate

capacity for care.^{18,19} Hence, these experiences can hardly be used for the construction of MCI capacity evaluation methods.

The first step of our method is based on the SAE survey, an official and national data source, which suffers from missing data on resources. The use of multiple imputation avoided the exclusion of 15.8% of the hospitals having at least one of their resources not indicated, which increased the external validity of our results. These missing resources could be due to incomplete responses or organizational reasons, including no corresponding resource in the hospital (e.g., nurse-anaesthetists), no fixed resource (nontenured practitioners, temporary staff), or shared resources between hospitals. The MCI capacity calculated from the declared or imputed resources was further modelled using the actual number of interventions (surgical activity) as measured in the PMSI. PMSI data are recorded for payment purposes and are therefore more reliable.

However, our method also has some limitations. The evaluation of annualized data does not capture the variations in weekly activities that impact peak capacities. The real capacity of care of a hospital varies at any given time, making it difficult for hospitals and authorities to assess it directly. MassCare sets a hospital-specific indicator of its capacity related to its total resources, considering the minimum resources for any surgical procedure (at least 1 surgeon, 1 anaesthetist or nurse-anaesthetist, 1 operating room per procedure). Adaptation by modification of the standard of care in the event of an exceptional situation may impact the assessment of the number of eligible patients from the hospital's resources.¹⁹

CONCLUSION

MassCare defines a benchmark of a hospital's maximum care resources for accommodating multiple surgical victims. The same method could be used to estimate the surgical capacity for infant victims. Further studies are needed to examine model MCI capacity during night and week-ends and account for variability in on-site resources during working hours.

REFERENCES

1. FEMA (Federal Emergency Management Agency). *National strategy recommendations: Future disaster preparedness*. www.preventionweb.net/publication/national-strategyrecommendations-future-disaster-preparedness
2. World Health Organization. *World Health Organisation Glossary of Health Emergency and Disaster Risk Management Terminology*. Geneva: World Health Organization, 2020
3. World Health Organization. *Health Systems for Health Security: A Framework for Developing Capacities for International Health Regulations, and Components in Health Systems and Other Sectors that Work in Synergy to Meet the Demands Imposed by Health Emergencies*. Geneva: World Health Organization, 2021
4. De La Rocque S, Guillaume B, Myhre EKM, Rajesh S, Artem S, Tanja S *et al*. Operationalisation of consensual one health roadmaps in countries for improved IHR capacities and health security. *BMJ Global Health* 2021;**6**:e005275
5. Lorenzoni N, Kainrath S, Unterholzner M, Stummer H. Instruments for disaster preparedness evaluation: a scoping review. *Aust J Emerg Manag* 2022;**37**:56–64
6. Savoia E, Lin L, Bernard D, Klein N, James LP, Guicciardi S. Public health system research in public health emergency preparedness in the United States (2009-2015): actionable knowledge base. *Am J Public Health* 2017;**107**:e1–e6
7. Khan Y, Brown AD, Gagliardi AR, O'Sullivan T, Lacarte S, Henry B *et al*. Are we prepared? The development of performance indicators for public health emergency preparedness using a modified Delphi approach. *PLoS One* 2019;**14**:e0226489
8. Belfroid E, Roßkamp D, Fraser G, Swaan C, Timen A. Towards defining core principles of public health emergency preparedness: scoping review and Delphi consultation among European Union country experts. *BMC Public Health* 2020;**20**:1482
9. Haeberer M, Tsolova S, Riley P, Cano-Portero R, Rexroth U, Ciotti M *et al*. Tools for assessment of country preparedness for public health emergencies: a critical review. *Disaster Med Public Health Prep* 2021;**15**:431–441
10. United Nation Office for Disaster Risk Reduction. *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Geneva: United Nation Office for Disaster Risk Reduction
11. Reifels L, Arbon P, Capon A, Handmer J, Humphrey A, Murray V *et al*. Health and disaster risk reduction regarding the Sendai framework. *Aust J Emerg Manag* 2018;**33**:23–24
12. Kandel N, Chungong S. Dynamic preparedness metric: a paradigm shift to measure and act on preparedness. *Lancet Glob Health* 2022;**10**:e615–e616
13. Ministère Des Affaires Sociales, De La Santé et De La Prévention, Direction Générale De La Santé (DGS). *Dispositif ORSAN: ORganisation de la Réponse du Système de SANté aux Situations Sanitaires Exceptionnelles*, 2014
14. Ministère Des Solidarités et De La Santé, Direction Générale De La Santé (DGS). *Guide de gestion des tensions hospitalières et des situations sanitaires exceptionnelles au sein des établissements de santé*. <http://solidarites-sante.gouv.fr/systeme-de-sante-et-medicosocial/securite-sanitaire/guide-gestion-tensions-hospitalieres-SSE>
15. Journal Officiel de la République Française. *Arrêté du 9 septembre 2010 relatif à la collecte et à la transmission des informations nécessaires à l'établissement de la statistique annuelle des établissements de santé*. <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/sources-outils-et-enquetes/00-la-statistique-annuelle-des-etablissements-sae> (accessed 25 April 2021)

16. Aubrion A, Eid Y, Lefevre-Scelles A, Laquievre A, Villedieu F, Reichling A *et al.* Defining hospital surge capacities and regional breakpoints for mass critical casualties: the national masscare indicator. 2022. doi:10.21203/rs.3.rs-2033412/v1
17. White IR, Royston P, Wood AM. Multiple imputation using chained equations: issues and guidance for practice. *Stat Med* 2011;**30**:377–399
18. Bayram JD, Zuabi S, McCord CM, Sherak RA, Hsu EB, Kelen GD. Disaster metrics: evaluation of de boer's disaster severity scale (DSS) applied to earthquakes. *Prehosp Disaster Med* 2015;**30**:22–27
19. Maurin O, Bignand M, Jost D, Travers S, Raclot S, Trichereau J *et al.* Usefulness of a multiplying factor in predicting the final number of victims during a mass casualty incident. *Eur J Emerg Med* 2017;**24**:377–381

Table 1: Characteristics of health facilities by MCI hospital classification and distribution of missing data

MCI HOSPITAL Classification	Expert health facility		1st line health facility		2nd line health facility		Total		p-value*
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Total	57	6.5%	286	32.7%	532	60.8%	875	100.0%	
Legal Status									<0.001
PUBLIC - Regional hospitals (CHR/CHU)	41	71.9%	24	8.4%	30	5.6%	95	10.9%	
PUBLIC - Hospitals (CH) (including former local hospitals)	13	22.8%	188	65.7%	88	16.5%	289	33.0%	
PRIVATE FOR PROFIT	2	3.5%	61	21.3%	337	63.3%	400	45.7%	
PRIVATE NON-PROFIT - Short-term or multidisciplinary ES	1	1.8%	13	4.5%	58	10.9%	72	8.2%	
PRIVATE NON-PROFIT - Cancer centers					19	3.6%	19	2.2%	
Operating rooms [quintiles]									<0.001
[1-3]	1	1,8%	63	22,0%	95	17,9%	159	18,2%	
[4-5]	1	1,8%	68	23,8%	148	27,8%	217	24,8%	
[6-7]	2	3,5%	50	17,5%	122	22,9%	174	19,9%	
[8-10]	9	15,8%	47	16,4%	88	16,5%	144	16,5%	
[11-44]	44	77,2%	58	20,3%	79	14,8%	181	20,7%	
<i>Including zero values</i>									
<i>Missing data</i>									
Surgeons full-time equivalents [quintiles]									<0.001
[0.00-4.71]	3	5,3%	78	27,3%	69	13,0%	150	17,1%	
[4.72-9.50]	10	17,5%	52	18,2%	90	16,9%	152	17,4%	
[9.57-16.60]	11	19,3%	43	15,0%	96	18,0%	150	17,1%	
[16.70-27.75]	8	14,0%	45	15,7%	98	18,4%	151	17,3%	
[28.00-135.00]	14	24,6%	40	14,0%	97	18,2%	151	17,3%	
<i>Including zero values</i>	1	1,8%	5	1,7%	5	0,9%	11	1,3%	
<i>Missing data</i>	11	19,3%	28	9,8%	82	15,4%	121	13,8%	
Intensive care anesthetists full-time equivalents [quintiles]									<0.001
[0.00-3.23]			43	15,0%	112	21,1%	155	17,7%	
[3.25-5.00]			50	17,5%	118	22,2%	168	19,2%	
[5.02-7.28]	2	3,5%	51	17,8%	89	16,7%	142	16,2%	
[7.29-11.96]	9	15,8%	61	21,3%	84	15,8%	154	17,6%	
[12.00-72.40]	37	64,9%	60	21,0%	59	11,1%	156	17,8%	
<i>Including zero values</i>			1	0,3%	3	0,6%	4	0,5%	
<i>Missing data</i>	9	15,8%	21	7,3%	70	13,2%	100	11,4%	
Nurse-anesthetists full-time equivalents [quintiles]									<0.001
[0.00-2.68]	1	1,8%	21	7,3%	104	19,5%	126	14,4%	
[2.69-6.20]	1	1,8%	27	9,4%	99	18,6%	127	14,5%	
[6.28-10.54]	1	1,8%	53	18,5%	73	13,7%	127	14,5%	
[10.60-18.55]	1	1,8%	83	29,0%	43	8,1%	127	14,5%	
[18.65-147.41]	44	77,2%	56	19,6%	26	4,9%	126	14,4%	
<i>Including zero values</i>					2	0,4%	2	0,2%	
<i>Missing data</i>	9	15,8%	46	16,1%	187	35,2%	242	27,7%	
Annual inpatient surgical procedures (BLOCS_A10) [quintiles]									<0.001
[0-1362]	1	1,8%	45	15,7%	129	24,2%	175	20,0%	
[1378-2431]	2	3,5%	55	19,2%	118	22,2%	175	20,0%	
[2434-3708]	1	1,8%	63	22,0%	111	20,9%	175	20,0%	
[3718-6287]	9	15,8%	56	19,6%	110	20,7%	175	20,0%	
[6303-31515]	44	77,2%	67	23,4%	64	12,0%	175	20,0%	
<i>Including zero values</i>					3	0,6%	3	0,3%	
<i>Missing data</i>									
Annual outpatient surgical procedures (BLOCS_B10) [quintiles]									<0.001
[0-1682]	5	8,8%	73	25,5%	97	18,2%	175	20,0%	
[1687-2753]	5	8,8%	77	26,9%	93	17,5%	175	20,0%	
[2754-4379]	15	26,3%	51	17,8%	109	20,5%	175	20,0%	
[4398-6909]	10	17,5%	40	14,0%	125	23,5%	175	20,0%	
[6924-57668]	22	38,6%	45	15,7%	108	20,3%	175	20,0%	
<i>Including zero values</i>							1	0,1%	
<i>Missing data</i>									
Annual total surgical procedures (BLOCS_C10) [quintiles]									<0.001
[145-3501]	3	5,3%	64	22,4%	108	20,3%	175	20,0%	
[3506-5499]	2	3,5%	63	22,0%	110	20,7%	175	20,0%	
[5505-8317]			57	19,9%	118	22,2%	175	20,0%	
[8340-12864]	17	29,8%	46	16,1%	112	21,1%	175	20,0%	
[12878-72996]	35	61,4%	56	19,6%	84	15,8%	175	20,0%	
<i>Including zero values</i>									
<i>Missing data</i>									

*The level of significance studies the distribution by category or quintile according to the MCI HOSPITAL classification of the facilities, without taking into account the missing data.

Table 2: Uni- and multivariate linear regression modeling of the MassCareR1 capacity

	Univariate regression			Multivariate regression			
	Parameter	Estimate	R-square*	Parameter	Estimate	R-square*	
All health facilities, non-stratified (n=875)							
Inpatient surgical procedures	BLOCS_A10	1,37E-03	84,81%	BLOCS_A10	1,01E-03	89,01%	
Outpatient surgical procedures	BLOCS_B10	1,10E-03	70,10%	BLOCS_B10	4,20E-04		
All surgical procedures	BLOCS_C10	6,94E-04	86,96%				
<i>Of which procedures with anesthesia</i>	BLOCS_D10	8,11E-04	83,99%				
Inpatient stays in medicine	SEJHC_MED	6,07E-04	55,76%				
Inpatient stays in surgery	SEJHC_CHI	1,67E-03	85,27%				
Inpatient stays in obstetrics	SEJHC_OBS	2,50E-03	38,09%				
Inpatient stays in MCO	SEJHC_MCO	4,39E-04	69,50%				
Medical beds installed as of 12/31	LIT_MED	3,40E-02	55,88%				
Surgical beds installed as of 12/31	LIT_CHI	8,82E-02	84,90%				
Obstetrics beds installed at 31/12	LIT_OBS	1,82E-01	60,48%				
MCO beds installed at 31/12	LIT_MCO	2,50E-02	69,64%				
Stratified Coefficients							
MCI HOSPITAL Classification							
	Expert n=57	BLOCS_A10	1,14E-03	88,42%	BLOCS_A10	9,09E-04	89,04%
		BLOCS_B10	2,26E-03	80,75%	BLOCS_B10	5,12E-04	
		BLOCS_C10	7,83E-04	88,85%			
		BLOCS_D10	1,02E-03	86,48%			
	1st line n=286	BLOCS_A10	1,41E-03	88,77%	BLOCS_A10	1,11E-03	90,35%
		BLOCS_B10	1,26E-03	74,73%	BLOCS_B10	3,44E-04	
		BLOCS_C10	7,22E-04	88,28%			
		BLOCS_D10	8,59E-04	86,23%			
	2nd line n=532	BLOCS_A10	1,63E-03	84,44%	BLOCS_A10	1,10E-03	88,44%
		BLOCS_B10	9,31E-04	76,47%	BLOCS_B10	3,82E-04	
		BLOCS_C10	6,44E-04	86,28%			
		BLOCS_D10	7,26E-04	84,56%			
Legal Status							
	Public n=384	BLOCS_A10	1,20E-03	87,63%	BLOCS_A10	8,74E-04	89,01%
		BLOCS_B10	2,07E-03	80,84%	BLOCS_B10	6,46E-04	
		BLOCS_C10	7,94E-04	88,93%			
		BLOCS_D10	1,03E-03	87,63%			
	Private for profit n=400	BLOCS_A10	1,67E-03	85,71%	BLOCS_A10	1,11E-03	88,81%
		BLOCS_B10	9,03E-04	79,31%	BLOCS_B10	3,58E-04	
		BLOCS_C10	6,24E-04	86,90%			
		BLOCS_D10	7,00E-04	86,25%			
	Private non-profit n=91	BLOCS_A10	1,60E-03	90,32%	BLOCS_A10	1,21E-03	92,17%
		BLOCS_B10	1,20E-03	79,15%	BLOCS_B10	3,63E-04	
		BLOCS_C10	7,35E-04	90,05%			
		BLOCS_D10	8,64E-04	85,90%			

*All p-values<0.05

**Delta between non-stratified and stratified coefficients.

Table 3: MassCare-XXX capacities obtained by modeling on the total annual surgical activity (BLOCS_C10) of each facility (unstratified), then total MassCareR3 by stratified modeling on MCI HOSPITAL class.

MCI HOSPITAL classification	Resource capacity according to the MCI HOSPITAL classification																Capacity per million inhabitants			
	Expert				1st line				2nd line				Total				Pop. Minhab	Total /Minhab	95%CI	
	n	m	total	95%CI	n	m	total	95%CI	n	m	total	95%CI	n	m	total	95%CI				
ARS Region																				
ÎLE-DE-FRANCE	11	9,9	109	106-112	44	7,6	333	324-342	93	5,4	504	490-518	148	6,4	946	920-972	12,4	76,3	74.2-78.4	
CENTRE-VAL DE LOIRE	3	8,7	26	25-27	11	4,9	54	52-55	15	6,2	93	90-96	29	6,0	173	168-178	2,6	67,4	65.6-69.2	
BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ	2	19,9	40	39-41	13	4,1	53	51-54	19	6,4	121	118-124	34	6,3	214	208-220	2,8	76,7	74.6-78.8	
NORMANDY	2	19,3	39	38-40	15	4,3	64	62-66	27	5,0	135	132-139	44	5,4	238	232-245	3,3	72,0	70.0-74.0	
HAUTS-DE-FRANCE	6	16,2	97	94-100	23	4,1	94	92-97	50	5,2	261	253-268	79	5,7	452	440-464	6,0	75,5	73.4-77.5	
GRAND EST	5	15,2	76	74-78	24	5,9	143	139-146	48	5,0	242	235-248	77	6,0	460	448-473	5,5	83,0	80.8-85.3	
PAYS DE LA LOIRE	3	15,7	47	46-48	8	6,2	49	48-51	27	9,2	249	242-256	38	9,1	345	336-355	3,9	89,1	86.7-91.5	
BRITTANY	1	10,1	10	10-10	19	6,0	114	111-117	20	7,4	148	144-152	40	6,8	271	264-279	3,4	79,8	77.6-82.0	
NOUVELLE-AQUITAINE	4	17,4	70	68-72	31	4,8	148	143-152	53	6,0	316	307-325	88	6,1	533	519-548	6,1	87,7	85.3-90.1	
OCCITANIA	5	11,5	57	56-59	35	6,4	224	218-231	42	5,7	239	232-245	82	6,4	521	506-535	6,1	86,0	83.6-88.4	
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES	6	12,1	73	71-75	35	6,7	235	229-242	55	6,6	364	354-374	96	7,0	672	654-690	8,2	82,4	80.2-84.7	
PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR	6	10,3	62	60-64	19	6,1	116	113-119	64	5,0	320	312-329	89	5,6	498	485-512	5,1	97,1	94.5-99.8	
CORSICA					2	3,9	8	8-8	5	3,4	17	17-18	7	3,6	25	24-26	0,3	71,3	69.3-73.2	
GUADELOUPE*					1	2,3	2	2-2	4	4,8	19	19-20	5	4,3	22	21-22	0,4	57,8	56.2-59.3	
MARTINIQUE	2	5,0	10	10-10					4	2,5	10	10-10	6	3,3	20	19-20	0,4	56,5	55.0-58.1	
FRENCH GUIANA					3	1,9	6	6-6	1	1,8	2	2-2	4	1,9	8	7-8	0,3	25,9	25.2-26.6	
LA RÉUNION	1	11,2	11	11-12	2	5,7	11	11-12	5	5,5	28	27-28	8	6,3	50	49-52	0,9	57,8	56.2-59.4	
MAYOTTE					1	4,6	5	4-5					1	4,6	5	4-5	0,3	15,3	14.9-15.8	
Metropolitan France	54	13,1	705	686-724	279	5,9	1634	1590-1679	518	5,8	3009	2927-3091	851	6,3	5348	5202-5495	65,6	81,5	79.3-83.8	
Overseas France	3	7,1	21	21-22	7	3,5	24	23-25	14	4,2	58	57-60	24	4,3	104	101-107	2,2	47,6	45.9-48.6	
All health facilities	57	12,7	726	706-746	286	5,8	1658	1613-1704	532	5,8	3067	2983-3151	875	6,2	5452	5303-5601	67,8	80,4	78.2-82.6	
MassCareR3 (stratified coefficient)																				
Metropolitan France	54	14,7	795	719-871	279	6,1	1700	1627-1773	518	5,4	2792	2688-2892	851	6,2	5288	5035-5536	65,6	80,6	76.8-84.4	
Overseas France	3	8,0	24	22-26	7	3,6	25	24-26	14	3,9	54	52-56	24	4,3	103	98-109	2,2	47,1	44.5-49.5	
All health facilities	57	14,4	819	741-897	286	6,0	1725	1651-1799	532	5,4	2846	2740-2948	875	6,2	5391	5132-5644	67,8	79,5	75.7-83.2	
MassCareR3 - MassCareR2 difference				12,8%				4,0%				-7,2%								-1,1%

n : number of health facilities ; m: mean capacity per health facility ; 95%CI : 95% confidence interval; ARS : Regional Health Agency; Minhab: million inhabitants.

*Except for the CHU of Pointe-à-Pitre/Abymes (see method).

Chapitre 2 : Evaluation des capacités d'évacuation d'un établissement de santé



- **Article 7 : Medical evacuation planning for critical care units in a hospital at imminent risk: A multimodal assessment of patient triage and required resources, for optimal strategy and real-time use for each hospital.**

RUNNING TITLE

Plan the evacuation of a hospital at imminent risk

AUBRION A, HARDEL L, SAUNEUF B, LEFEBVRE A, JULLIARD B, AGUDZE E, DELOMAS T, MACREZ R, GUITTET L.

Article en review

MESSAGES CLÉS:

Ce que nous savons

Planifier l'évacuation sélective de patients en soins intensifs d'un hôpital en péril structurel imminent (explosion, tornade, inondation) nécessite de connaître les capacités de soins de masse des hôpitaux voisins, et d'identifier les conditions de transferts de ces patients dans des conditions exceptionnelles. Faute d'outils d'aide à la décision appropriés, les administrateurs d'hôpitaux prennent des décisions complexes basées sur des informations partielles ou incertaines.

Ce qu'apporte cette étude

Cet article présente une méthode de simulation automatisée dédiée à guider les experts dans l'élaboration d'un plan d'évacuation sélective, et à comparer différentes stratégies possibles pour chaque hôpital. Une application est présentée, centrée sur un hôpital public, présentant un risque important d'inondation.

RESUME DE L'ARTICLE 7 : Planification de l'évacuation des patients en unités de soins intensifs d'un hôpital en péril structurel : une évaluation multimodale du triage des patients et des ressources requises, pour une stratégie optimale et une utilisation en temps réel pour chaque hôpital

**Les références, tables et figures repris dans le résumé ci-dessous sont indexés par rapport à leur citation dans l'article n°7*

INTRODUCTION

L'organisation d'un transfert massif de patients vers les hôpitaux intervient généralement dans des situations où de nombreuses victimes simultanées se produisent (accidents, attentats terroristes ou autres événements inattendus). Il peut également être nécessaire d'évacuer un hôpital présentant un risque imminent en raison d'une explosion, d'une tornade ou d'une inondation. Planifier l'évacuation sélective de patients en soins critiques d'un hôpital à risque nécessite de connaître les capacités d'accueil des hôpitaux voisins et d'identifier les conditions de transferts de ces patients dans des conditions exceptionnelles. Sur la base des meilleures preuves scientifiques disponibles, en 2014, l'American College of Chest Physicians (CHEST) a formulé treize suggestions d'experts en utilisant un processus Delphi modifié concernant la préparation et l'exécution d'une évacuation efficace des patients en soins intensifs lors d'une catastrophe (tableau 1).(1) Cependant , leur mise en œuvre pragmatique est complexe par rapport à la diversité des installations, des ressources de secours locales et des menaces ou contraintes rencontrées.(2) Faute d'outils d'aide à la décision appropriés, les administrateurs hospitaliers prennent des décisions complexes basées sur des informations partielles ou incertaines dans des conditions dans lesquelles ils ont un temps limité pour comparer différentes stratégies possibles. Ces difficultés peuvent conduire à des décisions de confinement risquées (3), à des décisions d'évacuation tardives (4), ou à des décisions non coordonnées (5). Dans certains pays développés, on estime que 70 % des hôpitaux sont vulnérables aux inondations (6). La fréquence et l'intensité croissantes des événements climatiques ainsi que le nombre d'infrastructures

impliquées nécessitent une standardisation et une multiplication de l'évaluation des plans d'évacuation des hôpitaux (7-10).

Cet article présente une méthode de simulation automatisée dédiée à guider les experts dans l'élaboration d'un plan d'évacuation sélective hospitalière. Nous proposons une application portant sur l'hôpital public Louis Pasteur, qui couvre une population de 200 000 habitants dans une zone enclavée de la presqu'île du Cotentin (Normandie, France), à quelques mètres de la mer et à 200 mètres de deux rivières (Figure 1), et présentant un risque important d'inondation.

MÉTHODE

Identification des risques et conditions d'évacuation

En 2020, une réévaluation à la hausse du risque d'inondation de l'hôpital Louis Pasteur de Cherbourg a nécessité l'élaboration d'un plan d'évacuation sélectif. Entre septembre 2021 et juin 2022, des réunions d'experts ont été organisées pour préciser les éléments clés à prendre en compte lors de la planification d'une évacuation des patients et son impact sur les autres établissements de santé du secteur des soins. Les membres du groupe de travail étaient des professionnels de l'hôpital public, des cliniques privées et des référents des agences régionales de santé (ARS) impliqués dans la planification de la réponse du plan d'évacuation de l'hôpital. Ces professionnels comprenaient des médecins et des infirmières impliqués dans les unités d'urgence et de soins intensifs (USI), de réanimation pédiatrique et d'anesthésie, des gestionnaires de salles d'opération et des personnes impliquées dans la gestion de la qualité et des risques dans les établissements de santé.

La vulnérabilité des hôpitaux et son impact sur le maintien des soins en soins intensifs ont d'abord été explorés. Les experts ont été interrogés sur les ressources nécessaires pour évacuer les patients des soins intensifs en cas de péril imminent pour la structure de l'hôpital. La synthèse construite par les organisateurs a été soumise à un deuxième tour de discussion avec les mêmes participants au cours duquel les profils individuels des patients ont été détaillés. Un troisième tour a abouti à la mise en place d'une fiche récapitulative dédiée à l'enregistrement des ressources disponibles sur place en cas d'événement futur.

Le groupe de travail a déterminé les profils de patients à distinguer selon le type d'équipe de transport, d'ambulance et le matériel spécifique nécessaire au transfert (Tableau 2).

Profils des patients

Le groupe de travail distinguait les patients à évacuer en trois catégories prioritaires en fonction de leur dépendance aux soins. La priorité 1 (P1) incluait les patients qui nécessitent des soins de support de réanimation (REA) pour survivre (par exemple, ventilation mécanique et sédation). La priorité 2 (P2) incluait les patients qui ont besoin d'une surveillance des fonctions vitales pour détecter une aggravation clinique critique, en unité de surveillance continue (USC). Enfin, la priorité 3 (P3) incluait des patients spécifiques dans des unités conventionnelles qui nécessitaient un traitement technique sur des périodes de quelques heures (par exemple, dialyse, fibroscopie ou procédures similaires) et ceux hospitalisés ou subissant des soins post-interventionnels qui présenteraient une aggravation clinique.

Chacune de ces catégories était divisée en trois groupes d'âge : patients adultes, pédiatriques et nouveau-nés. La catégorie à laquelle appartient un patient déterminait le type d'équipe de transfert,

de matériel et d'unité médicale nécessaire à son arrivée. Certains profils avaient également un impact sur les conditions de transports (ex : patients bariatriques, patients isolés suite à une infection par des bactéries émergentes ou résistantes, patients ventilés en position ventrale). De plus, certains profils impactaient le choix de l'établissement d'accueil en raison de la nécessaire proximité d'un plateau technique spécifique (ex. : présence d'une maternité, coronarographie, embolisation périphérique ou centrale, chirurgie cardiothoracique ou pédiatrique ou neurologique, patients gravement brûlés).

Composition des équipes de transfert

Le transfert de patients en soins critiques vers un autre établissement nécessitait la mobilisation des équipes médicales et paramédicales. Le groupe de travail précisait que l'évacuation des patients « P1 » nécessiterait un transport médical individuel pour permettre le contrôle des fonctions vitales et assurer une intervention spécialisée en cas d'aggravation clinique (Tableau 2). Les patients « P2 » pourraient être transférés sous surveillance continue sous surveillance infirmière, à condition qu'un médecin puisse intervenir à tout moment. Les transferts par convois de deux ambulances seraient donc à privilégier, avec soit 2 patients « P2 » soit 1 patient « P1 » et 1 patient « P2 » dans chaque convoi. Les transferts de patients « P3 » pourraient être effectués uniquement par les ambulanciers. Les transferts des prématurés et des nourrissons de moins d'un mois seraient réalisés par des équipes néonatales spécifiques. Certains sites impactés pourraient mettre en place des équipes supplémentaires pour transférer leurs patients. Ces équipes pourraient être constituées de personnes appartenant aux équipes de soins critiques ou pourraient être renforcées par du personnel d'anesthésie péri-opératoire après le report de l'activité en cours.

Équipement

Le transfert de patients en soins critiques vers un autre établissement nécessiterait la mobilisation d'équipements de maintien et/ou de surveillance des fonctions vitales. Ces équipements étaient définis pour les patients à chaque niveau de priorité par le groupe de travail (Tableau 2).

Dans le contexte particulier d'évacuation d'un établissement à risque, le maintien pendant le transport du matériel utilisé pour le patient dans l'unité de soins de départ pourrait être envisagé pour limiter la tension sur l'approvisionnement en matériels de transports. La mobilisation d'équipes supplémentaires de l'hôpital évacué ou des SAMU locaux pourrait permettre un renfort rapide sur place si des moyens matériels peuvent leur être distribués.

Vecteurs

L'évacuation des patients nécessitait l'utilisation d'ambulances et d'hélicoptères. Le choix de ceux-ci dépendrait de leur disponibilité, de leur vitesse et de la distance à parcourir. L'utilisation de vecteurs dépendrait également des conditions de circulation. Si la zone adjacente à l'hôpital était inondée, l'accès des ambulances peut devenir limité. Les moyens des secours pourraient être affectés à d'autres missions de sauvetage liées aux conditions météorologiques. Des conditions météorologiques défavorables lors d'une tempête pourraient rendre les hélicoptères indisponibles. Les évacuations multiples simultanées par train ou par avion nécessiteraient des vecteurs équipés spécifiques et feraient l'objet d'une logistique très complexe nécessitant plusieurs jours d'anticipation. Ils seraient exposés à un risque accru d'immobilisation en cas d'intempéries (ex : conditions de vol, obstacles sur les voies ferrées), et cela affecterait plusieurs patients.

Répartition entre hôpitaux

Les plans nationaux de réponse sanitaire détaillent l'adaptation du système de santé pour le rendre capable de répondre aux différents risques de crise. La capacité immédiatement disponible (T0) estimée pouvait être estimée a priori pour chaque hôpital en appliquant les taux d'occupation moyens des unités de soins critiques et des unités conventionnelles par des patients de tranches d'âge spécifiques (adultes, nourrissons, nouveau-nés) au nombre total de lits (Tmax).¹¹ Par exemple, pour un hôpital disposant d'un total de 10 lits de soins intensifs en USC ou REA (Tmax) et d'un taux d'occupation annuel de 80 %, la capacité accessible T0 est estimée à $T0 = Tmax * (1 - 0,8) = 2$ lits. Ces capacités T0 estimées sont utilisées pour planifier les ressources et le temps nécessaires au transfert de tous les patients en soins intensifs. Lors d'un événement réel, les capacités T0 estimées peuvent être ajustées davantage à mesure que les installations communiquent leurs capacités réelles immédiates. Des lits supplémentaires pourraient être installés ou libérés à l'horizon de 3 heures (T3) pour accueillir des patients évacués supplémentaires suite au déclenchement du plan de crise dans les hôpitaux environnants.

Concernant les distances, les hôpitaux dotés d'unités de soins intensifs (USC et REA) sont peu nombreux et éloignés les uns des autres et disposeraient d'un nombre limité de lits T0. La répartition de plusieurs patients dans les USC et REA des hôpitaux environnants entraînerait une saturation rapide des capacités du secteur. Le choix entre des évacuations sur de longues distances ou une augmentation rapide de la capacité du secteur devrait tenir compte des ressources et du temps disponibles. Un centre de deuxième ligne à proximité pourrait être défini comme un lieu temporaire d'accueil de certains patients.

Organisation sur place de l'évacuation

Le groupe de travail a évalué les temps et itinéraires d'évacuation optimaux pour les patients de chaque profil par une véritable simulation monocentrique sur site à l'aide d'un mannequin ventilé factice et en testant différentes stratégies. Il préconisait la mise en place d'une zone unique de triage et d'évacuation au sein de l'hôpital dès le début des transferts, en tenant compte du maintien des accès tout au long de l'incident. Le temps d'évacuation au sein de l'hôpital était estimé à 30 minutes par patient vers l'ambulance ou l'héliport.

RÉSULTATS

1. Simulation assistée par ordinateur pour guider la définition du plan d'évacuation

Le plan d'évacuation optimal dépendait du nombre et du type de patients à évacuer, du nombre et de l'emplacement des lits disponibles adéquats dans les hôpitaux qui ne sont pas à risque, du nombre de moyens de transport (personnel et vecteurs), de leur délai d'acheminement sur le site pour être évacuée et le temps disponible pour procéder à l'évacuation. Dans ces situations, où le personnel et le matériel utilisé lors du transport sont adaptés aux besoins des patients médicaux, le délai correspondrait au départ effectif de tous les patients nécessitant une évacuation de l'hôpital à risque plutôt qu'à leur arrivée dans les hôpitaux de destination.

Il existerait alors un compromis entre le nombre de moyens utilisés pour l'évacuation et la durée de l'évacuation. Si une infinité de moyens d'évacuation était immédiatement disponible et qu'il fallait

utiliser autant de vecteurs que de patients pour l'évacuation, l'évacuation durerait moins d'une heure (correspondant au temps nécessaire pour installer les patients dans les vecteurs et pour en sortir). En revanche, si l'évacuation était anticipée longtemps à l'avance, un seul vecteur pourrait suffire à évacuer tous les patients.

Un modèle de simulation a été proposé pour résoudre ce compromis en utilisant les entrées suivantes (Figure 2) :

- Nombre de patients à évacuer, classés de « P1 » à « P3 » et par tranche d'âge et autres caractéristiques ;
- Nombre de lits vides par hôpital à distance raisonnable (variable) classés selon leurs types d'unités médicales, et temps d'accès de l'hôpital pour être évacué par l'une ou l'autre route (temps de trajet moyen majoré de 10 minutes pour déposer le patient) ou hélicoptère (vitesse de 200 km/h appliquée à la distance euclidienne ; temps de trajet majoré de 30 min pour le temps nécessaire au décollage et au dépôt du patient).

Le modèle pouvait être utilisé soit pour déterminer le nombre minimal de moyens d'évacuation (optimal) nécessaire pour achever l'évacuation de tous les patients nécessitant une évacuation, en considérant une contrainte sur la durée de l'évacuation ; soit d'évaluer le délai de départ du dernier patient à évacuer (sortie), ou encore le nombre de patients en retard pour une évacuation à une échéance déterminée, compte tenu du nombre de moyens d'évacuation disponibles (contrainte) (Figure 3).

Le modèle pouvait être adapté pour inclure des contraintes supplémentaires ou des stratégies d'optimisation en effectuant une ou plusieurs des actions suivantes : utilisation ou non d'hélicoptères selon les conditions météorologiques, utilisation de convois médicaux (1 patient « P1 » et 1 patient « P2 » par équipe médicale), transfert temporaire local (REA éphémère). En résumé, le modèle classe les patients par priorité et les hôpitaux de destination par distance décroissante de l'hôpital à évacuer. Il affecte ensuite successivement les patients les plus prioritaires (« P1 » en premier) aux hôpitaux les plus proches correspondant à leurs catégories prioritaires jusqu'à ce que tous les moyens de transport soient occupés. Pour chacun des patients évacués, le modèle calculait le temps jusqu'au retour prévu du moyen de transport dédié vers l'hôpital à risque et attribuait à chaque moyen le patient ayant la priorité suivante pour le transfert vers l'hôpital le plus proche, et ainsi de suite. Si le modèle était utilisé pour estimer le nombre minimal de moyens d'évacuation nécessaires, le modèle ajustait de manière itérative le nombre de moyens d'évacuation utilisés dans le processus de simulation jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de diminuer davantage le nombre de moyens d'évacuation sans manquer de temps pour transférer des patients. De plus, à condition de ne pas dépasser le temps d'évacuation maximum autorisé, le modèle privilégiait le recours uniquement aux ambulances plutôt qu'aux hélicoptères.

2. Application du modèle

Le modèle était appliqué à un hôpital enclavé de Cherbourg qui était particulièrement exposé au risque d'inondation en raison des crues fluviales ou de la submersion marine (Figure 1). L'étude de vulnérabilité considérait 2 scénarios possibles de montée des eaux : 7 cm/h (fréquent) et 20 cm/h (extrême) (Figure S1). Il mettait en évidence une coupure totale de l'alimentation électrique générale et de secours pour un seuil d'inondation du site de 1,0 m (4,0 m d'altitude). Cette perte affecterait progressivement tous les réseaux. Toute activité dans cet établissement de santé serait interrompue. Les systèmes de surveillance et de survie des patients en soins intensifs ne seraient plus disponibles.

Les prescriptions informatisées et les observations médicales seraient inaccessibles et les communications intra-hospitalières et extra-hospitalières seraient interrompues. Le transport des patients au sein de l'établissement serait compliqué par la fermeture des ascenseurs, et l'approvisionnement en oxygène et en eau potable serait limité aux réserves internes. Selon le scénario, ce seuil se produirait à 12 h (fréquent) ou à 4 h (extrême).

Le nombre et le type de patients nécessitant une évacuation ont été estimés par le groupe d'experts à partir d'une description transversale ponctuelle des lits occupés dans l'hôpital. Dans cet hôpital qui compte au total 505 lits, il a été estimé qu'une évacuation sélective face à un risque de coupure électrique pour cause d'inondation concernerait 50 patients, dont 14 adultes « P1 », 6 nouveau-nés « P1 », 20 « P2 », adultes », 9 nouveau-nés « P2 » et 1 adulte « P3 ». Les hôpitaux de destination éligibles étaient ceux situés à moins de 3 heures de route ou à 200 km en hélicoptère de l'hôpital à évacuer (3, 15 et 31 hôpitaux étaient situés à 1 heure, 2 heures et 3 heures, respectivement). Le nombre de patients dans chaque catégorie que chacun de ces hôpitaux de destination pouvait accueillir a été défini en appliquant un taux d'occupation commun dans la base de données hospitalière nationale SAE (88 % pour les lits de soins intensifs adultes et 93 % pour les lits de soins intensifs néonataux).7 (Tableau S1) .

Le tableau 3 présente les résultats des simulations comparant chaque scénario. Par exemple, dans le scénario 1, 21 ambulances et 16 équipes de transport médical pour adultes et 9 nouveau-nés seraient nécessaires en l'absence de convois. L'optimisation des transports grâce à l'utilisation de convois réduirait le nombre d'ambulances et d'équipes de transport médical adulte nécessaires de 33 % et 37,5 %, respectivement. La figure 3 illustre une évacuation simulée utilisant des convois dans le cadre du scénario 1 (évacuation de 12 h). Cette figure présente les vecteurs, le personnel de transport et les hôpitaux de destination, utilisant des convois pour des destinations communes. En comparant ces estimations avec les moyens directement disponibles, il est possible de connaître le nombre de personnels qu'il faudrait rappeler ou le nombre de renforts à mobiliser en dehors de la région.

3. Simulation sur site

Le 4 octobre 2022, un exercice de simulation au sein de l'hôpital concerné a permis de mettre en œuvre ces stratégies en conditions réelles (Figure 2) : présence de patients, trafic routier, lits disponibles dans d'autres hôpitaux (Tableau S1), temps d'évacuation disponible et confrontation aux conclusions du modèle (tableau S2). L'alerte a été donnée en conditions réelles à 9h20. A 11h20, la liste détaillée des patients à transférer était envoyée par toutes les unités de soins de l'hôpital. Compte tenu de ces 4 conditions réelles ce jour-là, le modèle estimait un besoin de 8 équipes médicales, 5 équipes néonatales, 21 ambulances, pas d'hélicoptères. Il proposait de privilégier une stratégie de transports par convois, par la route. Ces moyens ont pu être déclenchés de manière anticipée, avec un horodatage des heures de départ des équipes et des délais réels d'arrivée sur site. La simulation a pris en compte les patients réellement présents à l'hôpital ce jour-là. La répartition des patients se faisait en fonction de leurs dossiers médicaux, des horaires de décisions, d'arrivée et de départ des équipes de transport. Les patients n'étaient pas réellement transportés, mais les délais d'installation et de transport jusqu'à l'hôpital d'accueil choisi étaient calculés en fonction des conditions réelles de circulation. Le médecin responsable de l'évacuation a fait appel à 8 équipes médicales, 3 équipes néonatales, 23 ambulances, 1 hélicoptère. Le premier patient a quitté les lieux à 13h15. (H+3:55) ; le dernier départ du site à 16h40. (H+6:20.); le dernier patient est arrivé à destination à 19h28 (Figure S2).

Ce test sur site montre que l'estimation précoce des ressources nécessaires était proche des ressources utilisées après décisions médicales. Cette estimation permettait d'apporter très tôt le bon nombre de moyens pour gagner du temps d'évacuation. Ce test a montré que la mobilisation des services nécessitait 2 heures, et que le départ des patients devait être décidé au plus tard 4 heures avant la coupure, soit dès 2m80 de montée des eaux. Le modèle était transposable aux autres hôpitaux pour l'estimation précoce des moyens, des lieux, de la circulation, et permettrait de définir la stratégie optimale, puis son suivi tout au long de l'évacuation (Figure S3-6).

DISCUSSION

Une adaptation pragmatique des 13 principes du collège CHEST par un groupe de travail local d'experts opérationnels a conduit à la mise en œuvre d'un modèle de simulation assistée par ordinateur destiné à tester et planifier l'évacuation sélective d'un hôpital en cas de risque structurel imminent en quelques heures.(1) Ce modèle permet d'optimiser l'attribution de ressources rares et permet d'évaluer soit l'impact de la capacité maximale des ressources disponibles sur les temps d'évacuation, soit l'impact des retards d'évacuation sur le niveau de ressources nécessaires. Le modèle évalue également l'impact sur les délais de transfert lorsqu'une fraction des équipes présentes sur le territoire (les autres équipes assurant les soins d'urgence courants) est utilisée dans l'évacuation. Ce modèle permet d'anticiper a priori différents scénarios de crise et est facilement transposable à d'autres hôpitaux. Dans le cas d'une évacuation, elle pourrait permettre d'intégrer les contraintes et moyens réels observés et ainsi d'adapter finement ces stratégies à la situation réelle.

D'autres méthodes ont été proposées. Le système d'aide à la planification de Bish & Al proposait l'élaboration de plans d'évacuation optimaux basés sur les ressources de transfert disponibles sur site uniquement dans la première heure d'un exercice fictif. (12) Cependant, les renforts mobilisables et le temps d'évacuation maximum imposé par l'événement ne sont pas pris en compte par le modèle. De plus, les temps d'évacuation ne sont pas basés sur des enregistrements mais sont estimés par intervalles de 10 minutes pondérés par les pénalités du profil du patient. Rhamba & Al proposaient un modèle stochastique qui peut être utilisé pour rationaliser les décisions d'évacuation en fonction du risque et du coût générés à mesure que la trajectoire d'un ouragan devient plus claire.(2) Cependant, ce modèle n'est valable que pour un scénario donné au cours de l'événement et n'est pas transposable à d'autres types de risques.(12) L'outil d'ingénierie système (PERC) proposé par Ventura définit différents profils de patients et leur adéquation aux moyens de transport et aux places disponibles. (13) Cependant, avec un nombre fixe de ressources allouées, ce système évalue, pour chaque patient, le pourcentage de diminution du niveau de soins (équipement de transfert, expertise de l'équipe et équipement d'accueil) nécessaire pour permettre les transferts. Le modèle MACSIM est un exercice de simulation auquel participent les cliniciens, les administrateurs d'hôpitaux et les autorités de santé publique.(14) Il utilise des cartes magnétiques pour représenter les patients, les véhicules et les équipes dans la simulation d'un exercice d'évacuation. Cette méthode forme les équipes à la prise de décision et à la coordination mais ne fournit pas d'estimation des ressources et du temps nécessaires à la mise en œuvre effective de l'évacuation des patients.

Notre modèle présente également certaines limites. Il estimait le nombre de ressources nécessaires pour maintenir la sécurité de chaque patient pendant le transport. Chaque patient est orienté vers un lit spécialisé de même catégorie que celui qu'il occupait dans le premier hôpital à risque (de « P1 » à « P1 »). Cependant, l'évolution clinique depuis l'admission pourrait conduire à une orientation vers un autre lit de soins critiques (de « P1 » à « P2 » ou inversement). Ces principes pourraient conduire à une baisse de la norme de soins si les ressources de transfert spécialisées disponibles étaient

dépassées (CHEST-12c). Ces changements liés à l'éthique ne sont pas proposés dans notre modèle mais sont laissés à la discrétion du gestionnaire de crise. Des exercices réalistes sur le terrain ont permis d'enregistrer les temps réels nécessaires à l'installation des patients, à leur évacuation verticale et à leur arrivée dans les différentes zones de transit. Cependant, le nombre de lits disponibles a été estimé à partir du nombre total de lits équipés et du taux d'occupation annuel. Au jour de l'événement, ces capacités pourraient différer des capacités utilisées dans l'estimation. Mais en situation réelle, notre outil ajuste le nombre de places disponibles en envoyant une enquête immédiate aux hôpitaux de la région. De même, la conversion de certaines installations pour fournir un abri peut être utile (CHEST-12b). Nous avons uniquement envisagé la possibilité de convertir les installations hospitalières locales en structures d'accueil temporaires, mais la construction d'un nouvel établissement médical pourrait également être une option dans certains cas.¹⁵

Dans une situation réelle, les conditions changeraient à chaque heure. Le plan d'évacuation devrait s'adapter à l'évolution permanente du risque et des patients restants.⁽¹⁶⁾ Les administrateurs hospitaliers seraient confrontés à une situation difficile dans laquelle ils doivent choisir entre le risque de décider trop tôt des évacuations inutiles et coûteuses et le risque de décider trop tard des transferts dans conditions dangereuses. ^(5,16) En cas d'événement à risque climatique, le rythme d'évacuation des patients devra correspondre à l'évolution horaire du risque encouru par la structure et pour les transferts. Les recommandations CHEST suggèrent d'adapter l'ordre d'évacuation en fonction du temps disponible. (1) Lorsque le temps disponible devient insuffisant, la stratégie est adaptée en priorisant l'évacuation du nombre maximum de patients les moins critiques (nécessitant un minimum de ressources), tandis que les patients les plus gravement malades seraient maintenus sur site et soignés « dans une zone sécurisée ». Notre modèle permettait d'équilibrer ce risque tout au long de l'événement en rationalisant les moyens de transfert et en proposant des évacuations combinées par convois d'un patient « P1 » avec un patient « P2 » encadrés par la même équipe médicale. L'évacuation des patients en réanimation était une contrainte à prendre en compte, elle nécessitait du matériel et du personnel formés. ^(17,18) Une situation dans laquelle l'hôpital fait face à plusieurs risques simultanés pourrait modifier les résultats (ex. effondrement d'un bâtiment nécessitant à la fois l'évacuation des patients et des soins, du personnel blessé). De la même manière, un événement impactant plusieurs établissements de soins devrait être envisagé à la lumière d'une stratégie d'évacuation plus complexe intégrant l'impact des choix de chaque administrateur sur les hôpitaux voisins. La revue de la littérature de Yazdani et al. ne renaient que huit modèles pour préparer l'évacuation d'un hôpital. (9) Très peu sont mis à disposition des gestionnaires de crise pour une utilisation en temps réel. Un seul intègre des informations dynamiques lors de l'événement comme la trajectoire de l'ouragan. (2) Mais aucun pour la gravité des patients, départs et lits disponibles. Aucun n'intégrait les conditions réelles de circulations. En effet, le réseau routier pourrait être limité ou endommagé, ce qui pourrait survenir dans ces situations et modifier les estimations.

Ces critères pourraient être intégrés en temps réel dans notre outil d'aide à la décision. L'équilibre entre les ressources estimées nécessaires et celles disponibles pourrait être ajusté en fonction du temps d'évacuation. Par exemple, il pourrait être plus facile de rassembler des équipes supplémentaires à proximité que d'envoyer des équipes disponibles à distance. De même, il pourrait être plus efficace d'installer des lits temporaires dans les hôpitaux voisins que de transporter les patients vers des lits disponibles à des centaines de kilomètres. Les hôpitaux peuvent garantir une réponse rapide et plus efficace en cas d'évacuation d'urgence en améliorant leur préparation.^{20,21} La fréquence et l'intensité croissantes des événements climatiques ainsi que le nombre d'infrastructures impliquées nécessitent une standardisation et une multiplication de l'évaluation des plans d'évacuation des hôpitaux. Notre outil pourrait faciliter ces évaluations en proposant une réponse standardisée.

CONCLUSION

La définition des critères influençant l'évacuation d'un service de réanimation en milieu hospitalier produit un outil d'aide à la décision qui serait transposable à la planification ou à des situations réelles.

Article n°7 (soumis):

Medical evacuation planning for critical care units in a hospital at imminent risk: A multimodal assessment of patient triage and required resources, for optimal strategy and real-time use for each hospital

Dr AUBRION Antoine, Normandie Univ, UNICAEN, Emergency medical service, SAMU14, Caen University Hospital, Normandy, France Inserm ANTICIPE 1086, Caen, France

HARDEL Lauriane, Normandie Univ, UNICAEN, Emergency medical service, SAMU14, Caen University Hospital, Normandy, France

Dr SAUNEUF Bertrand, M.D. Intensive Care Unit & Anesthesiology Department, Cotentin Public Hospital, Cherbourg-en-Cotentin, France

Dr LEFEVRE-SCELLES Antoine M.D., Department of Anaesthesiology, Intensive Care and Emergency Medical Services (SAMU 76), Rouen University Hospital, France ; Emergency Care Training Center (CESU-76A), Rouen, France

JULLIARD Bastien, M.D. Emergency Department, Cherbourg public hospital

AGUDZE Etienne, M.D. Neonatal Intensive Care Unit of Cherbourg public hospital

DELOMAS Thomas, M.D. Emergency medical service, SAMU50, Memorial Hospital of St Lo, Normandy, France

MACREZ Richard, M.D. Physiopathology and Imaging of Neurological Disorders, Normandie Univ, UNICAEN,

INSERM, UMR-S U1237, Institut Blood and Brain @ CaenNormandie, GIP Cyceron, Boulevard Becquerel, 14074, Caen, France. Department of emergency medicine, Caen-Normandie Hospital (CHU), Caen, France.

Pr GUITTET Lydia M.D.,PhD. Normandie Univ, UNICAEN, CHU de Caen Normandie, Public Health Unit Inserm ANTICIPE 1086, 14000 CAEN, France

ABSTRACT

Background: The increasing frequency and intensity of climatic events and the number of infrastructures involved require standardization and multiplication of the evaluation of hospital evacuation plans. This article presents an automated simulation method dedicated to guiding experts in the development of a hospital selective evacuation plan.

Methods: A pragmatic adaptation of the 13 principles of the international guidelines by a local operational expert working group led to the implementation of a computer-assisted simulation model. An application for a public hospital at significant risk of flooding is provided.

Results: The expert group classifies each patient to be transferred according to 3 priorities (P1 to P3), 3 age categories (adult, paediatric, neonatal), specific transfer equipment and team required, and type of reception unit in hospitals. Ten specific profiles for transport conditions or destination hospitals were considered. The model can be used either to evaluate the minimal number of evacuation means necessary to proceed with the evacuation in a few hours of all the patients who require evacuation (output) or alternatively, the number of patients out of delay considering the number of evacuation means available (constraint). The model can be adapted with additional constraints or optimization strategies such as traffic conditions, convoys, ephemeral proximity units, and reinforcements.

Conclusion: The definition of the criteria that impact hospital intensive care unit evacuation, followed by the identification of these elements in the case of each hospital concerned, allows the construction of a homogeneous and transposable planning model and identifies the best evacuation strategies for each hospital.

KEYWORDS: Disaster planning, Hospital evacuation, Intensive care unit, Patient triage, Mass casualty events, MassCare indicator

KEY MESSAGES:

What we know

Planning for the selective evacuation of critical care patients from a hospital at imminent risk (explosion, tornado, flooding) requires knowing the mass care capabilities of nearby hospitals, and identifying the conditions for transferring these patients under exceptional conditions. Lacking appropriate decision support tools, hospital administrators make complex decisions based on partial or uncertain information.

What this study brings

This article presents an automated simulation method dedicated to guide experts in the development of a selective evacuation plan, and to compare different possible strategies for each hospital. An application is provided, focusing on a public hospital, at significant risk of flooding.

INTRODUCTION

The organization of a massive transfer of patients to hospitals usually occurs in situations in which there are numerous simultaneous victims (accidents, terrorist attacks, or other unexpected events). It may also be necessary to evacuate a hospital at imminent risk due to explosion, tornadoes, or flooding. Planning the selective evacuation of critical care patients from a hospital at risk requires knowing the mass care capabilities of nearby hospitals and identifying the conditions for transferring these patients under exceptional conditions. Based on the best available scientific evidence, in 2014 the American College of Chest Physicians (CHEST) formulated thirteen expert suggestions using a modified Delphi process regarding the preparation and execution of effective evacuation of critical care patients during a disaster (Table 1).¹ However, their pragmatic implementation is complex in relation to the diversity of facilities, local backup resources, and threats or constraints encountered.² Lacking appropriate decision support tools, hospital administrators make complex decisions based on partial or uncertain information under conditions in which they have limited ability and time to compare different possible strategies. These difficulties can lead to risky containment decisions,³ late evacuation decisions,⁴ or uncoordinated decisions.⁵ In some developed countries it is estimated that 70% of hospitals are vulnerable to flooding⁶. The increasing frequency and intensity of climatic events and the number of infrastructures involved require standardization and multiplication of the evaluation of hospital evacuation plans⁷⁻¹⁰.

This article presents an automated simulation method dedicated to guiding experts in the development of a hospital selective evacuation plan. An application is provided that focuses on the Louis Pasteur public hospital, which covers a population of 200,000 inhabitants in a landlocked area within the Cotentin Peninsula (Normandy, France), a few metres from the sea, 200 metres from two rivers (Figure 1) and at significant risk of flooding.

METHOD

Risk identification and evacuation conditions

In 2020, an upwards reassessment of the risk of flooding of the Louis Pasteur hospital required the preparation of a selective evacuation plan. Between September 2021 and June 2022, meetings of experts were organized to specify key elements that need to be considered when planning a patient evacuation and their impact on other health care facilities in the care sector. The members of the working group were professionals from public hospital, private clinics and regional health agency (RHA) referents involved in the planning of the hospital evacuation plan response. These professionals included physicians and nurses involved in emergency and intensive care units (ICUs), paediatric resuscitation, and anaesthesia, operating room managers, and individuals involved with quality and risk management in health establishments.

Hospital vulnerability and its impact on the maintenance of ICU care were first explored. The experts were asked about the resources needed to evacuate ICU patients in the case of an imminent peril. The synthesis constructed by the organizers was submitted to a second round of discussion with the same participants in which individual patient profiles were detailed. A third round achieved the establishment of a summary form dedicated to recording available resources on site in case of a future event.

The working group determined the patient profiles to be distinguished by the type of transport team, ambulance, and the specific materials required for the transfer (Table 2).

Patient profile

The patients to be removed from the institution are placed by the working group in one of three priority categories according to their physical dependency. Priority 1 (P1) includes patients who require permanent life support intervention to survive (e.g., mechanical ventilation or sedative drugs). Priority 2 (P2) includes patients who need life support monitoring to detect critical clinical worsening. The P1 and P2 categories rely on the ICU. Finally, priority 3 (P3) includes specific patients within conventional units who need technical treatment over periods of a few hours (e.g., dialysis, fibroscopy, or similar procedures) and those in inpatient units or undergoing postinterventional care who show clinical worsening.

Each of these categories is separated into three age groups: adults, paediatric patients, and newborns. The category to which a patient belongs determines the staff and equipment transfer and medical unit needed upon arrival. Some profiles also have an impact on transport conditions (e.g., bariatric patients, patients in isolation due to infection with emergent or resistant bacteria, ventilated patients in prone position). In addition, some profiles impact the choice of the receiving establishment due to the necessary for proximity of a specific technical platform (e.g., high-expertise maternity, coronary angiography, peripheral or central embolization, cardiothoracic or paediatric or neurologic surgery, patients with severe burns).

Composition of the transfer teams

The transfer of critical care patients to another institution requires the mobilization of medical and paramedical teams. The working group specified that the evacuation of "P1" patients requires individual medical transport to allow control of vital functions and to provide specialized intervention if clinical aggravation occurs. "P2" patients can be transferred with continuous monitoring under nursing supervision, provided that a physician can intervene at any time. Transfers by convoy of two ambulances are therefore to be preferred, with either 2 "P2" patients or 1 "P1" patient and 1 "P2" patient in each convoy. Transfers of "P3" patients can be performed by ambulance drivers alone. Transfers of premature infants and infants less than one month old are conducted by specific neonatal teams. Some impacted sites could set up additional teams to transfer their patients. These teams could be made up of individuals on critical care teams or could be reinforced by perioperative anaesthesia personnel after the activity in progress has been postponed. To plan the evacuation, the number of transfer teams available on site should be classified with respect to arrival time on site).

Equipment

The transfer of critical care patients to another institution requires the mobilization of equipment for maintaining and/or monitoring vital functions. This equipment is defined for patients at each priority level by the working group as follows:

- For each "P1" patient, a respirator with several ventilatory modes, monitoring devices (invasive blood pressure monitoring, expired CO₂ capnography, etc), a suction device, and 3 electric syringe pushers.
- For each "P2" patient, a standardized transport ventilator (only 2 oxygen fraction levels), vital constants monitoring, and an electric syringe pump.
- For each "P3" patient, a portable devices for measuring vital constants would be sufficient.

In the case of paediatric patients, all the equipment provided must be adapted to the age of the patient with respect to the adjustment of parameters and the availability of specific consumables. The transfer of neonatal patients requires a stretcher with transport incubators and temperature control.

In the specific context of evacuation from an institution at risk, keeping the materials used for the patient in the initial care unit during transport could be considered to limit the strain on the supply of transport materials. Mobilization of additional teams from the evacuated hospital or the local EMS can allow fast reinforcement on site if material means can be distributed to them.

Vectors

Patient evacuation requires the use of ambulance and helicopter vectors. The choice of which of these are used will depend on their availability and speed and the distance to be covered. The use of vectors also depends on traffic conditions. If the area adjacent to the hospital is flooded, ambulance access may be limited. Rescue assets may be committed to other weather-related rescue missions. Adverse weather during a storm event may make helicopters unavailable. "P2" patients can accompany a medicalized "P1" transport in which there is a second ambulance and supervised paramedical monitoring of the convoy transport. Specific carriers such as bariatric transports must be referenced.

Multiple simultaneous evacuations by train or airplane require specific equipped vectors and are subject to very complex logistics requiring several days of anticipation. They are exposed to an increased risk of immobilization in the case of bad weather (e.g., flight conditions, obstacles on railways), and this would affect several patients.

Dispatching between hospitals

The national health response plans detail the adaptation of the health care system to make it able to respond to different crisis risks. The estimated immediately available capacity (T0) can be estimated a priori for each hospital by applying the average occupancy rates of critical care units and conventional units by patients in specific age groups (adults, infants, neonates) to the total numbers of beds (Tmax).¹¹ For example, for a hospital with a total of 10 ICU beds (Tmax) and an annual occupancy rate of 80%, the accessible capacity T0 is estimated to be $T0 = Tmax * (1 - 0.8) = 2$ beds. These estimated T0 capacities are used to plan the resources and time required to transfer all critical care patients. During a real event, the estimated T0 capacities can be further adjusted as the facilities report their immediate real capacities. Additional beds can be installed or vacated at the 3-hour time horizon (T3) to accommodate additional evacuated patients following triggering of the crisis plan in surrounding hospitals.

Concerning distances, hospitals with ICUs are few and far apart and have limited numbers of T0 beds. The distribution of several patients to the ICUs of the surrounding hospitals leads to rapid saturation of the sector's capacity. The choice between long-distance evacuations or creating a rapid increase in the sector's capacity must take into account the resources and the time available. A second-line centre nearby can be defined as a temporary location for receiving certain patients.

On-site organization of the evacuation

The working group evaluated the optimal evacuation times and routes for patients of each profile by real monocentric on-site simulation using a dummy ventilated patient and testing different strategies. It recommended setting up a single triage and evacuation zone within the hospital at the beginning of the transfers, taking into account maintenance of access throughout the incident. The evacuation time within the hospital was estimated to be 30 minutes per patient to the ambulance or heliport. This time is increased by 15 minutes per floor in case of electrical shutdown of the elevators. An evacuation command post that is accessible to ambulance rotations must be set up at the exit point of the facility. This one-stop shop should allow tracking of teams, equipment and vectors that are available or engaged. Preserved access to the information system must allow the transmission of a liaison medical file in paper format. On-site monitoring of the adjusted capacities of the establishments and of the transfers in progress makes it possible to establish the optimal evacuation strategy according to the time allowed and allows centralized transmission of information to the supervisory authorities and to the effectors.

RESULTS

1. Computer-assisted simulation to guide definition of the evacuation plan

The optimal evacuation plan depends on the number and type of patients to be evacuated, the number and location of adequate available beds in hospitals that are not at risk, the number of transport means (staff and vectors), their delivery time to the site to be evacuated, and the time available for conducting the evacuation. In these situations, in which the staff and equipment used during transport are adapted to the needs of the medical patients, the deadline corresponds to the actual departure of all patients needing evacuation from the at-risk hospital rather than to their arrival at the destination hospitals.

There is a trade-off between the number of means used in the evacuation and the duration of evacuation. Should an infinite number of evacuation means be immediately available and as many vectors as patients were to be used in the evacuation, the evacuation would last less than one hour (corresponding to the time required to install patients in the vectors and to leave). In contrast, should the evacuation be anticipated long before, a single vector could be sufficient to evacuate all patients.

A simulation model was proposed to address this trade-off using the following inputs (Figure 2):

- Number of patients to be evacuated, categorized as "P1" to "P3" and by age group and other characteristics;
- Number of empty beds by hospital within a reasonable distance (custom-chosen) classified according to their types of medical units, and access time from the hospital to be evacuated by either road (mean travel time increased by 10 minutes for dropping off the patient) or helicopter

(200 km/h speed applied to Euclidean distance; travel time increased by 30 min for the time required for takeoff).

The model can be used either to determine the minimal number of evacuation means (output) needed to complete the evacuation of all the patients who require evacuation, considering a constraint on the duration of the evacuation; or to evaluate the time to departure of the last patient who needs evacuation (output), or, alternatively, the number of patients out of delay for evacuation at a specific deadline, considering the number of evacuation means available (constraint) (Figure 3).

The model can be adapted to include additional constraints or optimization strategies by doing one or more of the following: using helicopters or not according to weather conditions, using medical convoys (1 "P1" and 1 "P2" patient per medical team), temporary local transfer (ephemeral ICU). Briefly, the model orders the patients by priority and the destination hospitals by decreasing distance from the hospital to be evacuated. It then successively assigns the patients with the highest priorities ("P1" first) to the nearest hospitals that fit their priority categories until all transportation means are occupied. For each of the evacuated patients, the model calculates the time until the expected return of the dedicated transportation means to the hospital at risk and assigns to each means the patient with the next highest priority for transfer to the closest hospital, and so on. If the model is used to estimate the minimal number of evacuation means needed, the model iteratively adjusts the number of evacuation means used in the simulation process until it is not possible to further decrease the number of evacuation means without running out of time in which to transfer patients. In addition, provided that it does not cause the maximum allowable evacuation time to be exceeded, the model favours using ambulances only rather than helicopters.

2. Model application

The model was applied to a landlocked hospital in Cherbourg that is at particular risk of flooding due to river flooding or marine submersion (Figure 1). The vulnerability study considers 2 possible scenarios of rising water: 7 cm/h (frequent), and 20 cm/h (extreme) (Figure S1). It highlights a loss of general and emergency electricity supply at a site flooding threshold of 1.0 m (4.0 m above sea level). This loss would progressively affect all networks. All activity in this health care facility would be interrupted. The monitoring and life support systems for critical care patients would no longer be available. Computerized prescriptions and medical observations would be inaccessible, and intrahospital and extrahospital communications would be interrupted. Transport of patients within the institution would be complicated by the shutdown of the elevators, and oxygen and drinking water supplies would be limited to internal reserves. Depending on the scenario, this threshold would occur at 12 h (frequent), or 4 h (extreme).

The numbers and types of patients needing evacuation were estimated by the expert group using a punctual cross-sectional description of beds occupied in the hospital. In this hospital, which contains 505 beds overall, it was estimated that selective evacuation in the face of a risk of electric shutdown due to flooding would involve 50 patients, including 14 "P1" adults, 6 "P1" neonates, 20 "P2" adults, 9 "P2" neonates and 1 "P3" adult. Eligible destination hospitals were those located less than 3 hours by road or 200 km by helicopter from the hospital to be evacuated (3, 15 and 31 hospitals were located at 1-h, 2-h and 3-h distances, respectively). The number of patients in each category that each of these destination hospitals could accommodate was defined by applying a common occupation rate in the national hospital database SAE (88% for adult ICU beds and 93% for neonatal ICU beds).⁷ (Table S1).

Table 3 shows the results of simulations comparing each scenario. For example, in Scenario 1, 21 ambulances and 16 adult and 9 neonate medical transport teams would be needed in the absence of convoys. Optimizing transport by using convoys would reduce the number of ambulances and adult medical transport teams needed by 33% and 37.5%, respectively. Figure 3 illustrates a simulated evacuation using convoys under Scenario 1 (12 h evacuation). This figure presents vectors, transport staff, and destination hospitals, using convoys for common destinations. By comparing these estimates with the means that are directly available, it is possible to know the number of personnel that would need to be recalled from rest or the number of reinforcements to be mobilized from outside the region.

3. On site simulation

On October 4, 2022, a simulation exercise within the hospital made it possible to implement these strategies in real conditions (Figure 2): patients present, road traffic, beds available in other hospitals (Table S1), evacuation time available, and confronting the model conclusions (Table S2). The alert was given in real conditions at 9:20 am. At 11.20 a.m. the detailed list of patients to be transferred was sent by all hospital's care units. Given these 4 real conditions that day, the model estimated a need for 8 medical teams, 5 neonatal teams, 21 ambulances, no helicopters. It proposed to favor a transport strategy by convoys, by road. These means were able to be triggered early, with timestamping of the departure times of the teams and the actual delivery times. The simulation considered the patients really present in the hospital that day. The distribution of patients was done according to their medical files, the times of decisions, arrival and departure of the transport teams. Patients were not really transported, but the time taken to install and transport them to the chosen receiving hospital was calculated according to the real traffic conditions. The dispatch used 8 medical teams, 3 neonatal teams, 23 ambulances, 1 helicopter. The first patient left the site at 1:15 p.m. (H+3:55); the last departure from the site at 4.40 p.m. (H+6:20.); the last patient arrived at their destination at 7:28 p.m (Figure S2).

This on-site test shows that the early estimate of the resources needed is close to the resources used after medical decisions. This estimate makes it possible to bring in the right number of resources very early on to save evacuation time. This test showed that the mobilization of the services required 2 hours, and that the departure of the patients had to be decided at the latest 4 hours before the cut, that is to say from 2m80 of rise in water.

The early estimation of the means, the places, the traffic, makes it possible to define the optimal strategy, then its follow-up throughout the evacuation, whatever the hospital concerned (Figure S3-6)..

4. Transposition to other hospitals

A case of real alert in a hospital on 10/13/2023 provides an illustration of the operational contribution of the method to other hospitals in the country. During the real alert, the manager indicated only two pieces of information in the web application: the name of the hospital concerned, and the time allowed for the evacuation. The tool directly returned three types of information:

- the estimated number of patients present and who would need to be evacuated in each profile P1 to P3, and age category (based on the number of beds installed and the annual occupancy rate in these units)
- the estimated number of beds available in other surrounding hospitals (based on the usual occupancy rate of each department).
- the technical needs to be mobilized for all patients in the structure (oxygen consumption per hour, electricity consumption for ventilation and monitoring equipment per hour)
- the number of resources and teams necessary to ensure the evacuation of all patients on time, or conversely the number of patients outside the deadline if a limited number of resources or teams are provided. This estimate could take into account additional strategies provided in the web tool (convoys, etc.)

Then the tool made it possible to integrate the refined information provided by the on-site survey: real number of patients, real number of beds available from other hospitals, real traffic conditions.

In a third step, the tool monitors the evacuations and adjusts the remaining needs as they go.

The same test was done on each of the 14 hospitals with ICU in the region to make regional plan. Resources needed to evacuate all ICU patients was estimated for each hospital in 4 hours (Scenario 1 : median 13 ambulances and 6 medical teams), or 12 hours (Scenario 2: median 6 ambulances and 3 medical teams) (Table S2). The early estimation of the means, the places, the traffic, makes it possible

to define the optimal strategy, then its follow-up throughout the evacuation, whatever the hospital concerned (Figure S3-6).

DISCUSSION

A pragmatic adaptation of the 13 principles of the CHEST college by a local operational expert working group led to the implementation of a computer-assisted simulation model designed to test and plan selective evacuation of a hospital in a case of impending structural risk within a few hours' delay.¹ This model helps optimize the allocation of scarce resources and allows evaluation of either the impact of the peak capacity of available resources on evacuation times or the impact of evacuation delays on the level of resources needed. The model also evaluates the impact on transfer times when a fraction of the teams in the territory (the other teams providing routine urgent care) are used in the evacuation. This model allows a priori anticipation of different crisis scenarios and is easily transposable to other hospitals. In the case of an evacuation, it could be used to integrate the actual constraints and means observed and thereby finely adapt these strategies to the actual situation.

Other methods have been proposed. Bish & Al's planning support system¹² proposes the development of optimal evacuation plans based on the transfer resources available on site only in the first hour during a fictive exercise. However, additional available backup and the maximum evacuation time imposed by the event are not accounted for by the model. In addition, evacuation times are not based on records but are estimated in 10-minute intervals weighted by patient profile penalties. Rhamba & Al propose a stochastic model that can be used to rationalize evacuation decisions based on the risk and the cost generated as the trajectory of a hurricane becomes clearer.² However, this model is only valid for a given scenario during the event and is not transposable to other types of risks.¹² The systems engineering tool (PERC) proposed by Ventura¹³ defines different patient profiles and how they should be matched to transport resources and available places. However, with a fixed number of resources allocated, this system evaluates, for each patient, the percentage decrease in the level of care (transfer equipment, team expertise, and reception equipment) required to allow transfers. The MACSIM model is a simulation exercise that involves all front-line clinicians, hospital administrators, and public health authorities.¹⁴ It uses magnetic cards to represent patients, vehicles and teams in the simulation of an evacuation exercise. This method trains teams in decision-making and coordination but does not provide an estimate of the resources and time required to implement actual patient evacuation.

Our model has also some limits. It estimates the number of resources needed to maintain the safety of each patient during transport. Each patient is directed to a specialized bed of the same category as the one he or she occupied in the first hospital at risk (from "P1" to "P1"). However, the clinical evolution since admission can lead to referral to another critical care bed (from "P1" to "P2" or inverse). These principles may lead to lowering of the standard of care if the available specialized transfer resources are exceeded (CHEST-12c). These ethics-related changes are not proposed in our model but are left to the discretion of the crisis manager. Realistic field exercises were used to record the real times required for patient installation, vertical evacuation and arrival at different transit zones. However, the number of available beds was estimated from the total number of equipped beds and annual occupancy rate. On the day of the event, these capacities may differ from the capacities used in the estimation. But in real-life situations, our tool adjusts the number of places available by sending an immediate survey to hospitals in the area. Similarly, the conversion of some facilities to provide shelter may be useful (CHEST-12b). We have only considered the possibility of converting local hospital facilities into temporary reception facilities but building a new medical facility could also be an option in some cases.¹⁵

In a real-life situation, conditions change with each passing hour. Evacuation plan must adapt to the permanent evolution of the risk and the remaining patients.¹⁶ Hospital administrators face a difficult situation in which they must choose between the risk of deciding too early on unnecessary and costly evacuations and the risk of deciding too late on transfers in dangerous conditions.^{5,16} In the event of a climatic risk event, the rate of evacuation of patients must match the hourly evolution of the risk

incurred by the structure and for transfers. The CHEST recommendations suggest that the order of evacuation should be adapted according to the time available.¹ When the available time becomes insufficient, the strategy is adapted by prioritizing the evacuation of the maximum number of least critical patients (requiring a minimum of resources), while the most seriously ill patients would be cared for using a "shelter in place" strategy. Our model allows us to balance this risk throughout the event by rationalizing the means of transfer and by proposing combined evacuations using convoys of a "P1" patient with a "P2" patient supervised by the same medical team. Vertical evacuation of resuscitation patients is a constraint to be included. It requires equipment and trained personnel.^{17,18} A situation in which the hospital faces several simultaneous risks can modify the results (e.g., collapse of a building that requires both evacuation of patients and care of injured patients and personnel). In the same way, an event that impacts several care facilities should be considered in the light of a more complex evacuation strategy that integrates the impact of each administrator's choices on neighbouring hospitals. The literature review by Yazdani et al retains only eight models for preparing for the evacuation of a hospital.⁹ Very few are made available to crisis managers for real-time use. Only one incorporates dynamic information during the event like the path of the hurricane.² However none for patient severity, departures and available beds. None incorporates actual traffic conditions. Indeed limited or damaged road network that may occur in these situations and modify the estimates.

These criteria can be integrated in real time into our decision support-tool. The balance between the estimated resources needed and those available can be adjusted through evacuation time. For example, it may be easier to assemble additional teams in the vicinity than to dispatch available teams from afar. Similarly, it may be more efficient to set up temporary beds in nearby hospitals than to transport patients to available beds hundreds of miles away. Hospitals can ensure a timely and more effective response in emergency evacuation by improving their preparedness.^{20,21} The increasing frequency and intensity of climatic events and the number of infrastructures involved require standardization and multiplication of the evaluation of hospital evacuation plans. Our tool could facilitate these assessments by proposing a standardized response.

CONCLUSION

Defining the criteria influencing the evacuation of an intensive care unit in a hospital setting produces a decision-support tool that can be transposed to planning, or real-life situations. The two stages of this model are integrated into the national crisis preparedness plan for their concrete implementation by hospital administrators.

Datasets related to this article can be found at: <https://www.sae-diffusion.sante.gouv.fr/sae-diffusion/accueil.htm> ; The data is collected by the DREES (Department of research, studies, evaluation and statistics), directorate of the French central administration of the health and social ministries.

REFERENCES

1. King MA, Niven AS, Beninati W, *et al.* Evacuation of the ICU: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement. *Chest* 2014; 146: e44S-60S.
2. Rambha T, Nozick LK, Davidson R, Yi W, Yang K. A stochastic optimization model for staged hospital evacuation during hurricanes. *Transp Res E Logist Transp Rev* 2021; 151: 102321.
3. Dosa DM, Grossman N, Wetle T, Mor V. To evacuate or not to evacuate: lessons learned from Louisiana nursing home administrators following hurricanes katrina and rita. *J Am Med Dir Assoc* 2007; 8: 142-9.
4. Gray BH, Hebert K. Hospitals in hurricane katrina: challenges facing custodial institutions in a disaster. *J Health Care Poor Underserved* 2007; 18: 283-98.
5. Ricci KA, Griffin AR, Heslin KC, Kranke D, Dobalian A. Evacuate or shelter-in-place? The role of corporate memory and political environment in hospital-evacuation decision making. *Prehosp Disaster Med* 2015; 30: 233-8.
6. Bagaria J, Heggie C, Abrahams J, Murray V. Evacuation and sheltering of hospitals in emergencies: a review of international experience. *Prehospital Disaster Med* 2009. 24 : 461-467.
7. Sandra K, Meital N, Ofer M, Limor AD, Sara G, Bruria A. Facilitating emergency hospital evacuation through uniform discharge criteria. *Am J Emerg Med.* 2017 May; 35:681-684.
8. Khorram-Manesh A, Phattharapornjaroen P, Mortelmans LJ & al. Current Perspectives and Concerns Facing Hospital Evacuation: The Results of a Pilot Study and Literature Review. *Disaster Med Public Health Prep.* 2022 Apr;16 :650-658
9. Yazdani M, Mojtahedi M, Loosemore M & al. Hospital evacuation modelling: A critical literature review on current knowledge and research gaps. *Int. J. Disaster Risk Reduct* 2021 Dec; 66: 102627
10. Schultz CH, Koenig KL, Auf der Heide E, Olson R. Benchmarking for hospital evacuation: a critical data collection tool. *Prehosp Disaster Med.* 2005 Sep-Oct;20 :331-42.
11. The Annual Establishment Statistics. Directorate for research, studies, evaluation and statistics, French ministry of health and solidarity. Available from <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/sources-outils-et-enquetes/00-la-statistique-annuelle-des-etablissements-sae>.
12. Bish DR, Tarhini H, Amara R, Zoraster R, Bosson N, Gausche-Hill M. Modeling to optimize hospital evacuation planning in EMS systems. *Prehosp Emerg Care* 2017; 21: 503-10.
13. Ventura GM. Development of patient evacuation resource classification system (PERC) using systems engineering to assist hospital evacuations in a disaster. *Disaster Med Public Health Prep* 2021; 15: 639-48.
14. Montán KL, Riddez L, Lennquist S, *et al.* Assessment of hospital surge capacity using the MACSIM simulation system: a pilot study. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2017; 43: 525-39.
15. Pasquier P, Mathais Q, Déserts MDD, Favier JC, Escarment J. The field intensive care unit of the French military medical service. *Anesthésie & Réanimation.* 2020 May;6(3):288–91. doi: 10.1016/j.anrea.2020.04.010.

16. Sahebi A, Jahangiri K, Alibabaei A, Khorasani-Zavareh D. Factors Influencing Hospital Emergency Evacuation during Fire: A Systematic Literature Review. *Int J Prev Med*. 2021 Oct 26;12:147. doi: 10.4103/ijpvm.IJPVM_653_20.
17. Manion P, Golden IJ. Vertical evacuation drill of an intensive care unit: design, implementation, and evaluation. *Disaster Manag Response* 2004 Jan-Mar : 2:14-9.
18. Iserson KV. Vertical hospital evacuations: a new method. *South Med J* 2013; 106: 37-42.
19. Sahebi A, Jahangiri K, Alibabaei A, Khorasani-Zavareh D. Factors Influencing Hospital Emergency Evacuation during Fire: A Systematic Literature Review. *Int J Prev Med*. 2021 Oct 26;12:147. doi: 10.4103/ijpvm.IJPVM_653_20.
20. WHO, PAHO, ISDR, World Bank: Hospitals safe from disasters: Reduce Risk, Protect Health Facilities, Save Lives. 2008. 2008-2009 World Disaster Reduction Campaign. (Report) available at <https://www.unisdr.org/2009/campaign/pdf/wdrc-2008-2009-information-kit.pdf>

TABLES

Table 1. Benchmarks for CHEST recommendations

1	Formulate hospitalization and transport agreements
2	Prepare and simulate a critical care evacuation (a. staffing cp peak; b. vertical evacuation; c. special stair equipment and maintain respiratory and HD monitoring)
3	Prepare and simulate a critical care evacuation (land and air teams, identify scarce transport resources (neonates); c. realistic exercises)
4	Designate a team leader
5	Initiate evacuation prior to the event
6	Request backup
7	Electrical supply and ventilation during transit (b. specific regional ventilation stock)
8	Prioritize patients (a. time constrained = lightest first, wide time = heaviest first in convoy with lightest); c. 2 nd -line offload; d. if intransportable shelter-in-place strategy is followed
9	System for tracking evacuation/space availability
10	Prepare patient prior to evacuation (a. equipment provided by transport team); c. back-up teams; d. staging area
11	Transfer of paper and computerized medical records
12	Patient transport: priority to move the most people, increase capacity, lower standard of care
13	Follow-up

Table 2. Conditions of transport during evacuation according to patient profile

	Intensive Care Units		Conventional Units
	Priority “P1”	Priority “P2”	Priority “P3”
Patient profile (additional conditions according to age)	Life support devices needed	Careful monitoring required, but no life support devices needed	No current monitoring, but clinical worsening expected or will soon need technical medical intervention
Minimal staff during transport	Direct medical supervision	Direct nurse supervision provided there is a physician in proximity (possible convoy with “P1”)	Ambulance driver
Equipment during transport	Specific respirator with several ventilation modes Specific monitoring devices Suction device 3 electric syringe pushers	Standardized transport ventilator Transport scope 1 electric syringe pump	Portable monitoring devices
Vectors	Ambulance or helicopter rather than train or airplane		

Table 3. Computer-assisted simulation of the Cherbourg Public Hospital evacuation:
resources required for the two scenarios (12 hours and 4 hours)

Scenario	Constraints imposed		Possible strategies		Means required			
	Time limit	Possibility of transport by helicopter	Possibility of convoys	Increase in the number of places available	Ambulance	Helicopter	Medical team	Paediatric medical team
N°1 limited-constraint scenario	12 h	Yes	No	T0	21	0	16	11
	12 h	Yes	Yes	T0	14	0	10	9
N°2 maximum stress scenario	4 h	No	No	T0	26	0	17	13
	4 h	No	Yes	T0	29	0	12	13
	4 h	Yes	Yes	T0	29	0	12	13
	4 h	No	Yes	T0x2	26	0	12	8

FIGURES



Figure 1 : Geographical location of the Cherbourg Public Hospital in Cotentin Peninsula (Normandy), considered in the evacuation simulation

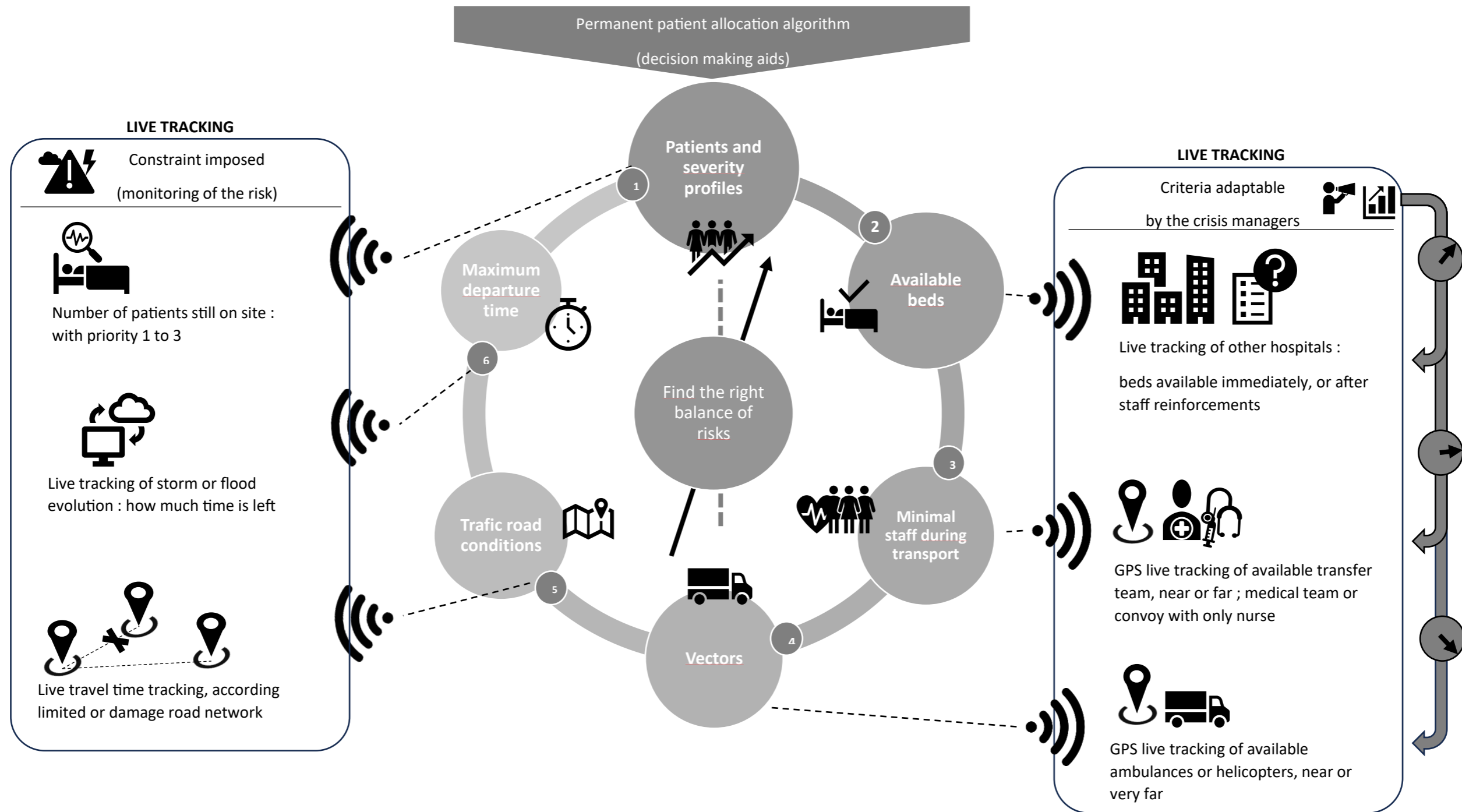


Figure 2: Permanent patient allocation algorithm, for simulation or real event decision making aids.

Legend: Permanent test of distribution of the remaining patients (1), each in a suitable and available place in other nearby hospitals (2), with the minimum number of teams (3) and ambulances (4) possible, given the conditions of current traffic (5) and respecting a maximum departure time for all (6). For writing crisis plans and simulations, all the criteria are chosen. In the event of a real situation, each criterion is updated according to the real constraints (1,5,6) and the criteria adaptable by the crisis managers (2,3,4).

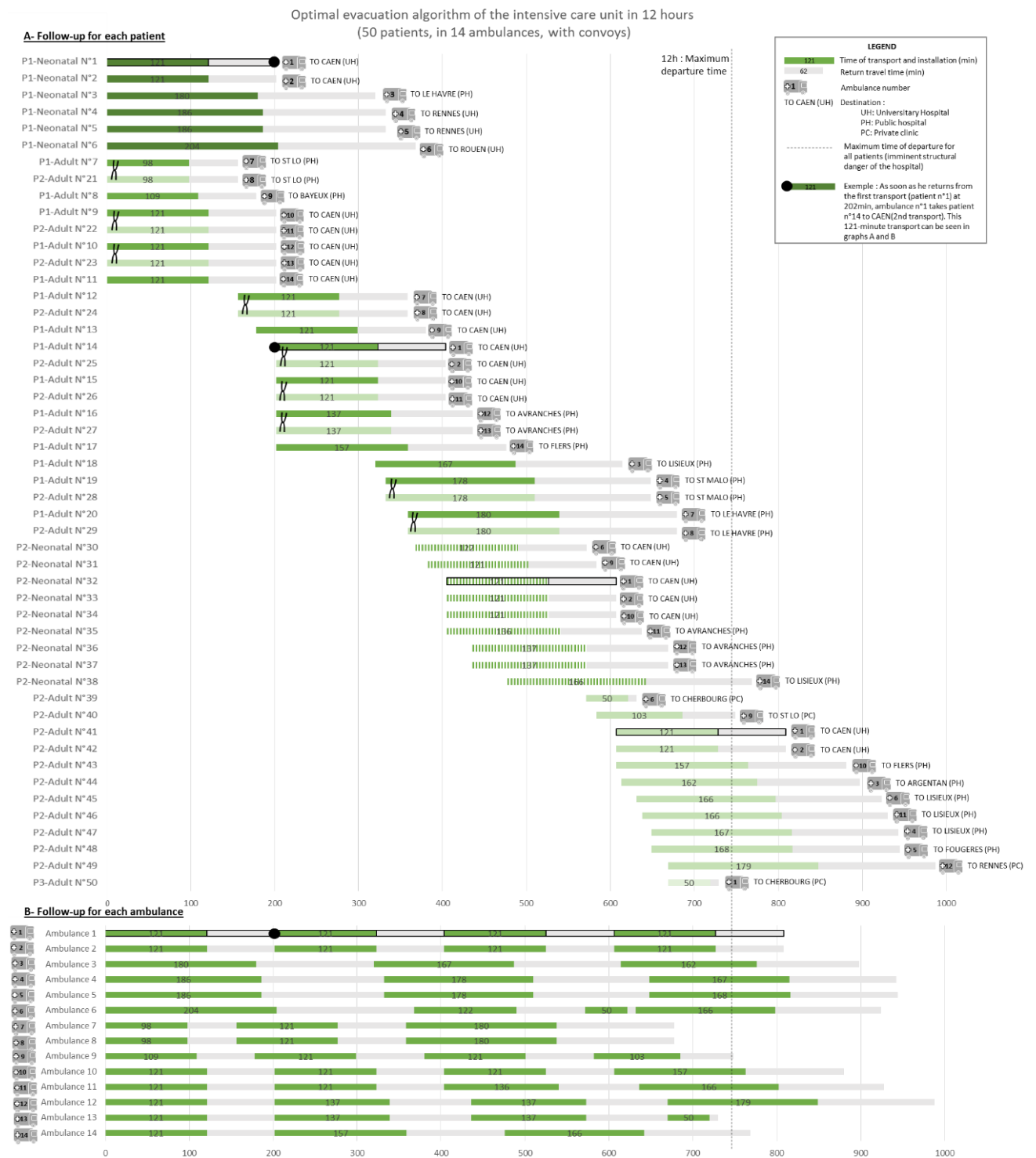


Figure 3 : Computer-assisted simulation of coupled evacuation of 20 “P1”, 29 “P2” and 1 “P3” patients from the Cherbourg Hospital using convoys (A- Patient view; B- Ambulance view)

SUPPLEMENTARY MATERIALS

Table S1. Patients to be transferred from Cherbourg hospitals and available destinations

according to transfer time

Table S2: Estimate of resources needed to evacuate all ICU patients from a hospital at risk, for the entire administrative region

Figure S1. Impact of the 3 flood vulnerability scenarios on medical evacuation times to other facilities

Figure S2: Capture at 16:10 of the distribution of patients awaiting evacuation P1 (UA), P2 (UR), travelling, or arrived.

Figure S3 : Live monitoring screen of 4 indicators : 1. remaining patients 2. means of transfer, 3. Surrounding hospital capacity and 4. reinforcements needed to ensure evacuation

Figure S4: Operational console for monitoring the evacuation of a hospital.

Figure S5: Operational console with Criteria adaptable by the crisis managers (options)

Figure S6 : Distribution algorithm for the 50 patients of the Cherbourg hospital, as soon as the alert is received.

Table S1. Patients to be transferred from Cherbourg hospitals and available destinations according to transfer time

Evacuate	Hospital to be evacuated			CHPC – CHERBOURG PUBLIC HOSPITAL			dep	ORSAN	ADULTE	PEDIA	NEONAT	ADULTE	PEDIA	NEONAT				
	Total number of patients to be transferred			50	1	14			6	20				9				
Reception	Hospital reception destinations available according to transfer time from Cherbourg						REANIMATION						USC					
	Ambulance transfer		Helicopter transfer	Hospital	dep	ORSAN	ADULT		PEDIA		NEONAT		ADULT		PEDIA		NEONAT	
Classment	time (min)	distance (km)	time (min)				Tmax	TO	Tmax	TO	Tmax	TO	Tmax	TO	Tmax	TO	Tmax	TO
N°1	50	5	32	POLYCLINIQUE DU COTENTIN	50	2						4	1					
N°2	98	80	54	CH MEMORIAL - SAINT-LO	50	1	8	1				4	1					
N°3	99	79	54	POLYCLINIQUE DE LA MANCHE - SAINT-LO	50	2						4	1					
Total accès <1 h							8	1				12	3					
N°4	109	92	58	CENTRE HOSPITALIER AUNAY BAYEUX		1	8	1										
N°5	117	121	66	HOPITAL PRIVE ST MARTIN-CAEN	14	2	15	2				8	2					
N°6	121	123	67	CHU COTE DE NACRE – CAEN	14	Exp	60	7	8	2	14	2	30	7	14	2	10	3
N°7	122	124	67	CRLCC FRANCOIS BACLESSE - CAEN	14	2						7	2					
N°8	125	122	67	CLINIQUE NOTRE DAME – VIRE	14	2						4	1					
N°9	127	131	69	POLYCLINIQUE DU PARC – CAEN	14	2						10	2					
N°10	137	152	76	CHAG - SITE AVRANCHES	50	1	8	1				4	1				6	2
N°11	139	154	76	POLYCLINIQUE DE LA BAIE-ST MARTIN	50	2						7	2					
N°12	141	162	79	CENTRE HOSPITALIER DE FALAISE	14	2						5	1					
N°13	157	149	75	CH -JACQUES MONOD- - FLERS	61	1	8	1				4	1					
N°14	158	183	85	CENTRE HOSPITALIER D'ARGENTAN	61	1						4	1					
N°15	167	186	86	CENTRE HOSPITALIER DE LISIEUX	14	1	8	1				11	3				3	1
N°16	160	188	86	POLYCLINIQUE DE LISIEUX	14	2						4	1					
N°17	160	184	85	CH COTE FLEURIE - SITE DE CRICQUEBOEUF	14	2						5	1					
N°18	160	184	85	POLYCLINIQUE DE DEAUVILLE-CRICQUEBOEUF	14	2						6	1					
Total accès <2 h							115	14	8	2	14	2	124	28	14	2	19	5
N°19	168	198	89	C.H FOUGERES	35	1						5	1					
N°20	178	222	97	POLYCLINIQUE DU PAYS DE RANCE	22	2						6	1					
N°21	179	220	96	CENTRE HOSPITALIER SAINT-MALO	35	1	10	1				5	1					
N°22	179	229	99	HOPITAL PRIVE SEVIGNE	35	1						12	3					
N°23	180	215	95	CLINIQUE LES ORMEAUX-VAUBAN LE HAVRE	76	2						10	2					
N°24	180	215	95	HOPITAL JACQUES MONOD CH LE HAVRE	76	1	12	1			6	1	6	1	2	0	6	2
N°25	181	213	94	CLINIQUE TOUS VENTS LILLEBONNE	76	2						5	1					
N°26	182	234	100	CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU	35	1	50	6				47	11					
N°27	182	234	100	POLYCLINIQUE ST LAURENT	35	2						6	1					
N°28	183	216	95	HOPITAL PRIVE DE L'ESTUAIRE	76	1						12	3					
N°29	183	232	100	CHP SAINT GREGOIRE	35	2						16	4					
N°30	183	220	96	CLINIQUE DE LA COTE D'EMERAUDE	35	2						5	1					
N°31	184	234	100	CLINIQUE MUTUALISTE DE LA SAGESSE	35	2						6	1					
N°32	185	232	100	CHICAM - SITE ALENCON	61	1	8	1				4	1					
N°33	185	232	100	CLINIQUE D'ALENCON	61	2						4	1					
N°34	185	224	97	CENTRE HOSPITALIER VITRE	35	2						5	1					
N°35	186	280	114	CENTRE HOSPITALIER YVES LE FOLL	22	Exp	14	2			9	2	7	2			6	2
N°36	189	241	102	CH LES FEUGRAIS CHI ELBEUF	76	1	9	1				4	1					
N°37	190	240	102	CLINIQUE SAINT-HILAIRE ROUEN	76	2						10	2					
N°38	195	249	105	CRLCC HENRI BECQUEREL ROUEN	76	2						4	1					
N°39	195	249	105	CLINIQUE MATHILDE ROUEN	76	2						10	2					
N°40	195	249	105	CLINIQUE DE L'EUROPE ROUEN	76	1						19	4					
N°41	198	204	91	CENTRE HOSPITALIER NORD MAYENNE	53	1						6	1					
N°42	202	246	104	CENTRE HOSPITALIER DE L'AIGLE	61	1						5	1					
N°43	202	241	102	CHI DU PAYS DES HAUTES FALAISES FECAMP	76	1						7	2					
N°44	202	252	106	CLINIQUE DU CEDRE	76	2						16	4					
N°45	202	251	105	HOPITAL DE BOIS-GUILLAUME CHU ROUEN	76	3						6	1					
N°46	204	249	105	HOPITAL CHARLES NICOLLE CHU ROUEN	76	Exp	62	8	10	2	8	1	44	10	20	3	20	5
N°47	206	250	105	CENTRE HOSPITALIER DE LAVAL	53	2	8	1				2	0				3	1
N°48	207	252	106	POLYCLINIQUE DU MAINE	53	2						6	1					
N°49	217	281	114	HOPITAL PRIVÉ DES COTES D'ARMOR	22	2						12	3					
Total accès <3 h							288	35	18	4	37	6	433	99	36	6	54	14

Table S2: Estimate of resources needed to evacuate all ICU patients from a hospital at risk, for the entire administrative region

HOSPITAL NAME AND CITY LOCATION	Priority 1 patients			Priority 2 patients			Scénario N°2 (4h)				Scénario N°1 (12h)			
	Adult	Child	New born	Adult	Child	New born	A	H	MT	NT	A	H	MT	NT
HOPITAL CHARLES NICOLLE CHU ROUEN	62	10	8	44	20	20					48	0	21	17
CHU COTE DE NACRE - CAEN	60	8	14	30	14	10					43	1	22	9
HOPITAL PRIVE ST MARTIN-CAEN	15			8			12	0	6	0	7	0	4	0
CH EVREUX CH EURE-SEINE	12			6		10	19	0	7	10	8	0	3	5
CHPC - SITE CHERBOURG	12		6	7	4	3	26	0	12	8	14	0	10	9
HOPITAL JACQUES MONOD CH LE HAVRE	12		6	6	2	6	21	0	7	6	10	0	6	5
CH DIEPPE	10			5			13	0	6	0	6	0	3	0
CH LES FEUGRAIS CHI ELBEUF	9			4			8	0	4	0	4	0	2	0
CENTRE HOSPITALIER DE LISIEUX	8			11		3	15	0	7	3	6	0	3	2
CENTRE HOSPITALIER - AUNAY-BAYEUX	8			0			6	0	4	0	3	0	2	0
CHAG - SITE AVRANCHES	8			4		6	13	0	5	6	6	0	2	3
CH MEMORIAL - SAINT-LO	8			4			10	0	6	0	5	3	0	0
CHICAM - SITE ALENCON	8			4			10	0	5	0	5	0	3	0
CH -JACQUES MONOD- - FLERS	8			4			11	0	5	0	5	0	3	0
min							6	0	4	0	5	0	0	0
median							13	0	6	0	6	0	3	3
max							28	0	11	12	48	3	22	17

Legend : for each hospital, estimation of resources needed to evacuate all ICU patients in 12 hours (Scenario 1), or 4 hours (Scenario 2), based on transportation times to surrounding hospitals, their estimated available beds, and half an hour of setup time for each patient. A: Ambulances, H: Helicopter, MT: medical transport team, NT: Neonatal transport team.

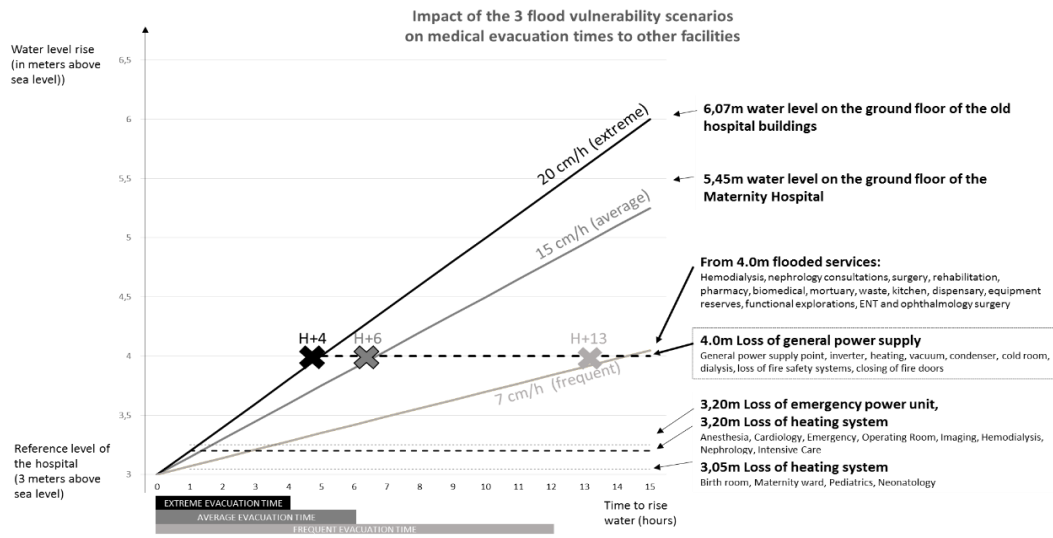


Figure S1. Impact of the 3 flood vulnerability scenarios on medical evacuation times to other facilities

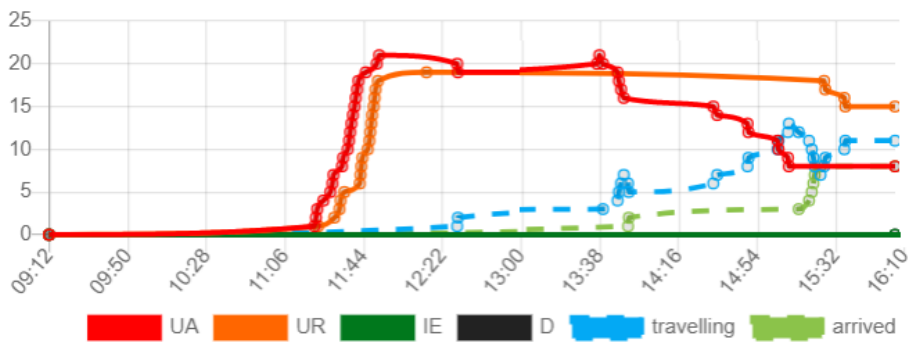


Figure S2: Capture at 16:10 of the distribution of patients awaiting evacuation P1 (UA), P2 (UR), travelling, or arrived.

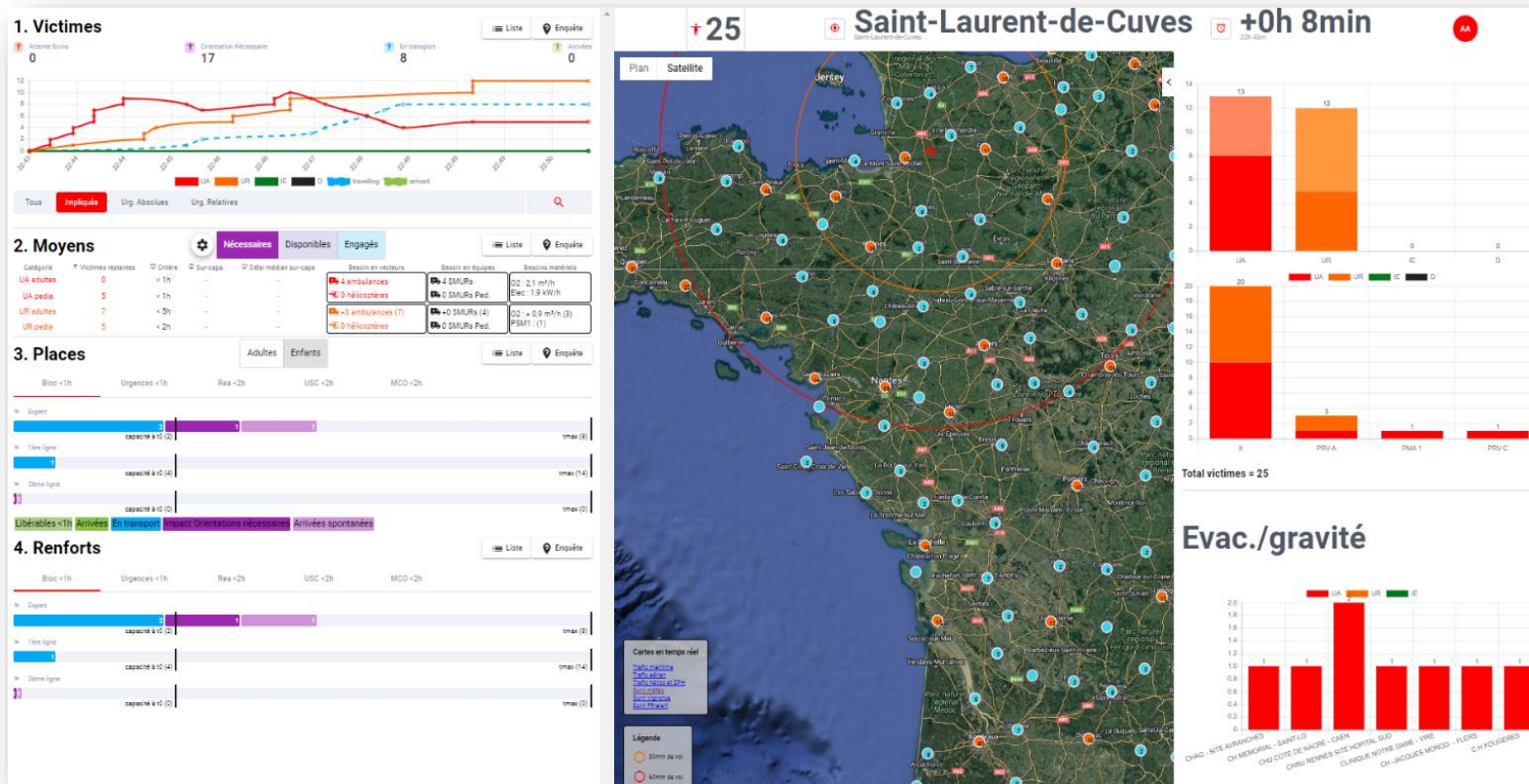


Figure S3 : Live monitoring screen of 4 indicators (on left): 1. remaining patients 2. means of transfer, 3. Surrounding hospital capacity and 4. reinforcements needed to ensure evacuation.

Legend: A. Simulation: The number of victims in the hospital and their severity are estimated based on the annual occupancy rate. Their distribution is calculated either with an unlimited number of ambulances, or limited by those installed on the sector. Reinforcements are calculated to respect the evacuation time of all patients. B: In real event, patients, ambulances, places, departures, and traffic conditions are updated in real time.

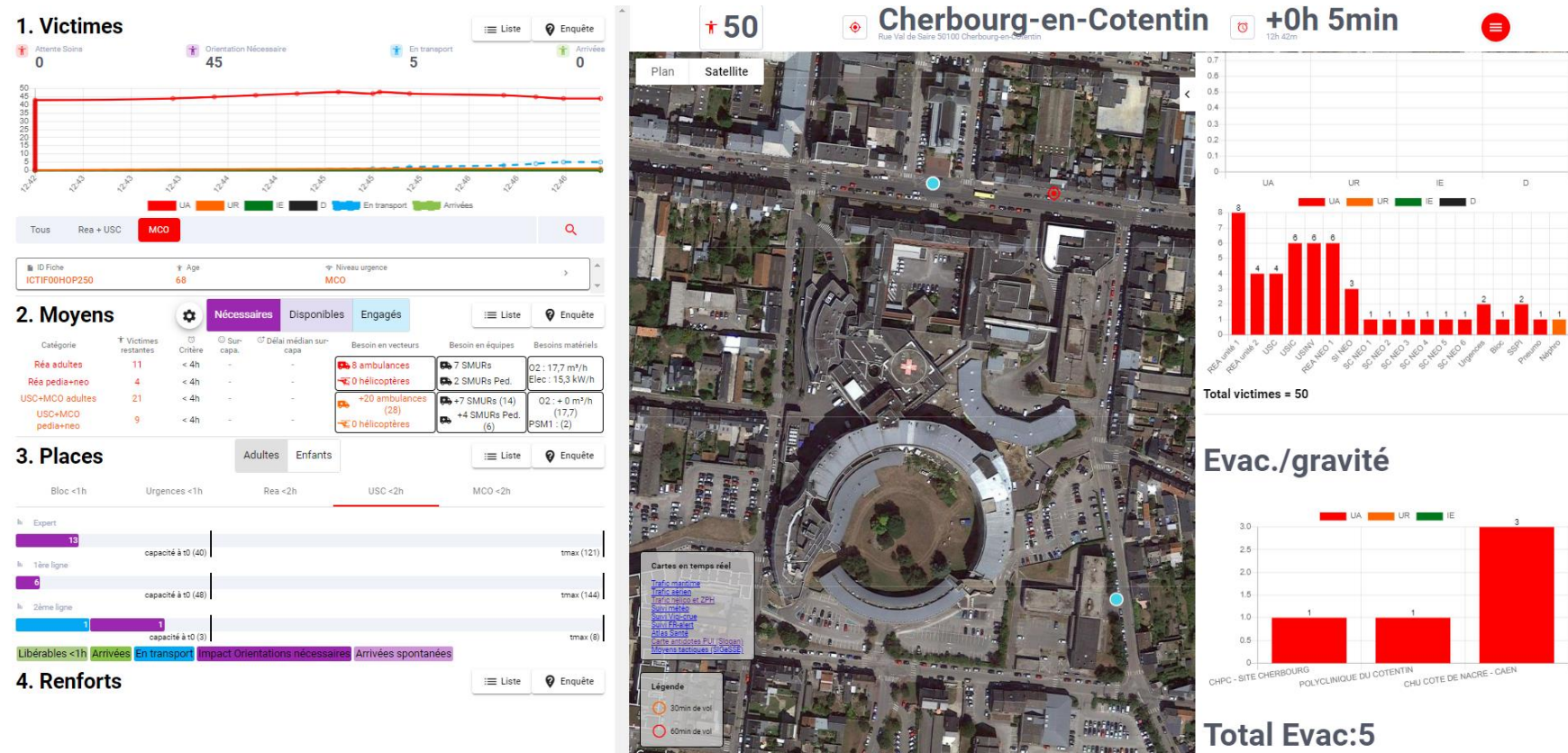


Figure S4: Operational console for monitoring the evacuation of a hospital.

Legend: On this evacuation test from the Cherbourg hospital, there are 11 adult patients and 3 pediatric patients in intensive care awaiting evacuation (“2.Moyens”). The algorithm estimates a need for 7 ambulances and 6 medical teams (“SMUR”) to carry out all the transfers in the next 4 hours. These patients consume 15.9m³ of oxygen and 13.3 kW per hour. The other 21 adult and 9 pediatric patients are priority 2 (“USC+MCO”) and require +20 ambulances +7 medical teams +4 neonatal medical teams to ensure these transfers in less than 4 hours.

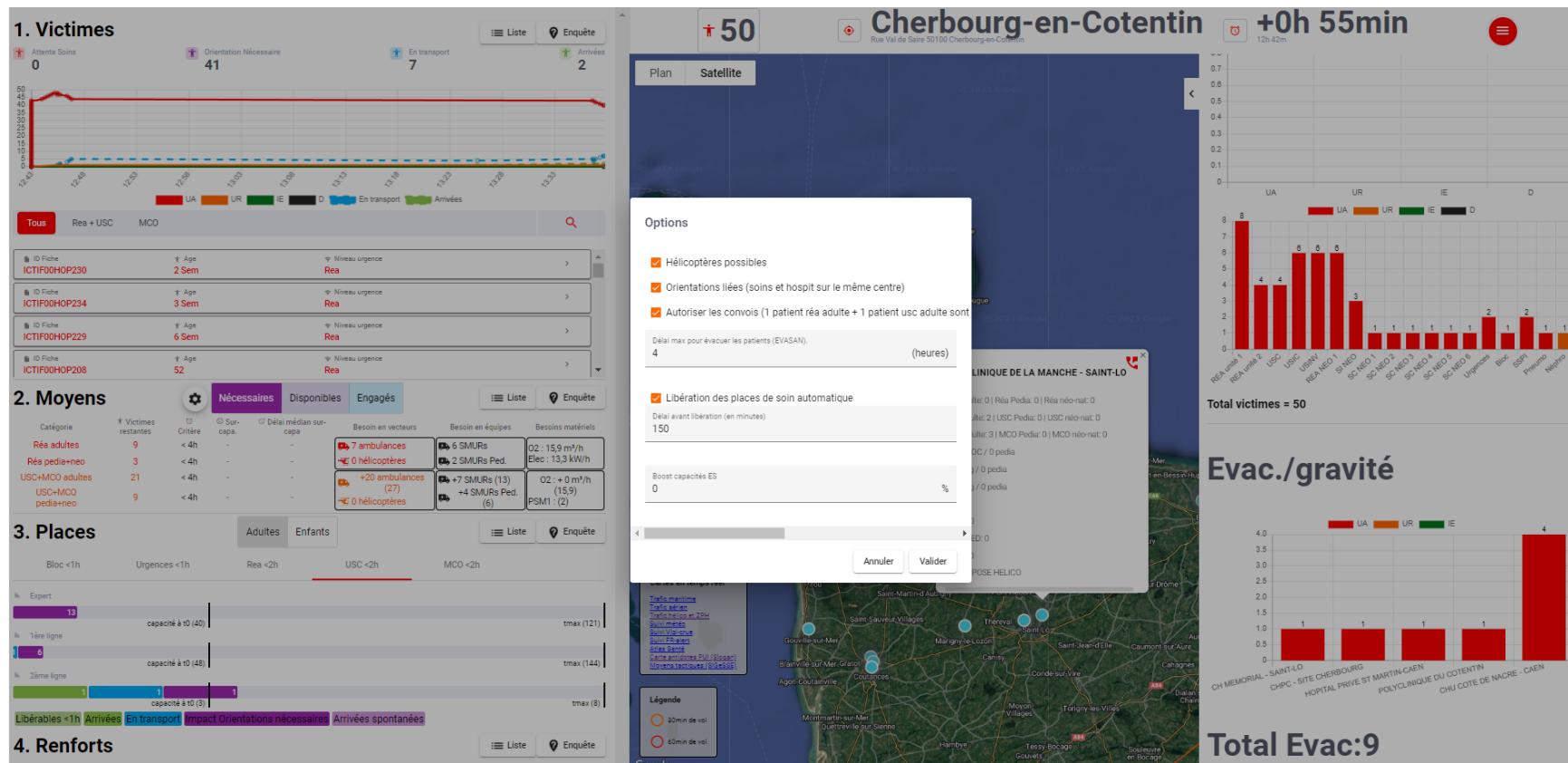


Figure S5: Operational console with Criteria adaptable by the crisis managers (options)

Legend : “Hélicoptères possibles” : possible helicopter options depending on air flight conditions; “Orientations liées” : surgery and intensive care unit bed both available. “Autoriser les convois”: medical transfer team or convoy with only nurse. “délai max”: maximal departure time. “boost capacités”: increase the beds available by mobilizing additional reinforcements.

Figure S6 : Distribution algorithm for the 50 patients of the Cherbourg hospital, as soon as the alert is received.

```

Starting simulation for patients filtered by {"bedClass":"rea"}.
Using capacity boost 1
[initial_test]1 ...just ran with 17 ambulance / 8 helicopter (helicopter between 0 and 17) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 17 ambulance / 4 helicopter (helicopter between 0 and 8) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 17 ambulance / 2 helicopter (helicopter between 0 and 4) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 17 ambulance / 1 helicopter (helicopter between 0 and 2) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 17 ambulance / 0 helicopter (helicopter between 0 and 1) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 8 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 0 and 17) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 4 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 0 and 8) => 7 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 6 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 5 and 8) => 3 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 7 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 7 and 8) => 2 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 8 ambulance / 0 helicopter / 17 smur / 2 smurped (smurped between 0 and 4) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 8 ambulance / 0 helicopter / 17 smur / 1 smurped (smurped between 0 and 2) => 1 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 8 ambulance / 0 helicopter / 3 smur / 2 smurped (smur between 0 and 7) => 5 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 8 ambulance / 0 helicopter / 5 smur / 2 smurped (smur between 4 and 7) => 2 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 8 ambulance / 0 helicopter / 6 smur / 2 smurped (smur between 6 and 7) => 1 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 7 ambulance / 0 helicopter / 7 smur / 2 smurped (ambulance between 0 and 8) => 1 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 8 ambulance / 0 helicopter / 6 smur / 2 smurped (smur between 0 and 7) => 1 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 8 ambulance / 0 helicopter / 7 smur / 1 smurped (smurped between 0 and 2) => 1 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #1 (smur ped #1): 2575 / UA_rea neonat (1 lits) -> Arrivée à 00h40 : CHPC - SITE CHERBOURG
[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #2 (smur ped #2): 2577 / UA_rea neonat (2 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #3 (smur ped #3): 2579 / UA_rea neonat (1 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #4 (smur ped #4): 2574 / UA_rea neonat (1 lits) -> Arrivée à 02h57 : HOPITAL JACQUES MONOD CH LE HAVRE
[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #5 (smur #1): 2549 / UA_rea adult (3 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #6 (smur #2): 2546 / UA_rea adult (2 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #7 (smur #3): 2553 / UA_rea adult (1 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #8 (smur #4): 2547 / UA_rea adult (1 lits) -> Arrivée à 02h01 : HOPITAL PRIVE ST MARTIN-CAEN
[initial_test]1 00h40 - Sending 1 with ambu #1 (smur #5): 2552 / UA_rea adult (1 lits) -> Arrivée à 03h37 : HOPITAL JACQUES MONOD CH LE HAVRE
[initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #2 (smur #1): 2550 / UA_rea adult (1 lits) -> Arrivée à 06h16 : CENTRE HOSPITALIER SAINT-MALO
[initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #3 (smur #2): 2551 / UA_rea adult (4 lits) -> Arrivée à 06h26 : CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU
[initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #5 (smur #3): 2554 / UA_rea adult (3 lits) -> Arrivée à 06h26 : CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU

```

```

[initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #6 (smur #6): 2556 / UA_rea adult (2 lits)
[initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #7 (smur #7): 2591 / UA_rea adult (1 lits)
[initial_test]1 03h22 - Sending 1 with ambu #8 (smur #4): 2589 / UA_rea adult (4 lits)
[initial_test]1 Starting simulation for all patients.
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with capacity boost = 1 (between 1 and no maximum) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Using capacity boost 1
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 50 ambulance / 25 helicopter (helicopter between 0 and 50) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 50 ambulance / 12 helicopter (helicopter between 0 and 25) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 50 ambulance / 6 helicopter (helicopter between 0 and 12) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 50 ambulance / 3 helicopter (helicopter between 0 and 6) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 50 ambulance / 1 helicopter (helicopter between 0 and 3) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 50 ambulance / 0 helicopter (helicopter between 0 and 1) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 25 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 0 and 50) => 5 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 38 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 26 and 50) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 32 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 26 and 38) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 29 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 26 and 32) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 27 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 26 and 29) => 2 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter (ambulance between 28 and 29) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter / 50 smur / 4 smurped (smurped between 0 and 8) => 4 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter / 50 smur / 6 smurped (smurped between 5 and 8) => 0 deaths (good)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter / 50 smur / 5 smurped (smurped between 5 and 6) => 2 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter / 7 smur / 6 smurped (smur between 0 and 14) => 9 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter / 11 smur / 6 smurped (smur between 8 and 14) => 3 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter / 13 smur / 6 smurped (smur between 12 and 14) => 1 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 27 ambulance / 0 helicopter / 14 smur / 6 smurped (ambulance between 0 and 28) => 2 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter / 13 smur / 6 smurped (smur between 0 and 14) => 1 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 ...just ran with 28 ambulance / 0 helicopter / 14 smur / 5 smurped (smurped between 0 and 6) => 2 deaths (bad)
[initial_test]1 Object
[initial_test]1 last run with delays
getOneRunNecessaryTabResults @ [initial_test]1
[initial_test]1 Object

```

```

-> Arrivée à 06h26 : CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU
-> Arrivée à 06h26 : CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU
-> Arrivée à 06h43 : HOPITAL CHARLES NICOLLE CHU ROUEN

```

[initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #1 (smur ped #1): 2575 / UA_rea neonat (1 lits) -> Arrivée à 00h40 : CHPC - SITE CHERBOURG
 [initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #2 (smur ped #2): 2577 / UA_rea neonat (2 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #3 (smur ped #3): 2579 / UA_rea neonat (1 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #4 (smur ped #4): 2574 / UA_rea neonat (1 lits) -> Arrivée à 02h57 : HOPITAL JACQUES MONOD CH LE HAVRE
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #5 & #6 (smur #1): 2549 / UA_rea adult (3 lits) & 2558 / UA_usc adult (10 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #7 & #8 (smur #2): 2546 / UA_rea adult (2 lits) & 2567 / UA_usc adult (9 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #9 & #10 (smur #3): 2553 / UA_rea adult (1 lits) & 2559 / UA_usc adult (8 lits) -> Arrivée à 01h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #11 & #12 (smur #4): 2547 / UA_rea adult (1 lits) & 2563 / UA_usc adult (3 lits) -> Arrivée à 02h01 : HOPITAL PRIVE ST MARTIN-CAEN
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #13 & #14 (smur #5): 2552 / UA_rea adult (1 lits) & 2572 / UA_usc adult (2 lits) -> Arrivée à 02h57 : HOPITAL JACQUES MONOD CH LE HAVRE
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #15 & #16 (smur #6): 2550 / UA_rea adult (1 lits) & 2561 / UA_usc adult (1 lits) -> Arrivée à 02h57 : CENTRE HOSPITALIER SAINT-MALO
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #17 & #18 (smur #7): 2551 / UA_rea adult (4 lits) & 2565 / UA_usc adult (16 lits) -> Arrivée à 03h07 : CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #19 & #20 (smur #8): 2554 / UA_rea adult (3 lits) & 2592 / UA_usc adult (15 lits) -> Arrivée à 03h07 : CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #21 & #22 (smur #9): 2556 / UA_rea adult (2 lits) & 2569 / UA_usc adult (14 lits) -> Arrivée à 03h07 : CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #23 & #24 (smur #10): 2591 / UA_rea adult (1 lits) & 2570 / UA_usc adult (13 lits) -> Arrivée à 03h07 : CHRU RENNES SITE PONTCHAILLOU
 [initial_test]1 00h00 - Sending 2 with ambu #25 & #26 (smur #11): 2589 / UA_rea adult (4 lits) & 2593 / UA_usc adult (15 lits) -> Arrivée à 03h20 : HOPITAL CHARLES NICOLLE CHU ROUEN
 [initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #27 (smur ped #5): 2586 / UA_usc neonat (2 lits) -> Arrivée à 00h40 : CHPC - SITE CHERBOURG
 [initial_test]1 00h00 - Sending 1 with ambu #28 (smur ped #6): 2583 / UA_usc neonat (1 lits) -> Arrivée à 00h40 : CHPC - SITE CHERBOURG
 [initial_test]1 00h40 - Sending 1 with ambu #1 (smur ped #1): 2587 / UA_usc neonat (5 lits) -> Arrivée à 02h40 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 00h40 - Sending 1 with ambu #27 (smur ped #5): 2588 / UA_usc neonat (4 lits) -> Arrivée à 02h40 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 00h40 - Sending 1 with ambu #28 (smur ped #6): 2584 / UA_usc neonat (3 lits) -> Arrivée à 02h40 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #2 (smur ped #2): 2585 / UA_usc neonat (2 lits) -> Arrivée à 05h18 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #3 (smur ped #3): 2580 / UA_usc neonat (1 lits) -> Arrivée à 05h18 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #5 (smur ped #7): 2581 / UA_usc neonat (3 lits) -> Arrivée à 05h35 : CHAG - SITE AVRANCHES
 [initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #6 (smur ped #8): 2582 / UA_usc neonat (2 lits) -> Arrivée à 05h35 : CHAG - SITE AVRANCHES
 [initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #7 (smur #1): 2594 / UA_usc adult (2 lits) -> Arrivée à 03h59 : CHPC - SITE CHERBOURG
 [initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #8 (smur #2): 2564 / UA_usc adult (1 lits) -> Arrivée à 03h59 : CHPC - SITE CHERBOURG
 [initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #9 (smur #3): 2562 / UA_usc adult (1 lits) -> Arrivée à 04h56 : CH MEMORIAL - SAINT-LO
 [initial_test]1 03h19 - Sending 1 with ambu #10 (smur #12): 2568 / UA_usc adult (1 lits) -> Arrivée à 05h02 : POLYCLINIQUE DE LA MANCHE - SAINT-LO
 [initial_test]1 03h22 - Sending 1 with ambu #11 (smur #4): 2571 / UA_usc adult (7 lits) -> Arrivée à 05h22 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 03h22 - Sending 1 with ambu #12 (smur #13): 2573 / UA_usc adult (6 lits) -> Arrivée à 05h22 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 03h59 - Sending 1 with ambu #1 (smur #1): 2566 / UA_usc adult (5 lits) -> Arrivée à 05h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 03h59 - Sending 1 with ambu #7 (smur #2): 2590 / UA_usc adult (4 lits) -> Arrivée à 05h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 03h59 - Sending 1 with ambu #8 (smur #14): 2560 / UA_usc adult (3 lits) -> Arrivée à 05h59 : CHU COTE DE NACRE - CAEN
 [initial_test]1 03h59 - Sending 1 with ambu #27 (pas de smur) : 2595 / UR_mco adult (10 lits) -> Arrivée à 04h39 : CHPC - SITE CHERBOURG
 [initial_test]1 Simulations done.

Discussion générale

Ce travail propose une définition opérationnelle d'un indicateur destiné à prévoir les des capacités d'accueil de nombreuses victimes en soins aigus hospitaliers en situation AMAVI et à déterminer des points de ruptures par secteur. Cet indicateur MassCare est basé sur l'inventaire des ressources (équipements et personnels) de l'hôpital. Il est différencié selon l'âge (adultes ou enfants), la classification OTAN des victimes, l'expertise des centres (hôpitaux experts, première ou deuxième ligne) et la période de soins (jours/heures ouvrables ou non). Il peut être agrégé au niveau régional ou national. La capacité évaluée permet une utilisation pratique à des fins de planification ou dans la première phase de gestion de crise, en attendant les retours de l'interrogation parallèle des hôpitaux.

La méthode de construction de l'indicateur MassCare s'appuyait sur un groupe de travail d'experts impliquant tous les types de professionnels concernés par les SSE : des praticiens des hôpitaux et cliniques, experts locaux ou nationaux. La constitution de groupes d'experts régionaux pour définir la capacité de pointe correspond aux recommandations du groupe de consensus CHEST (1), (recommandation (R) N°1). Elle permet également la prise en compte des organisations de soins et doctrines spécifiques au pays. Les seuils définissant la capacité de pointe sont définis en nombre de patients (R N°3), et en pourcentage des capacités totales (R N°4) (1).

Les critères retenus pour définir l'indicateur MassCare par le groupe de travail sont également semblables au consensus CHEST : ressources en blocs chirurgicaux, équipes, matériels minimaux par patient (*space, staff, supplies, standard of care, ICU expansion*). Bien que d'autres évaluations nationales aient utilisé une démarche qualitative, elles n'ont pas abouti à une évaluation quantifiée concrète pour chaque hôpital (1,5). L'indicateur MassCare proposé évalue la capacité de soins aigus plutôt que le nombre de lits d'hôpitaux vacants annualisé (6,7). Alternativement, les capacités de surtension et d'urgence lors d'incidents faisant de nombreuses victimes, basées sur des évaluations ponctuelles, sont difficiles à transposer et souffrent du manque de méthode d'évaluation standardisée, d'un taux de réponse non exhaustif et de données manquantes (1). De même, certaines évaluations quantifiées s'appuient sur des temps de gestion observés en soins courants, probablement différents de ceux en circonstances exceptionnelles (8,9), ou au nombre total de patients admis par l'établissement de santé, qui est faiblement corrélé à la capacité immédiate à prendre en charge les patients en cas de SSE (9,10). Certains modèles utilisent des données difficiles à obtenir (heure de départ du site, heure d'arrivée à l'hôpital) (8,11-13). Ils permettent une évaluation a posteriori des performances plutôt qu'une aide à la décision en temps réel.

Le calcul de l'indicateur Mass-Care présente plusieurs avantages théoriques. Le principal prérequis étant l'accès à des données exhaustives de capacité hospitalière, celles-ci pourront être largement calculées et régulièrement mises à jour. Notre évaluation pour la chirurgie à partir des données de la SAE, et grâce à des méthodes d'imputation, tend à montrer que les données manquantes dans les évaluations ponctuelles nécessaires pour évaluer les indicateurs T0 et T3-MassCare n'empêchent pas l'estimation dans ces hôpitaux. Peu de modèles permettent de planifier la distribution des patients face à une catastrophe en s'adaptant aux territoires urbains et ruraux (14). Bien que la réaction du système de santé et la répartition exacte des patients sont imprévisibles, celle-ci elle est contrainte par des règles génératrices (nombre de places, distances de transfert, etc) (15) qui permettent d'évaluer l'impact d'une situation selon l'offre de soins du secteur. À condition que la même méthode soit utilisée pour

les zones frontalières, elle pourrait faciliter une répartition adéquate des patients entre les hôpitaux au-delà des frontières régionales ou nationales.

Modéliser la capacité d'accueil chirurgicale maximale des hôpitaux basée sur l'activité chirurgicale annuelle, ou le nombre de lits, permet d'utiliser des données fiables et facilement disponibles, comme proxy si nécessaire des ressources chirurgicales parfois non renseignées. Le recours à l'imputation multiple a permis d'éviter l'exclusion de 15,8 % des hôpitaux ayant au moins une de leurs ressources non renseignée, ce qui a augmenté la validité externe de nos résultats.

Le relevé de la part de ressources disponible immédiatement était réalisé par une enquête coordonnée sur 245 hôpitaux, en dehors du travail de thèse. Le pourcentage médian observé définirait un repère pour aider les gestionnaires nationaux à fixer un seuil de niveau à atteindre homogène pour l'ensemble des établissements (tous types et tailles d'établissements), réaliste (observé comme disponible dans le recueil), et propre à chacun (dépendant de son volume de ressources). Les objectifs capacitaires de chaque établissement seraient définis comme une part de leurs ressources. Un test de concordance permettrait de comparer le capacitaire estimé et observé pour tester la fiabilité de l'estimation. Ces repères seraient utilisés pour planifier les capacités attendues cumulées par territoire et construire les plans de réponse. En cas d'événement réel, un relevé flash des capacités permettrait d'ajuster cette estimation de départ.

Ces étapes de construction correspondent aux recommandations OMS pour la planification de la réponse aux crises (16). Un travail similaire a été réalisé sur la région de Séoul sur 31 hôpitaux par SungJoon & al et publié en 2021 (*méthode définie en groupes de travail, recueil des ressources essentielles, calcul de la capacité d'accueil 'ordinaire' (T0) puis 'de charge' (T3), régression linéaire sur le nombre de lits installés*) (17). Dans ce travail réalisé avec les autorités, le nombre de patients admissible était quantifié d'après l'échelle coréenne de triage. Les résultats considérés extrêmes par les auteurs étaient lissés par imputation de la moyenne. Le nombre de patients admissibles pour la région en cas de SSE était estimé à 313 patients graves ($m=1.3$ patients critiques, 3.1 patients graves), et 537 non urgents ($m= 5.7$ différables). La capacité de renforcement était de 3.4 patients critiques, et 7.8 patients graves par établissement. Bien que la méthode soit homogène, l'échelle de tri et les systèmes de soins différents limitent la comparabilité à d'autres pays. Comme dans notre étude, le nombre de patients admissibles en cas de SSE était corrélé au nombre de lits installés (coefficient 0.02 $p=0.015$). L'étude n'évaluait pas les variables d'activité.

Notre étude présente également certaines limites. La capacité MassCare fixe un indicateur pour chaque hôpital concernant ses capacités qui est lié à toutes ses installations. La disponibilité de données annuelles sur les ressources hospitalières devrait garantir la faisabilité technique du calcul de l'indicateur Tmax-MassCare. Cependant la validité des données sur la capacité hospitalière dépend de la périodicité de l'enregistrement, du délai de disponibilité des données et du rythme de changement du personnel hospitalier. L'hypothèse d'un pourcentage des ressources disponibles, appliquée par service ou par type d'établissement, nécessite une enquête ponctuelle auprès des hôpitaux de plusieurs régions pour tester l'hypothèse. L'évaluation ponctuelle pourrait être affectée par un biais de réponse ou une variation accidentelle de l'activité, mais l'impact pourrait être limité par la conduite d'essais coordonnés et répétés sur plusieurs régions. Si le taux n'est pas uniforme, un objectif de capacité minimale peut être défini. Il permet d'estimer la capacité AMAVI attendue de chaque hôpital. Un test de concordance devra permettre de comparer les capacités estimées aux capacités observées sur un nouveau relevé dans une autre région. Le niveau de formation de chaque agent n'est pas pris en compte dans l'évaluation des capacités d'accueil de la structure. Cependant les compétences étaient prises en compte à deux niveaux : le niveau de formation diplômant (médecin, infirmier, chirurgien, etc), et le niveau d'expertise du centre défini dans le plan ORSAN et confirmé à l'établissement par l'ARS

(Exp, FL, SL). L'effet d'une modification de la norme de soins dans des circonstances exceptionnelles sur les ressources hospitalières n'est pas directement pris en compte (18,19). Cependant, notre indicateur utilise les ressources minimales pour toute intervention chirurgicale : au moins 1 chirurgien, 1 anesthésiste ou infirmier anesthésiste, 1 salle d'opération et 1 infirmière de bloc par patient. De même, aux urgences, 1 urgentiste et 2 infirmiers étaient prévus pour 2 patients graves, ce qui devrait limiter ce biais. Cet indicateur a pour but d'estimer le niveau de réponse immédiate (T0) puis de réorganisation et renforcement rapides (T3). Cependant il ne prend pas en compte les rotations de personnels en cas de crise longue, ni l'absentéisme lié à l'accessibilité, ou à une menace persistante sur l'hôpital. Ces paramètres devront être étudiés par d'autres travaux ou interrogés le jour même de l'événement.

L'approche de la capacité de réponse du système de soins nécessite également d'estimer le besoin attendu, afin d'identifier les zones de fragilité (16). Cependant, il n'existe pas d'approche unifiée pour obtenir des scénarios et les probabilités correspondantes pour les catastrophes rares (20). Même si les mêmes données historiques sont utilisées, les résultats peuvent être très sensibles à de légers changements dans les probabilités des scénarios. La démarche de planification propose des repères, en confrontant différents seuils de contraintes à la capacité de réponse estimée. Elle doit être parfaitement associée à la démarche de gestion opérationnelle de crise pour permettre en cas d'événement réel une remontée précoce et régulière de ces indicateurs ajustés à la contrainte, et à la réponse réelles.

Déclinaison à d'autres risques ORSAN

Le principe de l'indicateur MassCare était décliné à la gestion de l'évacuation d'un établissement de santé. Le modèle s'appuyait sur l'adaptation par un groupe de travail local d'experts opérationnels des 13 principes du collège CHEST. Il conduisait à la mise en œuvre d'un modèle de simulation assistée par ordinateur destiné à tester et planifier l'évacuation sélective d'un hôpital en cas de risque structurel imminent en quelques heures.(21)

Ce modèle permet d'optimiser l'allocation de ressources rares et permet d'évaluer soit l'impact de la capacité maximale des ressources disponibles sur les temps d'évacuation, soit l'impact des retards d'évacuation sur le niveau de ressources nécessaires. Le modèle évalue également l'impact sur les délais de transferts lorsqu'une fraction des équipes présentes sur le territoire est utilisée dans l'évacuation. Ce modèle permet d'anticiper a priori différents scénarios de crises et serait facilement transposable à d'autres hôpitaux. Dans le cas d'une évacuation, il pourrait permettre d'intégrer les contraintes et moyens réels observés et ainsi d'adapter finement ces stratégies à la situation réelle.

D'autres méthodes ont été proposées pour simuler l'évacuation des patients d'un ES. Cependant ces modèles de simulation se basent sur un nombre de moyens standardisé ou un type d'événement restreint et ne prennent pas d'adaptation opérationnelle et en temps réel des contraintes (22,23). Sur certains modèles le critère de distribution optimale des patients est basé sur le coût financier du dispositif, ou la baisse de norme de soins consentie (23,24). A l'inverse notre modèle était basé sur l'évaluation du nombre de moyens et de la stratégie optimale pour permettre la répartition dans les délais sans adaptation de la norme de soins. D'autres outils permettent la formation des équipes à la prise de décision et à la coordination, mais ne fournissent pas d'estimation des ressources et du temps nécessaires à la mise en œuvre effective de l'évacuation des patients (25).

Notre modèle présente également certaines limites. Il estime le nombre de ressources nécessaires pour maintenir la sécurité de chaque patient pendant le transport. Chaque patient est orienté vers un lit spécialisé de même catégorie que celui qu'il occupait dans le premier hôpital à risque. Cependant,

l'évolution clinique depuis l'admission peut conduire à une orientation vers un autre lit de soins critiques. Cette adaptation éthique de la norme de soins n'est pas proposée par notre modèle, mais laissée uniquement à la discrétion du gestionnaire de crise. Des exercices réalistes sur le terrain ont permis d'enregistrer les temps réels nécessaires à l'installation des patients, à leur évacuation verticale et à leur arrivée dans les différentes zones de transit. Cependant, le nombre de lits disponibles a été estimé à partir du nombre total de lits équipés et du taux d'occupation annuel. Mais en situation réelle, notre outil ajusterait le nombre de places disponibles en envoyant une enquête immédiate aux hôpitaux de la région.

Dans une situation réelle, les conditions changent à chaque heure qui passe. Le plan d'évacuation doit s'adapter à l'évolution permanente du risque et des patients restants (26). Les administrateurs hospitaliers sont confrontés à une situation difficile dans laquelle ils doivent choisir entre le risque de décider trop tôt des évacuations inutiles et coûteuses et le risque de décider trop tard des transferts dans conditions dangereuses (26,27). La revue de la littérature de Yazdani et al. ne retient que huit modèles pour préparer l'évacuation d'un hôpital (28). Très peu sont mis à disposition des gestionnaires de crise pour une utilisation en temps réels. Un seul intègre des informations dynamiques lors de l'événement comme la trajectoire de l'ouragan (23). Mais aucun pour la gravité des patients, départs et lits disponibles. Aucun n'intègre les conditions réelles de circulation ou le réseau routier endommagé.

Ces critères pourraient être intégrés en temps réel dans notre outil d'aide à la décision. L'équilibre entre les ressources estimées nécessaires et celles disponibles pourrait être ajusté en fonction du temps d'évacuation. Les hôpitaux pourraient garantir une réponse rapide et plus efficace en cas d'évacuation d'urgence en améliorant leur préparation (29). La fréquence et l'intensité croissantes des événements climatiques ainsi que le nombre d'infrastructures impliquées nécessitent une standardisation et une multiplication de l'évaluation des plans d'évacuation des hôpitaux. Notre outil pourrait faciliter ces évaluations en proposant une réponse standardisée.

Conclusion générale

Cette étude présente un nouvel indicateur de la capacité à gérer un afflux massif de victimes dans chaque hôpital. La déclinaison complète de cet indicateur MassCare comprend trois temps d'évaluation de capacité (T_{max} , T_0 , T_3), qui prennent en compte trois modalités : le type de patient (adulte ou pédiatrique), la période (de travail ou de soins permanents), et le type de soins (bloc opératoire, service d'urgences) selon l'échelle de tri OTAN.

Chaque modalité nécessite un travail complémentaire spécifique qui permettra d'évaluer le niveau de réponse attendu par établissement et par secteur. Une analyse des SSE passées sur le territoire européen permettra de définir le niveau moyen de contrainte à y opposer, pour identifier les points de ruptures pour différents sites prioritaires, et permettre d'ajuster les entraînements opérationnels.

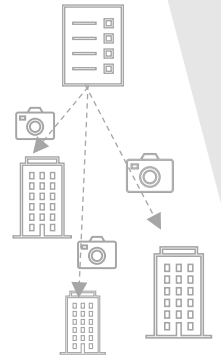
MassCare est une nouvelle métrique des capacités de réponse en SSE, intégrée dans le guide national d'organisation de la réponse sanitaire (ORSAN). Ce travail est décliné sur des risques ORSAN différents: l'afflux massif de victimes, et l'évacuation d'un établissement de santé. Une fois cette démarche déployée, elle aboutirait à la construction d'un outil opérationnel de planification de la réponse, et de gestion de crise réelle, intégrant les 12 principes directeurs de l'OMS. D'autres travaux sont nécessaires pour approfondir ce travail et l'élargir à d'autres risques ORSAN.

PARTIE 2 : MISES EN APPLICATIONS (ANNEXES)

Chapitre 3 : Structuration et évaluation du dispositif de réponse ORSAN AMAVI



Analyse des risques



- ***Article 4: Mass casualty incidents: A systematic review over 30 years in Europe***

Titre : Incidents faisant de nombreuses victimes : une revue systématique sur 30 ans en Europe

RESUME

Contexte : La préparation aux incidents faisant de nombreuses victimes (Mass Casualty Incident - MCI) nécessite de connaître le nombre de victimes à traiter sur place et à transférer vers les hôpitaux pour chaque type de MCI. Notre objectif était de collecter ces informations sur les MCI survenus en Europe au cours des 30 dernières années.

Méthode : Cette étude comprenait une revue systématique de la littérature sur la quantification du nombre de victimes dans les MCI survenus en Europe entre 1995 et 2021. Elle a été menée selon les lignes directrices PRISMA. Les sources utilisées étaient PubMed, Web of Science, les rapports d'accidents industriels et de transport et deux bases de données mondiales sur le terrorisme, et les catastrophes. Les événements avec dix victimes transférées vers des hôpitaux ont été inclus. Les données enregistrées étaient la date, le lieu et le type d'événement, le nombre de victimes impliquées, décédées ou transférées vers des hôpitaux ainsi que le nombre d'urgences absolues.

Résultats : Au total, 296 521 documents ont été identifiés et 82 documents couvrant 62 MCI ont été sélectionnés. En Europe occidentale, il y a eu 235 victimes de MCI (SD=425) : 20 sont décédées sur place (8 %), 105 ont été transférées à l'hôpital (45 %) et 21 ont été en urgence absolue (9 %). En Europe de l'Est, 344 victimes (SD=407) sont décédées sur place (19 %), 197 victimes ont été transférées vers des hôpitaux (57 %) et 52 ont eu des urgences absolues (15 %). Huit principaux types de MCI ont été identifiés : les explosions, les accidents balistiques, les incendies, les accidents de la route, les accidents de voitures-béliers, les accidents ferroviaires, les accidents industriels et les accidents d'avion.

Conclusion : Le nombre moyen de victimes attendu pour chaque type de MCI est bénéfique pour réaliser des formations et des évaluations d'impact pour chaque région.

MOTS CLÉS : catastrophe, incident faisant de nombreuses victimes, victimes, revue, littérature systématique, explosion, accident, balistique, industriel, incendie, terrorisme

Title : Mass casualty incidents: A systematic review over 30 years in Europe

ABSTRACT

Background: Mass casualty incident (MCI) preparation requires knowledge of the number of victims to be treated on site and to be transferred to hospitals for each type of MCI. Our objective was to collect this information for MCIs that occurred in Europe over the last 30 years.

Method: This study comprised a systematic review of the literature on the quantification of the number of victims in MCIs that occurred in Europe between 1995 and 2021. It was conducted according to the PRISMA guidelines. The sources used were PubMed, Web of Science, industrial and transport accident reports, and two global databases on terrorism and disasters. Events with ten victims transferred to hospitals were included. The data recorded were the date, place and type of event, the number of victims involved, deceased or transferred to hospitals as well as the number of absolute emergencies.

Results: A total of 296,521 documents were identified, and 82 documents covering 62 MCIs were selected. In Western Europe, there were 235 MCI victims (SD=425): 20 died on site (8%), and 105 were transferred to hospitals (45%), and 21 had absolute emergencies (9%). In Eastern Europe, 344 victims (SD=407) died on site (19%), 197 victims were transferred to hospitals (57%), and 52 had absolute emergencies (15%). Eight main types of MCIs were identified: explosions, ballistic accidents, fires, road accidents, car rammings, railway accidents, industrial accidents, and flying accidents.

Conclusion: The average number of victims expected for each type of MCI is beneficial for performing trainings and impact assessments for each region.

KEYWORDS: disaster, mass casualty incident, victims, review, systematic literature, explosion, accident, ballistic, industrial, fire, terrorism

INTRODUCTION

The World Health Organization (WHO) defines a mass casualty incident as any event resulting in a number of victims that is large enough to disrupt the normal course of emergency and health care services¹. These incidents are uncommon, and only a few emergency managers will deal with these large-scale incidents in their careers². To make arrangements to respond to these situations, the Academy of Emergency Medicine proposed five pillars, including planification and training, at its 2006 conference³. On the one hand, planning for MCIs requires a survey of regional surge capacities, and on the other hand, knowledge of the main types of MCIs as well as a quantification of the number of victims is required. Currently, practical training is mainly based on the anticipation of potential events (large public gatherings requiring medical supervision) and on the application of fictitious or MCI-based scripts⁴. However, MCI experiences and feedback are not systematically reported or published⁵, and reports of the quantification of the number of victims do not follow a uniform reporting method^{6,7}.

In the context of the recent evolution of French legislation on the conditions for reporting casualties in 2022 and the preparation for the Paris Olympic Games in 2024, we wanted to improve our knowledge of European MCIs. We sought to characterize MCIs that have occurred over the past thirty years in Europe and to estimate the number of victims. The main objective was to determine the average number of victims treated on site, the average number of victims transferred to hospitals, especially the number victims those requiring immediate life-saving interventions. The secondary objective was to define the average number of victims for each major type of MCIs.

METHODS

This document consists of a systematic review of the literature on the quantification of the number of victims of MCIs that have occurred in Europe over the past thirty years. It was conducted according to the PRISMA guidelines⁸. The collection of data was performed by two independent researchers according to the 2022 French decree defining the collection of victim reports⁹.

Data sources

The sources used were PubMed, Web of Science, industrial and transport accident reports from the office of transport accident studies (named the “Bureau d’étude des accidents de transport terrestres” (BEATT)) and the office of analysis of pollution and industrial risks (named the “Bureau analyses des risques de pollution et industriel (BARPI)), the Global Terrorism Database (GTD) and the International Disaster Database (EM-DAT) in September 2022.

Search strategy

When possible, the researchers made selections from MESH words using the “OR” and “AND” particles. When this was not possible, defined keywords were searched.

Inclusion criteria

MCIs had to occur between January 1, 1995, and December 31, 2021, in European territories. We determined figures according to on-site victim assessments, so this study does not include over-events with no hospital impact and therefore no impact on MCI medical planning. To differentiate MCI victims from patients receiving routine care, events with ten victims transferred to hospitals were included. In this way, we obtain a representative figure of the impact on the management of the capacity resources of health establishments.

Exclusion criteria

All MCIs with missing or unreliable numerical data, as well as those that occurred in the context of war or armed conflict, were excluded.

Data extraction

Events were counted in September 2022 and represented depending on the MCI location, distributed in Western Europe or Eastern Europe according to the 20th East meridian¹⁰.

The data recorded were the date, place and type of event, the number of victims involved, the number of deceased victims and the number of victims transferred to health establishments as well as the number of victims categorized as having absolute emergencies (AE) according the French Armed Forces Medical Service Scale derived from the North Atlantic Treaty Organization (NATO) scale (AE corresponding to "T1: requiring immediate life-saving interventions" in the NATO triage scale (*Supplementary materials*)). The report was compiled in accordance with the decree of the 2022 victim assessment, including temporary assessments: the numbers of deaths recorded on site, seriously injured individuals, and slightly injured individuals (excluding any attackers).

The researchers followed a four-step MESH selection method for PubMed. First, "Disaster OR Mass Casualty Incident" were entered; then, "Case Report OR Experience OR Lesson Learn OR Review OR Systematic Literature" and "Injuries OR Victims" were added; and finally, "Terrorism OR Explosive OR Ballistic OR Industrial OR Toxic OR Fire OR Train OR Bus OR Rail OR Flight" were entered. In the GTD database, selection by the search engine was proposed, and the terms defined by the researchers were as follows: "1995 to 2021", "West Europe", "East Europe" and "Digital data available with ≥ 20 injured or died". Events selected via the BEATT database were based on a selection of the titles of all available documents and their full texts. BARPI events were selected by the following tabs: "1995-2021", "European territory", "injuries casualty" and "human and social consequences 4 on the European scale of industrial accidents". Web of Science was used to determine the missing numerical information for events already selected from the other databases. The type, date and location of the event were researched, and duplicates were eliminated.

RESULTS

Mass casualty incident selection

A total of 296 521 documents were identified. The main excluded sources were events that occurred in the contexts of geopolitical conflicts, health crises and climatic events. The geopolitical conflicts corresponded to the periods and places specified in Table 1 Health and climate crises were excluded by their lack of data (whose thresholds defining MCIs were indeterminable) and a spreading of the hospital impact over time, which did not correspond to an acute situation.

Difficulties in collecting data appeared during the progress of the work. Initially, how to account for the sought values had to be determined. For the number of deceased victims, we based our number on the deaths on site, excluding possible assailants. The number of victims with AEs was defined by the first on-site assessment by the medical team. Several documents did not specify the timing of the count or the source. The classification of the events into eight causes was based on the experience of the researchers.

Some data were missing. These mainly included the number of patients transferred to hospitals and the number of victims with absolute emergencies (concerning 5 and 8 events, i.e., 7% and 12% of the total events).

MCIs selected

Among the 296,521 documents that were identified, 82 documents covering 62 different events were ultimately selected (Table 2 and Figure 1). In Western Europe, the average number of MCI victims was 235 victims, including 20 victims who died on site (8%), 105 victims who were transferred to health facilities (45%), and 21 victims with absolute emergencies (9%) (table 3 and 5). In Eastern Europe, the average number of MCI victims was 344 victims, including 66 who died on site (19%), 197 victims who were transferred to health establishments (57%), and 52 victims with absolute emergencies (15%) (Table 4 and 5).

In Western Europe, the median number of MCI victims was 71, including 8 victims who died on site (11%), 48 victims who were transferred to health facilities (68%), and 13 victims with absolute emergencies (18%) (Table 3 and 5). In Eastern Europe, the median number of MCI victims was 170, including 24 victims who died on site (14%), 97 victims who were transferred to health facilities (57%), and 22 victims with absolute emergencies (13%) (table 4 and 5).

Eight main causes of MCIs allowed the identification of the following subgroups: explosions, ballistic accidents, fires, road accidents, car rammings, railway accidents, industrial accidents, and flying accidents. An MCI event could belong to several subgroups at the same time. The explosion subgroup was the most frequent, with 26 events (20 in Western Europe and 6 in Eastern Europe). There has been an accentuation of MCIs related to terrorist events in Western Europe since 2010 with the appearance of the car ramming subgroup in particular (medians: 72% of victims hospitalized, 26% of victims with AEs). The results between Western and Eastern Europe differed in the number of victims (one-third more victims in Eastern Europe), but the distribution by severity essentially remained the same.

The number of victims transferred to health facilities was > 50% only for ballistic accidents, railway accidents and car rammings. Concerning the number of victims with AEs, the results were more heterogeneous on average; however, we found a median of approximately 20% of the total victims in Western Europe and 15% of the total victims in Eastern Europe. Industrial accidents remained the event type with the highest number of victims but with a low hospital impact (26%), of which only 3% had victims with AEs.

DISCUSSION

This work reviewed MCIs that occurred in Europe over the last 30 years. All publications specifying the number of hospitalized victims were retained. This list described the average event of 235 victims, including 21 victims with absolute emergencies (9%) in Western Europe.

This work has some strengths.

It provides numerical data of the numbers of victims and defined two thresholds of preparation (average and median events) for rescue teams and hospital surgical departments by estimating the surge capacity needed. This tool is complementary to the knowledge of the care capacities per institution and allows for exhaustive planning for MCIs. It also allows us to confront the effects by region, as defined in the national response plan¹¹, and to adjust the knowledge of the expected rate of victims with serious injuries (9% of the total victims, or 20% of the transferred victims).

Our method of identification was based on the triage scales recommended for MCIs in France¹², which facilitated external comparison. A simple scale derived from the North Atlantic Treaty Organization (NATO) was developed and is very similar to the scale used by the French military health service¹³. Any casualty described as requiring immediate care according to the NATO scale, regardless of the final anatomical injury, was categorized as an absolute emergency (AE). In this way, the scale allows for over-triage to limit under-triage to a minimum number of victims, as recommended in the construction of triage scales. Moreover, some types of accidents naturally lead to a tendency towards over-triage (such as industrial accidents).

This work has certain weak points.

There is a risk of the overrepresentation of events in France compared to other European countries. Indeed, some of the sources used were from French analysis laboratories whose data collection is less exhaustive or not exhaustive outside of France. The addition of reports from similar laboratories in other European countries could complete this work.

There is a publication bias in the management of these difficult situations and their victim reports, which is sometimes supplemented by research from the press. The numbers of victims were more accurate for recent events.

In the literature, most of these casualty counts were focused on one type of MCI¹⁴ and were not geographically distinguished. For example, in a study of mass killings worldwide since 1980, only 8 of the 50 events recorded provide victim statistics¹⁵. The number of hospital transfers was also not recorded, preventing the evaluation of the impact of these events on hospitals. In other cases, they involve reviews of the typologies of corporal damage, such as toxic syndromes or postblast injuries^{14,16}. Most of the studies aimed to empirically analyse the responses to each of the events. References that allow the quantification of a precise number of victims are rare.

The lack of a scientific protocolized survey of the medical management of these uncommon events is documented. In view of this, a team has proposed a study of MCI events based on media sources via NextUni. MCI events have arbitrarily been defined as those with ≥ 3 injured people or ≥ 1 death since 2010 in Rwanda, allowing a median number of 11 injured people¹⁷. However, this

methodology does not consider the type of injury (serious or not) and does not correspond to the same population and societal risks as those in European countries.

Knowing the number of victims expected in an MCI is an important point for the adjustment of response preparation by planners and for training health care teams to spread the flow of victims across all accessible hospitals according to their available resources. This first inventory shows the importance of continuing research in this direction to anticipate the impact of an MCI on the means of transport, the places in hospitals, and the backup needed in training or in real situations.

CONCLUSION

This review of the literature identified 69 mass casualty incidents with precise data that occurred in Europe over the last 30 years. The analysis of MCI reports defined the average victim numbers, which are imperative for MCI preparedness. The number of victims transferred to hospitals and the number of victims requiring immediate life-saving interventions are the main details needed to evaluate the impacts on hospitals. In Western Europe, there were 105 hospitalized victims, including 21 with AEs (9% of all victims). In the run-up to the 2024 Olympic Games in Paris this work provides an additional planning tool.

REFERENCES

1. Organization WH. Mass casualty management systems : strategies and guidelines for building health sector capacity. World Health Organization; 2007. p. 34 p.
2. González PA, Delgado RC, Álvarez TC, Alonso JPB. Terrorisme, santé publique et services de santé. *Rev Esp Salud Publica*. 2009;83(3):361–70.
3. Bernstein SL, Boggs R, Derlet R, Handly N, Hinfey P, Kamens D. Emergency Department Crowding: Past, Present, and Future Directions [Internet]. 2006 [assessed 20 août 2022]. Available : https://www.aaem.org/UserFiles/file/boarding_overcrowding.pdf
4. Campanale ER, Maragno M, Annese G, Cafarelli A, Coretti R, Argemi J, et al. Hospital preparedness for mass gathering events and mass casualty incidents in Matera, Italy, European Capital of Culture 2019. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 1 oct 2022;48(5):3831-6.
5. Svensøy JN, Nilsson H, Rimstad R. A Qualitative Study on Researchers' Experiences after Publishing Scientific Reports on Major Incidents, Mass-Casualty Incidents, and Disasters. *Prehosp Disaster Med*. 36(5):536-42.
6. Turner CDA, Lockey DJ, Rehn M. Pre-hospital management of mass casualty civilian shootings: a systematic literature review. *Critical Care*. 8 nov 2016;20(1):362.
7. Khan Y, Fazli G, Henry B, de Villa E, Tsamis C, Grant M, et al. The evidence base of primary research in public health emergency preparedness: a scoping review and stakeholder consultation. *BMC Public Health*. 28 avr 2015;15:432.
8. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*. 29 mars 2021;n160.
9. Décret n° 2022-1109 du 2 août 2022 relatif au système d'information d'identification unique des victimes. 2022-1109 août 2, 2022.
10. Divisions cartographiques | Dictionnaire Visuel [Internet]. [assessed 12 mai 2023]. Available : <http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/terre/geographie/cartographie/divisions-cartographiques.php>
11. France, France, éditeurs. Aide à l'organisation de l'offre de soins en situations sanitaires exceptionnelles: guide méthodologique. Paris: Ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes, Direction générale de la santé, DGS; 2014.
12. Cesareo E, Raux M, Soulat L, Huot-Marchand F, Voiglio E, Puidupin A, et al. Recommandations de bonne pratique clinique concernant la prise en charge médicale des victimes d'une « tuerie de masse ». *Ann Fr Med Urgence*. 1 nov 2018;8(6):401-21.
13. Sockeel P, De La Villeon B, Goudard Y, Goin G, Monchal T, Pauleau G. Medical and surgical triage. *Journal of Visceral Surgery*. 1 déc 2017;154:S13-7.
14. Mayo A, Kluger Y. Terrorist bombing. *World J Emerg Surg*. 13 nov 2006;1:33.
15. Melmer P, Carlin M, Castater CA, Koganti D, Hurst SD, Tracy BM, et al. Mass Casualty Shootings and Emergency Preparedness: A Multidisciplinary Approach for an Unpredictable Event. *J Multidiscip Healthc*. 2019;12:1013-21.
16. Desel H. Mass poisoning events. *Med Klin Intensivmed Notfmed*. févr 2015;110(1):15-20.

17. Velin L, Donatien M, Wladis A, Nkeshimana M, Riviello R, Uwitonze JM, et al. Systematic media review: A novel method to assess mass-trauma epidemiology in absence of databases-A pilot-study in Rwanda. *PLoS One*. 2021;16(10):e0258446.
18. Terror im Herzen von Wien: Islamist kaufte Munition in der Slowakei [Internet]. *Kleine Zeitung*. 2020 [assessed 18 sept 2022]. Available : https://www.kleinezeitung.at/oesterreich/5891559/Terror-im-Herzen-von-Wien_Mindestens-fuenf-Tote-17-Verletzte_
19. Rapport d'enquête technique sur l'accident d'un autocar survenu le 26 mai 2018 sur l'autoroute A7 à Chantermerle-les-Blés. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2020 [assessed 20 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_beatt_2018-07.pdf
20. Rapport d'enquêt technique sur la collision entre un train de voyageurs et un autocar survenue le 14 décembre 2017 sur le passage à niveau n° 25 sur la commune de Millas. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2019 [assessed 20 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_beatt_2017-06.pdf
21. France A. Parsons Green bomb injured 69, say police [Internet]. *Evening Standard*. 2020 [assessed 18 sept 2022]. Available : <https://www.standard.co.uk/news/london/parsons-green-bomb-injured-69-say-police-a4386411.html>
22. GTD Search Results [Internet]. [assessed 1 sept 2022]. Available : https://www.start.umd.edu/gtd/search/Results.aspx?start_yearonly=1998&end_yearonly=2020&start_year=&start_month=&start_day=&end_year=&end_month=&end_day=®ion=4®ion=9&asmSelect0=&asmSelect1=&ctp2=all&success=yes&casualties_type=b&casualties_max=
23. Chowdhury F, Doughty H, Batrick N. London 2017: Lessons learned in transfusion emergency planning. *Transfusion Medicine*. 2021;31(2):81-7.
24. David Anderson QC. Attacks in London and Manchester [Internet]. Independent assessment of MI5 and Police internal reviews. 2017 [assessed 20 août 2022]. Available : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/664682/Attacks_in_London_and_Manchester_Open_Report.pdf
25. Ross J Craigie, P J Farrelly, R Santos, S R Smith, J S Pollard, D J Jones. Manchester Arena bombing: lessons learnt from a mass casualty incident. *BMJ Mil Health*. 1 avr 2020;166(2):72.
26. Boyle D, Jamieson S, Henderson B, Graham C. Attack on Parliament March 22: The Westminster rampage at the heart of Britain's democracy. *The Telegraph* [Internet]. 22 mars 2017 [assessed 20 août 2022]; Available : <https://www.telegraph.co.uk/news/2017/03/22/man-shot-police-outside-parliament-officer-reportedly-shoots/>
27. Rapport d'enquête technique sur la sortie de route d'un autocar circulant sur le RN79, survenue le 8 janvier 2017 à Charolles. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2018 [assessed 20 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_beatt_2017-01.pdf
28. Overturning of a tram at Sandilands junction, Croydon 9 November 2016 [Internet]. Rail Accident Branch, Department of Transport; 2020 [assessed 22 août 2022]. Available : https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5de79643e5274a06dee23a10/R182017_201022_Sandilands_v2.2.pdf
29. Hauer T, Huschitt N, Klein F, Poloczek S, Albers P, Cwojdzinski D, et al. Patientenversorgung bei Terroranschlägen: Erfahrungsbericht vom Breitscheidplatz in Berlin (19.12.2016). *Notfall Rettungsmed*. juin 2018;21(4):267-77.

30. Gemeinsame Pressemitteilung der Staatsanwaltschaft München I und des Bayerischen Landeskriminalamtes [Internet]. Bayerische Polizei; 2016 [assessed 22 août 2022]. Available : <https://archive.ph/20160724222002/https://www.polizei.bayern.de/muenchen/news/presse/aktuell/index.html/245298#selection-81.52-81.152>
31. Gonzalez JF, Thomas J, Decroocq L, Raynier JL, Carles M, de Peretti F, et al. The 14 July 2016 terrorist attack in Nice: The experience of orthopaedic surgeons. *Orthop Traumatol Surg Res.* mai 2019;105(3):505-11.
32. Massalou D, Ichai C, Mariage D, Baqué P. Terrorist attack in Nice - The experience of general surgeons. *J Visc Surg.* févr 2019;156(1):17-22.
33. Orban JC, Quintard H, Ichai C. ICU specialists facing terrorist attack: the Nice experience. *Intensive Care Med.* mai 2017;43(5):683-5.
34. Clement E. Retours d'Experiences : Attentats de Nice [Internet]. CHRU Nancy; 2019 [assessed 20 août 2022]. Available : [file:///C:/Users/lauri/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8b bwe/LocalState/Files/S0/3/Attachments/Nice%20Retex%20Copacamu-%20dr_eric_clement_-_retex_nice\[2358\].pdf](file:///C:/Users/lauri/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8b bwe/LocalState/Files/S0/3/Attachments/Nice%20Retex%20Copacamu-%20dr_eric_clement_-_retex_nice[2358].pdf)
35. Beauthier F, Van de Voorde W, Lefevre P, Beauthier JP. Belgium Experience in Disaster Victim Identification Applied in Handling Terrorist Attack at Brussels Airport 2016. *Forensic Sciences Research.* 2 juill 2020;5(3):223-31.
36. Fahrdienstleiter spielte vor Zugunglück am Handy - weiteres Opfer tot [Internet]. Augsburg Allgemeine. 2016 [assessed 22 août 2022]. Available : <https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Bad-Aibling-Fahrdienstleiter-spielte-vor-Zugunglueck-am-Handy-weiteres-Opfer-tot-id37465592.html>
37. Rapport d'enquêt technique sur le déraillement d'une rame TGV lors d'une marche d'essai sur la LGV Est-Européenne le 14 novembre 2015 à Eckwersheim. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2017. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_beatt_2015-016.pdf
38. Raux M, Carli P, Lapostolle F, Langlois M, Yordanov Y, Féral-Pierssens AL, et al. Analysis of the medical response to November 2015 Paris terrorist attacks: resource utilization according to the cause of injury. *Intensive Care Med.* 1 sept 2019;45(9):1231-40.
39. Lesaffre X, Tourtier JP, Violin Y, Frattini B, Rivet C, Stibbe O, et al. Remote damage control during the attacks on Paris: Lessons learned by the Paris Fire Brigade and evolutions in the rescue system. *J Trauma Acute Care Surg.* juin 2017;82(6S Suppl 1):S107-13.
40. Ngai KM, Burkle FM, Hsu A, Hsu EB. Human stampedes: a systematic review of historical and peer-reviewed sources. *Disaster Med Public Health Prep.* déc 2009;3(4):191-5.
41. Rapport d'enquêt technique sur la collision suivie d'un incendie survenue entre un autocar et un poids lourd le 23 octobre 2015 sur la RD 17 à Puisseguin. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2017 [assessed 22 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_beatt_2015-014.pdf
42. Service Médical du RAID. Tactical emergency medicine: lessons from Paris marauding terrorist attack. *Critical Care.* 13 févr 2016;20(1):37.
43. Hirsch M, Carli P, Nizard R, Riou B, Baroudjian B, Baubet T, et al. The medical response to multisite terrorist attacks in Paris. *The Lancet.* 19 déc 2015;386(10012):2535-8.

44. Rapport d'enquête technique sur la collision par rattrapage de deux trains de voyageurs survenue le 17 juillet 2014 à Denguin. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2016 [assessed 22 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_BEATT_2014-010.pdf
45. Forsberg R, Vázquez JAI. A Case Study of the High-speed Train Crash Outside Santiago de Compostela, Galicia, Spain. *Prehospital and Disaster Medicine*. avr 2016;31(2):163-8.
46. Rapport d'enquête technique sur le déraillement du train Intercités n° 3657 le 12 juillet 2013 à Brétigny-sur-Orge [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2015 [assessed 20 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_BEATT_2014-010.pdf
47. Rapport d'enquête technique sur le renversement d'un autocar à étage survenu le 11 septembre 2012 sur l'autoroute A 36 à Sausheim. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2014 [assessed 22 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/BEATT_2012_012.pdf
48. Rapport d'enquête technique sur la sortie de route d'un autocar survenue le 2 septembre 2012 sur l'autoroute A8 à Vidauban. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2014 [assessed 20 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/BEATT_2012_011.pdf
49. Train collision Amsterdam Westerpark [Internet]. Dutch Safety Board; 2012 [assessed 22 août 2022]. Available : file:///C:/Users/lauri/Downloads/rapport_westerpark_en_web.pdf
50. Rapport d'enquête technique sur le renversement d'un autocar survenu le 17 mars 2012 au droit du rond-point de Gourvily à Quimper. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2013 [assessed 22 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_BEATT_2012_005.pdf
51. Sollid SJ, Rimstad R, Rehn M, Nakstad AR, Tomlinson AE, Strand T, et al. Oslo government district bombing and Utøya island shooting July 22, 2011: the immediate prehospital emergency medical service response. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 26 janv 2012;20:3.
52. Lockey DJ. The shootings in Oslo and Utøya island July 22, 2011: Lessons for the International EMS community. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*. 26 janv 2012;20(1):4.
53. Skogstad L, Heir T, Hauff E, Ekeberg Ø. Post-traumatic stress among rescue workers after terror attacks in Norway. *Occup Med (Lond)*. oct 2016;66(7):528-35.
54. Manhart J, Bittorf A, Büttner A. Disaster victim identification-experiences of the « Autobahn A19 » disaster. *Forensic Sci Med Pathol*. juin 2012;8(2):118-24.
55. La référence du retour d'expérience sur les accidents technologiques. [Internet]. ARIA. [assessed 20 août 2022]. Available : <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>
56. Kolontár Hazmat - A sérültellátás helyzete 12:20 [Internet]. Belügyminiszterium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság. 2010 [assessed 20 août 2022]. Available : <https://www.katasztrófavedelem.hu/29/hirek/376/kolontar-hazmat-a-serultellatas-helyzete-12-20>
57. Ackermann O, Lahm A, Pfohl M, Köther B, Lian TK, Kutzer A, et al. Patient care at the 2010 Love Parade in Duisburg, Germany: clinical experiences. *Dtsch Arztebl Int*. juill 2011;108(28-29):483-9.

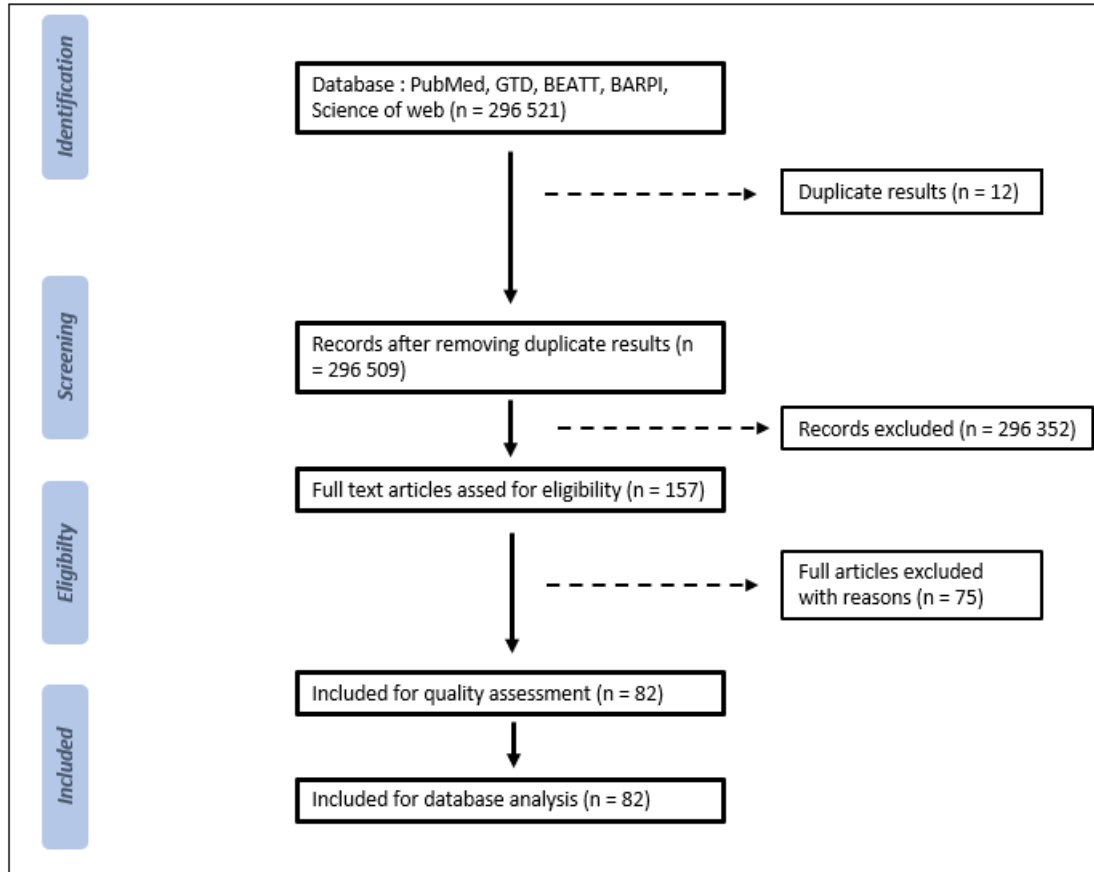
58. Ackermann O, Heigel U, Lazic D, Vogel T, Schofer MD, Rüländer C. [Retrospective calculation of the workload in emergency departments in case of a mass accident. An analysis of the Love Parade 2010]. *Z Orthop Unfall*. avr 2012;150(2):205-9.
59. Barbería E, Martín-Fumadó C, Galtés I, Subirana-Domenech M, Puigbarraca-Sol L, Vidal-Gutiérrez C, et al. Managing the identification of the mortal victims run over by a train in the Castelldefels railway accident (Barcelona). *Leg Med (Tokyo)*. sept 2015;17(5):366-70.
60. Chesterman S. Peer review into the response of Cumbria constabulary following the actions of Derrick Bird on 2nd July 2010. [Internet]. ACPO Lead Armed Policing Working Group; 2011 [assessed 20 août 2022]. Available : <https://www.jesip.org.uk/wp-content/uploads/2022/03/Operation-Bridge-Peer-Review-Derrick-Bird-Shootings.pdf>
61. Raone J, Coyette C, Schifano N, Donis C, Taskin L. Entreprise publique, crise et communication : le cas de l'accident ferroviaire de Buizingen. *Pyramides Revue du Centre d'études et de recherches en administration publique*. 1 nov 2012;(24):171-98.
62. Rapport d'enquête technique sur le déraillement d'un train du RER C survenu le 20 décembre 2009 à la suite de la chute d'un bloc de parapet à Choisy-le-Roi. [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2011 [assessed 22 août 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_BEATT_2009_012_cle7464b6.pdf
63. Coroner's Inquests following the fire at Lakanal House on 3 July 2009 [Internet]. London Fire and Emergency Planning Authority; 2013. Available : https://assets.grenfelltowerinquiry.org.uk/LFB00032148_Exhibit%20RJD_9%20-%20Report%20%E2%80%98Coroner%E2%80%99s%20Inquests%20following%20the%20fire%20at%20Lakanal%20House%20on%203%20July%202009.pdf
64. Postma ILE, Winkelhagen J, Bloemers FW, Heetveld MJ, Bijlsma TS, Goslings JC. February 2009 Airplane Crash at Amsterdam Schiphol Airport: An Overview of Injuries and Patient Distribution. *Prehospital and Disaster Medicine*. août 2011;26(4):299-304.
65. Rapport d'enquête technique sur l'accostage brutal du train 117 120 Château-Thierry - Paris en gare de Paris-Est survenu le 05 avril 2007 [Internet]. Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre; 2007 [assessed 1 sept 2022]. Available : https://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_BEATT_2007_004_cle74a96b.pdf
66. Survivors' experiences of consequences and recovery five years after a major bus crash - Doohan - 2018 - *Scandinavian Journal of Caring Sciences* - Wiley Online Library [Internet]. [assessed 13 mai 2023]. Available : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/scs.12563>
67. Aylwin CJ, König TC, Brennan NW, Shirley PJ, Davies G, Walsh MS, et al. Reduction in critical mortality in urban mass casualty incidents: analysis of triage, surge, and resource use after the London bombings on July 7, 2005. *The Lancet*. 23 déc 2006;368(9554):2219-25.
68. Lockey DJ, MacKenzie R, Redhead J, Wise D, Harris T, Weaver A, et al. London bombings July 2005: The immediate pre-hospital medical response. *Resuscitation*. 1 août 2005;66(2):ix-xii.
69. Madrid car bomb : 43 injured [Internet]. CNN international. 2005 [assessed 1 sept 2022]. Available : <http://edition.cnn.com/2005/WORLD/europe/02/09/spain.blast/>
70. Turégano-Fuentes F, Caba-Doussoux P, Jover-Navalón JM, Martín-Pérez E, Fernández-Luengas D, Díez-Valladares L, et al. Injury Patterns from Major Urban Terrorist Bombings in Trains: The Madrid Experience. *World J Surg*. 1 juin 2008;32(6):1168-75.
71. Gómez AM, Domínguez CJ, Pedrueza CI, Calvente RR, Lillo VM, Canas JM. Management and analysis of out-of-hospital health-related responses to simultaneous railway explosions in Madrid, Spain. *European Journal of Emergency Medicine*. oct 2007;14(5):247.

72. Turégano-Fuentes F, Pérez-Díaz D, Sanz-Sánchez M, Ortiz Alonso J. Overall Assessment of the Response to Terrorist Bombings in Trains, Madrid, 11 March 2004. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 1 oct 2008;34(5):433-41.
73. Phillips C, Prieto L, Fondevila M, Salas A, Gómez-Tato A, Álvarez-Dios J, et al. Ancestry Analysis in the 11-M Madrid Bomb Attack Investigation. *PLoS One.* 11 août 2009;4(8):e6583.
74. Lang T, Schwoebel V, Diène E, Bauvin E, Garrigue E, Lapierre-Duval K, et al. Assessing post-disaster consequences for health at the population level: experience from the AZF factory explosion in Toulouse. *J Epidemiol Community Health.* févr 2007;61(2):103-7.
75. Godeau E, Vignes C, Navarro F, Iachan R, Ross J, Pasquier C, et al. Effects of a Large-Scale Industrial Disaster on Rates of Symptoms Consistent With Posttraumatic Stress Disorders Among Schoolchildren in Toulouse. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine.* 1 juin 2005;159(6):579-84.
76. Dechy N, Bourdeaux T, Ayrault N, Kordek MA, Le Coze JC. First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st September 2001, AZF plant, France. *Journal of Hazardous Materials.* 26 juill 2004;111(1):131-8.
77. Harten SM van, Bierens JJLM, Welling L, Patka P, Kreis RW, Boers M. The Volendam Fire: Lessons Learned from Disaster Research. *Prehospital and Disaster Medicine.* 2012/06/28 éd. 2006;21(5):303-9.
78. Welling L, Boers M, Mackie DP, Patka P, Bierens JJLM, Luitse JSK, et al. A consensus process on management of major burns accidents: lessons learned from the café fire in Volendam, The Netherlands. *J Health Organ Manag.* 2006;20(2-3):243-52.
79. Welling L, Perez RSGM, van Harten SM, Patka P, Mackie DP, Kreis RW, et al. Analysis of the pre-incident education and subsequent performance of emergency medical responders to the Volendam café fire. *European Journal of Emergency Medicine.* déc 2005;12(6):265.
80. Atentados de ETA desde la ruptura de la ultima tregua [Internet]. *Politica.* [assessed 1 sept 2022]. Available : https://www.elcorreo.com/alava/pg060322/actualidad/politica/200603/22/ETA_atentados.html
81. Roorda J, van Stiphout WAHJ, Huijsman-Rubingh R. Post-disaster health effects: strategies for investigation and data collection. Experiences from the Enschede firework disaster. *J Epidemiol Community Health.* déc 2004;58(12):982-7.
82. Cassuto J, Tarnow P. The discotheque fire in Gothenburg 1998: A tragedy among teenagers. *Burns.* 1 août 2003;29(5):405-16.
83. Gwalli F, Fogdestam I. TRIAGE AND INITIAL TREATMENT OF BURNS IN THE GOTHENBURG FIRE DISASTER 1998. ON-CALL PLASTIC SURGEONS' EXPERIENCES AND LESSONS LEARNED. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery.* 1 janv 2003;37(3):134-9.
84. Lavery GG, Horan E. Clinical Review: Communication and logistics in the response to the 1998 terrorist bombing in Omagh, Northern Ireland. *Critical Care.* 23 mars 2005;9(4):401.
85. Cullen D. The Public Inquiry into the Shootings at Dunblane Primary School on 13 March 1996 [Internet]. 1996 [assessed 1 sept 2022]. Available : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/276631/3386.pdf
86. Bradic N, Cuculic D, Jancic E. Terrorism in Croatia. *Prehospital and Disaster Medicine.* 2012/06/28 éd. 2003;18(2):88-91.

87. Lariège J. Islamistes algériens au cœur de l'Europe. In: Ellipses. 2005. p. 113.
88. Moscow attack could be linked to succession war in chechen terrorism it questions security level in russia and in airports worlwid. [Internet]. European Strategic Intelligence and Security Center. [assessed 22 août 2022]. Available : <http://www.esisc.org/publications/briefings/moscow-attack-could-be-linked-to-succession-war-in-chechen-terrorism-it-questions-security-level-in-russia-and-in-airports-worldwid>
89. 29 March 2010 : Moscow Metro Bombings [Internet]. US Office of Intelligence and Analysis; 2010 [assessed 1 sept 2022]. Available : <https://info.publicintelligence.net/dhsmoscowbombingsnapshot.pdf>
90. Grenade wounds 40 in Moldova, police say terrorism. Reuters [Internet]. 15 oct 2009 [assessed 18 sept 2022]; Available : <https://www.reuters.com/article/us-moldova-blast-idUSTRE59E1FI20091015>
91. August 31, 2006 : Belsan - Two Years On [Internet]. Unicef Russian federation. 2006 [assessed 22 août 2022]. Available : https://web.archive.org/web/20090404112922/http://www.unicef.org/russia/media_4875.htm
92. Nielsen S. Affaire Finogenov et autres c. Russie [Internet]. European Court of Human Rights Cour Européenne des Droits de l'Homme; 2011 [assessed 1 sept 2022]. Available : <https://hudoc.echr.coe.int/eng?i=001-108244>
93. North Atlantic treaty Organization. Medical aspects in the management of a major incident or mass casualty incident [Internet]. NATO Standardization Office; 2021 [assessed 1 sept 2022]. Available : https://www.coemed.org/files/stanags/03_AMEDP/AMedP-1.10_EDB_V1_E_2879.pdf

TABLES

Figure 1 The PRISMA flow diagram. Abbreviations : GTD Global Terrorism Database, BEATT Bureau d’Etude des Accidents de Transport



Terrestre (office of transport accident studies), BARPI Bureau d’Analyse des Risques de Pollution et Industriels (office of analysis of pollution and industrial risks).

DATE :	PLACE :
1991-1999	Former Yugoslavia
1991-1995	Croatia
1992-1995	Bosnia
1998-1999	Kosovo
1999-2001	Presevo Valley
1992	Moldova
1992-1993	Abkhasia
1994-1996	Chechnya
1997	Albania
1999	Dagestan
1999-2009	Chechnya
2001	Macedonia
2009-2017	Circaucasia
2014	Ukraine
2016	Nagorno-Karabakh
2020	Nagorno-Karabakh
2022	Ukraine

Table 1 : Geopolitical conflicts in Europe since 1991.

DATABASE	Search terms/items	Number of records :
PubMed Database <i>Date : Septembre 2022</i> <i>Languages : English, French, German, Spanish.</i> <i>Publication date : 1995-2021</i>	S1 : "Disaster OR Mass Casualty Incident"	95 685
	S1 AND S2 : " Case Report OR Experience OR Lesson Learn OR Review OR Systematic Literature"	26 472
	S1 AND S2 AND S3 : " Injuries OR Victims"	5 966
	S1 AND S2 AND S3 AND S4 : "Terrorism OR Explosive OR Ballistic OR Industrial OR Toxic OR Fire OR Train OR Bus OR Rail OR Flight"	1 978
	Title Selection	105
	Abstract Selection	59
	Total, after complete reading	30
GTD Database <i>Date : September 2022</i> <i>Language : English</i>	1995-2021 events	151 539
	West and Est Europe	10 359
	Digital data available with > or= 20 Injuries or Died	112
	Russia or war exclusion	41
	Duplicate digital data	33
	Total, with all exclusion criteria	20
BEATT <i>Date : September 2022</i> <i>Language : French</i>	Total event :	107
	Road	50
	Train	57
	Total selected event :	10
	Road	6
	Train	4
	Total	10
BARPI <i>Date : September 2022</i> <i>Language : French</i>	1995-2021	49 170
	European territory	46 110
	Injuries casualty	1 690
	Human and social consequences (Level 4 of the European scale of industrial accidents)	140
	Total	13
EM-DAT <i>Date : September 2022</i> <i>Language : French</i>	1995-2021 events	17 223
	European territory	2022
	Total affected >10	1 039
	Total injured >10	141
	Number of hospital transfers	0
Science of Web <i>Date : September 2022</i> <i>Languages : English, French, German, Spanish.</i>	Search specific event with place, date and type of event	20
	With numerical information	16
	Total	9
	Total database :	296 521
	Total selected document :	82
	Total selected event :	62

Table 2 : Data selection method. Abbreviations : GTD Global Terrorism Database, BEATT Bureau d'Etude des Accidents de Transport Terrestre (Bureau of Transport Accident Studies), BARPI Bureau d'Analyse des Risques de Pollution et Industriels (office of analysis of pollution and industrial risks).

Location	Country	Year	Date	Typology	Total victims	Death on site		Hospital transfer		AE transfer	
Vienna (18)	Austria	2020	November, 11 th	Ballistic	27	4	15%	23	85%	7	26%
Chantermerle-Les-Blés (19)	France	2018	May, 26 th	Bus accident and fire	31	3	10%	20	65%	8	26%
Millas (20)	France	2017	December, 14 th	Bus and rail accident	40	4	10%	14	35%	5	13%
London (21)	United Kingdom	2017	September, 15 th	Explosive	69	0	0%	29	42%	17	25%
Barcelona (22)	Spain	2017	August, 17 th	Ram-raids	139	13	9%	49	35%	17	12%
London (23,24)	United Kingdom	2017	June, 14 th	Building fire	293	70	24%	72	25%	11	4%
London (23)	United Kingdom	2017	June, 03 rd	Raim-raids and stabbing attack	56	8	14%	48	86%	21	38%
Manchester (25)	United Kingdom	2017	May, 22 th	Explosive device	250	20	8%	160	64%	28	11%
London (23,26)	United Kingdom	2017	March, 22 th	Raim-raids and stabbing attack	54	5	9%	48	89%	12	22%
Charolles (27)	France	2017	January, 09 th	Bus accident and fire	32	4	13%	28	88%	3	9%
Croydon (28)	United Kingdom	2016	November, 09 th	Rail accident	70	7	10%	63	90%	19	27%
Berlin (29)	Germany	2016	December, 19 th	Raim-raids and stabbing attack	68	12	18%	56	82%	18	26%
Munich (30)	Germany	2016	July, 22 th	Ballistic	44	9	20%	35	80%	10	23%
Nice (31-34)	France	2016	July, 14 th	Raim-raids and stabbing attack	458	84	18%	243	53%	41	9%
Brussels (35)	Belgium	2016	March, 22 th	Explosive device	231	28	12%	195	84%	38	16%
Rosenheim (36)	Germany	2016	February, 09 th	Rail accident	91	10	11%	81	89%	19	21%
Strasbourg (37)	France	2015	November, 14 th	Rail accident	53	11	21%	29	55%	21	40%
Paris (38-40)	France	2015	November, 13 th	Explosive device and ballistic	495	129	26%	337	68%	124	25%
Puisseguin (41)	France	2015	October, 23 th	Bus accident and fire	51	43	84%	8	16%	4	8%
Paris (42,43)	France	2015	January, 06 th	Ballistic	23	12	52%	11	48%	3	13%
Denguin (44)	France	2014	July, 17 th	Rail accident	120	0	0%	33	28%	4	3%
Saint Jacques de Compostelle (45)	Spain	2013	July, 24 th	Rail accident	220	63	29%	157	71%	33	15%
Brétigny sur Orge (46)	France	2013	July, 12 th	Rail accident	303	7	2%	32	11%	11	4%
Sausheim (47)	France	2012	September, 11 th	Bus accident and fire	65	2	3%	42	65%	13	20%
Vidauban (48)	France	2012	September, 02 nd	Bus accident and fire	42	1	2%	32	76%	*	*
Amsterdam (49)	Netherlands	2012	April, 22 th	Rail accident	250	1	0%	188	75%	23	9%
Quimper (50)	France	2012	March, 17 th	Bus accident and fire	28	0	0%	28	100%	3	11%
Oslo- Utoya (51-53)	Norway	2011	July, 22 th	Explosive device and ballistic	153	77	50%	75	49%	13	8%
Ajka (55,56)	Hungary	2010	October, 03 rd	Industrial accident and toxic sludge	790	10	1%	126	16%	12	2%
Duisburg (57,58)	Germany	2010	July, 27 th	Explosion	560	21	4%	473	84%	8	1%
Barcelona (59)	Spain	2010	June, 23 th	Rail accident	29	12	41%	17	59%	10	34%
Cumbria (60)	United Kingdom	2010	June, 02 nd	Ballistic	23	12	52%	11	48%	5	22%
Buizingen (61)	Belgium	2010	February, 15 th	Rail accident	310	19	6%	171	55%	34	11%
Choisy-Le-Roi (62)	France	2009	December, 12 th	Rail accident	37	0	0%	32	86%	2	5%
Burgos (22)	Spain	2009	July, 29 th	Explosive car	120	0	0%	64	53%	*	*
London (63)	United Kingdom	2009	July, 03 rd	Building fire	57	3	5%	16	28%	3	5%
Viareggio (55)	Italy	2009	June, 29 th	Rail explosion	75	25	33%	50	67%	30	40%
Amsterdam (64)	Netherlands	2009	February, 25 th	Airplane accident	135	9	7%	66	49%	31	23%
Courselles-Chaussy (55)	France	2008	October, 19 th	Car accident	143	1	1%	28	20%	3	2%
Paris (65)	France	2007	April, 05 th	Rail accident	71	0	0%	45	63%	*	*
Uppsala (66)	Sweden	2007	February, 27 th	Bus accident and fire	60	6	10%	54	90%	3	5%
London (67,68)	United Kingdom	2005	July, 07 th	Explosive device	775	53	7%	404	52%	55	7%
Madrid (69)	Spain	2005	February, 09 th	Explosive car	43	0	0%	24	56%	11	26%
Ghislenghien (55)	Belgium	2004	July, 30 th	Gaz explosion	103	24	23%	50	49%	*	*
Glasgow (55)	United Kingdom	2004	May, 11 th	Industrial accident and explosion	51	7	14%	44	86%	16	31%
Madrid (70-73)	Spain	2004	March, 11 th	Explosive device	2062	177	9%	509	25%	83	4%
Saint-Nazaire (55)	France	2003	November, 15 th	Industrial accident	45	16	36%	29	64%	6	13%
Coulombiers (55)	France	2002	November, 05 th	Car accident	95	8	8%	33	35%	6	6%
Ougree (55)	Belgium	2002	October, 10 th	Industrial accident and explosion	42	3	7%	39	93%	13	31%
Toulouse (74-76)	France	2001	September, 21 th	Industrial accident and explosion	2242	30	1%	590	26%	39	2%
Volendam (55,77-79)	Netherlands	2001	January, 01 st	Fire	348	4	1%	241	69%	112	32%
Madrid (80)	Spain	2000	October, 30 th	Explosive	67	3	4%	64	96%	3	4%
Enschede (55,81)	Netherlands	2000	May, 13 th	Firework explosion	974	18	2%	*	*	50	5%
Gothenburg (82,83)	Sweden	1998	October, 30 th	Fire	375	61	16%	180	48%	24	6%
Omagh (84)	Ireland	1998	August, 15 th	Explosive	363	27	7%	336	93%	9	2%
Padua (55)	Italy	1997	February, 09 th	Car accident	70	1	1%	*	*	*	*
Dunblane (85)	Scotland	1996	March, 13 th	Ballistic	33	16	48%	16	48%	6	18%
Rijeka (86)	Croatia	1995	October, 20 th	Explosive	27	0	0%	11	41%	5	19%
Paris (87)	France	1995	July, 25 th	Explosive	150	8	5%	117	78%	25	17%

Table 3 : Inventory of MCIs in Western Europe. Information on the date, place and type of event, and the number of victims with the number of deaths on site, victims transferred to a hospital and seriously injured. Abbreviation AE Absolut Emergency.

Location	Country	Year	Date	Typology	Total victims	Death on site		Hospital transfer		AE transfer	
Hitrino (55)	Bulgaria	2016	December, 10th	Rail accident	60	8	13%	52	87%	9	15%
Bourgas (22)	Bulgaria	2012	July, 18th	Explosive	154	6	4%	32	21%	38	25%
Minsk (22)	Belarus	2011	April, 11th	Explosive	204	13	6%	92	45%	22	11%
Moscow (88)	Russia	2011	January, 24th	Explosive device	185	35	19%	150	81%	20	11%
Moscow (89)	Russia	2010	March, 29th	Explosive device	139	37	27%	102	73%	*	*
Chisinau (90)	Moldavia	2009	October, 14th	Explosive	40	0	0%	40	100%	5	13%
Belsan (91)	Russia	2004	September, 1st	Explosive device and ballistic	1123	317	28%	437	39%	240	21%
Dubrovka (92)	Russia	2002	October, 23th	Toxic gaz and ballistic	850	114	13%	667	78%	31	4%

Table 4 : Inventory of MCIs in Eastern Europe. Information on the date, place and type of event, and the number of victims with the number of deaths on site, victims transferred to a hospital and seriously injured. Abbreviation AE Absolut Emergency.

	WESTERN EUROPE							EASTERN EUROPE						
	Total victims	Death on site		Hospital transfer		AE transfer		Total victims	Death on site		Hospital transfer		AE transfer	
SUMMATION	14071	1210	9%	5976	42%	1130	8%	2755	530	19%	1572	57%	365	13%
AVERAGE	235	20	8%	105	45%	21	9%	344	66	19%	197	57%	52	15%
MEDIAN	71	8	11%	48	68%	13	18%	170	24	14%	97	57%	22	13%
STANDART DEVIATION	425	33	8%	137	32%	26	6%	407	108	26%	231	57%	84	21%
AVERAGES :														
Ballistic	109	33	31%	70	64%	23	21%	987	216	22%	552	56%	136	14%
Explosion	425	42	10%	189	44%	41	10%	308	68	22%	142	46%	65	21%
Raim raids	155	24	16%	89	57%	22	14%	0	-	-	-	-	-	-
Rail accident	191	21	11%	120	63%	20	10%	60	8	13%	52	87%	9	15%
Industrial accident	634	13	2%	166	26%	17	3%	0	-	-	-	-	-	-
Fire incident	210	16	7%	71	34%	23	11%	0	-	-	-	-	-	-
Road accident	60	7	11%	29	48%	5	9%	0	-	-	-	-	-	-
Plane accident	135	9	7%	66	49%	31	23%	0	-	-	-	-	-	-
MEDIANS :														
Ballistic	39	12	31%	29	75%	9	22%	987	216	22%	552	56%	136	14%
Explosion	145	21	14%	89	61%	21	15%	170	24	14%	97	57%	22	13%
Raim raids	68	12	18%	49	72%	18	26%	0	-	-	-	-	-	-
Rail accident	91	10	11%	50	55%	20	22%	60	8	13%	52	87%	9	15%
Industrial accident	51	10	20%	44	86%	13	25%	0	-	-	-	-	-	-
Fire incident	60	4	7%	37	62%	10	16%	0	-	-	-	-	-	-
Road accident	51	3	6%	28	55%	4	8%	0	-	-	-	-	-	-
Plane accident	135	9	7%	66	49%	31	23%	0	-	-	-	-	-	-

Table 5 : Averages and medians based on the MCI census, by typology. Abbreviations : AE Absolut Emergency).

T1	Immediate Treatment Group	T1 consists of those requiring immediate life-saving interventions. One of the principles triaging patients as T1 is that they may be converted into T2 with appropriate temporary intervention(s). Urgent Treatment Group (T2)
T2	Urgent Treatment Group (T2)	T2 consists of those in need of stabilizing treatment, but whose general condition permits delay in surgical or other special medical treatment without unduly endangering life.
T3	Minimal Treatment Group (T3)	T3 consists of those with relatively minor injuries who can effectively care for themselves or who can be helped by first-aid trained personnel.
T4	Expectant Treatment Group (T4)	T4 consists of those who are expected to die given the circumstances of the Major Incident/MASCAL. They will receive appropriate supportive treatment and palliative care.
D	Dead	Those who are declared dead by a medical professional or with non-survivable injuries and no vital signs.

Supplementary Figure 1 : NATO standard scale (93)

Evaluer la correspondance : test des points de rupture pour différents sites SSE

- avec chaque ARS, calcul des capacités de réponse pour les 10 sites prioritaires de sa région (2022)



○ **Document: Accompagnement de l'évaluation des capacités AMAVI pour 11 ARS**

Le document ci-dessous a été présenté puis fourni à 11 ARS pour l'accompagnement de la rédaction de leur plan ORSAN, pour l'évaluation des capacités AMAVI de chacun de leurs établissements, puis des points de rupture pour leurs sites prioritaires.

Ci-dessous sont repris pour exemple les tableaux d'une seule ARS : la région Occitanie :

Tableau 1- Capacitaire AMAVI à T0 pour chaque établissement

- selon 8 modalités : Bloc/Urgences ; Adulte/pédia ; Jour/PDS
- selon classe ORSAN des ES (Exp, 1L, 2L, 3L)*
- à partir des ressources totales des ES (Tmax par données DREES 2022), et leur part immédiatement mobilisable en cas de SSE (T0 par enquête flash sur 250 ES)

Tableau 2- Points de rupture T0 par site prudentiel : Places et moyens accessibles à T0, à 1h autour de chaque site (10 à 20 sites testés par ARS)

Tableau 3- Moyens à engager pour un événement moyen de 25 UA selon le site prudentiel et le type d'événement

Tableau 4- Impact attendu d'un événement de 25 UA d'après les ressources du secteur, selon le site prudentiel

Calcul du capacitaire AMAVI 2022 OCC à T0 (14/10/22) - selon 8 modalités : Bloc/Urgences ; Adulte/pédia ; Jour/PDS - selon classe ORSAN des ES (Exp, 1L, 2L, 3L)* - pour 4000 Etablissements de santé et EMS - à partir des ressources totales des ES (Tmax par données DREES 2022), et leur part immédiatement mobilisable en cas de SSE (T0 par enquête flash sur 300 ES) - La capacité AMAVI à T0 au bloc dépend du nombre de chirurgiens, anesthésistes, IADE, IBODE, salles, et activité annuelle de l'ES - La capacité AMAVI à T0 aux urgences dépend du nombre de médecins et IDE du service.** - La capacité AMAVI à T0 au bloc en PDS dépend du nombre de salles de bloc H24 et astreintes ou gardes chirurgien** - La capacité AMAVI en lits d'hospitalisation (REA-USC-MCO) dépend du nombre taux d'occupation annuel par service *Les classes ORSAN sont proposées à partir de la définition « stricte » de présence bloc H24 et/ou urgences, et/ou spécialité expert, mais restent à déterminer par les ARS **pour certains ES ces éléments* sont parfois incomplets dans les données de la DREES, et entraînent une case vide					CAPACITE DE SOINS AIGUS														
					EN JOURNEE (de 8h A 18h)						EN PERMANENCE DE SOINS (nuits, week-end et fériés)								
					EXTREMES URGENCES			URGENCES ABSOLUES			URGENCES RELATIVES			EXTREMES URGENCES			URGENCES ABSOLUES		URGENCES RELATIVES
DAMAGE CONTROL et chirurgies immédiates			Chirurgies différables ou pathologies médicales			Chirurgies fonctionnelles ou soins légers			DAMAGE CONTROL et chirurgies immédiates			Chirurgies différables ou pathologies médicales		Chirurgies fonctionnelles ou soins légers					
fi	rs	ARS	dep	catr	ORSAN (selon ressources)	Bloc >30kg	Bloc <30kg 1ere intention	Bloc <30kg 2e intention	Urgences adultes UA	Urgences pédiatriques UA	Urgences adultes UR	Urgences pédiatriques UR	Bloc >30kg PDS	Bloc <30kg 1ere intention PDS	Bloc <30kg 2e intention PDS	Urgences adultes UA PDS	Urgences pédiatriques UA PDS	Urgences adultes UR PDS	Urgences pédiatriques UR PDS
300781465	POLYCL KENNEDY	OCC	30	PLU4	2	1,6													
310782347	INSTITUT CLAUDIUS REGAUD	OCC	31	PNL6	2	1,5							1,0						
340780675	CL CLEMENTVILLE	OCC	34	PLU4	2	1,5		1,0					1,0						
810101170	CL TOULOUSE LAUTREC	OCC	81	PLU4	2	1,5							1,0						
650000417	CH BIGORRE SITE GESPE TARBES	OCC	65	PUB2	2	1,4			1,0	3,1	7,8		1,0			1,6			3,9
340796663	HOPITAL ARNAUD DE VILLENEUVE CHU MPT	OCC	34	PUB1	2	1,4		1,0					1,0						
110000023	CH CARCASSONNE	OCC	11	PUB2	2	1,1		1,0	2,9		7,4		1,0			1,5			3,7
340780725	CL VIA DOMITIA	OCC	34	PLU4	2	1,1			2,3		5,6					1,1			2,8
340782036	HOPITAL ST ELOI CHU MONTPELLIER	OCC	34	PUB1	2	1,0													
090000175	CHIVAL SITE ST JEAN DE VERGES	OCC	09	PUB2	2	1,0			3,9		9,7					1,9			4,9
340780717	CL ST LOUIS	OCC	34	PLU4	2	1,0			0,9		2,3					0,5			1,2
110000056	CH NARBONNE HOTEL DIEU	OCC	11	PUB2	2	0,9			1,0		2,6					0,5			1,3
460000110	CH JEAN ROUGIER CAHORS	OCC	46	PUB2	2	0,9			0,5		1,2					0,2			0,6
320780067	POLYCL DE GASCogne	OCC	32	PLU4	2	0,9													
310000310	CH COMMINGES PYRENEES SITE ST PLANCARD	OCC	31	PUB2	2	0,8			2,3		5,8					1,2			2,9
310019351	HOPITAL LARREY CHU TLSE	OCC	31	PUB1	2	0,7													
820000040	CL CROIX ST MICHEL	OCC	82	PLU4	2	0,7													
660780669	POLYCL MEDITERRANEE	OCC	66	PLU4	2	0,6							0,6						
300002508	CL DU GRAND AVIGNON	OCC	30	PLU4	2	0,5													
310025333	ONCPOLE CHU TOULOUSE	OCC	31	PUB1	2	0,5													
660780628	CL DU VALLESPIR	OCC	66	PLU4	2	0,5			0,9		2,3					0,5			1,2
090000183	CH ARIEGE COUSERANS SITE ST LIZIER	OCC	09	PUB2	2	0,4			1,9		4,7					0,9			2,3
480000017	HOPITAL LOZERE SITE VALLEE DU LOT	OCC	48	PUB2	2	0,4			0,5		1,2					0,2			0,6
480002948	HOPITAL LOZERE SITE GEVAUDAN	OCC	48	PUB2	2	0,3													
820000883	CHI CASTELSARRASIN MOISSA SITE MOISSA	OCC	82	PUB2	2	0,3			0,5		1,2					0,2			0,6
120004668	CH EMILE BOREL ST AFFRIQUE	OCC	12	PUB2	2	0,2			0,5		1,2					0,2			0,6
460000102	CH JEAN COULON GOURDON	OCC	46	PUB2	2	0,1			0,5		1,2					0,2			0,6
300017498	CL AMBULATOIRE DE LA CEZE	OCC	30	PLU4	2	0,1													
120000070	CH PIERRE DELPECH DECAZEVILLE	OCC	12	PUB2	2	0,1			0,8		1,9					0,4			1,0
300012598	GCS NEUROCHIRURGIE DU GARD	OCC	30	PNL10	2	0,0							0,0						
810000562	CH LAVAUUR	OCC	81	PUB2	2	0,0			0,9		2,3					0,5			1,2
340781608	CL DU MAS DE ROCHET	OCC	34	PNL4	2	0,0													
310780366	CL MONIE	OCC	31	PLU4	2	0,0													
110000247	CH LEZIGNAN CORBIERES	OCC	11	PUB2	2	0,0													
090001629	CHIVAL SITE LAVELANET	OCC	09	PUB2	2				0,9		2,3					0,5			1,2
320000102	CH CONDOM	OCC	32	PUB2	2				0,9		2,3					0,5			1,2
650000052	CH BAGNERES DE BIGORRE	OCC	65	PUB2	2				0,9		2,3					0,5			1,2
110000049	CH JEAN PIERRE CASSABEL	OCC	11	PUB2	2				0,5		1,2					0,2			0,6
460000052	CH ST JACQUES ST CERRE	OCC	46	PUB2	2				0,2		0,6					0,1			0,3

Légende : Les capacités T0 renseignées sont des estimations d'après les ressources propres de l'établissement (Tmax théorique, selon données DREES), et leur part disponible sous 30 min (T0 observé, sur enquête de 300 ES).

1. Ces estimations donnent un repère pour aider ARS et ES à définir ensemble un objectif de capacité AMAVI, par filière, en fonction des particularités propres au territoire.
2. Chaque ARS peut ensuite intégrer ses objectifs T0 par établissement, pour évaluer les points de rupture par filière pour différents sites (métropoles, grands événements, sites touristiques).
3. Ces points de rupture du territoire peuvent ensuite être confrontés à chacun des 70 événements survenus en Europe depuis 30 ans. En cas d'événement réel, l'envoi d'une enquête flash aux établissements permet d'intégrer les capacités réelles du jour pour bloc et urgences, puis les places d'hospitalisation via le ROR.

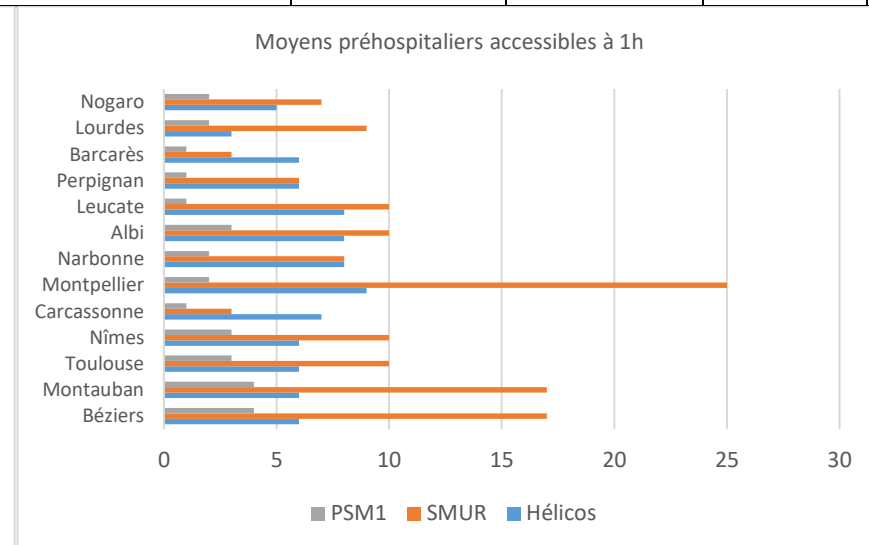
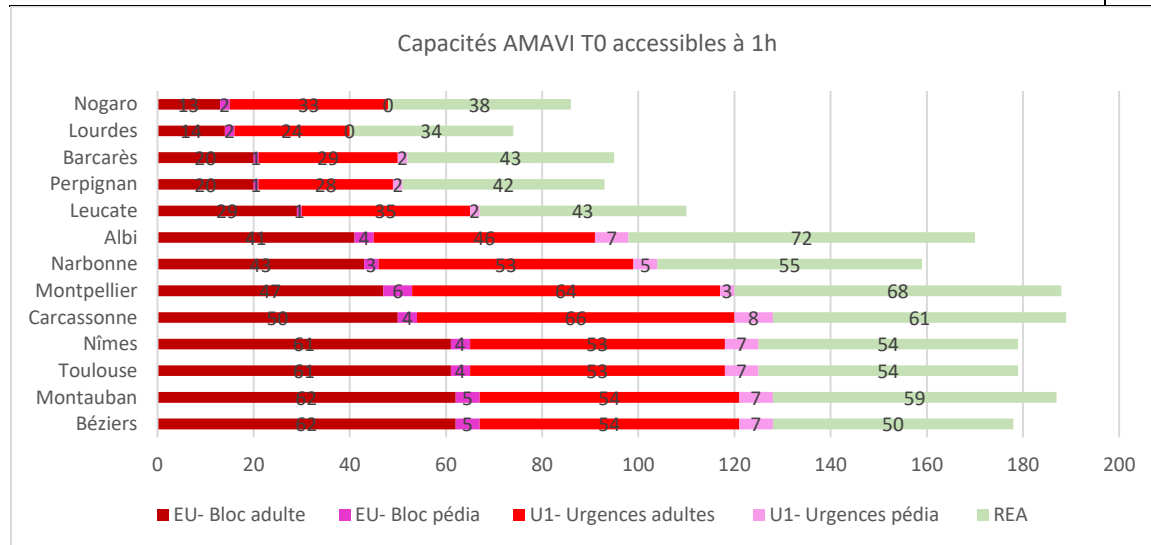
Tableau 2- ARS OCCITANIE : Points de rupture T0 par site prudentiel : - Places et moyens accessibles à T0, à 1h autour de chaque site

Prérequis :

D'après les ressources des ES DREES 2022, la part observée disponible à T0 sur le relevé 2022 sur 300 ES,

D'après les conditions de circulation réelles 2022, en option dite « optimiste » des délais de circulation type véhicule de secours

Evènements pruden- tiels Sites retenus	Coordonnées	Site spécifique	Dep	Jauge	Points de rupture T0 (capacités accessibles à <1h de transport du site) D'après les ressources des ES 2022 et les conditions de circulation réelles 2022									
					Bloc adulte T0	Bloc pédi- 1ere intention*	Bloc pédi- 2e intention*	Urgences adultes UA	Urgences pédiatriques UA	Ambulances disponibles	Hélicos disponi- bles	SMUR disponi- bles	PSM1 disponi- bles	REA <2h
Toulouse	Zénith	Zénith Toulouse Métropole	31	11 000	61	4		53	7		6	10	3	54
Montpellier	Stade de Rugby	GGL Stadium	34		47	6		64	3		9	25	2	68
Nîmes	Arènes	Arènes de Nîmes	30		61	4		53	7		6	10	3	54
Perpignan	Stade	Stade aimé Giral	66		20	1		28	2		6	6	1	42
Béziers	Stade	Stade Raoul Barrière	34		62	5		54	7		6	17	4	50
Montauban	Stade	Stade Sapiac	82		62	5		54	7		6	17	4	59
Narbonne	Arena	Narbonne Arena	11		43	3		53	5		8	8	2	55
Carcassonne	Remparts	Feria, Château, remparts	11		50	4		66	8		7	3	1	61
Albi	Zénith		81		41	4		46	7		8	10	3	72
Lourdes	Basilique	Pèlerinage, ND du Rosaire	65		14	2		24	0		3	9	2	34
Leucate	Port	Mondial du vent	11		29	1		35	2		8	10	1	43
Nogaro	Circuit auto	Circuit Paul Armagnac	32		13	2		33	0		5	7	2	38
Barcarès	Port	Festivals électro beach	66		20	1		29	2		6	3	1	43



Interprétation : Pour un évènement majeur survenant à Lourdes, les ES situés à moins d'une heure disposent des ressources pour un accueil à T0 : Au bloc opératoire de 14 patients adultes ou 2 pédiatriques (Chir ped). Aux urgences de 24 adultes, aux urgences pédiatriques de 0 enfants. Les ES situés à moins d'une heure disposent des ressources préhospitalières en moins d'une heure sur site: d'après la SAE : 3 hélicoptères, 9 SMUR, 2 PSM1 (à ajuster selon PZM)

En cas d'évènement réel, les capacités de soins aigues doivent être recueillies par une enquête immédiate, et les places d'hospitalisation remontées par le ROR

Tableau 3 ARS OCCITANIE: Moyens à engager pour un événement moyen de 25 UA selon le site prudentiel et le type d'événement

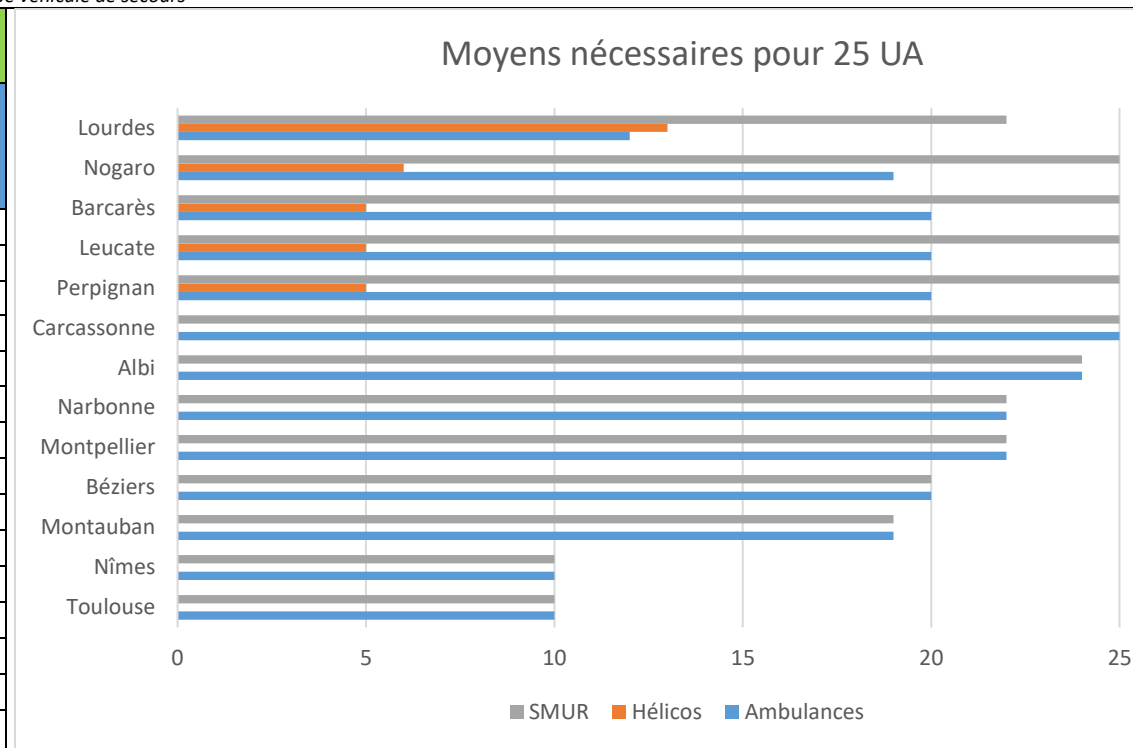
Objectif 25 UA adultes dont 30% avec besoin de bloc immédiat, 70% vers SAU ou SSPI, 30% vers USI ou REA réparties sur les places T0 accessibles en <1h ambulance ou hélicopté

Prérequis :

D'après les ressources des ES DREES 2022, la part observée disponible à T0 sur le relevé 2022 sur 300 ES,

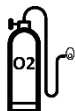
D'après les conditions de circulation réelles 2022, en option dite « optimiste » des délais de circulation type véhicule de secours

Moyens pour 25 UA sur un site :		Prise en charge sur les places T0 disponibles accessibles à moins d'une heure de transport			
		Nombre d'UA transféré <1h	Ambulances nécessaires	Hélicos nécessaires	SMUR nécessaires
Evènements prudentiels Sites retenus					
Toulouse	Zénith	25	10	0	10
Montpellier	GGL Stadium	25	22	0	22
Nîmes	Arènes	25	10	0	10
Perpignan	Stade Giral	25	20	5	25
Béziers	Stade	25	20	0	20
Montauban	Stade	25	19	0	19
Narbonne	Arena	25	22	0	22
Carcassonne	Remparts	25	25	0	25
Albi	Zénith	25	24	0	24
Lourdes	Pèlerinage	25	12	13	22
Leucate	Port	25	20	5	25
Nogaro	Circuit auto	25	19	6	25
Barcarès	Port	25	20	5	25



Interprétation :

Pour l'événement SSE moyen survenu en Europe depuis 20 ans (25 UA adultes), survenant à Toulouse, les capacités des ES situés à moins d'une heure seraient suffisantes, si l'on disposait de 10 ambulances, + SMUR sur site pour assurer ces transports. Pour ce même événement à Lourdes, 12 ambulances+SMUR et 13 hélicos+SMUR seraient nécessaires pour répartir ces 25 UA dans les délais.



Repère flux : consommation O2 /h pour 25 UA : 13 m3/h = 13 bouteilles B5/h

Repère stock : consommation O2 pour 25 UA : 39 m3 = 39 bouteilles B5 = 4 bouteilles B50

Tableau 4 ARS OCCITANIE: Impact attendu d'un événement de 25 UA d'après les ressources du secteur, selon le site prudentiel

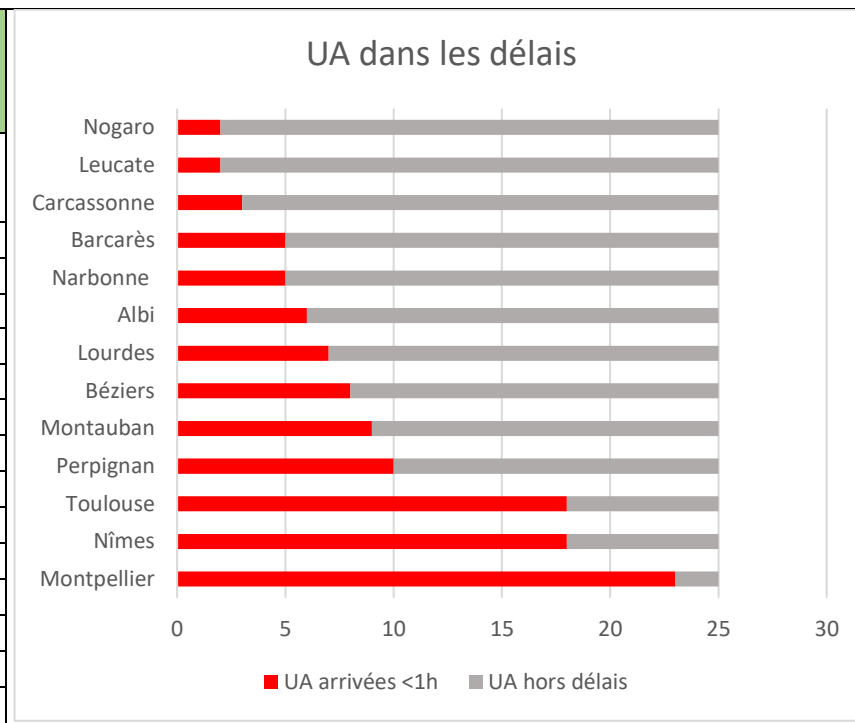
Objectif 25 UA adultes dont 30% avec besoin de bloc immédiat, 70% vers SAU ou SSPI, 30% vers USI ou REA réparties sur les places T0 accessibles en <1h ambulance ou hélicopt

Prérequis :

D'après les ressources des ES DREES 2022, la part observée disponible à T0 sur le relevé 2022 sur 300 ES,

D'après les conditions de circulation réelles 2022, en option dite « optimiste » des délais de circulation type véhicule de secours

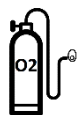
Impact de 25 UA sur un site :		Prise en charge sur les places T0 disponibles accessibles à moins d'une heure de transport				Option 1 : Prise en charge des victimes excédentaires sur les places T0 disponibles mais à plus d'une heure de transport	
		Nombre d'UA transfert <1h	Ambulances disponibles	Hélicos disponibles	SMUR disponibles	Nombre d'UA transfert hors délai	Délai médian d'arrivée sur ES
Evènements prudentiels Sites retenus							
Toulouse	Zénith	18	20	6	10	7	1h13
Montpellier	GGL Stadium	23	20	9	25	2	1h22
Nîmes	Arènes	18	20	6	10	7	1h13
Perpignan	Stade Giral	10	20	6	6	15	2h22
Béziers	Stade	8	20	6	17	17	1h36
Montauban	Stade	9	20	6	17	16	1h23
Narbonne	Arena	5	20	8	8	20	2h14
Carcassonne	Remparts	3	10	7	3	22	2h20
Albi	Zénith	6	10	8	10	19	2h17
Lourdes	Pèlerinage	7	10	3	9	18	2h15
Leucate	Port	2	10	8	10	23	2h08
Nogaro	Circuit auto	2	10	5	7	23	2h21
Barcarès	Le port	5	10	6	3	20	2h19



Interprétation :

Pour l'événement SSE moyen survenu en Europe depuis 20 ans (25 UA adultes), survenant à Toulouse, 18 UA peuvent arriver sur un ES en <1h de transport, les 7 autres en délai médian de 1h13.

- si l'ensemble des victimes sont à évacuer 'en même temps' d'un des sites,
- avec tous les moyens SMUR et hélico du secteur accessibles à <1h sur site,
- selon les capacités de soins aigus bloc et urgences des ES du secteur,
- selon les délais de circulation 'ambulances' 2022



Repère flux : consommation O2 /h pour 25 UA : 13 m3/h = 13 bouteilles B5/h

Repère stock : consommation O2 pour 25 UA : 39 m3 = 39 bouteilles B5 = 4 bouteilles B50

Tableau 5: Comparaison des différentes stratégies d'évacuation en situation AMAVI

Chaque scénario correspond à l'association de **contraintes imposées** par l'événement, et de **différentes stratégies** de réponse :

Scénario rencontré	Conditions	Mise en œuvre	Cible spécifique
Stratégies possibles	Convois médicaux	1 équipe SMUR transporte à la fois 1 patient EU et 1 patient U1 dans 2 ambulances, vers un même établissement de destination	Les convois systématiques sont à privilégier dans toutes les situations (ajout d'un patient U1 avec chaque patient EU transporté par un SMUR)
	Orientation NON liée	Transfert vers le bloc disponible le plus proche (ES 1°Ligne) (prise en charge la plus précoce)	Les orientations NON liées sont à privilégier <ul style="list-style-type: none"> - Pour les sites SSE où les places disponibles à 1h par voie routière sont restreintes (point de rupture bas). - En début d'événement où les moyens disponibles sont particulièrement restreints
	Orientation liée	Transfert vers la place de bloc ET de réanimation d'aval (ES 1°L) (pas de transfert secondaire nécessaire pour libérer les capacités de bloc au bout de quelques heures)	Les orientations liées sont à privilégier <ul style="list-style-type: none"> - Pour les sites SSE où le nombre de places disponibles à 1h est important - Pour les situations où le nombre de places accessibles est supérieur au nombre de victimes estimé - En seconde partie d'événement lorsqu'un grand nombre de vecteurs et équipes de transfert sont mobilisés sur site
	Equipes SMUR renforts	Rappel de personnels dans chaque SAMU limitrophe	La constitution d'équipes supplémentaires, et l'augmentation des places des ES du secteur sont essentiels en cas de situation à contrainte importante
	Equipes de transfert renforts	Constitution d'équipes de renfort zonales, notamment pour les transferts post bloc	
	Places des ES du secteur	Augmentation du nombre de places disponibles des ES du secteur dans les unités concernées (T0 +X %)	

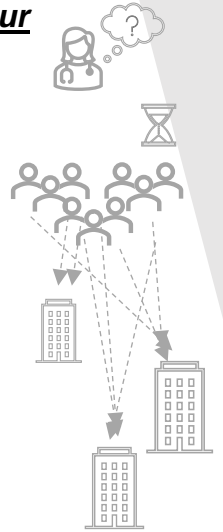
Tableau 6: Mobilisation des ressources rares hors PSM – équipes renforts et matériels de transferts (à compléter par l'ARS)

Les lots PSM1 et PSM2 ainsi que les ESR sont dotés de matériels légers de surveillance (respirateurs oxylogs et scopes mono-paramétriques, 1 PSE). Chaque équipe SMUR courante est dotée du matériel lourd de surveillance pour 1 patient, et d'un véhicule léger. **Le tableau ci-dessous référence les moyens supplémentaires mobilisables en renfort depuis chaque ES ou SAMU**

ES renfort		SMUR de renfort T+1h		Matériels de renfort T+1h			Moyens néonataux				
Dépt	ES	Equipes rappelées	VML	UMH	Scopes Lourds multi-paramétriques	Respirateurs Lourds pluri-modes ventilatoires	Pousse seringues électriques	Lots de transfert patient REA	Equipes	UMH	Couveuse
TOTAL											

Evaluer la correspondance : test des points de rupture pour différents sites SSE :

- **avec les SAMU, entraînements de répartition de 200 victimes sur leur territoire (2023) :**



- **Article 5 : Distribution of mass casualty incident victims : training at 9 mass gatherings or rural sites according to surge capacity of hospitals and medical transfer teams.**

RÉPARTITION DES VICTIMES D'INCIDENTS MASSIFS : FORMATION DANS 9 RASSEMBLEMENTS DE MASSE OU SITES RURAUX SELON LA CAPACITÉ DE RENFORT DES HÔPITAUX ET DES ÉQUIPES DE TRANSFERT MÉDICAL.

RESUME :

Introduction : La gestion des afflux massifs de victimes (AMAVI) est organisée par la doctrine nationale ORSAN. Ces situations sont rares et l'évaluation chiffrée de la réponse possible est difficile. L'objectif de cette étude était de tester l'incident moyen européen dans dix sites de grands rassemblements ou lieux isolés du territoire. L'objectif principal était le délai nécessaire à l'admission des victimes selon les contraintes du secteur.

Méthode: Un même exercice de catastrophe était réalisé dans 10 SAMU sur un outil informatique estimant les moyens de transferts, les capacités d'accueil des hôpitaux, et l'état réel du trafic. La répartition de toutes les victimes était décidée par les équipes médicales locales. Le site de l'incident était choisi en fonction des risques locaux en deux groupes : soit sur le lieu de grands rassemblements (A), soit sur un site rural (B).

Résultats: Les contraintes liées au périmètre d'action étaient très différentes selon les sites tests : d'une part, le nombre d'équipes de transfert médical pouvant se rendre sur site dans l'heure (Hélicoptère [1-11] ; SMUR [2-35]), et d'autre part, le nombre de places pour les victimes dans les hôpitaux accessibles dans un délai de transport d'une heure (équipes chirurgicales disponibles [24-112]). Dans les lieux de rassemblement (A), les délais médians étaient de 0h56 pour l'arrivée des équipes médicales, 1h20 pour le départ des victimes du site, 1h46 pour l'arrivée dans un hôpital. Dans les sites ruraux (B) les délais médians étaient de 1h04 pour l'arrivée des équipes médicales, 1h42 pour le départ des victimes du site, 3h20 pour l'arrivée dans un hôpital.

Conclusion: Ces données fournissent une estimation des délais de gestion possibles d'un AMAVI pour différents sites. Il permet une formation standardisée à la répartition d'un grand nombre de victimes, tout en tenant compte des spécificités du territoire et de ses ressources. Il identifie les domaines où les ressources sont dépassées, afin que les approvisionnements et les opérations puissent être adaptés avant la crise. Des travaux supplémentaires seront nécessaires pour évaluer si la pré-formation améliore l'efficacité des soins aux blessés massifs.

TITLE : DISTRIBUTION OF MASS CASUALTY INCIDENT VICTIMS : TRAINING AT 9 MASS GATHERINGS OR RURAL SITES ACCORDING TO SURGE CAPACITY OF HOSPITALS AND MEDICAL TRANSFER TEAMS.

ABSTRACT :

Objective: Mass casualty incidents (MCI) are rare, and the quantitative assessment of possible responses is difficult. The objective of this study was to simulate the average European incident at several sites of large gatherings or isolated places in the country, to observe the required time for care and admission.

Methods: The same disaster exercise was carried out with 10 emergency medical service (EMS) teams using a computer tool that estimated the means of transfers, hospital surge capacity, and actual road traffic. The distribution of all victims was decided by local medical teams in large gatherings (A) or at a rural site (B).

Results: The median delays for medical teams arrival were 56 min (A) or 64 min (B), for the departure of victims from the site 80 min (A) or 102 min (B), for arrival at a hospital 106 min (A) or 200 min (B).

Conclusions: This study provides an estimate of possible management times for different sites using standardized training for the distribution of a large number of victims.

DISTRIBUTION OF MASS CASUALTY INCIDENT VICTIMS : TRAINING AT 10 MASS GATHERINGS OR RURAL SITES ACCORDING TO SURGE CAPACITY OF HOSPITALS AND MEDICAL TRANSFER TEAMS.

INTRODUCTION :

The WHO defines a mass casualty incident as any event that results in a number of casualties large enough to disrupt the normal course of emergency and health care services (1). In order to develop a response to these situations, the Academy of Emergency Medicine proposed five pillars including planning and training at its 2006 congress (2). In the preparedness phase, the focus is on making logistical decisions, prepositioning of relief supplies planning of evacuation routes (3-5). The aim of the response phase is to preserve the lives of victims, manage casualty evacuation and relief commodity distribution (6-9).

In these exceptional situations, emergency teams deployed on site must dispatch patients to proximate hospitals in proportion to their response capacity. The health care system must adapt quickly to a paradigm shift, implementing protocols for triage, adaptation of care, and coordination of human and material resources to increase acute care capacity while preventing the breakdown of medical systems (10,11). Planning requires knowledge of the number and types of victims of exceptional health situations and also an inventory of territorial health capacities. In Europe over the last 30 years, there have been 69 mass casualty incidents for which we know precisely the number of victims and necessary admissions. On average, there are 235 victims, including 20 deaths at the scene, 105 hospitalized victims of which 21 are in absolute emergencies (AE) (9% of all victims) (Article N°4).

In order to prepare hospitals, France defined a national strategy for the organization of health response (ORSAN), detailed in five plans according to the type of risk involved: mass casualty event, nuclear, radiological or chemical contamination, emerging biological risk, epidemic and climatic risk, and medical-psychological emergency (12,13). Hospital responses are divided into three stages: second-line centers (SL) (with surgical facilities but without an emergency department), first-line centers (FL) (emergency departments and surgical facilities available all day and night), including expert centers (Exp) (highly specialized services for patients requiring complete care with trauma centers, intensive care units, cardiothoracic surgeries, neurosurgeries, pediatric surgeries and resuscitations, and burns units). This strategy is organized around 13 Regional Health Agencies which must apply this strategy in their sector and define the expected and required care capacities. These capacities can be estimated according to the resources of each establishment with the MassCare indicator (14). It is based on the maximum capacity assessment based on the resources and activities of each establishment annually inventoried by the DRESS (Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques) and the capacity assessment available from ad hoc surveys (percentage of total hospital resources). These estimations have permitted the regional referents to define an expected capacity for each of their hospitals, according to the type of care (operating room or emergency room), the victim profile (adults and pediatrics) and the period of care (daytime or permanent care). For the planning process, these reports estimate the care resources available in the nearest hospitals for any specified site, and define the sector breakpoint accordingly to these resources. The breakpoint was defined as the number of resources available within one hour of the event site, calculated for all cities and priority sites (festivals, touristic sites, rail hubs). In the case of a real event, an immediate survey would adjust these estimates to the real capacities of the day, to assist in the decision process for the dispatch of victims.

Once known on the one hand the average number of victims expected in a mass event, and on the other hand the number of care places expected in each hospital, it would be interesting to test the distribution by experienced teams in different places.

The objective of this study was to test an incident in ten different cities, and the repartition of all victims, according to hospitals surge capacities, by local medical teams. The primary objective was the time required for victims admission. The secondary endpoint was the transfer resources required in each site to ensure this distribution.

METHOD :

Definition of the victim panel and territory resources:

The victim panel corresponds to the European average number of victims requiring hospital transfer (21 AEs, 84 REs). The distribution of injuries, vital signs, and the initial care time were taken from the data of the first 105 victims hospitalized in a real mass casualty incident (15). The medical teams available for transfers were estimated on the basis of the resources declared by each hospital to the DREES and the transport times recorded on the actual day by a traffic conditions calculation interface.

Dispatching Test:

The 10 simulations tests were planned between June 2022 and June 2023, directly on site with the teams of each Emergency Medical Service concerned. These tests consisted of simulating requests for evacuation of many victims to hospitals in the area. For each test, the requests were processed for two hours by two regulatory doctors and two experienced assistants from the same team and sector. The site of the mass casualty incident was chosen according to the local risks in two groups: either on place of mass gatherings (A) or on rural sites (B).

At the beginning of the exercise, medical regulators were briefed on the scenario and discovered the number of victims according to the on-site assessments simulated by phone calls made by regulation assistants. This information was compiled into an operational procedure accessible to the crisis manager. On the one hand the computer interface indicated medical transfer teams able to get to the site within the hour (by helicopter (HMT), or by ambulance (AMT)), and permanent stock of material for mass casualty care (PSM). On the other hand, interface indicated the available capacity around the site according to the type of care (operating room or emergency), and the age of the patient (adult or pediatric). The suggested choices were classified by increasing the arrival time, then by the hospital expertise, then by the number of remaining places.

Care delays :

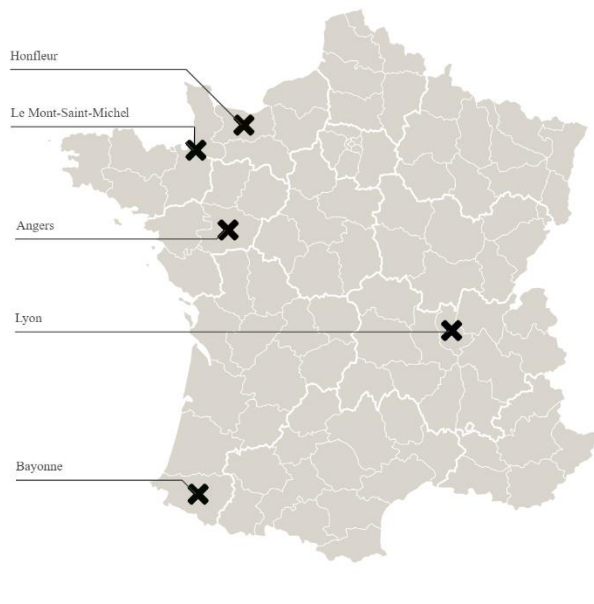
Transfer times were estimated based on actual transportation times by road traffic between the site of the event and each of the destination hospitals. This transport time was increased by the patient installation time of 10 min by road transport and 30 min for transport by helicopter. The delays recorded were the decision to engage the medical team and the appropriate transport, the arrival of the medical teams on site, the departure and the arrival of these victims at the destination hospital. For each tested site, medical teams, hospital capacities, and transport time were different. This does not allow the tests to be compared to each other. This observes the possible delays for each site according to its own constraints and decision delays.

RESULTS :

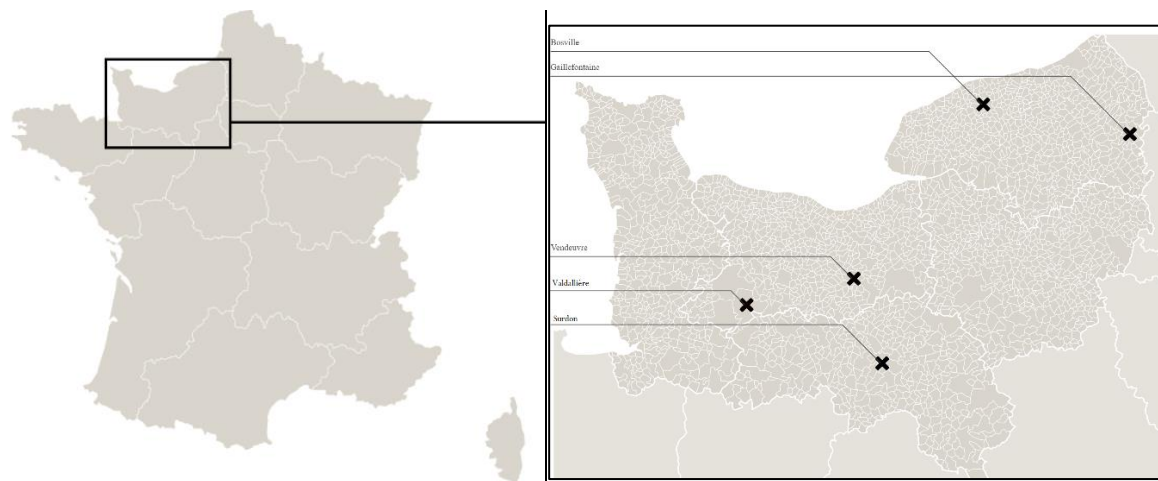
The dispatch of the average panel of victims was done by 9 Emergency medical service teams on one site each: 4 mass gatherings (A) (Tourist site of Mont Saint Michel, Arena Stadium of Lyon, popular feria of Bayonne, Grand parade of the Armada of Honfleur) and 5 rural sites (B : railway junctions of Valdallière, Gailfontaine, Vandeuve, Bosville, Surdon). One test was excluded (postponed outside the collection period). The 64 participants were experienced emergency doctors and regulation assistants. All absolute emergency victims were identified among the panel and evacuated in priority.

The sites of mass gatherings were spread all over the country. The rural test sites were spread across an administrative region. (Figure 1) The constraints linked to the scope of action were very different between the test sites: on the one hand, the number of medical transfer teams able to get to the site within the hour (Helicopter [1-11]; EMT [2-35]), and on the other hand, the number of places for victims in hospitals accessible within an hour's transport time (surgical teams available [24-112]). (Figure 2).

In mass gathering sites, half of the medical teams required arrived within 0h56 [min 0h36 in Lyon; max 1h03 in Bayonne]; half of the AE victims left the site within 1h20 [min 1h03; max 1h44]; half of the victims arrived at the destined hospitals within 1h46 [min 1h22; max 3h59] (Figure 3a). In rural sites, half of the medical teams required arrived within 1h04 [min 0h55 in Surdon; max 1h15 in Valdallière]; half of the AE victims left the site within 1h42 [min 1h24; max 3h45]; half of the victims arrived at the destined hospitals within 3h20 [min 2h01; max 4h26] (Figure 3b). Follow-up was detailed by site (Figure 4) and for each patient. (Vandeuve, Figures 5).



A - Mass casualty incident tested in mass gatherings sites



B – Mass casualty incident tested in rural sites

Figure 1 : Map with each training site for mass casualty incident : mass gatherings (A) or rural sites (B)

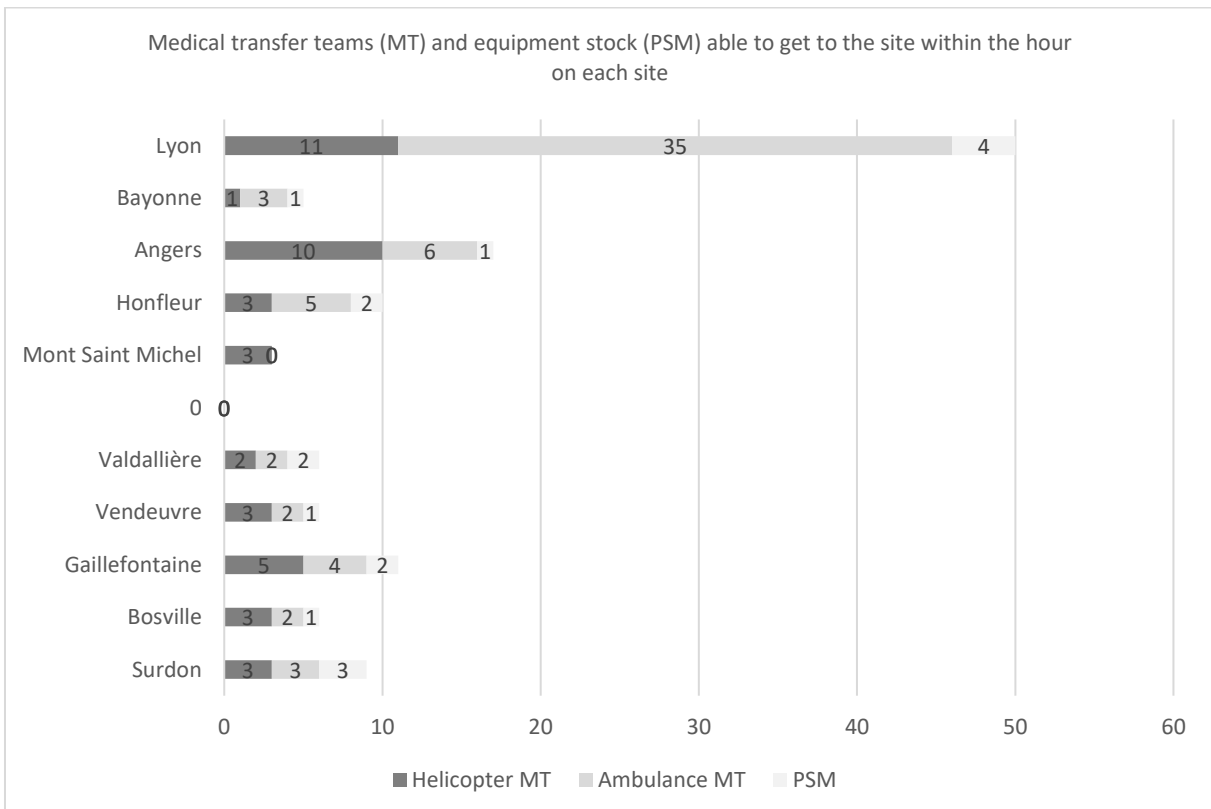
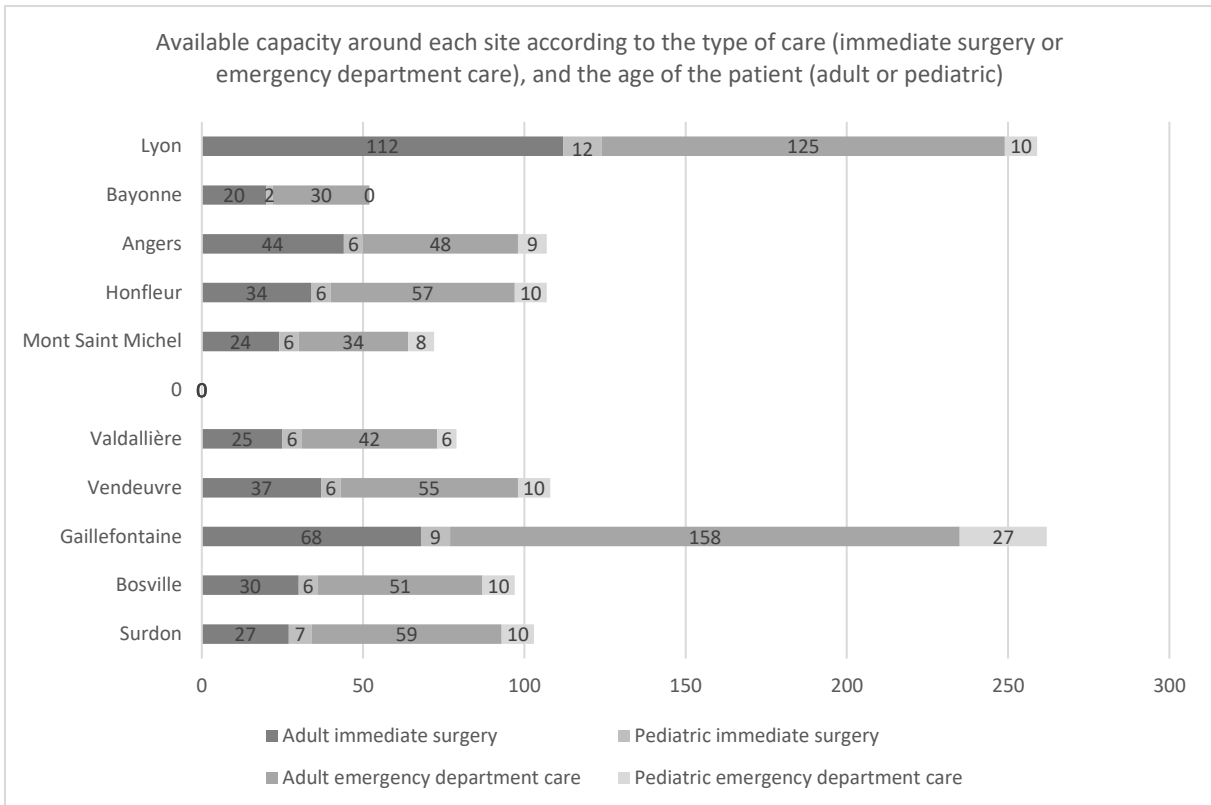


Figure 2 : available surge capacity of hospitals around each site tested: the number of eligible victims is determined according to the total resources of the establishment, and an estimated percentage available based on ad hoc surveys

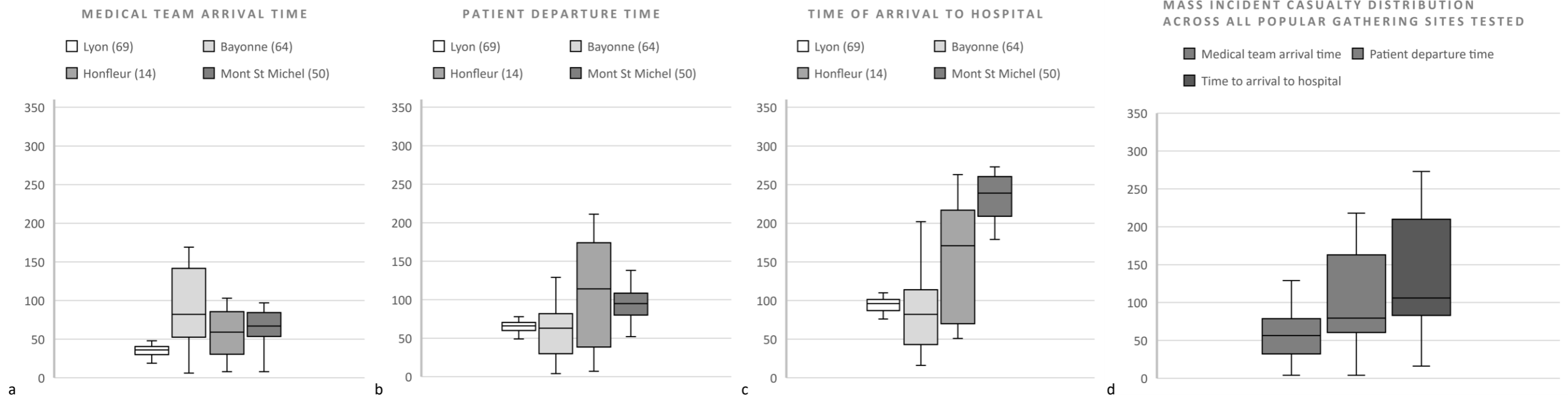


Figure 3A : Distribution delays for 21 absolute emergency (AE) victims in mass gatherings sites. a : Arrival time of the medical transfer teams on the 4 tested sites. b : Time of departure of the 21 AE victims. c : Arrival time to hospital. D : Overall management of the 21 AE victims on all sites tested.

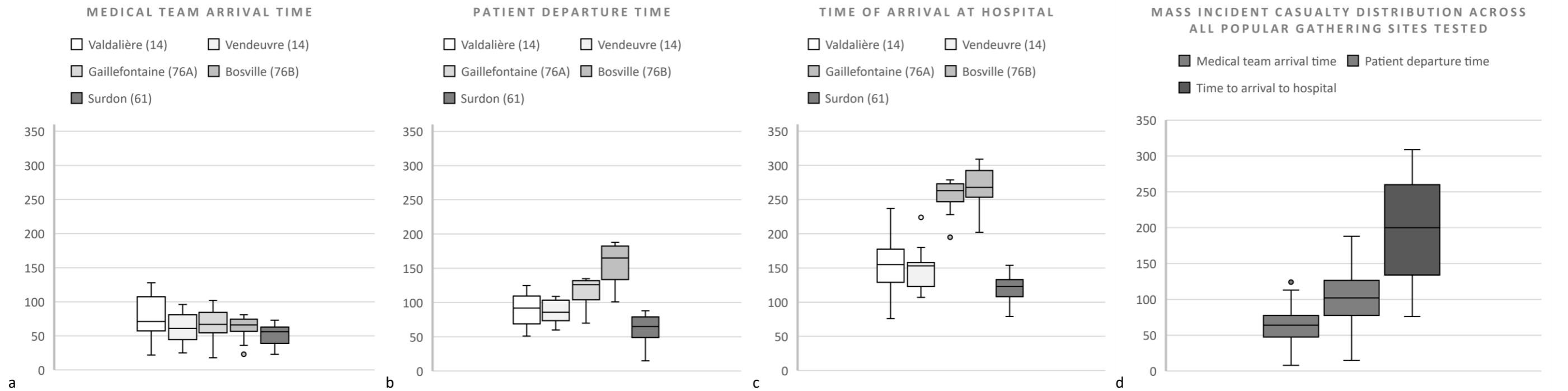
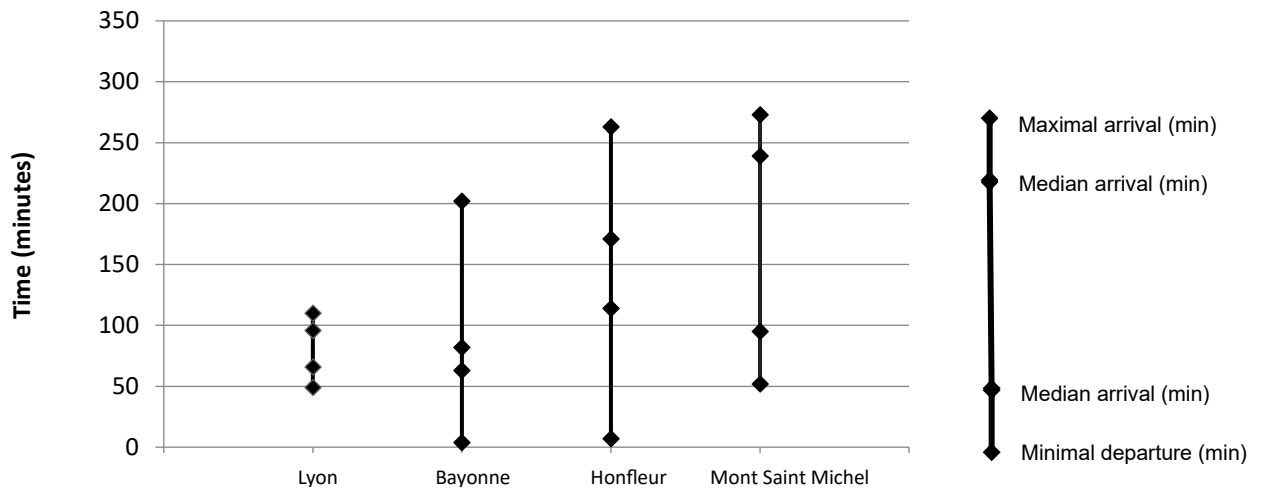


Figure 3B : Distribution delays for 21 absolute emergency (AE) victims in rural sites. a : Arrival time of the medical transfer teams on the 4 tested sites. b : Time of departure of the 21 AE victims. c : Arrival time to hospital. D : Overall management of the 21 AE victims on all sites tested.

A

Departure and arrival of the 21 EA victims in each mass gathering site.



B

Departure and arrival of the 21 EA victims in each rural site

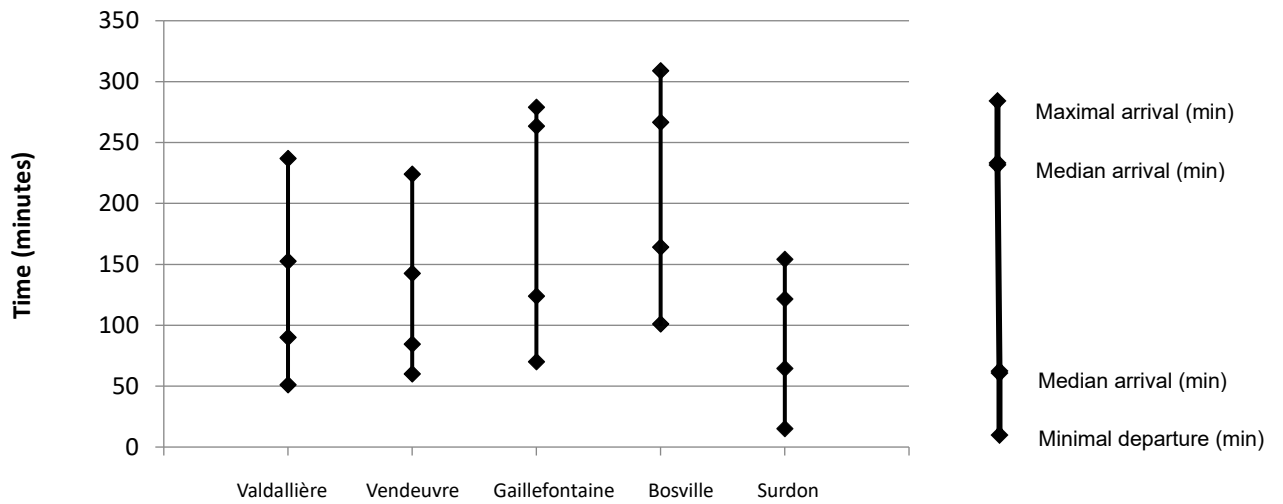


Figure 4 : Departure and arrival of the 21 absolute emergency victims (AE), in mass gatherings (A) or rural sites (B).

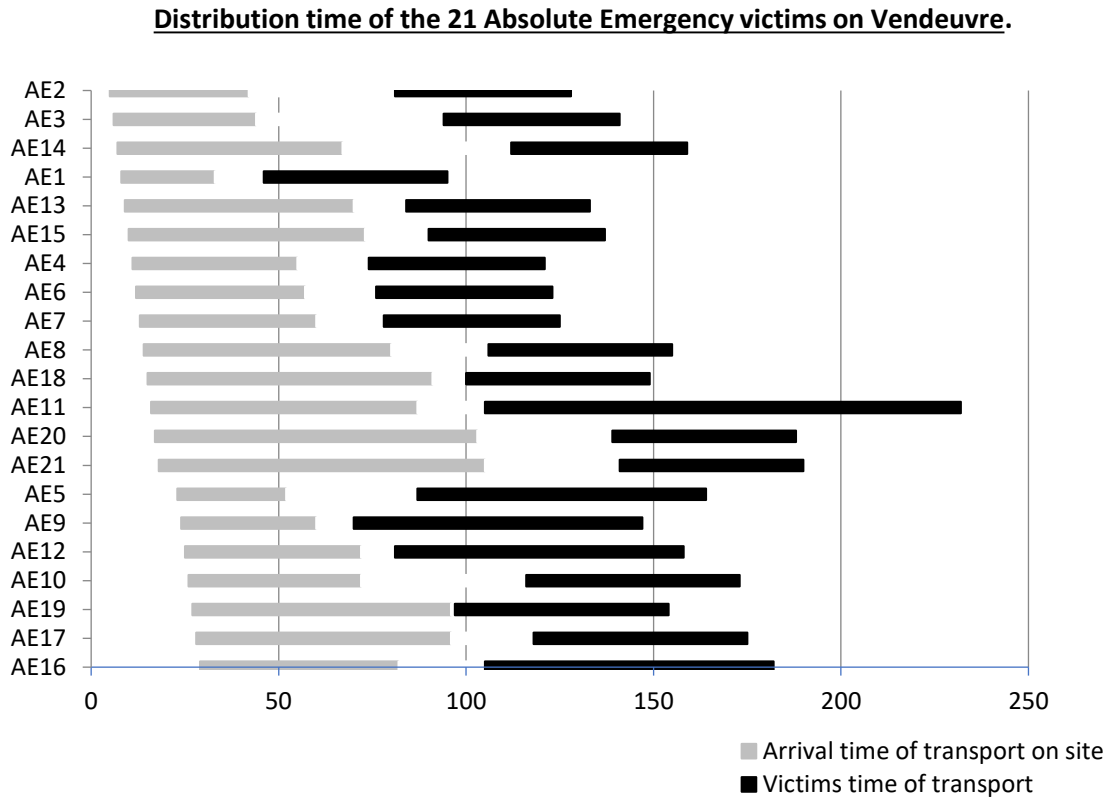


Figure 5: Example of the distribution times of 21 absolute emergency victims on the Vendeuvre site (14). The first delay corresponds to the time of deployment of the resources at the beginning of the event (from 1 minute to 22 minutes), the second delay corresponds to the time of arrival of the transports on the site. The third delay corresponds to the installation of the patient in the transport and the decision of its orientation, the last delay is the time of transport of the patient towards the adapted health establishment. All transport time (orange and yellow bars) are incompressible, unlike the so-called "organizational" times represented by the white bars. "UA" is the abbreviation of the French version of absolute emergency.

DISCUSSION

This study examines the possible response to a standard exceptional situation, in different locations. Once known on the one hand the average number of victims expected in a mass event, and on the other hand the number of care places expected in each hospital around, the doctors of the local emergency medical service chose the dispatch which seemed to them adequate. In mass gatherings sites, half of the medical teams required arrived within 0h56; half of the AE victims left the site within 1h20 and arrived at hospitals within 1h46. In rural sites, these times are lengthened (respectively 1h04; 1h42; 3h20).

As a consequence this initial delay is often independent of hospital surge capacity. Dispatching time can be reduced, requiring good coordination between medical transfer team, casualty evaluation, hospital surge capacity, rapid ambulances or helicopter availability. Early and massive deployment of distant ambulances and medical teams can anticipate long crisis.

This work has a number of strengths. It has enabled standardized training in the dispatch of large numbers of victims, while taking into account the specific characteristics of the area and its resources. It has identified where resources are exceeded, so that supplies and operations can be adapted before

the crisis. It has enables early activation of remote resources that will be needed on site in the next few hours. It shows managers the immediate impact of the first evacuations, and has anticipated the impact of the next few hours.

This study has some limits. It has assessed evacuation times based on resources and distances, but did not take into account blockages and difficult access to victims on site. For example, during the Paris attacks in 2015, Raux and Carli observed two waves of hospital arrivals, 150 and 240 minutes after the injuries (15) and 50% of victims were arrived into 180 min after injuries. But we know that it includes there were confined in same place for a significant time because the risk persisted. In most of these mass casualty situations, some people do not follow the pre-established rule : victims inaccessible or fleeing to hospital, going home. But these assessments make it possible to draw up an initial statement of the means and time needed to ensure the evacuation of all the victims, for different sites and overall. In another case of attacks in an urban environment in Manchester in 2017, the peak of arrivals in the emergency room occurs within the hour (11:30 p.m.), at 5 a.m. for the operating theaters (3:30 a.m.), at 8 a.m. for the services intensive care (8:30) (16,17). In urban settings, the majority of victim can reach a hospital by themselves but they would risk to saturate the nearby hospital for potentially less serious victims. This mechanism of fugitives in urban areas can also lead to a massive arrival of victims at the hospital before the situation is known and the measures put in place (18). This is the example of the St Luke clinic in the Tokyo sarin attack which led to contamination of caregivers and rapid disorganization of the structure (19). Location, available transports, hospital load capacities, type of risk and injuries will influence the response time of a real situation. Indeed the medical teams, hospital capacity and transport times are different for each site tested. This makes it impossible to compare the tests or the teams. This work observes the possible delays for each site according to its own constraints and decision times. It provides a snapshot of the transfer and care times achievable according to the average constraints of the site tested. It allows teams to be trained in the constraints of their workplace. In the event of a real event, the situation will be unique: the constraints will be different and an immediate survey will enable the actual constraints to be adjusted (available transfer teams, hospital places, road traffic). Medical choices will also be different. Further work will be needed to assess whether pre-training improves the efficiency of care. The average panel makes it possible to build a marker of excess specific to the territory, in order to train its teams and adapt the response strategy in advance.

However, managing mass casualty incidents is not just about trauma cases, although injuries are a significant part of the workload in many incidents (20). The disaster preparedness must integrate these specific risks by detailing the particularities for the care of the victims and the specific resources and the general strategy which is specific to them (emerging infectious risk, radiological, nuclear, chemical contamination, severe burns, evacuation, etc.) (21)

CONCLUSION

Planning mass casualty event response, requires knowledge of the territory and the risks relevant to it. Training exercises are therefore an efficient way of appropriating these risks, and practising them on the scale of institutions, healthcare facilities and medical teams. An average number of victims based on a literature review makes more reproducible and externally valid than improvised scenarios. These data provide a robust estimation of breaking points on any site in the country for mass casualty preparedness. Further work will be needed to assess whether pre-training improves the efficiency of mass casualty care.

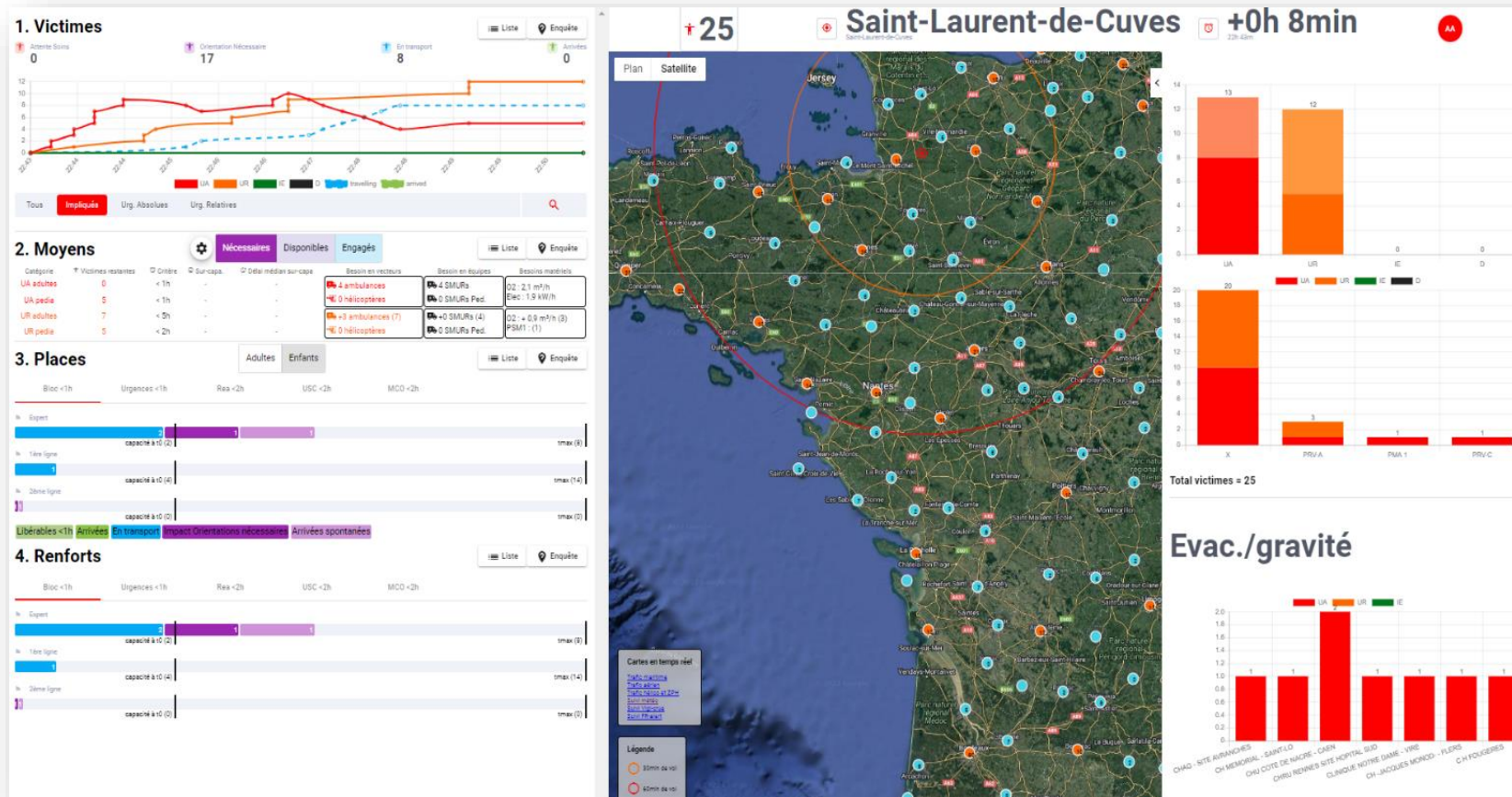


Figure S1 : Live monitoring screen of 4 indicators (on left): 1. remaining patients 2. means of transfer, 3. Surrounding hospital capacity and 4. reinforcements needed to ensure evacuation. Legend: A. Simulation: The number of victims in the hospital and their severity are estimated based on the annual occupancy rate. Their distribution is calculated either with an unlimited number of ambulances, or limited by those installed in the sector. Reinforcements are calculated to respect the evacuation time of all patients. B: In real event, patients, ambulances, places, departures, and traffic conditions are updated in real time.

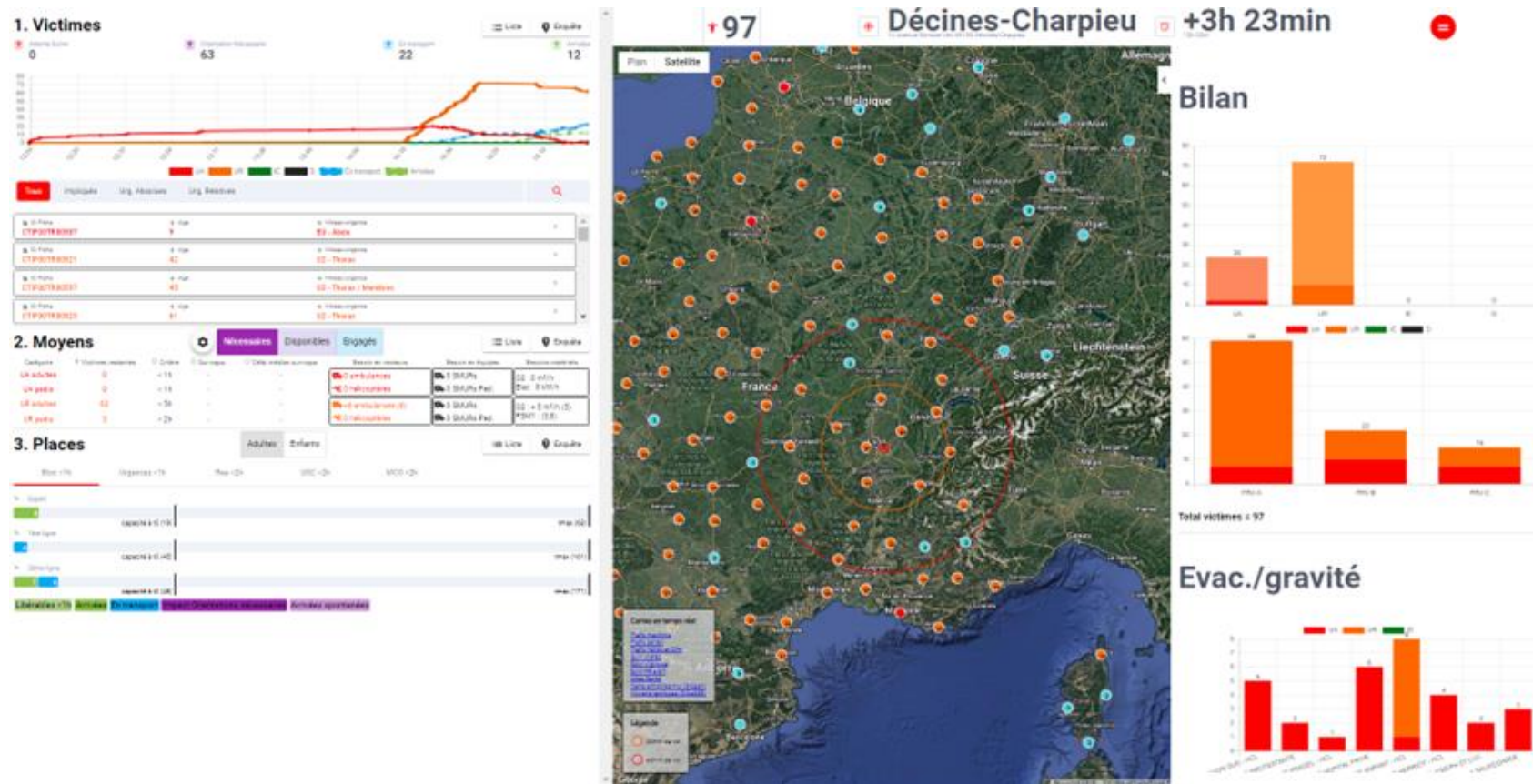


Figure S2. SSEVAC "dashboard" interface for crisis management planning and assistance: display of victims, resources and places in progress, at the end of the exercise in Lyon (Décines Charpieu stadium).

REFERENCES

1. Organization WH. Mass casualty management systems : strategies and guidelines for building health sector capacity. World Health Organization; 2007. p. 34 p.
2. Bernstein SL, Boggs R, Derlet R, Handly N, Hinfey P, Kamens D. Emergency Department Crowding: Past, Present, and Future Directions [Internet]. 2006 [cité 20 août 2022]. Disponible sur: https://www.aaem.org/UserFiles/file/boarding_overcrowding.pdf
- 3- Z. Dönmez, B.Y. Kara, O. Karsu, F. Saldanha-da-Gama. Humanitarian facility location under uncertainty: Critical review and future prospects. *Omega*, 102 (2021), Article 102393
- 4- S.A. MirHassani, F. Garmroudi, F. Hooshmand, Modeling and solution algorithm for a disaster management problem based on Benders decomposition. *IIE Transactions*, 54 (12) (2022), pp. 1161-
- 5- V. Bayram, H. Yaman, Shelter location and evacuation route assignment under uncertainty: A benders decomposition approach. *Transportation Science*, 52 (2) (2018), pp. 229-496
- 6- M.D. Dean, S.K. Nair, Mass-casualty triage: Distribution of victims to multiple hospitals using the SAVE model. *European Journal of Operational Research*, 238 (1) (2014), pp. 363-373
- 7- R.Z. Farahani, M.M. Lotfi, A. Baghaian, R. Ruiz, S. Rezapour. Mass casualty management in disaster scene: A systematic review of OR&MS research in humanitarian operations. *European Journal of Operational Research*, 287 (3) (2020), pp. 787-819
- 8- A.M. Caunhye, X. Nie, A stochastic programming model for casualty response planning during catastrophic health events. *Transportation Science*, 52 (2) (2018), pp. 229-496
- 9- K.H. Chang, T.Y. Hsiung, T.Y. Chang, Multi-commodity distribution under uncertainty in disaster response phase: Model, solution method, and an empirical study. *European Journal of Operational Research*, 303 (2) (2022), pp. 857-876
10. Hick JL, Einav S, Hanfling D, Kissoon N, Dichter JR, Devereaux AV, et al. Surge Capacity Principles: Care of the Critically Ill and Injured During Pandemics and Disasters: CHEST Consensus Statement. *CHEST*. 1 oct 2014;146(4):e1S-e16S.
11. Barbisch DF, Koenig KL. Understanding Surge Capacity: Essential Elements. *Academic Emergency Medicine*. 2006;13(11):1098-102.
12. Guide de gestion des tensions hospitalières et des situations sanitaires exceptionnelles au sein des établissements de santé [Internet]. Ministère de la Santé et de la Prévention. 2023 [cité 29 mai 2023]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/securite-sanitaire/guide-gestion-tensions-hospitalieres-SSE>
13. France, France, éditeurs. Aide à l'organisation de l'offre de soins en situations sanitaires exceptionnelles: guide méthodologique. Paris: Ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes, Direction générale de la santé, DGS; 2014.
14. Aubrion A, Eid Y, Lefevre-Scelles A, Laquievre A, Villedieu F, Reichling A, et al. Defining hospital surge capacities and regional breakpoints for mass critical casualties: the national MassCare indicator. 2022;
15. Raux M, Carli P, Lapostolle F, Langlois M, Yordanov Y, Féral-Pierssens AL, et al. Analysis of the medical response to November 2015 Paris terrorist attacks: resource utilization according to the cause of injury. *Intensive Care Med*. 1 sept 2019;45(9):1231-40.

16. Ross J Craigie, P J Farrelly, R Santos, S R Smith, J S Pollard, D J Jones. Manchester Arena bombing: lessons learnt from a mass casualty incident. *BMJ Mil Health*. 1 avr 2020;166(2):72.
17. Dark P, Smith M, Ziman H, Carley S, Lecky F. Healthcare system impacts of the 2017 Manchester Arena bombing: evidence from a national trauma registry patient case series and hospital performance data. Dark P, Smith M, Ziman H, Carley S, Lecky F, Davis N, et al., éditeurs. *Emergency Medicine Journal*. 2021;38(10):746-55.
18. Turner et al. *Critical Care* (2016) 20:362 Prehospital management of mass casualties civilians shootings : a systematic literature review. DOI 10.1186/s13054-016-1543-7
19. Okumura T, Suzuki K, Fukuda A, Kohama A, Takasu N, Ishimatsu S, et al. The Tokyo Subway Sarin Attack: Disaster Management, Part 2: Hospital Response*. *Academic Emergency Medicine*. 1998;5(6):618-24.
20. World Health Organization. (2007). Mass casualty management systems : strategies and guidelines for building health sector capacity. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43804>
21. Tallach R, Einav S, Brohi K, Abayajeewa K, & al, Global Initiative for Mass casualty Incidents Learning (GIMiLi) Collaborative. Learning from terrorist mass casualty incidents: a global survey. *Br J Anaesth*. 2022 Feb;128(2):e168-e179. doi: 10.1016/j.bja.2021.10.003.

Chapitre 4 : Evaluation des capacités de mobilisation des réanimations en situation de risque émergent biologique, selon l'activité chirurgicale programmée des établissements



- **Article 6 : Maintaining elective surgery capacity while freeing up resuscitation capacity: the challenge of COVID-19 epidemic resumption,**

Statut : publié au *British Journal of Surgery*, Volume 108, Issue 4, April 2021, Pages e156–e157, <https://doi.org/10.1093/bjs/znab006>

Maintaining elective surgery capacity while freeing up resuscitation capacity: the challenge of COVID-19 epidemic resumption

A. Aubrion^{1,*}, A. Alves², J.P. Helye³, E. Roupie⁴ and L. Guittet⁵

¹Normandie Univ, UNICAEN, CHU de Caen Normandie, Emergency Medical Service (SAMU 14), Inserm ANTICIPE 1086, 14000 CAEN, France

²Normandie Univ, UNICAEN, CHU de Caen Normandie, Digestive Surgery Department, Inserm ANTICIPE 1086, 14000 CAEN, France

³Normandie Univ, UNICAEN, CHU de Caen Normandie, Medical Information Unit, 14000 CAEN, France

⁴Normandie Univ, UNICAEN, CHU de Caen Normandie, Emergency Medical Service (SAMU 14), 14000 CAEN, France

⁵Normandie Univ, UNICAEN, CHU de Caen Normandie, Public Health Unit, Inserm ANTICIPE 1086, 14000 CAEN, France

*Correspondence to: SAMU 14 - Dr A AUBRION, Avenue Coˆte de Nacre, CHU De Caen, CS 30001, 14 033 Caen Cedex 9, France (e-mail: aubrion-a@chu-caen.fr)

The Covid-19 pandemic is challenging healthcare systems worldwide, especially ICU capacity. Availability in the ICU can be increased by postponing elective surgery to limit the need for downstream ICU beds or by temporarily increasing the capacity by using perioperative anaesthesia resources. During the initial French lockdown, all elective operations were postponed, and ICU capacity was temporarily doubled by transforming beds from acute care units or postoperative anaesthetic units¹. The ongoing postponement of non-essential surgeries worldwide to promote non-surgical care is unprecedented². It has been estimated that 28.4 million operations were cancelled globally in the spring of 2020, of which 90.2 per cent were for benign diagnoses or conditions³. Final arbitration between maintenance or postponement was based on evaluation by expert committees, guidelines from learned societies, pressure on ICU resources, and individual benefit versus risk analysis^{4,5}. The pandemic has become a long-term crisis that requires frugal surgical strategies with significant impact on ICU capacity. The authors' objective was to describe the direct impact of routine elective surgery on ICU capacity in adults in France.

All hospital stays of adults (aged 18 years or above) in France in 2018, recorded in the exhaustive national hospital PMSI database (accessed on ATIH platform), were analysed to describe ICU occupancy, focusing on surgical activity. Hospital surgical stays without entry by emergency wards were considered as a proxy of 'elective' surgery. The diagnosis-related groups (DRGs) involving the greatest number of days in the ICU for elective surgery were described by type of hospital.

In 2018, 239 930 adults stayed in an ICU for a total of 1 627 404 days, occupying an equivalent of 4459 beds (88 per cent of the 5050 overall French adult ICU capacity). Of these days in an ICU, 742 138 (45.6 per cent) were associated with surgical care.

Among those, 508 745 (68.6 per cent) related to elective surgery, occupying 1394 resuscitation beds (31.3 per cent of all 4459 ICU beds), located mainly in public university hospitals (62.0 per cent) or private hospitals (17.9 per cent).

Overall there were 5.5 million surgical hospital admissions in adults (2.8 million outpatient stays and 2.7 million inpatient stays). Only 3.5 per cent of the 2.2 million elective inpatient surgical stays (EISSs)

led to any time spent in the ICU, for a mean length of stay (LOS) of 6.60 days (0.22 days in ICU per EISS overall). The top 20 DRGs associated with highest ICU occupancy for elective surgery represented only 211 903 stays (9.6 per cent of EISSs) for 1066 ICU beds (76.5 per cent of the elective surgery ICU occupancy) (Table 1). These DRGs were mainly life-saving interventions (oncology, major cardiac or neurosurgery), and represented approximately 80 per cent of ICU occupancy in university and private hospitals, 55 per cent in non-university public hospitals, and 70 per cent in non-profit private hospitals. In these

DRGs, 27.6 per cent of stays involved the ICU for a mean LOS of 3.3–26.2 days.

ICU occupancy was concentrated on a few major surgical procedures in expert centres. The majority of elective surgery interventions have no direct impact on ICU occupancy. Expert centres usually perform all types of operations, from simple inpatient to major expert surgery. In expert centres, reconciling ICU need due to both COVID-19 and major surgery would require increasing the ICU capacity by temporarily reassigning staff and material from operating theatres at the expense of minor elective surgery. Extending the surgical capacity of non-expert centres would allow the unperformed activity of expert centres to be accommodated. Such adaptation could be made in a dynamic way.

Favouring an adaptation of surgical organization at the regional level rather than a hospital-based decision for postponement would optimize surgical and ICU capacity, and provide equality for patients regardless of the centre in which they are to have surgery.

Received: October 30, 2020. Revised: November 25, 2020. Accepted: December 27, 2020
 © The Author(s) 2021. Published by Oxford University Press on behalf of BJS Society Ltd. All rights reserved.
 For permissions, please email: journals.permissions@oup.com

2 | BJS, 2021, Vol. 00, No. 0

Table 1 Top 20 most frequent diagnosis-related groups in ICUs for non-emergency ward admission inpatient surgical stays (proxy for elective surgery) according to hospital type.

	Stays		Mean LOS in ICU (days)	No. of ICU beds [†]					
	n	% of stays		Overall		Public hospitals		Private hospitals	
			n	% of beds	University	Non-university	Non-profit	Profit	
Valve replacement surgery with ECC	14 203	90.7	4.3	151.4	10.9	90.5 ^{#2}	3.0	12.6 ^{#1}	45.3 ^{#1}
Craniotomy not related to trauma	19 234	21.0	11.6	127.6	9.2	100.3 ^{#1}	11.8 ^{#2}	9.4 ^{#3}	6.1 ^{#10}
Aortocoronary bypass without cardiac catheterization nor coronarography	11 421	86.9	3.3	89.4	6.4	47.6 ^{#4}	2.4	8.5 ^{#5}	31.0 ^{#2}
Major intervention on small intestine and colon	50 171	7.2	8.9	87.4	6.3	39.2 ^{#6}	24.5 ^{#1}	6.7 ^{#6}	17.1 ^{#4}
Major intervention on chest	21 883	14.9	7.8	69.6	5.0	32.0 ^{#10}	8.3 ^{#3}	10.4 ^{#2}	18.8 ^{#3}
Other cardiothoracic or vascular intervention with ECC	4801	89.6	5.7	67.2	4.8	45.7 ^{#5}	0.9	8.4 ^{#4}	11.7 ^{#7}
Intervention for multiple severe injury	2135	78.3	12.7	58.1	4.2	54.0 ^{#3}	3.2	0.3	0.6
Valve replacement with ECC and cardiac catheterization or coronary artery surgery	3215	93.2	6.7	55.0	3.9	35.5 ^{#8}	0.3	5.7 ^{#7}	13.6 ^{#5}
Major revascularization surgery	25 790	12.9	5.3	48.2	3.5	24.4	6.6 ^{#4}	4.8 ^{#9}	12.5 ^{#6}
Craniotomy for trauma	3014	35.4	13.8	40.3	2.9	35.2 ^{#9}	2.6	1.2	1.4
Transfer/short stay for other cardiothoracic or vascular procedure without ECC	3159	53.4	8.0	36.8	2.6	28.7	1.6	2.1	4.7
Liver transplantation	1017	91.4	14.3	36.4	2.6	36.4 ^{#7}	0.0	0.0	0.0
Intervention on oesophagus, stomach or duodenum for malignant tumour	4601	26.4	10.4	34.4	2.5	22.2	4.9 ^{#7}	3.5	3.8
Aortocoronary bypass with cardiac catheterization or coronarography	2913	91.4	4.7	34.2	2.5	22.8	0.3	1.5	9.5 ^{#8}
Intervention on liver, pancreas and portal vein or vena cava for malignant tumour	8868	20.7	6.5	32.7	2.3	18.0	4.0 ^{#9}	5.3 ^{#8}	5.4
Heart transplantation	325	100	26.2	23.3	1.7	21.9	0.0	1.4	0.0
Intervention on kidney and ureters, and major bladder surgery for malignant tumour	18 051	7.2	5.4	19.5	1.4	5.3	5.6 ^{#6}	4.4 ^{#10}	4.2
Burns with skin graft	1227	25.0	23.0	19.3	1.4	13.0	6.3 ^{#5}	0.0	0.0
Rectal resection	15 599	6.4	7.0	19.1	1.4	6.8	3.8 ^{#10}	2.3	6.2 ^{#9}
Lung transplantation	276	99.3	22.0	16.5	1.2	12.7	0.0	3.8	0.0
Overall 20 DRGs with highest ICU occupancy	211 903	27.6		1066.4		691.0	90.0	82.8	201.6
Overall elective surgical stays and related occupied ICU beds [*]	2 210 284	3.5		1393.8		863.7 (62.0)	162.8 (11.7)	117.6 (8.4)	249.7 (17.9)
Proportion related to the 20 most frequent types of stay (%)	9.6			76.5		80.0	55.3	70.4	80.7

Values in parentheses are percentages. The rank of diagnosis-related group (DRG) among ICUs, by hospital type (university public hospitals, other public hospitals, non-profit and profit private hospitals). LOS, length of stay; ECC, extracorporeal circulation; DRG, diagnosis-related group/related group.

Disclosure. The authors declare no conflict of interest.

References

1. Lefrant J-Y, Fischer M-O, Potier H, Degryse C, Jaber S, Muller L et al. A national healthcare response to intensive care bed requirements during the covid-19 outbreak in France. *Anaesth Crit Care Pain* 2020;39:709–715
2. Søreide K, Hallet J, Matthews JB, Schnitzbauer AA, Line PD, LaiPBS et al. Immediate and long-term impact of the COVID-19 pandemic on delivery of surgical services. *Br J Surg* 2020;107: 1250–1261
3. COVIDSurg Collaborative. Global guidance for surgical care during the COVID-19 pandemic. *Br J Surg* 2020;107:1097–1103
4. Diaz A, Sarac BA, Schoenbrunner AR, Janis JE, Pawlik TM. Electivesurgery in the time of COVID-19. *Am J Surg* 2020;219:900–902
5. American College of Surgeons. COVID-19 Guidelines for Triage of Cancer Surgery Patients. <https://www.facs.org/covid-19/clinicalguidance/elective-case/cancer-surgery> (accessed 14 November 2020)

Chapitre 5 : Cartographie de la crise pour le directeur médical de crise d'un établissement de santé (DMC)



- **Article 8 : Directeur Médical de Crise : Cartographie de la crise pour permettre le suivi et la caractérisation de la situation**

« Cartographie de la crise pour permettre le suivi et la caractérisation de la situation »

Antoine Aubrion, Lauriane Hardel

Messages clés
<ul style="list-style-type: none"> • La cartographie de crise peut décrire les locaux d'un établissement, comme structurer les étapes clés de mise en sécurité de la structure, des patients et des personnels. • La cartographie de crise du DMC et de la CCH doit faire l'objet d'une construction en amont dans le cadre de l'élaboration du plan de gestion des tensions hospitalières et situations exceptionnelles de l'établissement. • La CCH comporte deux missions centrales: la prise de décisions d'une part, et la coordination des cellules fonctionnelles d'autre part. • Les cellules fonctionnelles requises sont la cellule A « Anticipation », B « bilan de situation », C « Communication », « sécurisation des circuits », D « Distribution des soins », E « Equipes renforts », F « Fonctions supports et identitovigilance ». • La CCH doit faire l'objet d'entraînements réguliers de l'ensemble des intervenants afin d'instaurer une culture de la réponse au risque. • Les temps clés de gestion de crise correspondent aux étapes décrites en psychologie cognitive, qui permet de proposer certains principes de construction des supports. • La formalisation de ces étapes sur tableaux permet une vision complète et partagée des informations recueillies et des décisions mises en œuvre. • Les données de flux doivent bénéficier d'indicateurs automatisés sous forme d'un tableau de bord du directeur médical de crise, connecté aux outils métiers.

1. Une cartographie de crise permettant le suivi, la caractérisation de la situation

La cartographie de crise associait dès ses origines des éléments géographiques minimaux avec des stratégies opérationnelles militaires liées au terrain concerné, à ses risques et ses menaces. L'évolution technologique a permis d'augmenter les possibilités de ces outils, en termes de précision, d'adaptabilité d'échelle, de diversité et de réactivité des données (1). Aujourd'hui chaque secteur d'activité a pu intégrer une cartographie de crise dans ses process métiers et cognitifs. La cartographie de crise peut décrire les locaux d'un établissement, comme structurer les étapes clés de mise en sécurité des personnes et des biens (2). La crise covid a montré l'importance d'outils de suivi efficaces pour le suivi des contaminations par secteur pour le grand public ; autant que pour le suivi d'impact sur les secteurs de soins pour les gestionnaires d'établissements de santé (taux d'occupation, circuits différenciés, etc). La cartographie de crise d'un directeur médical de crise doit donc associer carte topographique de son établissement et carte mentale de ses missions. Cette stratégie bipède doit faire l'objet d'une construction en amont dans le cadre de l'élaboration du plan de gestion des tensions

hospitalières et situations exceptionnelles de l'établissement, adapté aux particularités de la structure, de son activité, et de ses risques inhérents. Ces supports constitués en amont doivent permettre de structurer les informations et aider la prise de décision. Ce plan doit faire l'objet d'entraînements réguliers de l'ensemble des intervenants afin de tester la validité des fiches réflexes et d'instaurer une culture cognitive de réponse au risque.

2. Les informations devant figurer sur cette cartographie et leurs modalités de report

La cartographie de crise du DMC et de la CCH doivent prendre en compte la chronologie de l'événement. Les temps clés de gestion de crise décrits par l'observatoire des systèmes de santé (ONU) et du guide de gestion des tensions hospitalières et des SSE 2023 (DGS-DGOS) correspondent également aux étapes décrites en psychologie cognitive (3-5). Ce parallélisme permet de proposer certains principes de construction des supports, pour tenter d'obtenir une aide à la décision optimale (Figure 1). En phase de **préparation**, les connaissances acquises, et leur réactivation régulière sont des facteurs déterminants pour constituer nos choix stratégiques le jour J (6). En phase **d'alerte**, planifier ses actions et maintenir son plan initial (7). Le nombre de tâches et sous-tâches à accomplir, identifiés avant l'action mise en œuvre, est l'un des déterminants du degré de réussite.

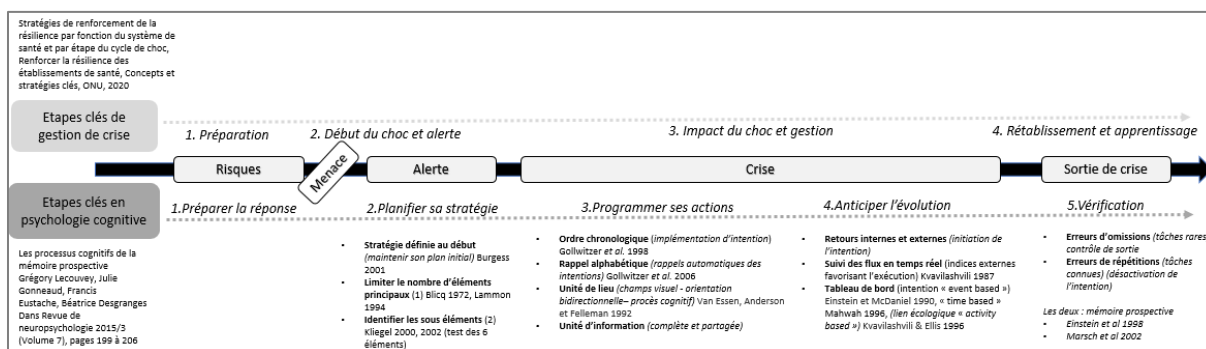


Figure 8 : (Figure originale) Principes de construction d'une cartographie de crise du DMC, reprenant les étapes clés décrites d'une part dans le référentiel Renforcer la résilience ONU2020, et d'autre part les étapes clés décrites dans les travaux sur les processus cognitifs.

En phase de **gestion**, l'organisation chronologique des missions et leur indexation à un repère automatique sont des facteurs d'amélioration importants. La visibilité et l'accès partagé aux informations est également à prendre en compte pour optimiser les interactions entre les acteurs. Les canaux d'information internes et externes, montantes et descendantes sont à définir. Les données de flux doivent bénéficier d'indicateurs automatisés permettant de disposer de l'information en temps réel des flux entrants non programmés, flux internes à l'établissement, et flux sortants (Figure 2). En cas de plan de mobilisation interne (niveau 1), ces indicateurs permettent d'accompagner les décisions de réorganisation (lits bloqués ou fermés), déprogrammation d'activités, ouverture des lits de réserve. En cas de plan de réponse

à une situation exceptionnelle (niveau 2), le suivi doit prendre en compte à la fois l'activité courante et les flux exceptionnels (afflux massif de victimes, arrivées spontanées, damage control). La phase de **sortie de crise** correspond à une étape de vérification des missions réalisées. Un point d'attention particulier peut être identifié sur les tâches rarement mises en œuvre (peu d'expérience de l'intervenant) qui font souvent l'objet d'erreurs d'omissions, alors que les tâches connues sont sources d'erreurs de répétitions (effet refuge).

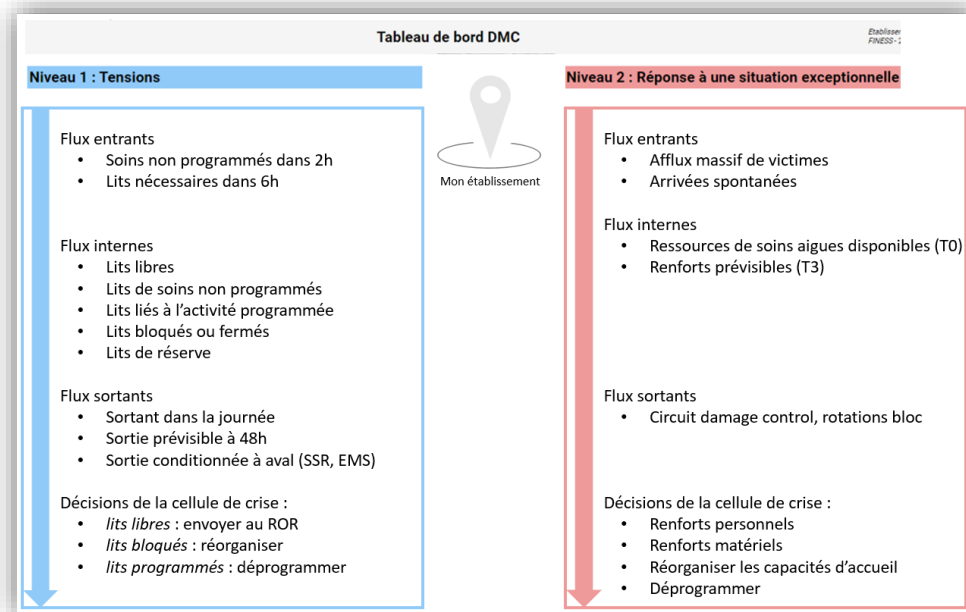


Figure 9: Description du tableau de bord du Directeur Médical de Crise : suivi des flux entrants, internes et sortants selon le niveau de mobilisation de l'établissement : niveau 1 : tensions, niveau 2 : SSE.

3) Le rôle du directeur médical de crise

Le directeur médical de crise assure un rôle central dans le suivi de la situation et la coordination des actions au sein de la Cellule de Crise Hospitalière. La cartographie de crise du DMC doit reprendre la structure de cette CCH en fonction des missions, des personnes ressources et de leurs interlocuteurs privilégiés. La CCH doit être adaptée au niveau de montée en puissance de l'établissement, à sa taille et configurée pour répondre à la situation à laquelle l'établissement est confronté. La structuration de la CCH peut être envisagée autour de deux missions centrales: la prise de décisions d'une part, et la coordination des cellules fonctionnelles d'autre part. Ces deux noyaux sont essentiels en CCH et doivent être bien distincts, quel que soit le niveau de réponse de l'établissement (niveau 1: tensions ou niveau 2: situation sanitaire exceptionnelle). En fonction de la typologie de l'événement les cellules fonctionnelles requises au sein de la CCH sont la cellule **A** « Anticipation », **B** « bilan de situation », **C** « Communication », « sécurisation des circuits », **D** « Distribution des soins »

pour l'organisation de la prise en charge médicale, **E** « Equipes renforts », **F** « Fonctions supports et identitovigilance » pour le soutien aux victimes, aux familles, aux équipes.

La cartographie des missions de la CCH peut être représentée par ces 6 étapes alphabétiques et chronologiques, sur un axe horizontal (Figure 3). Chacune de ces étapes distingue les informations en deux parties : pour l'ensemble de l'établissement, ou détaillées par service de soins concernés. La formalisation de ces étapes sur tableaux imprimés effaçables permet une vision complète et partagée des informations recueillies et des décisions mises en œuvre. Elle renforce la coordination des acteurs, l'enregistrement et le partage des informations clés. L'association du tableau de bord DMC connecté aux outils métiers et des tableaux Velléda de la CCH constitue un socle résilient de gestion de crise pour l'ensemble des acteurs. Ces tableaux accompagnent également la mise en œuvre de la sortie de crise, et constituent une ressource essentielle du retour d'expérience.

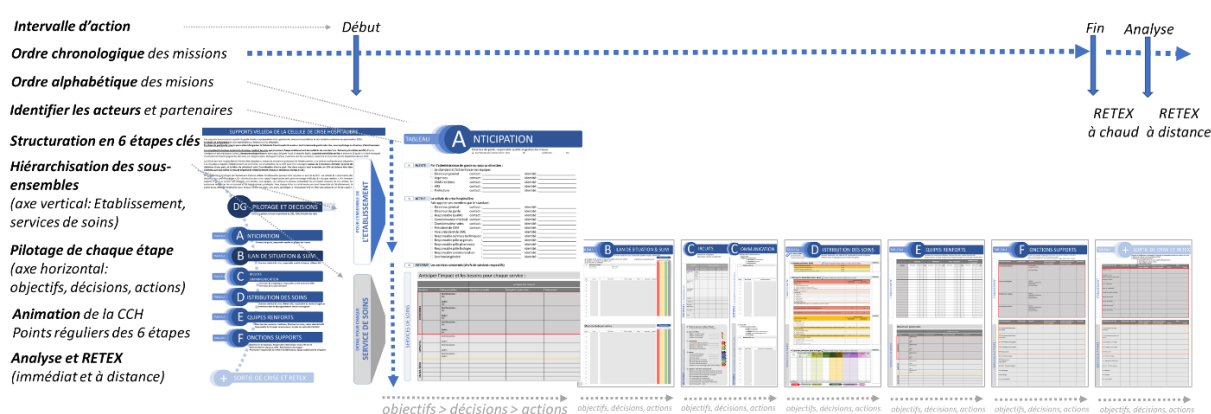


Figure 10: Cartographie des missions de la CCH en 6 étapes alphabétiques et chronologiques, sur un axe horizontal. Chacune de ces étapes distingue sur un axe vertical les informations en deux parties : pour l'ensemble de l'établissement, ou le détail par service.

Conclusion

La combinaison de ces supports propose un outil d'entraînement et de gestion de crise adaptable aux contraintes des utilisateurs et aux risques spécifiques de l'établissement. La cartographie de crise du DMC s'articule avec celle de la CCH comme une construction planifiée, structurée, chronologique, intuitive, efficace, partagée, testée et résiliente face à la diversité des crises que pourrait rencontrer l'établissement.

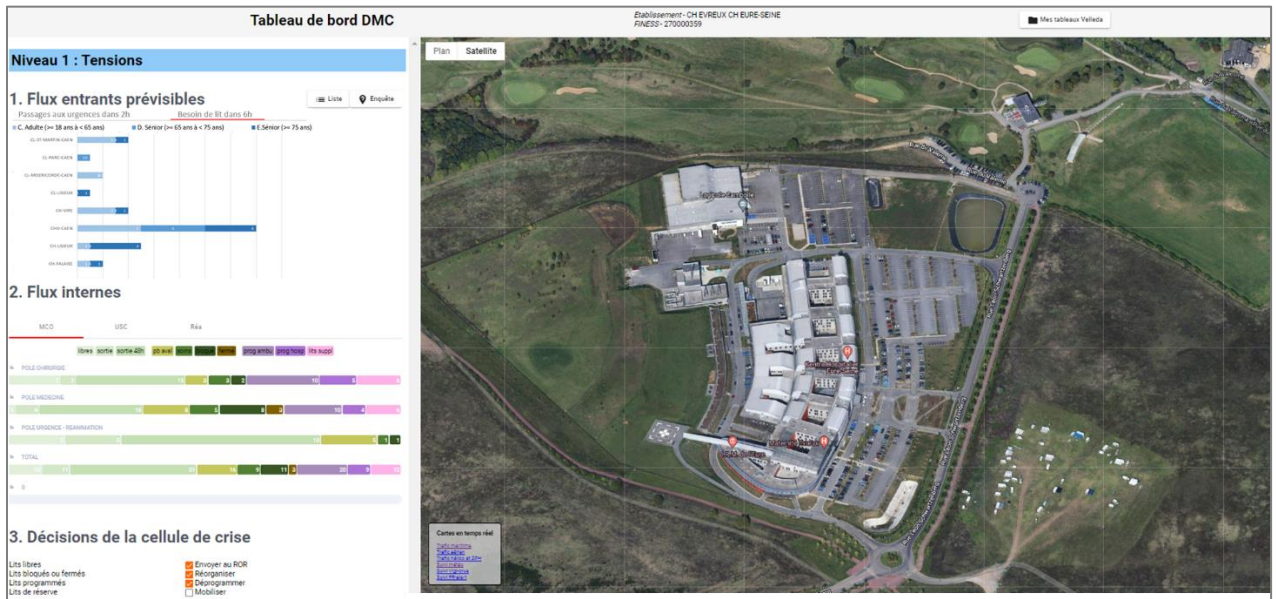


Figure 11: Tableau de bord du DMC en cas de suivi rapproché des tensions, puis activation du plan de mobilisation interne (niveau 1)

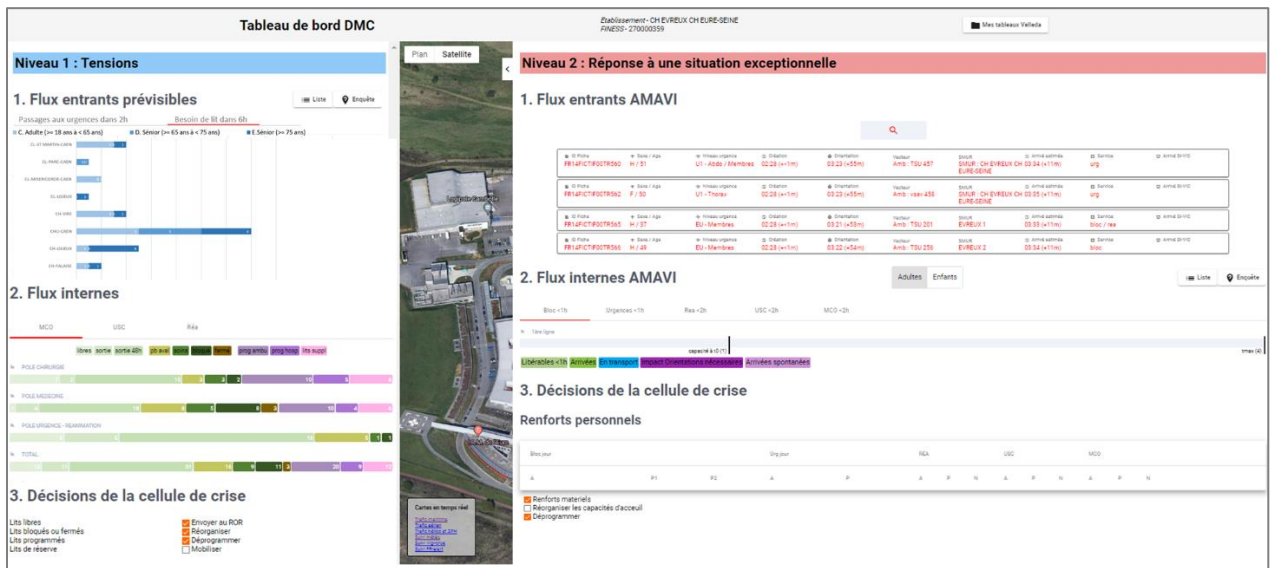


Figure 12: Tableau de bord du DMC en cas de mise en œuvre du plan de réponse aux situations exceptionnelles (niveau 2)



Figure 13: Tableaux effaçables de la cellule de crise hospitalière. Ils permettent d'organiser la CCH sous le pilotage du directeur d'établissement, autour des 6 missions de gestion de crise, en identifiant pour chacune un responsable et son plan d'action. Ces six tableaux prennent place autour du tableau de bord de suivi des flux du DMC, qui remplace l'étape centrale D « Distribution des soins » par un suivi connecté aux outils métiers.

REFERENCES

1. Exemples : Système de cartographie de crise de la gendarmerie (SC2), cartographie collaborative de crise lors du séisme d'Haïti en 2010, cartes de localisation des phénomènes d'avalanche de l'Irtesa (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture), application cartographique d'aide à la gestion de crise (ACDC) de l'Institut des Risques MAjeurs (IRMa), etc
2. Plan d'Organisation de la mise en Sûreté d'un établissement, Institut des Risques Majeurs, 2022 (4^e Ed) disponible sur http://www.irma-grenoble.com/06publications/01publications_afficher.php?id_rubdoc=38
3. Thomas S, Sagan A, Larkin J, Cylus J, Figueras J, Karanikolos M. Strengthening health systems resilience: Key concepts and strategies [Internet]. Copenhagen (Denmark): European Observatory on Health Systems and Policies; 2020. PMID: 32716618. disponible sur <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332441/Policy-brief%2036-1997-8073-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Guide de gestion des tensions hospitalières et des situations sanitaires exceptionnelles au sein des établissements de santé (DGS – DGOS, 2023)
5. Lecouvey, G., Gonneaud, J., Eustache, F., & Desgranges, B. (2015). Les processus cognitifs de la mémoire prospective. *Revue de neuropsychologie*, 7(3), 199-206.
6. Smith G., Della Sala S., Logie R.H., et al. Prospective and retrospective memory in normal ageing and dementia: a questionnaire study. *Memory* (Hove, England) 2000 ; 8 : 311-2.
7. Burgess P.W., Quayle A., Frith C.D.. Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia* 2001 ; 39 : 545

REFERENCES DES INTRODUCTION ET DISCUSSION

REFERENCES INTRODUCTION GENERALE

1. Coppola D, editor. Introduction to international disaster management, 3rd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2015
2. Health Emergency and Disaster Risk Management Framework. Geneva: World Health Organization; 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
3. Chan, E. 2017. Public Health Response in Humanitarian Crisis. London, UK. Routledge
4. World Health Organization. 2019. Health emergency and disaster risk management framework. Geneva, Switzerland: World Health Organization
5. UNDRR (2022), Health Emergency and Disaster Risk Management : An emerging framework for achieving synergies among the Sendai Framework, the 2030 Agenda for Sustainable Development, the New Urban Agenda and the Paris Agreement, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR).
6. World disasters report 2016: Resilience: saving lives today, investing for tomorrow. Geneva: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies; 2016 (https://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/WDR%202016-FINAL_web.pdf, accessed on April 25, 2023).
7. People affected by conflict – humanitarian needs in numbers, 2013. Brussels: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters; 2013 (<https://reliefweb.int/report/world/people-affected-conflict-humanitarian-needs-numbers-2013>, accessed on 26 June 2023).
8. Disease outbreaks by year. Geneva: World Health Organization (<http://www.who.int/csr/don/archive/year/en/>, accessed on Novembre, 14 2022)
9. IHR core capacity and monitoring framework. Geneva: World Health Organization; 2013 (http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/84933/1/WHO_HSE_GCR_2013.2_eng.pdf, accessed on March, 25 2023).
10. WHO responds to The Lancet COVID-19 Commission. Geneva : World Health Organization ; 15 September 2022. Available on <https://www.who.int/news/item/15-09-2022-who-responds-to-the-lancet-covid-19-commission> ; accessed on August, 28 2023
11. COVID-19 Excess Mortality Collaborators, Estimating excess mortality due to the COVID-19 pandemic: a systematic analysis of COVID-19-related mortality, 2020–21
DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02796-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02796-3)
12. UNDRR (2023), Annual Report 2022, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) , available on <https://www.undrr.org/annual-report/2022>
13. Organisation des nations unies pour le développement industriel (ONUDI), Organisation internationale de normalisation (ISO), Norme ISO 31000:2018 Management du risque; 2021
available on <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/fr/PUB100464-fr-preview.pdf>

14. Public health for mass gatherings: key considerations. Geneva: World Health Organization; 2015 [edited by Endericks et al] available on <https://www.who.int/publications/i/item/public-health-for-mass-gatherings-key-considerations>
15. Resolution 70/1. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. New York (NY): United Nations; 2015 (A/RES/70/1; (http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E, accessed August 22, 2023).
16. Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction; 2015 (https://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf, accessed August 22, 2023).
17. International Health Regulations (2005), third edition. Geneva: World Health Organization; 2016 (<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/246107/9789241580496-eng.pdf>, accessed 31 March 2019). 10. Paris Agreement. Bonn: United Nations Framework Convention on Climate Change; 2015 (FCCC/CP/2015/10/Add. 1, accessed 31 March 2019)
18. Health Emergency and Disaster Risk Management Framework. Geneva: World Health Organization; 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
19. WHO guidance on research methods for health emergency and disaster risk management, revised 2022. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
20. E Chan, V Murray, What are the health research needs for the Sendai Framework?, June 2017 *The Lancet*, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31670-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31670-7)
21. Cutter, S., Ismail-Zadeh, A., Alcántara-Ayala, I. et al. Global risks: Pool knowledge to stem losses from disasters. *Nature* 522, 277–279 (2015). <https://doi.org/10.1038/522277a>
22. Action plan to improve public health preparedness and response in the WHO European Region 2018–2023. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe; 2018 (http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/393705/Action-Plan_EN_WHO_web_2.pdf?ua=1, accessed 31 March 2019).
23. World Health Organization. (2007). Mass casualty management systems : strategies and guidelines for building health sector capacity. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43804>
24. Braine, T. (2006). "Was 2005 the year of natural disasters?" *Bulletin of the World Health Organization* 84(1): 4-6.
25. World Health Organization. (2006). Health Sector Emergency Risk Management. Draft Document. Geneva, World Health Organization.
26. World Health Organization. (1999). Community emergency preparedness : a manual for managers and policy-makers. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42083>
27. Altered Standards of Care in Mass Casualty Events. Prepared by Health Systems Research Inc. under Contract No. 290-04-0010. AHRQ Publication No. 05-0043. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality. April 2005.
28. Tallach R, Einav S, Brohi K, Abayajeewa K, & al, Global Initiative for Mass casualty Incidents Learning (GIMiLi) Collaborative. Learning from terrorist mass casualty incidents: a global survey. *Br J Anaesth.* 2022 Feb;128(2):e168-e179. doi: 10.1016/j.bja.2021.10.003. Epub 2021 Nov 6. PMID: 34749991.

29. Guide de gestion des tensions hospitalières et des situations sanitaires exceptionnelles au sein des établissements de santé [Internet]. Ministère de la Santé et de la Prévention. 2023 [cité 29 mai 2023]. available on: <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/securite-sanitaire/guide-gestion-tensions-hospitalieres-SSE>
30. Aide à l'organisation de l'offre de soins en situations sanitaires exceptionnelles: guide méthodologique. Paris: Ministère de la santé , Direction générale de la santé, DGS; 2023
31. Hick JL, Einav S, Hanfling D, et al. Surge capacity principles: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement. *Chest*. 2014;146:e1S-e16S. doi:10.1378/chest.14-0733
32. Sheikhbardsiri H, Raeisi AR, Nekoei-Moghadam M, et al. Surge capacity of hospitals in emergencies and disasters with a preparedness approach: a systematic review. *Disaster Med Public Health Prep*. 2017;11:612-620. doi:10.1017/dmp.2016.178
33. Faccincani R, Della Corte F, Sesana G, et al. Hospital surge capacity during Expo 2015 in Milano, Italy. *Prehosp Disaster Med*. 2018;33:459-465. doi:10.1017/s1049023x18000742
34. DeLia D, Wood E. The dwindling supply of empty beds: implications for hospital surge capacity. *Health Aff (Millwood)*. 2008;27:1688-1694. doi:10.1377/hlthaff.27.6.1688
35. Traub M, Bradt DA, Joseph AP. The surge capacity for people in emergencies (SCOPE) study in Australasian hospitals. *Med J Aust*. 2007;186:394-398. doi:10.5694/j.1326-5377.2007.tb00971.x
36. Faccincani R, Della Corte F, Sesana G, et al. Hospital surge capacity during Expo 2015 in Milano, Italy. *Prehosp Disaster Med*. 2018;33:459-465. doi:10.1017/s1049023x18000742
37. Park S, Jeong J, Song KJ, Yoon YH & al. Surge Capacity and Mass Casualty Incidents Preparedness of Emergency Departments in a Metropolitan City: a Regional Survey Study. *J Korean Med Sci*. 2021 Aug 23;36(33):e210. doi: 10.3346/jkms.2021.36.e210.
38. Takahashi A, Ishii N, Kawashima T, et al. Assessment of medical response capacity in the time of disaster: the estimated formula of Hospital Treatment Capacity (HTC), the maximum receivable number of patients in hospital. *Kobe J Med Sci*. 2007;53:189-198.
39. Levi L, Bregman D, Geva H, et al. Does number of beds reflect the surgical capability of hospitals in wartime and disaster? The use of a simulation technique at a national level. *Prehosp Disaster Med*. 1997;12:300-304. doi:10.1017/S1049023X00037845
40. Kanter RK, Moran JR. Hospital emergency surge capacity: an empiric New York statewide study. *Ann Emerg Med*. 2007;50:314-319. doi:10.1016/j.annemergmed.2006.10.019
41. TariVerdi M, Miller-Hooks E, Kirsch T. Strategies for Improved Hospital Response to Mass Casualty Incidents. *Disaster Med Public Health Prep*. 2018 Dec;12(6):778-790. doi : 10.1017/dmp.2018.4. EPUB 2018 Mar 19. PMID : 29553040.
42. Basaglia, Alberto, et al. "A discrete-event simulation model of hospital patient flow following major earthquakes." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 71 (2022): 102825
43. U.S. Department of Health and Human Services, Health Resources and Services Administration, Healthcare Systems Bureau. National bioterrorism hospital preparedness program. 2005
44. Rubinson L, Hick JL, Hanfling DG, et al. Definitive care for the critically ill during a disaster: a framework for optimizing critical care surge capacity: from a Task Force for Mass Critical Care summit meeting, January 26-27, 2007, Chicago, IL. *Chest*. 2008;133:18S-31S. doi:10.1378/chest.07-2690
45. De Boer J. Order in chaos: modelling medical management in disasters. *Eur J Emerg Med*. 1999;6:141-148. doi:10.1097/00063110-199906000-00011

REFERENCES DISCUSSION GENERALE

1. Einav S, Hick JL, Hanfling D, et al. Surge capacity logistics: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement. *Chest*. 2014;146:e17S-43S. doi:10.1378/chest.14-0734
2. Kaji A, Koenig KL, Bey T. Surge capacity for healthcare systems: a conceptual framework. *Acad Emerg Med*. 2006;13:1157-1159. doi:10.1197/j.aem.2006.06.032
3. Bradt DA, Aitken P, FitzGerald G, et al. Emergency department surge capacity: recommendations of the Australasian Surge Strategy Working Group. *Acad Emerg Med*. 2009;16:1350-1358. doi:10.1111/j.1553-2712.2009.00501.x
4. Lee WH, Ghee C, Wu KH, et al. Barriers to surge capacity of an overcrowded emergency department for a serious foodborne disease outbreak. *Emerg Med J*. 2010;27:779-783. doi:10.1136/emj.2009.079475
5. Hamidreza Shabanikiya a, Mehdi Jafari b, Hasan Abolghasem Gorgi b, Hesam Seyedin b, Azin Rahimi, Developing a practical toolkit for evaluating hospital preparedness for surge capacity in disasters; <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.12.011>
6. Shabanikiya, Hamidreza et al. "Developing a practical toolkit for evaluating hospital preparedness for surge capacity in disasters." *International Journal of Disaster Risk Reduction* (2019)
7. Matthew F. Toerper, Gabor D. Kelen, Lauren M. Sauer, Jamil D. Bayram, Christina Catlett and Scott Levin, *Hospital Surge Capacity: A Web-Based Simulation Tool for Emergency Planners* Published online by Cambridge University Press: 18 October 2017
8. Takahashi A, Ishii N, Kawashima T, et al. Assessment of medical response capacity in the time of disaster: the estimated formula of Hospital Treatment Capacity (HTC), the maximum receivable number of patients in hospital. *Kobe J Med Sci*. 2007;53:189-198.
9. Basaglia, Alberto, et al. "A discrete-event simulation model of hospital patient flow following major earthquakes." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 71 (2022): 102825
10. Maurin O, Bignand M, Jost D, et al. Usefulness of a multiplying factor in predicting the final number of victims during a mass casualty incident. *Eur J Emerg Med*. 2017;24:377-381. doi:10.1097/mej.0000000000000366
11. Bayram JD, Zuabi S, Subbarao I. Disaster metrics: quantitative benchmarking of hospital surge capacity in trauma-related multiple casualty events. *Disaster Med Public Health Prep*. 2011;5:117-124. doi:10.1001/dmp.2010.19
12. Bayram JD, Zuabi S. Disaster metrics: quantification of acute medical disasters in trauma-related multiple casualty events through modeling of the Acute Medical Severity Index. *Prehosp Disaster Med*. 2012;27:130-135. doi:10.1017/s1049023x12000428
13. Gorgi, Hasan Abolghasem et al. "Hospital Surge Capacity in Disasters in a Developing Country: Challenges and Strategies." *Trauma monthly* 22 (2017)
14. Berg, T.A., Marino, K.N. & Kintziger, K.W. The Application of Model-Based Systems Engineering to Rural Healthcare System Disaster Planning: A Scoping Review. *Int J Disaster Risk Sci* 14, 357–368 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00492-z>
15. P. Phattharapornjaroen, E. Carlström, A. Khorram-Manesh, Developing a conceptual framework for flexible surge capacity based on complexity and collaborative theoretical frameworks

16. World Health Organization. (2007). Mass casualty management systems : strategies and guidelines for building health sector capacity. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43804>
17. Park S, Jeong J, Song KJ, Yoon YH, Oh J, Lee EJ, Hong KJ, Lee JH. Surge Capacity and Mass Casualty Incidents Preparedness of Emergency Departments in a Metropolitan City: a Regional Survey Study. *J Korean Med Sci.* 2021 Jul;36(33):e210. <https://doi.org/10.3346/jkms.2021.36.e210>
18. Agency for Healthcare Research and Quality. Altered standards of care in mass casualty events. 2020; Accessed November 14, 2020 <https://archive.ahrq.gov/research/altstand/>.
19. Beekley AC, Martin MJ, Spinella PC, et al. Predicting resource needs for multiple and mass casualty events in combat: lessons learned from combat support hospital experience in Operation Iraqi Freedom. *J Trauma.* 2009;66:S129-S137. doi:10.1097/TA.0b013e31819d85e7
20. Battarra, Maria et al. "Disaster preparedness using risk-assessment methods from earthquake engineering." *Eur. J. Oper. Res.* 269 (2018): 423-435.
21. King MA, Niven AS, Beninati W, et al. Evacuation of the ICU: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement. *Chest* 2014; 146: e44S-60S.
22. Bish DR, Tarhini H, Amara R, Zoraster R, Bosson N, Gausche-Hill M. Modeling to optimize hospital evacuation planning in EMS systems. *Prehosp Emerg Care* 2017; 21: 503-10.
23. Rambha T, Nozick LK, Davidson R, Yi W, Yang K. A stochastic optimization model for staged hospital evacuation during hurricanes. *Transp Res E Logist Transp Rev* 2021; 151: 102321.
24. Ventura GM. Development of patient evacuation resource classification system (PERC) using systems engineering to assist hospital evacuations in a disaster. *Disaster Med Public Health Prep* 2021; 15: 639-48.
25. Montán KL, Riddez L, Lennquist S, et al. Assessment of hospital surge capacity using the MACSIM simulation system: a pilot study. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2017; 43: 525-39.
26. Sahebi A, Jahangiri K, Alibabaei A, Khorasani-Zavareh D. Factors Influencing Hospital Emergency Evacuation during Fire: A Systematic Literature Review. *Int J Prev Med.* 2021 Oct 26;12:147. doi: 10.4103/ijpvm.IJPVM_653_20.
27. Ricci KA, Griffin AR, Heslin KC, Kranke D, Dobalian A. Evacuate or shelter-in-place? The role of corporate memory and political environment in hospital-evacuation decision making. *Prehosp Disaster Med* 2015; 30: 233-8.
28. Yazdani M, Mojtahedi M, Loosemore M & al. Hospital evacuation modelling: A critical literature review on current knowledge and research gaps. *Int. J. Disaster Risk Reduct* 2021 Dec; 66: 102627
29. WHO, PAHO, ISDR, World Bank: Hospitals safe from disasters: Reduce Risk, Protect Health Facilities, Save Lives. 2008. 2008-2009 World Disaster Reduction Campaign. (Report) available at <https://www.unisdr.org/2009/campaign/pdf/wdrc-2008-2009-information-kit.pdf>

ANNEXES

Annexe 1. Chart of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030

Annexe 2. Modèles de prise en charge de nombreuses victimes en situation sanitaire exceptionnelle :
requête bibliographique

Annexe 3 : Surge capacity logistics: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters:
CHEST consensus statement (2014)

Chart of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030

Scope and purpose

The present framework will apply to the risk of small-scale and large-scale, frequent and infrequent, sudden and slow-onset disasters, caused by natural or manmade hazards as well as related environmental, technological and biological hazards and risks. It aims to guide the multi-hazard management of disaster risk in development at all levels as well as within and across all sectors

Expected outcome

The substantial reduction of disaster risk and losses in lives, livelihoods and health and in the economic, physical, social, cultural and environmental assets of persons, businesses, communities and countries

Goal

Prevent new and reduce existing disaster risk through the implementation of integrated and inclusive economic, structural, legal, social, health, cultural, educational, environmental, technological, political and institutional measures that prevent and reduce hazard exposure and vulnerability to disaster, increase preparedness for response and recovery, and thus strengthen resilience

Targets

Substantially reduce global disaster mortality by 2030, aiming to lower average per 100,000 global mortality between 2020-2030 compared to 2005-2015	Substantially reduce the number of affected people globally by 2030, aiming to lower the average global figure per 100,000 between 2020-2030 compared to 2005-2015	Reduce direct disaster economic loss in relation to global gross domestic product (GDP) by 2030	Substantially reduce disaster damage to critical infrastructure and disruption of basic services, among them health and educational facilities, including through developing their resilience by 2030	Substantially increase the number of countries with national and local disaster risk reduction strategies by 2020	Substantially enhance international cooperation to developing countries through adequate and sustainable support to complement their national actions for implementation of this framework by 2030	Substantially increase the availability of and access to multi-hazard early warning systems and disaster risk information and assessments to people by 2030
--	--	---	---	---	--	---

Priorities for Action

There is a need for focused action within and across sectors by States at local, national, regional and global levels in the following four priority areas.

Priority 1 Understanding disaster risk	Priority 2 Strengthening disaster risk governance to manage disaster risk	Priority 3 Investing in disaster risk reduction for resilience	Priority 4 Enhancing disaster preparedness for effective response, and to «Build Back Better» in recovery, rehabilitation and reconstruction
Disaster risk management needs to be based on an understanding of disaster risk in all its dimensions of vulnerability, capacity, exposure of persons and assets, hazard characteristics and the environment	Disaster risk governance at the national, regional and global levels is vital to the management of disaster risk reduction in all sectors and ensuring the coherence of national and local frameworks of laws, regulations and public policies that, by defining roles and responsibilities, guide, encourage and incentivize the public and private sectors to take action and address disaster risk	Public and private investment in disaster risk prevention and reduction through structural and non-structural measures are essential to enhance the economic, social, health and cultural resilience of persons, communities, countries and their assets, as well as the environment. These can be drivers of innovation, growth and job creation. Such measures are cost-effective and instrumental to save lives, prevent and reduce losses and ensure effective recovery and rehabilitation	Experience indicates that disaster preparedness needs to be strengthened for more effective response and ensure capacities are in place for effective recovery. Disasters have also demonstrated that the recovery, rehabilitation and reconstruction phase, which needs to be prepared ahead of the disaster, is an opportunity to «Build Back Better» through integrating disaster risk reduction measures. Women and persons with disabilities should publicly lead and promote gender-equitable and universally accessible approaches during the response and reconstruction phases

Guiding Principles

Primary responsibility of States to prevent and reduce disaster risk, including through cooperation	Shared responsibility between central Government and national authorities, sectors and stakeholders as appropriate to national circumstances	Protection of persons and their assets while promoting and protecting all human rights including the right to development	Engagement from all of society	Full engagement of all State institutions of an executive and legislative nature at national and local levels	Empowerment of local authorities and communities through resources, incentives and decision-making responsibilities as appropriate	Decision-making to be inclusive and risk-informed while using a multi-hazard approach
Coherence of disaster risk reduction and sustainable development policies, plans, practices and mechanisms, across different sectors	Accounting of local and specific characteristics of disaster risks when determining measures to reduce risk	Addressing underlying risk factors cost-effectively through investment versus relying primarily on post-disaster response and recovery	«Build Back Better» for preventing the creation of, and reducing existing, disaster risk	The quality of global partnership and international cooperation to be effective, meaningful and strong	Support from developed countries and partners to developing countries to be tailored according to needs and priorities as identified by them	

Annexe 2. Modèles de prise en charge de nombreuses victimes en situation sanitaire exceptionnelle :
requête bibliographique

Domain	Search Terms
Disasters	ALL=(disaster OR catastrophe OR "humanitarian operation*" OR "emergency management" OR "disaster management" OR "disaster planning" OR pandemic OR epidemic OR outbreak OR "natural disaster" OR pollution OR "agricultur* disaster" OR famine OR "agriculture* pests" OR "agriculture* diseas*" OR "environment* disaster" OR "environment* emergency" OR wildfire OR "wild fire" OR "wild land fire" OR "industrial disaster" OR "man-made disaster" OR terroris* OR war OR "political unrest" OR "industrial emerg*" OR "man-made disaster" OR "man-made emergency" OR "mass violence")
Healthcare	ALL=(healthcare OR "health care" OR "healthcare system" OR "health care system")
Method	ALL=("decision science" OR "decision support system*" OR "multi-method model*" OR "multimethod model*" OR "multi-method simulation" OR "multi method simulation" OR "hybrid model*" OR "hybrid simulation" OR "discrete event simulation" OR "discrete event model*" OR "agent based model*" OR "agent-based model*" OR "system* dynamic*" OR "system* model*" OR "system* theory" OR "system* thinking" OR "computer model*" OR "computer simulation" OR "digital twin" OR "multi-level analys*" OR "multilevel analys*" OR "system* analys*" OR simulation OR "computational model*" OR "computational simulation" OR "equation-based model*" OR "equation based model*" OR "neural net*" OR "network simulation" OR "Bayesian model*" OR "Bayesian network*" OR "Monte-Carlo" OR "Monte Carlo" OR "Markov chain*" OR "quantitative model*" OR "artificial intelligence" OR "machine learning" OR "predictive analytics" OR "predictive model*")
Outcomes	ALL=(resilience OR preparedness OR "disaster preparedness" OR "disaster response" OR "emergency preparedness" OR "emergency response" OR effectiveness OR mortality OR morbidity OR injury OR "economic losses" OR damage OR destruction OR death OR "lives lost" OR "disability-adjusted life years" OR "disability adjusted life years" OR "community function*")

Surge capacity logistics: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement.

Einav S, Hick JL, Hanfling D, Erstad BL, Toner ES, Branson RD, Kanter RK, Kissoon N, Dichter JR, Devereaux AV, Christian MD; Task Force for Mass Critical Care; Task Force for Mass Critical Care. Surge capacity logistics: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement. *Chest*. 2014 Oct;146(4 Suppl):e17S-43S. doi: 10.1378/chest.14-0734. PMID: 25144407.

Summary of Suggestions

Stockpiling of Equipment, Supplies, and Pharmaceuticals

1. We suggest hospital support services, including pharmacy, laboratory, radiology, respiratory therapy, and nutrition services, also be included in the planning of critical care surge.
2. We suggest equipment, supplies, and pharmaceutical stockpiles specific to the delivery of mass critical care (MCC) be interoperable and compatible at the regional level and ideally at the state/provincial level, so as to ensure uniformity of response capabilities, coordinated training, and a mechanism for exchange of material among facilities.
3. We suggest facilities should ensure adequate availability of disaster supplies through facility-based caches, with vendor agreements and understanding of supply chain resources and limitations.
4. We suggest the existing MCC hospital target lists for basic equipment, supplies, and pharmaceuticals remain relevant for institutions seeking to plan for MCC response.
5. We suggest regional and hospital stockpiles include equipment, supplies, and pharmaceuticals that can be used to accommodate the needs of unique populations that are likely to require critical care in centers other than specialty care centers, including pediatric, burn, and trauma patients.

Staff Preparation and Organization

6. We suggest hospitals use adaptive measures to compensate for reduced staffing, such as additional shifts, workload, and changes in shift structure/time, should be planned in collaboration with the critical care staff representatives.
7. We suggest hospital staff preparation for response to a disaster is vitally important to the successful outcomes of such events and should include emphasis on role definition, integration with the incident command system, and the ability to perform cross-trained functions.
8. We suggest hospital staff preparedness to support critical care surge response include knowledge of the following: standard operating procedures, role definition, use of hospital incident command system, cross-training of additional staff, and training in the use of situational awareness tools, particularly those that can assist in decision-making regarding critical care surge planning, operations, response, and recovery.
9. We suggest once a disaster or pandemic has occurred, hospitals should implement measures to mitigate preventable causes of staff shortage, including sheltering of staff and their families, provision of mental health support, measures to mitigate fatigue, access to transportation services, and maintenance of a safe working environment.
10. We suggest critical care nurse-to-patient ratios in an event requiring critical care surge be determined by provider experience, available support (ancillary staff), and clinical demands.
11. During a disaster or pandemic, we suggest critical care physician oversight and direction of the clinical care teams who provide critical care services, including scheduled patient assessment and treatment plan evaluation. If direct oversight is unavailable, a means of remote consultation should be used.
12. Should expert consultation (eg, pediatrics, trauma, burn, or critical care) not be available locally, we suggest every effort be made by hospitals to ensure that such expertise be provided at a minimum through remote consultation.
13. We suggest hospitals consider the utilization of technology (eg, telemedicine) as an important adjunct to the delivery of critical care services in a disaster to serve as a force multiplier to support response to disaster events. Where no such systems are currently in place, development of a telemedicine or other electronic platform to support patient care delivery is suggested.

Patient Flow and Distribution

14. We suggest decisions regarding in-hospital placement of critically ill patients during an MCC (after initial survey and treatment) be performed by an experienced clinician who makes similar triage decisions on a daily basis.

15. Early discharge of ICU patients to the general ward is a complex process, requiring critical care expertise. To enable rapid admission of critically ill patients to the ICU immediately after termination of ED/operating room workup and treatment, we suggest discharge of ICU patients (when possible) during preparation for an impending MCC be given priority simultaneous to decisions made about initial ED patient distribution.

Deployable Critical Care Services

16. We suggest deployable critical care services be considered a temporary alternative to critical care when loss of hospital infrastructure limits provision of critical care.

17. We suggest deployable critical care services are not definitive critical care facilities but may be used as a temporizing measure for delivery of critical care in a disaster setting. Expansion of critical care resources in the hospital environment, with temporary facilities for lesser acuity patients, is preferred over provision of deployable critical care when possible.

18. We suggest deployable critical care services may serve as temporary critical care locations provided there is a clear plan for patient transfer, within a few hours to days, to a definitive treatment location.

19. In crisis surge response, we suggest less intensive treatment of moderately injured patients be prioritized over the deployment of temporary critical care services when it would result in improved outcomes for larger numbers of patients.

Using Transportation Assets to Support Surge Response

20. We suggest surge capacity plans include predetermined standards that define minimal ongoing critical care capability in order to define the framework for decisions regarding patient transfer as the demands on the system gradually increase during a disaster or pandemic.

21. We suggest priority be given to transfer of assets to patients, particularly when transfer of patients to definitive care is limited by dangerous conditions (including considerable risk posed by available transportation options).

22. Transportation used for patient evacuations may also be used to bring in assets (eg, specialty providers and equipment), particularly when access/transport capacity is the limiting factor in patient movement.

Construction of an operational method for evaluating surge capacities in disasters, for each hospital and by health care area. The MassCare indicator

Context: This work proposes an operational method for evaluating mass care capacities in disasters (MassCare), based on the six construction stages proposed by the WHO, and the national strategy for organizing the health response (ORSAN).

- Construction of the method in working groups of experts (2019-2020)

MassCare was based on national recommendations, expert working groups, and national administrative databases. In a mass casualty incident (MCI), MassCare corresponds to the number of patients that can be treated immediately and simultaneously by each primary care unit, according to the NATO triage scale. The experts distinguished 3 determinants: (A) primary care unit; (B) adult or child patient, (C) working hours or not. For each, the MassCare maximum (Tmax) can be estimated using the national administrative databases of each hospital. Then, several surveys of hospital panels are carried out to determine the available part of hospital facilities, β_1 at time 0 (T0) and β_2 at time +3 hours (T3): $T_0\text{-MassCare-}A \times B \times C = \beta_1 \times T_{\text{max-MassCare}} - A \times B \times C$. Thus, the structural capacities at T0 and T3 are estimated for each hospital with the average β observed in the panel. For critical surgical patients, the MassCare indicator is derived from the minimum number of surgeons, anesthesiologists or nurse anesthetists, and operating rooms. For emergencies, MassCare's capacity is 2 serious patients per doctor and 2 nurses. The capacities accessible within one hour of transport from the crisis site define District-MassCare of the area.

- Quantify resources: Calculation of the maximum capacity benchmark for each hospital: based on administrative data: example for critical surgical patients (2020)

Of the 875 hospitals included, 15.8% had missing data on personnel or equipment variables preventing the calculation of the Tmax-MassCare indicator without imputation. The calculated capacity for the remaining hospitals would be best predicted by assuming that in MCI a patient could be admitted for 1441 annual procedures ($R^2 = 0.87$, univariate linear regression model). The maximum Tmax-MassCare* capacity obtained by the hospital was 12.7 patients per expert hospital, 5.8 per first-line hospital and 5.8 per second-line hospital. This maximum surgical capacity was 81.5 patients/Mhab. in mainland France and 47.6 overseas.

- Extension to other disaster risks

A variation of this work proposed an automated simulation method dedicated to guiding experts in the development of a selective hospital evacuation plan. A pragmatic adaptation of the 13 principles of the international guidelines by a local working group of operational experts led to the implementation of a computer-assisted simulation model, then tested on a risk site. The expert group classified each patient to be transferred according to 3 priorities (P1 to P3), 3 age categories (adult, pediatric, neonatal), the specific equipment and transfer teams required, and the type of hospital reception unit. Ten specific profiles concerning transport conditions or destination hospitals were to be considered. The model could be used either to assess the minimum number of evacuation means necessary to carry out the evacuation within a few hours of all patients requiring evacuation (discharge), or the number of patients as soon as possible taking into account the number means of evacuation available. (constraint). The model can be adapted with additional constraints or optimization strategies such as traffic conditions, convoys, ephemeral proximity units and reinforcements.

Discussion: MassCare is a metric of disaster health capacities proposed by expert working groups in order to quantify the response of hospitals to a crisis situation and guide managers in the preparation phases. Each modality requires specific additional work which will make it possible to assess the level of response expected by hospital and by sector. An analysis of past MCI on European territory will make it possible to define the average level of constraint to be imposed, to identify the breaking points for different priority sites, and to allow operational training to be adjusted.

Conclusion: MassCare is integrated into the national guide for organizing the health response. This work is extended to different disasters risks. Once this approach deployed, it results in the construction of an operational tool for response planning and real crisis management, integrating the 12 guiding principles of the WHO. Further work is necessary to deepen this work and expand it to other disasters risks.

Key words: Disaster preparedness, Mass casualty incidents, surge capacity, disaster metrics, disaster management, triage,

Construction d'une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités d'accueil en situation sanitaire exceptionnelle pour chaque établissement de santé du territoire, puis des points de ruptures par secteur de soins. L'indicateur MassCare

Contexte : Ce travail propose une méthode opérationnelle d'évaluation des capacités de soins de masse en situation exceptionnelle (MassCare), d'après les six étapes de construction proposées par l'OMS, et la stratégie nationale d'organisation de la réponse sanitaire (ORSAN).

- Construction de la méthode en groupes de travail d'experts métiers (2019)

MassCare était basé sur des recommandations nationales, des groupes de travail d'experts et des bases de données administratives nationales. Résultats : En situation d'afflux massif de victimes (AMAVI), MassCare correspond au nombre de patients pouvant être traités immédiatement et simultanément par chaque unité de soins primaires, selon l'échelle de triage de l'OTAN. Les experts ont distingué 3 déterminants : (A) unité de soins primaires ; (B) patient adulte ou enfant, (C) heures de travail ou non. Pour chacun, le MassCare maximum (Tmax) peut être estimé à l'aide des bases de données administratives nationales de chaque hôpital. Ensuite, plusieurs enquêtes auprès de panels hospitaliers sont menées pour déterminer les parts d'établissements disponibles, β_1 au temps 0 (T0) et β_2 au temps +3h (T3) : $T0\text{-MassCare-A}_x\text{B}_x\text{C}_x = \beta_1 * T_{\text{max-MassCare-A}_x\text{B}_x\text{C}_x}$. Ainsi, les capacités structurelles à T0 et T3 sont estimées pour chaque hôpital avec la moyenne β observée dans le panel. Pour les patients chirurgicaux critiques, l'indicateur MassCare est dérivé du minimum de chirurgiens, anesthésistes ou infirmières anesthésistes et de salles d'opération. Pour les urgences, la capacité d'accueil de MassCare est de 2 patients graves par médecin et 2 infirmières. Les capacités accessibles à une heure de transport du lieu de crise définissent District-MassCare.

- Quantifier les ressources : Calcul du repère capacitaire maximal de chaque établissement : d'après les données SAE : exemple pour les patients chirurgicaux critiques (2020)

Sur les 875 hôpitaux inclus, 15,8 % avaient des données manquantes sur les variables de personnels ou matériels empêchant le calcul de l'indicateur Tmax-MassCare sans imputation. La capacité calculée pour les hôpitaux restants serait mieux prédite en supposant qu'en situation AMAVI un patient pourrait être admis pour 1441 procédures annuelles (R2 = 0,87, modèle de régression linéaire univariée). La capacité maximale Tmax-MassCare* obtenue par l'hôpital était de 12,7 patients par hôpital expert, de 5,8 par hôpital de première ligne et de 5,8 par hôpital de deuxième ligne. Cette capacité chirurgicale maximale était de 81,5 patients /Mhab. en métropole et 47,6 en outre-mer.

- Déclinaison à d'autres risques ORSAN

Une déclinaison de ce travail proposait une méthode de simulation automatisée dédiée à guider les experts dans l'élaboration d'un plan d'évacuation sélective hospitalière. Une adaptation pragmatique des 13 principes des lignes directrices internationales par un groupe de travail local d'experts opérationnels a conduit à la mise en œuvre d'un modèle de simulation assistée par ordinateur, puis testée sur un site à risque. Le groupe d'experts classait chaque patient à transférer selon 3 priorités (P1 à P3), 3 catégories d'âge (adulte, pédiatrique, néonatal), les équipements et équipes de transfert spécifiques nécessaires et le type d'unité d'accueil en milieu hospitalier. Dix profils spécifiques concernant les conditions de transport ou les hôpitaux de destination étaient à considérer. Le modèle pouvait être utilisé soit pour évaluer le nombre minimal de moyens d'évacuation nécessaires pour procéder à l'évacuation en quelques heures de tous les patients nécessitant une évacuation (sortie), soit le nombre de patients dans les meilleurs délais compte tenu du nombre de moyens d'évacuation disponibles. (contrainte). Le modèle peut être adapté avec des contraintes supplémentaires ou des stratégies d'optimisation telles que les conditions de circulation, les convois, les unités de proximité éphémères et les renforts.

Discussion : MassCare est une métrique des capacités de réponse en SSE proposée par des groupes de travail d'experts afin de quantifier la réponse des hôpitaux à une situation de crise et guider les gestionnaires dans les phases de préparation. Chaque modalité nécessite un travail complémentaire spécifique qui permettra d'évaluer le niveau de réponse attendu par établissement et par secteur. Une analyse des SSE passées sur le territoire européen permettra de définir le niveau moyen de contrainte à y opposer, pour identifier les points de ruptures pour différents sites prioritaires, et permettre d'ajuster les entraînements opérationnels.

Conclusion : MassCare est intégrée dans le guide national d'organisation de la réponse sanitaire. Ce travail est décliné sur plusieurs risques ORSAN différents. Une fois cette démarche déployée, elle aboutit à la construction d'un outil opérationnel **de planification** de la réponse, et **de gestion de crise** réelle, intégrant les 12 principes directeurs de l'OMS. D'autres travaux sont nécessaires pour approfondir ce travail et l'élargir à d'autres risques ORSAN.

Key words : Disaster preparedness, Mass casualty incidents, surge capacity, disaster metrics, disaster management, triage,