TRAUMATRIX

MACHINE LEARNING IN THE TRIAGE OF MAJOR TRAUMA, THE TRAUMATRIX PROJECT

TOBIAS GAUSS

ANESTHESIA-CRITICAL CARE

GRENOBLE ALPES UNIVERSITY HOSPITAL

GRENOBLE INSTITUTE OF NEUROSCIENCE

INTUITION & CONVICTION

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

Wohlgemut *et al.*
Scand J Trauma Resusc Emerg Med (2023) 31:18
https://doi.org/10.1186/s13049-023-01083-z

Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine

ORIGINAL RESEARCH Open Access

Diagnostic accuracy of clinical examination to identify life- and limb-threatening injuries in trauma patients

Jared M. Wohlgemut[1,2*], Max E. R. Marsden[1,2,3], Rebecca S. Stoner[1,2], Erhan Pisirir[4], Evangelia Kyrimi[4], Gareth Grier[5], Michael Christian[5], Thomas Hurst[5], William Marsh[4], Nigel R. M. Tai[1,2,3] and Zane B. Perkins[1,2,5]

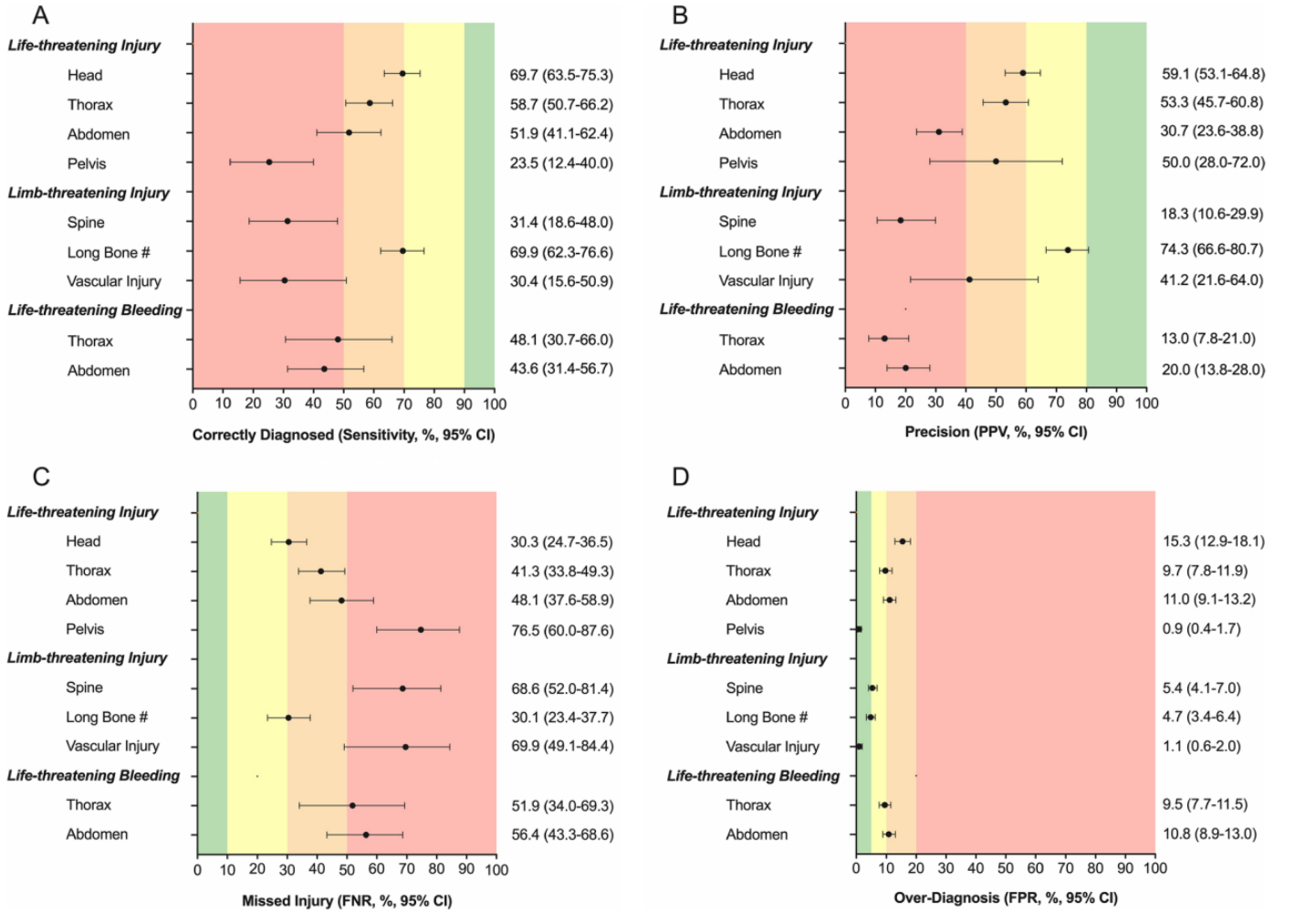


Fig. 1 Diagnostic accuracy of clinical examination to identify life- and limb-threatening injuries and bleeding. Measures include **A** sensitivity, **B** Positive Predictive Value (PPV), **C** False Negative Rate (FNR) and **D** False Positive Rate (FPR). Black dots represent the accuracy measure, and horizontal lines represent 95% confidence intervals. Shaded vertical areas represent acceptable standards of accuracy measures

USE FRENCH REGISTRY TRAUMABASE

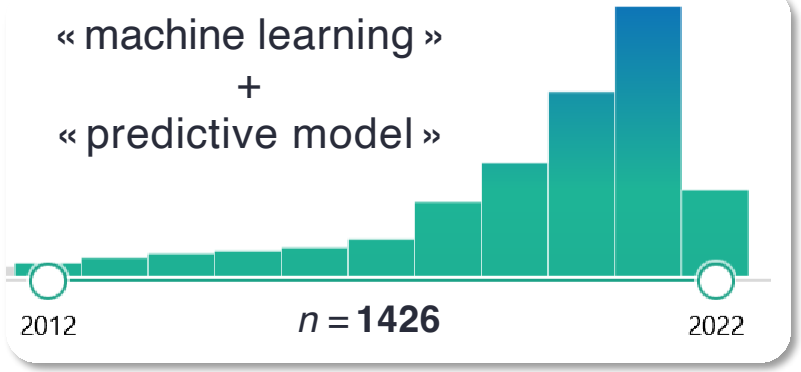
Using DATABASES

Development of PREDICTIVE MODELS

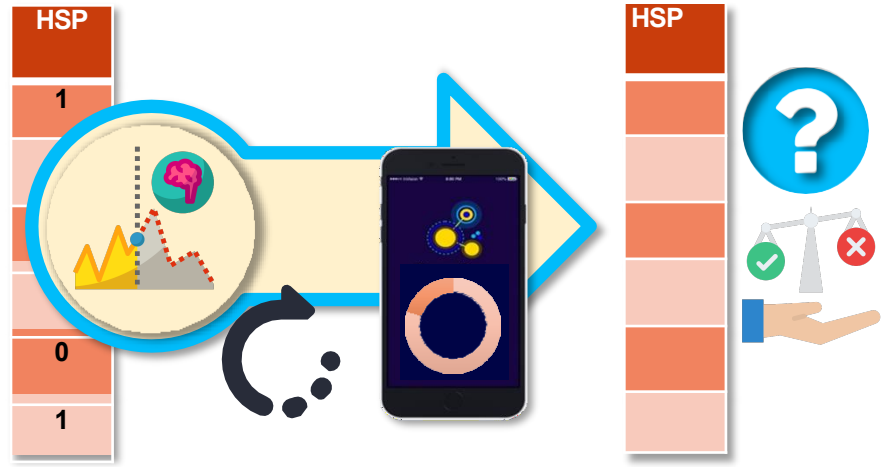
Development of CLINICAL DECISION AID SYSTEMS (CDAS)

traumabase.eu

« machine learning »
+
« predictive model »



Centre	Type	Age	Sexe	PAS	Lactate
Beaujon	Chute	50	M	95	NA
LPS	Pénétrant arme à feu	28	F	NA	4.8
Beaujon	Pénétrant arme blanche	30	M	120	1.2
HEGP	AVP	23	M	100	3.6
LPS	AVP	33	M	105	NA
Purpan	Chute	58	F	110	NA



traumabase.eu

HÔPITAUX UNIVERSITAIRES PARIS NORD VAL DE SEINE Beaujon

PARIS DIDEROT

R007- Evaluation de la performance du théorème de Bayes pour prédire la survenue d'un choc hémorragique post-traumatique

Pauline Perez[1], Anatole Harrois[2], Mathieu Raux[3], Sophie Hamada[2], Catherine Paugam-Burtz[1], Tobias Gauss[1] et Groupe Traumabase

[1]Anesthésie-Réanimation, Hôpital Beaujon, Hôpitaux Universitaires Paris Nord Val de Seine, AP-HP, Clichy, [2]Service Anesthésie-Réanimation, Groupement Hôpitaux Universitaires Paris Sud, AP-HP, Kremlin-Bicêtre, [3]Département d'Anesthésie Réanimation, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière Charles Foix, AP-HP, Paris;

INTRODUCTION:
La mise en place d'une procédure d'urgence lors de la détection d'un choc hémorragique post traumatique en pré-hospitalier permet d'anticiper et d'améliorer la prise en charge. De nombreuses disciplines soumises à des décisions sous l'incertitude, utilisent des systèmes informatiques d'aide à la décision. L'inférence bayésienne est une méthode permettant de modéliser la probabilité d'un évènement à partir de celle d'autres évènements déjà évalués. Elle utilise un schéma dit *bayésien* qui permet une quantification avec un programme informatique.

Objectif:
Evaluation de la performance d'un programme informatique utilisant un schéma bayésien pour prédire la survenue d'un choc hémorragique et comparaison avec des décisions prises par des médecins.

MATERIEL ET METHODES:
Etude pilote rétrospective à partir d'un observatoire prospectif de patients traumatisés graves de trois centres. Désignation d'une cohorte de modélisation (CM) issue des deux centres et une cohorte de validation (CV) issue d'un centre. Le choc hémorragique était défini par la transfusion de ≥4 CG sur les 6 premières heures. Le programme informatique intègre 5 paramètres PA, FC, Hb, mécanisme du traumatisme et GCS. pour prédire la probabilité du choc, le schéma bayésien est trouvé par apprentissage automatisé sur la CM et validé par un expert (?). Evaluation faite par le calcul des valeurs prédictives positives et négatives, rapports de vraisemblance ; analyse et programmation réalisée sur R.

RESULTATS:
2108 patients constituaient la CM avec 245 chocs et 1119 patients la CV avec 90 chocs et 152 activations de procédure. Dans la CV, les valeurs prédictives négatives et positives pour prédire la survenue d'un choc du modèle informatique étaient de 95% [93-96] et 46% [34-57] et respectivement 96% [94-97] et 34% [26-41] pour les médecins. Concernant les rapports de vraisemblance: informatique: RV+: 9,57 [6,50-14,09] et RV-: 0,62 [0,52- 0,74]; médecin: RV+: 5,77 [4,46-7,48] et RV- O,48 [0,38-0,61]. La prédiction du choc hémorragique combinant la prise de décision médicale et le modèle informatique est présentée dans la table de vérité.

DISCUSSION: Ce travail montre la faisabilité de l'application d'une inférence bayésienne à des décisions critiques. L'aide à la décision par inférence modélisée, semble avoir une performance équivalente à une prise de décision médicale. Il paraît licite de la concevoir comme une aide à la décision et de la tester en prospective et sur d'autres décisions urgentes.

SCHEMA BAYESIEN

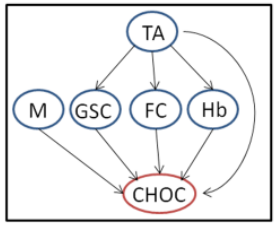


TABLEAU DE CONTINGENCE: Modèle informatique/ Réalité du choc

Prédiction	Réalité: Choc +	Réalité: Choc -
Choc +	36	43
Choc -	54	986

TABLEAU DE CONTINGENCE: Médecin/ Réalité du choc

Prédiction	Réalité: Choc +	Réalité: Choc -
Choc +	51	101
Choc -	39	928

TABLE DE VERITE: Médecin/ Informatique

Médecin	Informatique	% de Choc
+	+	48%
-	-	2%
+	-	25%
-	+	31%

50%

traumabase.eu · ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS · cnrs · ÉCOLE POLYTECHNIQUE · Capgemini invent · Inria · L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

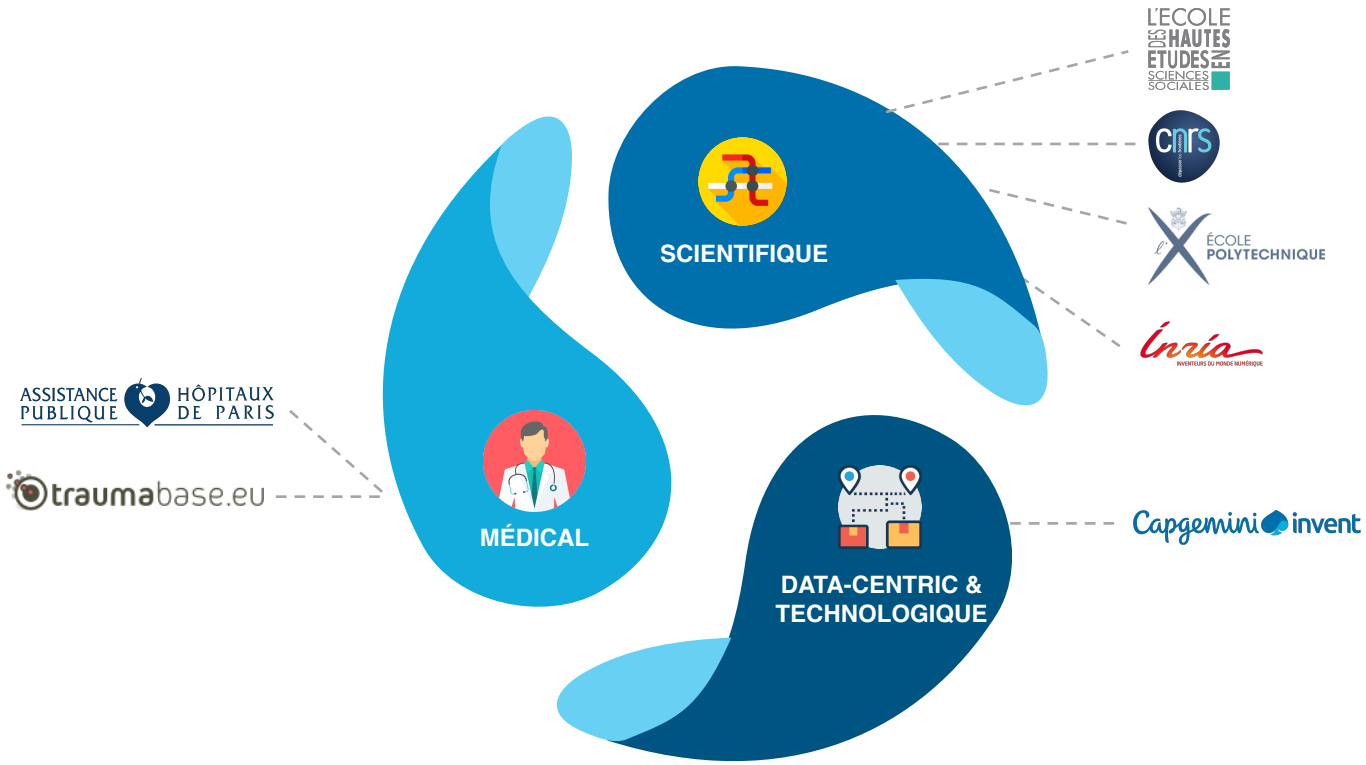
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

UNIQUE ECOSYSTEM OF PARTNERS



Carry out **prospective studies or studies incorporating innovative artificial intelligence methods** in the field of heavy trauma (e.g., hemorrhagic shock, fibrinogen effect, etc.).

Develop and test, with real-time data, a decision-support tool using predictive models.

2011
Setting up the Traumabase observatory

2016
Traumabase's collaboration with the scientific community

2019
Integrating Capgemini Invent into the partnership

2020+
Capitalizing on partnership achievements

PREDICTION

CRITICAL ACTIONABLE PATIENT NEEDS

IMPROVE TRIAGE

OVERLAPPING PREHOSPITAL INFORMATION

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

FEW/ROUTINE CRITERIA IMPUTE MISSING DATA

1. PRE-HOSPITAL

2. INTRA-HOSPITAL

Trauma

EMS

DISPATCH

RESUS

Admission

BodyScan

SURGERY

Interv RADIOLOGY

ICU/WARD

SHOCK/HEMORRHAGE

TRAUMATIC BRAIN INJURY

NEED FOR TRAUMA INTERVENTION

TRAUMATRIX

Hemorrhage needs

Transfusion RESUS

Transfusion ≥ 4 RBC first 6h

Hemorrhage control intervention 24h (surgery/radiologie)

Death from hemorrhage

TBI needs

Neurosurgery First 24h

Need for trauma center

Admission ICU >72h

Complex surgery AIS >/= 3 first 24h

Any interventional radiology

Death frist 24h

Massive transfusion

traumabase.eu

Assistance Publique Hôpitaux de Paris

cnrs

École Polytechnique

Capgemini invent

Inria

L'École des Hautes Études en Sciences Sociales

MAKE THE DATA USABLE

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

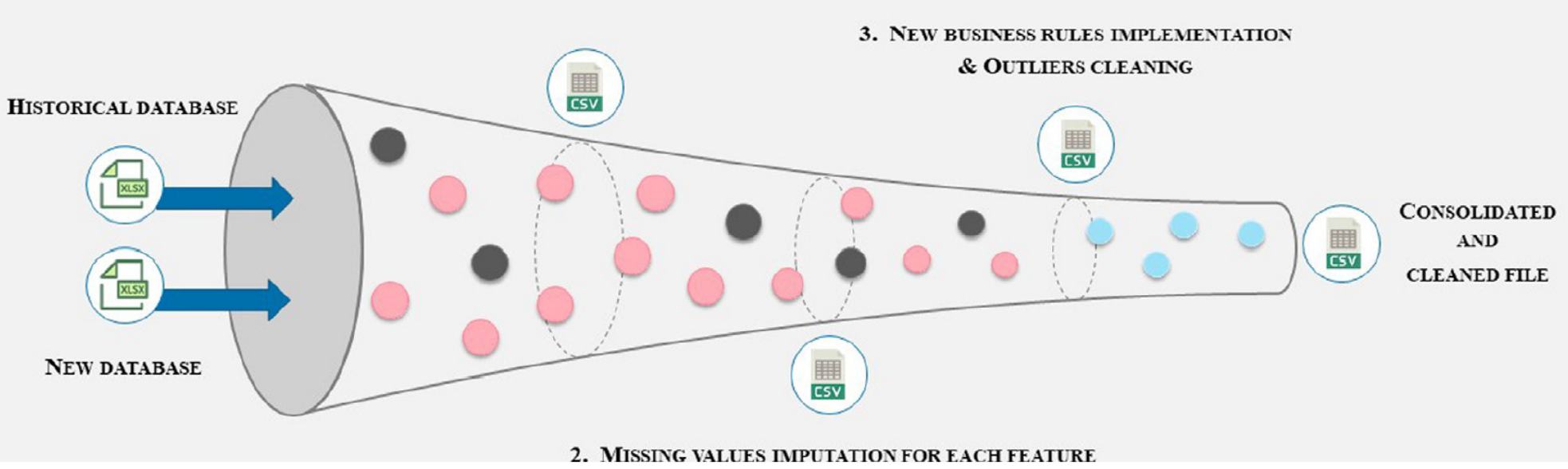
Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

Database consolidation pipeline

The pipeline's objective is to **standardize** and **automate** the **consolidation** of **anonymized data** for the purpose of conducting **clinical studies**

Language	Interface
Python	DASH



traumabase.eu · ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS · cnrs · ÉCOLE POLYTECHNIQUE · Capgemini invent · Inria · L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

MODELS

PROTOTYPES

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

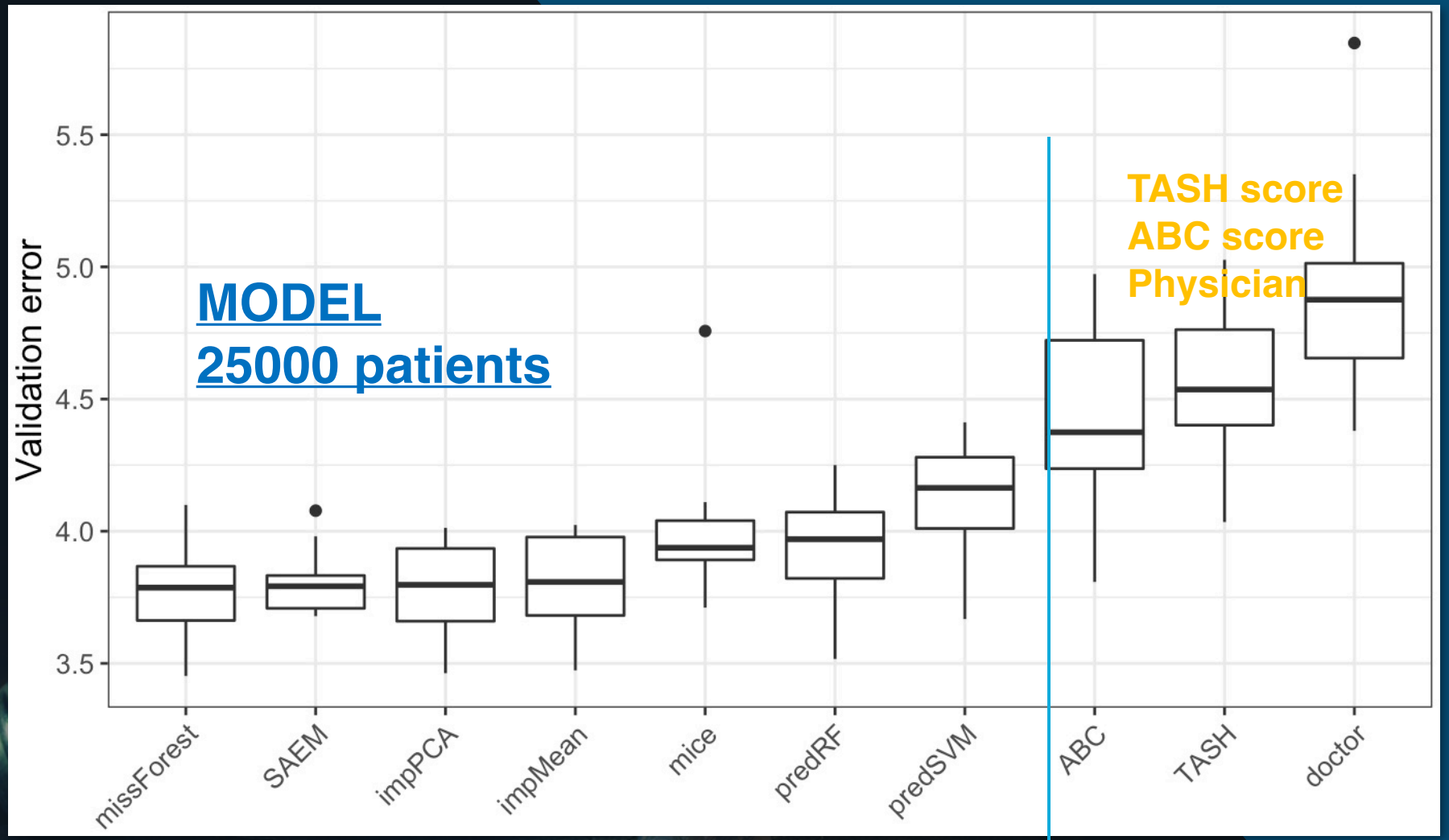
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

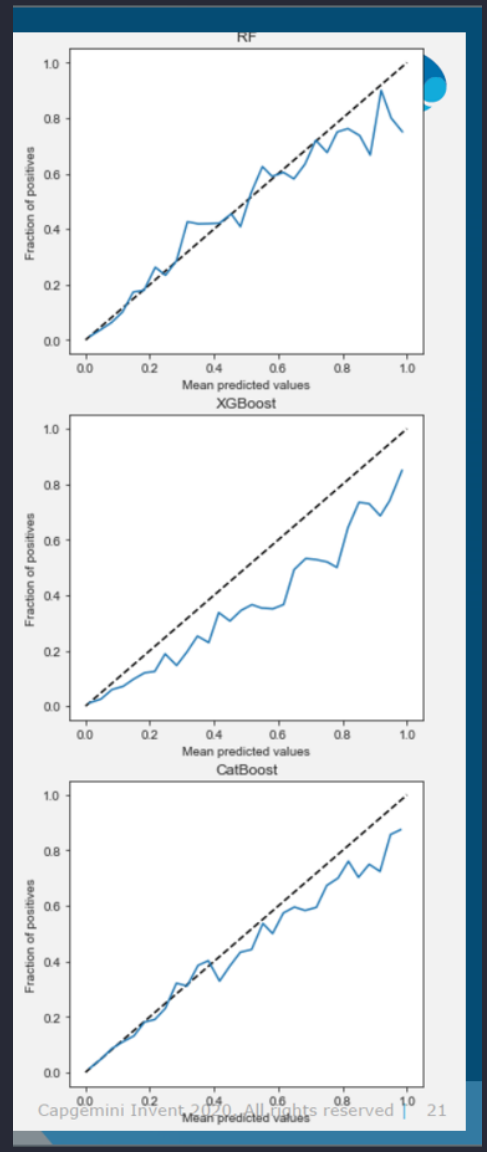
Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

PERFORMANCE SHOCK/HEMORRHAGE: 1° MODEL



		F4	AUC PR	Recall	Precision	Specificity	Confusion
MIA	Cart	0.74	0.42	0.81	0.3	0.77	[[5733 1741] [176 747]]
	RF	0.76	0.53	0.82	0.33	0.8	[[5966 1508] [166 757]]
	XGBoost	0.74	0.55	0.8	0.34	0.81	[[6046 1428] [182 741]]
	CatBoost	0.74	0.53	0.8	0.35	0.81	[[6084 1390] [186 737]]
Mean	Cart	0.71	0.36	0.83	0.21	0.6	[[4521 2953] [156 767]]
	RF	0.73	0.5	0.79	0.33	0.8	[[5969 1505] [191 732]]
	XGBoost	0.73	0.52	0.79	0.33	0.8	[[6007 1467] [192 731]]
	CatBoost	0.72	0.54	0.77	0.36	0.83	[[6194 1280] [213 710]]
Mean+ mask	Cart	0.66	0.42	0.7	0.36	0.85	[[6341 1133] [281 642]]
	RF	0.74	0.52	0.81	0.33	0.8	[[5963 1511] [178 745]]
	XGBoost	0.75	0.54	0.8	0.34	0.81	[[6035 1439] [180 743]]
	CatBoost	0.74	0.55	0.8	0.36	0.82	[[6158 1316] [186 737]]



PROSPECTIVE TEST

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

HEMORRHAGIC SHOCK

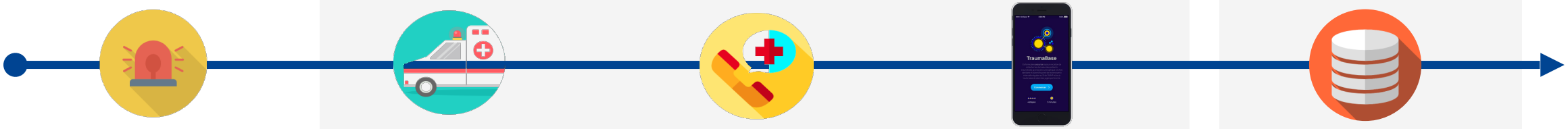
CLINICALTRIALS.GOV: NCT06270615

THE PRE-HOSPITAL DATA COLLECTION INTERFACE USED IN SHOCKMATRIX

OBJECTIVE

- **Collect data in real time**, as soon as the regulation is transmitted
- **Collect predictions from clinicians** stationed in the emergency room to estimate predictive capacity based on clinical expertise
- **Collect pre-hospital variables of interest** for algorithmic prediction, to validate the predictive model selected

ILLUSTRATION OF THE DATA COLLECTION



Step 1 - Data collection

Step 2 - Traumabase matching

- Accident
- **SMUR arrives at the accident site**, takes charge and administers first aid
- **Contact with the doctor in the outpatient department** and transmission of data on the patient's condition
- **Receive the call and enter pre-hospital variables and clinical prediction** into the application
- **Traumabase fed with patient data supplemented by a specific Shockmatrix identifier to enable correspondence between Azure and TB data**

- *Age*
- *Sex*
- *Minimum PAS*
- *Minimum DBP*
- *Heart rate*
- *Hemocue*
- *Volcemic expansion administered*
- *Pelvic fracture*
- *Catecholamines*
- *Intubation*
- *Clinical prediction*

In a dedicated database

RETRAIN + CHALLENGE THE MODELS

HACKATHON
43 000 PATIENTS

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

	PATIENT NEED		
PREHOSPITAL VARIABLE	**HEMORRHAGE**	**NEUROSURGERY FIRST 24h**	**NEED FOR TRAUMA CENTER**
Age		X	X
Capillary hemoglobine	X	X	X
Fluid challenge			
Clinical suspicion pelvis fracture	X		X
Prehospital catecholamines	X		
Systolic arterial pressure arrival medical team	X	X	X
Diastolic arterial pressure arrival medical team		X	
Glasgow Coma Scale arrival EMS	X	X	X
GCS motor			X
Pupil anomaly	X	X	X
Heart rate arrival medical team	X	X	X
Penetrating trauma			X
penetrant_objet			X
Extremity ischemia	X		
External hemorrhage	X		
Amputation	X		

HEMORRHAGE NEEDS

Light Gradient Boost	CONFORMAL
Variables	7
AUC (max)	0,85
F1 Score (max)	0,28
F2 Score (max)	0,40
Brier Score (min)	0,09
Threshold	0,16
False Negatve %	1,4%
False Positive %	7,9%
Execution time	11,3 ms

PENG et al. MIL MED RES 2022

TBI NEEDS

High Gradient Boost	CONFORMAL
Variables	10
AUC (max)	0,86
F1 Score (max)	0,44
F2 Score (max)	0,6
Brier Score (min)	0,23
Threshold	0,12
False Negatve %	2%
False Positive %	21%
Execution time	<1s

HUNTER et al. W J SURG 2023

NEED FOR TRAUMA CENTER

High Gradient Boost	CONFORMAL
Variables	10
AUC (max)	0,78
F1 Score (max)	0,72
F2 Score (max)	0,76
Brier Score (min)	0,31
Threshold	0,36
False Negatve %	11%
False Positive %	20%
Execution time	16 ms

GAUSS, TJARDES, PERKINS CURR OP CC 2023

traumabase.eu ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS cnrs ÉCOLE POLYTECHNIQUE Capgemini invent Inria L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

TEST THE INTERFACE

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

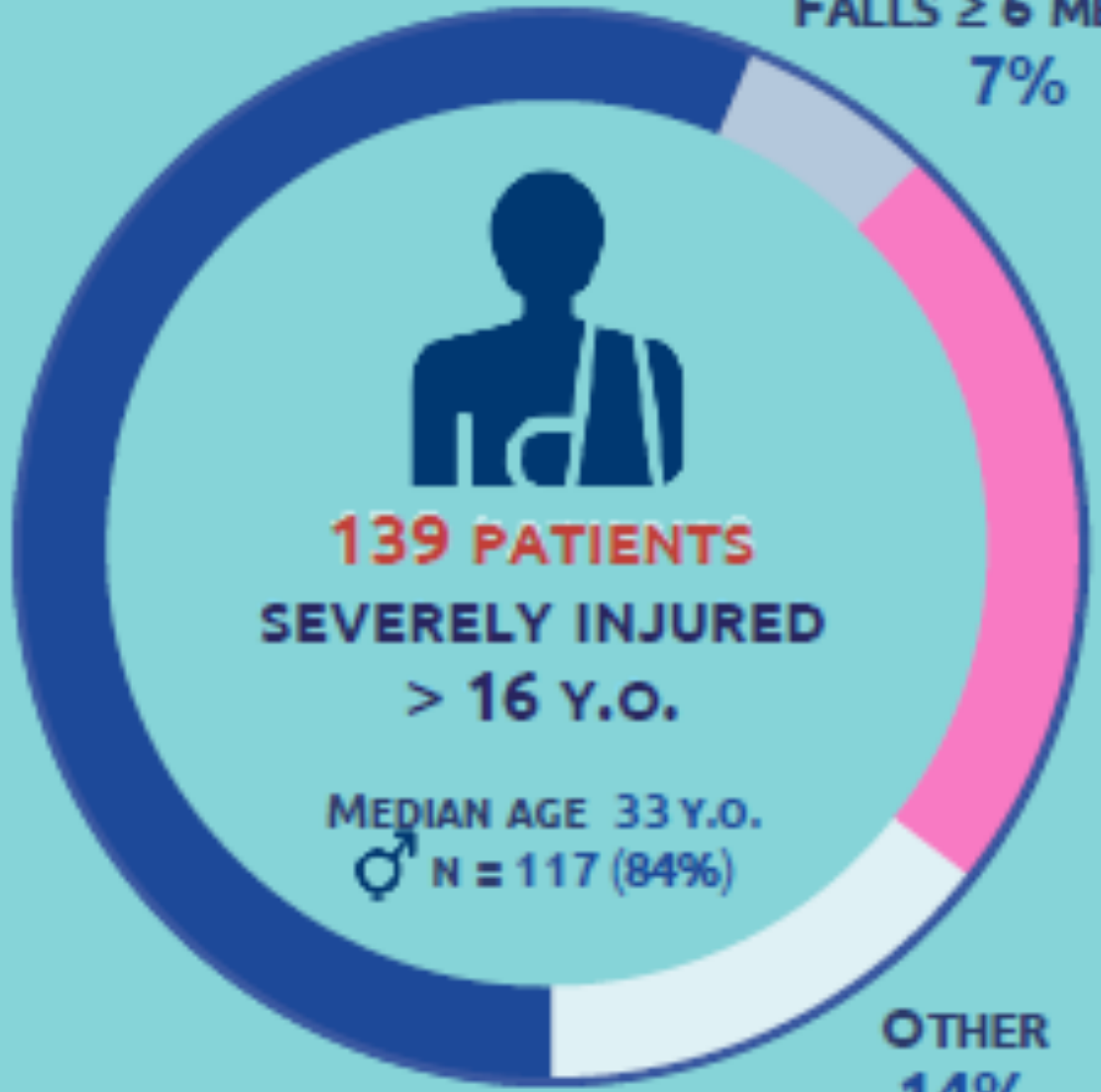
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

METHODS



FALLS ≥ 6 METERS
7%

PENETRATING TRAUMAS
22%

OTHER
14%

ROAD TRAFFIC CRASHES
57%

38.5% STUDY INCLUSION RATE

54 PARTICIPANTS

23 RESPONDENTS

42.6% SURVEY RESPONSE RATE

GLOBAL SATISFACTION

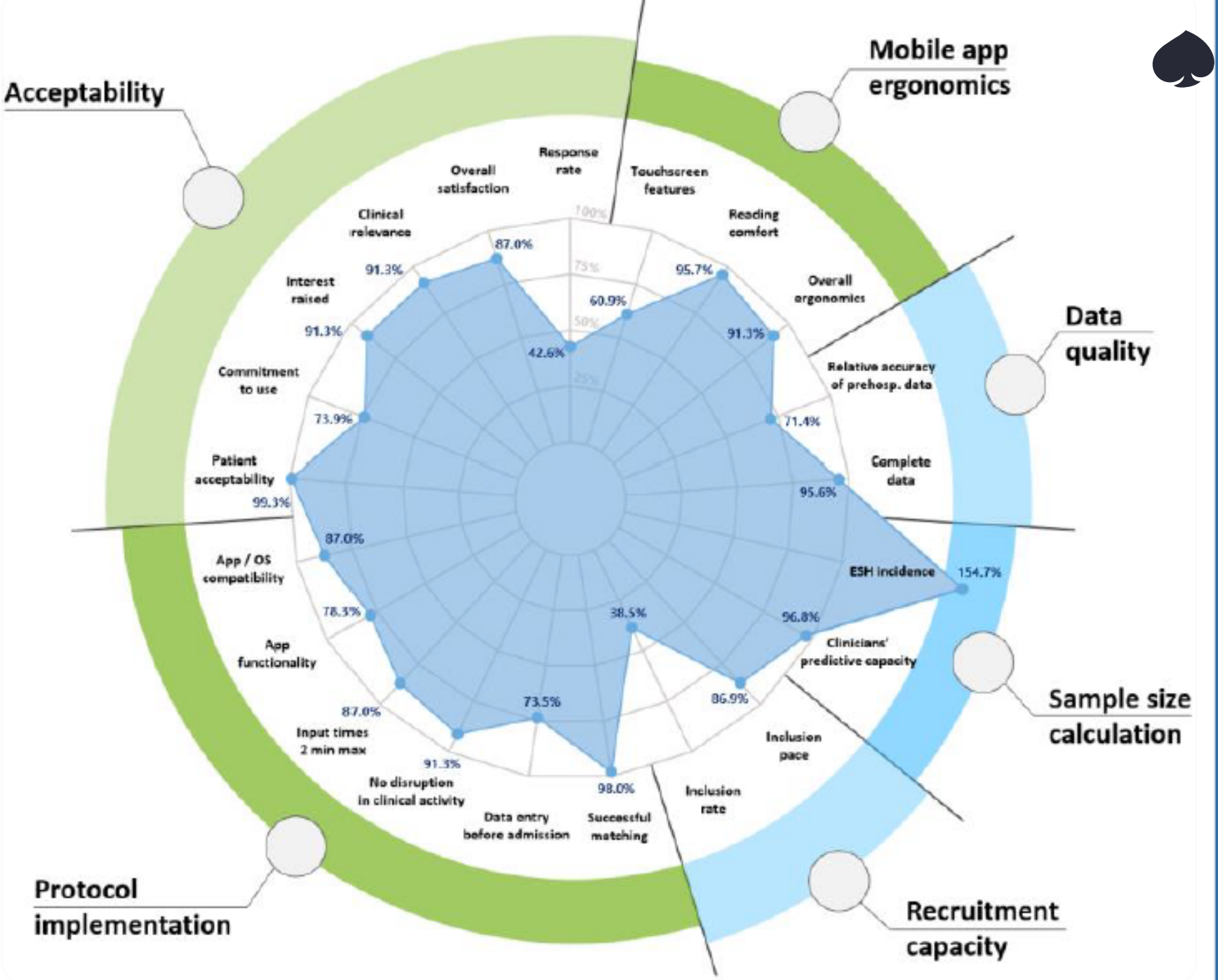
87.0%

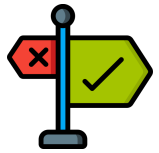
91.3%

INTEREST IN THE STUDY

MOBILE APP INPUT TIME < 2 MIN

87.0%

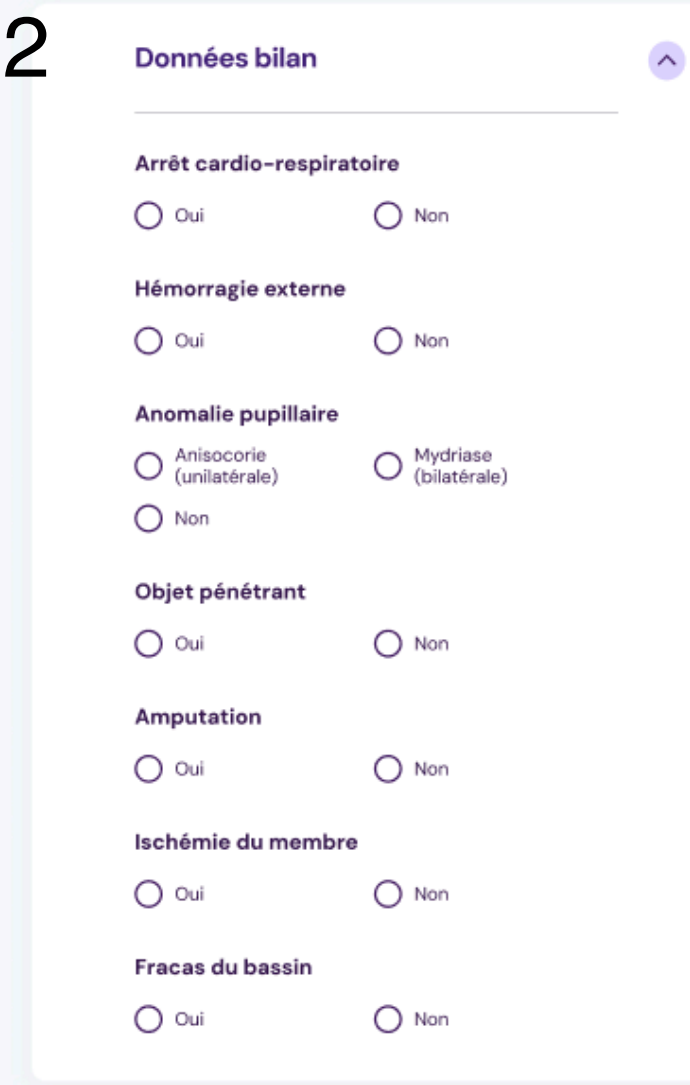




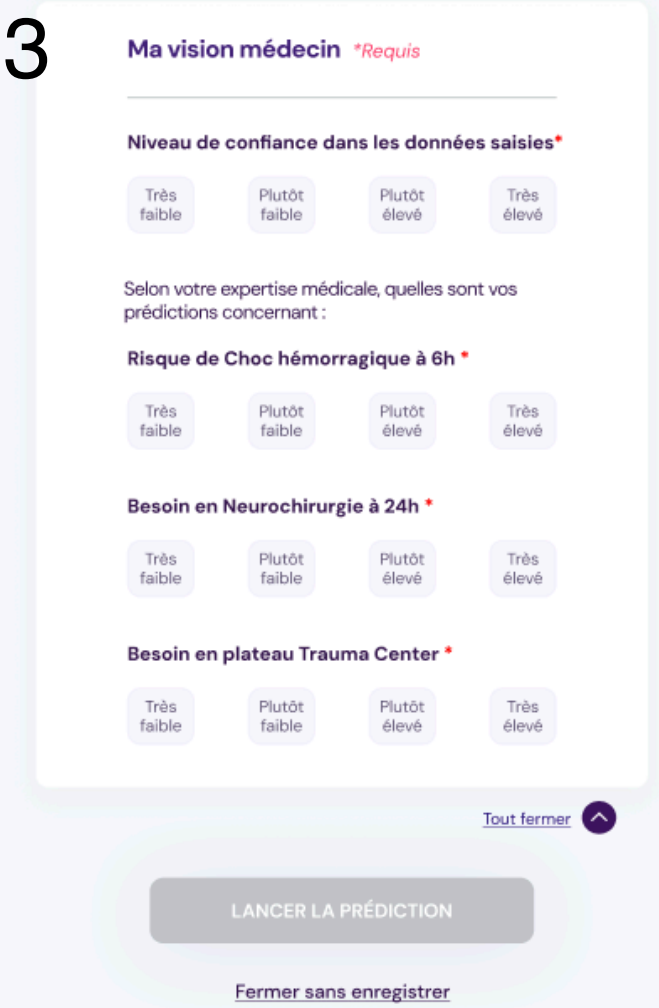
USERFRIENDLY INTERFACE
LOW TASK INTERRUPTION AND COGNITIVE LOAD; < 2 MIN

1

2



3



HOW TO PRESENT TO CLINICIANS

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

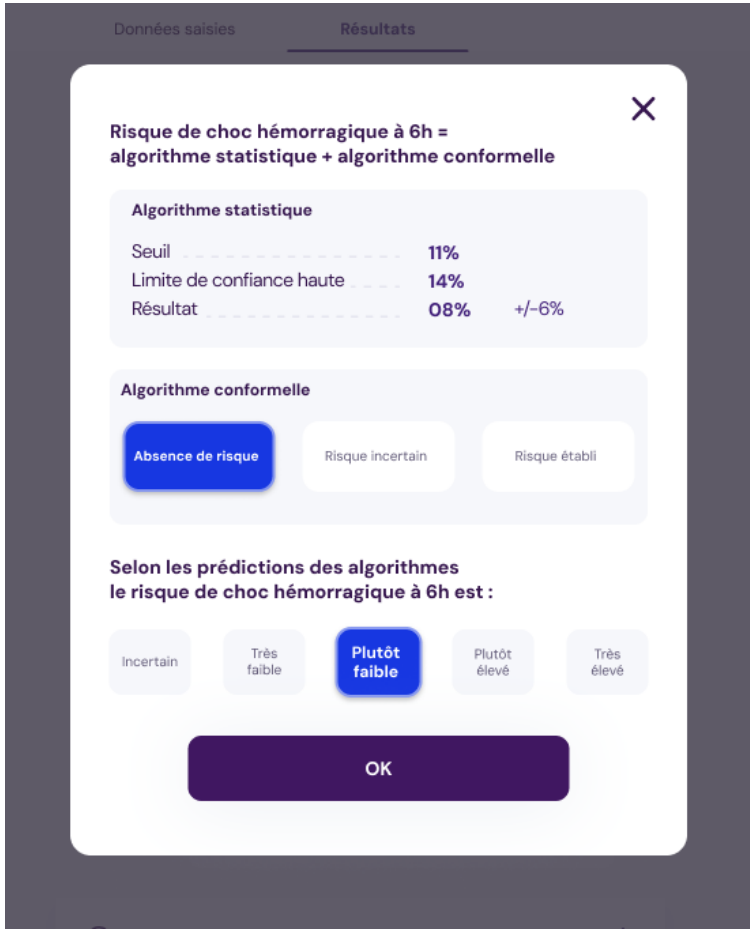
Capgemini invent

Inria

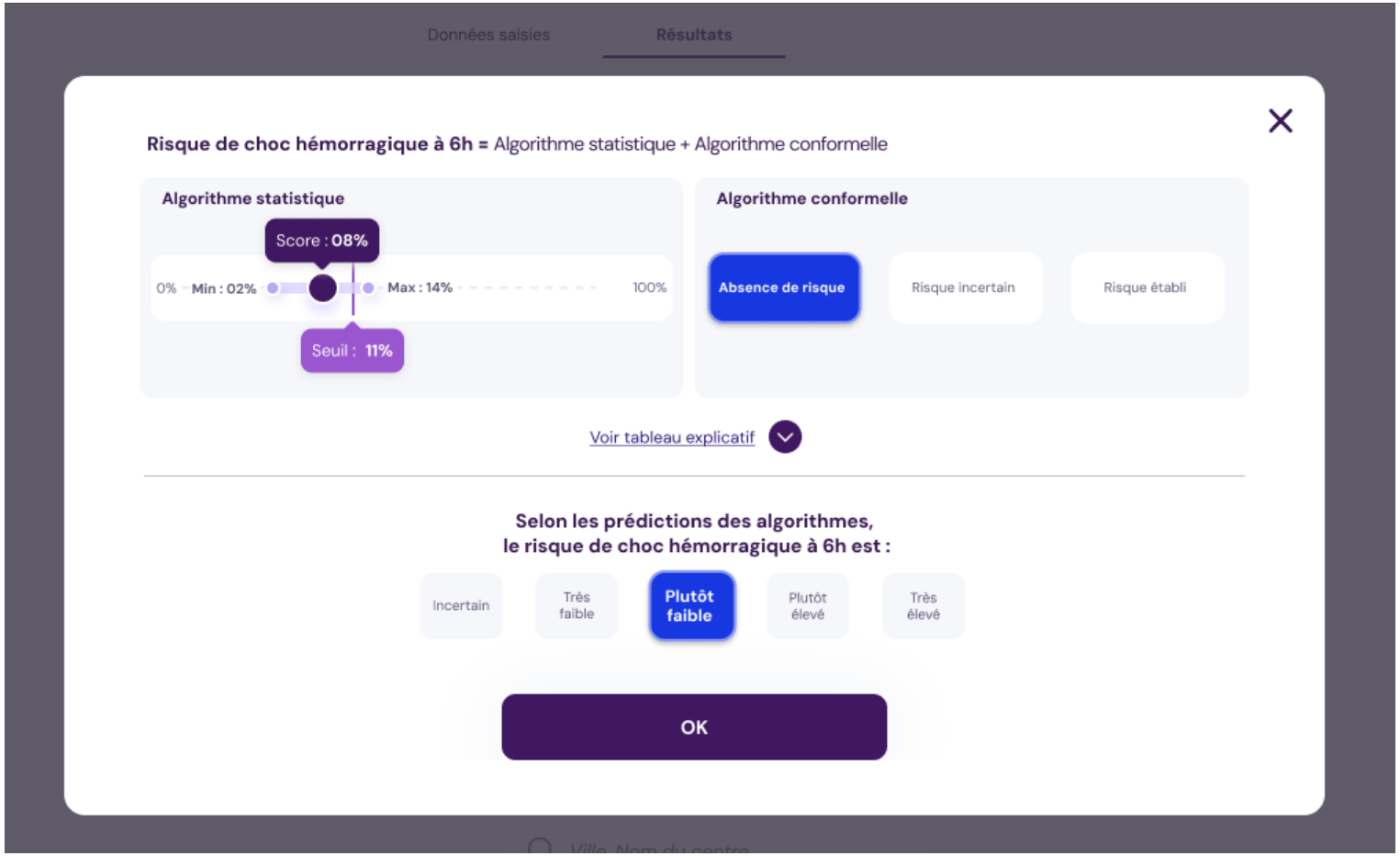
L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

HOW TO PRESENT THE LEVEL OF UNCERATINTY OF THE PREDICTION?

INITIAL



MORE VISUAL



TRIAL METHODOLOGY

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

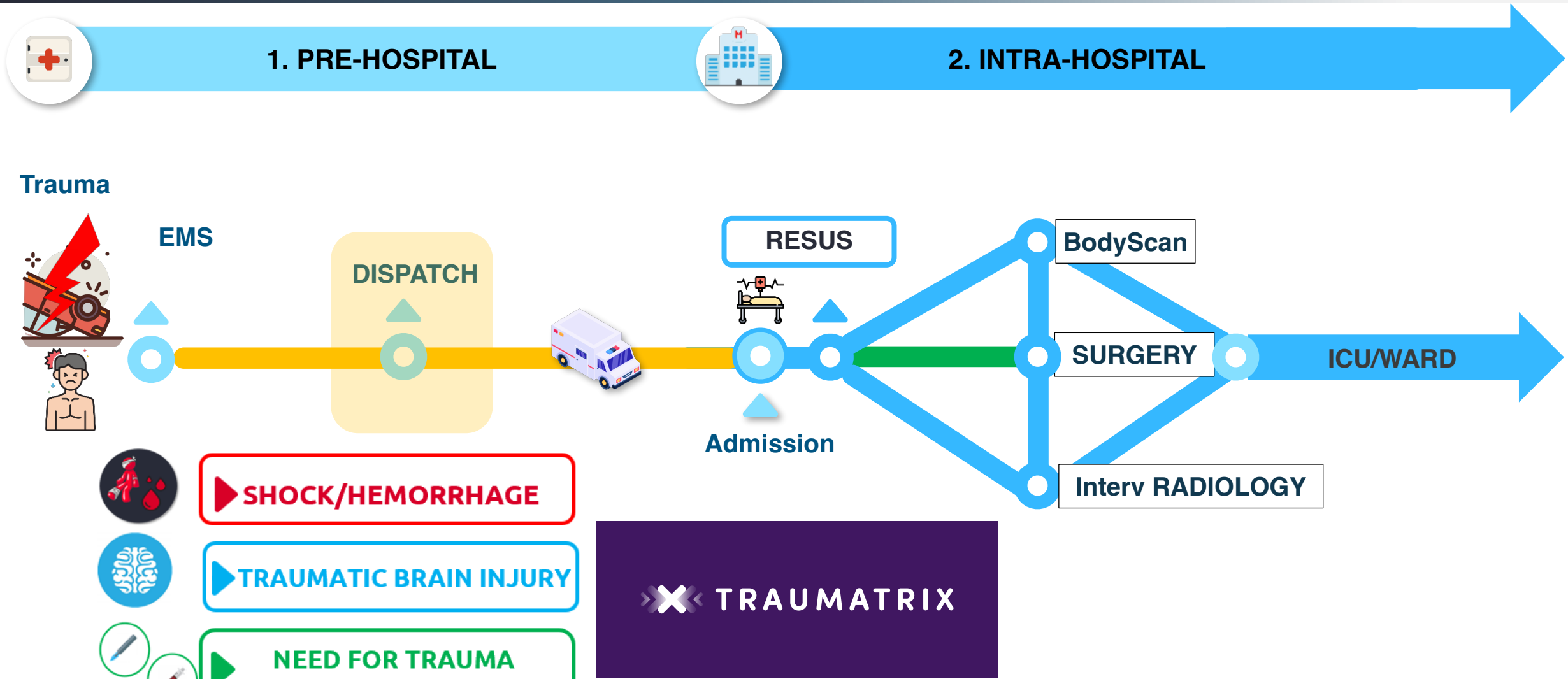
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

PROSPECTIVE CLUSTER TRIAL IN 16 DISPATCH CENTERS



HYPOTHESIS:
UNDERTRIAGE ⬇ 5%

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

STUDY DESIGN

TRAUMATRIX

Cluster RCT,

Stepped wedge

Hypothesis:

15% undertriage control/10% intervention

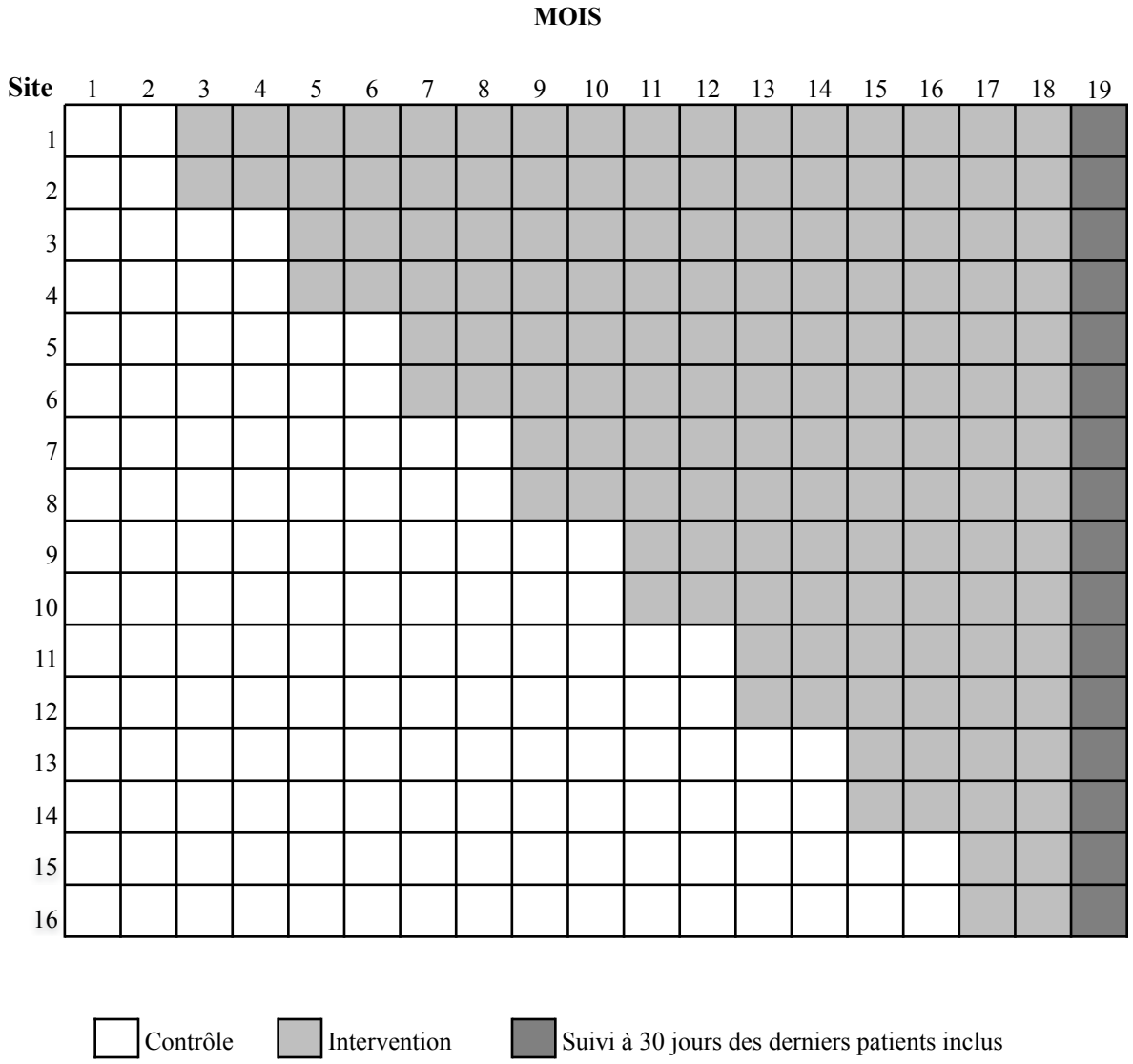
8 permututation / 90% Power

4320 patients -> 30 patients / sequence

15 patients / month per centre

18 months

Randomisation of sequence, blinded to centers



traumabase.eu ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS cnrs ÉCOLE POLYTECHNIQUE Capgemini invent Inria L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

STEP WEDGE CLUSTER TRIAL

TRAUMATRIX

Systematic review of 55 SW-CRTs

Recruitment

Low transformation rate

64% low recrutement or transformation

72% with a posteriori design modification

Highlights

- Recruitment and implementation challenges are common in stepped-wedge cluster randomized trials.
- Investigators must be aware of the risks of recruitment or implementation challenges when considering the use of a stepped-wedge cluster randomized trial. Mitigating strategies should be adopted when planning the trial.
- Improvement in transparency of reporting on the planned and actual design features of stepped-wedge cluster randomized trials is required.

CLUSTER RCT OPEN

Hypothesis:

15% undertriage control/10% intervention

8 permutations / 90% Power

4064 patients > 30 patients / sequence

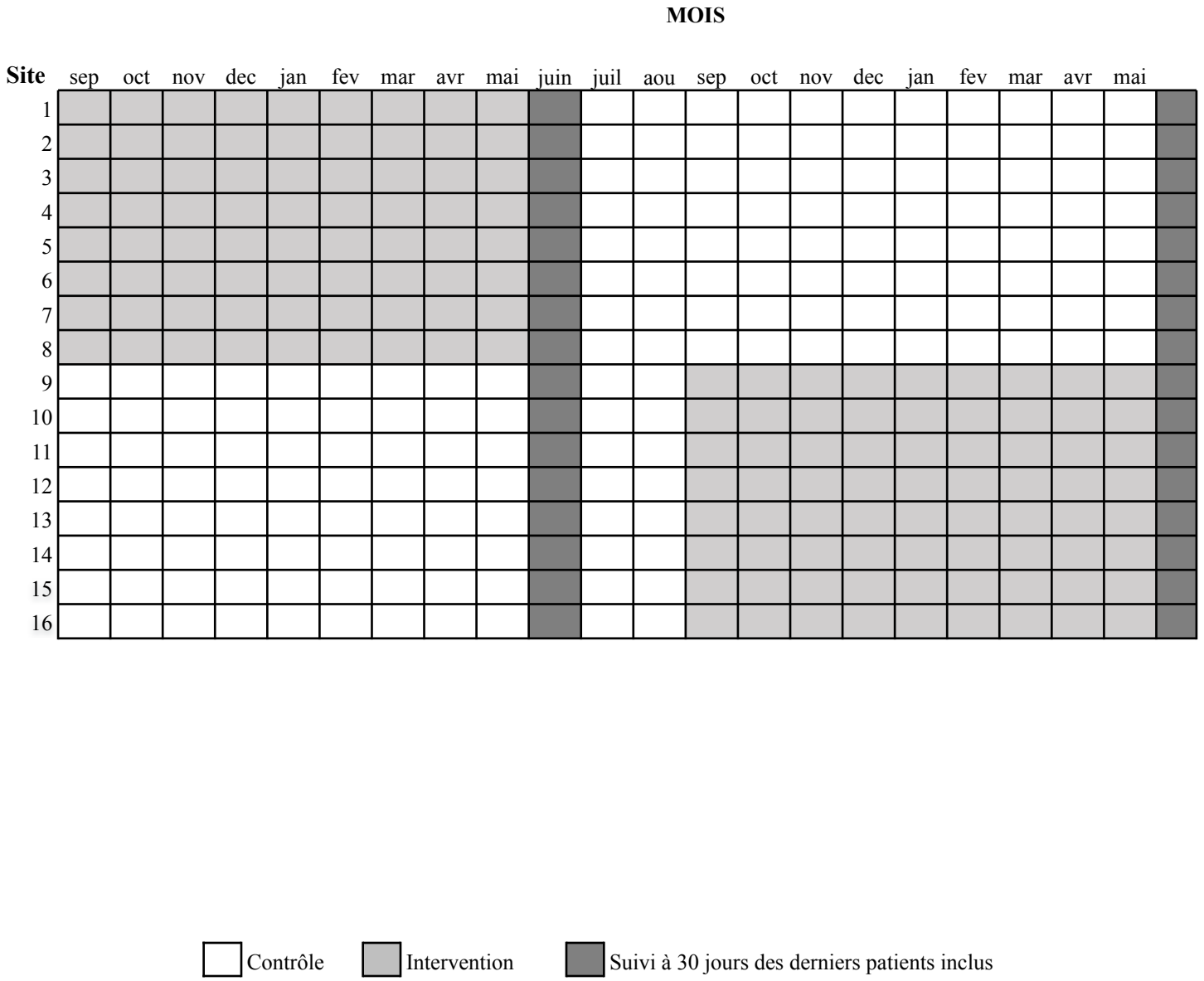
15 patients / month per centre

18 months

Randomisation of sequence

Pause three months, respect seasonality

Carry over effect



CONNECT PREDICTION TOOL WITH CLINICAL COURSE

CHALLENGE

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

INTEGRATE MEDICO-ECONOMIC ANALYSIS

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

ANALYZE PHYSICIAN BEHAVIOUR AND DECISION

EXPERIENCE CONFIDENCE

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

IF WE COULD START OVER?

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

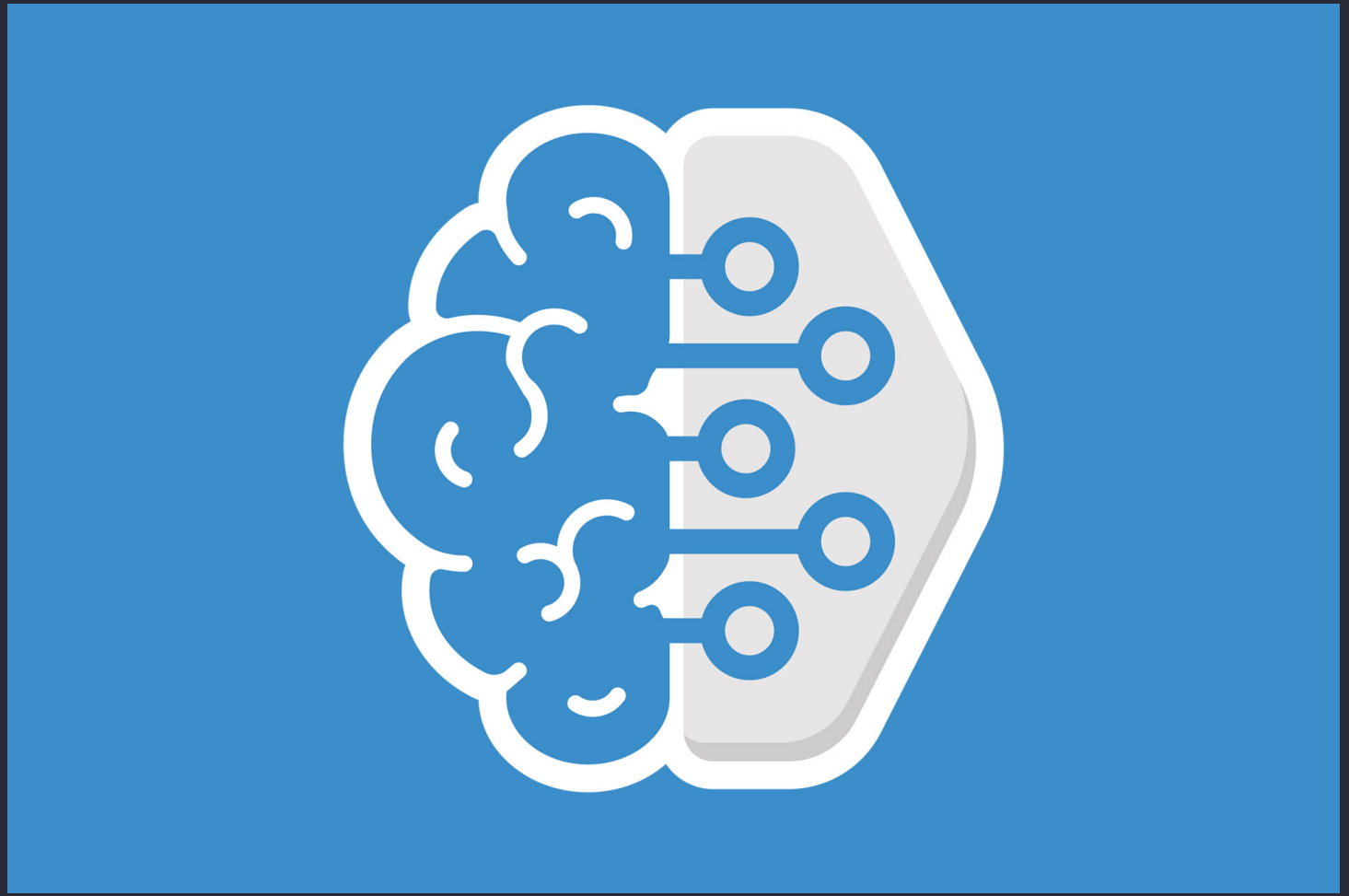
Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

COGNITIVE BENCHMARK

MACHINE BUDDY



traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

SAME OUTCOMES?

HIGHER EXTERNAL VALIDITY?

IN THE FIELD?

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

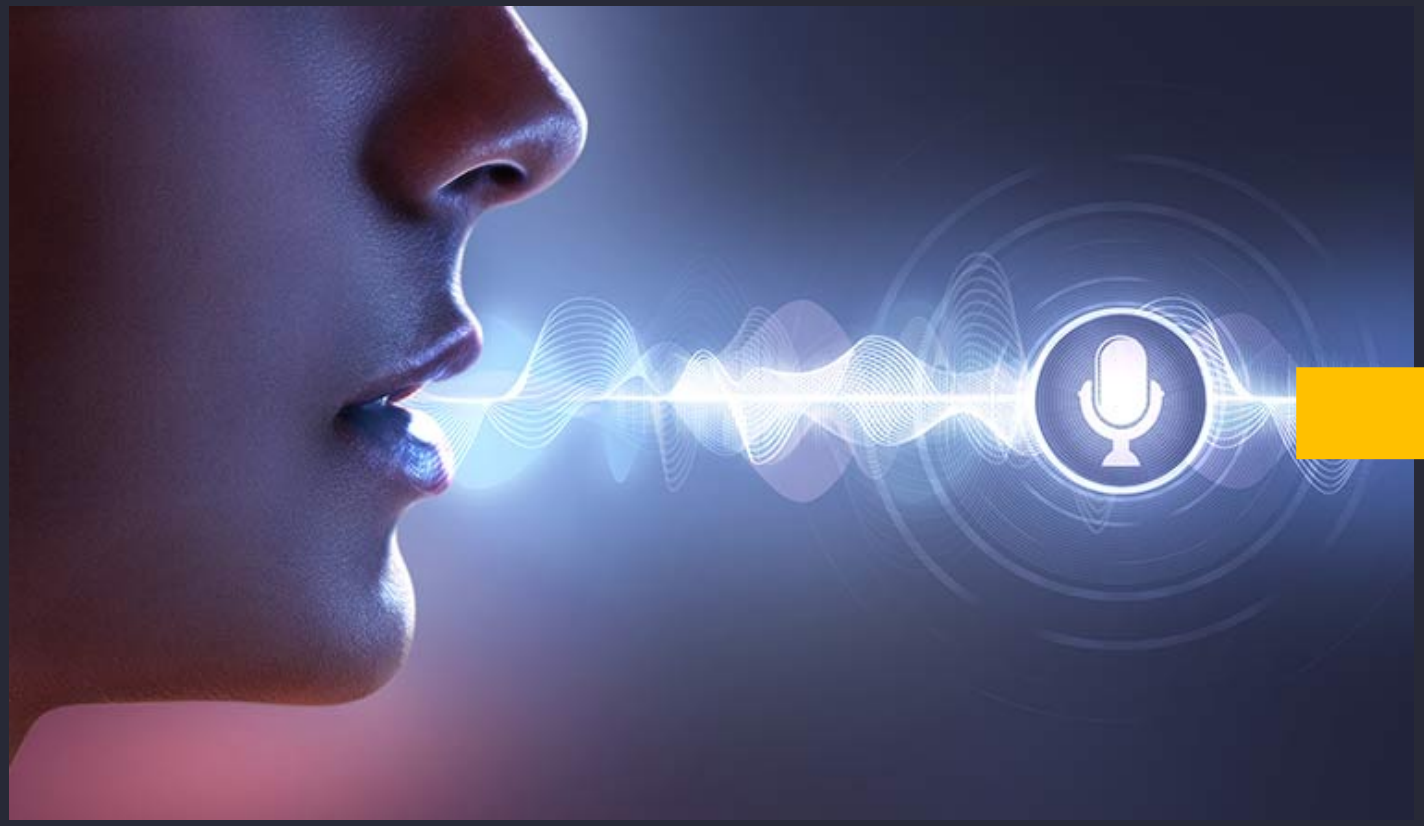
cnrs

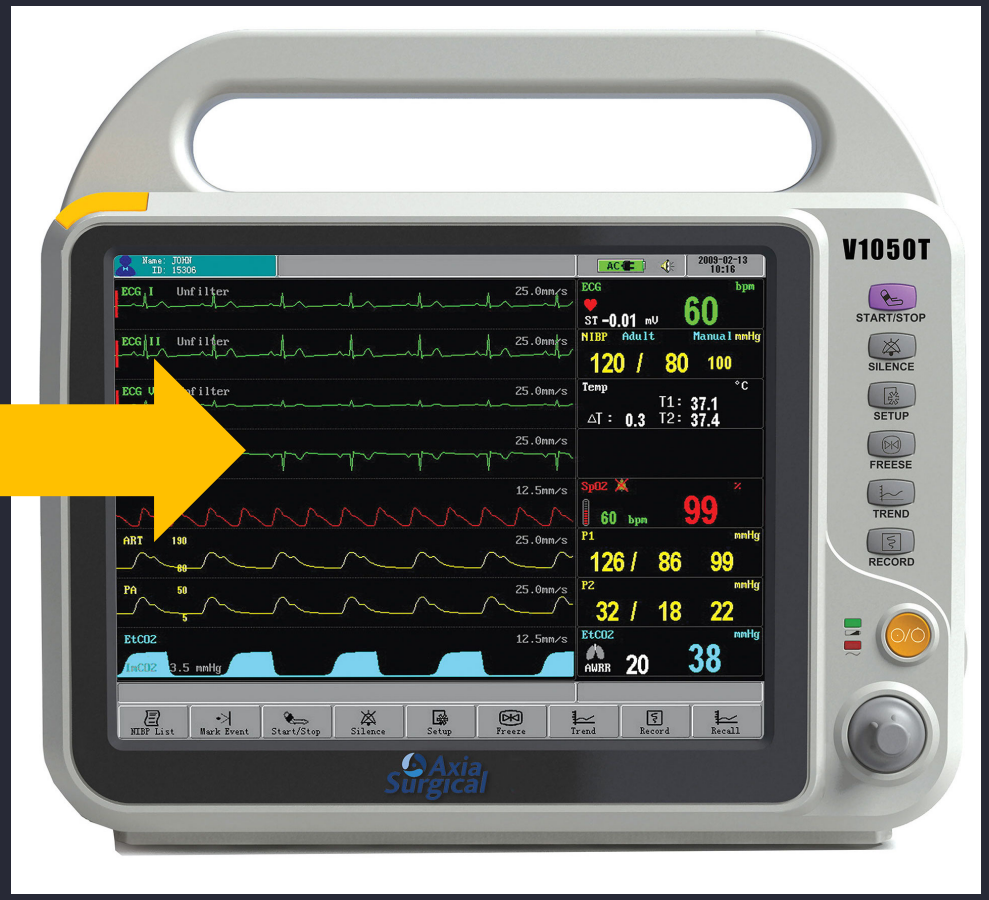
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES





traumabase.eu

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

cnrs

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Capgemini invent

Inria

L'ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

TRAUMATRIX

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

tgauss@chu-grenoble.fr