

Méthode d'ensemble transparente basée sur la négociation multi-agents pour personnaliser le suivi de patients hypertendus

Nadia Abchiche-Mimouni & Farida Zehraoui
IBISC (EA 4526) Univ. Evry université Paris-Saclay

IBISC & VISIOMED Group
Thèse CIFRE de Naziha Sendi

Contexte et motivations

Faire adhérer les patients et améliorer l'observance

L'hypertension artérielle : facteur de risque cardio-vasculaire

Prise en charge : recommandations de la haute autorité de santé et la société française de l'hypertension artérielle

L'adhésion aux règles classiques de prise en charge pourrait être remplacée avantageusement par un suivi personnalisé

- Permettre au patient de se prendre en charge, d'avoir accès aux conseils adaptés à son profil



Auto mesure à domicile :

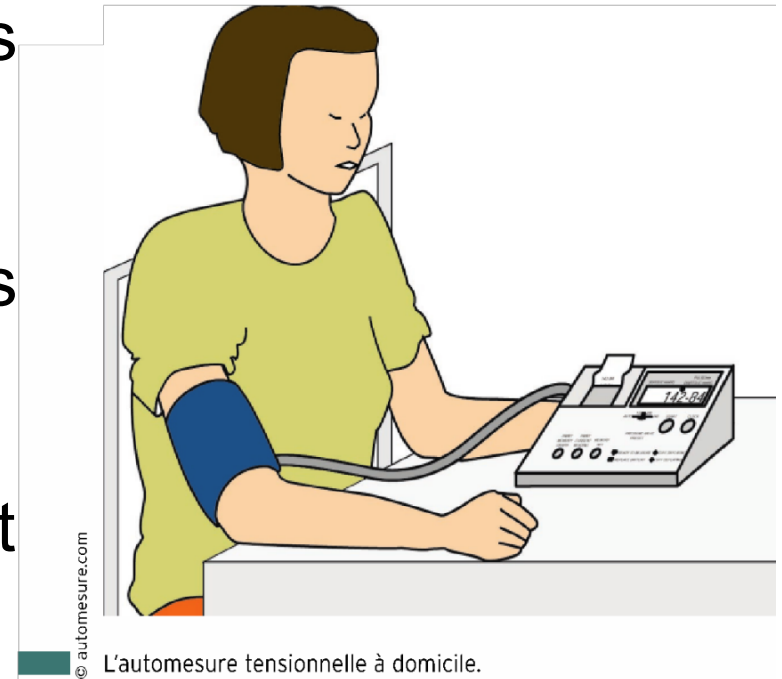
mesure de la pression artérielle par le patient



Contexte et motivations

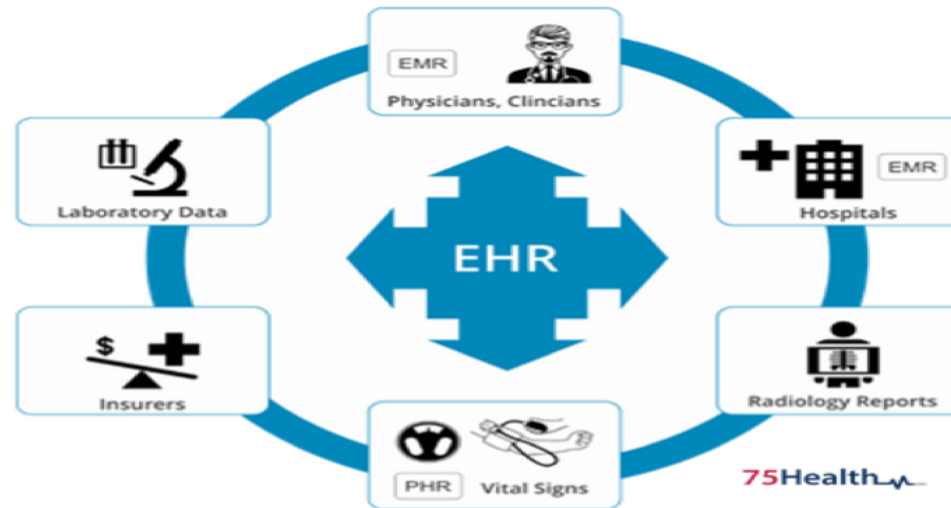
Auto-mesure à domicile

- Améliorer la précision des mesures et confirmer le diagnostic
- Renseigne sur les variations subies au niveau de la pression
- Atténue les conséquences de l'effet "blouse blanche" et HTA masquée
- Permet d'ajuster le traitement



Contexte et motivations

Disponibilité de nombreuses sources de données centrées-patients



- ✧ Objets connectés : collecte d'indicateurs de santé du patient (pression artérielle, glycémie, etc.)
- ✧ Dossier électronique de patient : historique médical du patient (diagnostics, traitements, allergies, etc.)

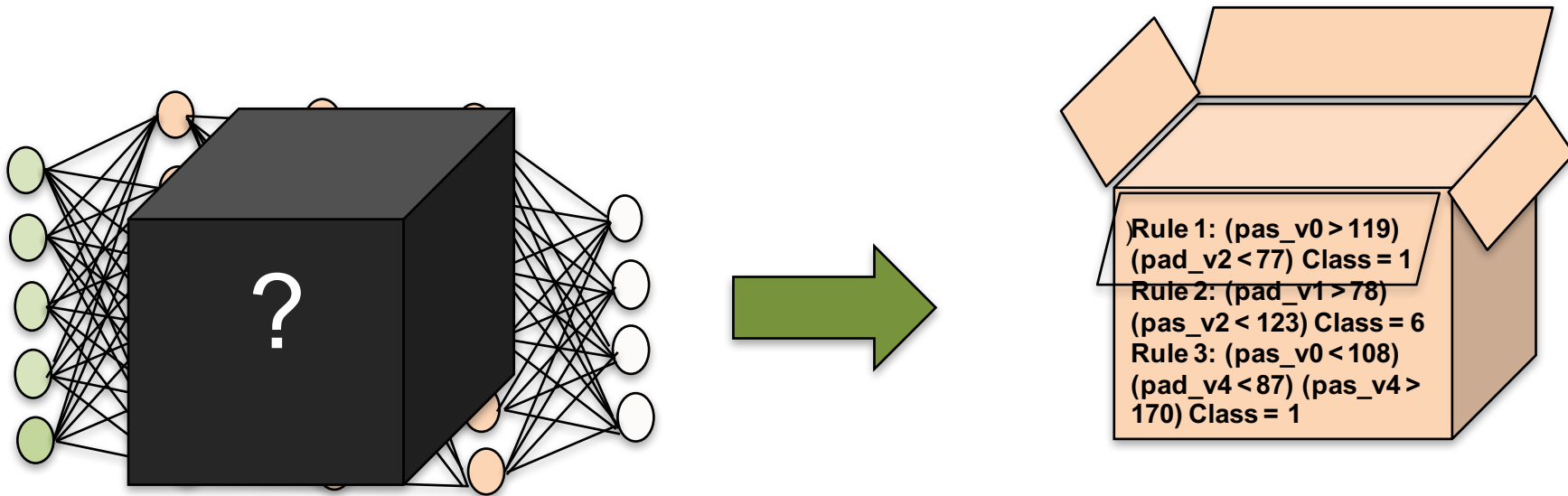


Apprentissage automatique pour le suivi personnalisé de patients

Apprentissage automatique

Aspect boîte noire

Les algorithmes d'apprentissage sont souvent des boîtes noires

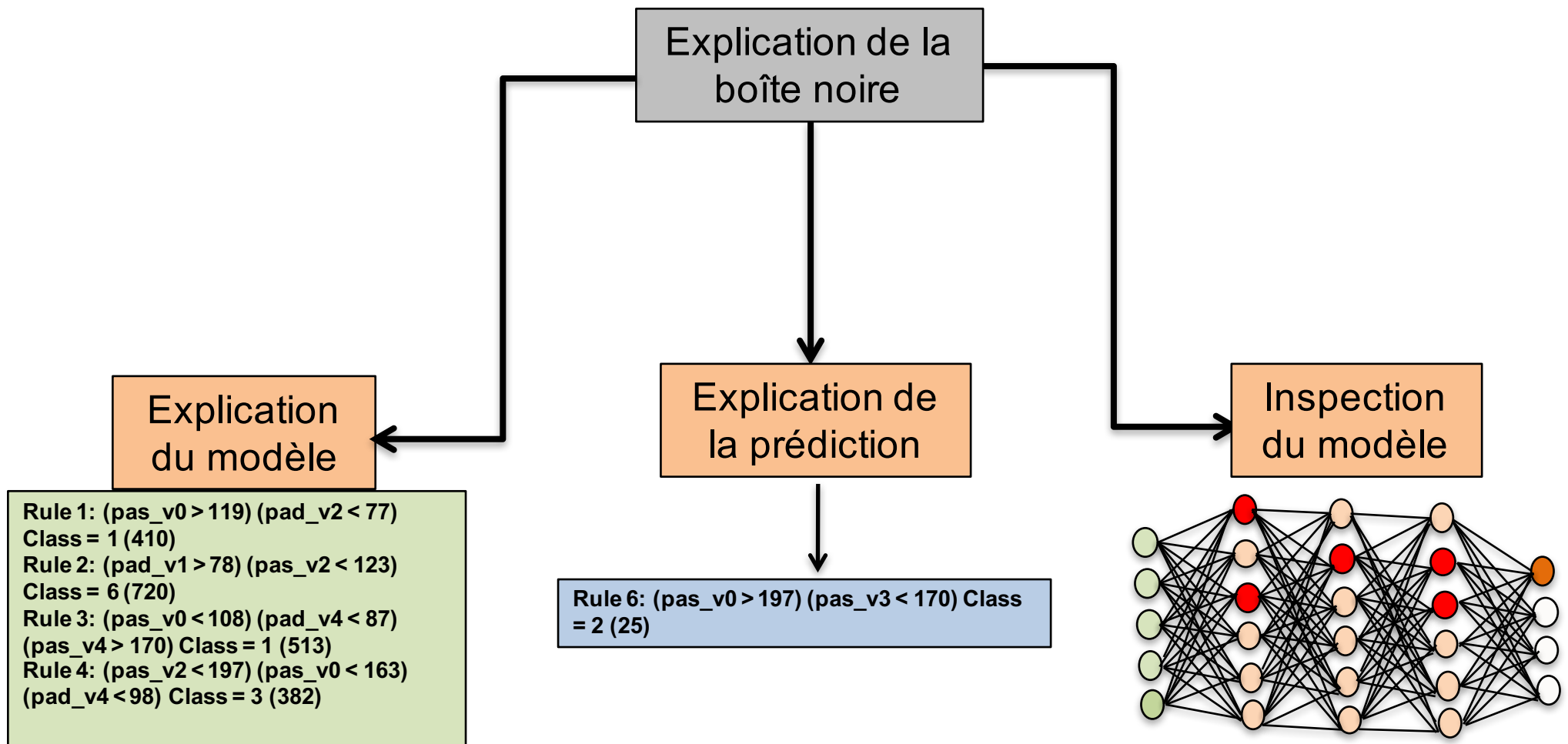


➡ Besoin de transparence dans les algorithmes d'apprentissage

Apprentissage automatique

Explication des algorithmes d'apprentissage

Nécessité pour l'adoption des algorithmes d'apprentissage dans le domaine médical



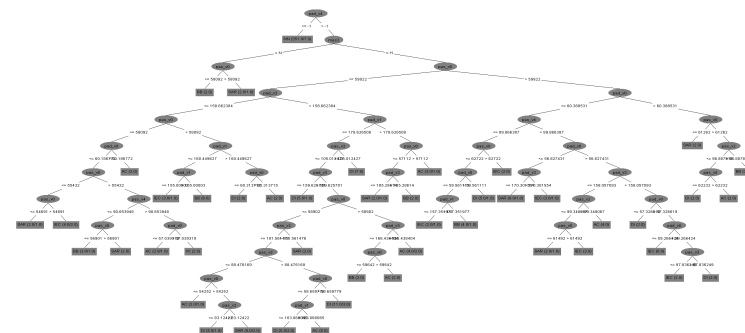
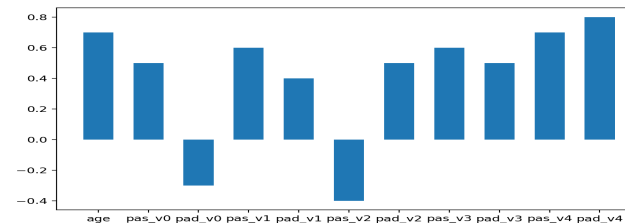
Explication des algorithmes d'apprentissage

Utilisation de **modèles interprétables** capables d'imiter le comportement du modèle "boîte noire"

✧ Fonction linéaire

✧ Arbre de décision

✧ Règles logiques



**Rule 1: (age>44) (diastolic blood pressure>79.3)
(systolic blood pressure <143.23) (pad-V3 < 90) Class =
1 (492)**

Apprentissage automatique

Injection de connaissances a priori

Apprentissage entièrement guidé par les données



Résultats contradictoires avec les
connaissances d'experts/du domaine



Injection des connaissances d'experts/du
domaine

Besoins et approche

Besoins

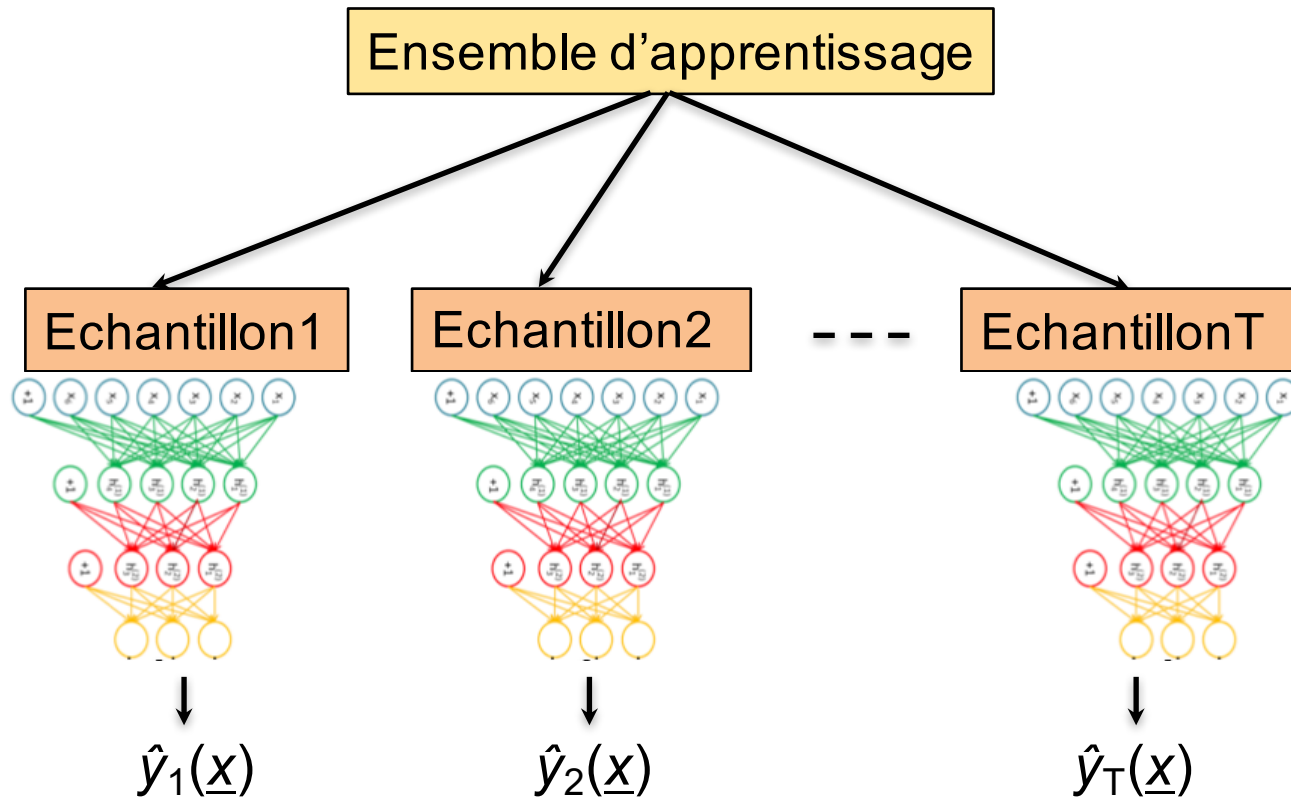
- ✧ Prise en charge adaptée à différents profils de patients;
 - ✧ détection des situations où il est indispensable d'avoir recours à un médecin;
 - ✧ Prédiction du traitement optimal pour chaque patient;
 - ✧ ...
- ✧ Explication et justification des réponses apportées.

Approche proposée

Un système qui **combine** plusieurs algorithmes d'apprentissage et qui est capable de répondre aux besoins des patients et des médecins d'une manière **transparente**

Approche

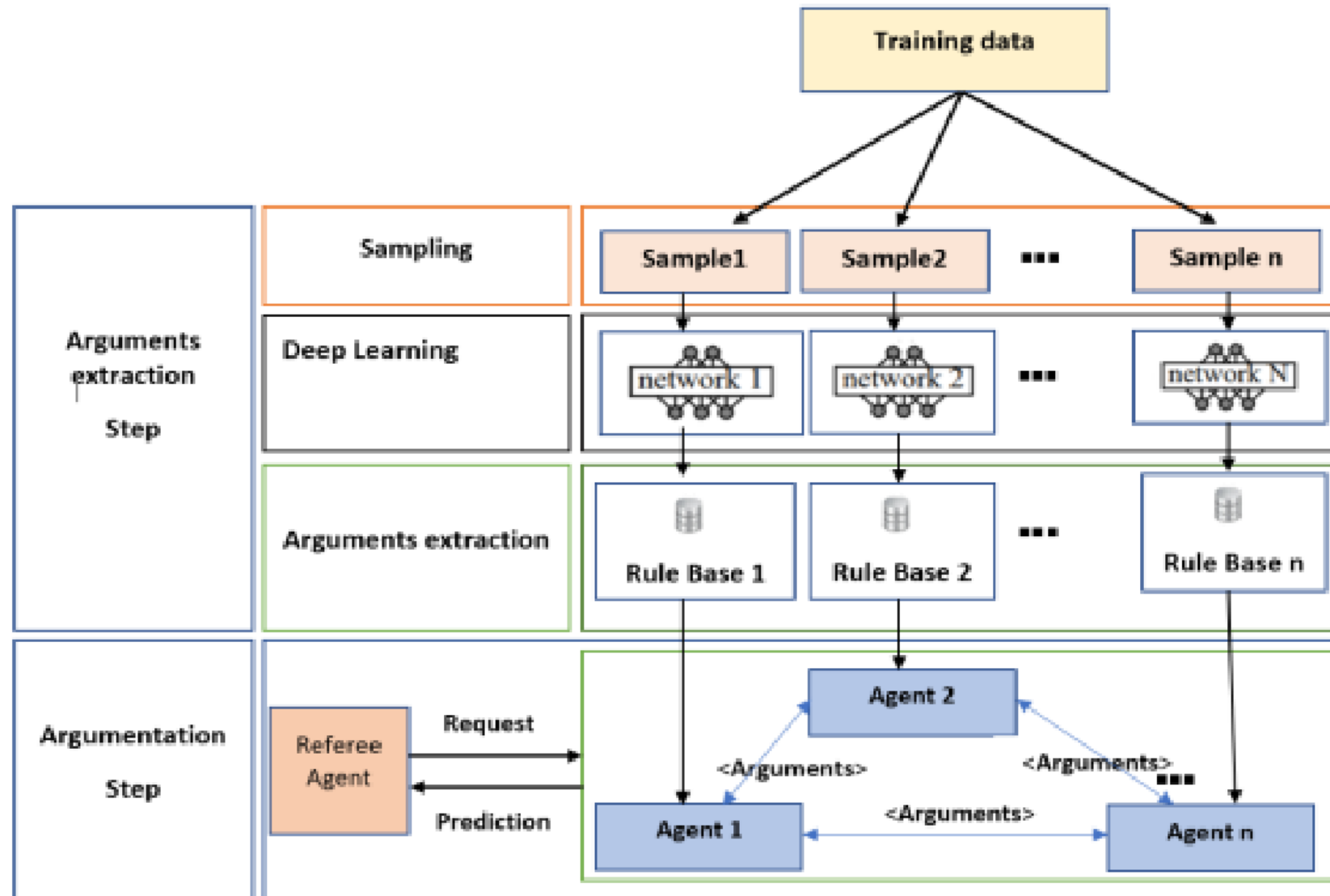
Combinaison d'algorithmes d'apprentissage : Méthodes d'ensemble (bagging)



Bagging : classification $\hat{y}(\underline{x}) =$ classe majoritaire dans $\{\hat{y}_1(\underline{x}), \dots, \hat{y}_T(\underline{x})\}$

➡ Besoin d'une nouvelle méthode d'ensemble transparente capable de justifier la réponse : les systèmes multi-agents

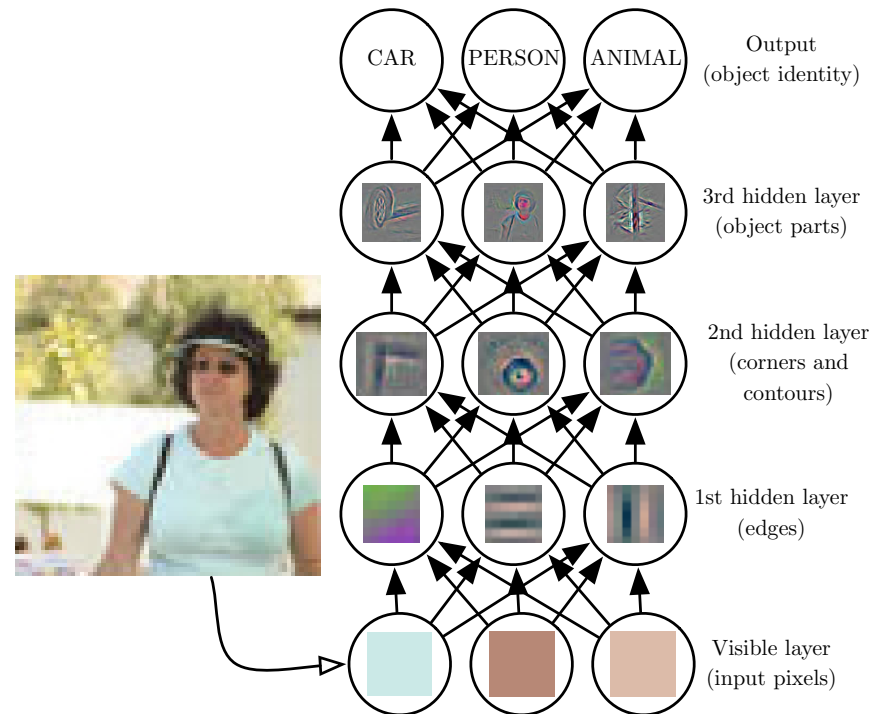
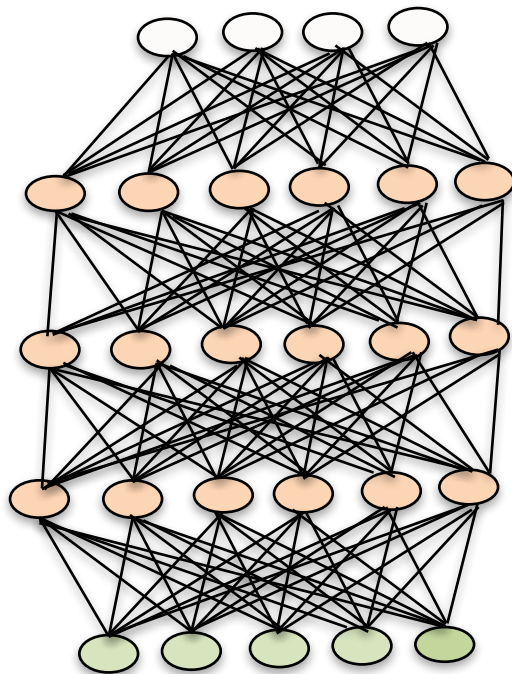
Approche Architecture



Approche

Deep Learning

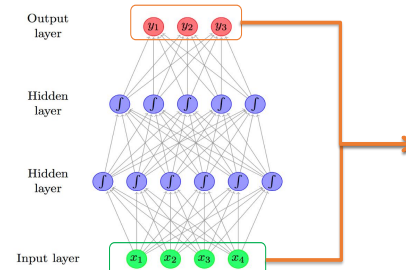
- ✧ Nouvelle génération de réseaux de neurones
- ✧ Représentation hiérarchique des caractéristiques
- ✧ Construction de plusieurs niveaux d'abstraction
- ✧ Extraction de structures complexes à partir de données



Approche

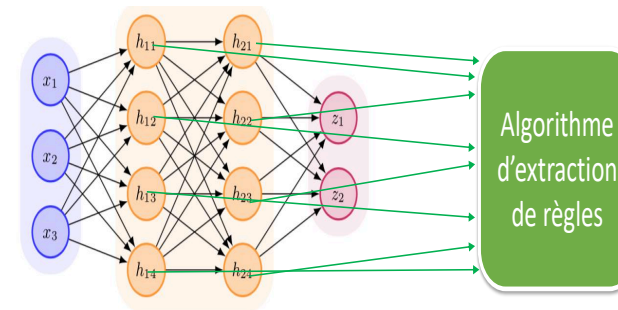
Extraction de règles à partir de réseaux de neurones

Approche pédagogique : utilise les entrées et les sorties des réseaux de neurones pour extraire des règles.



Rule 1: (pas_v0 > 119) (pad_v2 < 77)
Class = 1 (410)
Rule 2: (pad_v1 > 78) (pas_v2 < 123)
Class = 6 (720)
Rule 3: (pas_v0 < 108) (pad_v4 < 87)
(pas_v4 > 170) Class = 1 (513)
Rule 4: (pas_v2 < 197) (pas_v0 < 163)
(pad_v4 < 98) Class = 3 (382)
Rule 6: (pas_v0 > 197) (pas_v3 < 170)
Class = 2 (25)

Approche décompositionnelle : analyse la topologie et les poids des connexions du réseau de neurones afin d'extraire des règles.



Rule 1: (pas_v0 > 119) (pad_v2 < 77) Class = 1 (410)
Rule 2: (pad_v1 > 78) (pas_v2 < 123) Class = 6 (720)

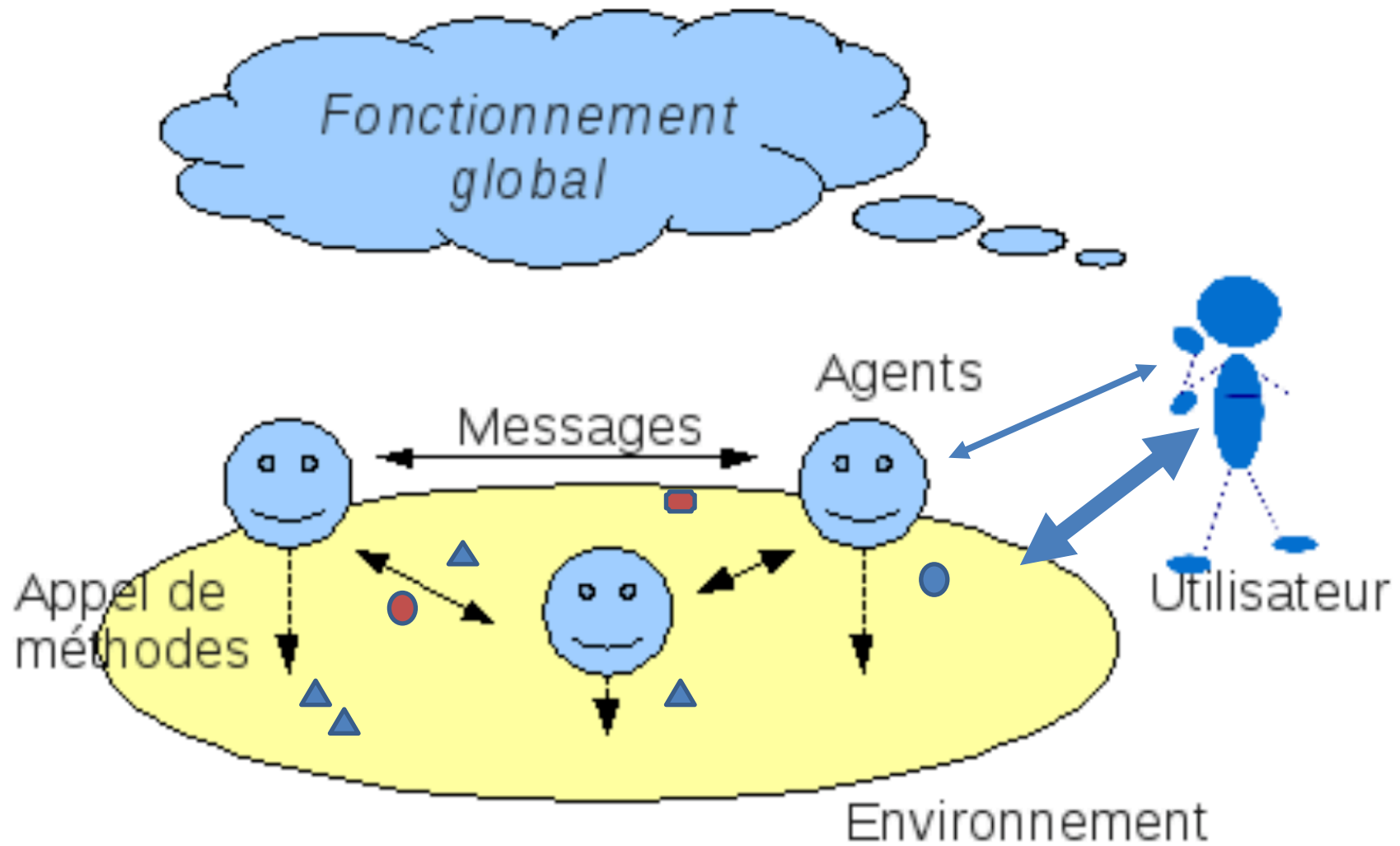
Approche éclectique : combinaison d'approches décompositionnelles et pédagogiques.



Rule 1: (pas_v0 > 119) (pad_v2 < 77) Class = 1 (410)
Rule 2: (pad_v1 > 78) (pas_v2 < 123) Class = 6 (720)
Rule 3: (pas_v0 < 108) (pad_v4 < 87) (pas_v4 > 170) Class = 1 (513)
Rule 4: (pas_v2 < 197) (pas_v0 < 163) (pad_v4 < 98) Class = 3 (382)

Approche

Les systèmes multi-agents



Approche L'argumentation

- Raisonnement non monotone
- Prise de décision malgré des controverses

Définition système d'argumentation (Dung, 1995)

$F = \langle A, R \rangle$

A : un ensemble d'arguments

$R \subseteq A \times A$: une relation d'attaque

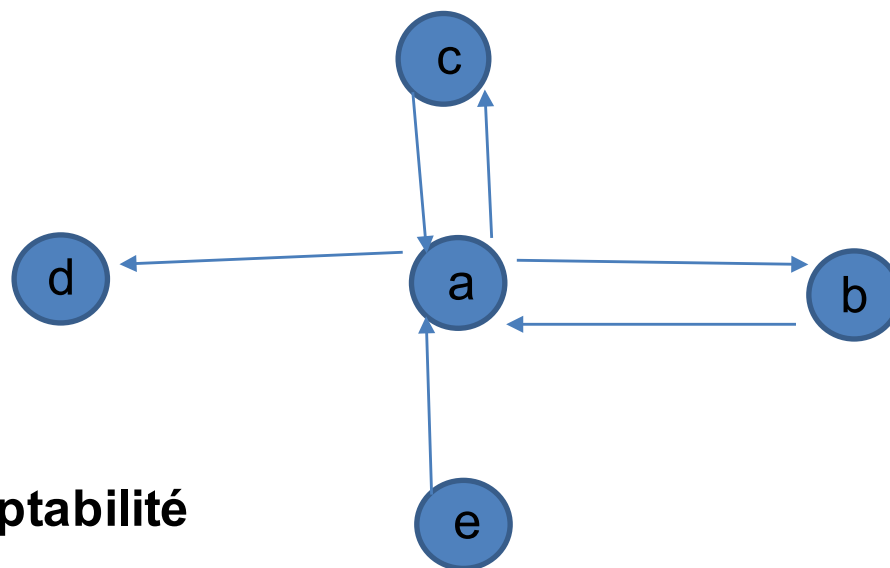
$(a,b) \in R$: a attaque b

$a \in A$ est défendu (dans F) par $S \subseteq A$ si, $\forall b \in A$ tel que $(b,a) \in R$,
 $\exists c \in S$ tel que $(c,b) \in R$

Exemple

$A = \{a, b, c, d, e\}$

$R = \{(a,b), (a,c), (a,d), (c,a), (e,a)\}$



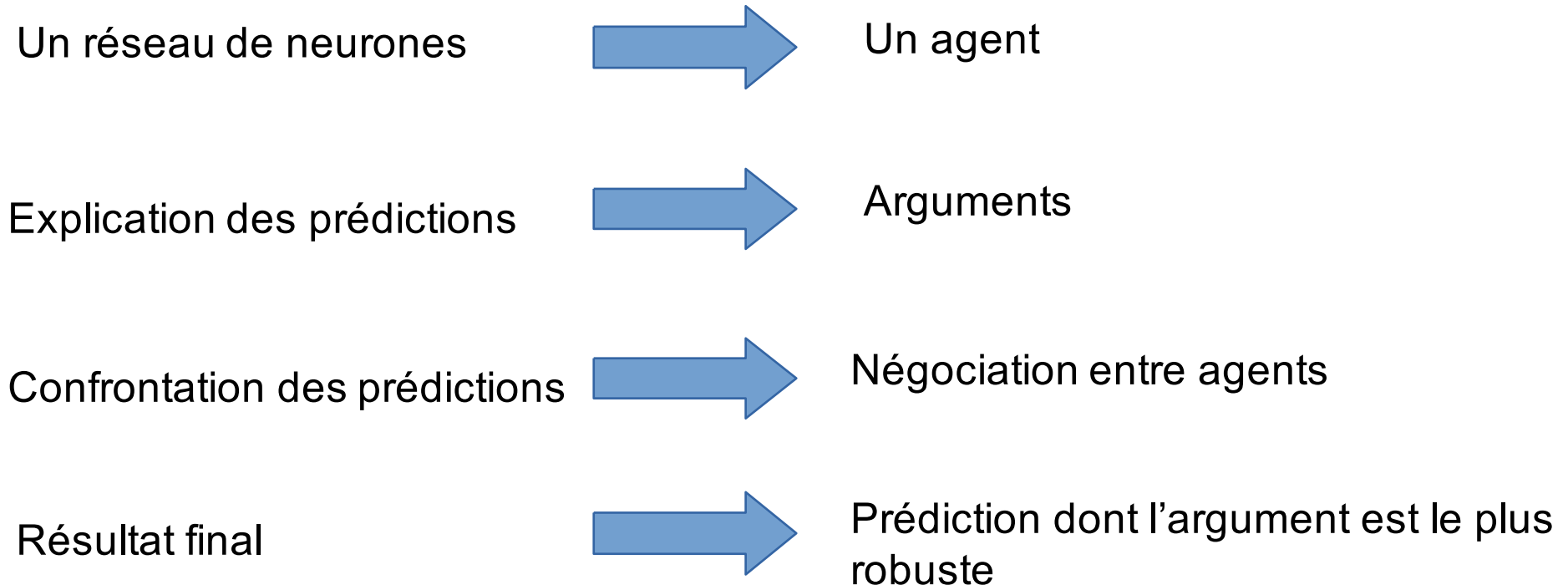
 Diverses sémantiques pour définir l'acceptabilité
des arguments

Approche

L'argumentation multi-agents

- Gestion des préférences entre agents
- Prise de décisions collectives avec arguments et contre arguments
- Prise de décision en environnement incertain
- Possibilité de révision des connaissances en fonction des perceptions de l'environnement
- Implémentation de formes d'interactions complexes
- Protocoles d'interaction dédiés

Approche Réification



Approche

Données : population virtuelle réaliste

- Profil : âge (35 à 64 ans), sexe et facteurs de risque cardiovasculaire, population représentative de la population française.
- Forme : série temporelle de 10 visites associées à chaque individu.
- Chaque visite contient : la pression artérielle systolique (PAS), la pression artérielle diastolique (PAD), le traitement de l'hypertension artérielle, le nombre de changements de traitement.
- Échantillonnage par tirage au sort remise.
- Prédiction du traitement.

Échantillon 1

136.33472911175.239048890: N	NN	124.8220777179.84.3890971: N	VN	118.72375813: 73.2180916421: N	NN	124.8220777179.84.3890971: N	VN	122.1541670311.68.4837514081: N	NN	124.82
114.78025565: 82.643714316: N	NN	128.11861008183.619996629: N	VN	123.33167957: 77.397503281: N	NN	128.11861008183.619996629: N	VN	140.13527623: 86.621610440: N	NN	128.81
146.73284558: 80.833174817: H	NN	130.47486774180.5821149021: N	FP	119.57977514182.194518529: N	NN	130.47486774180.5821149021: N	VN	123.42749528190.392815290: N	NN	130.47
144.44740834: 85.985858571: H	NN	142.05071044183.681500371: H	AC	150.39913547183.681500371: H	AC	142.05071044183.681500371: H	VP	127.71584262185.884259758: N	AC	137.67
134.73930484: 83.214563168: N	NN	139.12996086: 76.638601962: N	VN	122.47330417183.756171053: N	NN	139.12996086: 76.638601962: N	VN	130.33850229: 83.718533079: N	NN	139.12

Échantillon 2

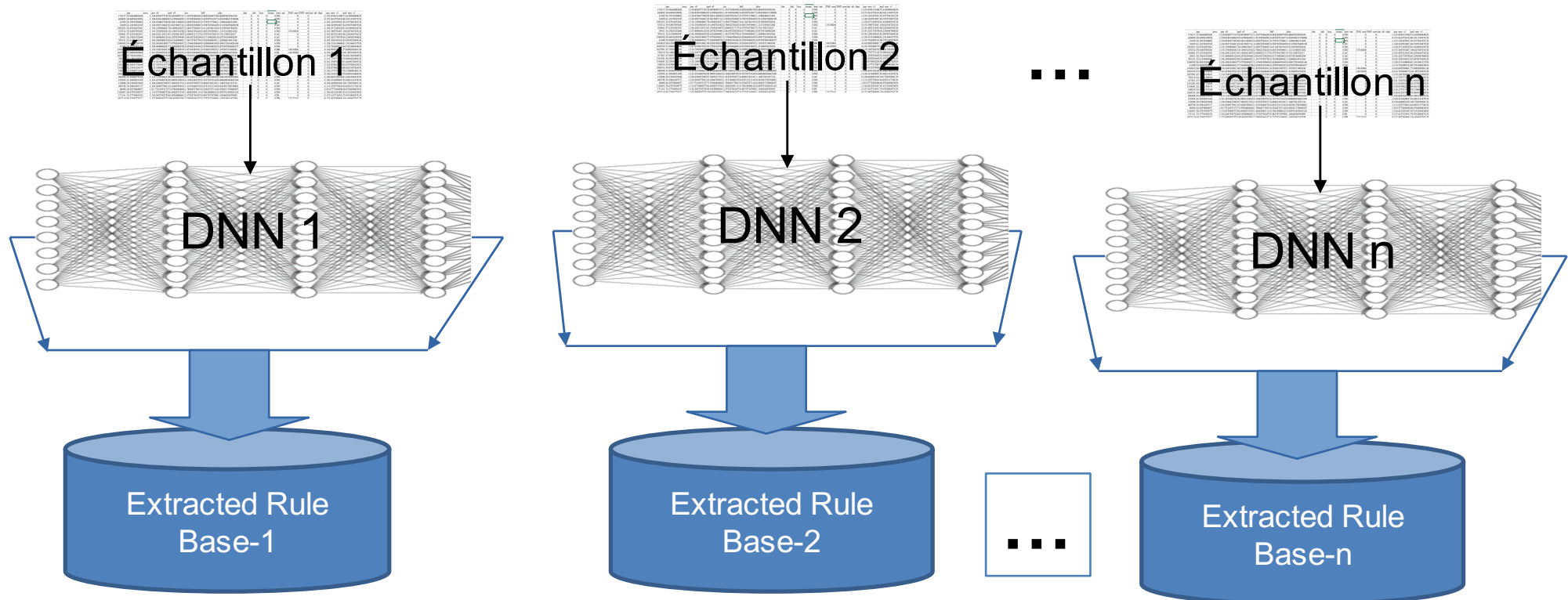
1318641.52.1936155017: 1	132.188006872: 86.593235907912.563224054900.0.563271214011.07180568849: 0	0	0	0	0	138.87300226188.4651457265: N	NN	132.188006872: 86.5932359079: N	VN	134.12725887192.3427493400: N	NN	132
134.164312102: 71.197411139: N	NN	133.40986481: 69.24792944: N	VN	137.85024567: 68.4031124465: N	NN	133.40986481: 69.24792944: N	VN	149.96801408: 68.243180390: H	AC	133.40		
145.849980398: 89.132289253: H	NN	146.59042895: 89.012684090: H	VP	143.105328801: 90.170136576: H	SAR	146.59042895: 89.012684090: H	VP	124.69279093: 79.463025726: N	SAR	135.13		
133.36914042: 73.196290552: N	NN	126.30550188: 77.4373026905: N	NN	124.01694484: 76.289747306: N	NN	126.30550188: 77.4373026905: N	VN	121.38344111: 77.780154037: N	NN	126.30		
131.67109628: 71.401688041: N	NN	126.49400056: 71.269960427: N	VN	126.22902108: 74.863134619: N	VN	126.49400056: 71.269960427: N	VN	127.32421831: 72.013589848: N	NN	128.49		
147.0504032: 77.98694904: H	NN	156.62453546: 80.32953505: H	VP	173.01783218: 80.124053911: H	BB	147.0504032: 77.98694904: H	VP	149.28443322: 78.080200683: H	SAR	157.42		
162.47348477: 101.43777431: H	NN	161.03504707: 95.735965332: H	VP	133.45815848: 97.58525321: H	IEC	161.03504707: 95.735965332: H	VP	160.79431049: 88.047705902: H	BB	156.44		
1318641.52.1936155017: 1	132.188006872: 86.593235907912.563224054900.0.563271214011.07180568849: 0	0	0	0	0	138.87300226188.4651457265: N	NN	132.188006872: 86.5932359079: N	VN	134.12725887192.3427493400: N	NN	132

Échantillon 3

1318641.52.1936155017: 1	132.188006872: 86.593235907912.563224054900.0.563271214011.07180568849: 0	0	0	0	0	138.87300226188.4651457265: N	NN	132.188006872: 86.5932359079: N	VN	134.12725887192.3427493400: N	NN	132
110.59959034: 83.989384681: N	NN	127.05492215: 78.800001417: N	VN	123.14200240: 82.573879320: N	NN	127.05492215: 78.800001417: N	VN	128.38504085: 79.448988613: N	NN	127.05		
141.21776349: 88.848246796: H	NN	151.22335169: 90.428314612: H	VP	149.1611795: 83.082723092: H	DI	151.22335169: 90.428314612: H	VP	156.21359304: 92.143785428: H	AC	145.31		
102.17662951: 68.338717781: N	NN	112.36879063: 71.808860837: N	VN	105.89274846: 69.088590390: N	NN	112.36879063: 71.808860837: N	VN	106.48291060: 72.385426225: N	NN	112.36		

Approche

Les données : construction des arguments



Rule 3: (pas_v0 < 108.42) (pad_v4 < 86.85) (pas_v4 > 170.29)

➔ Class = 1 (513) //Béta-bloquants

 Utilisation des règles comme arguments de négociation

Approche

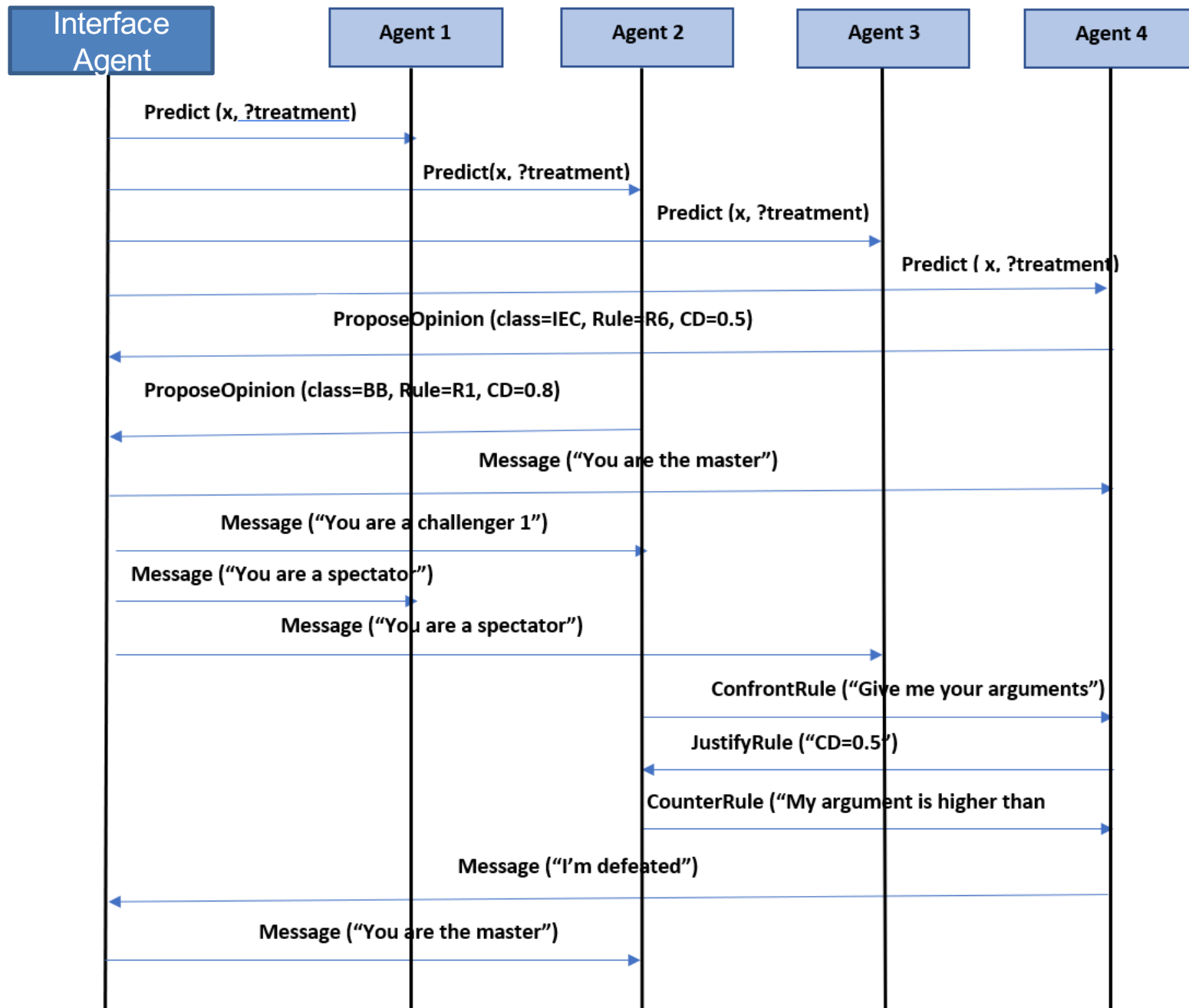
Argumentation multi-agents : méthode de négociation

Chaque agent adopte un rôle parmi le rôle de :

- **Référent** : permet à un agent interface de gérer le processus d'argumentation selon des règles de dialogue prédéfinies ;
- **Master** : attribué à l'agent qui répond en premier au sujet à traiter ;
- **Challengers** : confère la capacité à contester le Master (gestion d'un file d'attente) ;
- **Spectateurs** : participants non autorisés à émettre un avis.

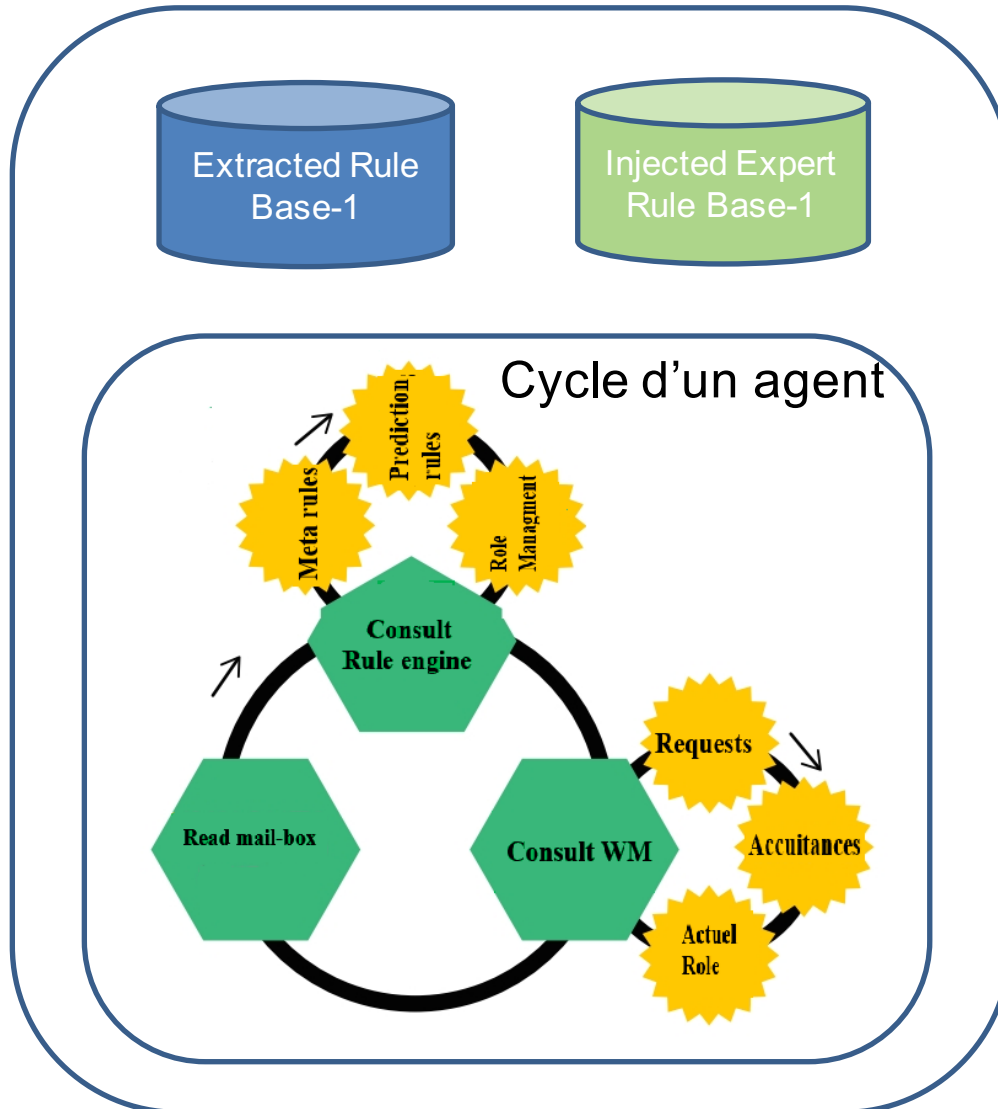
Approche

Argumentation multi-agents : scénario d'illustration



Approche

Argumentation multi-agents : architecture



Exemples de règles injectées :

Recommand_1: (age < 50)

→ (Trait BB) V (Trait IEC) V (Trait SAR)

Recommand_2: (age > 50)

→ (Trait DI) V (Trait AC)

Apports, résultats et originalité

Cas d'étude : population virtuelle réaliste

Données	Exemples	Classes	Type entrées
Hypertension	39785	6	Float & int

Base de règles	DIMLP1	DIMLP2	DIMPLP3	DIMLP4
Nombre de règles	56	87	48	67
Nombres antécédents	43	61	59	28
Nombres antécédents/règle	5,53	5,78	4,97	3,87
Nombre exemples/règle	88,57	65,75	91,76	63
Précision des règles sur le jeu de données	0,71	0,76	0,70	0,81

Méthodes d'ensemble	Précision
Adaboost	0,70
Bagging	0,72
DIMLP-B	0,79
DIMLP-A	0,85
Notre approche sans injection de connaissances	0,83
Notre approche avec injection de connaissances	0,89

- 6 classes de traitement :
- Antagoniste du calcium
 - Béta-bloquants
 - Inhibiteurs de l'ECA
 - Diurétiques
 - Sartans
 - Pas de traitement

Conclusion et perspectives

- Approche pour la personnalisation du suivi de patients hypertendus ;
- Nouvelle méthode d'ensemble basée sur l'argumentation multi-agents et les systèmes à base de règles ;
- Combinaison de connaissances numériques et symboliques ;
- Construction automatique d'arguments de négociation à partir de données d'apprentissage ;
- Amélioration des performances des prédictions des réseaux de neurones ;
- Explication des prédictions et transparence du processus ;

Perspectives

- Généralisation à d'autres types d'algorithmes d'apprentissage ;
- Diversification de la sémantique pour l'argumentation ;
- Diversifier les applications médicales.

Conclusion et perspectives

- **Expérimentation avec des données réelles**
 - Données fournies par CGEDIM (plateforme de prescription médicale utilisée par 23000 médecins en France)
 - **Provenance** : 3000 médecins
 - **Nombre de patients** : 429087
 - **Nombre moyen de visites** : 20 par patient
 - **Nombre de caractéristiques** : une quarantaine
 - **Exemples de caractéristiques** : Spécialité du médecin de la consultation, Date de la consultation médicale, Code CIP ou ACL du médicament prescrit, Nom de la molécule du médicament prescrit, Libellé court du médicament prescrit, Classe HTA du médicament, Dosage du médicament prescrit, Dosage total du conditionnement, nombre d'unités dans le conditionnement, Durée de l'ordonnance, Fréquence cardiaque associée à la consultation médicale, Tension diastolique associée à la consultation médicale, Tension systolique associée à la consultation médicale, mesure de glycémie à jeun associée à la consultation médicale, ...